

Eidesstattliche Versicherung

Die selbstständige und eigenhändige Ausfertigung versichert an Eides statt

Berlin, den 20. Oktober 2012

TU Berlin
Fachgebiet Bodenkunde

Bachelorarbeit

Wachstum und Nährstoffversorgung von Spinat auf verschieden hergestellten „Terra-Preta-Komposten“

Betreuung: Dipl.-Ing. Ariane Krause,
Prof. Dr. Martin Kaupenjohann

Lisa Häfner

Matr.-Nr.: 320482

12. Oktober 2012

Zusammenfassung

Um die landwirtschaftliche Produktion zu fördern und ein sicheres Sanitärsystem für die Bewohnenden des Internats Chonyonyo in Karagwe, Tansania zu gewährleisten, sollen im Rahmen des „CaSa“-Sanitärkonzepts („Carbonization and Sanitation“) Trenntoiletten- und andere organische Abfälle hygienisiert, kompostiert und anschließend in der Landwirtschaft ausgebracht werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen auf Pflanzenwachstum von vier verschiedenen „Terra-Preta(TP)-Komposten“ von CaSa im Vergleich mit zwei „TP-Komposten“ aus fremder Herstellung (f.H.) untersucht. Im Gewächshaus wurde ein Topfversuch mit Spinat (*Spinacia oleracea*) auf Sand-Kompost-Mischung (2% C_{mix}) und mit einheitlicher Mineralstickstoffaufdüngung auf 105mg N_{min}/ Topf durchgeführt. Als Wachstumsparameter wurden Frisch- und Trockengewicht, Blattzahl und Oberfläche und als qualitative Parameter CNS- und Nitratstickstoffgehalt untersucht. Pflanzen auf CaSa-Komposten bei Trockengewicht (0,65 – 0,79 g) und Oberfläche (94,2 – 134,7 cm²) wiesen klar erkennbar höheres Wachstum auf als auf den f.H.-Komposten (0,39 – 0,47 g; 59,0 – 64,8 cm²) oder der Kontrolle (0,30 g; 48,2 cm²). Bei der Blattzahl je Pflanze lagen die CaSa-Komposte (11,1 - 13 Blätter) verhältnismäßig näher bei den f.H.-Komposten (9,2 - 10,9 Blätter) bzw. bei der Kontrolle (9,4 Blätter). Die Stickstoffgehalte aller Varianten lagen gleichmäßig verteilt im Bereich von 3 - 6,3 %TS, die Kohlenstoffgehalte bei 33,9 – 38,6 %TS. Bei Nitratstickstoff stellten sich große Konzentrationsunterschiede mit Werten zwischen 0,1 %TS und 1 %TS heraus. Eine CaSa-Variante (3770 mg/kg FG) überschritt dabei den gesetzlichen Grenzwert von 2500 mg/kg FG. CaSa-Komposte scheinen höheres Pflanzenwachstum als die anderen Komposte zu ermöglichen. In Bezug auf chemische Parameter ergeben sich keine klaren Unterschiede zwischen Pflanzen auf CaSa- und f.H.-Komposten.

Abstract

To secure the hygienic needs of the residents of a boarding school in the village of Chonyonyo (Karagwe, Tanzania) the concept of „CaSa“-sanitation-system includes sanitation and composting of toilet waste that was collected with an urine-diverting-dry-toilet and other organic wastes. Subsequently the compost is ment to be used on agricultural land to promote agricultural production. Main objective of this thesis was to survey effects on plant growth for four different CaSa-composts made after the principles of Terra-Preta(TP) in comparison to two externally produced (e.p.) TP-composts. The pot trial was conducted in a greenhouse and spinach (*Spinacia oleracea*) was planted on sand-compost-mix (2% C_{mix}) and mineral nitrogen was added up to a level of 105mgN_{min}/pot for all pots. As representing parameters for plantgrowth the weight of fresh- and dry matter (FM and DM), the size of the plantsurface and the number of leaves were analyzed; as well as CNS and Nitrate-nitrogen as qualitative parameters. Results showed that plants on CaSa-composts reached higher growth concerning dry matter (0,65 – 0,79 g) and surface (94,2 – 134,7 cm²) than did those on e.p. composts (0,39 – 0,47 g; 59,0 – 64,8 cm²) or on the control (0,30 g; 48,2 cm²). Concerning the number of leaves CaSa composts' results (11,1 - 13 leaves) were relatively close to those of e.p. composts (9,2 - 10,9 leaves) resp. the control (9,4 leaves). Nitrogen contents of the plants of all series were evenly spread within a range of values of 3 - 6,3 %DM. Carbon contents of the plants were between 33,9 – 38,6 %DM. However, Nitrate-Nitrogen concentrations revealed a wide range containing values from 0,1 %DM up to 1 %DM. With one of the CaSa-composts the plant's content (3770 mg/kg FM) exceeded the legal limit of 2550 mg/kg FM. Nevertheless, CaSa-composts seem to support plant growth comparatively better than the e.p. composts. Thus no clear differences between CaSa and e.p. composts were stated concerning chemical parameters

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	7
Verwendete Zeichen und Abkürzungen.....	8
1 Einleitung	10
2 Begriffsdefinitionen.....	16
3 Material & Methoden.....	17
3.1 Komposte.....	17
3.1.1 Kompost 1-4 (K1 - K4): CaSa Komposte	17
3.1.2 Kompost 5 (K5): Kompost Jürgen Reckin	18
3.1.3 Kompost 6 (K6): Kultursubstrat Palaterra ®1	18
3.1.4 Kompostentnahme.....	19
3.1.5 Aufbereitung und Lagerung	19
3.2 Pflanzversuch.....	19
3.2.1 Testpflanze.....	20
3.2.2 Mischungsverhältnis.....	20
3.2.3 Mineraldüngung.....	21
3.2.4 Bewässerung.....	22
3.2.5 Versuchsvorbereitung.....	23
3.2.6 Versuchsverlauf	24
3.2.7 Ernte, Probenahme, Aufbereitung und Lagerung	25
3.3 Analysen.....	26
3.3.1 Wachstum.....	26
3.3.1.1 Frisch- und Trockengewicht der Kompost- und Pflanzenproben.....	26
3.3.1.2 Blattzahl.....	27
3.3.1.3 Pflanzenoberfläche.....	27
3.3.2 Chemische Analysen.....	28
3.3.2.1 CNS-Gehalte der Pflanzen- und Kompostproben.....	28
3.3.2.2 Mineralstickstoff (Nmin) der Bodenproben.....	28
3.3.2.3 pH und elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung.....	29
3.3.2.4 Nitratstickstoff der Pflanzenproben.....	29
3.3.3 Statistik/ Auswertung.....	30
4 Ergebnisse.....	31
4.1 Wachstum.....	32
4.1.1 Frisch- und Trockengewicht der Pflanzen.....	33
4.1.2 Blattzahl.....	33
4.1.3 Pflanzenoberfläche	34
4.2 Chemische Analysen.....	34
4.2.1 Kohlen- und Stickstoffgehalte der Pflanzen.....	35
4.2.2 Nitratstickstoff der Pflanzen	36
5 Diskussion.....	37

5.1	Wachstum	37
5.1.1	Trockengewicht und Pflanzenoberfläche	37
5.1.2	Blattzahl.....	42
5.2	Chemische Analysen.....	43
5.2.1	Kohlen- und Stickstoff.....	43
5.2.2	Nitratstickstoff.....	46
6	Fehlerbetrachtung.....	49
7	Fazit.....	51
8	Quellen.....	53
9	Dank.....	58
	Anhang.....	59
A	Messergebnisse Pflanze und Substrat	59
A.1	CNS und C/N-Verhältnis von Komposten und Sand.....	59
A.2	Zusammensetzung der Substrate.....	59
A.3	Physikalische und chemische Parameter von Kompost und Sand.....	60
A.4	Mineralstickstoffmessung und -ergebnisse der Komposte und des Sandes.....	61
A.5	Feldkapazitäten und errechnetes Wassergewicht der Substrate.....	61
A.6	Frisch-, Trockengewichte und Trockensubstanz der Pflanzen.....	62
A.6.1	FG, TG und TS abgefallener Einzelblätter und FG, TG und TS unter Einbeziehung abgefallener Einzelblätter.....	63
A.7	Blattzahl und Oberfläche der Pflanzen.....	64
A.8	CNS Pflanze.....	66
A.9	Nitrat- und Nitratstickstoffgehalt Pflanze	68
B	Bewässerung und Klimadaten.....	70
B.1	Bewässerung.....	70
B.2	Klimadaten: Temperatur und Feuchtigkeit in der Kabine.....	73
C	Statistik.....	75
C.1	Kolmogorov-Smirnov-Test.....	75
C.2	ANOVA und Bonferroni Test	76
C.2.1	FG/TG.....	76
C.2.2	Blattzahl und Oberfläche.....	78
C.2.3	CNS.....	81
C.2.4	Nitrat-N.....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgangsmaterialien der CaSa-Komposte.....	18
Tabelle 2: Herstellungsunterschiede K1 – K4.....	19
Tabelle 3: Kohlenstoffgehalt der Komposte und Kompostanteil am Substrat [%TS].	22
Tabelle 4: Mittelwerte der Frisch- und Trockengewichte je Pflanze [g], der Trockensubstanz [%], der Oberfläche [cm ²] und Blattzahl je Pflanze.....	33
Tabelle 5: Mittelwerte der Stickstoff-, Kohlenstoff und Nitratstickstoffgehalte anteilig an der Trockensubstanz [%TS].....	36
Tabelle 6: Literaturwerte und eigener Versuch: TS [%] und FG [g] pro Pflanze.....	39
Tabelle 7: Durchschnittliche Bewässerungsmenge [g/Tag/Topf].....	40
Tabelle 8: Physikalische und chemische Komposteigenschaften.....	40
Tabelle 9: Literaturwerte und eigener Versuch: Stickstoffgehalt [g/kg FG] und [%TS]	44
Tabelle 10: Stickstoffgehalt je Pflanze [mg/Pflanze].....	45
Tabelle 11: Nitratgehalt [mg NO ₃ -/kg FG] und Grenzwertüberschreitung.....	47
Tabelle 12: Literaturwerte und eigener Versuch: Nitrat- [NO ₃ -/kg FG] und Nitratstickstoffgehalte [%TS].....	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: CaSa- Komposthaufen.....	19
Abbildung 2: Komposthaufen bei Jürgen Reckin.....	19
Abbildung 3: Anteilige Mineralstickstoffmengen der Substrate [mg N/ Topf].....	23
Abbildung 4: Gruppenfotografien der Varianten K1 - K7 direkt am Tag der Ernte.....	32
Abbildung 5: Mittleres Frischgewicht je Pflanze [g] und Standardabweichung.....	34
Abbildung 6: Mittleres Trockengewicht je Pflanze [g] und Standardabweichung.....	34
Abbildung 7: Mittlere Zahl gelber und grüner Blätter je Pflanze und Standardabweichung.....	35
Abbildung 8: Mittlere Oberfläche je Pflanze [cm ²] und Standardabweichung.....	35
Abbildung 9: Mittlerer Stickstoffgehalt [%TS] und Standardabweichung.....	36
Abbildung 10: Mittlerer Kohlenstoffgehalt [%TS] und Standardabweichung.....	37
Abbildung 11: Mittlerer Nitratstickstoffgehalt [%TS] und Standardabweichung.....	37
Abbildung 12: Trockengewicht [g] über Oberfläche [cm ²] je Pflanze.....	38
Abbildung 13: Trockengewicht je Pflanze [g] über Kompostanteil je Topf [%TS].....	41
Abbildung 14: Trockengewicht je Pflanze[g] über Gesamtstickstoffgehalt je Topf [g]	42
Abbildung 15: Pflanzenstickstoffgehalt [%TS] über Substratstickstoffmenge [g/Topf]	46
Abbildung 16: Nitratstickstoffgehalt der Pflanze [%TS] über Substratgesamtstickstoff [g].....	49
Abbildung 17: Nitratstickstoffgehalt der Pflanze [%TS] über Nitratstickstoffgehalt des Substrats je Topf [mg].....	49
Abbildung 18: Nitratstickstoffgehalt [%TS] über C/N-Verhältnis des Komposts.....	50
Abbildung 19: Nitratstickstoffgehalt der Pflanze [%TS] über Gesamtstickstoffgehalt der Pflanze [%TS].....	50

Verwendete Zeichen und Abkürzungen

C	= Kohlenstoff
Ca	= Calcium
C/N	= Kohlenstoff/Stickstoff- Verhältnis
Cu	= Kupfer
Fe	= Eisen
FK	= Feldkapazität
FG	= Frischgewicht [g]
KAK	= Kationenaustauschkapazität
Lag.	= Lagerungsdichte
Mg	= Magnesium
Mn	= Mangan
N	= Stickstoff
Na	= Natrium
NH ₄ ⁺	= Ammonium
N _{min}	= Mineralstickstoff
NO ₃ ⁻	= Nitrat
TG	= Trockengewicht [g]
TS	= Trockengewicht/ Frischgewicht*100 [%]
S	= Schwefel
Stabw.	= Standardabweichung
VE	= voll entsalzt

In der vorliegenden Arbeit habe ich eine geschlechtergerechte Sprache verwendet. Durch Vermeidung des generischen Maskulinums und Verwendung des Gender-Gap, d.h. Unterstrich und weibliche Endung, sollen alle Geschlechtsidentitäten einbezogen werden.

1 Einleitung

Theoretischer Hintergrund

Es gilt als globale Herausforderung die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung bei gleichzeitiger Degradation der Böden durch vor allen Dingen Erosion und Nährstoffverlust sicher zu stellen. Auch Böden in Subsahara-Afrika sind stark betroffen und es gilt als essentiell für den Erhalt von landwirtschaftlicher Produktion und somit Ernährung den Degradationsprozess zu stoppen [Lal 2006]. Als Hoffnungsträgerinnen in Sachen zukunftsfähiger Landwirtschaft in tropischen Klimaten erfreuen sich *Terra-Preta-Böden (Terra Preta de Indio)* seit einigen Jahren großen Forschungsinteresses. Terra-Preta-Böden sind sehr fruchtbare, anthropogene – d.h. von Menschen gemachte - Böden des Amazonasbeckens, die vor 500-6000 Jahren entstanden sind [Lehmann, Gaunt *et al* 2005] und einen hohen organischen Kohlenstoffgehalt haben, der aus dem Einbringen von Kohle resultiert [Glaser, Haumaier *et al* 2001]. Dieser Kohlenstoff wird in der Literatur oft *engl.* 'black carbon' genannt und bezeichnet Kohlenstoff aus im Boden vorhandenen Organikresten, die aus dem unvollständigen Verbrennen von fossilen Brennstoffen und Organik übrig sind [Atkinson, Fitzgerald *et al* 2010]. Aufgrund seiner aromatischen Struktur ist er relativ abbauresistent und die Böden bieten somit auch Potential zur Sequestrierung von Kohlenstoff [ebd]. Die große Oberfläche der Biokohle gilt als Habitat für Mikroorganismen [Atkinson, Fitzgerald *et al* 2010], was die Zersetzung von vorhandener Organik beschleunigen kann. Weitere Bestandteile der Böden sind - wie Asche, Scherben und Knochen - mineralischer Herkunft und - wie Bioabfälle, Mist, Fäzes und Urin - organischer Herkunft [Glaser & Birk 2012] [Birk, Texeira *et al* 2012]. Pflanzen weisen unter tropischen Bedingungen auf Terra-Preta-Böden hohe Erträge auf, was im Gegensatz zu den geringen Erträgen auf den sonst sauren und nährstoffarmen tropischen Böden steht [Lehmann, Pereira da Silva *et al* 2003]. Als ein Grund gilt eine erhöhte Kationenaustauschkapazität (KAK) [Glaser & Birk 2012] was zu verminderter Nährstoffauswaschung führt.

Als weiteres globales Problem gelten hygienebedingte Erkrankungen. Unsicheres Wasser, inadäquate Sanitärsysteme und unzureichende Hygiene sind Hauptursachen für Durchfallerkrankungen weltweit [JMP 2012a]. Schätzungen der WHO [2009] zufolge sind diese weltweit die dritthäufigste Ursache für infektionsbedingte

Todesfälle. Besonders betroffen sind nach Schätzungen der WHO [2008] Kinder bis 14. In Tansania, dem Land des im folgenden beschriebenen Projekts, waren im Jahr 2002 13,1% der Todesfälle und 14,6% der Krankheitsbelastung, gerechnet in verlorenen Lebensjahren aufgrund von Tod und Krankheit (DALY), auf 'unzureichende Wasserversorgung, inadäquate Sanitärversorgung und unzureichende Hygiene' zurückzuführen [WHO 2008]. Besonders schwer zu Buche schlagen hier Durchfall- sowie zusätzlich Wurmerkrankungen und dadurch bedingte Mangelernährung und deren Folgen [ebd]. Zugleich nutzten die Menschen im Jahr 2010 im ländlichen Raum zu knapp 90% unverbesserte Sanitäreinrichtungen bzw. das offene Gelände zum defäkieren [JMP 2012b]. Weltweit fehlt 2,5 Milliarden Menschen 2012 der Zugang zu verbesserter Sanitärversorgung [JMP 2012a]. Eine gute Sanitärversorgung ist grundlegend für Gesundheit und Leben von Menschen, vor allen Dingen da sie verhindert, dass Krankheitserreger aus den Fäzes oral, über das Wasser oder die Nahrung, wieder in den menschlichen Organismus gelangen und zu Krankheit und Tod führen. Wurmerkrankungen würden sich durch Implementierung eines sicheren, angepassten Sanitärsystems völlig vermeiden lassen [WHO 2008]. Der WHO zufolge könnten 9,1% aller weltweiten Krankheitsfälle (DALY) und 6,3% aller Todesfälle durch Verbesserungen im Wasser- und Sanitärbereich verhindert werden [WHO 2008].

Die Möglichkeit beide Problemstellungen zu bewältigen, also Bodenverbesserung und Hygiene zu verbinden, wird seit einiger Zeit als sogenannte „Terra-Preta-Sanitation“ erforscht [Factura, Bettendorf *et al* 2010], [CaSa 2011]. Dabei geht es im Prinzip darum, Fäkalien und organische Abfälle gefahrlos zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft zu nutzen. So werden in den Fäkalien enthaltene, wertvolle Nährstoffe lokal in den Stoffkreislauf zurückgeführt.

Praktischer Hintergrund

Vor diesem Hintergrund plant die tansanische NGO MAVUNO in Chonyonyo bei der Errichtung und dem Betrieb eines Mädcheninternats eine ökologische Sanitärversorgung aufzubauen mit der gleichzeitig die Böden zur Nahrungsproduktion nach dem Prinzip der Terra Prera aufgewertet werden sollen. MAVUNO arbeitet dabei unter anderem zusammen mit der deutschen Partner-NGO Ingenieure ohne Grenzen e.V. (IngoG). MAVUNO ist eine Organisation von Landwirt_innen der Region Karagwe, deren Ziel die „Verbesserung der Lebensqualität in ländlichen Gegenden“

[Mavuno 2012] ist. Die Organisation versteht darunter die Grundbedürfnisse der Landbevölkerung zu stillen („*relieve basic needs*“) und so deren Selbstermächtigung zu fördern. Programme zur Umsetzung sind unter anderem Förderung der extensiven Landwirtschaft, Umweltschutzmaßnahmen, Mikrofinanzdienste und das partizipative Errichten von Regenwassertanks. Die NGO möchte auf dem Internatsgelände ein Ausbildungszentrum für Schülerinnen und Landwirt_innen einzurichten.[Mavuno 2012] Die deutsche Partnerorganisation Ingenieure ohne Grenzen e.V. ist eine gemeinnützige Hilfsorganisation. Sie „plant eigene technische Hilfsprojekte und führt diese vor Ort durch, hilft durch Wissenstransferleistungen anderen Hilfsorganisationen und Bedürftigen bei ingenieurspezifischen Fragestellungen und leistet Forschungs- und Aufklärungsarbeit im Bereich nachhaltiger technischer Entwicklungszusammenarbeit“ [IngoG 2012].

Das Dorf Chonyonyo, in dem das Internat errichtet wird, liegt im ländlichen Distrikt Karagwe, welcher im Norden an Uganda und im Westen an Ruanda grenzt und knapp südlich des Äquators in der Region Kagera liegt. Kagera liegt zwischen 1°00' und 2°45' südlicher Breite. [URT 2003a]. Karagwe befindet sich auf einem Hochplateau zwischen 1300 und 1899 Metern über dem Meer in einer Zone relativ hohen Niederschlags zwischen 1000 und 1400 mm [URT 2003b]. 99% der Menschen leben hier im ländlichen Raum, davon betreiben 97% Landwirtschaft. Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt 5,1 Personen mit eigenen oder gepachteten Landflächen von im Schnitt 1,6 ha Größe. Das Haupteinkommen wird aus dem lokalen und exportorientierten Verkauf von Nahrungsmitteln gewonnen. In Karagwe nutzen ungefähr 85% der Menschen herkömmliche Latrinen, 10% besitzen keine Toilette. Die nächste Schule liegt im Schnitt 18,9 km von Siedlungen entfernt was für einen täglichen Schulbesuch zu weit ist [URT Report 2007].

Der Bau des Internats soll Mädchen Zugang zu Bildung ermöglichen. Grundlegend ist es hierfür neben Bildungseinrichtungen auch die nötigen Einrichtungen und Anlagen bereit zu stellen, um Lehr- und anderes Personal sowie die Schülerinnen vor Ort zu versorgen. Anbau von Nahrungsmitteln sowie sichere Wasser- und Sanitärversorgung sind wichtige Versorgungsbausteine. Der deutsche Kooperationspartner IngoG hat hier die Konzeptionierung von Sanitäranlagen und Zisternen übernommen. Meine eigene Arbeit beschäftigt sich mit einem Teilaspekt der sanitären Versorgung im Rahmen des Sanitärkonzepts des Projektes „Carbonization and Sanitaion“ (CaSa). Integraler

Bestandteil dieses Konzepts sind Trenntrockentoiletten, in welchen Urin und Fäzes bei richtiger Nutzung direkt in der Toilette getrennt abgeführt und anschließend getrennt gelagert werden. Diese Trennung ermöglicht unter Zusatz von trockenen Materialien wie Kohlestaub oder Sägespänen das schnelle Trocknen und damit die schneller voranschreitende Hygienisierung der Fäzes unter Vermeidung von Geruchsbelästigung. Der hygienisch weitgehend unbedenkliche Urin wird separat gelagert und somit die Querkontamination mit Fäkalkeimen vermieden [Rieck & von Muench 2011]. Nach einmonatiger Trocknung in einer schwarzgestrichenen „Solarkammer“ sollen die Fäzes in einem kleinen Lehmofen auf 80°C für vier Stunden erhitzt werden, um eine weitgehende Hygienisierung garantieren zu können. Anschließend sollen sie zusammen mit Biokohle, anderen organischen Abfällen und dem Urin sowie anorganischen Zusätzen kompostiert werden und zur Bodenverbesserung auf anliegende Felder ausgebracht werden [CaSa 2011], [Krause 2012]. Die Kohle stammt unter anderem aus Resten von Lagerfeuern und aus kleinen Kochöfen, die verwendet werden, um den Hygienisierungs-Lehmofen zu beheizen, und bei denen Biokohle als Nebenprodukt anfällt. Das Kompostierungsverfahren ist an unser derzeitiges Wissen über die Inhaltsstoffe und Herstellungsverfahren von Terra-Preta-Böden angelehnt. So können in diesem Konzept die in den „Toilettenabfällen“ enthaltenen Nährstoffe zurückgeführt werden [Rieck & von Muench 2011].

Im Sommer 2011 wurde das Sanitärkonzept in kleinem Maßstab in Berlin getestet und dabei vier Kompostierungsvarianten erprobt. Dafür wurden Teilschritte des Kompostierungsverfahrens variiert. Eine Variation bestand darin, zusätzlich zur aeroben Rotte einen anaeroben Verfahrensschritt, die Gärung, zu implementieren. Eine erhöhte Konzentration löslicher Nährstoffe nach dieser Art von Gärung finden sich auch in Versuchen von Fatura, Bettendorf *et al* [2010]. Ein weiterer Teilschritt war die zusätzliche Zugabe von Mikroorganismen. Im eigenen Versuch wurde nicht mit menschlichen Fäzes gearbeitet, da zum Zeitpunkt der Herstellung der Komposte noch keine Fäzes, die vollständig hygienisiert waren, verfügbar waren. Anstattdessen wurde vor Ort vorhandene Schaffäzes verwendet.

Pflanzversuch

Um die Wirkungen der verschiedenen Kompostierungsverfahren auf das Pflanzenwachstum zu untersuchen und eventuell Rückschlüsse auf die Eignung dieser

schließen zu können habe ich einen Topfversuch durchgeführt. Gemessen wurden der Ertrag und die Qualität der Pflanzen. Um die Wirkungen der eigenen Komposte auch nach außen vergleichen zu können, habe ich hierbei noch zwei weitere Kompost-Substrate untersucht, die nach ähnlichen Verfahren hergestellt worden sind. Das Versuchslayout habe ich so gestaltet, dass die Ergebnisse auch für die Anwendung durch den/die Nutzer_in in den industriellen Ländern der gemäßigten Breiten aussagekräftig sein können.

Der Topfversuch mit Spinat (*Spinacia oleracea*) fand in einem Gewächshaus statt. Spinat gehört botanisch zu den Gänsefußgewächsen (*Chenopodiaceae*) [Wonneberger & Keller 2004] und ist eine einjährige Langtagpflanze. Die höchsten Erträge weist er im frühen Herbst und im Frühjahr auf, weil er dann rein vegetativ wächst, während sommerlich lange Tage zu generativem Wachstum führen und mit einer Schossneigung unter schwacher Rosettenbildung einher gehen [Franke 1976]. Der Stickstoffbedarf von Spinat liegt im Vergleich mit anderen Gemüsepflanzen im mittleren Bereich [KTBL 2009, S. 214] Bezüglich Mikronährstoffen liegt der Bedarf für manche im mittleren (Bor) bis höheren Bereich (Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo)) [Bergmann 1993, S. 53f] ist aber nicht als hochgradig empfindlich bekannt [ebd, S. 52 u. 55]. Der Grund für die Wahl dieser Testpflanze war die Idee eine gemeinsame Ergebnisgrundlage mit dem bereits beendeten Spinatversuch von Klomfaß [2012] zu schaffen. Dahinter stand das Anliegen im Literaturkontext durch ähnliche Versuchslayouts eine höhere Vergleichbarkeit zu erreichen. Wegen unterschiedlicher Forschungsziele und aus praktischen Gründen wurden jedoch einige Versuchsrahmenbedingungen anders gestaltet, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse in Frage stellt. Eine genauere Betrachtung erfolgt im Diskussionsteil.

Nährstoff- und Wasserversorgung sowie die Klimafaktoren Temperatur und Licht sind wichtige Wachstumsparameter für Pflanzen [Finck 2007, S. 14]. Als besonders einflussreich gilt das Nährelement Stickstoff. Er gehört zu den Hauptnährelementen und ist wichtiger Teil vieler Pflanzenbaustoffe der häufig ertragsbegrenzend wirkt [Scheffer, Schachtschabel *et al* 2010, S. 401ff]. Um zu vermeiden, dass die Auswirkungen unterschiedlich hoher Stickstoffdosen andere Effekte der Komposte überlagern, habe ich einen zu Versuchsbeginn gleich hohen löslichen Stickstoffgehalt in den Substraten durch Zugabe von Ammoniumnitratdünger eingestellt. Auch Wasser hat wichtige biochemische und physikalische Funktionen im Stoffwechsel der Pflanze.

Es ist Teil des Photosystem II und Baustein organischer Substanz, außerdem dient es als Transport- und Lösungsmittel, ist verantwortlich für Quellung und Turgor (Zellinnendruck) und schützt die Pflanze mittels Transpiration vor Hitze [Schubert 2006, S.79 ff]. Bei ungleicher Versorgung können Wachstumsunterschiede entstehen [Bergmann 1993]. Um solche Effekte zu vermeiden, wurden die gleichen Wassergehalte (60% FK) in den Substraten eingestellt. Der Anbau im Gewächshaus gewährleistete außerdem geregelte Temperatur- und Lichtverhältnisse. Die eingestellten Werte waren dabei an den Bedarf anderer Versuche in der Kabine angepasst.

Offen bleibt, wie langfristige Auswirkungen auf Boden und Pflanzenwachstum aussehen. Fragen danach wie lokale Akzeptanz für diesen Sanitäransatz geschaffen werden kann, liegen eher im sozialwissenschaftlichen Bereich. Ihre Beantwortung ist aber für eine erfolgreiche Implementierung des Sanitärkonzepts grundlegend. Die Wünsche und Einstellungen der jeweiligen Gemeinschaft sind hier Dreh- und Ausgangspunkt. Da ein Großteil der lokalen Bevölkerung in Subsistenz-Wirtschaft lebt, haben die Auswirkungen auf die Ernteerträge bei der Beurteilung des neuen Sanitäransatzes jedoch hohe Bedeutung. Es bleibt außerdem die Frage, inwiefern die Versuchsergebnisse unter diesen Bedingungen auf Freilandbedingungen hier und in Chonyonyo übertragbar sind.

2 Begriffsdefinitionen

Im folgenden definiere ich kurz die Begrifflichkeiten, die ich im Verlauf der Arbeit verwenden werde.

Terra-Preta bezeichnet die hochfruchtbaren, anthropogenen Böden des Amazonasbeckens. Sie bestehen seit Jahrhunderten [Lehmann, Pereira da Silva *et al* 2003] und haben einen, nicht nur im Vergleich zu anliegenden tropischen Böden, sehr hohen pyrogenen Kohlenstoffgehalt, der vermutlich dem Einbringen von Kohle [Glaser, Haumaier *et al* 2001] zuzuschreiben ist. Weitere Bestandteile sind höchstwahrscheinlich Pflanzenbiomasse, Säugetierknochen, Fischgräten, sowie Asche und Fäkalien [Birk, Texeira *et al* 2012].

Kompost oder „*Terra-Preta-Kompost*“ bezeichnet im Folgenden die selbst oder von anderen hergestellten Komposte, deren Zusammensetzung und Produktionsverfahren vom Wissen über die Herstellung bzw. das Entstehen von Terra-Preta-Böden abgeleitet wurde.

Als *Substrate* bezeichne ich die durch Mischung von Sand und Kompost hergestellten Böden, auf denen die Versuchspflanzen gewachsen sind.

Gärung bezeichnet die Zersetzung von Organik unter Sauerstoffausschluss mit und ohne Zusatz von Mikroorganismen.

Mikroorganismen (MO) sind künstlich zugesetzte Mikroorganismen (sogenannte „beneficial microbes“, d.h. eine Mischung von Bodenmikroben, Milchsäuregärem/Lektofermentationsmikroorganismen, Hefen) die zum großen Teil Milchsäuregärung betreiben. Die Mischung stammt von Jürgen Reckin.

K(Nr) und *Kompost (Nr)* bezeichnen je nach Bedeutungszusammenhang die Komposte, Pflanzen oder Substrate der entsprechenden Variante.

Variante bezeichnet alle Wiederholungen einer Behandlung.

3 Material & Methoden

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist ein Topfversuch mit Spinat auf verschiedenen Komposten.

3.1 Komposte

Ich verwendete in meinem Versuch sechs Komposte, die auf der Grundlage unseres derzeitigen Wissens über Terra-Preta hergestellt wurden.

Gemeinsam sind ihnen als Ausgangsmaterialien Kohle und Grünschnitt. Unterschiede liegen im Hinzufügen weiterer Bestandteile organischer und mineralischer Herkunft, im Zusatz von Mikroorganismen, der Behandlungsart und Rahmenbedingungen wie u.a. Standort und Rottedauer [TPS-Workshop 2011], [Reckin 2011], [Peiter 2012].

3.1.1 Kompost 1-4 (K1 - K4): CaSa Komposte

Die vier Kompostsubstrate sind im Sommer 2011 von Teilnehmer_innen eines Workshops zu „Terra Preta Sanitation“ im Rahmen des CaSa-Projekts hergestellt worden und im Landschaftspark Herzberge kompostiert worden [TPS-Workshop 2011]. Sie setzten sich alle im gleichen Verhältnis aus Grünschnitt, Schaffäzes, Wolle, Miscanthus, lehmigem Boden, Kohle, Urin, Backsteinstücken, Stein- und Tonmehl und Küchenabfall zusammen. Ungefähre

Volumenanteile finden sich in Tabelle 1. Nach dem Mischen der Bestandteile wurde mit dem Substrat auf verschiedene Weise verfahren.

a) Kompost 1 und 2:

Während der zweimonatigen Rotte in offenen Kompostmieten wurde den Komposten Urin und Küchenabfälle hinzugefügt. Während auf Kompost 1 direkt uriniert wurde und Küchenabfälle direkt entsorgt wurden, wurde für Kompost 2 beides unter Zusatz von

Tabelle 1: Ausgangsmaterialien der CaSa-Komposte

Substrat	Volumen[l]
Schaffäzes	120
Menschlicher Urin	10
Grünschnitt	320
Küchenabfall	2
Miscanthus	100
Buchenholzkohle	30
lehmiger Boden	40
Backsteine	8
Steinmehl*	5
Tonmehl*	5
Schafswolle	100

*Angabe in kg

Mikroorganismen vorgegärt und dann der Kompostmiete zugeführt [TPS-Workshop 2011].

b) Kompost 3 und 4:

Kompost 3 und 4 wurden vor der einmonatigen Rotte in offenen Kompostmieten circa



einen Monat in verschlossenen Plastikfässern vorgegärt. Dies erfolgte *ohne zusätzliche* (Kompost 3) sowie *unter Zugabe* von Mikroorganismen (Kompost 4) [TPS-Workshop 2011].

Eine schematische Übersicht über die

Abbildung 1: CaSa- Komposthaufen

Unterschiede in den Kompostierungsverfahren der vier Komposte findet sich in Tabelle 2

Tabelle 2: Herstellungsunterschiede K1 – K4

Behandlungsvariablen →		Zusatz von Mikroorganismen	
		nein	ja
Zersetzungs- prozess(e)	Nur Rotte	K1	K2
	Gärung u. Rotte	K3	K4

Zeilen- und Spaltenüberschriften: Behandlungsvariablen

3.1.2 Kompost 5 (K5): Kompost Jürgen Reckin

Der Kompost wurde von Jürgen Reckin in der Schorfheide, Brandenburg, aus in einer Komposttoilette (ohne Urinabtrennung) unter Zugabe von Mikroorganismen vorkompostierten



Abbildung 2: Komposthaufen bei Jürgen Reckin

Fäkalien, Küchenabfällen, Kohle, Gesteinsmehl, feinst gehäckseltem Miscanthus und Urin hergestellt. Der Kompost wurde allein durch Rotte und unter Zugabe von Mikroorganismen hergestellt. Außerdem wurde regelmäßig auf den Haufen uriniert. Die Rottedauer wird auf ungefähr ein Jahr geschätzt [Reckin 2011].

3.1.3 Kompost 6 (K6): Kultursubstrat Palaterra ®1

Der Kompost wurde in Hengstbacher Hof von der Firma Palaterra in einer Kompostieranlage hergestellt. Ausgangsmaterialien waren pflanzliche Stoffe aus Garten- & Landschaftsbau (Grünschnitt), aus der Forstwirtschaft (Kokos), sowie Kohle (Holzkohle aus Nadelholz 0-6 mm). Nach einwöchiger Rotte wurde die Charge (knapp 30 m³) verdichtet und mit Mikroorganismen versetzt. Die anschließende Fermentation dauerte zwei Wochen. Nach der Fermentation wurde das Material noch eine Woche offen gelagert. Bei ggf. zu niedrigen Temperaturen wurde zusätzlich geheizt [Peiter 2012], [Palaterra 2011]. Die Firma Palaterra GmbH & Co. KG hat das an jahrhunderte-altes Wissen [Lehmann, Pereira da Silva *et al* 2003] angelehnte Verfahren 2009 patentieren lassen [WIPO 2009].

3.1.4 Kompostentnahme

Bei Kompost 1-5 erfolgte die Entnahme von den Mieten bereits einen Monat vor Beginn des Versuchs. Dabei habe ich von jeder Miete die Deckschicht mit grober Streu und leichter Vegetation mittig abgenommen, aus einem 25x25 cm großen Bereich mit einer kleinen Handschaufel Material entnommen und es anschließend in Plastikmüllbeutel gefüllt. Auffällig war die große Inhomogenität der Komposte K1-K4, sowie deren hohe Feuchtigkeit. Hohe Ähnlichkeiten im Erscheinungsbild fanden sich dabei zwischen K1 und K2 sowie zwischen K3 und K4. Besonders Schafwollklumpen und Miscanthusstücke waren noch gut zu erkennen. Dies lag an der kurzen Kompostierdauer von ungefähr 2 Monaten, was für die hier vorherrschenden klimatischen Verhältnisse recht kurz ist, so dass das Material noch nicht ausreichend zersetzt war. K6 wurde im gleichen Zeitraum in der Verkaufsverpackung geliefert.

3.1.5 Aufbereitung und Lagerung

Zur Aufbereitung für den Versuch habe ich die Proben K1-K4 homogenisiert. Mit einem Keramikmesser zerkleinerte ich das Material so, dass alle Bestandteile kleiner als 5 cm waren. K5 und K6 waren bereits wesentlich homogener und benötigten keine

weitere Aufbereitung. Die Proben lagerten unter regelmäßiger Belüftung in den Plastikmüllbeuteln bzw. K6 in der Verkaufspackung bei 2°C. Für chemische Analysen zerkleinerte ich zusätzlich einen Teil der Proben auf unter 1 cm um auch bei geringer Probemenge eine repräsentative Zusammensetzung zu gewährleisten. Die Proben für chemische Analysen lagerte ich in Plastikgefrierbeuteln im Gefrierfach.

3.2 Pflanzversuch

Der Versuch fand am Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) Großbeeren über 56 Tage in einem Gewächshaus statt. Die Komposte habe ich hierfür jeweils in vierfacher Replikation mit sandigem Boden gemischt und eine Kontrollvariante mit reinem Sand vorbereitet. Pro Topf wuchsen drei Spinatpflanzen (*Spinacia Oleracea*). Außerdem erfolgte eine Aufdüngung mit Mineralstickstoff. Die Temperatur im Gewächshaus war auf 24°C tags und 20°C nachts eingestellt. Ab Tag 16 wurde zusätzlich elektrisches Licht in den Kabinen eingeschaltet, wenn die Außenstrahlung einen Wert von PAR 10klx (217 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) unterschritt.

3.2.1 Testpflanze

Im Versuch verwendete ich die Hybridspinatsorte Amazon F1, wobei es sich um gebeiztes (Thiram und Metalaxyl-M) Normalsaatgut von der Firma Volmary handelt [Volmary 2012]. Dieses war am IGZ Großbeeren vorrätig.

3.2.2 Mischungsverhältnis

Das Mischungsverhältnis von Sand und jeweils einem Kompost stellte ich so ein, dass das entstandene Substrat einen Kohlenstoffanteil von 2% am gesamten Trockengewicht (TG) bzw. der sogenannten Trockensubstanz (TS) aufwies (2% TS). Ackerböden haben Kohlenstoffanteile, die im Durchschnitt in unseren Breiten ungefähr diesen Prozentsatz erreichen [Scheffer, Schachtschabel *et al* 2010, S. 52]. Der verwendete Sand wies einen Kohlenstoffgehalt von 1,0% TS auf, die Komposte hatten C-Anteile zwischen 12,4 und 30,5% TS. Die Berechnungsgrundlage 2% C im Gesamtsubstrat brachte hier eine weite Streuung bei den Mischungsverhältnissen der Varianten mit sich, da die Kohlenstoffgehalte der Komposte K1-K4 sich gegenüber denjenigen von K5 und K6 als sehr niedrig erwiesen. So ergaben sich Kompostanteile am Gesamtsubstrat zwischen 3% und 10% TS.

Einen Überblick über Kohlenstoffgehalt und Kompostanteil am Substrat gibt Tabelle 3. Zur Berechnung der Mischung bezog ich fälschlicherweise in den CNS-Messergebnissen angegebene Blindwerte ein, welche für diese Messung keine Gültigkeit besaßen. Der Fehleranteil liegt im Bereich <1,1% und ist damit sehr gering (vgl. Anhang A1 u. A2).

Tabelle 3: Kohlenstoffgehalt der Komposte und Kompostanteil am Substrat [%TS]

	Kompost C-Gehalt	Substrat Kompostanteil
	- [% TS] -	
K1	12,4	9,0
K2	13,7	8,1
K3	18,5	5,9
K4	18,7	5,8
K5	23,4	4,6
K6	30,5	3,5

3.2.3 Minereraldüngung

Im Versuch erfolgte eine Aufdüngung mit mineralischem Stickstoff. Unter Berücksichtigung des bereits im Substrat vorhandenen mineralischen Stickstoffs (N_{\min}) düngte ich mit Ammoniumnitrat bis zum gewählten Sollwert auf. Als Sollwert wählte ich die in der sogenannten „Feldabfuhr“ von reifem Spinat enthaltene Stickstoffmenge nach 'Faustzahlen der Landwirtschaft' [KTBL 2009]. Die Feldabfuhr bezeichnet denjenigen Teil der Pflanze, der als Ernteprodukt vom Feld entfernt wird. Da bei Spinat mit 70-95% [ebd., S. 470] normalerweise ein Großteil der Pflanze, bei Wurzelspinat die gesamte Pflanze, geerntet wird, ist die Gleichsetzung von Feldabfuhr mit dem Gewicht der Gesamtpflanze nur geringfügig fehlerbelastet und verhältnismäßig unbedeutend im Vergleich zu getroffenen Annahmen über die Stickstoffdynamik (vgl. Ende des Absatzes). Meinen Berechnungen zufolge ergibt sich für Freilandspinat eine Feldabfuhr von 33,3 – 36 mg N je Pflanze [KTBL 2009, S. 214, S. 469, S. 473]. Im eigenen Versuch nahm ich einen Wert von 35 mg N je Pflanze als Bedarf und Sollwert an. Daraus ergab sich für drei Pflanzen eine Menge von 105 mg N_{\min} je Topf als Ausgangsbedingung zur Versorgung mit mineralischem Stickstoff. Bei der Berechnung habe ich die komplexe Stickstoffdynamik im Boden [Scheffer, Schachtschabel *et al* 2010, S. 405ff] und die Nährstoffaufnahmeprozesse der Pflanze bewusst außer acht gelassen, da sie von zu vielen Faktoren [ebd] abhängig sind und da es nicht darum ging die zu allen Zeitpunkten adäquate Versorgung zu garantieren, sondern gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen.

Abbildung 3 zeigt die anteilige Herkunft von mineralischem Stickstoff in den fertig angemischten Substraten.

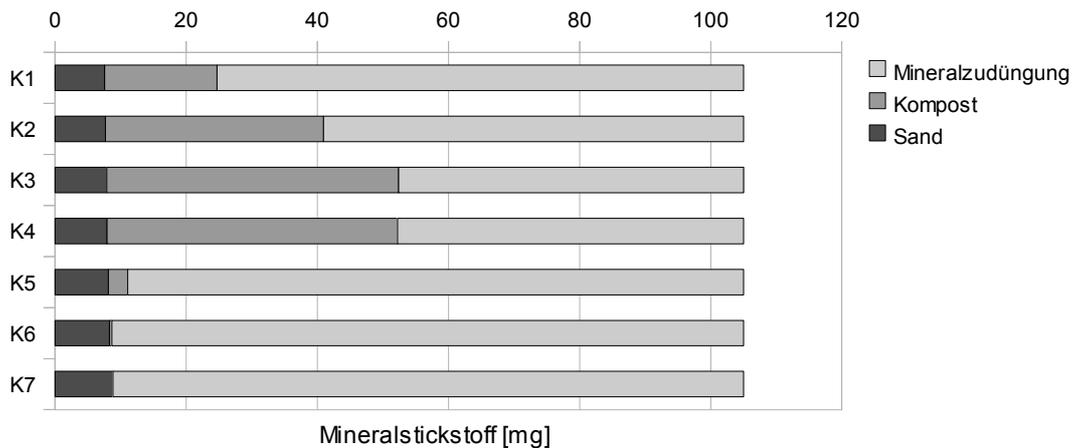


Abbildung 3: Anteilige Mineralstickstoffmengen der Substrate [mg N/ Topf]

3.2.4 Bewässerung

Eine Wassersättigung von 60% Feldkapazität (FK) sollte die ausreichende und gleichmäßige Versorgung mit Wasser für die Pflanzen gewährleisten. Die FK berechnete ich unter Berücksichtigung von Bodenart und Humusgehalt aus der Lagerungsdichte. Die Lagerungsdichte ermittelte ich aus Volumen und Trockengewicht und bestimmte die resultierende FK nach Literaturwerten [vgl. Blume, Stahr *et al* 2011, S. 42ff]. Den Kompostanteil berücksichtigte ich unter der vereinfachenden Annahme, dass dessen Einfluss auf die Porenverteilung der von 'Humus' (Tabellenwerte) entspricht. Lag der Wert der Lagerungsdichte nahe der Mitte zwischen zwei Tabellenwerten nahm ich einen gemittelten FK-Wert an. Aufgrund eines Berechnungsfehlers wichen die Sollwerte im Versuch von den korrekten Sollwerten ab. Alle Bewässerungsmengen lagen dadurch 11,4 – 13,6 % höher als die eigentliche Sollmenge. Die Fehlerbetrachtung dazu befindet sich in Anhang A5.

Die Bewässerung erfolgte täglich durch Gießen mit Bechergläsern. Ausgehend vom Initialgewicht, das Topf, Substrat und vorhandenes Wasser bei 60% FK umfasst, bestimmte ich mittels Waage die zu gießende Wassermenge, die dem Gewichtsverlust des Topfes durch Evapotranspiration des Wassers entspricht. Den Inhalt eines Becherglases – d.h. die für jede Variante spezifisch über die erwünschte FK ermittelte nachzufüllende Menge Wasser - verteilte ich gleichmäßig über die Substratoberfläche. Zu Beginn des Versuchs goss eine Mitarbeiterin des IGZ alle Töpfe mit 30 ml Wasser,

anschließend begann die Bewässerung nach FK (vgl. Anhang B2). An Wochenenden und wenn ich selbst nicht am IGZ sein konnte, erfolgte die Bewässerung durch den sogenannten 'Gießdienst' des IGZ oder eine andere beauftragte Person. Dann wurde meist überall die gleiche Wassermenge gegossen. Diese ermittelte ich in den Anfängen der Versuchszeit aus dem höchsten Verbrauch der vergangenen Woche; später verwendete ich gemäß besseren Wissens, teilweise Mittelwerte. Die Bewässerung nach FK und die pauschale Bewässerung mit gleicher Menge wurde über die Versuchszeit etwa paritätisch angewandt. Um dem zunehmenden Gewicht der Pflanzenbiomasse Rechnung zu tragen addierte ich ab Tag 25 eine Massenpauschale von zuerst 5 g und später 10 g zum Sollgewicht jeden Topfes hinzu, die aber in der Wachstumsendphase weit unter dem tatsächlichen Pflanzengewicht lag (vgl. Ergebnisse FG/TG).

3.2.5 Versuchsvorbereitung

Ich bereitete die Substrate im Aufbereitungsraum des IGZ Großbeeren für den Topfversuch vor. Zur Homogenisierung, d.h. zur gleichmäßigeren Durchmischung, siebte ich jeden der Komposte durch ein 2mm-Metallgitter und gab jeweils den verbleibenden Überstand (Stücke >2mm) anschließend wieder dazu. Entsprechend der jeweils berechneten Anteile mischte ich mit einem Handschuh die Komposte in großen Plastikwannen mit Sand, der zuvor grob gesiebt (5mm-Sieb) worden war. Die Wanne spülte ich nach jedem Durchgang mit Wasser. Ich mischte jeweils eine für vier Töpfe ausreichende Menge Substrat an und wog dann 1,5 kg Frischgewicht (FG) je Topf ein. Geringe Abweichungen um $\pm 0,01\text{kg}$ berücksichtigte ich in der Berechnung des benötigten Mineralstickstoffs und Wassergehalts nicht. Eventuell verbliebene Reste verwarf ich. Das Substrat drückte ich im Topf gleichmäßig mit den Händen an. Ich verwendete viereckige, trapezförmig nach oben geöffnete Plastiktöpfe der Größe $9*11*11\text{ cm}^3$. Um zu vermeiden, dass sich ggf. durch die Bewässerung anaerobe Verhältnisse am Topfboden einstellen legte ich ein Plastikgitter über einer Schicht Quarzsand am Boden der Töpfe ein. Es sollte den problemlosen Wasserabfluss ermöglichen. Außerdem klebte ich vier der 8 vorhandenen Löcher zum Wasserauslass, am Boden des Topfes, mit Klebefolie ab, um das Herausrieseln des Quarzsandes zu vermeiden. Durch handhabungsbedingt unterschiedliche Mengen eingefüllten Quarzsandes entstanden leichte Unterschiede im Topfgewicht, die ich beim Sollgewicht berücksichtigte. Die Saat erfolgte am nächsten Tag. Pro Topf säte ich fünf

Samen und dünnte nach der Keimung auf drei Pflanzen aus. Ich legte die Samen in circa einen Zentimeter tief eingedrückte Vertiefungen und bedeckte sie anschließend mit Substrat. Zuletzt erfolgte die Zugabe des mineralischen N-Düngers durch Lösen von Ammoniumnitrat (Pulver) in 80 ml Dest.-H₂O und Beträufeln der Substrate .

Anschließend stellte ich die Töpfe im Gewächshaus auf einen mit Plastikplane bedeckten Pflanztisch in vier Reihen auf. Die Töpfe standen in Abständen von circa 5-10 cm auf umgedrehten Topfuntersetzern um eventuell austretendes Wasser abfließen zu lassen. In der Kabine fanden zur gleichen Zeit auch weitere Pflanzversuche statt.

3.2.6 Versuchsverlauf

Wachstum und Ausdünnung

Erste Sämlinge zeigten sich an Tag 4; an Tag 10 wurde bei fast allen Varianten auf drei Pflanzen ausgedünnt. Dabei entfernte ich sehr kleine und/oder krank aussehende Pflanzen. Ich dünnte bevorzugt so aus, dass die weiter voneinander entfernten Pflanzen im Topf bleiben konnten. Bei einigen Varianten waren erste Keimlinge erst später sichtbar, sodass ich bei manchen Töpfen erst im Verlauf der folgenden 4 Tage ausdünnen konnte. Im Laufe des Versuchs knickten bei vielen Pflanzen aus Handhabungsgründen beim Rotieren der Töpfe einige wenige Blätter ab, wenn die Blätter der Töpfe beim Bewegen versehentlich an einen Widerstand gerieten. Die Pflanzen zeigten sich hier als sehr empfindsam. Genaue Zahlen der abgefallenen Blätter finden sich in Anhang A6b.

Bewässerung

Zum Versuchsbeginn lag der Wassergehalt vieler Substrate sehr hoch, was bedingt war durch hohe Wassergehalte der Komposte bei der Probenahme (vgl. Anhang A3). So lag das Gewicht bei Töpfen mit großem Kompostgehalt resp. Wassergehalt einige Tage lang über dem berechneten Sollgewicht, die Wassersättigung also bei über 60% FK, und es musste nicht bewässert werden. Bei Varianten mit hohem Sandanteil war es von Anfang an nötig zu bewässern, da der Sand initial einen niedrigen Wassergehalt hatte und Wasser schlecht speichert .

Gewichtsmessungen am Folgetag einer Pauschalbewässerung ergaben oft, dass vom Gießsollwert nach FK abweichende Mengen gegossen worden waren, so dass Töpfe

derselben Variante am Folgetag teils bis zu 40 g Unterschied im Wasserbedarf hatten (vgl. Anhang B1).

Temperatur

Die zu erreichende Solltemperatur von 20°C nachts, um der Simulation eines tropischen Klimas gerecht zu werden, wurde meist eingehalten. An warmen Tagen, vor allem zu Beginn der Versuchszeit, lagen die tatsächlichen Temperaturen tagsüber oft über dem Sollwert von 24°C. Am Tag hin erreichten die mittleren Kabinentemperaturen Werte bis knapp 27°C (Vgl. Anhang B2).

Beleuchtung

Ich rotierte die Plätze der Töpfe ungefähr ein- bis zweimal wöchentlich um Verzerrungen aufgrund standortabhängiger Lichtverhältnisse zu vermeiden. Dafür stellte ich in den ersten Topf jeder Reihe an deren Ende und rückte die anderen nach. Ungefähr zur Halbzeit des Versuchs änderte ich die Tauschrichtung um 90°.

Schädlinge

In Woche 5 entdeckten Mitarbeiter_innen des IGZ Schädlinge an meinen Pflanzen. Gegen vorgefundene Trauermücken verteilten sie eine nematodenversetzte Lösung auf den Substraten, gegen Thripse setzten sie in der Kabine ebenfalls Nützlinge ein.

3.2.7 Ernte, Probenahme, Aufbereitung und Lagerung

Die Ernte erfolgte am Morgen von Tag 56 (am 21. November 2011) des Versuchs. Ich nahm jeweils Einzel- und Gruppenphotographien der Replikationen derselben Variante auf. Außerdem fotografierte ich jeweils das größte Blatt entlang eines Lineals und zusätzlich ein krankes bzw. gelbes. Die Aufwüchse der Pflanzen trennte ich mit einem kleinen Messer direkt über der Erdoberfläche ab und wog sie. Ich maß mit dem Blattscanner die Blattoberflächen und zählte die Anzahl der Blätter. Nach der Trocknung bei 65°C mahlte ich sie mit der Scheibenschwingmühle TS 250 der Firma Siebtechnik vier Minuten bei 710/min unter Verwendung eines Keramikmahlwerks, das ich nach jedem Mahlgang mit Wasser reinigte. Die Lagerung erfolgte in kleinen Glasflaschen die ab Woche 5 nach der Ernte in einem Exsikkator standen. Dieses Gerät ist mit einem Trocknungsmittel befüllt, das die Feuchtigkeit aus der Luft im Gerät zieht, so dass die getrockneten Proben nicht wieder über die Luft befeuchtet werden. Aufgrund eines Sprungs im Mahlwerk der Mühle ist nicht auszuschließen,

dass es zu geringem Eintrag von Wasser in die Proben kam und im Zuge der Lagerung zu leichten Zersetzungserscheinungen. Grund für diese Annahme war das Vorfinden einer weißlichen Oberfläche und die leichte Klebrigkeit der Proben nach mehrwöchiger Lagerung. Eine andere Erklärung wäre das Ausbleichen der Oberfläche aufgrund von Sonneneinstrahlung so wie es sich nach weiterer Lagerung - nach zwischenzeitiger Trocknung - einstellte. Die Ursache für die weiße Oberfläche kann nicht mehr genau rekonstruiert werden, da ich nötige Daten hierzu nicht aufnahm. Nach dem Vorfinden des Belags trocknete ich die Proben nochmals bei 65°C bzw. für die CNS-Messung bei 105°C. Die sehr homogenen Messergebnisse (vgl. Anhang A1) je Variante lassen das Auftretensein von Zersetzungs Vorgängen bezweifeln, da handhabungsbedingt unterschiedlich hoher Wassereintrag resp. Destruentenwachstum vermutlich weniger gleichmäßige Werteverteilung zur Folge gehabt hätten.

3.3 Analysen

Um die Wirkungen der Komposte auf das Pflanzenwachstum auszuwerten, ermittelte ich einerseits die Wachstumsparameter Frisch- und Trockengewicht (FG bzw. TG) sowie die Anzahl der Blätter und jeweils die Größe der Blattoberfläche. Andererseits maß ich die chemischen Bestandteile Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel sowie den Nitratstickstoffgehalt um über die vorwiegend quantitativen Wachstumsparameter hinaus auch eine Aussage über die Ertragsqualität treffen zu können. Blätter die bereits vor der Ernte von sich aus oder durch äußere Einwirkung abgefallen waren bzw. abgeknickt worden waren, bezog ich auf Grund geringer Anzahl bzw. Masse und somit geringen Einflusses nicht weiter in meine Auswertungen ein (vgl. Anhang A61). Alle Kompostanalysen erfolgten vor, alle Pflanzenanalysen nach dem Versuch.

3.3.1 Wachstum

3.3.1.1 Frisch- und Trockengewicht der Kompost- und Pflanzenproben

Zuerst erfolgte das Auftauen der tiefgefrorenen Kompostproben in geschlossener Tüte um Wasserverluste während des Tauvorgangs zu vermeiden. Nach dem Auftauen durchmischte ich die Proben in den Tüten gut und breitete auf großen Uhrgläsern von jeder Probe zwei Teelöffel spatel aus. Nach der Bestimmung des Uhrglasgewichts bestimmte ich jeweils das Gesamtgewicht vor und nach der Trocknung. Zur Bestimmung von FG und TG der Kompostproben trocknete ich diese anschließend bei 105°C über 48 h in je zweifacher Wiederholung im Trockenschrank.

Die Pflanzenproben trocknete ich im Trockenschrank bei 65°C über 72 h. Für Pflanzen wird oft diese niedrigere und etwas schonendere Temperatur gewählt. Jeweils alle Pflanzen eines Topfes wog ich in zuvor gewogenen und beschrifteten Papiertüten vor und nach der Trocknung. Dabei nahm ich jeweils 8 Tüten aus dem Trockenschrank und wog sie zeitnah um größere Gewichtsveränderungen durch Wasseraufnahme aus der Luft zu vermeiden.

Aus den ermittelten Werten für FG und TG lässt sich durch Division von TG durch FG der sog. „TS-Anteil“ der jeweiligen Probe bestimmen.

3.3.1.2 Blattzahl

Die Bestimmung der Blattzahl erfolgte je Pflanze direkt nach der Ernte. Ich zählte jeweils diejenigen Blätter, die bereits einen erkennbaren Stiel hatten, so dass ganz junge, noch kaum als solche erkennbare Blätter bei der Zählung nicht beachtet wurden. Grüne sowie gelbe bzw. Blätter mit gelben Flecken zählte ich getrennt. Die Keimblätter und bereits vertrocknete Blätter zählte ich nicht mit.

3.3.1.3 Pflanzenoberfläche

Die Messung erfolgte mittels Blattflächenscanner (Leaf Area Meter) 'Li- 3100' der Firma 'Li-Cor'. Der Scanner zieht das Objekt über ein transparentes Fließband ein, drückt dieses platt und ermittelt aus Objektbreite und -länge dessen Fläche. Das Ergebnis zeigt er via LED-Anzeige in der Einheit cm² an. Ich scannte jeweils die Pflanzenoberfläche eines Topfes indem ich nach der ersten, nach der ersten und zweiten zusammen und nach allen drei Pflanzen die (akkumulierte) Fläche notierte. Anschließend schaltete ich den Zähler zurück auf Null für den nächsten Topf. Die Einzeloberflächen der Pflanzen bestimmte ich durch Subtraktion. Die Einzelmessung erleichtert die Berücksichtigung von eventuell stark abweichenden Werten bei der Auswertung. Da die Blätter nicht plan waren detektierte der Scanner nicht die gesamte Oberfläche sondern lediglich die Verschattung bzw. die projizierte Fläche, die das eigentlich geringfügig gewölbte Blatt erzeugt. Unter der Annahme, dass der Messfehler sowohl klein war als auch gleichmäßig auftrat, sollten die gemessenen Größen und Größenverhältnisse der Varianten zum Vergleich untereinander dennoch belastbar sein. Gelbe und grüne Blätter maß ich gemeinsam und betrachte sie nicht weiter differenziert.

3.3.2 Chemische Analysen

3.3.2.1 CNS-Gehalte der Pflanzen- und Kompostproben

Die Ermittlung der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalte erfolgte mittels Gaschromatografie nach DUMAS (angelehnt an DIN ISO 10654 und 13878). Zum Einsatz kam der Elementaranalysator 'vario EL III' der Firma 'Elementar'. Durch katalytische Rohrverbrennung entstehen hier gasförmige Oxidations- und Aufschlussprodukte, die anschließend in einer Trennsäule chromatografisch getrennt werden und nacheinander in einer WLD-Zelle (Wärmeleitfähigkeitsdetektor) detektiert werden. Träger- und Spülgas der Trennsäule ist Helium.

Ich wog die getrockneten, in der Scheibenschwingmühle TS 250 (Siebtechnik) vier Minuten bei 710/min gemahlene Proben mithilfe eines Spatels in Zinnhülsen auf eine Menge zwischen 3 und 5 mg ein und notierte das Gewicht auf drei Dezimalen genau. Ich arbeitete bei den Pflanzenproben mit zwei und bei den Kompostproben mit zwei bzw. teilweise mit drei Wiederholungen. Nach jeder Einwaage reinigte ich den Spatel sorgfältig mit einem sauberen und trockenen Tuch. Mit einem weiteren Spatel gab ich in jede Hülse einen Spatellöffel Wolframdioxid und klemmte die Hülsen mit Pinzetten zu. Die Hülsen lagerten bis zur Messung in über einen Zeitraum von ca. einem bis 10 Tagen in Mikrottestplatten. Der CNS-Gehalt des Sandes geht auf Messungen am IGZ, 2011 zurück. Die Ermittlung erfolgte weitestgehend nach dem gleichen Verfahren (Dumas-Verbrennung nach LUFA-Methode).

3.3.2.2 Mineralstickstoff (N_{min}) der Bodenproben

Die Konzentrationen mineralischen Stickstoffs (d.h. Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+)) der Kompostproben ermittelte ich nach DIN 19746. Das Verfahren beruht auf der Extraktion von Nitrat und Ammonium mit 0,0125 molarer Calciumchloridlösung; die Messung erfolgt photometrisch. Nitrat wird hierbei in reduzierter Form als Nitrit (Lambda 543 nm), Ammonium anhand der damit korrelierten Menge des Indophenol-Farbkomplexes (Lambda 660 nm) gemessen.

Ich füllte in jeweils zweimaliger Wiederholung 50 g der zuvor homogenisierten und gefrorenen Probe in gewaschene und getrocknete 250 ml-Plastikflaschen aus Polyethylen. Parallel setzte ich in mehreren 2 l-Kolben 0,0125 molare (0,0125 ml/l) Calciumchloridlösung aus Calciumchlorid-Dihydrat und voll-entsalztem (VE) Wasser an. Nach zwischenzeitiger Tiefkühlagerung schüttelte ich die Proben eine Stunde

vertikal im Eigenbau-Schüttler der TU-Bodenkunde (7 Umdrehungen/Minute (U/min) vgl. DIN-Norm: Schüttelmaschine 30-35 U/min). Dann filtrierte ich und fro die Proben bis zur Analyse ein. Die vorgegebene Höchstzeit von 48 h, die der Auftauprozess vor der Analyse nicht überschreiten darf, konnte ich einhalten. N_{\min} -Werte für den Sand sind Messungen von Pielert am IGZ 2011 entnommen. Die Messung erfolgte nach gleicher Methode (LUFA-Methode A 6.1.4.1).

3.3.2.3 *pH und elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung*

Der pH-Wert gibt die H^+ -Aktivität der Bodenlösung als negativen dekadischen Logarithmus an. Die Messung erfolgt potentiometrisch mithilfe einer Glaselektrode in Anlehnung an DIN 19684-1. Ich verwendete das Gerät 'pHMeter 761 Calimatic' der Firma Knick.

Die elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung lässt Rückschlüsse über den Salzgehalt des Bodens zu. Sie wurde mit der Sonde 'WTW Tetracon(R) 325 der Firma 'Inolab' gemessen.

Ich spülte und beschriftete die zur Verwendung bestimmten Plastikkolben. Von jeder Probe wog ich in zweifacher Wiederholung ca. 20 g Probenmaterial ein, versetzte dieses mit der 2,5-fachen VE-Wassermenge und schüttelte anschließend eine Minute kräftig. Die Messung des pH-Wertes erfolgte ungefähr eine Stunde nach dem Schütteln. Sobald die pH-Elektrode im Gemisch einen konstanten Wert anzeigte notierte ich ihn. Sodann maß ich die elektrische Leitfähigkeit. Eine ergänzende Messung in $CaCl_2$ führte ich nicht durch.

3.3.2.4 *Nitratstickstoff der Pflanzenproben*

Die Nitratstickstoffanalyse der Pflanzen erfolgte mittels photometrischer Messung im Spectrophotometer DR/2000 der Firma Hach. Das gelöste Nitrat wird hierbei durch das in einer zugesetzten Reagenz enthaltene Cadmium zu Nitrit reduziert. Durch weitere Reaktion bildet dies dann einen farbigen Komplex dessen Konzentration in der Lösung gemessen wird. Die Messung erfolgte gemäß der dem Gerät beiliegenden Gebrauchsanleitung.

Zunächst wog ich je 0,2 g gemahlener und getrockneter Pflanzensubstanz in mit 0,1 g molarer Schwefelsäure gewaschene Glasfalschen ein, versah sie mit 100 ml 1%-iger Kaliumsulfatlösung und schüttelte 30 Minuten mit dem Horizontalschüttler (KS 501 digital, IKA Labortechnik) bei ca. 150 U/min. Anschließend filtrierte ich durch

Faltenfilter 595 ½ der Firma Schleicher und Schuell in gewaschene, getrocknete Glasflaschen. Die Messung erfolgte in 25 ml-Glasküvetten. Jeder Küvette setzte ich die Reagenz Nitratver(R)3NitrateReagent zu und maß nach einer Minute kräftigen Schüttelns und 5-minütiger Reaktionszeit im Spectrophotometer den Nitratstickstoffgehalt in mg/l. Bei zu hohen Werten verdünnte ich die Probe, da das Gerät nur für den Messbereich bis 5 mg/l programmiert war. Außerdem fertigte ich zu jeder Messcharge à vier Proben einen Standard an. Hierzu versetzte ich VE-Wasser mit der Reagenz. Die Anfertigung einer Eichreihe ist bei dieser Messung nicht nötig, da die Messskala geräteintern vorliegt und zu Beginn über die Wahl des Messprogrammes eingestellt wird (Programm: Messung von Nitratstickstoff im Bereich bis 4,5 mg/l). Aufgrund der großen Menge an Proben analysierte ich in zwei Durchgängen je eine Hälfte der Proben. Dabei maß ich je fünf Blindwerte von denen je zwei Werte mit Filtration und drei Werte ohne Filtration mitliefen, um eventuelle Verschmutzungen des Filters zu detektieren. Die Proben lagerten jeweils nach der Filtration bis zur Messung über Nacht bei ca. 5°C im Kühlraum. Das Messverfahren erwies sich als sehr empfindlich. Schon eine kurze zeitliche Verzögerung im Ablauf des Analyseverfahrens brachte bei der Messung eine Veränderung der Messergebnisse mit sich.

3.3.3 Statistik/ Auswertung

Bei allen gemessenen Pflanzenparametern erfolgte eine statistische Auswertung. Zunächst testete ich auf Normalverteilung. Ich verwendete dafür den Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung. Die Auswertung ergab, dass bei allen Ergebnissen die Nullhypothese angenommen werden konnte. Das bedeutet, dass die Ergebnisse normalverteilt waren. Um die statistische Signifikanz zu bewerten führte ich eine Varianzanalyse (ANOVA) und einen Post-Hoc-Test (Bonferroni) durch. Während die ANOVA eine Aussage darüber macht, ob die Variantenergebnisse insgesamt signifikant voneinander abweichen, liefert der Bonferroni-Test Aussagen darüber welche Ergebnisse jeweils signifikant voneinander abweichen. Die Ergebnisse nach der ANOVA ergaben statistische Signifikanz für alle Werte. Sie wird deshalb nicht mehr im Ergebnisteil erwähnt. Nach Bonferroni traten nur zwischen manchen Varianten statistische Signifikanzen auf. Die Ergebnisse finden sich im Anhang C.

4 Ergebnisse

Es folgen zunächst die Gruppenfotografien aller Varianten in Abbildung 4



Abbildung 4: Gruppenfotografien der Varianten K1 - K7 direkt am Tag der Ernte

Bei der Ergebnisbetrachtung ist zu beachten, dass alle Messungen je Topf durchgeführt wurden und nur bei Blattzahl und Oberfläche auch Messungen an der Einzelpflanze erfolgten. Es wurden die Variantenmittel und Standardabweichungen berechnet.

4.1 Wachstum

Insgesamt ergibt die Auswertung der Messergebnisse einen Trend in dem die Varianten K1 bis K4 durchschnittlich höhere Wachstumswerte erreichten als die Varianten K5 bis K7 (siehe Abbildung 6).

Als Aussage darüber welcher der Parameter besonders geeignet ist Ertragsunterschiede zu indizieren, kann das Abweichen der Ergebnisse vom jeweiligen Mittelwert für alle Varianten betrachtet werden. Dafür habe ich jeweils den Quotienten aus Standardabweichung vom gemeinsamen Mittelwert aller Varianten und den gemeinsamen Mittelwert aller Varianten berechnet. Durch Multiplikation mit 100 ergibt sich eine relative Abweichung vom jeweiligen gemeinsamen Mittelwert von 33% bzw. 44% für das Trocken- und Frischgewicht, 37% für die Oberfläche und 15% für die Gesamtblattzahl. Ertragsunterschiede machen sich demnach in Oberfläche und Gewicht stärker bemerkbar als in der Blattzahl.

Tabelle 4: Mittelwerte der Frisch- und Trockengewichte je Pflanze [g], der Trockensubstanz [%], der Oberfläche [cm²] und Blattzahl je Pflanze

	FG	TG	TS (TG/FG)	Oberfläche	Blattzahl
	- [g] -		[%]	[cm ²]	
K1	5,3	0,66	12,6	94,2	11,9
K2	7,4	0,77	10,4	123,7	13,5
K3	7,9	0,65	8,4	111,2	11,1
K4	8,6	0,79	9,3	134,7	13,0
K5	3,5	0,39	11,0	64,8	10,9
K6	3,4	0,47	13,6	59,0	9,2
K7	2,6	0,30	12,0	48,2	9,4

4.1.1 Frisch- und Trockengewicht der Pflanzen

Die Mittelwerte der FG bzw. TG der Einzelpflanzen weisen teilweise signifikante Unterschiede auf. Für das FG ergeben sich Mittelwerte zwischen 2,6 g und 8,6 g, das TG liegt zwischen 0,3 g und 0,8 g je Pflanze (vgl. Abbildung 5 u. Abbildung 6). Bei beiden lassen sich K1-K4 und K5-K7 als Gruppen identifizieren, die statistisch signifikant voneinander abweichen. Die kleinsten Werte sind jeweils die der Kontroll-Variante. Die Standardabweichungen sind klein weil sie aus der Dreiteilung der Topfstandardabweichungen je Variante ermittelt sind. Das bedeutet, dass

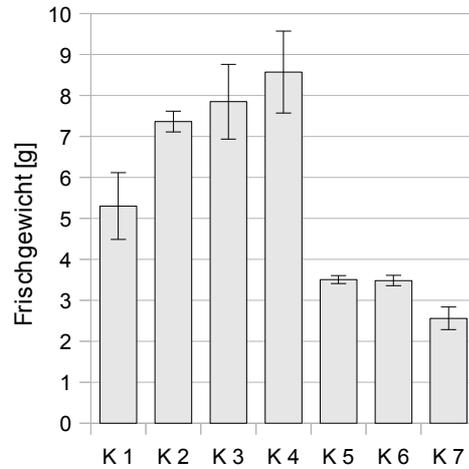


Abbildung 5: Mittleres Frischgewicht je Pflanze [g] und Standardabweichung

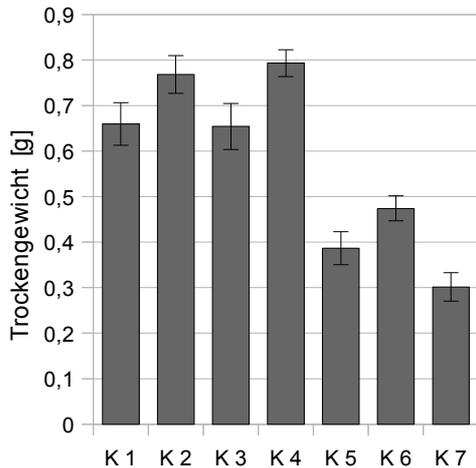


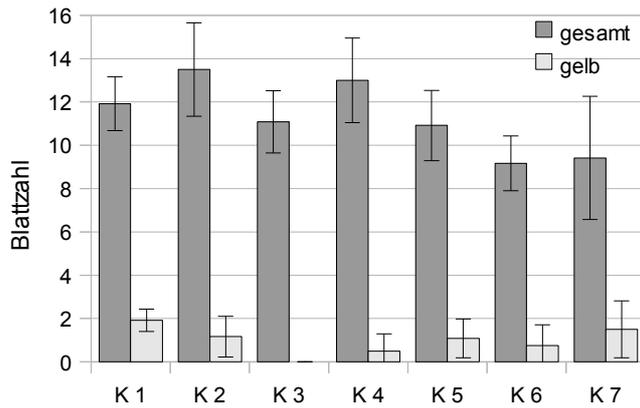
Abbildung 6: Mittleres Trockengewicht je Pflanze [g] und Standardabweichung

existierende Wachstumsunterschiede innerhalb der Töpfe nivelliert werden, da das Gesamtgewicht des Topfes und nicht die Einzelpflanze gewogen wurde. Die hohen Standardabweichungen bei den Oberflächen deuten an, dass hier größere Wachstumsunterschiede existierten (vgl. Ergebnisse Oberfläche). Vergleicht man FG und TG, so fallen die Unterschiede zwischen den Gruppen beim TG klarer auf. Tabelle 4 zeigt die berechneten prozentualen TS-Anteile der Varianten. Es zeigt sich, dass der Anteil TS an der Gesamtprobe bei K3 und K4 am geringsten ist. Diese Pflanzen sind also bei zugleich größtem Frischgewicht „wässriger“ bzw. „wasserhaltiger“. Die größten TS-Anteile haben K1 und K6 mit 12,6% bzw. 13,6%.

4.1.2 Blattzahl

Die Blattzahl der Varianten liegt zwischen durchschnittlich 9,2 und 13,5 Blättern je Pflanze (Abbildung 7). Die größten Gesamtblattzahlen weisen die Varianten K2 (13,5) und K4 (13) auf, die kleinsten Werte haben K6 (9,2) und K7 (9,4), jedoch ohne jeweils signifikant zu sein. Die Anzahl gelber Blätter liegt zwischen 0 und 1,9 Blättern je Pflanze, eine Abhängigkeit von der Gesamtblattzahl lässt sich aus den

Durchschnittswerten nicht ermitteln. Am höchsten ist die Gesamtzahl gelber Blätter



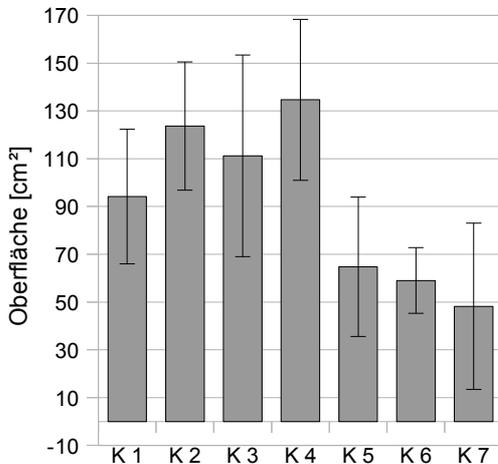
bei K1 und K7. Während bei K1 alle Pflanzen gelbe Blätter haben, haben bei K2, K5 und K7 8-9, bei K4 vier und bei K3 keine Pflanze gelbe Blätter. Es sind die großen Standardabweichungen, besonders bei der Anzahl gelber Blätter und auch in der der Gesamtzahl der Blätter je Pflanze, zu berücksichtigen.

Abbildung 7: Mittlere Zahl gelber und grüner Blätter je Pflanze und Standardabweichung

Diese lassen sich auf die große Varianz der Blattzahlen innerhalb einer Variante zurückführen (vgl. Anhang A7) Da die Unterschiede zwischen den Blattzahlen der Varianten kleiner sind, als bei Gewicht und Oberfläche, müssten Wachstumsunterschiede sich auch in Unterschieden bei der Einzelblattoberfläche der Pflanzen im Vergleich bemerkbar machen.

4.1.3 Pflanzenoberfläche

Insgesamt weisen die Varianten große Unterschiede in der durchschnittlichen Oberfläche je Pflanze auf (vgl. Abbildung 8).



Die Mittelwerte für K1 (94,2 cm²) bis K4 (134,7 cm²) lassen sich von K5 (64,8 cm²) bis K7 (48,2 cm²) abgrenzen, wobei nur K2 – K4 und K5 – K7 statistisch signifikant voneinander abweichen. Zu beachten sind hier die zum großen Teil erheblichen Standardabweichungen. Bei vielen Varianten sind die Blätter einzelner Pflanzen sehr klein geblieben. So finden sich bei K6 eine, bei K1, K3, K4 und K5 je zwei und bei K7 drei Pflanzen, die unter 75% des Mittelwerts geblieben sind. Bei K5 und K7 sind hierunter auch außerordentlich klein gebliebene Pflanzen mit 0,28 cm² (K5) bzw. 0,48 und 5,02 cm² (K7) Gesamtoberfläche. Bei diesen Varianten erklärt dies einen Teil der großen Standardabweichung. Oberflächenwerte die über 125% des Variantenmittelwerts betragen finden sich bei allen Varianten. Davon bei K3, K4 und K6 eine, bei K1 zwei, bei K2 und K5 drei, und

Abbildung 8: Mittlere Oberfläche je Pflanze [cm²] und Standardabweichung

bei K7 sechs Pflanzen.

4.2 Chemische Analysen

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der chemischen Analysen. Klare Trends bzw. Gruppierungen wie bei den Wachstumsparametern lassen sich hier nicht identifizieren.

Tabelle 5: Mittelwerte der Stickstoff-, Kohlenstoff und Nitratstickstoffgehalte anteilig an der Trockensubstanz [%TS]

	N	C	Nitrat-N
	- [%TS] -		
K1	3,2	38,0	0,11
K2	4,6	38,3	0,25
K3	6,3	33,9	1,02
K4	5,2	36,0	0,60
K5	4,3	38,6	0,16
K6	3,0	37,9	0,10
K7	5,4	38,3	0,34

4.2.1 Kohlen- und Stickstoffgehalte der Pflanzen

Die Mittelwerte der Stickstoffgehalte liegen im Bereich zwischen 3 und 6,3 %TS.

(Abbildung 9) Den statistisch signifikant höchsten Anteil Stickstoff am TG der

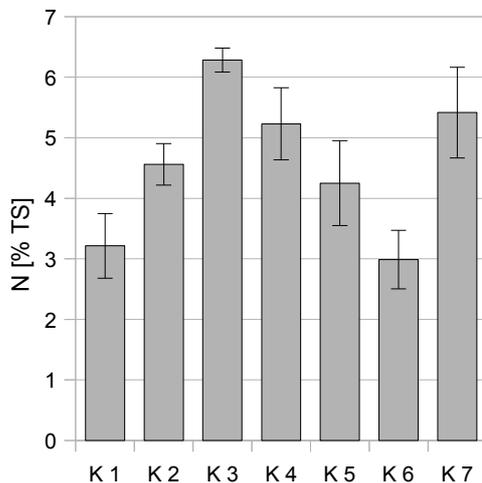
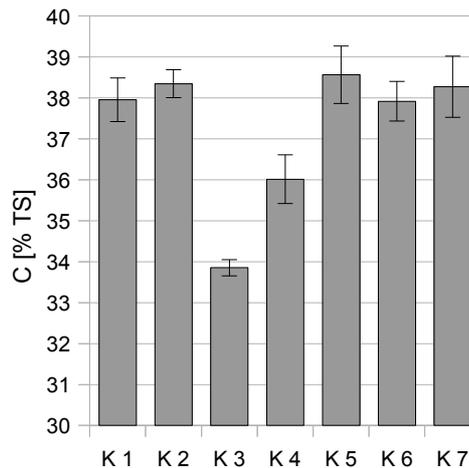


Abbildung 9: Mittlerer Stickstoffgehalt [%TS] und Standardabweichung

Pflanzen weist dabei K3 auf, die statistisch signifikant geringsten K1 und K6. Die restlichen Werte verteilen sich gleichmäßig über den dazwischenliegenden Wertbereich. Die Kontrolle hat mit einem Gehalt von 5,4 %TS den zweithöchsten Stickstoffgehalt, und ist zusammen mit K4 statistisch signifikant. Die höchste Standardabweichung findet sich bei K7. Hier weisen Pflanzen einzelner Töpfe bis zu einem 1%-Punkt Unterschied (total) im Stickstoffgehalt an der TS auf.

Die mittleren Kohlenstoffgehalte der Pflanzen liegen im Bereich zwischen 33,9 und 38,6% (Abbildung 10). Außer K3 und K4 haben alle Varianten ähnlich hohe und nicht signifikant voneinander abweichende Werte zwischen 38 und 38,6%. K3 und K4 fallen jeweils statistisch signifikant mit 33,9 und 36% aus der Reihe. Nach Betrachtung der Werte stellt sich die Frage nach dem Verhältnis der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte zueinander. Es scheint hier keine direkt ersichtliche Korrelation vorzuliegen. (vgl. Abbildung 10: Mittlerer Kohlenstoffgehalt [%TS] und Standardabweichung Abb. 9 u. 10).



4.2.2 Nitratstickstoff der Pflanzen

Die Mittelwerte der Nitratstickstoffgehalte der Pflanzen liegen im Bereich zwischen 0,09 und 1,2% Anteil Nitratstickstoff an der TS (Abbildung 11). Sie unterscheiden sich

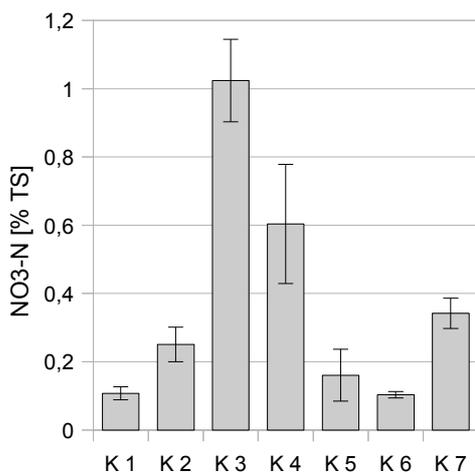


Abbildung 11: Mittlerer Nitratstickstoffgehalt [%TS] und Standardabweichung

damit in ihrer Höhe um bis zu mehr als eine Potenz. Auffällig ist der statistisch signifikant höchste Anteil von 1%TS bei K3. Am zweithöchsten erweist sich der statistisch signifikante Gehalt bei K4, bei zugleich größter Standardabweichung. K1, K2, K5 und K6 haben sehr niedrige, nicht statistisch signifikante Werte zwischen 0,1 und 0,25%. Die Kontrollvariante K7 liegt mit 0,34% ebenfalls im verhältnismäßig niedrigen Bereich. Die unterschiedlich großen

Standardabweichungen sind vermutlich auf das sehr empfindliche Messverfahren zurückzuführen.

5 Diskussion

5.1 Wachstum

Stellvertretend für die Wachstumsparameter werde ich im Folgenden hauptsächlich anhand des Trockengewichts die Versuchsergebnisse interpretieren.

5.1.1 Trockengewicht und Pflanzenoberfläche

Da die Messergebnisse für TG und Oberfläche der Spinatpflanzen stark korrelieren (Abbildung 12) diskutiere ich hier die Ergebnisse der beiden Analysen weitgehend

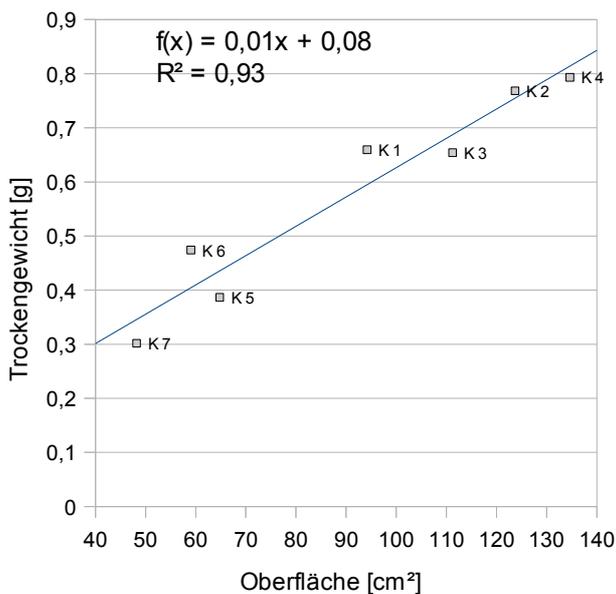


Abbildung 12: Trockengewicht [g] über Oberfläche [cm²] je Pflanze

anhand des TG. Dieser Parameter wird auch im Literaturkontext am häufigsten als Indikator für Wachstum verwendet.

Wie im Ergebnisteil dargestellt, gibt es teilweise große Unterschiede zwischen den Varianten bei den verschiedenen

Wachstumsparametern. Diese betragen beim FG bis zu 335% beim TG bis 263%, bei der anteiligen TS bis 166% und bei der Oberfläche bis

279% (höchster Wert im Verhältnis zum jeweils niedrigsten Wert).

Betrachtet man die Ergebnisse im Kontext der Literatur, so muss zunächst gesagt werden, dass vor dem Hintergrund oft weit variierender Wachstumsbedingungen zwischen Versuchslayouts jeder Vergleich mit Vorsicht gezogen werden muss. Hier spielen zum Beispiel Wachstumsdauer, Klima und Boden erhebliche Rollen. Klomfaß [2012] vergleicht in ihrem Topfversuch das Wachstum von Spinatpflanzen der Sorte Amazon auf verschiedenen kommerziell erhältlichen Substraten, darunter auch Palaterra®, in 1l-Tetrapacks. Die im Gewächshaus angebauten Pflanzen erreichen nach ca. 70 Tagen bei Temperaturen von 12-15°C Frischgewichte zwischen 0,4 g und 11 g (bei allerdings erheblich geringeren Blattzahlen als im eigenen Versuch). Das Wachstum auf dem Substrat Palaterra® erreicht bei Klomfaß einen wesentlich höheren Wert mit 10,4 g FG je Pflanze als im eigenen Versuch (K6: 2,6 g FG). Allerdings wurde hier im Gegensatz zum eigenen Versuch nicht mit Sand oder anderem Boden

gemischt, was mit höheren Nährstoffgehalten und damit erhöhtem Wachstum einhergeht. Bei Muramoto [1999] erreichten verschiedene Spinatsorten im Freiland durch Kompostdüngung (in Kalifornien) Gewichte zwischen 11 g (Sorte Kerdion RZ) nach 46 Tagen auf sandigem Lehm und 18 g (Sorte Space) nach 70 Tagen auf lehmigem Sand. Auffällig sind also die im Vergleich geringen Gewichte selbst des bestwachsenden Spinats im eigenen Versuch. In Bezug auf die anteilige Trockensubstanz liegen die meisten Tabellwerte mit 4 – 10 %TS [Breuer, König *et al* 2003], [Wonneberger & Keller 2004] leicht unter den eigenen Werten (Tabelle 6). Nur bei Klomfaß [2012] finden sich auch TS-Werte die höher sind als die eigenen. Wie die Ergebnisse des eigenen Versuchs andeuten und diejenigen von Klomfaß [2012] bestätigen, haben besonders kleine Pflanzen tendenziell höhere Trockensubstanzen. Dazu passt, dass im Literaturvergleich die eigenen Ergebnisse für Frischgewicht eher niedrig und für die Trockensubstanz eher hoch sind. Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der eigenen Versuche den Literaturwerten der Ergebnisse anderer Versuche gegenüber:

Tabelle 6: Literaturwerte und eigener Versuch: TS [%] und FG [g] pro Pflanze

Trockensubstanz und Frischgewicht		
Quelle	TS [%]	FG [g]
Wonneberger & Keller 2004	6-10	-
Breuer, König et al 2003	4-6	-
Muramoto 1999, Marktanalysen	7,3	16,5
Muramoto 1999, eigener Versuch	-	11-18
Klomfaß 2012	8,4 – 21,7	0,4 – 11,0
Eigener Versuch K1-K6	8,4 - 13,6	2,6 - 8,6

Die Gründe für unterschiedliches Wachstum zwischen den Varianten im eigenen Versuch können vielfältig sein und sind so komplex, dass bereits beim

Zusammenspiel von mehr als drei Wachstumsfaktoren [Schubert 2006, S.70] nur schwer eine Kausalaussage gefällt werden kann. Über den Einfluss wichtiger Bodenfaktoren wie dessen Feuchte und Temperatur, Nährstoffgehalte und -verhältnisse, Textur, Struktur und pH-Wert des Bodens [Bergmann 1993] soll im Folgenden abgewogen werden.

Als Indikator für Bodenfeuchte und Wasserversorgung lassen sich aus Tabelle 7 die durchschnittlichen täglichen Gießmengen entnehmen. Die Vermutung, dass das abweichende Gießverhalten möglicherweise eine Bevorteilung bestimmter Varianten mit sich gebracht haben könnte, lässt sich nicht bestätigen, da hier keine direkte Korrelation zwischen Gießmenge und Wachstum zu beobachten ist.

Der Einfluss der Bodentemperatur wird hier nicht näher analysiert, da diese nicht Gegenstand der Betrachtungen war und von größeren Abweichungen der Varianten voneinander nicht auszugehen ist. Weitaus mehr Beachtung verdienen Nährstoffgehalte, -verhältnisse und -verfügbarkeit.

Die Stickstoffversorgung betrachte ich in den Kapiteln zu Kohlen- und Stickstoff und zu Nitratstickstoff genauer und fokussiere sie in diesem Kapitel weniger stark, obwohl eine ausreichende Stickstoffversorgung für das Pflanzenwachstum als wesentlich gilt [Bergmann 1993]. In Bezug auf alle Nährstoffe gilt, dass der beigemischte Sand nur wenige Austauschplätze für die Nährstoffe besitzt und selbst als nährstoffarm gilt [Schubert 2006]. In den folgenden Betrachtungen fokussiere ich mich deshalb auf die Rolle der Komposte. In welchen Mengen und inwiefern diese Nährstoffe zur Verfügung gestellt haben, kann über Menge, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, C/N-Verhältnis und N-Gehalt der Komposte vermutet werden (vgl. Tabelle 8)

Tabelle 7: Durchschnittliche Bewässerungsmenge

	durchschnittl. Bewässerungsmenge [g/ Tag]
K 1	40,3
K 2	38,3
K 3	27,8
K 4	34,2
K 5	31,3
K 6	34,7
K 7	32,0

Tabelle 8: Physikalische und chemische Komposteigenschaften

	C/N	Mengenanteil [kg TG/Topf]	pH (H ₂ O) - log ₁₀ H ⁺	el. Lf. [μS/cm]
K1	27,67	0,12	7,8	873
K2	21,05	0,11	7,6	1043
K3	10,55	0,08	8,6	3655
K4	14,43	0,08	8,3	2515
K5	32,65	0,06	7,3	2030
K6	24,39	0,05	8,4	1648
K 7*	-	0,0	6,5	n.g.**

* bei K/ Sandeigenschaften

** nicht gemessen

In Anbetracht der unterschiedlich hohen, Beimischungsmengen an Kompost ist es relevant die Abhängigkeit des Pflanzenertrags von der Kompostmenge zu betrachten. Tendenziell lässt sich hier ein

erhöhtes Wachstum [TG] diagnostizieren je höher die Kompostgabe ist (vgl. Abbildung 13). Der Zusammenhang löst sich bei den CaSa-Komposten K1 - K4 aus dem selben Produktionsverfahren auf. Hier scheinen andere Mechanismen zu überwiegen. Die durchschnittlich aber dennoch positive Wirkung einer größeren Menge Kompost kann an der Höhe der Nährstoffbeimengung, der pH-Veränderung, der KAK-Erhöhung oder anderen positiven Effekten, wie zum Beispiel der Verbesserung der Bodenstruktur, liegen.

Normalerweise erhöht das Einbringen bei leichten, kalkarmen, schwach sauren Böden den pH um ungefähr eine Einheit [Gisi, Schenker *et al* 1997]. Als für Spinat optimal gilt der pH-Bereich für Spinat zwischen 5,5 - 7 [Röber & Schacht 2008, S. 300]. Mit

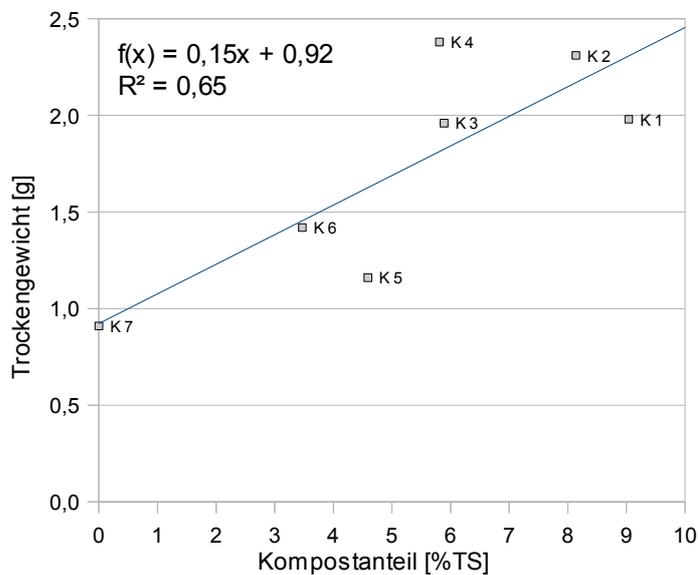


Abbildung 13: Trockengewicht je Pflanze [g] über Kompostanteil je Topf [%TS]

einem Sand-pH von 6,5 und Kompost-pH-Werten zwischen 8,6 und 7,3 (in H₂O) sollten alle pH-Werte in diesem Bereich gelegen haben (Tabelle 9). Von der Messung in Wasser muss im Schnitt 0,5 - 1 pH-Einheit [BGR 2005] abgezogen werden um die Werte mit der besser geeigneten Messung in CaCl₂ ungefähr vergleichen zu können. Besonders hohe pH-Werte weisen die reinen Komposte K3

und K4 mit Werten über 8 bei zugleich höchstem Frisch-, Trocken- und Oberflächenertrag auf, während K6 mit ebenfalls hohem pH über 8 das niedrigste Wachstum nach der Kontrolle aufweist (Abbildung 13, Tabelle 9). Bei allen drei Komposten wurde zusätzlich zur normalen Kompostierung auch ein anaerober Fermentationsschritt vollzogen, welcher in 3 von 4 Versuchen von Factura, Bettendorf *et al* [2010] den gleichen alkalisierenden Effekt auf das Substrat hat. Tendenziell verschlechtert ein erhöhter pH-Wert die Verfügbarkeit von Fe, Mn, Zn, Cu, während es diejenige der anderen Nährstoffe eher verbessert [Finck 2007]. Einen besonderen Effekt auf das Pflanzenwachstum weisen Lehmann, Pereira da Silva *et al* [2003] der hohen Verfügbarkeit von K auf einem mit Kohle angereicherten Ferralsol nach. Auch die Zink- und Phosphorversorgung verbessern sich auf diesen Böden. Spinat hat mit 3,5-5,5%TS einen eher hohen K-Bedarf unter den Gemüsepflanzen. Bei Zink liegt der Wert eher im unteren Bereich, die Phosphorgehalte sind mit 0,4-0,6 %TS eher hoch [Bergmann 1986, S.29] Ob sich der hohe Kompostgehalt aber hier in höheren K-, Zn- und P-Gaben und daraus resultierend besserer Ernährung niederschlägt lässt sich ohne Messung nicht genau nachvollziehen. Einer der wichtigsten Vorteile kohleverbesserter Böden in den Tropen ist die veränderte KAK. Viele Studien zu Terra-Preta bzw. Biokohle weisen eine erhöhte KAK nach, was unter zusätzlicher Zugabe von

Nährstoffen deren Auswaschung mindert und die Versorgung der Pflanzen verbessert [Lehmann, Gaunt *et al* 2005], [Atkinson, Fitzgerald *et al* 2010]. Schulz und Glaser [2012, S. 419f] vermuten eine solche KAK-Erhöhung insbesondere bei mikrobiell aktivierter Kohle, wie sie durch gemeinsame Kompostierung von Kohle und Kompost, oder gemeinsame Fermentation entstehen kann. Dieser Effekt könnte im eigenen Versuch die KAK angehoben haben. Insgesamt sollte diese aber wegen nur geringfügig vorhandener Auswaschung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Lediglich ein Halten der Nährstoffe im Oberboden und damit ein positiver Wachstumseffekt besonders zum Vegetationsbeginn wäre denkbar. Da keine Messungen dazu durchgeführt wurden, wird der Effekt an dieser Stelle nicht näher betrachtet.

Betrachtet man das Pflanzentrockengewicht über den Gesamtstickstoffgehalt des Substrats bzw. C/N-Verhältnis des Komposts, zeigt sich eine leichte Tendenz zu höheren Gewichten bei höherem Gesamtstickstoffgehalt im Topf (bzw. bei niedrigerem C/N-Verhältnis). Exemplarisch ist das Trockengewicht über den N-Gehalt je Topf in Abbildung 14 dargestellt. Dieser Zusammenhang ergibt sich ebenso wenn das Trockengewicht über das (abnehmende) C/N-Verhältnis abgetragen wird, da die Substrate mit hohem N-Gehalt die niedrigeren C/N-Verhältnisse aufwiesen. Im

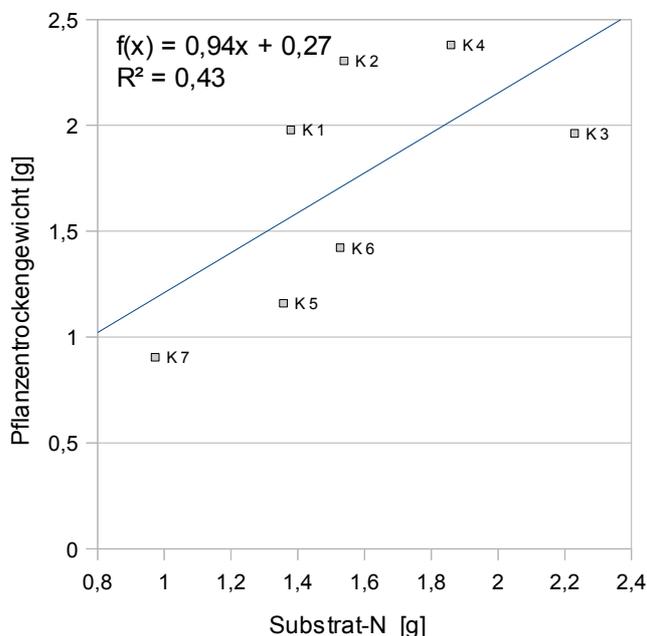


Abbildung 14: Trockengewicht je Pflanze[g] über Gesamtstickstoffgehalt je Topf [g]

Nährstoffen den Ertrag begrenzen könnten. Ionenantagonismen wie sie zwischen NH_4^+ und K, Ca und Mg auftreten können sind aufgrund der hohen NH_4^+ -Gehalte

Gesamtstickstoffgehalt sind alle Stickstoffarten, sowohl löslicher als auch organisch und mineralisch gebundener Stickstoff einbegriffen, eine ausführlicher nach Spezies differenzierte Betrachtung erfolgt im Diskussionsteil zu Nitratstickstoff. Möglicherweise tritt bei K3, wo das Substrat den höchsten Stickstoffanteil besitzt, bereits ein Überschuss auf, was heißt, dass Mangel anderer Nährstoffe oder Konkurrenz zwischen den

insbesondere der Komposte K3 und K4 nicht auszuschließen [Bergmann 1986]. In Bezug auf andere Nährstoffe ist bei niedrigen C/N-Verhältnissen eher von deren Verfügbarkeit auszugehen, da dann bei gleichem Ausgangsmaterial die Mineralisierung bereits weiter fortgeschritten ist [ZVG 2002], während hohe Werte mit Immobilisierung von Stickstoff und damit geringerem Wachstum einher gehen können. Ein wichtiger Hinweis auf verfügbare Nährstoffe ist die elektrische Leitfähigkeit (Tabelle 9). Hohe Werte können hier als Indikator für Nährstoffe in ionischer Form gewertet werden. Höchste Werte finden sich bei K3 und K4. Für K1 bis K4 lässt sich als Indikator für Nährstoffreichtum außerdem ein direkter Zusammenhang zwischen C/N und Leitfähigkeit diagnostizieren. Factura, Bettendorf *et al* [2010] stellen erhöhte lösliche Stickstoff- und Phosphatgehalte nach der Fermentation von Organik fest, was im Eigenen Versuch das Wachstum von K3, K4 und K6 positiv beeinflusst haben könnte. Insgesamt fällt auf, dass K3 trotz höchstem pH, Leitfähigkeit, Substrat-N-Gehalt und niedrigstem C/N-Verhältnis beim TG hinter K1, K2 und K4 zurück bleibt. Hier scheinen neben z.B. der tatsächlichen Verfügbarkeit von Nährstoffen also noch weitere, ungemessene Effekte eine Rolle zu spielen.

5.1.2 Blattzahl

Die durchschnittlichen Blattzahlen liegen zwischen 9,2 und 13,5. Unterschiede zwischen den Varianten sind damit kleiner als es bei den anderen Wachstumsparametern der Fall ist. Das heißt, dass die Pflanzen auch bei geringerem Massen- und Oberflächenwachstum verhältnismäßig viele Blätter ausbilden, diese dann aber kleiner sind. Klomfaß [2012] zählt in ihrem Versuch zwischen 3,5 und 9,3 Blätter je Pflanze, allerdings unterscheiden sich Erntezeitpunkt und Anbauart auch erheblich vom eigenen Versuch. Auffällig ist die weniger starke Streuung der Werte im eigenen Versuch, was bedeuten kann, dass die eigenen Substrate sich insgesamt ähnlicher waren als diejenigen von Klomfaß. Da im allgemeinen wenig Tabellenwerte zu Blattzahlen existieren und diese, ähnlich wie das Gewicht, stark vom Erntezeitpunkt abhängen, werde ich auf diese nicht genauer eingehen.

5.2 Chemische Analysen

5.2.1 Kohlen- und Stickstoff

Im eigenen Versuch liegen die Stickstoffkonzentrationen bei 4- 6,4 g/ kg FG bzw. 3- 6,3% TS damit im Literaturvergleich in einem eher höheren Bereich, was auf eine gute Stickstoffversorgung schließen lässt (Tabelle 9). Die Stickstoffgehalte von Spinat

Tabelle 9: Literaturwerte und eigener Versuch: Stickstoffgehalt [g/kg FG] und [%TS]

Quelle	Stickstoffgehalt	
	[g/kg FG]	[% TS]
KTBL 2009	3,6 (Feldabfuhr)	-
Finck 1992	3 - 5 (Ernteertrag)	-
Röber & Schacht 2008	5,8 (Bedarf)	-
Krug, Liebig et al 2003	3,6 (Marktertrag/ Gesamtaufwuchs)	-
Breuer, König et al 2003	-	4-6
Bergmann 1986 (gerade voll entwickelte Blätter)	-	3,8 – 5
Klomfaß 2012	-	2 – 6
Eigener Versuch K1-K7	4 – 6,4	3,2 - 6,3

werden in der Literatur meist in g/kg FG angegeben, wobei FG unterschiedlichen Ernteanteilen entsprechen kann. FDL geht von 3,6 g/kg FG [KTBL 2009] Feldabfuhr aus. In A. Fincks

'Dünger und Düngung' liegt der Wert bei 3-5g/kg Ernteertrag [Finck 1992, S.355]. Bei Röber und Schacht finden sich Angaben zum Stickstoffbedarf des Spinats die von 5,8g/kg Marktertrag ausgehen [Röber & Schacht 2008, S. 299]. Der etwas höhere Wert ergibt sich da auf den Stickstoffbedarf für den Marktertrag der Bedarf der gesamten Pflanze umgelegt werden muss. Demzugrunde liegt vermutlich die Annahme, dass keine 100%ige Aufnahme des gedüngten Stickstoffs erfolgt sowie die Praxis, dass von der Pflanze nur 70-95% [KTBL 2009] geerntet werden. In Bezug auf die Trockensubstanz liegen die Werte ungefähr im Bereich der von Breuer, König *et al* [2003] als Normbereich betrachtet wird, hier wären K1 und K6 mangelernährt während K3 überernährt wäre. Im Vergleich zum Bereich bei Bergmann [1986] liegen sie eher im hohen Bereich. Bei Klomfaß [2012] liegen die Werte zwischen ca. 2 und 6% TS. Vergleicht man die getroffene Annahme, dass die Pflanzen 35mg bis zur Ernte aufnehmen, mit den tatsächlichen Stickstoffgehalten, so ergibt sich dass der prognostizierte Gehalt von einigen Pflanzen stark unter- und leicht überschritten (Tabelle 10). Die Gruppen K2 - K3 lässt sich hier deutlich von K5 - K7 unterscheiden, während K1 eher im Mittelfeld liegt. Die Kontrolle erreicht einen Wert von 16,35mg, was darauf hindeutet, dass die zugrunde liegende Kalkulation nicht zutreffend ist.

Tabelle 10: Stickstoffgehalt je Pflanze [mg/Pflanze]

	Stickstoff [mg/ Pflanze]
K 1	21,20
K 2	35,04
K 3	41,11
K 4	41,49
K 5	16,44
K 6	14,16
K 7	16,35

Gründe für das starke Abweichen von bis ca. 20mg könnten auf unzutreffende Annahmen in Bezug auf die Verfügbarkeit und

Applikation des Mineralstickstoffdüngers mit einem Becherglas zurückzuführen sein. Zu ersterem besteht die Möglichkeit, dass die N_{min} -Messergebnisse nicht zutreffend waren, da sie an einer anderen als der verwendeten Charge des gleichen Sands vorgenommen wurden. Da der Anteil am gesamten Mineralstickstoffgehalt durch den Sand jedoch ohnehin sehr

gering war sollte dieser Fehler nur sehr klein sein (vgl Anhang A4). Ungenaue Applikation des Düngers könnte ebenfalls eine Rolle spielen (vgl. Kap. Versuchvorbereitung), könnte dann aber mehrere Varianten betreffen. Da der Kontrolle keine Organik zugefügt wurde ist mit niedriger Bodenaktivität zu rechnen, weswegen biologische Prozesse für die Verfügbarkeit des Stickstoffs im Kontrollbodens kaum eine Rolle spielen dürften. Der Nitratstickstoff müsste hier demnach weitgehend verfügbar geblieben sein. Von Bedeutung für die Verfügbarkeit des Ammoniumstickstoffs sind neben der hier nicht zu erwartenden biologischen Aktivität der pH-Wert, die Temperatur und der Wassergehalt. Der im leicht sauren Bereich liegende pH-Wert von 6,5 bewirkt, dass das NH_4^+/NH_3 -Gleichgewicht zur Bildung von NH_4^+ verschoben ist. Andere Faktoren wie Bodenart und die hohe Temperatur wirken sich jedoch positiv auf die Umwandlung in Ammoniak und die Ausgasung aus [Scheffer, Schachtschabel *et al* 2010, S. 410]. Das Bewässerungsregime von 60% FK Wassersättigung und Beobachtungen während des Versuchs zeigen, dass kein Wasser am Topfboden ausgetreten ist und Auswaschung somit eine geringe Rolle spielt. Möglicherweise haben die Wassergehalte nicht zu ausreichend Massenfluss/ Diffusion zur Wurzel [Bergmann 1993, S.31f] und geringem Wachstum ebendieser geführt, so dass nicht genug Stickstoff zur Wurzel transportiert werden konnte.

Für die Varianten K1 – K6 muss eine komplexere Dynamik angenommen werden, da durch das Vorhandensein organischer Substanz das Stickstoffangebot und die Bodenaktivität beeinflusst werden [Finck 1992]. So ist in allen Varianten zusätzlich zum Mineralstickstoff organisch gebundener Stickstoff vorhanden. Ein Zusammenhang wird in Abbildung 15 deutlich. Tendenziell geht hier, mit Ausnahme der Kontrolle, eine höhere Gesamtstickstoffgabe im Substrat mit höheren N-Gehalten der Pflanze (% TS) einher, was sich dadurch erklären lässt, dass bis zu 10% des

Gesamtstickstoffs aus Komposten pro Vegetationsperiode freigesetzt werden können [Röber & Schacht 2008]. Das Bestimmtheitsmaß R^2 erhöht sich für die Betrachtung ohne Kontrolle auf 0,73. Berücksichtigt man die unterschiedliche Herstellung von K1- K4 im Vergleich zu K5 und K6 und zu K7 und betrachtet die CaSa-

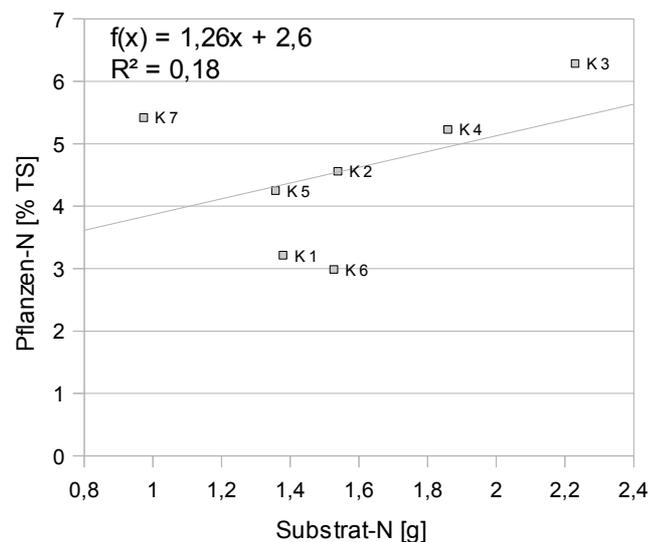


Abbildung 15: Pflanzenstickstoffgehalt [%TS] über Substratstickstoffmenge [g/Topf]

sich der Zusammenhang ($R^2 = 0,93$). Eine wichtige Größe, die unterschiedliche Stickstoffdynamik erklären kann ist das C/N-Verhältnis. Allgemein gelten organische Substrate mit C/N-Verhältnissen bis 15...25 [Scheffer, Schachtschabel *et al* 2010, S. 405] als stickstofffreisetzend, liegt der C/N höher so besteht die Gefahr, dass Stickstoff im Boden immobilisiert wird [ZVG 2002]. Dabei sind die Fortgeschrittenheit des Rotteprozesses, Ausgangsorganik und die Behandlungsart maßgeblich für die Höhe des Wertes [ZVG 2002]. Ein niedrigeres C/N-Verhältnis lässt so einerseits auf das Vorhandensein löslicher Nährstoffe ins besondere von Stickstoff schließen und gibt andererseits Auskunft darüber wie die Bedingungen für weitere Mineralisierung sind. Ersteres bestätigen die höheren el. Leitfähigkeiten bei niedrigerem C/N-Verhältnis (Tabelle 9). Der zugegebene Mineralstickstoffdünger vermag wegen seiner verhältnismäßig zu geringen Menge das C/N-Verhältnis nicht anzuheben. Bei den Komposten K1, K5 und K6 sind C/N-Werte im hohen Bereich von 24, 5...32,7 zu finden, die mit niedrigsten Stickstoffgehalten an der Pflanzentrockensubstanz einher gehen. Im Vergleich zur Kontrollvariante könnte sogar Immobilisierung des Stickstoffs stattgefunden haben (Tabelle 10), was den höheren Stickstoffgehalt je Pflanze bei der Kontrolle (K7) im Vergleich zu K6 erklären könnte. Bei K2, K3 und K4 bildet sich das niedrige C/N-Verhältnis in einem hohen Stickstoffgehalt in [% TS] und [mg/Pflanze] ab. Das hohe C/N-Verhältnis von Kohle resp. Terra-Preta-Böden wird in vielen Studien als Grund für schlechte Stickstoffversorgung genannt [Lehmann, Pereira da Silva *et al* 2003], [Atkinson, Fitzgerald *et al* 2010]. Bei den CaSa-Komposten hat möglicherweise der geringe

Kohleanteil von ungefähr 5 Vol% diesen nachteiligen Effekt abschwächen können. Möglicherweise lassen sich die höheren C/N-Verhältnisse der Komposte K5 und K6 der Beimischung einer größeren Menge Kohle zuschreiben. So befinden sich in K5 10 Vol% Kohle [Krause 2012]. In Bezug auf die vorhandenen Stickstoffformen in der bereits zitierten Studie von Factura, Bettendorf *et al* [2010] konnten durch Fermentation erhöhte lösliche Stickstoff- und Phosphatgehalte an den Substraten gemessen werden, während zugleich die organische Substanz erhalten geblieben ist.

Auffällig ist die große Spannweite im Verhältnis der Kohlen- und Stickstoffgehalte der Pflanzen. Dies könnte einen unterschiedlichen Grad an Stickstoffversorgung indizieren, da diese einher geht mit verhältnismäßig geringerer Produktion von Proteinen bei Mangel und verminderter Produktion von Zuckern bei Überschuss [Bergmann 1993]. So weist K3 bei mit Abstand höchstem Stickstoffgehalt von 6,3%TS den niedrigsten C-Gehalt von 34%TS auf, was eventuell eine geringere Zuckersynthese und damit Stickstoffüberschuss indizieren kann.

Da die Komposte in Hinblick auf Zusammensetzung, Herstellungsverfahren, Rottegrad und somit eingebrachte Gesamtmasse und Nährstoffmengen stark voneinander abweichen, lassen sich hier nur schwer eindeutige Einflüsse benennen. Vielmehr scheinen die Einflüsse sich teilweise zu überlagern und ein Wechselspiel vieler Faktoren relevant zu sein.

5.2.2 Nitratstickstoff

Die Nitratwerte liegen im Versuch im Bereich zwischen 595,5 mg /kg FG und 3770,0 mg/kg FG Spinat (Tabelle 11). Eine Überschreitung des gesetzlichen Grenzwerts von 2500 mg/kg FG im Sommer (1.4-30.9.) und 3000 mg/kg FG im Winter (1.10.-31.3.) liegt dabei aber nur bei K3 vor. Auch K4 erreicht den Grenzwert beinahe. [VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006] Der Grund für das Einführen von Grenzwerten für Nitrat ist die schädliche Wirkung auf die menschliche

Tabelle 11: Nitratgehalt [mg NO₃/kg FG] und Grenzwertüberschreitung

	Nitrat [mg NO ₃ / kg FG]	Grenzwert- überschrei- tung
K1	595,9	nein
K2	1148,9	nein
K3	3770,0	ja
K4	2479,2	nein
K5	779,1	nein
K6	618,0	nein
K7	1796,9	nein

Gesundheit. Es beeinträchtigt die Sauerstoffversorgung des Organismus, was besonders für Kleinkinder gefährlich ist, und weist über Zwischenprodukte in

Tierversuchen eine karzinogene Wirkung auf [Ledig & Wittke 1994] [Schubert 2006, S.71].

Im Literaturvergleich sind die Werte nach Bergmann [1986] mit Ausnahme von K3 im Normbereich, wie Tabelle 12 zeigt. Lediglich K3 überschreitet diesen leicht.

*Tabelle 12: Literaturwerte und eigener Versuch: Nitrat-
[NO₃⁻/kg FG] und Nitratstickstoffgehalte [%TS]*

	Nitrat	Nitratstickstoff
Quelle	[mg NO ₃ ⁻ /kg FG]	[%TS]
Bergmann 1986, (Blätter)	349 - 3890	-
Klomfaß 2012	2955,8 - 72540,5	-
Muramoto 1999, Marktanalysen	600 - 3400	-
Muramoto 1999, eigener Versuch	220 - 1300	-
K1-K7	595,9 - 3770	0,11 – 1,01

Vergleicht man die eigenen Werte mit den aus unterschiedlichen Anbauarten und -zeiten stammenden Spinatproben von Muramoto [1999], so findet sich mit K1 sogar ein leicht unterbietender

Nitratgehalt. Im Vergleich zu Klomfaß [2012] liegen die eigenen Werte im unteren Bereich.

Wichtige Faktoren in Bezug auf die Anreicherung von Nitratstickstoff in Pflanzen sind Rate und Art der Stickstoffdüngung, Bodenaktivität, Bodentextur, Temperatur und Licht bzw. Erntezeitpunkt [Muramoto 1999, S 2][Grierson 2002]. Hohe Temperaturen führen nach Grierson [2002] zu höheren Nitratwerten. Auch Lichtmangel führt zu einer Anreicherung von Nitrat, da es erst im Photosyntheseprozess assimiliert wird. Muramoto [1999] empfiehlt deshalb am Nachmittag zu ernten. Recht warme Temperaturen sowie die morgendliche Ernte im Versuch könnten die Höhe der Nitratwerte beeinflusst haben. [Muramoto 1999] Da Umweltfaktoren wie Temperatur und Beleuchtung im eigenen Versuch für alle Pflanzen gleich waren, können diese aber höchstens ein Teil der Erklärung für Unterschiede zwischen den Varianten sein. Hier muss den Bodenfaktoren größere Bedeutung zukommen. Wegen gleicher Ausgangsmineralstickstoffgehalte, zugleich aber unterschiedlich hohen Anteilen der einzelnen Spezies, macht hier eine nach der NO₃-Spezies differenzierte Betrachtung des Ausgangsmineralstickstoffs Sinn. In Abbildung 17 sind die Gehalte an NO₃-Stickstoff zu sehen. Der Ausgangsnitratstickstoffgehalt der Substrate zeigt wider Erwarten keine direkte Korrelation zu den Nitratstickstoffgehalten der Pflanzen. Betrachtet man die Spezies in Relation zueinander, so lassen sich relativ hohe NH₄⁺/NO₃⁻-Verhältnisse bei den eigenen Komposten (K1-K4) feststellen, wenn sie

vogegärt wurden (K3, K4). In den Fermentationsversuchen von Factura, Bettendorf *et*

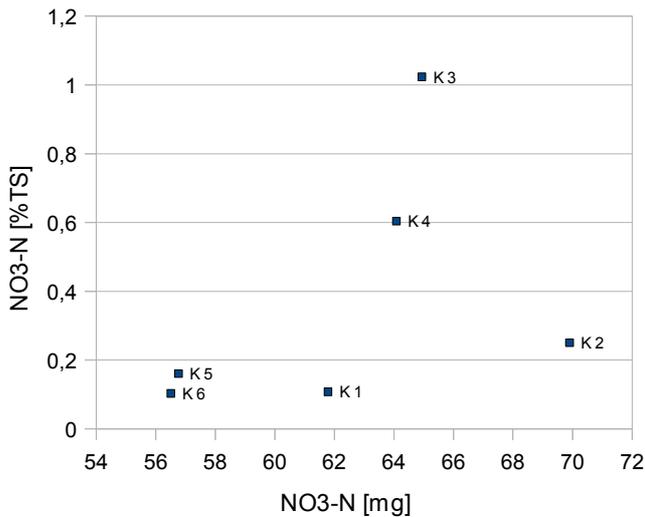


Abbildung 17: Nitratstickstoffgehalt der Pflanze [%TS] über Nitratstickstoffgehalt des Substrats je Topf [mg]

zugleich niedrigsten Pflanzen-Nitratgehalt. Da in den Komposten auch unterschiedlich hohe Gehalte organisch gebundenen Stickstoffs enthalten sind, ist auch eine Betrachtung der Gesamtstickstoffgehalte und des für die Mineralisierung wichtigen CN-Verhältnis erforderlich. Abbildung 16 zeigt die Abhängigkeit des

Nitratstickstoffgehalts des Spinats vom Gesamtstickstoffgehalt des Substrats. Da bei der Kontrolle K7 eine grundlegend andere Stickstoffdynamik angenommen werden muss, kann sogar eine noch stärkere Korrelation angenommen werden als das Schaubild zunächst vermuten lässt. Einen ähnlich starken Trend sieht man in Abbildung 18. Hier zeigen sich deutlich höhere

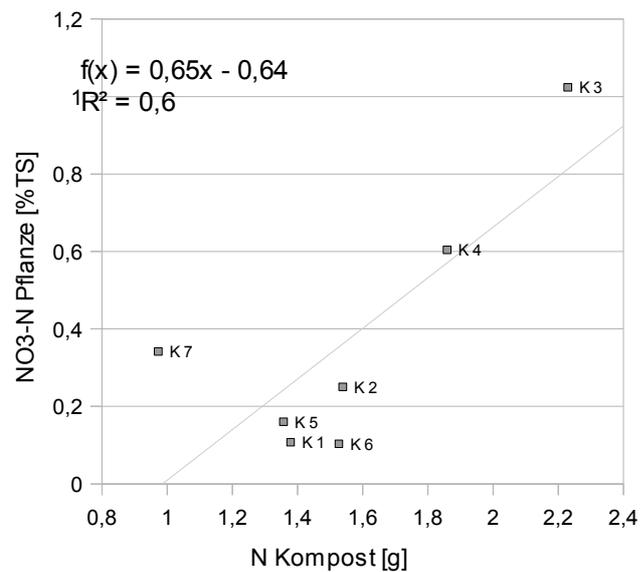


Abbildung 16: Nitratstickstoffgehalt der Pflanze [%TS] über Substratgesamtstickstoff [g]

Nitratstickstoffkonzentrationen je niedriger das C/N-Verhältnis ist. Hier muss also viel Stickstoff in löslicher Form während des Pflanzenwachstums vorgelegen haben. Da nur als Nitrat im Boden vorliegender Stickstoff sich in der Pflanze als Nitrat anreichern kann, muss es außerdem zum Auftreten von Nitrifizierern gekommen sein.

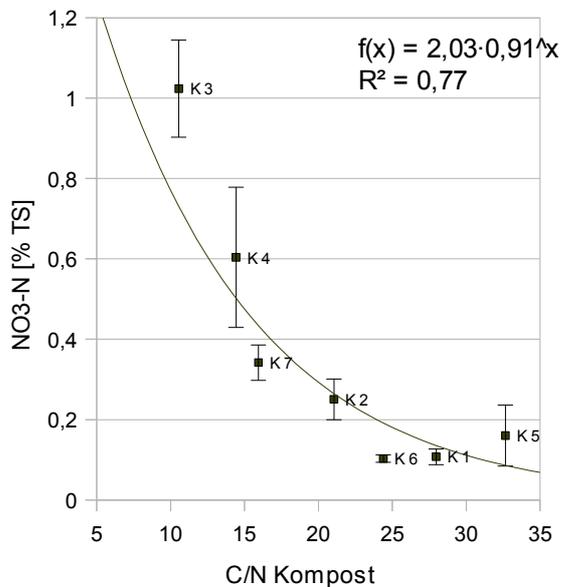


Abbildung 18: Nitratstickstoffgehalt [%TS] über C/N-Verhältnis des Komposts

Gesamtstickstoffgehalten der Pflanze, so zeigt sich, dass mit Ausnahme von K4 der Nitratanteil zusammen mit dem Gesamtstickstoffanteil steigt (Abbildung 19). Es zeigt sich auch, dass sich das Verhältnis des Nitrat-Stickstoffs zum Gesamtstickstoff mit steigendem Stickstoffgehalt verringert. Mit dem Steigen der Gesamtstickstoffgehalte wird also überproportional Nitrat angereichert ohne jedoch in organisch gebundenen Stickstoff umgewandelt zu werden. Diesen Zusammenhang stellte auch Klomfaß [2012] in ihrem Spinatversuch fest.

Ein wichtiger Faktor ist hier der pH-Wert, da er wesentlichen Einfluss auf die Nitrifizierung hat [Paul & Clark 1989]. Das Einbringen des Komposts sorgt für eine pH-Erhöhung (Vgl Tab), was sich positiv auf die mikrobielle Aktivität von Nitrifizierern auswirkt und zu vermehrter Umwandlung von NH_4^+ zu NO_3^- führen kann [Schubert 2006]. So weisen K3 und K4 die höchsten Kompost-pH-Werte und Nitratstickstoffgehalte auf. Vergleicht man die Nitrat- mit den

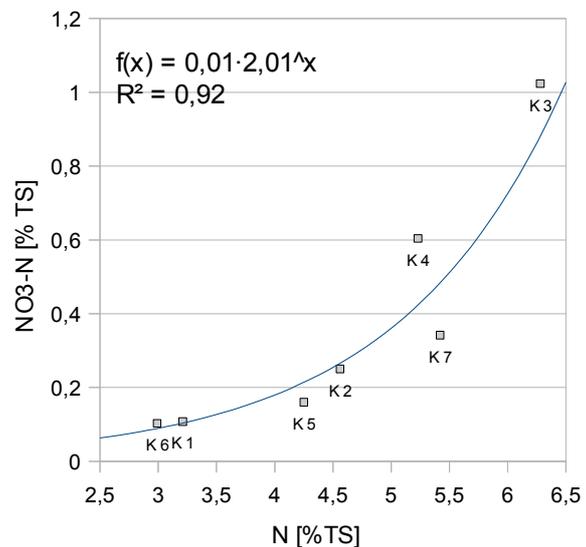


Abbildung 19: Nitratstickstoffgehalt der Pflanze [%TS] über Gesamtstickstoffgehalt der Pflanze [%TS]

6 Fehlerbetrachtung

Im Folgenden zähle ich auf welche Fehler ich gemacht und welche Einsichten ich ggf. durch den Versuchsverlauf gewonnen habe. Das soll anderen Personen ermöglichen ähnliche Fehler in ihren Vorhaben zu vermeiden bzw. die Ergebnisse genauer einordnen zu können. Eine genaue Auswertung werde ich nicht vornehmen. Wo erwähnt, finden sich Berechnungen zu den Fehlern im jeweils zugehörigen Anhang.

Mischungsverhältnis Substrat

Wie die Ergebnisse in Hinblick auf Ertrag (Trockengewicht) zeigen, scheint der Ertrag von der eingebrachten Kompostmenge abhängig zu sein. Eine Einbringung zum Beispiel nach Trockengewicht hätte Effekte vermieden, die von der Kompostmenge abhängig sind. Die Einbringung nach C-Gehalt führte zu stark variierender Einbringungsmenge.

Bewässerung

Berechnung der Sollwassergehalte

Beim Berechnen der Sollwassergehalte ist durch einen Rechenfehler in allen Töpfen eine zu große Menge an Wasser gegossen worden. Genau Werte und Fehler dazu finden sich in Anhang A5 und im Methodenteil zu Bewässerung.

Gießen während des Topfversuchs

Bei der Durchführung des Topfversuchs selbst könnten die teils stark vom Soll abweichenden Gießmengen eine Verzerrung der Ergebnisse verursacht haben. Wie in der Diskussion TG erörtert wird, ist aber keine direkte Korrelation zwischen Wachstum und Bewässerungsmenge ersichtlich gewesen.

Messung CN und N_{\min} Sand

Die Messung der Stickstoff- und Mineralstickstoffgehalte des Sandes fand jeweils an einer anderen als der selbst verwendeten Charge statt. Eine geringfügige Abweichung der tatsächlichen Gehalte ist hier möglich. Da es sich aber um Sand aus dem gleichen Aushub handelt ist von größeren Abweichungen nicht auszugehen.

Aufbewahrung der Proben

Wie im Methodenteil geschildert, ist unklar ob es sich beim weißlichen Belag auf den Proben nach mehrwöchiger Lagerung lediglich um Ausbleichung oder aber um Zersetzungserscheinungen handelt. Da im Falle eines Wassereintrags durch die Mühle, vermutlich nicht in alle Proben gleichviel Wasser eingetragen worden wäre bzw. die Zersetzungsdynamiken voneinander abgewichen wären, hätte sich dies vermutlich durch auch innerhalb der Varianten stärker voneinander abweichende C/N-Gehalte bemerkbar gemacht, als die Messung es ergab (vgl. Anhang A1). Da sich dies nicht genau rekonstruieren lässt, lässt sich diese Frage aber nicht abschließend beantworten.

7 Fazit

In Hinblick auf die Zweckhaftigkeit der verschiedenen Kompostierungsverfahren des CaSa-Projekts zeigt sich, dass offenbar zugesetzte Mikroorganismen ohne und mit Gärung (K2 u. K4) das Pflanzenwachstum am besten befördern konnte. Insgesamt zeigen alle Pflanzen auf CaSa-Komposten höheres Wachstum als K5, K6 sowie die Kontrolle (K7). Als qualitativer Parameter liegt der Stickstoffgehalt bei K3 und K4 am höchsten, was auch mit dem höchsten Nitratstickstoffgehalt einhergeht. Die Ergebnisauswertung hat einen Zusammenhang zwischen Nitratstickstoff- und Gesamtstickstoffgehalt der Pflanzentrockensubstanz gezeigt.

Wichtig wäre an dieser Stelle alle weitere Forschung für das komplette Kompostierungsverfahren und dessen Wirkung auf Pflanzenwachstum soweit wie möglich in Karagwe, derjenigen Umgebung, zu erproben, in der sie auch angewandt werden sollen. Hier ist ein unter den hiesigen Bedingungen geführter Gewächshausversuch sicher nur bedingt aussagekräftig. Trotzdem können den Ergebnissen Tendenzen entnommen werden, welcher Kompost vielversprechende Wirkungen hat und die Verfahren davon ausgehend angepasst werden. Um das bestgeeignete CaSa-Verfahren zu finden, wäre es sinnvoll sich weiter mit den Auswirkungen der Gärung und dem Einsatz von Mikroorganismen auf die wachstumsfördernde Wirkung auseinanderzusetzen und die hier erzielten Ergebnisse in weiteren Versuchen zu bestätigen oder zu widerlegen. Ebenso bleibt zu erforschen auf welche Art mit abweichenden Ausgangsmaterialien gute Ergebnisse erzielt werden können. So werden sowohl die Schaffäzes durch Menschenfäzes, sowie zum Beispiel Buchenkohle und Schafwolle vermutlich durch andere vorhandene Materialien ersetzt werden. Genau das entspricht aber den Prinzipien nach denen beim CaSa-Projekt die „Terra-Preta-Komposte“ gedacht werden: sie sollen lokale Stoffkreisläufe schließen und müssen deshalb mit lokal verfügbaren Materialien hergestellt werden können.

Um Rückschlüsse über eine nachhaltige Bodenverbesserung durch „Terra-Preta-Komposte“ ziehen zu können, wäre es interessant in weiteren Forschungsprojekten auch den Langzeitertrag und die Langzeitwirkung auf den Boden zu betrachten.

Weiterer Anhaltspunkt für die Ergebnisinterpretation kann die Analyse weiterer Makro- und Mikronährstoffe in Substrat und Pflanze sein und davon ausgehend das Verfahren weiter optimiert werden. Auch die Anknüpfung an und der Vergleich mit herkömmlichen Kompostierungsverfahren der Landwirt_innen Karagwes wird

hilfreich sein um die Qualität der „Terra-Preta-Komposte“ zu verbessern und zu messen. Am Ende soll eine gesundheitlich verträgliche sowie dauerhaft ökologisch und agrarisch nützliche Kreislaufführung von Fäkalien und Abfällen resp. Nährstoffen dem Schulleben in Chonyonyo zu Gute kommen und die Machbarkeit dezentraler kombinierter Sanitär- und Landwirtschaftsansätze demonstrieren.

8 Quellen

- [Atkinson, Fitzgerald *et al* 2010] C. J. Atkinson, J. D. Fitzgerald, N. A. Hipps: Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review, *Plant and Soil* Nr. 337: S.1–18
- [Bergmann 1986] W. Bergmann: Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Visuelle und analytische Diagnose, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1986
- [Bergmann 1993] W. Bergmann: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart 1993
- [BGR 2005] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) - Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden - H. Sponagel, W. Grottenthaler, K.-J. Hartmann, R. Hartwich, P. Janetzko, H. Joisten, D. Kühn, K.-J. Dabel, R. Traidl: Bodenkundliche Kartieranleitung, Hannover 2005
- [Birk, Texeira *et al* 2012] J. J. Birk, W. G. Texeira, E. G. Neves, B. Glaser: Faeces deposition on Amazonian Anthrosols as assessed from 5 beta-stanols, *Journal of archeological Science* Nr. 38
- [Blume, Stahr *et al* 2011] H. P. Blume, K. Stahr, P. Leinweber: Bodenkundliches Praktikum, 3. Auflage, Heidelberg 2011
- [Breuer, König *et al* 2003] J. Breuer, V. König, D. Merkel, H.-W. Olf, B. Steingrobe, A.H. Wissemeier, W. Zorn: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen – Anwendung in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau, Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme 2003
- [CaSa 2011] A. Krause: Vorhabenbeschreibung, Planungsdokument für das CaSa-Projekt, Berlin 2011
- [Factura, Bettendorf *et al* 2010] H. Factura, T. Bettendorf, C. Buzie, H. Pieplow, J. Reckin, R. Otterpohl: Terra Preta Sanitation: re-discovered from an ancient Amazonian civilisation - integrating sanitation, bio-waste management and agriculture in *Water Science & Technology* 2010
- [Finck 1992] A. Finck: Dünger und Düngung – Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen, zweite Auflage, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1992

- [Finck 2007] A. Finck: Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten – Hirts Stichwortbücher, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 6. Auflage, Berlin - Stuttgart 2007
- [Franke 1976] Wolfgang Thieme: Nutzpflanzenkunde, Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1976
- [Gisi, Schenker *et al* 1997] U. Gisi, R. Schenker, R. Schulin, F. X. Stadelmann, H. Sticher: Bodenökologie, 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 1997
- [Glaser, Haumaier *et al* 2001] B. Glaser, L. Haumaier, G. Guggenberger, W. Zech: The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften Nr. 88, S. 37-41
- [Glaser & Birk 2012] B. Glaser, J. J. Birk: State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio), Geochimica et Cosmochimica Acta Nr. 82, S. 39-51
- 2002] W. Grierson: Role of temperature in Physiology of Crop Plants: pre- and Post Harvest in Mohammed Pessaraki (Hrsg.): Handbook of Plant and Crop Physiology, zweite Auflage verbessert und erweitert, Marcel Dekker, Inc., New York-Basel 2002
- [IngoG 2012] Ingenieure ohne Grenzen, Selbstdarstellung, Online-Ressource: <http://www.ingenieure-ohne-grenzen.org> letzter Zugriff 12.09.2012
- [JMP 2012a] World Health Organization (WHO)/ UNICEF: Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation: Progress on Drinking Water and Sanitation: 2012 Update, Genf 2012
- [JMP 2012b] WHO/ UNICEF: Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation: Estimates for the use of Improved Sanitation Facilities: United Republic of Tanzania, Genf 2012
- [Klomfaß 2012] Julia Klomfaß: noch nicht veröffentlichte Diplomarbeit, Berlin 2012
- [Krause 2012] Gespräch mit A. Krause (Vertreterin CaSa), Berlin 12.09.2012
- [Krug, Liebig *et al* 2003] H. Krug, H.-P. Liebig, H. Stützel: Gemüseproduktion, Ulmer, Stuttgart 2003

- [KTBL 2009] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Faustzahlen der Landwirtschaft, Yara Verlag, 14. Auflage, Darmstadt 2009
- [Lal 2006] R. Lal: Perspective - Managing soils for feeding a global population of 10 billion, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Nr. 86, S. 2273–2284
- [Ledig & Wittke 1994] M. Ledig, W. Wittke: Nitrat in Lebensmitteln, Basisartikel, *NiU-Chemie* Nr. 23, S. 7-9
- [Lehmann, Pereira da Silva *et al* 2003] J. Lehmann, Jr. J. Pereira da Silva, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, B. Glaser: Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthroisol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*, Nr. 249, S. 343-357
- [Lehmann, Gaunt *et al* 2005] J. Lehmann, J. Gaunt, M. Rondon (2005): Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* Nr. 11/2006, S. 395-419
- [Muramoto 1999] Dr. J. Muramoto: Comparison of Nitrate Content in Leafy Vegetables from Organic and Conventional Farms in California, Revised Version, Center for Agroecology and Sustainable Food Systems University of California, Santa Cruz 1999
- [Palaterra 2011] Verkaufverpackung des Palaterra®1 Kultursubstrats, Palaterra GmbH & Co. KG
- [Paul & Clark 1989] E.A. Paul, F.E. Clark: *Soil Microbiology and Chemistry*, Academic Press, Inc., San Diego California 1989
- [Peiter 2012] Telefonat mit Christoph Peiter (Mitarbeiter Palaterra), Berlin – Hengstbacher Hof 08.03. 2012
- [Reckin 2011] Gespräch mit Jürgen Reckin, Sommer 2011, Schorfheide
- [Rieck & von Muench 2011] C. Rieck, Dr. E. von Muench : Technology review of urine diversion dehydration toilets (UDDTs) - Design principles, urine and faeces management, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn 2011
- [Röber & Schacht 2008] R. Röber, H. Schacht (Hrsg.): *Pflanzenernährung im Gartenbau*, Eugen Ulmer KG, Stuttgart 2008

- [Scheffer, Schachtschabel *et al* 2010] H.-P. Blume, G. W. Brümmer, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr, B.-M. Wilke, F. Scheffer (Hrsg.), P. Schachtschabel (Hrsg.) : Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2010
- [Schubert 2006] S. Schubert: Pflanzenernährung - Grundwissen Bachelor, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, Stuttgart 2006
- [Schulz & Glaser 2012] H. Schulz, B. Glaser: Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment in Journal of plant nutrition and soil science Nr. 175, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [TPS-Workshop 2011] Krause, A. (Ingenieure ohne Grenzen): TPS Workshop Documentation, kein Verlag, Berlin 2011
- [URT 2003a] National Website of United Republic of Tanzania - Kagera Region, Online-Ressource: <http://www.tanzania.go.tz/regions/kagera/geo.html> letzter Zugriff 22.08.2012, aktualisiert 2003
- [URT 2003b] National Website of United Republic of Tanzania - Kagera Region, Online-Ressource: <http://www.tanzania.go.tz/regions/kagera/zone.html> letzter Zugriff 22.08.2012, aktualisiert 2003
- [URT Report 2007] NATIONAL SAMPLE CENSUS OF AGRICULTURE 2002/2003: VOLUME Vr: REGIONAL REPORT: KAGERA REGION, National Bureau of Statistics, Ministry of agriculture and Food Security, Ministry of Water and Livestock Development, Ministry of Cooperatives and Marketing, Presidents Office, Regional Administration and Local Government, Ministry of Finance and Economic Affairs – Sansibar, Vereinigte Republik Tansania 2007
- [VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006] Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, ABl. L 364 v. 20.12.2006
- [Volmary 2012] Volmary GmbH, Spinacia oleracea, Online-Ressource: <http://volmary.com/erwerbsgartenbau/productSG.jsf> letzter Zugriff 24.09.2012

- [WHO 2008] A. Prüss-Üstün, R. Bos, F. Gore, J. Bartram: Safer water, better health
Costs - benefits and sustainability of interventions to protect and promote health,
World Health Organization, Genf 2008
- [WHO 2009] Initiative for Vaccine Research (IVR): Diarrhoeal Diseases. Online-
Ressource: http://www.who.int/vaccine_research/diseases/diarrhoeal/en/index.html
letzte Änderung Februar 2009, letzter Zugriff 17.08.2012
- [WIPO 2009] Weltorganisation für geistiges Eigentum: H. Pieplow, A.-E. Krieger
(Erfinder): Verfahren zur Herstellung von Humus und nährstoffreichen sowie
wasserspeichernden Böden oder Bodensubstraten für nachhaltige Landnutzungs-
und Siedlungssystem, Internationale Veröffentlichungsnummer WO
2009/021528 A1, 2009
- [Wonneberger, Keller 2004] C. Wonneberger, F. Keller: Gemüsebau, Eugen Ulmer
GmbH & Co, Stuttgart, 2004
- [ZVG 2002] Zentralverband Gartenbau e.V. (ZVG): Handbuch Kompost im
Gartenbau, 1. Auflage, FGG Fördergemeinschaft Gartenbau mbH, Bonn 2002

9 Dank

Ich danke Kerstin Bieler, Susanne Jeserigk, Eckhard George und dem Dießdienst vom IGZ Großbeeren, Julia Klomfaß, Jirka Lewandowski, Sabine Dumke, Claudia Kuntz, Sabine Rautenberg, Monika Rohrbeck, Iris Pieper, Maïke Mai, sowie Jacob Geffers, Martin Kaupenjohann und Ariane Krause für ihre inhaltliche, technische und seelische Unterstützung bei meiner Arbeit

A Anhang: Messergebnisse Pflanze und Substrat

A.1 CNS und C/N-Verhältnis von Komposten und Sand

		N			C			S			C/N		
		Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw
		- [%TS] -			- [%TS] -			- [%TS] -			- [%TS] -		
K1	a	0,43	0,45	0,01	12,50	12,40	0,12	0,10	0,10	0,01	28,86	27,67	1,03
	b	0,46			12,44			0,09			27,07		
	c	0,45			12,27			0,10			27,08		
K2	a	0,64	0,65	0,02	13,57	13,66	0,13	0,12	0,13	0,01	21,30	21,05	0,35
	b	0,66			13,76			0,13			20,80		
K3	a	1,81	1,75	0,08	18,46	18,46	0,00	0,42	0,41	0,02	10,22	10,55	0,46
	b	1,70			18,46			0,39			10,88		
K4	a	1,36	1,30	0,09	19,81	18,70	1,57	0,31	0,30	0,02	14,55	14,43	0,17
	b	1,23			17,59			0,29			14,31		
K5	a	0,72	0,72	0,00	23,33	23,37	0,07	2,13	2,20	0,10	32,47	32,65	0,26
	b	0,71			23,42			2,27			32,84		
K6	a	1,24	1,25	0,01	30,63	30,53	0,14	0,27	0,26	0,02	24,63	24,39	0,33
	b	1,26			30,44			0,24			24,16		
Blind	1*				0,16	0,14							
Blind	2*				0,06								
Blind	3*				0,19								
Blind	4*				0,13								
Sand	a	0,066	0,0615	0,0066	1,05	0,9793	0,0976	0,0194	0,0173	0,0029	-		
	b	0,057			0,91			0,0152			-		

* die Blindwerte gehören nicht zu dieser Messung wurden aber zur Berechnung der Mischungsverhältnisse einbezogen

A.2 Zusammensetzung der Substrate

	Sand			Kompost			Gesamt-Substrat	Mineraldüngung
	TG	FG	N _{min}	TG	FG	N _{min}	N _{min}	N _{min}
	- [kg] -		[mg]	- [kg] -			- [mg] -	
K1	1,22	1,28	7,59	0,12	0,22	17,12	24,71	80,29
K2	1,24	1,30	7,68	0,11	0,20	33,26	40,94	64,06
K3	1,27	1,33	7,89	0,08	0,17	44,54	52,43	52,57
K4	1,28	1,34	7,92	0,08	0,16	44,34	52,26	52,74
K5	1,32	1,38	8,16	0,06	0,12	2,94	11,11	93,89
K6	1,34	1,41	8,33	0,05	0,09	0,37	8,69	96,31
K7	1,43	1,50	8,84	-	-	-	-	96,17

Verhältnisformel: $(C_{\text{Kompost}} - C_{\text{gesamt}}) / (C_{\text{Kompost}} - C_{\text{Sand}})$

Versehentliche Einbeziehung des Blindwerts bei C: Fehler entspricht bis zu 1% des Wertes → vernachlässigbar

A.3 Physikalische und chemische Parameter von Kompost und Sand

pH, elektr. Leitfähigkeit, Frisch- und Trockengewicht, Trockensubstanz, Wassergehalt

		pH (H ₂ O)			Elektrische Leitfähigkeit			Frischgewicht			Trockengewicht			TS			Wassergehalt		
		Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw
		-log(H ⁺)			[μS/cm]			- [g] -			- [g] -			[%FG]			[%TS]		
K1	a	7,81	7,80	0,01	856,00	873,00	24,04	12,24	12,65	0,57	7,17	7,08	0,13	58,58	56,07	3,55	0,71	0,79	0,11
	b	7,79			890,00			13,05			6,99			53,56			0,87		
K2	a	7,56	7,57	0,01	1064,00	1043,00	29,70	12,95	12,03	1,31	7,07	6,57	0,71	54,59	54,64	0,06	0,83	0,83	0,00
	b	7,58			1022,00			11,10			6,07			54,68			0,83		
K3	a	8,62	8,64	0,03	3810,00	3655,00	219,20	12,16	12,27	0,16	5,97	5,89	0,11	49,10	48,00	1,56	1,04	1,09	0,06
	b	8,66			3500,00			12,38			5,81			46,90			1,13		
K4	a	8,32	8,31	0,02	2480,00	2515,00	49,50	10,19	10,97	1,10	5,24	5,36	0,17	51,42	49,05	3,35	0,94	1,04	0,14
	b	8,29			2550,00			11,74			5,48			46,68			1,14		
K5	a	7,30	7,30	0,01	2040,00	2030,00	14,14	11,12	11,07	0,08	5,87	5,87	0,01	52,79	53,01	0,30	0,89	0,89	0,01
	b	7,29			2020,00			11,01			5,86			53,22			0,88		
K6	a	8,37	8,40	0,05	1782,00	1698,00	118,79	17,29	16,73	0,79	9,26	8,79	0,66	53,56	52,51	1,49	0,87	0,91	0,05
	b	8,46			1614,00			16,17			8,32			51,45			0,94		
	c*	8,48			1592,00	1598,50	9,19	-			-			-			-		
	d*	8,47			1605,00			-			-			-			-		
Sand	a	6,5**			-			-			-			-			-		

*nur für pH u. el. Lf. wurde mit 4 Parallelen gearbeitet

**in Ca Cl₂

A.4 Mineralstickstoffmessung und -ergebnisse der Komposte und des Sandes

		Einwaage	Nitrat	Nitrat-N	Verdünnungs-faktor	Ammonium	Ammonium-N	Verdünnungs-faktor	Nitrat-N			Ammonium-N			Gesamt-N lösl.				
		[g]	- [mg/l] -			- [mg/l] -	- [mg/kg TS] -			Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	Einzel	Mittel	Stabw	
			- [mg/kg TS] -				- [mg/kg TS] -												
K1	a	49,68	66,64	15,04	1,00	4,05	3,14	1,00	119,37	115,52	5,44	24,30	25,19	1,25	143,67	140,71	4,19		
	b	48,93	61,52	13,89	1,00	4,28	3,31	1,00	111,67	4,19	4,19	26,08	26,08	26,08	137,75	137,75	137,75		
K2	a	47,84	143,13	32,31	1,00	4,26	3,30	1,00	273,30	275,02	2,44	27,22	27,95	1,03	300,52	302,97	3,47		
	b	46,67	141,74	31,99	1,00	4,38	3,40	1,00	276,75	3,47	3,47	28,68	28,68	28,68	305,43	305,43	305,43		
K3	a	49,83	177,55	40,08	1,00	21,13	16,38	1,00	377,84	386,55	12,31	153,85	173,04	27,14	531,69	559,59	39,45		
	b	46,94	176,14	39,76	1,00	25,01	19,39	1,00	395,25	39,45	39,45	192,23	192,23	192,23	587,49	587,49	587,49		
K4	a	46,69	184,14	41,57	1,00	24,01	18,61	1,00	406,38	378,28	39,73	181,47	184,68	4,53	587,85	562,96	35,2		
	b	47,99	162,66	36,72	1,00	25,47	19,74	1,00	350,18	35,20	35,20	187,89	187,89	187,89	538,07	538,07	538,07		
K5	a	48,52	13,44	3,03	1,00	3,28	2,54	1,00	25,54	26,14	0,84	21,21	20,34	1,22	46,75	46,48	0,38		
	b	44,82	13,11	2,96	1,00	2,82	2,18	1,00	26,73	0,38	0,38	19,48	19,48	19,48	46,21	46,21	46,21		
K6	a	50,00	0,70	0,16	1,00	1,17	0,91	1,00	0,61	0,63	0,02	6,96	6,96	0,01	7,58	7,58	0,01		
	b	50,00	0,72	0,16	1,00	1,17	0,91	1,00	0,64	0,01	0,01	6,95	6,95	6,95	7,59	7,59	7,59		
Sand*	a	-	-	-	-	-	-	-	6,60	6,18	0,60	0,60	0,60	0,60	0,6	6,18	6,18		
	b	-	-	-	-	-	-	-	5,75	6,18	6,18	6,18	6,18	6,18	6,18	6,18	6,18		

Blindwertlösung 0,09; Volumen der Extraktionslösung 200ml
Berechnung nach DIN 19746:2005-06

* am IGZ durchgeführt, Werte für CNS und Nmin nicht aus einer Charge
** =0 angenommen

A.5 Feldkapazitäten und errechnetes Wassergewicht der Substrate

	TG	Vol	Lage-rungs-dichte	Humusanteil	FK					Wasservolumen/ -gewicht		Wasserge-wicht (im Versuch)	Abweichung von korrekter (Lag. 1,45)		
					ss, Lag. 1,45	ss, Lag <1,2*	Humuszuschlag	gesamt, Lag. 1,45	gesamt, Lag <1,2*	Lag. 1,45	Lag <1,2		Lag 1,45		Lag
					- [vol%] -			- [60 vol%] -		[kg] / [l]	[Kg] / [l]		[kg]	[kg] / [l]	%
	[kg]	[dm³]	[g/ cm³]	(Kompost/(Kompost+Sand))	- [vol%] -			- [60 vol%] -		[kg] / [l]	[Kg] / [l]	[kg]	[kg] / [l]	%	[Kg] / [l]
K 1	1,35	1,09	1,24	0,09	11,00	14,00	9,00	12,00	13,80	0,13	0,15	0,15	0,018	13,64	0,00
K 2	1,35	1,09	1,24	0,08	11,00	14,00	9,00	12,00	13,80	0,13	0,15	0,15	0,018	13,64	0,00
K 3	1,35	1,09	1,24	0,06	11,00	14,00	7,50	11,10	12,90	0,12	0,14	0,14	0,015	12,49	0,00
K 4	1,36	1,09	1,25	0,06	11,00	14,00	7,50	11,10	12,90	0,12	0,14	0,14	0,015	12,49	0,00
K 5	1,38	1,09	1,27	0,05	11,00	14,00	6,00	10,20	12,00	0,11	0,13	0,12	0,013	11,36	0,01
K 6	1,39	1,09	1,28	0,05	11,00	14,00	6,00	10,20	12,00	0,11	0,13	0,12	0,013	11,36	0,01
K 7	1,43	1,09	1,31	0,03	11,00	14,00	6,00	10,20	12,00	0,11	0,13	0,12	0,013	11,36	0,01

* Lag. 1,2 war eigentlich nicht Berechnungsgrundlage, aber wurde aufgrund der fehlerhaften Berechnung auch zum Vergleich herangezogen. Wäre weniger fehlerbehaftete Annäherung als bei Lag. 1,45. Aufgrund der Nähe mancher Lagerungsdichten zu Lag 1,2 möglicherweise gute Annäherung an 60% FK möglich. Aufgrund des Rechenfehlers liegt tatsächliche Bewässerungsmenge zwischen lag 1,45 und <1,2 (vgl. Tabellenspalte Lagerungsdichte)

A.6 Frisch-, Trockengewichte und Trockensubstanz der Pflanzen

	FG							TG						TS		
	Tare	Gesamt	Einzel	Topf- mittel	Stabw	Pflanze nmittel	Stabw*	Gesam t	Einzel	Topfm ittel	Stabw	Pflanze nmittel	Stabw*	Einzel	Mitte l	Stabw
	- [g] -					[g]		- [g] -				[g]		- [% FG] -		
1 a	4,55	16,87	12,32	15,91	2,44	5,30	0,81	6,34	1,79	1,98	0,14	0,66	0,05	14,56	12,59	1,31
1 b	4,58	21,50	16,92					6,60	2,02					11,94		
1 c	4,56	21,15	16,59					6,53	1,97					11,87		
1 d	4,61	22,40	17,79					6,74	2,13					11,97		
2 a	4,61	26,91	22,30	22,10	0,77	7,37	0,26	6,97	2,36	2,31	0,12	0,77	0,04	10,58	10,43	0,28
2 b	4,57	27,06	22,49					6,86	2,29					10,18		
2 c	4,58	25,55	20,97					6,72	2,14					10,21		
2 d	4,56	27,20	22,64					6,99	2,43					10,73		
3 a	4,56	29,03	24,47	23,56	2,74	7,85	0,91	6,47	1,91	1,96	0,15	0,65	0,05	7,81	8,37	0,54
3 b	4,88	24,55	19,67					6,67	1,79					9,10		
3 c	4,55	28,57	24,02					6,55	2,00					8,33		
3 d	4,19	30,26	26,07					6,34	2,15					8,25		
4 a	4,56	31,43	26,87	25,72	3,00	8,57	1,00	7,00	2,44	2,38	0,09	0,79	0,03	9,08	9,33	0,90
4 b	4,55	30,59	26,04					6,87	2,32					8,91		
4 c	4,54	33,03	28,49					7,01	2,47					8,67		
4 d	4,54	26,02	21,48					6,83	2,29					10,66		
5 a	4,61	14,84	10,23	10,52	0,30	3,51	0,10	5,74	1,13	1,16	0,11	0,39	0,04	11,05	11,04	1,19
5 b	4,62	15,06	10,44					5,79	1,17					11,21		
5 c	4,57	15,51	10,94					5,61	1,04					9,51		
5 d	4,58	15,06	10,48					5,88	1,30					12,40		
6 a	4,55	14,68	10,13	10,45	0,38	3,48	0,13	6,09	1,54	1,42	0,08	0,47	0,03	15,20	13,63	1,10
6 b	4,60	15,59	10,99					6,01	1,41					12,83		
6 c	4,52	14,76	10,24					5,91	1,39					13,57		
6 d	4,56	15,01	10,45					5,91	1,35					12,92		
7 a	4,52	12,47	7,95	7,69	0,83	2,56	0,28	5,36	0,84	0,91	0,09	0,30	0,03	10,57	11,95	2,38
7 b	4,56	12,81	8,25					5,54	0,98					11,88		
7 c	4,54	12,62	8,08					5,35	0,81					10,02		

* = Topfstabw / 3

A.6.1

FG, TG und TS abgefallener Einzelblätter und FG, TG und TS unter Einbeziehung abgefallener Einzelblätter

		abgefallene Einzel*		
		TG**	FG	TS
		- [g] -		% FG
1	b	0,03	0,10	33,00
2	b	0,03	0,50	5,70
2	c	0,05	0,7	7,14
3	b	0,03	0,35	8,57
3	b	0,03	0,37	8,11
3	d	0,05	0,60	7,83
4	a	0,04	0,45	7,78
4	a	0,07	0,9	7,89
4	b	0,05	0,7	7,14
4	d	0,08	0,75	10,13
6	b	0,01	0,04	15,14
6	d	0,06	0,68	8,38

*nicht einbezogen, heben TG-Topfmittelwerte um <2% an

** Wägung auf 2 Dezimalen zu ungenau

		TG (inkl. Abgefallene Blätter)		Abweichung
		Einzel	Mittel	
		- [g] -		
1	a	1,79	1,99	0,42
1	b	2,05		
1	c	1,97		
1	d	2,13		
2	a	2,36	2,32	0,85
2	b	2,32		
2	c	2,19		
2	d	2,43		
3	a	1,91	1,99	1,36
3	b	1,85		
3	c	2,00		
3	d	2,20		
4	a	2,55	2,43	1,91
4	b	2,32		
4	c	2,47		
4	d	2,37		
5	a	1,13	1,16	0,00
5	b	1,17		
5	c	1,04		
5	d	1,30		
6	a	1,54	1,44	1,09
6	b	1,42		
6	c	1,39		
6	d	1,41		
7	a	0,84	0,91	0,00
7	b	0,98		
7	c	0,81		
7	d	0,99		

A.7 Blattzahl und Oberfläche der Pflanzen

	Blätter*							Oberfläche*					
	grün	gelb	gesamt				akkumuliert	Einzel	Topfmittel	Stabw	Variante nmittel	Stabw	
	Einzel		Einzel	Topfmittel	Stabw	Variante nmittel							Stabw
	- Anzahl -					Anz.		- [cm²] -			[cm²]		
1 a 1	12	2	14	11,7	2,5	11,9	1,2	59,74	59,74	72,22	38,20	94,20	28,18
1 a 2	6	3	9					101,56	41,82				
1 a 3	10	2	12					216,65	115,09				
1 b 1	10	1	11	12,0	1,0			84,76	84,76	98,74	13,19		
1 b 2	10	2	12					195,73	110,97				
1 b 3	11	2	13					296,21	100,48				
1 c 1	11	1	12	12,0	0,0			135,05	135,05	105,17	26,41		
1 c 2	10	2	12					230,60	95,55				
1 c 3	10	2	12					315,52	84,92				
1 d 1	11	2	13	12,0	1,0			137,18	137,18	100,66	32,22		
1 d 2	10	2	12					225,72	88,54				
1 d 3	9	2	11					301,97	76,25				
2 a 1	13	2	15	15,7	0,6	13,5	2,2	109,09	109,09	119,48	14,65	123,69	26,84
2 a 2	13	3	16					245,33	136,24				
2 a 3	14	2	16					358,45	113,12				
2 b 1	12	1	13	13,3	0,6			157,70	157,70	138,29	33,53		
2 b 2	11	2	13					257,28	99,58				
2 b 3	13	1	14					414,88	157,60				
2 c 1	11	0	11	11,3	2,5			108,08	108,08	106,27	1,57		
2 c 2	9	0	9					213,34	105,26				
2 c 3	13	1	14					318,82	105,48				
2 d 1	16	0	16	13,7	2,1			178,69	178,69	130,71	41,78		
2 d 2	12	1	13					281,00	102,31				
2 d 3	11	1	12					392,14	111,14				
3 a 1	10	0	10	10,7	2,1	11,1	1,4	123,00	123,00	107,28	84,11	111,24	100,47
3 a 2	13	0	13					305,42	182,42				
3 a 3	9	0	9					321,84	16,42				
3 b 1	10	0	10	11,0	1,0			93,67	93,67	91,33	8,09		
3 b 2	11	0	11					176,00	82,33				
3 b 3	12	0	12					274,00	98,00				
3 c 1	12	0	12	10,7	1,2			128,64	128,64	115,00	11,83		
3 c 2	10	0	10					236,20	107,56				
3 c 3	10	0	10					345,00	108,80				
3 d 1	10	0	10	12,0	1,7			-	-	131,33			
3 d 2	13	0	13					-	-				
3 d 3	13	0	13					394,00	394,00				
4 a 1	11	1	12	12,7	0,6	13,0	2,0	120,28	120,28	142,86	20,62	134,65	56,70
4 a 2	13	0	13					267,89	147,61				
4 a 3	13	0	13					428,57	160,68				
4 b 1	12	2	14	14,3	0,6			-	-	133,17			
4 b 2	14	0	14					288,00	288,00				
4 b 3	15	0	15					399,50	111,50				
4 c 1	15	0	15	13,3	2,9			176,31	176,31	146,98	43,96		
4 c 2	10	0	10					272,74	96,43				
4 c 3	15	0	15					440,93	168,19				

	Blätter*							Oberfläche*					
	grün	gelb	gesamt				akkumuliert	Einzel	Topfmittel	Stabw	Variante nmittel	Stabw	
	Einzel		Einzel	Topfmittel	Stabw	Varianten mittel							Stabw
	- Anzahl -					Anz.		- [cm²] -			[cm²]		
4 d 1	11	1	12	11,7	2,5		136,86	136,86	115,58	40,50			
4 d 2	12	2	14				277,86	141,00					
4 d 3	9	0	9				346,74	68,88					
5 a 1	12	0	12	10,7	3,2	10,9	1,6	91,23	91,23	62,61	29,06	64,77	29,19
5 a 2	11	2	13					154,70	63,47				
5 a 3	5	2	7					187,82	33,12				
5 b 1	11	1	12	11,3	0,6			77,16	77,16	66,57	9,71		
5 b 2	9	2	11					141,60	64,44				
5 b 3	9	2	11					199,70	58,10				
5 c 1	9	2	11	10,3	0,6			57,52	57,52	58,32	58,45		
5 c 2	10	0	10					57,80	0,28				
5 c 3	10	0	10					174,97	117,17				
5 d 1	12	1	13	11,3	1,5			69,41	69,41	71,59	13,69		
5 d 2	9	1	10					128,53	59,12				
5 d 3	11	0	11					214,76	86,23				
6 a 1	10	0	10	8,7	1,2	9,2	1,3	94,33	94,33	65,63	25,11	59,03	13,75
6 a 2	8	0	8					149,21	54,88				
6 a 3	6	2	8					196,90	47,69				
6 b 1	10	0	10	9,0	1,7			55,54	55,54	58,05	6,53		
6 b 2	7	0	7					108,69	53,15				
6 b 3	8	2	10					174,15	65,46				
6 c 1	9	2	11	9,3	1,5			65,29	65,29	58,27	8,19		
6 c 2	8	0	8					114,56	49,27				
6 c 3	9	0	9					174,82	60,26				
6 d 1	10	1	11	9,7	1,2			68,66	68,66	54,15	14,00		
6 d 2	9	0	9					121,72	53,06				
6 d 3	7	2	9					162,45	40,73				
7 a 1	10	1	11	8,0	4,4	9,4	2,8	68,24	68,24	56,58	51,28	48,20	33,76
7 a 2	10	0	10					169,27	101,03				
7 a 3	3	0	3					169,75	0,48				
7 b 1	10	1	11	10,0	2,6			56,59	56,59	47,33	38,53		
7 b 2	12	0	12					136,98	80,39				
7 b 3	4	3	7					142,00	5,02				
7 c 1	6	3	9	10,3	1,2			24,95	24,95	44,00	33,99		
7 c 2	8	3	11					48,76	23,81				
7 c 3	11	0	11					132,00	83,24				
7 d 1	7	2	9	9,3	3,5			61,23	61,23	44,86	-		
7 d 2	4	2	6					-	-				
7 d 3	10	3	13					134,59	73,36				

- =keine Messung vorgenommen. Mittelwert über akkumulierten Topfwert

* früher abgefallene nicht berücksichtigt

A.8 CNS Pflanze

	N			C			S			C/N		
	Einzel	Mittel	Stabw									
	[% TS]			[% TS]			[% TS]					
1 a 1	3,50	3,21	0,22	37,11	37,96	0,53	0,46	0,35	0,35	10,60	11,86	0,92
1 a 2	3,50			37,15			0,41			10,62		
1 b 1	2,93			38,03			0,31			12,96		
1 b 2	2,96			38,28			0,32			12,95		
1 c 1	3,10			38,14			0,32			12,32		
1 c 2	3,18			38,58			0,32			12,15		
1 d 1	3,26			38,14			0,36			11,68		
1 d 2	3,29			38,21			0,34			11,62		
2 a 1	4,43	4,56	0,10	37,88	38,35	0,34	0,41	0,42	0,02	8,54	8,41	0,20
2 a 2	4,44			38,05			0,42			8,57		
2 b 1	4,55			38,71			0,41			8,50		
2 b 2	4,53			38,33			0,40			8,46		
2 b 3	4,55			38,77			0,42			8,53		
2 c 1	4,70			38,02			0,44			8,09		
2 c 2	4,75			38,10			0,46			8,03		
2 d 1	4,53			38,59			0,41			8,52		
2 d 2	4,57			38,67			0,42			8,47		
3 a 1	6,22	6,28	0,08	33,87	33,85	0,20	0,46	0,46	0,02	5,44	5,46	0,05
3 a 2	6,28			33,87			0,43			5,39		
3 b 1	6,35			34,12			0,49			5,37		
3 b 2	6,37			34,10			0,46			5,36		
3 c 1	6,29			33,73			0,44			5,36		
3 c 2	6,36			33,85			0,47			5,32		
3 d 1	6,27			33,75			0,45			5,39		
3 d 2	6,13			33,51			0,49			5,46		
4 a 1	5,17	5,23	0,14	36,11	36,01	0,60	0,49	0,48	0,01	6,98	7,35	0,30
4 a 2	5,22			36,08			0,49			6,91		
4 b 1	5,30			35,57			0,47			6,71		
4 b 2	5,28			35,52			0,47			6,72		
4 c 1	5,39			35,56			0,47			6,59		
4 c 2	5,39			35,49			0,50			6,58		
4 d 1	5,08			37,00			0,51			7,29		
4 d 2	5,00			36,78			0,47			7,35		
5 a 1	4,38	4,25	0,30	38,71	38,57	0,70	0,66	0,76	0,08	8,84	9,74	0,76
5 a 2	4,34			38,59			0,63			8,90		
5 b 1	4,05			39,42			0,79			9,74		
5 b 2	4,00			39,38			0,78			9,85		
5 c 1	4,64			37,52			0,79			8,08		
5 c 2	4,67			37,61			0,87			8,05		
5 d 1	3,97			38,73			0,80			9,75		
5 d 2	3,96			38,58			0,78			9,74		
6 a 1	2,76	2,99	0,16	38,59	37,92	0,48	0,40	0,35	0,04	13,98	12,18	0,84
6 a 2	2,72			38,43			0,27			14,15		
6 b 1	3,08			37,33			0,34			12,13		
6 b 2	3,06			37,24			0,36			12,15		
6 c 1	3,02			37,85			0,33			12,55		
6 c 2	3,02			37,97			0,33			12,57		
6 d 1	3,10			37,72			0,37			12,17		
6 d 2	3,14			38,20			0,41			12,18		

	N			C			S			C/N		
	Einzel	Mittel	Stabw									
	[% TS]			[% TS]			[% TS]					
7 a 1	5,42	5,42	0,47	38,42	38,27	0,75	0,32	0,32	0,05	7,09	7,12	0,73
7 a 2	5,45			38,54			0,29			7,07		
7 a 3	5,41			38,24			0,29			7,06		
7 b 1	4,93			39,10			0,27			7,93		
7 b 2	5,00			39,11			0,28			7,82		
7 c 1	6,05			37,47			0,38			6,20		
7 c 2	6,06			37,18			0,36			6,14		
7 c 3	5,98			37,15			0,41			6,21		
7 d 1	4,96			38,78			0,28			7,82		
7 d 2	4,93			38,73			0,28			7,85		

A.9 Nitrat- und Nitratstickstoffgehalt Pflanze

	Ein- waage	Mess- wert	Ver- dünn- ung	Nitrat-N				Nitrat				
				Einzel		Mittel	Stabw	Einzel		Mittel	Stabw	Mittel
				[% TG]	[mg/g TG]	[mg/g TG]		[%TG]	[mg/g TG]	[mg/g TG]		[mg/kg FG]
1 a 1	0,20	2,80	1,00	0,14	1,41	1,08	0,19	0,62	6,20	4,73	0,85	595,89
1 a 2	0,20	2,70	1,00	0,13	1,34			0,59	5,91			
1 b 1	0,20	2,10	1,00	0,11	1,06			0,46	4,64			
1 b 2	0,20	2,10	1,00	0,11	1,06			0,46	4,65			
1 c 1	0,20	1,80	1,00	0,09	0,90			0,40	3,95			
1 c 2	0,20	1,90	1,00	0,10	0,95			0,42	4,19			
1 d 1	0,20	1,90	1,00	0,09	0,95			0,42	4,17			
1 d 2	0,20	1,90	1,00	0,09	0,94			0,41	4,15			
2 a 1	0,20	3,00	2,00	0,30	3,00	2,50	0,51	1,32	13,22	11,02	2,23	1148,87
2 a 2	0,20	3,40	2,00	0,34	3,36			1,48	14,78			
2 b 1	0,20	4,00	1,00	0,20	2,00			0,88	8,80			
2 b 2	0,20	4,20	1,00	0,21	2,06			0,90	9,05			
2 c 1	0,20	2,60	2,00	0,26	2,58			1,14	11,35			
2 c 2	0,20	2,70	2,00	0,27	2,69			1,19	11,85			
2 d 1	0,21	2,00	2,00	0,19	1,94			0,85	8,55			
2 d 2	0,20	2,40	2,00	0,24	2,40			1,05	10,55			
3 a 1	0,20	4,20	5,00	1,05	10,48	10,24	1,21	4,61	46,13	45,04	5,33	3770,01
3 a 2	0,20	3,80	5,00	0,95	9,47			4,17	41,67			
3 b 1	0,20	3,50	5,00	0,87	8,71			3,83	38,31			
3 b 2	0,22	4,10	5,00	0,92	9,18			4,04	40,39			
3 c 1	0,20	4,00	5,00	1,00	9,96			4,38	43,80			
3 c 2	0,20	4,10	5,00	1,01	10,14			4,46	44,63			
3 d 1	0,20	4,80	5,00	1,20	11,99			5,27	52,74			
3 d 2	0,20	2,40	10,00	1,20	11,97			5,27	52,66			
4 a 1	0,20	4,10	2,00	0,41	4,09	6,04	1,75	1,80	18,00	26,57	7,68	2479,22
4 a 2	0,20	4,60	2,00	0,46	4,60			2,02	20,23			
4 b 1	0,23	3,20	5,00	0,70	6,97			3,06	30,65			
4 b 2	0,20	3,30	5,00	0,82	8,16			3,59	35,92			
4 c 1	0,20	3,30	5,00	0,82	8,22			3,62	36,17			
4 c 2	0,20	2,90	5,00	0,71	7,09			3,12	31,21			
4 d 1	0,20	1,90	5,00	0,47	4,73			2,08	20,79			
4 d 2	0,20	1,80	5,00	0,45	4,46			1,96	19,61			
5 a 1	0,20	3,10	1,00	0,15	1,54	1,60	0,76	0,68	6,79	7,06	3,34	779,12
5 a 2	0,20	3,20	1,00	0,16	1,59			0,70	6,99			
5 b 1	0,20	2,00	1,00	0,10	0,99			0,44	4,36			
5 b 2	0,21	2,20	1,00	0,11	1,06			0,47	4,65			
5 c 1	0,20	3,10	2,00	0,31	3,10			1,36	13,62			
5 c 2	0,20	4,80	1,00	0,24	2,37			1,04	10,44			
5 d 1	0,21	2,20	1,00	0,10	1,03			0,45	4,54			
5 d 2	0,21	2,40	1,00	0,11	1,15			0,51	5,05			
6 a 1	0,20	2,00	1,00	0,10	0,98	1,03	0,09	0,43	4,33	4,53	0,41	617,98
6 a 2	0,20	2,10	1,00	0,10	1,04			0,46	4,58			
6 b 1	0,20	2,00	1,00	0,10	0,99			0,43	4,34			
6 b 2	0,20	2,50	1,00	0,13	1,26			0,55	5,52			
6 c 1	0,20	2,00	1,00	0,10	1,00			0,44	4,39			
6 c 2	0,20	2,00	1,00	0,10	0,99			0,43	4,34			
6 d 1	0,20	2,00	1,00	0,10	1,00			0,44	4,39			
6 d 2	0,20	2,00	1,00	0,10	1,00			0,44	4,39			

	Ein- waage	Mess- wert	Ver- dün- nung	Nitrat-N				Nitrat				
				Einzel		Mittel	Stabw	Einzel		Mittel	Stabw	Mittel
				[% TG]	[mg/g TG]	[mg/g TG]		[%TG]	[mg/g TG]	[mg/g TG]		[mg/kg FG]
7 a 1	0,20	3,90	2,00	0,39	3,88	2,74	1,16	1,71	17,09	12,08	5,1	1443,06
7 a 2	0,20	3,70	2,00	0,37	3,71			1,63	16,31	16,31	16,31	
7 b 1	0,20	3,40	2,00	0,33	3,35			1,47	14,74	14,74	14,74	
7 b 2	0,20	3,40	2,00	0,33	3,33			1,46	14,63	14,63	14,63	
7 c 1	0,20	2,40	3,00	0,36	3,60			1,59	15,85	15,85	15,85	
7 c 2	0,19	2,50	3,00	0,39	1,30			1,71	5,70	5,70	5,7	
7 d 1	0,20	2,70	2,00	0,27	1,35			1,19	5,94	5,94	5,94	
7 d 2	0,20	2,90	2,00	0,29	1,44			1,27	6,36	6,36	6,36	
B1-1*		0,00	1,00									
B2-1		0,00	1,00									
B3-1		0,00	1,00									
B4-1		0,00	1,00									
B5-1		0,00	1,00									
B1-2*		0,10	1,00									
B2-2		0,10	1,00									
B3-3		0,10	1,00									
B4-2		0,10	1,00									
B5-2		0,10	1,00									

*B.-1: Blindwert für 1a1-4b2; B.-2: Blinderwert für 4c1-7d2

Analyse erfolgte mit 100ml Extraktionslösung

Formeln: Nitrat-N [%TS] : Messwert*Verdünnung/Einwaage/Extraktionslösungsmenge
Nitrat-N [mg/g] : Nitrat-N [%TS]*10
Nitrat [%TS] : Nitrat-N [%TS]*4,4
Nitrat [mg/kg FG]: Nitrat-N [mg/g TS]*TS/100*1000

B Bewässerung und Klimadaten

B.1 Bewässerung

		Topf+	TG	Sollwas-	Soll-Ge-	Gießmenge in ml																			
		Quarz-		sergehalt	samtge-	27.09.	28.09.	29.09.	30.09.	01.10.	02.10.	03.10.	04.10.	05.10.	06.10.	07.10.	08.10.	09.10.	10.10.	11.10.	12.10.	13.10.	14.10.	15.10.	16.10.
		[g]	[g]	[g]	[g]																				
K1	a	166,9	1345,40	148,5	1660,8	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	8,55	0,00	0,00	38,60	12,00	34,80	24,90	0,00	40,00	40,0
	b	168,5	1345,40	148,5	1662,4	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	11,01	0,00	0,00	36,90	15,20	28,30	20,80	0,00	40,00	40,0
	c	169,9	1345,40	148,5	1663,8	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	20,32	0,00	0,00	36,70	12,40	30,80	20,80	0,00	40,00	40,0
	d	165,6	1345,40	148,5	1659,5	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	39,40	13,30	31,50	24,40	0,00	40,00	40,0
K2	a	166,3	1348,86	148,5	1663,7	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	1,96	0,00	0,00	31,00	12,30	29,66	15,70	0,00	40,00	40,0
	b	166,5	1348,86	148,5	1663,9	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	5,39	0,00	0,00	28,90	11,50	28,86	21,50	0,00	40,00	40,0
	c	166,8	1348,86	148,5	1664,2	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	9,45	0,00	0,00	29,80	11,20	29,16	21,10	0,00	40,00	40,0
	d	167,7	1348,86	148,5	1665,1	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	9,59	0,00	0,00	33,40	11,90	31,06	22,80	0,00	40,00	40,0
K3	a	165,5	1352,18	136,0	1653,7	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	3,61	0,00	0,00	33,30	5,60	20,66	13,90	0,00	40,00	40,0
	b	165,8	1352,18	136,0	1654,0	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,30	10,50	24,96	18,70	0,00	40,00	40,0
	c	167,4	1352,18	136,0	1655,6	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	21,90	10,40	24,56	18,60	0,00	40,00	40,0
	d	167,0	1352,18	136,0	1655,2	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,90	10,70	25,16	19,00	0,00	40,00	40,0
K4	a	167,0	1356,32	136,0	1659,3	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	9,50	27,29	17,30	0,00	40,00	40,0
	b	167,1	1356,32	136,0	1659,4	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,50	11,90	27,39	19,80	0,00	40,00	40,0
	c	167,5	1356,32	136,0	1659,8	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	11,90	26,79	20,40	0,00	40,00	40,0
	d	164,4	1356,32	136,0	1656,7	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	9,60	28,69	20,20	0,00	40,00	40,0
K5	a	165,9	1380,10	123,7	1669,7	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	5,04	0,00	0,00	25,30	11,20	26,69	21,80	0,00	40,00	40,0
	b	167,5	1380,10	123,7	1671,3	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	7,06	0,00	0,00	23,40	11,00	26,29	19,00	0,00	40,00	40,0
	c	167,2	1380,10	123,7	1671,0	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	5,43	0,00	0,00	23,50	10,30	25,99	18,70	0,00	40,00	40,0
	d	167,4	1380,10	123,7	1671,2	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	6,63	0,00	0,00	25,50	7,80	26,19	19,50	0,00	40,00	40,0
K6	a	167,5	1391,27	123,7	1682,5	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	18,49	0,00	0,00	29,20	11,00	27,47	19,90	0,00	40,00	40,0
	b	167,5	1391,27	123,7	1682,5	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	13,98	0,00	0,00	26,20	12,60	28,47	18,60	0,00	40,00	40,0
	c	168,0	1391,27	123,7	1683,0	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	22,73	0,00	0,00	27,90	12,40	27,97	21,90	0,00	40,00	40,0
	d	167,0	1391,27	123,7	1682,0	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	23,24	0,00	0,00	28,90	12,40	27,97	20,30	0,00	40,00	40,0
K7	a	167,4	1425,00	123,7	1716,1	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	14,09	0,00	28,22	0,00	0,00	45,20	10,40	30,69	23,00	0,00	40,00	40,0
	b	167,8	1425,00	123,7	1716,5	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	5,49	0,00	32,94	0,00	0,00	42,10	11,50	30,49	20,60	0,00	40,00	40,0
	c	168,0	1425,00	123,7	1716,7	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	8,69	0,00	29,32	0,00	0,00	43,30	11,40	31,69	21,80	0,00	40,00	40,0
	d	167,1	1425,00	123,7	1715,8	80,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	7,79	0,00	29,72	0,00	0,00	42,30	11,20	30,79	18,00	0,00	40,00	40,0

		Gießmenge in ml																								
		17.10.	18.10.	19.10.	20.10.	21.10.	22.10.	23.10.	24.10.	25.10.	26.10.	27.10.	28.10.	29.10.	30.10.	31.10.	01.11.	02.11.	03.11.	04.11.	05.11.	06.11.	07.11.	08.11.	09.11.	10.11.
K1	a	3,8	31,8	40,8	49,8	50,8	50,0	50,0	29,8	36,8	50,8	38,8	48,8	50,0	50,0	50,0	77,8	70,8	56,3	46,9	50,0	50,0	0,0	42,8	59,1	46,0
	b	6,4	29,4	34,4	40,4	44,4	50,0	50,0	0,0	30,4	40,4	31,4	45,4	50,0	50,0	50,0	80,4	67,4	58,9	58,5	50,0	50,0	31,4	68,4	75,0	57,0
	c	48,8	30,8	34,8	40,8	49,8	50,0	50,0	30,8	40,8	43,8	33,8	46,8	50,0	50,0	50,0	72,8	73,3	62,3	57,1	50,0	50,0	34,3	65,8	75,0	60,0
	d	17,5	32,5	39,5	45,5	52,5	50,0	50,0	21,5	38,5	48,5	37,5	50,5	50,0	50,0	50,0	81,5	76,5	64,0	54,5	50,0	50,0	32,9	65,5	74,2	65,0
K2	a	24,7	26,7	32,7	34,7	44,7	50,0	50,0	19,7	32,7	40,7	28,7	41,7	50,0	50,0	50,0	55,7	67,7	53,2	0,0	50,0	50,0	27,6	61,7	73,3	49,0
	b	34,9	28,9	33,9	37,9	44,9	50,0	50,0	0,0	25,9	37,9	29,9	38,9	50,0	50,0	50,0	47,9	67,9	48,4	0,0	50,0	50,0	16,9	62,9	69,7	57,0
	c	33,2	27,2	32,2	38,2	44,2	50,0	50,0	2,2	28,2	34,2	26,2	37,2	50,0	50,0	50,0	32,2	63,2	43,7	45,3	50,0	50,0	5,5	61,2	68,3	51,0
	d	55,1	28,1	36,1	41,1	47,1	50,0	50,0	0,1	31,1	40,1	31,1	41,1	50,0	50,0	50,0	57,1	69,1	47,6	48,9	50,0	50,0	17,6	63,1	70,7	57,0
K3	a	10,7	20,7	25,7	25,7	28,7	50,0	50,0	0,0	0,0	4,7	14,7	21,7	50,0	50,0	50,0	0,0	12,7	23,2	19,5	50,0	50,0	0,0	0,0	36,4	29,2
	b	32,0	24,0	26,0	30,0	32,0	50,0	50,0	0,0	0,0	10,0	15,0	23,0	50,0	50,0	50,0	0,0	8,0	22,5	21,3	50,0	50,0	0,0	0,0	25,4	27,2
	c	0,0	14,6	23,6	30,6	30,6	50,0	50,0	0,0	0,0	8,6	18,6	22,6	50,0	50,0	50,0	0,0	20,6	26,2	20,3	50,0	50,0	0,0	2,6	38,3	32,0
	d	6,2	21,2	24,2	29,2	32,2	50,0	50,0	0,0	0,0	10,2	17,2	22,2	50,0	50,0	50,0	0,0	24,2	26,7	24,8	50,0	50,0	0,0	0,0	34,8	27,1
K4	a	7,3	24,3	28,3	33,3	36,3	50,0	50,0	0,0	16,3	31,3	19,3	32,3	50,0	50,0	50,0	17,3	53,3	37,8	40,7	50,0	50,0	0,0	53,3	58,9	44,2
	b	26,4	26,4	30,4	35,4	38,4	50,0	50,0	0,0	7,4	27,4	19,4	30,4	50,0	50,0	50,0	1,4	50,4	33,9	36,2	50,0	50,0	0,0	45,4	58,0	42,7
	c	3,8	22,8	26,8	32,8	38,8	50,0	50,0	0,0	10,8	28,8	23,8	32,8	50,0	50,0	50,0	16,8	53,8	37,3	41,0	50,0	50,0	0,6	57,8	56,7	46,4
	d	41,7	25,7	30,7	34,7	36,7	50,0	50,0	0,0	17,7	31,7	25,7	34,7	50,0	50,0	50,0	32,7	57,7	26,2	37,0	50,0	50,0	0,0	44,7	50,9	41,0
K5	a	26,7	26,7	29,7	33,7	40,7	50,0	50,0	0,0	14,7	29,7	23,7	29,7	50,0	50,0	50,0	2,7	48,7	31,2	29,8	50,0	50,0	0,0	8,7	47,0	36,0
	b	13,3	22,3	28,3	33,3	37,3	50,0	50,0	0,0	0,3	26,3	25,3	32,3	50,0	50,0	50,0	16,3	51,3	36,8	37,2	50,0	50,0	0,0	34,3	52,4	38,1
	c	17,0	24,0	28,0	31,0	28,0	50,0	50,0	0,0	6,0	26,0	20,0	27,0	50,0	50,0	50,0	0,0	27,0	29,5	27,1	50,0	50,0	0,0	0,0	22,8	37,1
	d	23,2	25,2	29,2	28,2	40,2	50,0	50,0	0,0	9,2	31,2	24,2	29,2	50,0	50,0	50,0	1,2	51,2	33,7	34,0	50,0	50,0	0,0	19,2	50,8	38,4
K6	a	42,5	26,5	29,5	37,5	40,5	50,0	50,0	0,0	18,5	33,5	28,5	40,5	50,0	50,0	50,0	35,5	62,5	39,0	40,5	50,0	50,0	0,0	30,5	56,7	41,3
	b	19,5	26,5	32,5	35,5	39,5	50,0	50,0	0,0	19,5	32,5	26,5	36,5	50,0	50,0	50,0	30,5	58,5	38,0	43,3	50,0	50,0	0,0	49,5	62,4	46,4
	c	45,0	27,0	31,0	36,0	43,0	50,0	50,0	0,0	27,0	34,0	24,0	36,0	50,0	50,0	50,0	31,0	62,0	37,5	38,9	50,0	50,0	0,0	39,0	54,1	46,3
	d	31,0	27,0	33,0	36,0	43,0	50,0	50,0	0,0	26,0	35,0	28,0	37,0	50,0	50,0	50,0	39,0	57,0	37,5	39,2	50,0	50,0	0,0	33,0	57,7	41,5
K7	a	47,1	26,1	32,1	35,1	39,1	50,0	50,0	0,0	0,0	27,1	22,1	26,1	50,0	50,0	50,0	0,0	38,1	28,6	28,9	50,0	50,0	0,0	2,1	53,0	44,0
	b	47,5	24,5	30,5	33,5	39,5	50,0	50,0	0,0	0,0	35,5	18,5	28,5	50,0	50,0	50,0	0,0	36,5	30,0	30,5	50,0	50,0	0,0	0,0	48,6	37,4
	c	26,7	26,7	30,7	35,7	39,7	50,0	50,0	0,0	0,0	26,7	21,7	28,7	50,0	50,0	50,0	0,0	15,7	30,2	28,4	50,0	50,0	0,0	0,0	27,5	35,0
	d	43,8	27,8	32,8	35,8	40,8	50,0	50,0	0,0	8,8	29,8	23,8	29,8	50,0	50,0	50,0	0,0	51,8	32,3	33,0	50,0	50,0	0,0	12,8	51,6	38,8

		Gießmenge in ml								Topf		Variante		
		12.11.	13.11.	14.11.	15.11.	16.11.	17.11.	18.11.	19.11.	20.11.	Mittel	Stabw	Mittel	Stabw
K1	a	50,0	50,0	50,8	50,0	46,1	33,8	46,8	65,0	65,0	37,60	21,17	39,54	22,57
	b	50,0	50,0	92,4	50,0	56,1	45,6	55,3	65,0	65,0	39,11	23,34		
	c	50,0	50,0	91,8	50,0	64,1	48,1	63,4	65,0	65,0	41,45	22,27		
	d	50,0	50,0	94,5	50,0	59,7	46,1	0,0	65,0	65,0	39,98	23,86		
K2	a	50,0	50,0	80,7	50,0	73,7	38,3	63,3	65,0	65,0	37,29	22,48	37,6	22,31
	b	50,0	50,0	85,9	50,0	65,0	53,4	61,2	65,0	65,0	37,00	22,76		
	c	50,0	50,0	85,2	50,0	74,9	50,3	63,9	65,0	65,0	37,05	22,26		
	d	50,0	50,0	83,1	50,0	69,9	50,2	63,7	65,0	65,0	39,04	22,31		
K3	a	50,0	50,0	39,7	50,0	34,8	33,8	44,3	65,0	65,0	27,14	21,01	27,33	20,78
	b	50,0	50,0	22,0	50,0	27,0	27,6	37,9	65,0	65,0	26,87	20,56		
	c	50,0	50,0	36,6	50,0	37,9	26,9	51,2	65,0	65,0	27,41	21,07		
	d	50,0	50,0	38,2	50,0	43,8	28,4	56,7	65,0	65,0	27,90	21,06		
K4	a	50,0	50,0	73,3	50,0	57,9	53,1	59,7	65,0	65,0	33,66	21,88	33,62	21,44
	b	50,0	50,0	72,4	50,0	57,0	49,7	61,2	65,0	65,0	33,19	21,75		
	c	50,0	50,0	72,8	50,0	59,9	48,1	63,9	65,0	65,0	33,73	22,07		
	d	50,0	50,0	63,7	50,0	62,9	34,7	52,3	65,0	65,0	33,88	20,64		
K5	a	50,0	50,0	44,7	50,0	45,5	36,2	54,1	65,0	65,0	31,27	20,19	30,68	20,14
	b	50,0	50,0	50,3	50,0	55,4	30,5	42,5	65,0	65,0	31,64	20,38		
	c	50,0	50,0	29,0	50,0	39,1	31,9	42,0	65,0	65,0	28,48	20,08		
	d	50,0	50,0	52,2	50,0	46,2	40,0	40,2	65,0	65,0	31,32	20,31		
K6	a	50,0	50,0	44,5	50,0	38,1	32,3	41,0	65,0	65,0	33,73	19,53	34,11	19,6
	b	50,0	50,0	62,5	50,0	45,2	38,1	42,4	65,0	65,0	34,09	20,23		
	c	50,0	50,0	53,0	50,0	36,4	33,2	38,6	65,0	65,0	34,10	19,45		
	d	50,0	50,0	64,0	50,0	50,5	34,7	45,4	65,0	65,0	34,51	19,72		
K7	a	50,0	50,0	50,1	50,0	43,7	34,6	43,4	65,0	65,0	32,05	20,24	31,38	19,96
	b	50,0	50,0	48,5	50,0	49,7	35,9	43,0	65,0	65,0	31,84	20,38		
	c	50,0	50,0	14,7	50,0	21,4	32,0	32,9	65,0	65,0	29,28	19,84		
	d	50,0	50,0	48,8	50,0	41,7	32,3	32,3	65,0	65,0	32,33	19,8		

B.2 Klimadaten: Temperatur und Feuchtigkeit in der Kabine

Tag des Monats / Tageszeit*	September		Oktober		November	
	Temperatur	Feuchte	Temperatur	Feuchte	Temperatur	Feuchte
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[%]
01. tags			26,78	66,9	23,49	73,89
01. nachts			20,53	83,77	19,8	74,26
02. tags			26,76	68,05	23,07	73,1
02. nachts			20,61	85,58	19,79	74,6
03. tags			26,19	71,98	23,02	72,44
03. nachts			20,93	91,12	19,71	74,2
04. tags			26,09	76,64	22,55	73,43
04. nachts			21,02	91,34	19,7	74,04
05. tags			24,62	73,52	22,56	75,19
05. nachts			20,54	75,39	19,82	76,76
06. tags			24,87	55,81	22,91	78,51
06. nachts			20,06	68,47	19,87	79,75
07. tags			24,05	53,35	22,67	79,19
07. nachts			19,94	65,34	19,74	79,44
08. tags			23,8	55,59	22,55	76,8
08. nachts			19,8	62,46	19,71	68,09
09. tags			24,35	51,2	22,12	68,47
09. nachts			19,95	65,63	19,83	69,19
10. tags			23,03	68,74	21,33	63,63
10. nachts			20,36	79,24		61,82
11. tags			23,09	70,05		
11. nachts			20,05	72,15		
12. tags			24,1	61,18		
12. nachts			19,82	65,83		
13. tags			24,34	57,32	**	**
13. nachts			19,75	65,26	19,67	63,93
14. tags			24,04	60,79	22,2	64,47
14. nachts			19,75	67,23	20,08	63,98
15. tags			24,26	60,46	21,69	67,93
15. nachts			19,75	68,91	20,11	67,02
16. tags			24,2	62,22	22,1	69,21
16. nachts			19,75	72,16	20,05	64,41
17. tags			24,21	63,85	21,32	69,85
17. nachts			19,8	76,66	20,09	69,75
18. tags			23,72	73,06	21,74	72,63
18. nachts			19,96	81,17	20,17	75,16
19. tags			23,75	73,43	22,34	79,33
19. nachts			19,72	77,41	20,34	80,39
20. tags			22,78	75,68	22,18	80,49
20. nachts			19,58	76,16	20,1	73,48
21. tags			23,57	76,39	22,04	74,81
21. nachts			19,68	81,33		Ende
22. tags			23,78	79,95		
22. nachts			19,66	83,66		
23. tags			23,66	86,93		
23. nachts			19,11	99,44		

Tag des Monats / Tageszeit*	September		Oktober		November	
	Temperatur	Feuchte	Temperatur	Feuchte	Temperatur	Feuchte
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[%]
24. tags			22,78	99,48		
nachts			20,02	99,34		
25. tags			22,99	90,6		
nachts			20,08	75,53		
26. tags			22,82	71,61		
nachts	Beginn		20,01	73,84		
27. tags	25,14	66,68	23,3	73,52		
nachts	20,23	72,11	20,26	78,54		
28. tags	25,94	54,34	23,51	71,04		
nachts	20,35	75,17	19,88	72,13		
29. tags	26,46	58,72	23,75	68,38		
nachts	20,45	80,38	20,05	75,8		
30. tags	26,85	63,47	23,59	73,63		
nachts	20,53	82,83	20,16	77,16		
31. tags	-	-	23,58	75,61		
nachts	-	-	20,13	77,25		

* tags 6 – 18 h/ nachts 18 – 6 h

** Ausfall des Messinstrumentariums

C Statistik

C.1 Kolmogorov-Smirnov-Test

Parameter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	Signifikanz						
FG	0,676	0,701	0,816	0,884	0,847	0,961	0,624
TG	0,985	0,997	1,000	0,962	0,993	0,836	0,891
Blattzahl grün	0,139	0,796	0,330	0,969	0,457	0,871	0,431
Blattzahl gesamt	0,317	0,925	0,330	0,748	0,708	0,914	0,658
Oberfläche	0,996	0,172	0,597	0,750	0,520	0,814	0,954
N	0,991	0,611	0,981	0,997	0,678	0,375	0,758
C	0,447	0,825	0,877	0,603	0,651	0,998	0,890
S	0,738	0,726	0,991	0,611	0,320	0,974	0,411
Nitrat-N	0,51	0,95	0,97	0,59	0,66	0,28	0,98
Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau beträgt 0,05.							

Alle Ergebnisse sind signifikant und führen zur Annahme der Nullhypothese (= Normalverteilung)

C.2 ANOVA und Bonferroni Test

C.2.1 FG/TG

Einfaktorielle ANOVA						
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
FG [g]	Zwischen den Gruppen	1266,039	6	211,006	61,573	,000
	Innerhalb der Gruppen	71,965	21	3,427		
	Gesamt	1338,004	27			
TG [g]	Zwischen den Gruppen	7,874	6	1,312	98,347	,000
	Innerhalb der Gruppen	,280	21	,013		
	Gesamt	8,154	27			

Bonferroni							
Abhängige Variable			Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
FG [g]	1,0	2,0	-6,19500*	1,30899	,002	-10,7152	-1,6748
		3,0	-7,65250*	1,30899	,000	-12,1727	-3,1323
		4,0	-9,81500*	1,30899	,000	-14,3352	-5,2948
		5,0	5,38250*	1,30899	,010	,8623	9,9027
		6,0	5,45250*	1,30899	,009	,9323	9,9727
		7,0	8,22000*	1,30899	,000	3,6998	12,7402
	2,0	1,0	6,19500*	1,30899	,002	1,6748	10,7152
		3,0	-1,45750	1,30899	1,000	-5,9777	3,0627
		4,0	-3,62000	1,30899	,243	-8,1402	,9002
		5,0	11,57750*	1,30899	,000	7,0573	16,0977
		6,0	11,64750*	1,30899	,000	7,1273	16,1677
		7,0	14,41500*	1,30899	,000	9,8948	18,9352
	3,0	1,0	7,65250*	1,30899	,000	3,1323	12,1727
		2,0	1,45750	1,30899	1,000	-3,0627	5,9777
		4,0	-2,16250	1,30899	1,000	-6,6827	2,3577
		5,0	13,03500*	1,30899	,000	8,5148	17,5552
		6,0	13,10500*	1,30899	,000	8,5848	17,6252
		7,0	15,87250*	1,30899	,000	11,3523	20,3927
	4,0	1,0	9,81500*	1,30899	,000	5,2948	14,3352
		2,0	3,62000	1,30899	,243	-,9002	8,1402
		3,0	2,16250	1,30899	1,000	-2,3577	6,6827
		5,0	15,19750*	1,30899	,000	10,6773	19,7177
		6,0	15,26750*	1,30899	,000	10,7473	19,7877
		7,0	18,03500*	1,30899	,000	13,5148	22,5552
	5,0	1,0	-5,38250*	1,30899	,010	-9,9027	-,8623
		2,0	-11,57750*	1,30899	,000	-16,0977	-7,0573
		3,0	-13,03500*	1,30899	,000	-17,5552	-8,5148
		4,0	-15,19750*	1,30899	,000	-19,7177	-10,6773
		6,0	,07000	1,30899	1,000	-4,4502	4,5902
		7,0	2,83750	1,30899	,878	-1,6827	7,3577
	6,0	1,0	-5,45250*	1,30899	,009	-9,9727	-,9323
		2,0	-11,64750*	1,30899	,000	-16,1677	-7,1273

Bonferroni							
Abhängige Variable		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall		
					Untergrenze	Obergrenze	
FG [g]	6,0	3,0	-13,10500*	1,30899	,000	-17,6252	-8,5848
		4,0	-15,26750*	1,30899	,000	-19,7877	-10,7473
		5,0	-,07000	1,30899	1,000	-4,5902	4,4502
		7,0	2,76750	1,30899	,979	-1,7527	7,2877
	7,0	1,0	-8,22000*	1,30899	,000	-12,7402	-3,6998
		2,0	-14,41500*	1,30899	,000	-18,9352	-9,8948
		3,0	-15,87250*	1,30899	,000	-20,3927	-11,3523
		4,0	-18,03500*	1,30899	,000	-22,5552	-13,5148
		5,0	-2,83750	1,30899	,878	-7,3577	1,6827
		6,0	-2,76750	1,30899	,979	-7,2877	1,7527
TG [g]	1,0	2,0	-,32750*	,08168	,013	-,6096	-,0454
		3,0	,01500	,08168	1,000	-,2671	,2971
		4,0	-,40250*	,08168	,001	-,6846	-,1204
		5,0	,81750*	,08168	,000	,5354	1,0996
		6,0	,55500*	,08168	,000	,2729	,8371
		7,0	1,07250*	,08168	,000	,7904	1,3546
		2,0	1,0	,32750*	,08168	,013	,0454
	3,0		,34250*	,08168	,009	,0604	,6246
	4,0		-,07500	,08168	1,000	-,3571	,2071
	5,0		1,14500*	,08168	,000	,8629	1,4271
	6,0		,88250*	,08168	,000	,6004	1,1646
	7,0		1,40000*	,08168	,000	1,1179	1,6821
	3,0		1,0	-,01500	,08168	1,000	-,2971
		2,0	-,34250*	,08168	,009	-,6246	-,0604
		4,0	-,41750*	,08168	,001	-,6996	-,1354
		5,0	,80250*	,08168	,000	,5204	1,0846
		6,0	,54000*	,08168	,000	,2579	,8221
		7,0	1,05750*	,08168	,000	,7754	1,3396
		4,0	1,0	,40250*	,08168	,001	,1204
	2,0		,07500	,08168	1,000	-,2071	,3571
	3,0		,41750*	,08168	,001	,1354	,6996
	5,0		1,22000*	,08168	,000	,9379	1,5021
	6,0		,95750*	,08168	,000	,6754	1,2396
	7,0		1,47500*	,08168	,000	1,1929	1,7571
	5,0		1,0	-,81750*	,08168	,000	-1,0996
		2,0	-1,14500*	,08168	,000	-1,4271	-,8629
		3,0	-,80250*	,08168	,000	-1,0846	-,5204
		4,0	-1,22000*	,08168	,000	-1,5021	-,9379
		6,0	-,26250	,08168	,088	-,5446	,0196
		7,0	,25500	,08168	,108	-,0271	,5371
		6,0	1,0	-,55500*	,08168	,000	-,8371
	2,0		-,88250*	,08168	,000	-1,1646	-,6004
	3,0		-,54000*	,08168	,000	-,8221	-,2579
	4,0		-,95750*	,08168	,000	-1,2396	-,6754
	5,0		,26250	,08168	,088	-,0196	,5446
	7,0		,51750*	,08168	,000	,2354	,7996
	7,0		1,0	-1,07250*	,08168	,000	-1,3546
		2,0	-1,40000*	,08168	,000	-1,6821	-1,1179
		3,0	-1,05750*	,08168	,000	-1,3396	-,7754
		4,0	-1,47500*	,08168	,000	-1,7571	-1,1929
		5,0	-,25500	,08168	,108	-,5371	,0271
		6,0	-,51750*	,08168	,000	-,7996	-,2354

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

C.2.2 Blattzahl und Oberfläche

Einfaktorielle ANOVA						
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	229,476	6	38,246	10,223	,000
	Innerhalb der Gruppen	288,083	77	3,741		
	Gesamt	517,560	83			
alle Blätter	Zwischen den Gruppen	196,810	6	32,802	9,413	,000
	Innerhalb der Gruppen	268,333	77	3,485		
	Gesamt	465,143	83			
Oberfläche	Zwischen den Gruppen	80192,413	6	13365,402	15,305	,000
	Innerhalb der Gruppen	67240,294	77	873,251		
	Gesamt	147432,707	83			

Bonferroni								
Abhängige Variable		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall			
					Untergrenze	Obergrenze		
grüne Blätter	1	2	-2,33333	,78966	,087	-4,8145	,1479	
		3	-1,08333	,78966	1,000	-3,5645	1,3979	
		4	-2,50000*	,78966	,047	-4,9812	-,0188	
		5	,16667	,78966	1,000	-2,3145	2,6479	
		6	1,58333	,78966	1,000	-,8979	4,0645	
		7	2,08333	,78966	,212	-,3979	4,5645	
		2	1	2,33333	,78966	,087	-,1479	4,8145
	2	3	1,25000	,78966	1,000	-1,2312	3,7312	
		4	-,16667	,78966	1,000	-2,6479	2,3145	
		5	2,50000*	,78966	,047	,0188	4,9812	
		6	3,91667*	,78966	,000	1,4355	6,3979	
		7	4,41667*	,78966	,000	1,9355	6,8979	
		3	1	1,08333	,78966	1,000	-1,3979	3,5645
		3	2	-1,25000	,78966	1,000	-3,7312	1,2312
	4		-1,41667	,78966	1,000	-3,8979	1,0645	
	5		1,25000	,78966	1,000	-1,2312	3,7312	
	6		2,66667*	,78966	,024	,1855	5,1479	
	7		3,16667*	,78966	,003	,6855	5,6479	
	4		1	2,50000*	,78966	,047	,0188	4,9812
	4		2	,16667	,78966	1,000	-2,3145	2,6479
		3	1,41667	,78966	1,000	-1,0645	3,8979	
		5	2,66667*	,78966	,024	,1855	5,1479	
		6	4,08333*	,78966	,000	1,6021	6,5645	
		7	4,58333*	,78966	,000	2,1021	7,0645	
		5	1	-,16667	,78966	1,000	-2,6479	2,3145
		5	2	-2,50000*	,78966	,047	-4,9812	-,0188
	3		-1,25000	,78966	1,000	-3,7312	1,2312	
	4		-2,66667*	,78966	,024	-5,1479	-,1855	
6	1,41667		,78966	1,000	-1,0645	3,8979		
7	1,91667		,78966	,369	-,5645	4,3979		
6	1		-1,58333	,78966	1,000	-4,0645	,8979	
2	-3,91667*		,78966	,000	-6,3979	-1,4355		

Bonferroni								
Abhängige Variable			Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall		
						Untergrenze	Obergrenze	
grüne Blätter	6,0	3	-2,66667*	,78966	,024	-5,1479	-,1855	
		4	-4,08333*	,78966	,000	-6,5645	-1,6021	
		5	-1,41667	,78966	1,000	-3,8979	1,0645	
		7	,50000	,78966	1,000	-1,9812	2,9812	
	7,0	1	-2,08333	,78966	,212	-4,5645	,3979	
		2	-4,41667*	,78966	,000	-6,8979	-1,9355	
		3	-3,16667*	,78966	,003	-5,6479	-,6855	
		4	-4,58333*	,78966	,000	-7,0645	-2,1021	
		5	-1,91667	,78966	,369	-4,3979	,5645	
		6	-,50000	,78966	1,000	-2,9812	1,9812	
	alle Blätter	1,0	2	-1,58333	,76211	,863	-3,9780	,8113
			3	,83333	,76211	1,000	-1,5613	3,2280
			4	-1,08333	,76211	1,000	-3,4780	1,3113
			5	1,00000	,76211	1,000	-1,3946	3,3946
6			2,75000*	,76211	,011	,3554	5,1446	
7			2,50000*	,76211	,033	,1054	4,8946	
2,0			1	1,58333	,76211	,863	-,8113	3,9780
		3	2,41667*	,76211	,046	,0220	4,8113	
		4	,50000	,76211	1,000	-1,8946	2,8946	
		5	2,58333*	,76211	,023	,1887	4,9780	
		6	4,33333*	,76211	,000	1,9387	6,7280	
		7	4,08333*	,76211	,000	1,6887	6,4780	
		3,0	1	-,83333	,76211	1,000	-3,2280	1,5613
2			-2,41667*	,76211	,046	-4,8113	-,0220	
4			-1,91667	,76211	,294	-4,3113	,4780	
5			,16667	,76211	1,000	-2,2280	2,5613	
6			1,91667	,76211	,294	-,4780	4,3113	
7			1,66667	,76211	,667	-,7280	4,0613	
4,0			1	1,08333	,76211	1,000	-1,3113	3,4780
		2	-,50000	,76211	1,000	-2,8946	1,8946	
		3	1,91667	,76211	,294	-,4780	4,3113	
		5	2,08333	,76211	,163	-,3113	4,4780	
		6	3,83333*	,76211	,000	1,4387	6,2280	
		7	3,58333*	,76211	,000	1,1887	5,9780	
		5,0	1	-1,00000	,76211	1,000	-3,3946	1,3946
2			-2,58333*	,76211	,023	-4,9780	-,1887	
3			-,16667	,76211	1,000	-2,5613	2,2280	
4			-2,08333	,76211	,163	-4,4780	,3113	
6			1,75000	,76211	,512	-,6446	4,1446	
7			1,50000	,76211	1,000	-,8946	3,8946	
6,0	1		-2,75000*	,76211	,011	-5,1446	-,3554	
	2	-4,33333*	,76211	,000	-6,7280	-1,9387		
	3	-1,91667	,76211	,294	-4,3113	,4780		
	4	-3,83333*	,76211	,000	-6,2280	-1,4387		
	5	-1,75000	,76211	,512	-4,1446	,6446		
	7	-,25000	,76211	1,000	-2,6446	2,1446		
	7,0	1	-2,50000*	,76211	,033	-4,8946	-,1054	
2		-4,08333*	,76211	,000	-6,4780	-1,6887		
3		-1,66667	,76211	,667	-4,0613	,7280		
4		-3,58333*	,76211	,000	-5,9780	-1,1887		
5		-1,50000	,76211	1,000	-3,8946	,8946		
6		,25000	,76211	1,000	-2,1446	2,6446		

Bonferroni							
Abhängige Variable			Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Ober- fläche	1	2	-29,49500	12,06407	,352	-67,4019	8,4119
		3	-17,03250	12,06407	1,000	-54,9394	20,8744
		4	-40,44917*	12,06407	,026	-78,3561	-2,5423
		5	29,42500	12,06407	,358	-8,4819	67,3319
		6	35,16917	12,06407	,098	-2,7377	73,0761
		7	42,94417*	12,06407	,013	5,0373	80,8511
		2	1	29,49500	12,06407	,352	-8,4119
	3		12,46250	12,06407	1,000	-25,4444	50,3694
	4		-10,95417	12,06407	1,000	-48,8611	26,9527
	5		58,92000*	12,06407	,000	21,0131	96,8269
	6		64,66417*	12,06407	,000	26,7573	102,5711
	7		72,43917*	12,06407	,000	34,5323	110,3461
	3		1	17,03250	12,06407	1,000	-20,8744
		2	-12,46250	12,06407	1,000	-50,3694	25,4444
		4	-23,41667	12,06407	1,000	-61,3236	14,4902
		5	46,45750*	12,06407	,005	8,5506	84,3644
		6	52,20167*	12,06407	,001	14,2948	90,1086
		7	59,97667*	12,06407	,000	22,0698	97,8836
		4	1	40,44917*	12,06407	,026	2,5423
	2		10,95417	12,06407	1,000	-26,9527	48,8611
	3		23,41667	12,06407	1,000	-14,4902	61,3236
	5		69,87417*	12,06407	,000	31,9673	107,7811
	6		75,61833*	12,06407	,000	37,7114	113,5252
	7		83,39333*	12,06407	,000	45,4864	121,3002
	5		1	-29,42500	12,06407	,358	-67,3319
		2	-58,92000*	12,06407	,000	-96,8269	-21,0131
		3	-46,45750*	12,06407	,005	-84,3644	-8,5506
		4	-69,87417*	12,06407	,000	-107,7811	-31,9673
6		5,74417	12,06407	1,000	-32,1627	43,6511	
7		13,51917	12,06407	1,000	-24,3877	51,4261	
6		1	-35,16917	12,06407	,098	-73,0761	2,7377
	2	-64,66417*	12,06407	,000	-102,5711	-26,7573	
	3	-52,20167*	12,06407	,001	-90,1086	-14,2948	
	4	-75,61833*	12,06407	,000	-113,5252	-37,7114	
	5	-5,74417	12,06407	1,000	-43,6511	32,1627	
	7	7,77500	12,06407	1,000	-30,1319	45,6819	
	7	1	-42,94417*	12,06407	,013	-80,8511	-5,0373
2		-72,43917*	12,06407	,000	-110,3461	-34,5323	
3		-59,97667*	12,06407	,000	-97,8836	-22,0698	
4		-83,39333*	12,06407	,000	-121,3002	-45,4864	
5		-13,51917	12,06407	1,000	-51,4261	24,3877	
6		-7,77500	12,06407	1,000	-45,6819	30,1319	

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

C.2.3

CNS

Einfaktorielle ANOVA						
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadratrate	F	Signifikanz
N	Zwischen den Gruppen	69,747	6	11,624	179,016	,000
	Innerhalb der Gruppen	3,377	52	,065		
	Gesamt	73,123	58			
C	Zwischen den Gruppen	146,941	6	24,490	80,441	,000
	Innerhalb der Gruppen	15,831	52	,304		
	Gesamt	162,772	58			
S	Zwischen den Gruppen	1,127	6	,188	92,831	,000
	Innerhalb der Gruppen	,105	52	,002		
	Gesamt	1,232	58			

Bonferroni							
Abhängige Variable		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall		
					Untergrenze	Obergrenze	
N	1,0	2,0	-1,34625*	,12382	,000	-1,7418	-,9507
		3,0	-3,06972*	,12741	,000	-3,4767	-2,6627
		4,0	-2,01588*	,12741	,000	-2,4229	-1,6089
		5,0	-1,03616*	,12741	,000	-1,4432	-,6291
		6,0	,22826	,12741	1,000	-,1788	,6353
		7,0	-2,20387*	,12087	,000	-2,5900	-1,8177
		7,0	-2,20387*	,12087	,000	-2,5900	-1,8177
	2,0	1,0	1,34625*	,12382	,000	,9507	1,7418
		3,0	-1,72347*	,12382	,000	-2,1190	-1,3279
		4,0	-,66963*	,12382	,000	-1,0652	-,2741
		5,0	,31009	,12382	,324	-,0855	,7056
		6,0	1,57451*	,12382	,000	1,1790	1,9701
		7,0	-,85761*	,11708	,000	-1,2316	-,4836
		7,0	-,85761*	,11708	,000	-1,2316	-,4836
	3,0	1,0	3,06972*	,12741	,000	2,6627	3,4767
		2,0	1,72347*	,12382	,000	1,3279	2,1190
		4,0	1,05384*	,12741	,000	,6468	1,4609
		5,0	2,03356*	,12741	,000	1,6265	2,4406
		6,0	3,29798*	,12741	,000	2,8910	3,7050
		7,0	,86586*	,12087	,000	,4797	1,2520
		7,0	,86586*	,12087	,000	,4797	1,2520
	4,0	1,0	2,01588*	,12741	,000	1,6089	2,4229
		2,0	,66963*	,12382	,000	,2741	1,0652
		3,0	-1,05384*	,12741	,000	-1,4609	-,6468
		5,0	,97972*	,12741	,000	,5727	1,3867
		6,0	2,24414*	,12741	,000	1,8371	2,6512
		7,0	-,18799	,12087	1,000	-,5741	,1981
		7,0	-,18799	,12087	1,000	-,5741	,1981
5,0	1,0	1,03616*	,12741	,000	,6291	1,4432	
	2,0	-,31009	,12382	,324	-,7056	,0855	
	3,0	-2,03356*	,12741	,000	-2,4406	-1,6265	
	4,0	-,97972*	,12741	,000	-1,3867	-,5727	
	6,0	1,26442*	,12741	,000	,8574	1,6714	
	7,0	-1,16771*	,12087	,000	-1,5538	-,7816	
	7,0	-1,16771*	,12087	,000	-1,5538	-,7816	
6,0	1,0	-,22826	,12741	1,000	-,6353	,1788	
	2,0	-1,57451*	,12382	,000	-1,9701	-1,1790	

Bonferroni								
Abhängige Variable		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall			
					Untergrenze	Obergrenze		
N	6,0	3,0	-3,29798*	,12741	,000	-3,7050	-2,8910	
		4,0	-2,24414*	,12741	,000	-2,6512	-1,8371	
		5,0	-1,26442*	,12741	,000	-1,6714	-,8574	
		7,0	-2,43213*	,12087	,000	-2,8183	-2,0460	
	7,0	1,0	2,20387*	,12087	,000	1,8177	2,5900	
		2,0	,85761*	,11708	,000	,4836	1,2316	
		3,0	-,86586*	,12087	,000	-1,2520	-,4797	
		4,0	,18799	,12087	1,000	-,1981	,5741	
		5,0	1,16771*	,12087	,000	,7816	1,5538	
		6,0	2,43213*	,12087	,000	2,0460	2,8183	
	C	1,0	2,0	-,39109	,26811	1,000	-1,2476	,4654
			3,0	4,10346*	,27588	,000	3,2221	4,9848
			4,0	1,94135*	,27588	,000	1,0600	2,8227
			5,0	-,61196	,27588	,650	-1,4933	,2693
6,0			,03872	,27588	1,000	-,8426	,9200	
7,0			-,31708	,26173	1,000	-1,1532	,5190	
2,0			1,0	,39109	,26811	1,000	-,4654	1,2476
		3,0	4,49455*	,26811	,000	3,6381	5,3510	
		4,0	2,33244*	,26811	,000	1,4760	3,1889	
		5,0	-,22087	,26811	1,000	-1,0773	,6356	
		6,0	,42981	,26811	1,000	-,4267	1,2863	
		7,0	,07401	,25352	1,000	-,7359	,8839	
3,0		1,0	-4,10346*	,27588	,000	-4,9848	-3,2221	
		2,0	-4,49455*	,26811	,000	-5,3510	-3,6381	
		4,0	-2,16211*	,27588	,000	-3,0434	-1,2808	
		5,0	-4,71542*	,27588	,000	-5,5967	-3,8341	
		6,0	-4,06474*	,27588	,000	-4,9460	-3,1834	
		7,0	-4,42053*	,26173	,000	-5,2566	-3,5844	
		4,0	1,0	-1,94135*	,27588	,000	-2,8227	-1,0600
2,0			-2,33244*	,26811	,000	-3,1889	-1,4760	
3,0			2,16211*	,27588	,000	1,2808	3,0434	
5,0			-2,55331*	,27588	,000	-3,4346	-1,6720	
6,0			-1,90263*	,27588	,000	-2,7839	-1,0213	
7,0			-2,25842*	,26173	,000	-3,0945	-1,4223	
5,0			1,0	,61196	,27588	,650	-,2693	1,4933
		2,0	,22087	,26811	1,000	-,6356	1,0773	
		3,0	4,71542*	,27588	,000	3,8341	5,5967	
		4,0	2,55331*	,27588	,000	1,6720	3,4346	
		6,0	,65068	,27588	,465	-,2306	1,5320	
		7,0	,29488	,26173	1,000	-,5412	1,1310	
6,0		1,0	-,03872	,27588	1,000	-,9200	,8426	
		2,0	-,42981	,26811	1,000	-1,2863	,4267	
		3,0	4,06474*	,27588	,000	3,1834	4,9460	
		4,0	1,90263*	,27588	,000	1,0213	2,7839	
		5,0	-,65068	,27588	,465	-1,5320	,2306	
		7,0	-,35579	,26173	1,000	-1,1919	,4803	
		7,0	1,0	,31708	,26173	1,000	-,5190	1,1532
2,0			-,07401	,25352	1,000	-,8839	,7359	
3,0			4,42053*	,26173	,000	3,5844	5,2566	
4,0			2,25842*	,26173	,000	1,4223	3,0945	
5,0			-,29488	,26173	1,000	-1,1310	,5412	
6,0			,35579	,26173	1,000	-,4803	1,1919	

Bonferroni							
Abhängige Variable		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall		
					Untergrenze	Obergrenze	
S	1,0	2,0	-,06748	,02186	,068	-,1373	,0023
		3,0	-,10807*	,02249	,000	-,1799	-,0362
		4,0	-,12977*	,02249	,000	-,2016	-,0579
		5,0	-,40774*	,02249	,000	-,4796	-,3359
		6,0	,00319	,02249	1,000	-,0687	,0750
		7,0	,03858	,02134	1,000	-,0296	,1067
	2,0	1,0	,06748	,02186	,068	-,0023	,1373
		3,0	-,04058	,02186	1,000	-,1104	,0292
		4,0	-,06229	,02186	,131	-,1321	,0075
		5,0	-,34026*	,02186	,000	-,4101	-,2704
		6,0	,07067	,02186	,045	,0008	,1405
		7,0	,10607	,02067	,000	,0400	,1721
	3,0	1,0	,10807*	,02249	,000	,0362	,1799
		2,0	,04058	,02186	1,000	-,0292	,1104
		4,0	-,02171	,02249	1,000	-,0936	,0501
		5,0	-,29968*	,02249	,000	-,3715	-,2278
		6,0	,11126*	,02249	,000	,0394	,1831
		7,0	,14665*	,02134	,000	,0785	,2148
	4,0	1,0	,12977*	,02249	,000	,0579	,2016
		2,0	,06229	,02186	,131	-,0075	,1321
		3,0	,02171	,02249	1,000	-,0501	,0936
		5,0	-,27797*	,02249	,000	-,3498	-,2061
		6,0	,13296*	,02249	,000	,0611	,2048
		7,0	,16836*	,02134	,000	,1002	,2365
	5,0	1,0	,40774*	,02249	,000	,3359	,4796
		2,0	,34026*	,02186	,000	,2704	,4101
		3,0	,29968*	,02249	,000	,2278	,3715
		4,0	,27797*	,02249	,000	,2061	,3498
6,0		,41093*	,02249	,000	,3391	,4828	
7,0		,44633*	,02134	,000	,3782	,5145	
6,0	1,0	-,00319	,02249	1,000	-,0750	,0687	
	2,0	-,07067*	,02186	,045	-,1405	-,0008	
	3,0	-,11126*	,02249	,000	-,1831	-,0394	
	4,0	-,13296*	,02249	,000	-,2048	-,0611	
	5,0	-,41093*	,02249	,000	-,4828	-,3391	
	7,0	,03539	,02134	1,000	-,0328	,1036	
7,0	1,0	-,03858	,02134	1,000	-,1067	,0296	
	2,0	-,10607*	,02067	,000	-,1721	-,0400	
	3,0	-,14665*	,02134	,000	-,2148	-,0785	
	4,0	-,16836*	,02134	,000	-,2365	-,1002	
	5,0	-,44633*	,02134	,000	-,5145	-,3782	
	6,0	-,03539	,02134	1,000	-,1036	,0328	

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

C.3 Nitrat-N

Einfaktorielle ANOVA					
Nitrat-N [% TG]					
	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	5,450	6	,908	113,735	,000
Innerhalb der Gruppen	,391	49	,008		
Gesamt	5,841	55			

Bonferroni							
Abhängige Variable			Mittlere Differenz (I-Standardfehler		Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
			J)	er		Untergrenze	Obergrenze
Nitrat-N	1	2	-,14285	,04468	,051	-,2860	,0003
		3	-,91612*	,04468	,000	-1,0593	-,7729
		4	-,49632*	,04468	,000	-,6395	-,3531
		5	-,05279	,04468	1,000	-,1960	,0904
		6	,00455	,04468	1,000	-,1386	,1477
		7	-,23420*	,04468	,000	-,3774	-,0910
		2	1	,14285	,04468	,051	-,0003
	3	-,77327*	,04468	,000	-,9165	-,6301	
	4	-,35347*	,04468	,000	-,4967	-,2103	
	5	,09006	,04468	1,000	-,0531	,2332	
	6	,14740*	,04468	,038	,0042	,2906	
	7	-,09135	,04468	,972	-,2345	,0518	
	3	1	,91612*	,04468	,000	,7729	1,0593
	2	,77327*	,04468	,000	,6301	,9165	
	4	,41980*	,04468	,000	,2766	,5630	
	5	,86333*	,04468	,000	,7201	1,0065	
	6	,92067*	,04468	,000	,7775	1,0639	
	7	,68192*	,04468	,000	,5387	,8251	
	4	1	-,49632*	,04468	,000	-,3531	-,6395
	2	,35347*	,04468	,000	,2103	-,4967	
	3	-,41980*	,04468	,000	-,5630	-,2766	
	5	,44353*	,04468	,000	,3003	,5867	
	6	,50087*	,04468	,000	,3577	,6441	
	7	,26211*	,04468	,000	,1189	,4053	
	5	1	,05279	,04468	1,000	-,0904	,1960
	2	-,09006	,04468	1,000	-,2332	,0531	
	3	-,86333*	,04468	,000	-1,0065	-,7201	
	4	-,44353*	,04468	,000	-,5867	-,3003	
6	,05734	,04468	1,000	-,0858	,2005		
7	-,18142*	,04468	,004	-,3246	-,0382		
6	1	-,00455	,04468	1,000	-,1477	,1386	
2	-,14740*	,04468	,038	-,2906	-,0042		
3	-,92067*	,04468	,000	-1,0639	-,7775		
4	-,50087*	,04468	,000	-,6441	-,3577		
5	-,05734	,04468	1,000	-,2005	,0858		
7	-,23876*	,04468	,000	-,3819	-,0956		
7	1	,23420*	,04468	,000	,0910	,3774	
2	,09135	,04468	,972	-,0518	,2345		
3	-,68192*	,04468	,000	-,8251	-,5387		
4	-,26211*	,04468	,000	-,4053	-,1189		
5	,18142*	,04468	,004	,0382	,3246		
6	,23876*	,04468	,000	,0956	,3819		

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.