



BIOENERGIESYSTEME GmbH

Forschung, Entwicklung und Planung von Anlagen
zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse

Inffeldgasse 21b A-8010 GRAZ, AUSTRIA

TEL.: +43 (0)316-481300; FAX: +43 (0)316-481300-4

EMAIL: OFFICE@BIOS-BIOENERGY.AT

HOMEPAGE: HTTP://BIOS-BIOENERGY.AT



Einsatz von Holzasche als Zuschlagsstoff in der Kompostierung

Empfehlungen für verfahrenstechnisch und ökologisch sinnvolle Zuschlagsmengen für Holzaschen in der Kompostierung



**Studie im Rahmen des FFG-Branchenprojektes
„Entwicklung von innovativen Verfahren zur
Holzascheverwertung“
Projekt-Nr.: 825675**

Projektleiter: Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ingwald Obernberger

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Klaus Supancic

**Mit freundlicher Unterstützung von Dr. Heinrich Holzner,
Landwirtschaftskammer Steiermark**

Graz, November 2010

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	1
ABSTRACT.....	3
1 EINLEITUNG, RAHMENBEDINGUNGEN UND ZIELSETZUNGEN.....	5
1.1 EINLEITUNG.....	5
1.2 STAND DER TECHNIK UND RAHMENBEDINGUNGEN	5
1.3 ZIELSETZUNG.....	6
2 METHODIK	8
2.1 DATENBASIS/ZUSAMMENSTELLUNG DER AUSGANGSMISCHUNGEN	8
2.1.1 <i>Zusammensetzung der Ausgangsstoffe</i>	8
2.1.2 <i>Kennwerte zur Kompostierung</i>	10
2.2 SIMULATIONSPROGRAMM.....	10
2.3 STOFFBILANZEN.....	12
2.4 ERMITTLUNG DER NÄHRSTOFF- UND SCHWERMETALLFRACHTEN BEI SACHGERECHTER AUSBRINGUNG VON KOMPOST.....	14
3 ERGEBNISSE.....	14
3.1 VERIFIZIERUNG DES SIMULATIONSPROGRAMMS	14
3.2 KOMPOSTAUSGANGSMISCHUNGEN UND ASCHEQUALITÄTEN.....	20
3.3 STOFFBILANZIERUNG.....	30
3.3.1 <i>Bilanzierung über den Rotteverlauf – Verlauf wichtiger Parameter über die Rottedauer</i>	32
3.3.2 <i>Bilanzierung über den Rotteverlauf – Kennzahlen</i>	34
3.3.3 <i>Kompostzusammensetzungen</i>	36
3.4 BEWERTUNG DER KOMPOSTE	39
3.4.1 <i>Vergleich mit den Qualitätsklassen der Kompostverordnung</i>	39
3.4.2 <i>Vergleich mit Literaturwerten</i>	44
3.5 ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DER KOMPOSTNUTZUNG	45
4 ZUSAMMENFASSUNG.....	57
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....	63
6 LITERATUR	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Temperaturverlauf über die Rottedauer für die Kompostausgangsmischung „Rindermist“.....	33
Abbildung 2:	Verlauf des Wassergehalts über die Rottedauer für die Kompostausgangsmischung „Rindermist“.....	33
Abbildung 3:	Verlauf der Konzentrationsverläufe für O ₂ und CO ₂ in der Luft in der Miete über die Rottedauer für die Kompostausgangsmischung „Rindermist“.....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich von gemessenen Nährstoff-/Schwermetallgehalten im fertigen Kompost mit auf Basis der Gehalte in der Ausgangsmischung und dem Trockensubstanzverlust errechneten Nährstoff-/Schwermetallgehalten	13
Tabelle 2:	Eingabeparameter für die Verifizierung des Simulationsprogramms.....	16
Tabelle 3:	Vergleich der Ergebnisse der Rottesimulation mit den Ergebnissen von der TU Graz durchgeführten Kompostierversuchen	19
Tabelle 4:	Vergleich wichtiger Kennwerte der Kompostierung für Referenzkomposte und Aschekomposte	20
Tabelle 5:	Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“	21
Tabelle 6:	Kompostausgangsmischung „Wirtschaftsdüngerkompost“	22
Tabelle 7:	Kompostausgangsmischung „Bioabfallkompost“	23
Tabelle 8:	Kompostausgangsmischung „Grünschnittkompost“	23
Tabelle 9:	Grenzwerte für Pflanzenaschen für den Einsatz als Zuschlagsstoff in der Kompostierung gemäß KompostVO 2001	25
Tabelle 10:	Zusammensetzung der als Zuschlagsstoff untersuchten Aschen.....	27
Tabelle 11:	Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost mit 2 Gew% FS Zuschlag von Holzasche mit Schwermetallgehalten gem. Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.....	28
Tabelle 12:	Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost mit 5 Gew% FS Zuschlag von Holzasche mit Schwermetallgehalten gem. Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.....	28
Tabelle 13:	Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost mit 8 Gew% FS Zuschlag von Holzasche mit Schwermetallgehalten gem. Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.....	29
Tabelle 14:	Eingabeparameter für die Simulation der einzelnen Aschezuschlagsvarianten für die Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“	32
Tabelle 15:	Abbauraten bei der Kompostierung verschiedener Kompostausgangsmischungen mit unterschiedlichen Aschezuschlagsmengen.....	35
Tabelle 16:	Zusammensetzung der fertigen Komposte für die Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“ bei verschiedenen Aschezuschlagsmengen – Schwermetallgehalte gemäß den Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.....	37
Tabelle 17:	Zusammensetzung der fertigen Komposte für die Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“ bei verschiedenen Aschezuschlagsmengen – durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Messwerten für Rostasche aus dem FFG-Branchenprojekt	38

Tabelle 18:	Vergleich der Schwermetallgehalte verschiedener Kompostausgangsmischungen mit unterschiedlichen Aschezuschlagsmengen mit den Grenzwerten der Kompostverordnung 2001	40
Tabelle 19:	Vorgeschlagene Maximalgehalte für Schwermetalle in Aschen als Zuschlagsstoffe in der Kompostierung zur Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A.....	42
Tabelle 20:	Theoretische Maximalgehalte für Schwermetalle in Aschen als Zuschlagsstoffe in der Kompostierung zur Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+.....	43
Tabelle 21:	Gegenüberstellung der ermittelten Kompostzusammensetzungen mit Werten aus der Literatur	45
Tabelle 22:	Vergleich der Nährstoffgehalte von Komposten und Holzaschen	45
Tabelle 23:	Übersicht über die Schwermetallfrachten bei maximaler Kompostausbringungsmenge von 8 t TS/ha*a und Vergleich mit zulässigen Schwermetallfrachten gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie.....	47
Tabelle 24:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten ohne Aschezusatz und mit Mineraldünger-Ergänzung	49
Tabelle 25:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 2 Gew% FS Rostaschezusatz und mit Mineraldünger-Ergänzung	50
Tabelle 26:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 5 Gew% FS Rostaschezusatz und mit Mineraldünger-Ergänzung	51
Tabelle 27:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 8 Gew% FS Rostaschezusatz und mit Mineraldüngern.....	52
Tabelle 28:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 2 Gew% FS Aschezusatz (Schwermetallgehalte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) und mit Mineraldünger-Ergänzung.....	54
Tabelle 29:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 5 Gew% FS Aschezusatz (Cd-Gehalt 3 mg/kg TS, übrige Schwermetallgehalte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) und mit Mineraldünger-Ergänzung.....	55
Tabelle 30:	Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 8 Gew% FS Aschezusatz (Cd-Gehalt 2 mg/kg TS, übrige Schwermetallgehalte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) und mit Mineraldünger-Ergänzung.....	56

Abkürzungen, chemische Formelzeichen und Indizes

Abkürzungen (alphabetisch geordnet)

FS	Frischsubstanz
PCDD/PCDF	Polychlorierte Dibenzodioxine/Polychlorierte Dibenzofurane
TS	Trockensubstanz

Chemische Formelzeichen (alphabetisch geordnet)

Al	Aluminium	Mg	Magnesium
As	Arsen	Mn	Mangan
C	Kohlenstoff	Mo	Molybdän
Ca	Kalzium	N	Stickstoff
Cd	Cadmium	Na	Natrium
Co	Kobalt	Ni	Nickel
CO ₂	Kohlendioxid	O	Sauerstoff
Cr	Chrom	P	Phosphor
Cu	Kupfer	Pb	Blei
Fe	Eisen	Si	Silizium
H	Wasserstoff	V	Vanadium
Hg	Quecksilber	Zn	Zink
K	Kalium		

Kurzfassung

Die im Rahmen des FFG-Branchenprojekts „Entwicklung von innovativen Verfahren zur Holzascheverwertung“ durchgeführte Studie über den Einsatz von Holzasche als Zuschlagsstoff in der Kompostierung hat das Ziel, auf Basis wissenschaftlich fundierter Ergebnissen neue, ökologisch und verfahrenstechnisch sinnvolle Zuschlagsraten für Holzaschen (bzw. generell für Pflanzenaschen) zur Kompostierung festzulegen.

Die Ergebnisse aus bereits durchgeführten Forschungsarbeiten in Österreich (TU Graz und Universität Innsbruck) zeigen, dass die Zugabe von Pflanzenasche zur Kompostierung keine negativen Auswirkungen auf den Rotteprozess hat, sondern teilweise sogar zu Verbesserungen beim Rotteprozess (geringerer C_{org} -, Trockensubstanz- und Wasserverlust) und der Kompostqualität (Erhöhung der Nährstoffgehalte) führen kann.

Die in dieser Studie durchgeführten Arbeiten bauen auf den Ergebnissen umfassender, von der TU Graz in den 90er-Jahren durchgeführter, praktischer Kompostversuche auf und konzentrieren sich auf die Untersuchung und Bewertung verschiedener Kompostmischungen mit und ohne Aschezuschlag auf Basis von Stoffbilanzierungen und Frachtenberechnungen.

Für die Stoffbilanzierung des Rotteprozesses bei der Kompostierung wurde ein an der TU Graz entwickeltes Simulationsprogramm verwendet. Das Programm wurde anhand verfügbarer Prozessdaten aus den von der TU Graz durchgeführten Kompostversuchen geprüft und verifiziert, sodass die mit dem Simulationsprogramm ermittelten Ergebnisse als plausibel angesehen werden können.

Mit dem verifizierten Simulationsprogramm wurde der Rotteprozess für verschiedene Kompostausgangsmischungen bilanziert. Dabei wurden typische in der Landwirtschaft (Rindermistkompost, Wirtschaftsdüngerkompost) sowie auf kommunaler Ebene (Bioabfallkompost, Grünschnittkompost) eingesetzte Mischungen untersucht, um ein möglichst breites Spektrum an in der Praxis eingesetzten Ausgangsmischungen abdecken zu können.

Auf Basis dieser Ausgangsmischungen wurde durch Variation von Zuschlagsmengen (2, 5 und 8 Gew% FS) und Aschequalitäten (Rost- bzw. Grobaschen aus Rost- bzw. Wirbelschichtfeuerungen sowie Mischungen aus Rost/Grobaschen mit Zyklonflugaschen) der Einfluss von Holzasche auf den Rotteprozess (Trockensubstanz-, C_{org} -, N- und Wasserverlust) und die Kompostqualität (C-, N-, Nährstoff- und Schwermetallgehalte) untersucht. Bei den Aschequalitäten wurden neben Daten aus der Praxis (Durchschnittswerte aus Analyseergebnissen verschiedener Aschefraktionen) insbesondere auch die Vorgaben der neuen „Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen“, die voraussichtlich mit 01.01.2011 in Kraft treten wird, berücksichtigt. So wurden nur Aschen in die Bewertung aufgenommen, die zumindest die Anforderungen bzgl. Schwermetallgehalte der beiden in der Richtlinie definierten Aschequalitätsklassen erfüllen.

Die Ergebnisse bzgl. Zusammensetzung der fertigen Komposte mit und ohne Aschezuschlag wurden in Hinblick auf die Vorgaben der österreichischen Kompostverordnung (Kompostqualitätsklassen) sowie der österreichischen Düngemittelverordnung (Schwermetallfrachten bei der Kompostausbringung mit Mineraldüngerergänzung) bewertet.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Bewertung lauten:

- Pflanzenaschen, die die Schwermetallgrenzwerte für Aschequalitätsklasse B gemäß der neuen Pflanzenaschenrichtlinie nicht überschreiten, können bei Zuschlagsraten

von bis zu 8 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse B eingesetzt werden.

- Pflanzenaschen, die genau den Schwermetallgrenzwerten für Aschequalitätsklasse A entsprechen, können bei Zuschlagsraten von bis zu 2 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A und bei höheren Zuschlagsraten bis 8 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse B eingesetzt werden.
- Reine Rostaschen aus Rostfeuerungen, deren Schwermetallgehalte üblicherweise deutlich unterhalb der Grenzwerte von Aschequalitätsklasse A gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie liegen, können bis zu einer Zuschlagsrate von 8 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A verwendet werden.
- Reine Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen, deren Schwermetallgehalte üblicherweise noch niedriger als jene von reinen Rostaschen aus Rostfeuerungen liegen, können bei entsprechend schwermetallarmen Ausgangsmischungen bis zu einer Zuschlagsrate von 8 Gew% FS für die Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+ eingesetzt werden.
- Pflanzenaschenkomposte können bei entsprechend geringer Schwermetallbelastung der eingesetzten Aschen (reine Grob-/Rostaschen) sogar teilweise zu einer Verringerung der Schwermetallfrachten bei der Düngung führen. Bei Komposten, deren Schwermetallgehalte nahe an den Grenzwerten für Kompostqualitätsklasse A liegen, ist aber unabhängig von der Beimischung von Pflanzenasche durch entsprechende Wahl der Düngemittel darauf zu achten, dass die Cd-Fracht nicht den Grenzwert der Düngemittelverordnung überschreitet.

Auf Basis dieser Ergebnisse kann die Erhöhung der Aschezuschlagsmenge von derzeit 2 (laut österreichischer Kompostverordnung) auf 8 Gew% FS vorgeschlagen werden, wenn folgende Grenzwerte für Schwermetalle in Pflanzenaschen eingehalten werden:

- Bis zu einer Zuschlagsmenge von 2 Gew% FS Schwermetallgrenzwerte gemäß Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.
- Bei einer Zuschlagsmenge über 2 bis zu 5 Gew% FS Cd-Grenzwert von 3 mg/kg TS. Grenzwerte für die restlichen Schwermetalle entsprechend Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.
- Bei einer Zuschlagsmenge über 5 bis zu 8 Gew% FS Cd-Grenzwert von 2 mg/kg TS. Grenzwerte für die restlichen Schwermetalle entsprechend Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie.

Durch die Erhöhung der maximalen Zuschlagsrate von 2 auf 8 Gew% FS würde sich nicht nur das theoretische Verwertungspotenzial von Pflanzenaschen in der Kompostierung auf etwa 80.000 t/a vervierfachen, sondern es wird durch die Anhebung der Aschezuschlagsmenge auch erwartet, dass die Attraktivität dieser Verwertungsschiene sowohl für die Betreiber von Biomasseheiz(kraft)werken als auch für Kompostieranlagenbetreiber deutlich erhöht wird und somit das theoretische Potenzial viel besser ausgeschöpft werden kann als bisher.

Auf Basis der oben zusammengefassten Ergebnisse und Erkenntnisse kann die Zulassung von Aschezuschlagsmengen von bis zu 8 Gew% FS der Kompostausgangsmischung unter Berücksichtigung der in dieser Studie erläuterten Rahmenbedingungen empfohlen werden. Eine entsprechende Änderung der österreichischen Kompostverordnung im Rahmen der geplanten Novellierung wäre dazu notwendig und wird als ökologisch und nachhaltig sinnvoll angesehen.

Abstract

The aim of this study, which was performed within the FFG-funded collective research project “Entwicklung von innovativen Verfahren zur Holzascheverwertung“(Development of innovative wood ash utilization processes), was to prepare recommendations for an ecologically and technologically sound admixing ratio of wood ash (and generally for all ashes from the combustion of chemically untreated biomass) to compost material. These recommendations shall provide a basis for the intended amendment of the Austrian Compost Ordinance.

The results of research projects performed in Austria (Graz University of Technology (TU Graz), University of Innsbruck) show that the admixture of biomass ash to composting has no negative effects on the composting process but can improve the quality of the process (reduced losses of organic carbon and dry mass as well as reduced water loss) and the product (increased contents of nutrients in the compost).

The work performed within this study is based on the results of comprehensive field tests performed by TU Graz in the early 90ies and focuses on the analysis and evaluation of different compost mixtures with and without ash as an additive. For that purpose, mass balances and load calculations for nutrients and heavy metals in different compost mixtures were calculated.

The calculation of the mass balances of the composting process was performed by using a simulation program, developed at TU Graz. The program was verified with process data from the field tests performed by TU Graz, so the results of the mass balances can be considered plausible.

The verified program was used to simulate the composting process of four different basic compost mixtures. The main components of the compost mixtures (cow manure, farm fertilizer, municipal organic waste, green strip trimmings) were selected in a way to cover a wide range of compost mixtures typically used in practice.

Based on the four basic compost mixtures, mixtures with different mixing rates (2, 5 and 8%, w/w, w.b.) and biomass ash qualities (bottom ashes from grate or fluidized bed furnaces, mixtures of bottom and cyclone fly ash) were defined in order to evaluate the effect of biomass ash on the composting process (loss of dry mass, organic C, N and water) and the compost quality (contents of C, N, nutrients and heavy metals). The ash qualities were defined based on analysis results of different ash fractions from different biomass plants as well as on the new guideline for the utilisation of biomass ashes on agricultural and forest land (“Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen”), which is expected to come into force on the 1st of January 2011. Generally, only ashes which meet the limiting values for heavy metals of this new guideline were evaluated in this study.

The results regarding the composition of the different composts with and without ash admixture were evaluated based on the limiting values for heavy metals of the Austrian Compost Ordinance (compost quality classes) and the Austrian Fertilizer Ordinance (heavy metal loads caused by compost application in combination with supplemental mineral fertilizers).

The most important results of this evaluation are:

- Biomass ashes, which meet the limiting values for heavy metals according to ash quality class B of the new biomass ash guideline, can be used up to a mixing rate of 8% w/w, w.b., for the production of compost of compost quality class B.

- Biomass ashes, with heavy metal concentrations according to the limiting values of ash quality class A of the new biomass ash guideline, can be used up to a mixing rate of 2%, w/w, w.b., for the production of compost of compost quality class A and up to a mixing rate of 8% w/w, w.b., for the production of compost of compost quality class B.
- Pure bottom ashes from grate furnaces, whose heavy metal contents are usually significantly below the limiting values of ash quality class A of the new biomass ash guideline, can be used up to a mixing rate of 8% w/w, w.b., for the production of compost of compost quality class A.
- Pure bottom ashes from fluidized bed furnaces, whose heavy metal contents are usually lower compared to bottom ashes from grate furnaces, can be used up to a mixing rate of 8% w/w, w.b., for the production of compost of compost quality class A+.
- Compost made of ashes with a low level of heavy metal contents (bottom ashes from grate and fluidized bed furnaces) may even lead to a reduction of the heavy metal loads if used as a fertilizer. If compost with heavy metal contents close to the limits according to compost quality class A is used as a fertilizer (no matter if biomass ash is added or not), the supplemental mineral fertilizers have to be selected with care in order to avoid the exceeding of the limiting value for the Cd load according to the Austrian Fertilizer Ordinance.

Based on these results the increase of the ash mixing rate from 2 (current limit according to Austrian Compost Ordinance) to 8%, w/w, w.b., can be recommended, if the following limiting values for heavy metals in biomass ashes are met:

- Up to a mixing rate of 2%, w/w, w.b., limiting values for heavy metals according to ash quality class A of the new biomass ash guideline.
- Over a mixing rate of 2 and up to 5%, w/w, w.b., limiting value for Cd at 3 mg/kg, d.b.; limiting values for all other heavy metals according to ash quality class A of the new biomass ash guideline.
- Over a mixing rate of 5 and up to 8%, w/w, w.b., limiting value for Cd at 2 mg/kg, d.b.; limiting values for all other heavy metals according to ash quality class A of the new biomass ash guideline.

The increase of the maximum ash mixing rate from 2 to 8%, w/w, w.b, would increase the theoretical utilisation potential of biomass in composting to approx. 80,000 t/a. Considering the fact that higher mixing rates will encourage more biomass plants to provide and more composting plants to accept biomass ash, it is more likely that the full theoretical utilisation potential is tapped.

Based on the results and findings summarized above, the increase of the maximum mixing rate of biomass ash to basic compost material from 2 to 8%, w/w, w.b. can be recommended as an ecologically sound and sustainable approach, if the limiting values for heavy metals in biomass ash proposed in this study are met. Therefore, a respective adaption of the Austrian Compost Ordinance within its intended amendment would be necessary.

1 Einleitung, Rahmenbedingungen und Zielsetzungen

1.1 Einleitung

Die Kompostierung, eines der ältesten und natürlichsten Recycling-Verfahren, liefert eine effiziente Möglichkeit, einen Teil der anfallenden organischen Abfälle wieder in den natürlichen Kreislauf zurückzuführen. Bei sachgerechter Kompostierung können so organische Abfälle kostengünstig verwertet und dabei ein wertvolles Produkt zur Düngung und Bodenverbesserung hergestellt werden.

1.2 Stand der Technik und Rahmenbedingungen

Die seit 2001 in Kraft befindliche österreichische Kompostverordnung [1] legt neben Qualitätskriterien für verschiedene Kompostklassen auch die zulässigen Einsatz- und Zuschlagsstoffe für die Herstellung von Kompost fest. Dabei ist auch die Beimischung von maximal 2 Gew% FS Pflanzenasche aus der Verbrennung von unbehandelter Biomasse zulässig.

Die Auswirkung von Holzaschen auf die Kompostierung wurde bereits im Rahmen von zwei Forschungsprojekten in Österreich untersucht. In den Jahren 1993 bis 1997 führte die Technische Universität Graz in Kooperation mit der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH und der Landwirtschaftskammer Steiermark ein umfassendes Forschungsprojekt bzgl. der Nutzung von Holzaschen als Zuschlagsstoff in der Kompostierung mit mehreren großtechnischen Kompostierungsversuchen durch [2].

Im Rahmen des Projekts wurden über 2 Jahre insgesamt 6 Kompostierungsversuche an 3 verschiedenen Standorten durchgeführt. Die verwendeten Aschen (Gemische aus Rost- und Zyklonflugasche nach heizwerkspezifischem Anfall) stammten aus für Österreich typischen Biomasse-Rostfeuerungsanlagen (Hackgut- und Rindenfeuerungen). Als Kompostmaterialien wurden typische landwirtschaftliche Abfälle (Stallmist, Grünschnitt, Abfälle aus der Gemüseproduktion und Ernterückstände) eingesetzt. Die Aschezuschlagsmengen, bezogen auf das gesamte Kompostausgangsmaterial wurden mit 5 bis 25 Gew.-% der Frischsubstanz bewusst variiert, um den Einfluss der Aschezugabe auf den Rotteprozess bei unterschiedlichen Bedingungen darstellen zu können. Bei allen Versuchen wurden begleitende Temperatur- und Gasmessungen sowie Analysen der Ausgangsmaterialien und der Komposte durchgeführt. Darüber hinaus wurden im Zuge zweier Diplomarbeiten auch Simulationsprogramme für den Kompostierungsprozess erstellt [3,4].

Aus den an der TU Graz [2] durchgeführten Kompostierungsversuchen mit Holzaschen ist bekannt, dass die Zumischung von Holzaschen keine negativen Auswirkungen auf den Kompostierungsprozess hat. Die Zumischung von Holzasche ist sogar vorsichtig positiv zu bewerten. Ein Vergleich mit Referenzkomposten im Rahmen der Versuche der TU Graz zeigte, dass

- trotz einer hohen Aschezuschlagsmenge keine wesentlichen Unterschiede bzgl. N-Verlust erkennbar sind (der N-Verlust ist bei den Aschekomposten sogar tendenziell niedriger), und der C_{org} -Abbau ebenfalls mit den Referenzkomposten vergleichbar ist,

- bei den Aschekomposten ein etwas niedrigerer Wasserverlust als bei Referenzkomposten zu beobachten war, was positiv zu bewerten ist,
- durch die Tatsache, dass die Asche nicht abgebaut wird, sowie durch die teilweise Karbonatisierung des in der Holzasche enthaltenen CaO und MgO, der Trockensubstanzverlust bei den Aschekomposten geringer ist,
- der pH-Wert in den Asche-Komposten etwas höher ist, aber deutlich unter den pH-Werten von reinen Aschen liegt (pH-Wert-Absenkung durch Karbonatisierung während des Rotteprozesses), wodurch die Ausbringung von Aschen über die Kompostierung schonender für Boden und Bodenorganismen erfolgt als bei der direkten Ausbringung.

Darüber hinaus ist eine Aufbereitung der Asche, wie sie vor der direkten Ausbringung meist notwendig ist (Siebung, Metallabscheidung), bei der Zugabe zur Kompostierung nicht notwendig. Durch das Umsetzen der Kompostmieten sowie durch den Kompostierungsprozess selbst (chemische Reaktionen) kommt es zu einer Zerkleinerung der Asche. Weiters trägt das Umsetzen zusätzlich zu einer Abtrennung großer Schlackestücke und Steine bei. Überdies können Holzaschen im Kompost gegenüber der direkten Ausbringung ohne wesentliche Staubentwicklung ausgebracht werden. Zusätzlich liefert die Kompostierung die Möglichkeit der integralen Düngung in einem Medium.

Ein weiteres wichtiges Argument für einen verstärkten Einsatz von Pflanzenaschen in der Kompostierung ist die praktisch flächendeckend vorhandene Infrastruktur an Kompostwerken. Dadurch könnten die anfallenden Pflanzenaschen dezentral verwertet und somit lange Transportwege vermieden werden.

Ein seit 2006 laufendes Forschungsprojekt an der Universität Innsbruck [5] beschäftigt sich mit Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Holz und Rinde als Zuschlagsstoff für die Kompostierung. Umfassende Versuche haben auch hier gezeigt, dass durch den Zusatz von Holzasche (8 und 16 Gew% FS) keine wesentlichen Veränderungen im Kompostierungsverlauf zu erwarten sind. Auch bei den Komposten selbst konnten keine signifikanten Unterschiede in der Qualität bzgl. Pflanzenwachstums zwischen Referenzkompost und Aschekomposten gefunden werden.

Die derzeit zulässige Zuschlagsrate für Pflanzenaschen von 2 Gew% TS erscheint aber sehr gering. Als Konsequenz kann dieser ökologisch sinnvolle Verwertungsweg für Holzaschen derzeit nur stark eingeschränkt genutzt werden und ist daher für die Betreiber von Biomasseheiz(kraft)werken auch wirtschaftlich wenig attraktiv.

Die Ergebnisse dieser beiden Forschungsprojekte legen den Schluss nahe, dass Holzaschen bzw. generell Pflanzenaschen aus der Verbrennung naturbelassener Biomasse mit höheren Zuschlagsmengen den Kompostausgangsmischungen beigemischt werden können, als dies derzeit laut österreichischer Kompostverordnung zulässig ist.

1.3 Zielsetzung

Die vorliegende Studie soll mit wissenschaftlich fundierten Ergebnissen dazu beitragen, neue, ökologisch und verfahrenstechnisch sinnvolle Zuschlagsraten für Holzaschen (bzw. generell für Pflanzenaschen) zur Kompostierung festzulegen, die für die geplante Novellierung der österreichischen Kompostverordnung [1] eine wichtige Grundlage bilden sollen.

Da bereits umfassende Ergebnisse aus praktischen Versuchen in Österreich vorliegen [2, 5], konzentrierten sich die Arbeiten im Rahmen dieser Studie auf die Untersuchung und Bewertung verschiedener Kompostmischungen mit und ohne Aschezuschlag auf Basis von Stoffbilanzierungen und Frachtenberechnungen.

Die Stoffbilanzierung des Rotteprozesses bei der Kompostierung erfolgte durch ein auf der TU Graz entwickeltes [3] Simulationsprogramm erfolgen, das zunächst anhand der aus den Kompostierversuchen der TU Graz [2] verfügbaren Prozessdaten geprüft und verifiziert und anschließend für die Stoffbilanzierung unterschiedlicher Kompostausgangsmischungen verwendet wurde.

Als Kompostausgangsmischungen wurden typische landwirtschaftliche (Rindermistkompost, Wirtschaftsdüngerkompost) und städtische (Bioabfallkompost, Grünschnittkompost) Mischungen untersucht, um ein möglichst breites Spektrum an in der Praxis eingesetzten Ausgangsmischungen abdecken zu können.

Auf Basis dieser Ausgangsmischungen wurden durch Variation von Zuschlagsmengen (2, 5 und 8 Gew% FS) und Aschequalitäten (Rost- bzw. Grobaschen aus Rost- bzw. Wirbelschichtfeuerungen sowie Mischungen aus Rost/Grobaschen mit Zyklonflugaschen) der Einfluss von Holzasche auf den Rotteprozess (C_{org} - und N-Abbau, Wasserverlust) und die Kompostqualität (C-, N-, Nährstoff- und Schwermetallgehalte) untersucht und die Ergebnisse in Hinblick auf die Vorgaben der österreichischen Kompostverordnung (Kompostqualitätsklassen) sowie der österreichischen Düngemittelverordnung (Schwermetallfrachten bei der Kompostausbringung mit Mineraldüngerergänzung) bewertet.

Die Ergebnisse der Bewertung des Einsatzes unterschiedlicher Aschequalitäten und Zuschlagsraten sollen schlussendlich dazu dienen, Vorschläge für praxismgerechte und sinnvolle Qualitätskriterien und Zuschlagsraten für Holzaschen zur Kompostierung für die Novellierung der österreichischen Kompostverordnung auszuarbeiten, mit dem Ziel, diesen ökologisch sinnvollen Verwertungsweg für Holzaschen in Zukunft für die Betreiber von Biomasseheiz(kraft)werken und Kompostieranlagen attraktiver zu machen und somit österreichweit den Einsatz von Holzaschen in der Kompostierung nachhaltig zu erhöhen.

2 Methodik

Auf Basis der umfassenden verfügbaren Daten aus dem an der TU Graz durchgeführten Forschungsprojekt zur Kompostierung von Holzaschen [2] sowie Aschenanalysedaten aus weiteren relevanten Projekten, die BIOS vorliegen, wurden mittels Stoffbilanzierungen die Auswirkungen verschiedener Asche-Zuschlagsmengen auf die Kompostqualität veranschaulicht und ökologisch bewertet. Dazu wurden die Analysen und Messdaten aus den durchgeführten Kompostierungsversuchen sowie das verfügbare Simulationsprogramm für den Kompostierungsprozess verwendet. Neben den Ascheinhaltsstoffen erfolgten diese Bilanzierungen auch für Kohlenstoff und Stickstoff, um den Abbau der organischen Substanz sowie die N-Freisetzung ebenfalls zu berücksichtigen. Bezüglich der ökologischen Bewertung wurde mit der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark zusammengearbeitet.

2.1 Datenbasis/Zusammenstellung der Ausgangsmischungen

Wie bereits eingangs erwähnt, wurde für die Stoffbilanzierungen auf Ergebnisse bereits durchgeführter Forschungsarbeiten sowie auf Daten aus der Literatur zurückgegriffen. In den folgenden Abschnitten sind die für die Erstellung dieser Studie verwendeten Datenquellen thematisch gruppiert aufgelistet.

2.1.1 Zusammensetzung der Ausgangsstoffe

2.1.1.1 Kompostausgangsmaterialien

Da es sich bei den Ausgangsmaterialien für die Kompostierung weitgehend um Reststoffe oder Abfälle handelt, unterliegen die chemischen Zusammensetzungen der einzelnen Ausgangsmaterialien meist großen Schwankungen. Wenn verfügbar, wurde daher auf Durchschnittswerte zurückgegriffen.

Bzgl. Schwermetallgehalten der Kompostausgangsmaterialien wurden folgende Quellen verwendet:

- Studie über Schwermetall- und organische Schadstoffgehalte in organischen Abfällen der Europäischen Kommission [6].
- Bericht über „Verwendung von Holzaschen zur Kompostierung“ an der TU Graz [2].

Als Basis für die Wasser-, C- und N-Gehalte, das C/N-Verhältnis sowie die Struktur dienten folgende Quellen:

- Grundlagenstudie über den Stand der Technik der Kompostierung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft [7].
- Datensammlung aus einer an der TU Graz durchgeführten Diplomarbeit über die optimale Ausgangszusammensetzung für die Kompostierung und Simulation eines Rotteprozesses in einer Miete und in einer Rottebox [3].

Die Nährstoffgehalte einzelner Kompostausgangsmaterialien sind in der Literatur nur sehr selten angegeben. Für landwirtschaftliche Kompostausgangsmaterialien konnten die Daten aus [2] herangezogen werden, für Strauch- und Baumschnitt wurden Daten für Hackgut in

Rinde aus der BIOS-internen Datenbank herangezogen. Für Bioabfall konnten allerdings keine repräsentativen Nährstoffgehalte gefunden werden.

2.1.1.2 Holzaschen

Die chemische Zusammensetzung von Holzaschen ist im Wesentlichen vom eingesetzten Brennstoff (z.B. Hackschnitzel, Rinde), der eingesetzten Feuerungstechnologie (Rostfeuerung, Wirbelschichtfeuerung) und der Art der Asche (Rost- oder Grobasche, Kesselasche, Zyklonflugasche, Filter- oder Feinstflugasche) abhängig.

In der neuen „Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen“ (im weiteren Verlauf dieses Berichts als „neue Pflanzenaschenrichtlinie“ bezeichnet) [8] (voraussichtliches Inkrafttreten Jänner 2011) werden folgende Aschefraktionen definiert:

Grob- oder Rostasche: darunter wird der im Verbrennungsteil der Feuerungsanlage anfallende überwiegend mineralische Rückstand der eingesetzten Biomasse verstanden. Hier finden sich auch die im Brennstoff enthaltenen Verunreinigungen (z.B. Sand, Erde, Steine) sowie bei Wirbelschichtfeuerungen Teile des Bettmaterials (meistens Quarzsand) wieder. Außerdem können – speziell beim Einsatz von Rinde und Stroh – gesinterte Aschenteile und Schlackebrocken in der Grobasche enthalten sein.

Kesselasche: als Kesselasche wird jene Flugaschenfraktion bezeichnet, die als Staub im Kessel abgeschieden wird. Kesselasche wird entweder getrennt gesammelt oder mit der Grob- oder Zyklonflugaschenfraktion vermischt. Bezüglich der Zusammensetzung ist die Kesselasche der Zyklonflugasche ähnlich.

Zyklonflugasche: hierunter werden die als feine Partikel in den Abgasen mitgeführten festen, überwiegend anorganischen Brennstoffbestandteile verstanden, die als Stäube in den dem Kessel nachgeschalteten Fliehkraftabscheidern (Zyklonen) anfallen.

Feinstflugasche: darunter wird die in Gewebe- oder Elektrofiltern bzw. als Kondensatschlamm in Abgaskondensationsanlagen anfallende Aschefraktion verstanden. Bei Feuerungsanlagen ohne eine derartige Abgasreinigung wird die Feinstflugasche als Reststaub in die Atmosphäre abgegeben.

Gemäß den Bestimmungen der österreichischen Kompostverordnung 2001 ist der Einsatz von Feinstflugasche als Zuschlagsstoff in der Kompostierung nicht zulässig. Es können daher nur Grob- oder Rostaschen, Kessel- und Zyklonflugaschen bzw. Mischungen aus Grob-/Rost- und Kessel- und/oder Zyklonflugaschen in der Kompostierung eingesetzt werden, sofern die in der Kompostverordnung angeführten Grenzwerte eingehalten werden.

Im Rahmen dieser Studie wurde die gesamte Bandbreite an für den Einsatz als Zuschlagsstoff geeigneten Aschen berücksichtigt. Im Detail wurden folgende Aschenqualitäten untersucht:

- Holzaschen, deren Zusammensetzung bzgl. Schwermetallen den Grenzwerten der Qualitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie [8] entspricht; gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie ist bei der Ausbringung von Pflanzenaschen, die Qualitätsklasse A entsprechen, keine vorherige Untersuchung des Bodens notwendig; die Grenzwerte von Qualitätsklasse A werden normalerweise von Grob- oder Rostaschen aber auch von einem Teil der Mischungen aus Grob-/Rost- und Kessel/Zyklonflugaschen nach heizwerksspezifischem Anfall eingehalten.

- Holzaschen, deren Zusammensetzung bzgl. Schwermetallen den Grenzwerten der Qualitätsklasse B der neuen Pflanzenaschenrichtlinie [8] entspricht; gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie ist vor der Ausbringung von Pflanzenaschen, die Qualitätsklasse B entsprechen, eine Bodenuntersuchung notwendig; die Grenzwerte von Qualitätsklasse B können üblicherweise von Mischungen aus Grob-/Rost- und Kessel-/Zyklonflugaschen nach heizwerksspezifischem Anfall eingehalten werden,
Die Aschenqualität gemäß Qualitätsklasse B entspricht somit einer Asche mit maximal zulässigen Schwermetallgehalten.
- Holzaschen, deren Zusammensetzung bzgl. Schwermetallen und Nährstoffen den Durchschnittsgehalten von Grob-/Rostaschen aus aktuellen, im Rahmen des FFG-Branchenprojektes „Entwicklung von innovativen Verfahren zur Holzascheverwertung“ durchgeführten Analysen, entspricht.
- Holzaschen, deren Zusammensetzung bzgl. Schwermetallen und Nährstoffen den Durchschnittsgehalten von Rostaschen aus der Verbrennung von Hackgut bzw. Rinde aus der BIOS verfügbaren Aschedatenbank entspricht.

2.1.2 Kennwerte zur Kompostierung

Daten zu den wesentlichen Kennwerten der Kompostierung (Trockensubstanzverlust, organischer Kohlenstoff-Abbau, Wasserverlust, Stickstoffverlust) wurden aus den folgenden Literaturquellen bezogen:

- Bericht über „Verwendung von Holzaschen zur Kompostierung“ an der TU Graz [2].
- Datensammlung aus einer an der TU Graz durchgeführten Diplomarbeit über die optimale Ausgangszusammensetzung für die Kompostierung und Simulation eines Rotteprozesses in einer Miete und in einer Rottebox [3].

Die Daten bzgl. Nährstoff- und Schwermetallgehalte in fertigen Komposten wurden aus folgenden Quellen bezogen:

- Grundlagenstudie über den „Stand der Technik der Kompostierung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Nährstoffgehalte) [7].
- Fachbuch über „Biologische Verfahren der Abfallbehandlung“ (C/N-Verhältnis, C_{org} - und N-Gehalte) [9].
- Scheffer/Schachtschnabel – Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage (Schwermetalle) [10]
- Literaturstudie über die „Evaluierung der nachhaltig positiven Wirkung von Kompost auf die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden (C/N-Verhältnis, C_{org} - und N-Gehalte) [11]

2.2 Simulationsprogramm

Im Rahmen einer an der TU Graz durchgeführten Diplomarbeit wurde ein vereinfachtes Modell zur Simulation einer Mietenkompostierung entwickelt [3], welches mit Messdaten aus mehreren praktischen Kompostierungsversuchen geprüft und verifiziert wurde.

Die Modellierung von Rotteprozessen ist im Gegensatz zu chemischen oder mikrobiellen Verfahren der Stoffumwandlung weitaus schwieriger. Probleme stellen dabei die Vielfalt der möglichen Ausgangsstoffe, das breite Spektrum der mitwirkenden Organismen, die geringe stoffliche Homogenität und die zufallsbedingte Ausprägung der Luftkanäle dar.

Aufgrund der hohen Komplexität der bei der Kompostierung ablaufenden Reaktionen war es notwendig, für das Simulationsprogramm Vereinfachungen vorzunehmen. Die wesentlichen Vereinfachungen sind dabei:

- Die bei einem aeroben Rotteprozess wirksamen Zusammenhänge werden mit den Bilanzgleichungen eines homogenen Reaktors erfasst: Die Möglichkeit eines solchen Ansatzes wird durch den Umstand plausibel, dass die im Rottegut stets vorhandenen Zonen mit abweichender Temperatur, Feuchte und Gasaustausch im Allgemeinen nur unterdurchschnittliche Abbauproduktivität aufweisen [12].
- Annahme eines halbkreisförmigen Querschnitts der Miete
- Kinetik basierend auf dem vollständigen Abbau von Cellulose und Hemicellulose zu CO_2
- Stoffbilanzierung (C, N, Trockensubstanz) auf Basis der vollständigen mikrobiellen Oxidation von organischem Haushaltsabfall:
$$\text{C}_{64}\text{H}_{104}\text{O}_{37}\text{N} + 70,75\text{O}_2 \rightarrow 64\text{CO}_2 + 50,5\text{H}_2\text{O} + 1\text{NH}_3$$
 Gleichung 1
- Berechnung des Wasserverlustes auf Basis der Feuchte der aus der Miete ausgetragenen Luft
- Bestimmung der Luftrate auf Basis freier Konvektionsströmung in homogenen Gleichkornschüttungen
- Konstanter Lückengrad und mittlerer Partikeldurchmesser während der gesamten Rottezeit.
- Die Umgebungsverhältnisse (Temperatur und relative Feuchte) bleiben während der Kompostierung konstant.
- Ein lokaler O_2 -Mangel im Kompost wird nicht berücksichtigt.

Als Eingangsparameter werden folgende Werte benötigt:

- Wasser-, C-, N-, H- und S-Gehalte der Kompostausgangsmischung
- Gehalte an Hemicellulose und Cellulose in der Kompostausgangsmischung
- Wachstumskonstanzen für die Hemicellulose und Cellulose abbauenden Mikroorganismen
- Mietenvolumen und Mietenlänge
- Schüttdichte, Lückengrad und mittlerer Partikeldurchmesser der Kompostausgangsmischung
- Umgebungsbedingungen (Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit)
- Reaktionsenthalpie für die CO_2 -Freisetzung
- Zeitpunkt der Umsetzungen, Zeitpunkt und Menge der Bewässerung
- Dauer der Rottezeit

Als Ergebnisse werden die C_{org} - und N-Abbauraten sowie der Trockensubstanz- und Wasserverlust am Ende der Rotte erhalten. Weiters wird der Verlauf verschiedener Parameter (Temperatur, O_2 - und CO_2 -Gehalt, C_{org} - und N-Abbauraten, Wassergehalt, Luftrate) in der Miete während der Kompostierung berechnet und in Form von Diagrammen ausgegeben.

Das verwendete Modell zur Simulation des Kompostierungsprozesses in einer Miete stellt demnach eine Vereinfachung dar, denn es geht von homogenen Bedingungen im Rottematerial aus, die in Wirklichkeit aber nicht auftreten. Die berechneten Werte, vor allem die Konzentrationen müssen daher als Mittelwerte, die sich aus den Profilen über den Querschnitt ergeben, verstanden werden. Andere Berechnungsmethoden, wie die der finiten Elemente, liefern zwar genauere Werte der Konzentrationen, des Wassergehaltes oder der Temperatur über den Querschnitt einer Miete, sie benötigen aber auch mehr Rechnerzeit und die Probleme wie die geringe stoffliche Homogenität, die zufallsbedingte Ausprägung der Luftkanäle oder die Vielzahl der beteiligten Mikroorganismen und das breite Spektrum der abbaubaren Substanzen bleiben auch bei diesen genaueren Berechnungsverfahren erhalten. Es erscheint daher als nicht sinnvoll, einen Prozess bis ins Detail beschreiben zu wollen, wenn wesentliche Einflussparameter nicht zugänglich sind. Es ist daher die Beschreibung des Gesamtprozesses über das mittlere Verhalten (Durchschnittswerte) besser, wenn man sich der einzelnen Einflussgrößen bewusst ist. Wie in Kapitel 3.1 gezeigt, liefert das Modell ausreichend plausible Ergebnisse und kann daher als gute Basis für die Stoffbilanzierung der Kompostierung herangezogen werden.

2.3 Stoffbilanzen

Auf Basis der Ergebnisse der Simulation der Kompostierung wurde für die wesentlichen Elemente (C_{org} , N, Nährstoffe, Schwermetalle) eine Stoffbilanz erstellt. Die C_{org} - und N-Gehalte wurden dabei direkt aus den Ergebnissen der Simulationen übernommen.

Zur Berechnung der Nährstoff-/Schwermetallgehalte im fertigen Kompost wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Die Gesamtmenge der Nährstoffe/Schwermetalle, die in der Ausgangsmischung enthalten sind, verbleibt während der Kompostierung vollständig im Kompost. Das heißt, dass eventuell auftretende Auswaschungen durch Sickerwasser nicht berücksichtigt werden.
2. Unter dieser Annahme kann der Gehalt an Schwermetallen über den Nährstoff-/Schwermetallgehalt in der Ausgangsmischung und den Trockensubstanzverlust nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$G_{SM,K} = G_{SM,A} / ((100-TS\text{-Verlust})/100)$$

$G_{SM,K}$... Schwermetallgehalt im fertigen Kompost

$G_{SM,A}$... Schwermetallgehalt in der Ausgangsmischung

TS-Verlust ... Trockensubstanzverlust in %

Beim Trockensubstanzverlust wurde bei den Aschekomposten die CO_2 -Aufnahme aufgrund der Karbonatisierungsreaktionen von CaO und MgO berücksichtigt. Dabei wurde auf Basis der Ergebnisse aus den Kompostiersuchen der TU Graz eine Umwandlungsrate von 31,5% des theoretisch verfügbaren CaO und MgO angenommen (d.h., dass 31,5% der Menge an CaO und MgO, die aufgrund der Gehalte von Ca und Mg in den Aschen enthalten ist, zu $CaCO_3$ bzw. $MgCO_3$

reagieren). Die so erhaltene Massenzunahme verringert den Trockensubstanzverlust bei der Kompostierung von Aschekomposten entsprechend.

Die oben dargestellte Berechnungsmethode erscheint zulässig, da ein Vergleich der nach dieser Methode errechneten Schwermetallgehalte im Kompost mit den im Rahmen der Kompostierungsversuche der TU Graz tatsächlich im fertigen Kompost gemessenen Gehalte zeigte, dass bei den 4 untersuchten Kompostmischungen die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung für die gemäß Kompostverordnung relevanten Schwermetalle innerhalb eines Bereichs von +/- 25% liegen (siehe Tabelle 1), was ein sehr gutes Ergebnis darstellt, wenn man die Inhomogenität der Kompostausgangsstoffe berücksichtigt. Ähnliches gilt für Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Nährstoffgehalten, die mit einer Ausnahme ebenfalls innerhalb eines Bereichs von +/- 25% liegen. Die mit dieser Berechnungsmethode erreichbare Genauigkeit erscheint somit für den Zweck dieser Studie als ausreichend.

Tabelle 1: Vergleich von gemessenen Nährstoff-/Schwermetallgehalten im fertigen Kompost mit auf Basis der Gehalte in der Ausgangsmischung und dem Trockensubstanzverlust errechneten Nährstoff-/Schwermetallgehalten

Erläuterungen: Quelle [2]; Hg wurde im Rahmen der Kompostierungsversuche der TU Graz nicht untersucht; Kompost 1 aus Sonnenblumenspelzen, Rindermist und Lehmerde; Kompost 2 aus Holzasche, Rindermist und Lehmerde; Kompost 3 aus Schweinemist, Schweinegülle, Grünschnitt und Lehmerde; Kompost 4 aus Holzasche, Grünschnitt, Schweinegülle und Lehmerde

Parameter	Einheit	Kompost 1			Kompost 2		
		Messung	Berechnet	Abweichung	Messung	Berechnet	Abweichung
TS-Verlust	[Gew% TS]	27,7			15,0		
Ca	[mg/kg TS]	10.529	10.656	1,21%	51.370	58.234	13,36%
K	[mg/kg TS]	21.630	21.021	-2,82%	19.312	22.299	15,47%
Mg	[mg/kg TS]	6.853	7.955	16,09%	18.990	20.273	6,76%
P	[mg/kg TS]	4.063	4.365	7,43%	3.703	4.470	20,71%
Cd	[mg/kg TS]	0,8	0,9	18,67%	2,0	2,4	22,49%
Cr	[mg/kg TS]	59,1	54,5	-7,74%	143,3	136,4	-4,76%
Cu	[mg/kg TS]	36,1	40,8	12,91%	49,0	54,2	10,56%
Hg	[mg/kg TS]	n.a.			n.a.		
Ni	[mg/kg TS]	34,0	32,7	-3,78%	51,5	52,7	2,50%
Pb	[mg/kg TS]	11,4	13,3	16,58%	15,5	18,7	20,71%
Zn	[mg/kg TS]	110,4	114,6	3,84%	211,5	255,8	20,92%
Parameter	Einheit	Kompost 3			Kompost 4		
		Messung	Berechnet	Abweichung	Messung	Berechnet	Abweichung
TS-Verlust	[Gew% TS]	26,3			12,8		
Ca	[mg/kg TS]	16.369	17.333	5,89%	54.550	51.180	-6,18%
K	[mg/kg TS]	19.181	23.179	20,85%	14.856	14.987	0,88%
Mg	[mg/kg TS]	6.901	7.990	15,77%	18.207	19.248	5,72%
P	[mg/kg TS]	6.583	8.382	27,33%	2.686	2.758	2,68%
Cd	[mg/kg TS]	0,6	0,6	2,08%	2,2	2,2	-2,15%
Cr	[mg/kg TS]	67,1	64,0	-4,70%	133,8	139,9	4,59%
Cu	[mg/kg TS]	61,7	67,5	9,41%	41,8	35,8	-14,13%
Hg	[mg/kg TS]	n.a.			n.a.		
Ni	[mg/kg TS]	36,0	36,8	2,12%	50,0	48,0	-3,96%
Pb	[mg/kg TS]	13,2	10,6	-19,31%	17,9	14,7	-17,74%
Zn	[mg/kg TS]	189,5	209,6	10,64%	227,0	285,5	25,78%

2.4 Ermittlung der Nährstoff- und Schwermetallfrachten bei sachgerechter Ausbringung von Kompost

Die Schwermetallfrachten bei sachgerechter Ausbringung von Kompost ergeben sich aus der maximal zulässigen Ausbringungsmenge (gemäß österreichischer KompostVO maximal $8 \text{ t TS/ha}^* \text{a}$, die tatsächliche Menge ist auf Basis des Nährstoffbedarfs festzulegen) multipliziert mit den Schwermetallgehalten im Kompost.

Die so erhaltenen Werte wurden mit den in der neuen Pflanzenaschenrichtlinie [8] angeführten maximal zulässigen Schwermetallfrachten verglichen.

Im Rahmen dieser Studie wurden neben der maximalen Ausbringung von $8 \text{ t TS/ha}^* \text{a}$ auch Fallbeispiele unter der Berücksichtigung des Nährstoffbedarfs einzelner Kulturen und Böden untersucht. Dabei wurden die Schwermetallfrachten beim Einsatz von Holzaschekompost mit jenen beim Einsatz von herkömmlichem Kompost unter Berücksichtigung eventuell bei beiden Varianten zusätzlich notwendiger Mineraldünger verglichen. Der Vergleich dieser beiden Szenarien ist vor allem deswegen interessant, weil durch die üblicherweise im Vergleich zum Kompost höheren Nährstoffgehalte in Holzaschen auch zu höheren Nährstoffgehalten in Aschekomposten führen und somit der Bedarf an zusätzlichen Düngemitteln reduziert werden kann.

Konkret wurde dabei der Nährstoffbedarf typischer Ackerkulturen mit entsprechender Fruchtfolge betrachtet. Die aufzubringende Menge an Kompost bzw. Aschekompost wurde dann so ermittelt, dass für den limitierenden Nährstoff (d.h. jener Nährstoff, dessen Bedarf vom Kompost als erstes abgedeckt werden kann, ohne den Bedarf anderer Nährstoffe zu überschreiten) der Bedarf der Ackerkulturen mit dem Kompost abgedeckt werden kann (unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Ausbringungsmenge von $8 \text{ t TS/ha}^* \text{a}$). Der Bedarf an Nährstoffen, der nicht vom Kompost abgedeckt werden kann, wurde durch handelsübliche Mineraldünger ergänzt.

Unter Berücksichtigung der für eine vollständige Nährstoffbedarfsdeckung benötigten Mengen an Kompost bzw. Aschekompost und Mineraldüngern und deren Schwermetallgehalten wurden dann die damit verbundenen Schwermetallfrachten, die auf die Ackerflächen gelangen, für beide Szenarien errechnet und mit den in der Düngemittelverordnung [13] festgelegten maximal zulässigen Frachten verglichen.

3 Ergebnisse

3.1 Verifizierung des Simulationsprogramms

Das Simulationsprogramm, das unter Kapitel 2.2 näher beschrieben wurde, wurde anhand bekannter Ergebnisse aus den Kompostiersversuchen der TU Graz [2] verifiziert. Dabei wurde für 4 Ausgangsmischungen die komplette Mietenkompostierung inklusive Umsetz- und Bewässerungsvorgängen simuliert. Als Eingabeparameter dienten die Messwerte und Aufzeichnungen aus den Kompostiersversuchen.

Wie bereits in Kapitel 2.2 näher erläutert, stellt das Simulationsprogramm eine Vereinfachung des Rotteprozesses dar. Die damit erhaltenen Ergebnisse stellen somit Durchschnittswerte für die jeweiligen Rahmenbedingungen dar. Bei der Verifizierung des Simulationsprogramms

wurde daher das wesentliche Augenmerk auf die Ergebnisse am Ende der Kompostierung und weniger auf den Verlauf einzelner Parameter während des Rotteprozesses gelegt.

Als wesentliche Parameter wurden die gemessenen Werte für den C_{org} -Verlust, den Trockensubstanzverlust, den Wasserverlust und den Stickstoffverlust mit den Ergebnissen des Simulationsprogramms verglichen.

In Tabelle 2 sind die wesentlichen Ausgangsparameter für die Simulation der von der TU Graz durchgeführten Kompostierungsversuche angeführt. Die untersuchten Ausgangsmischungen bestehen aus folgenden Ausgangsmaterialien:

- RRI-92, aus Rindertiefstallmist (45,2 Gew% TS), Sonnenblumenspelz (6,7 Gew% TS) und Lehmerde (48,1 Gew% TS)
- RHA-92, aus Schweinemist (17,5 Gew% TS), Grünschnitt (27,9 Gew% TS), Schweinegülle (3,3 Gew% TS) und Lehmerde (51,3 Gew% TS)
- ARI-92, Rindertiefstallmist (35,3 Gew% TS), Mischung aus Rost- und Zyklonflugasche nach heizwerksspezifischem Anfall (31,2 Gew% TS) und Lehmerde (33,5 Gew% TS)
- AHA-92, aus Mischung aus Rost- und Zyklonflugasche nach heizwerksspezifischem Anfall (40,0 Gew% TS), Grünschnitt (21,0 Gew% TS), Schweinegülle (1,6 Gew% TS) und Lehmerde (37,4 Gew% TS)

Tabelle 2: Eingabeparameter für die Verifizierung des Simulationsprogramms

Erläuterungen: Erläuterungen zu den Kompostausgangsmischungen RRI-92, RHA-92, ARI-92 und AHA-92 siehe Text; MO Cell. (v) ... Konzentration der Mikroorganismen, die spezifisch Cellulose abbauen; MO Hemi. (u) ... Konzentration der Mikroorganismen, die spezifisch Hemicellulose abbauen; k1 ... Wachstumskonstante Hemicellulose assimilierender Mikroorganismen; k2 ... Wachstumskonstante Cellulose assimilierender Mikroorganismen; aus Mischungsrechnung ermittelt ... angepasst ... Wert wurde ausgehend von Literaturdaten [3] entsprechend angepasst, für eine genaue Beschreibung der Vorgangsweise siehe Text.

Parameter	Einheit	RRI-92	RHA-92	ARI-92	AHA-92	Anmerkung
<i>Mietendimension/Ausgangsmischung:</i>						
Mietenvolumen	[m ³]	19,47	41,80	25,53	47,00	aus Versuchsdaten
Mietenlänge	[m]	25,00	28,10	17,50	36,00	aus Versuchsdaten
Wassergehalt	[Gew%FS]	60,28	62,06	53,60	35,53	aus Versuchsdaten
Schüttdichte	[kg/m ³]	472,00	401,30	649,13	350,00	aus Mischungsrechnung ermittelt
Lückengrad	[m ³ /m ³]	0,42	0,42	0,40	0,40	angepasst
Partikeldurchmesser	[mm]	14,00	14,00	12,70	12,70	angepasst
<i>Zusammensetzung:</i>						
Cellulose (cl)	[Gew%TS]	16,40	15,00	9,00	9,00	angepasst
Hemicellulose (h)	[Gew%TS]	11,40	9,00	6,00	5,00	angepasst
MO Cell. (v)	[kg/m ³ Miete]	1,50	1,50	1,50	1,50	nach [3]
MO Hemi. (u)	[kg/m ³ Miete]	1,50	1,50	1,50	1,50	nach [3]
C _{org}	[Gew%TS]	22,49	20,17	15,77	10,50	aus Versuchsdaten
H	[Gew%TS]	2,70	2,42	1,89	1,26	Annahme
N _{ges}	[Gew%TS]	1,05	1,50	0,76	0,58	aus Versuchsdaten
S	[Gew%TS]	0,40	0,40	0,30	0,20	Annahme
<i>Wachstumskonstanten:</i>						
k1	[m ³ /kg h]	1,50E-03	1,75E-03	2,80E-03	3,00E-03	nach [3]
k2	[m ³ /kg h]	1,80E-04	3,30E-04	4,00E-04	4,20E-04	nach [3]
<i>Energiefreisetzung:</i>						
Reaktionsenthalpie	[kJ/kg geb. CO ₂]	12.900	12.500	12.500	11.500	angepasst
<i>Umgebungsbedingungen:</i>						
rel. Luftfeuchtigkeit	[-]	0,4	0,4	0,4	0,4	Annahme
Temperatur	[°C]	25	25	25	25	Annahme
<i>Rotteverlauf:</i>						
Anzahl der Umsetzungen	[-]	4	3	4	3	aus Versuchsdaten
Zugegebene Wassermenge	[l]	3.200	4.550	1.454	5.850	aus Versuchsdaten

Jene Daten, die im Zuge der Versuche an der TU Graz ermittelt wurden (Wassergehalt, chemische Zusammensetzung der Ausgangsmischung, Mietenlänge, Schüttdichte, Anzahl der Umsetzungen, Menge an zusätzlich zugeführtem Wasser), wurden direkt in das Simulationsprogramm übernommen. Die weiteren Eingabeparameter (Lückengrad, Partikeldurchmesser, Cellulose- und Hemicellulosegehalt, Wachstumskonstanten, Reaktionsenthalpie) wurden entweder aus der Literatur übernommen oder auf Basis von vorhandenen Literaturdaten so angepasst, dass die Ergebnisse der Rottesimulation bzgl. Wassergehalt, C_{org}- und N-Gehalt sowie Trockensubstanzgehalt im fertigen Kompost (bzw. die daraus berechneten Verlustraten) möglichst gut mit den Versuchsergebnissen übereinstimmten. Die Vorgangsweise dazu ist nachfolgend erklärt.

Lückengrad und Partikeldurchmesser:

Lückengrad und Partikeldurchmesser beeinflussen die Luftrate durch die Kompostmiete. Größere Teilchendurchmesser bzw. ein größerer Lückengrad erhöhen die Luftrate, wodurch wiederum die Temperatur verringert (durch gesteigerte Durchlüftung wird die Miete gekühlt) und auch der Wasserverlust erhöht wird (da mehr Wasser von der durchströmenden Luft aufgenommen wird).

Bei der Anpassung des Lückengrads und des Partikeldurchmessers wurde darauf geachtet, dass die Werte innerhalb der in der Literatur [3,14] angegebenen Bereiche von 0,25 bis 0,43 m³/m³ für den Lückengrad und 11,6 bis 14 mm für den Partikeldurchmesser liegen. Die Festlegung der Werte erfolgte schließlich dahingehend, dass der errechnete Wasserverlust möglichst gut mit den Ergebnissen aus den Kompostiersversuchen der TU Graz [2] übereinstimmte.

Cellulose- und Hemicellulosegehalt:

Die Konzentrationen an Cellulose und Hemicellulose in der Trockensubstanz der Ausgangsmischungen bestimmen im Wesentlichen den C_{org}-Verlust über den Rotteprozess, da die Kinetik des Abbaus organischer Substanz auf dem vollständigen organischen Abbau von Cellulose und Hemicellulose basiert.

Literaturdaten über die Konzentrationen von Cellulose und Hemicellulose sind schwer zu finden. Im Rahmen der in der TU Graz durchgeführten Diplomarbeit [3], in deren Rahmen auch das in dieser Studie verwendete Simulationsprogramm entwickelt wurde, wurden Richtwerte für die Konzentrationen dieser beiden organischen Substanzen für viele Kompostausgangsmaterialien gesammelt, die auch für die Berechnung der Cellulose- und Hemicellulosegehalte in den verschiedenen Kompostausgangsmischungen als Basis dienen.

Im Zuge der Arbeiten an dieser Studie hat sich allerdings herausgestellt, dass die verfügbaren Basisdaten bzgl. Cellulose- und Hemicellulosegehalten nicht immer zu den gewünschten Ergebnissen führen. Bei zu geringen Cellulose- und Hemicellulosegehalten im Vergleich zum gesamten Anteil an organischer Substanz wird ein zu geringer C-Abbau beim Rotteprozess vom Simulationsprogramm ermittelt, ist der Anteil zu hoch, liegen die erhaltenen Ergebnisse für den C-Abbau über den erwarteten Werten.

Die Problematik liegt zum einen darin, dass organische Substanzen mit relativ geringem Cellulose- und Hemicellulosegehalt hauptsächlich aus anderen organischen Materialien bestehen, die zwar während des Rotteprozesses ebenfalls abgebaut werden (z.B. Stärke, Zucker, Proteine, Fette etc.), aber aufgrund der Vereinfachung des Simulationsprogramms nicht berücksichtigt werden.

Bei der Verifizierung des Simulationsprogramms wurde für zwei Ausgangsmischungen (Mischung aus Rindermist, Lehmerde und Sonnenblumenspelzen, sowie Mischung aus Rindermist, Lehmerde und Holzasche) festgestellt, dass die mittels der verfügbaren Basisdaten für die in der untersuchten Ausgangsmischung enthaltenen Ausgangsmaterialien errechneten Cellulose- und Hemicellulosegehalte zu gering sind, um die im Versuch gemessenen C- und Trockensubstanzabbauraten zu erreichen. Die Gehalte der beiden Polysaccharide wurden daher soweit angehoben, dass die gemessenen Abbauraten für diese beiden Ausgangsmischungen erreicht werden konnten.

Bei Stoffen, die zu großen Teilen aus Cellulose und Hemicellulose bestehen (z.B. Stroh, Holz, Baumwolle) ergibt sich andererseits das Problem, dass nicht die gesamte verfügbare Cellulose und Hemicellulose bei der Kompostierung abgebaut werden. Die in der Literatur genannte, maximale Abbaurate liegt bei etwa 75% [15]. Wenn in der Kompostausgangsmischung Stoffe wie Stroh, Strauch- und Baumschnitt oder ähnliches eingesetzt werden, wirkt sich dies negativ auf das Ergebnis der Simulationsrechnung aus, da bei solchen Ausgangsstoffen die Abbauraten tendenziell zu hoch sind.

Daher wurde der Gehalt der beiden Polysaccharide bei Ausgangsmaterialien, die hohe Gehalte an Cellulose und Hemicellulose aufweisen (Strauch- und Baumschnitt), gegenüber den Basisdaten um 25% reduziert, um die tatsächliche maximale Abbaurate von 75% nicht zu überschreiten.

Wachstumskonstanten:

Die Wachstumskonstanten für die Hemicellulose und Cellulose (k_1 und k_2 in Tabelle 2) abbauenden Mikroorganismen wurden aus [3] übernommen, wo bereits jeweils beide Wachstumskonstanten für die für die Verifizierung verwendeten Kompostmischungen ermittelt wurden.

Reaktionsenthalpie:

Bzgl. Reaktionsenthalpie für die Freisetzung von CO_2 gibt es in der Literatur zwar einige Daten, diese beziehen sich allerdings meist auf sehr spezifische Einsatzstoffe. Dementsprechend groß ist laut [3] auch die Bandbreite der angegebenen Werte, die von ca. 2.200 bis rund 23.700 kJ/kg CO_2 reichen.

Zur Abschätzung der Reaktionsenthalpie wurde daher im vorliegenden Fall eine Energiebilanz über den Rotteprozess gebildet, die folgende Energieströme umfasst:

Inputströme:

- Wärmeinhalt des Einsatzmaterials (da als Bezugspunkt 25°C angenommen wurden, ist dieser Strom gleich null)
- Wärmeinhalt der Zuluft (da als Bezugspunkt 25°C angenommen wurden, ist dieser Strom gleich null)
- Verdampfungswärme und Dampferwärmung der Zuluft (latente Wärme durch Luftfeuchtigkeit)
- Chemisch gebundene Wärme im Einsatzmaterial

Outputströme:

- Wärmeinhalt Fertigkompost (abhängig von der Temperatur des Komposts am Ende des Betrachtungszeitraums)
- Wärmeinhalt der Abluft (abhängig von der Menge und Temperatur der Abluft; die Temperatur in der Miete und somit die Ablufttemperatur ist unter anderem von der Reaktionsenthalpie abhängig)
- Verdampfungswärme und Dampferwärmung der Abluft (abhängig von der Luftrate und der verdampften Wassermenge; die verdampfte Wassermenge ist unter anderem von der Reaktionsenthalpie abhängig)
- Chemisch gebundene Wärme im Fertigkompost
- Wärmeverluste an die Umgebung und ins Erdreich

Mit Ausnahme der chemisch gebundenen Wärme im Einsatzmaterial und im Fertigkompost können die Input- und Outputströme anhand der Eingabeparameter vom Simulationsprogramm unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.2 angeführten Vereinfachungen berechnet werden.

Die chemisch gebundene Energie (Brennwert) des Einsatzmaterials bzw. des Fertigkomposts kann allerdings nur anhand von Näherungsformeln abgeschätzt werden. In der Literatur [16,17] sind dazu verschiedene Formeln zur Berechnung des Brennwertes von fossilen und biogenen Feststoffen vorgeschlagen worden. Im vorliegenden Fall konnten mit der Formel nach Sheng [17] die besten Ergebnisse für die Energiebilanz erzielt werden. Dabei wurde bei sonst gleichbleibenden Eingabeparametern und einer festgelegten Reaktionsenthalpie die Energiebilanz unter Verwendung verschiedener Näherungsformeln erstellt. Dabei trat bei Verwendung der Formel nach Sheng die geringste Differenz zwischen Input- und Outputströmen auf.

Bei der Berechnung des Energieinhalts ist allerdings zu beachten, dass nicht alle für die Berechnung benötigten Parameter verfügbar waren (H- und S-Gehalt) und diese daher auf Basis von Erfahrungswerten aus BIOS-internen Projekten angenommen werden mussten. Weiters war eine Prüfung der errechneten Werte für den Energieinhalt nicht möglich, da keine Proben der entsprechenden Einsatzmischungen vorlagen.

Daher erfolgte die Festlegung der Reaktionsenthalpie für die einzelnen Kompostausgangsmischungen dahingehend, dass die Differenz zwischen Input- und Outputströmen bei der Energiebilanz nicht mehr als +/- 10%, bezogen auf den Energieinput, betrug. Eine genauere Anpassung erscheint aufgrund der Unsicherheiten bei der Bestimmung des Energieinhalts der Kompostausgangsmischung und des Fertigkomposts als nicht sinnvoll. Innerhalb dieser Bandbreite wurde die Reaktionsenthalpie so eingestellt, dass der während der Kompostierversuche gemessene Wasserverlust durch die Simulation möglichst gut erreicht werden konnte.

In Tabelle 3 sind die Versuchsergebnisse den aus der Simulation des Rotteprozesses erhaltenen Kennwerten für die untersuchten Kompostausgangsmischungen gegenübergestellt.

Tabelle 3: Vergleich der Ergebnisse der Rottesimulation mit den Ergebnissen von an der TU Graz durchgeführten Kompostierversuchen

Erläuterungen: gemessene Werte aus [2]; berechnete Werte auf Basis der in Tabelle 2 dargestellten Eingabeparameter; Alle Verlustraten bezogen auf die Gehalte zu Kompostbeginn

Kompostbezeichnung		RRI-92		RHA-92		ARI-92		AHA-92	
		Messung	Berechnet	Messung	Berechnet	Messung	Berechnet	Messung	Berechnet
Art der Kompostierung		Miete	Miete	Miete	Miete	Miete	Miete	Miete	Miete
Dauer der Kompostierung	[d]	65	65	65	65	65	65	68	68
Anzahl der Mietenumsetzungen	[-]	3	3	4	4	3	3	4	4
Zusätzliche Bewässerung		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Trockensubstanzverlust	[Gew% TS]	27,7	27,6	26,3	23,8	15,0	14,9	12,8	13,9
C _{org} -Verlust	[Gew% TS]	49,5	54,5	50,2	52,5	48,6	42,0	54,8	58,8
N-Verlust	[Gew% TS]	3,7	21,3	33,8	12,9	15,0	15,9	4,8	19,4
Wasserverlust	[Gew% FS]	78,1	73,8	85,3	84,2	75,5	69,4	66,9	87,2

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, zeigen die Ergebnisse der Simulationsrechnung für den Trockensubstanz-, Wasser- und C_{org}-Verlust eine sehr gute bis gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen. Beim Wasserverlust ist die Abweichung bei den Aschekomposten (ARI-92 und AHA-92) größer als bei den Referenzkomposten ohne Aschezuschlag. Allerdings lagen die Zuschlagsraten für Asche (31 bzw. 40 Gew% TS) in den von der TU Graz durchgeführten Versuchen deutlich über den im Rahmen dieser Studie untersuchten Zuschlagsraten (2 bis 8 Gew%), sodass anzunehmen ist, dass auch für die in dieser Studie untersuchten Aschekomposte eine ähnliche Genauigkeit beim Wasserverlust wie für Komposte ohne Aschezuschlag zu erwarten ist.

Relevante Abweichungen gibt es hingegen beim N-Verlust. Dies liegt darin begründet, dass die N-Freisetzung im Programm stark vereinfacht berechnet wird, und zwar auf Basis des vollständigen Abbaus von organischem Haushaltsabfall (siehe Gleichung 1). Die N-Freisetzung ist somit direkt mit dem C_{org} -Abbau gekoppelt, was in der Realität üblicherweise nicht der Fall ist. Das Programm liefert daher im Vergleich zu Versuchsergebnissen keine verlässlichen N-Abbauraten.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, konnte im Rahmen der Versuche an der TU Graz nachgewiesen werden, dass die N-Verluste von Aschekomposten auch bei sehr hohen Aschezuschlagsraten von bis zu knapp 22 Gew% FS (bzw. bis zu 40 Gew% TS) im Vergleich zu Komposten ohne Aschezuschlag nicht erhöht werden. Auch die Trockensubstanz- und C_{org} -Verluste der Aschekomposte waren mit jenen der Referenzkomposte vergleichbar. Der Wasserverlust wurde durch die Zugabe von Asche sogar verringert, was durch die Ca- und Mg-Hydroxid-Bildung auch zu erwarten ist. In Tabelle 4 sind die aus den an der TU Graz durchgeführten Kompostierversuchen erhaltenen Kennwerte für Referenzkomposte und Aschekomposte gegenübergestellt.

Tabelle 4: Vergleich wichtiger Kennwerte der Kompostierung für Referenzkomposte und Aschekomposte aus den an der TU Graz durchgeführten Kompostierversuchen

Erläuterungen: Ergebnisse nach [2]; Anzahl Referenzkomposte: 3; Anzahl der Aschekomposte: 6; Aschezuschlagsmengen zwischen 14 und 21,6 Gew% FS bzw. 22,5 und 35,3 Gew% TS

		Referenzkomposte		Aschekomposte	
		Mittelwert	STABW	Mittelwert	STABW
Aschenanteil an der Ausgangsmischung	[Gew% TS]	0,0	0,0	34,3	3,9
C _{org} -Verlust	[Gew% TS]	52,5	4,5	55,4	5,0
N-Verlust	[Gew% TS]	19,7	15,1	16,6	11,4
TS-Verlust	[Gew% TS]	29,5	4,4	16,7	7,3
Wasserverlust	[Gew% FS]	77,6	8,4	68,2	15,1
pH-Wert		7,6	0,3	8,5	0,7

Aufgrund der Tatsache, dass der N-Abbau nicht wesentlich durch die Zugabe von Pflanzenaschen beeinflusst wird, wiegt auch die ungenaue Berechnung des N-Verlustes durch das Simulationsprogramm nicht schwer, zumal der N-Verlust keinen Einfluss auf die Berechnung der Schwermetallgehalte im fertigen Kompost hat, die ja auf Basis der Gehalte in der Ausgangskompostmischung und dem Trockensubstanzverlust erfolgt.

3.2 Kompostausgangsmischungen und Aschequalitäten

In Abstimmung mit Herrn Tulnik von der ARGE Kompost & Biogas wurden 4 verschiedene Ausgangsmischungen für Komposte zusammengestellt. Dabei wurde versucht, eine möglichst große Bandbreite an möglichen Ausgangsmischungen abzudecken. Zwei Ausgangsmischungen repräsentieren dabei die „landwirtschaftliche“ Kompostierung (mit vorwiegend Reststoffen aus der Landwirtschaft als Ausgangsmaterialien), die beiden anderen Ausgangsmischungen repräsentieren die Kompostierung von organischen Reststoffen aus dem kommunalen Bereich (mit Grünschnitt bzw. Bioabfall als wesentliche Ausgangsmaterialien).

Die Ausgangsmischungen wurden so abgestimmt, dass das C/N-Verhältnis im für Ausgangsmischungen optimalen Bereich zwischen 20 und 40 liegt [7]. Der Wassergehalt wurde in einem Bereich von 50 bis 65 Gew% FS eingestellt [3,18]. Als Strukturmaterial

wurde bei Bedarf Strauch- und Baumschnitt verwendet, um eine ausreichende Struktur der Miete zu gewährleisten. Zur Unterstützung des Aufbaus von Humusstrukturen wurde allen Ausgangsmischungen in Abstimmung mit Herrn Tulnik Lehmerde im Ausmaß von 8 bis 12 Gew% FS zugemischt.

Folgende Ausgangsmischungen wurden zusammengestellt, die als Basis für die Simulationsrechnungen herangezogen wurden:

- Rindermistkompost (Stroh, Rindermist und Lehmerde)
- Wirtschaftsdüngerkompost (Schweinemist, Schweinegülle, Strauch- und Baumschnitt, Grünschnitt, Lehmerde)
- Bioabfallkompost (Bioabfall, Strauch- und Baumschnitt, Lehmerde)
- Grünschnittkompost (Grünschnitt, Strauch- und Baumschnitt, Lehmerde)

In den folgenden Tabellen sind die einzelnen Ausgangsmischungen detailliert dargestellt.

Tabelle 5: Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“

Erläuterungen: sämtliche Stoffwerte für Stroh und Rindermist nach [2]; Schwermetallgehalte für Lehmerde entsprechend den steirischen Bodennormalwerten [19]; übrige Stoffwerte für Lehmerde nach [2]; n.a. ... nicht analysiert

Rindermistkompost					
Ausgangsmaterial		Stroh	Rindermist	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis [TS]		27,00%	53,00%	20,00%	
Mischungsverhältnis [FS]		11,53%	79,49%	8,98%	
Parameter	Einheit				
Wassergehalt	Gew% FS	12,5	75,1	16,8	62,6
Corg.	Gew% TS	45,0	42,5	1,2	34,9
C/N	mol/mol	82,4	25,6	9,4	33,1
N-Gesamt	mg/kg TS	6.370	19.400	1.450	12.292
Al	mg/kg TS	32	1.338	19.410	4.600
Ca	mg/kg TS	3.642	7.368	4.985	5.885
Fe	mg/kg TS	62	4.186	41.770	10.589
K	mg/kg TS	29.680	30.540	1.734	24.547
Mg	mg/kg TS	1.347	3.150	6.742	3.382
Mn	mg/kg TS	18	119	737	215
Na	mg/kg TS	2.238	1.964	124	1.670
P	mg/kg TS	1.080	5.323	919	3.296
As	mg/kg TS	n.a.	n.a.	40,0	
Cd	mg/kg TS	0,1	0,3	0,3	0,2
Cr	mg/kg TS	1,8	16,3	80,0	25,1
Cu	mg/kg TS	3,8	20,0	50,0	21,6
Hg	mg/kg TS	n.a.	n.a.	0,3	
Ni	mg/kg TS	0,9	4,9	60,0	14,8
Pb	mg/kg TS	0,9	3,0	30,0	7,8
Zn	mg/kg TS	101,7	64,2	140,0	89,5

Tabelle 6: Kompostausgangsmischung „Wirtschaftsdüngerkompost“

Erläuterungen: sämtliche Stoffwerte für Schweinemist und Schweinegülle nach [2]; Schwermetallgehalte für Grünschnitt und Strauch- und Baumschnitt nach [6]; Schwermetallgehalte für Lehmerde entsprechend den steirischen Bodennormalwerten [19]; übrige Stoffwerte für Grünschnitt und Lehmerde nach [2]; C_{org}- und N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis für Strauch- und Baumschnitt auf Basis von [3, 7]; übrige Stoffwerte für Strauch- und Baumschnitt aus BIOS-interner Datenbank; n.a. ... nicht analysiert; n.v. ... nicht verfügbar

Wirtschaftsdüngerkompost							
Ausgangsmaterial		Schweinemist	Grünschnitt	Schweinegülle	Strauch- und Baumschnitt	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis	[TS]	14,50%	15,00%	2,50%	50,00%	18,00%	
Mischungsverhältnis	[FS]	21,34%	8,20%	27,44%	34,45%	8,57%	
Parameter	Einheit						
Wassergehalt	Gew% FS	73,1	27,5	96,4	42,5	16,8	60,4
Corg.	Gew% TS	33,7	42,5	38,2	42,5	1,2	33,7
C/N	mol/mol	13,9	16,5	3,9	125,0	9,4	28,7
N-Gesamt	mg/kg TS	28.300	30.051	114.200	3.967	1.450	13.710
Al	mg/kg TS	2.676	463	1.615	617	19.410	4.300
Ca	mg/kg TS	44.820	7.367	48.340	8.318	4.985	13.869
Fe	mg/kg TS	5.062	912	4.248	338	41.770	8.665
K	mg/kg TS	33.300	26.600	51.900	1.266	1.734	11.061
Mg	mg/kg TS	11.250	2.610	14.750	760	6.742	3.985
Mn	mg/kg TS	561	107	352	264	737	371
Na	mg/kg TS	7.266	938	9.676	149	124	1.533
P	mg/kg TS	23.276	3.326	21.001	235	919	4.682
As	mg/kg TS	21,5	n.v.	15,4	n.v.	40,0	
Cd	mg/kg TS	0,5	0,3	0,6	0,4	0,3	0,4
Cr	mg/kg TS	18,6	4,8	11,6	10,6	80,0	23,4
Cu	mg/kg TS	147,9	10,6	245,0	11,7	50,0	44,0
Hg	mg/kg TS	n.a.	0,1	n.a.	0,1	0,3	
Ni	mg/kg TS	21,8	3,4	20,6	6,6	60,0	18,3
Pb	mg/kg TS	8,0	32,9	8,8	15,4	30,0	19,4
Zn	mg/kg TS	472,2	51,5	856,0	60,5	140,0	153,0

Für Hg gibt es für die meisten Ausgangsstoffe keine Literaturwerte, sodass die Berechnung der Hg-Konzentrationen in den Ausgangsmischungen und in weiterer Folge in den Fertigkomposten nicht möglich war. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass der Gehalt an Hg in Grob-/Rost- bzw. Zyklonflugaschen aufgrund seiner hohen Flüchtigkeit sehr gering ist und üblicherweise unterhalb der Nachweisgrenze liegt. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Zugabe von Pflanzenaschen die Hg-Gehalte in den Ausgangsmischungen bzw. in den fertigen Komposten erhöhen könnte.

Ähnliches gilt für As, wo ebenfalls nicht für alle Ausgangsmaterialien Literatur- oder Messwerte vorhanden waren. In Pflanzenaschen, die für die Kompostierung eingesetzt werden dürfen, liegt der As-Gehalt üblicherweise unterhalb der Grenzwerte der beiden Klassen der neuen Pflanzenaschenrichtlinie (20 mg/kg TS) und somit deutlich unter den steirischen Bodennormalwerten. Ein Zuschlag von Pflanzenaschen zum Kompost ist daher auf Basis des As-Gehalts als ökologisch unbedenklich einzustufen. Darüber hinaus gibt es für As in den Qualitätsklassen für Komposte keinen Grenzwert, wodurch die Berechnung der As-Gehalte in den Komposten für eine Bewertung nach österreichischer KompostVO nicht notwendig ist.

Tabelle 7: Kompostausgangsmischung „Bioabfallkompost“

Erläuterungen: Schwermetallgehalte für Bioabfall sowie Strauch- und Baumschnitt nach [6]; Schwermetallgehalte für Lehmerde entsprechend den steirischen Bodennormalwerten [19]; übrige Stoffwerte für Lehmerde nach [2]; C_{org}- und N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis von Bioabfall und Strauch- und Baumschnitt auf Basis von [3, 7]; übrige Stoffwerte für Strauch- und Baumschnitt aus BIOS-interner Datenbank; n.v. ... nicht verfügbar

Bioabfallkompost					
Ausgangsmaterial		Strauch- und Baumschnitt	Bioabfall	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis [TS]		33,00%	51,00%	16,00%	
Mischungsverhältnis [FS]		28,12%	62,47%	9,42%	
Parameter	Einheit				
Wassergehalt	Gew% FS	42,5	60,0	16,8	51,0
C _{org}	Gew% TS	42,5	35,4	1,2	32,2
C/N	mol/mol	125,0	25,0	9,4	37,8
N-Gesamt	mg/kg TS	3.967	16.500	1.450	9.956
Al	mg/kg TS	617	n.v.	19.410	
Ca	mg/kg TS	8.318	n.v.	4.985	
Fe	mg/kg TS	338	n.v.	41.770	
K	mg/kg TS	1.266	n.v.	1.734	
Mg	mg/kg TS	760	n.v.	6.742	
Mn	mg/kg TS	264	n.v.	737	
Na	mg/kg TS	149	n.v.	124	
P	mg/kg TS	235	n.v.	919	
As	mg/kg TS	n.v.	n.v.	40,0	
Cd	mg/kg TS	0,4	0,3	0,3	0,3
Cr	mg/kg TS	10,6	8,0	80,0	20,4
Cu	mg/kg TS	11,7	18,0	50,0	21,0
Hg	mg/kg TS	0,1	n.v.	0,3	
Ni	mg/kg TS	6,6	8,0	60,0	15,9
Pb	mg/kg TS	15,4	16,0	30,0	18,0
Zn	mg/kg TS	60,5	70,0	140,0	78,1

Tabelle 8: Kompostausgangsmischung „Grünschnittkompost“

Erläuterungen: Schwermetallgehalte für Grünschnitt sowie Strauch- und Baumschnitt nach [6]; Schwermetallgehalte für Lehmerde entsprechend den Bodennormalwerten für steirischen Böden [19]; übrige Stoffwerte für Grünschnitt und Lehmerde nach [2]; C_{org}- und N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis für Strauch- und Baumschnitt auf Basis von [3, 7]; übrige Stoffwerte für Strauch- und Baumschnitt aus BIOS-interner Datenbank; n.v. ... nicht verfügbar

Grünschnittkompost					
Ausgangsmaterial		Strauch- und Baumschnitt	Grünschnitt	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis [TS]		50,00%	34,00%	16,00%	
Mischungsverhältnis [FS]		59,69%	28,99%	11,32%	
Parameter	Einheit				
Wassergehalt	Gew% FS	62,5	47,5	36,8	55,2
C _{org}	Gew% TS	42,5	42,5	1,2	35,9
C/N	mol/mol	125,0	16,5	9,4	33,7
N-Gesamt	mg/kg TS	3.967	30.051	1.450	12.433
Al	mg/kg TS	617	463	19.410	3.571
Ca	mg/kg TS	8.318	7.367	4.985	7.462
Fe	mg/kg TS	338	912	41.770	7.162
K	mg/kg TS	1.266	26.600	1.734	9.954
Mg	mg/kg TS	760	2.610	6.742	2.346
Mn	mg/kg TS	264	107	737	286
Na	mg/kg TS	149	938	124	413
P	mg/kg TS	235	3.326	919	1.395
As	mg/kg TS	n.v.	n.v.	40,0	
Cd	mg/kg TS	0,4	0,3	0,3	0,4
Cr	mg/kg TS	10,6	4,8	80,0	19,7
Cu	mg/kg TS	11,7	10,6	50,0	17,4
Hg	mg/kg TS	0,1	0,1	0,3	0,1
Ni	mg/kg TS	6,6	3,4	60,0	14,1
Pb	mg/kg TS	15,4	32,9	30,0	23,7
Zn	mg/kg TS	60,5	51,5	140,0	70,2

Anhand der vorangegangenen Tabellen wird die breite Streuung bei den Zusammensetzungen von Kompostausgangsmaterialien deutlich. Die unterschiedliche Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien spiegelt sich auch in den Zusammensetzungen der Kompostausgangsmischungen wider. So weist die Ausgangsmischung für Grünschnittkompost mit Ausnahme von Cd und Pb die niedrigsten Schwermetallgehalte der vier untersuchten Ausgangsmischungen auf, wohingegen die Ausgangsmischung für Wirtschaftsdüngerkompost bei den meisten Schwermetallen (Ausnahme Cr und Pb) die höchsten Schwermetallgehalte aufweist.

In diesem Zusammenhang muss allerdings beachtet werden, dass die errechneten Werte trotz der Verwendung von Durchschnittswerten nicht zwangsläufig die für die einzelnen Kompostausgangsmischungen typischen Qualitäten widerspiegeln, da in den Kompostierwerken erhöhte Schwermetallgehalte in einzelnen Ausgangsstoffen, üblicherweise durch Zugabe von Materialien mit unterdurchschnittlichen Schwermetallgehalten kompensiert werden. Es kann aus den Ergebnissen der Mischungsrechnung somit nicht abgeleitet werden, dass Wirtschaftsdüngerkompost generell höhere Schwermetallgehalte aufweist als z.B. Grünschnittkompost. Vielmehr wurden diese Mischungen so ausgewählt, um eine möglichst große Bandbreite der in der Kompostierung eingesetzten Ausgangsmischungen darzustellen.

Auch der Wassergehalt der Ausgangsmischungen variiert in Abhängigkeit von den Ausgangsmaterialien relativ stark. Der Wassergehalt der Ausgangsmischung für Grünschnittkompost wäre mit nur knapp 35 Gew% FS zu niedrig für einen optimalen Rotteverlauf, daher wurde vor Beginn der Simulation der Wassergehalt durch Zugabe von Wasser auf 55 Gew% FS angehoben. Die Beimischung von Asche erfolgte beim Grünschnittkompost erst nach der Wasserzugabe, sodass der Aschegehalt bezogen auf die Trockensubstanz mit den anderen Kompostausgangsmischungen (Wassergehalt zwischen 50 und 62 Gew% FS) vergleichbar ist.

Aus den oben beschriebenen Basismischungen wurden dann Kompostmischungen mit verschiedenen Holzaschezuschlagsmengen erstellt. Dabei wurden folgende Zuschlagsmengen untersucht:

- Aschenzuschlagsmenge 2 Gew% FS (maximal zulässige Aschezuschlagsmenge laut österreichischer KompostVO 2001)
- Aschezuschlagsmenge 5 Gew% FS
- Aschezuschlagsmenge 8 Gew% FS

Von der Untersuchung höherer Aschezuschlagsmengen wurde abgesehen, da bei einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS abhängig vom Wassergehalt der Mischung der Anteil der Holzasche an der Trockenmasse bereits bis zu 18 Gew% betragen kann und eine weitere Steigerung der Zuschlagsmenge daher zu im Vergleich zur organischen Substanz zu überhöhten Aschegehalten in den Ausgangsmischungen bzw. im fertigen Kompost führen würde und somit der Definition der Kompostierung (die gesteuerte exotherme biologische Umwandlung abbaubarer *organischer* Materialien in ein huminstoffreiches Material) nicht mehr entsprechen würde.

Laut österreichischer KompostVO 2001 dürfen Pflanzenaschen dann als Zuschlagsstoff eingesetzt werden, wenn sie die in der Anlage 1, Teil 4 der österreichischen KompostVO angegebenen Grenzwerte einhalten. Feinstflugaschen dürfen generell nicht als Zuschlagsstoff eingesetzt werden. Die Grenzwerte sind an die Grenzwerte der seit 1998 geltenden Richtlinie

für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen im Acker- und Grünland [20] (diese wird durch die neue Pflanzenaschenrichtlinie [8] ab 1.1.2011 ersetzt) angelehnt und in Tabelle 9 zusammengefasst. Dies erklärt auch, warum für Pflanzenaschen für gewisse Elemente Grenzwerte gelten, obwohl es für dieselben Elemente keine Grenzwerte im fertigen Kompost gibt (As, Co, Mo, V). Andererseits gibt es keinen Grenzwert für Hg, obwohl Hg im fertigen Kompost durch einen Grenzwert limitiert ist.

Tabelle 9: Grenzwerte für Pflanzenaschen für den Einsatz als Zuschlagsstoff in der Kompostierung gemäß KompostVO 2001

Parameter	Einheit	Grenzwert
As	[mg/kg TS]	20
Cd	[mg/kg TS]	8
Co	[mg/kg TS]	100
Cr	[mg/kg TS]	250
Cu	[mg/kg TS]	250
Mo	[mg/kg TS]	20
Ni	[mg/kg TS]	100
Pb	[mg/kg TS]	100
V	[mg/kg TS]	100
Zn	[mg/kg TS]	1.500
PCDD/PCDF	[ngTE TS]	100

Mit 1.1.2011 wird die neue Richtlinie zum sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen [8] in Kraft treten, die zum Teil etwas geänderte Grenzwerte vorsieht. Abgesehen von der Streichung von Grenzwerten für Schwermetalle, die beim Einsatz von naturbelassener Biomasse in Pflanzenaschen naturgemäß nicht überschritten werden (Co, Mo und V) wurden im Vergleich zur bisherigen Richtlinie zwei verschiedene Qualitätsklassen für Pflanzenaschen eingeführt.

Qualitätsklasse A weist für die meisten Schwermetalle niedrigere Grenzwerte als in der bisherigen Richtlinie auf (Ausnahme: der sehr strenge Ni-Grenzwert der bisherigen Richtlinie wurde von 100 auf 150 mg/kg TS angehoben). Erreicht eine Asche die Qualitätsklasse A, ist künftig keine Bodenuntersuchung vor Ausbringung der Asche notwendig. Qualitätsklasse B entspricht mit Ausnahme von Ni (Anhebung des ursprünglichen Grenzwerts von 100 auf 200 mg/kg TS) und Pb (Anhebung des ursprünglichen Grenzwerts von 100 auf 200 mg/kg TS) den Grenzwerten der bisherigen Richtlinie. Beim Einsatz von Pflanzenaschen der Qualitätsklasse B sind weiterhin vor der Ausbringung Bodenuntersuchungen durchzuführen. Bei ausschließlicher Verbrennung von naturbelassener Biomasse und guter Schwermetallfraktionierung in der Feuerung können für Mischungen aus Rost- und Zyklonflugasche nach heizwerksspezifischem Anfall üblicherweise die Grenzwerte der Qualitätsklasse B und in vielen Fällen auch die Grenzwerte der Qualitätsklasse A eingehalten werden.

Da davon ausgegangen werden kann, dass die Grenzwerte für Pflanzenaschen bei einer Novellierung der österreichischen KompostVO wieder an die Grenzwerte der neuen Pflanzenaschenrichtlinie angepasst werden, wurden Simulationen mit Aschen durchgeführt, deren Schwermetallgehalte den Grenzwerten der beiden Aschequalitätsklassen der neuen Pflanzenaschenrichtlinie entsprechen. Damit kann der Einsatz von Mischungen aus Rost- und

Zyklonflugasche nach heizwerksspezifischem Anfall in zwei unterschiedlichen Qualitäten abgedeckt werden.

Neben einer Mischung aus Rost- und Zyklonflugaschen können auch reine Grob- oder Rostaschen als Zuschlagsstoff in der Kompostierung eingesetzt werden. Diese Aschen weisen vor allem bzgl. As, Cd, Pb und Zn deutlich geringere Gehalte auf, da sich diese leichtflüchtigen Elemente überwiegend in den feineren Aschefractionen (Kesselaschen, Zyklonflugaschen und Feinstflug-/Filterflugaschen) anreichern. Um eine möglichst große Bandbreite an Grob- und Rostaschen abdecken zu können, wurden für die Stoffbilanzierungen 4 verschiedene Aschenqualitäten ausgewählt:

- *Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Biomasse in Rostfeuerungen*, die im Rahmen des FFG-Branchenprojektes „Entwicklung von innovativen Verfahren zur Holzascheverwertung“ untersucht wurden. Dabei wurden nur jene Rostaschen berücksichtigt, die die Grenzwerte der neuen Pflanzenaschenrichtlinie für Qualitätsklasse B vollständig einhalten und ausschließlich aus der Verbrennung naturbelassener Biomasse stammen. Anzahl der Datensätze: 10
- *Durchschnittswerte für feine Grobasche (feine Bettasche) aus der Verbrennung von naturbelassener Biomasse in Wirbelschichtfeuerungen*, die im Rahmen des FFG-Branchenprojektes „Entwicklung von innovativen Verfahren zur Holzascheverwertung“ untersucht wurden. Dabei wurden nur jene Grobaschen berücksichtigt, die ausschließlich aus der Verbrennung naturbelassener Biomasse stammen. Anzahl der Datensätze: 4
- *Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Hackgut* aus der BIOS internen Datenbank. Anzahl der Datensätze: 12
- *Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Rinde* aus der BIOS internen Datenbank. Anzahl der Datensätze: 12

Bei den Aschen aus Wirbelschichtfeuerungen wurde bewusst die Fraktion feine Grobasche gewählt. Üblicherweise wird die im Brennstoffbett anfallende Asche abgeseibt. Der Grobanteil, der zum Großteil aus mineralischen Verunreinigungen (Sand, Steine), Schlacken und zu einem geringen Teil auch aus Bettmaterial (meist Quarzsand, SiO₂) besteht, wird ausgeschleust und in einen Container gefördert. Der Feinanteil, der hauptsächlich aus feinkörniger Asche und Bettmaterial besteht, wird meist in das Brennstoffbett rückgeführt. In regelmäßigen Abständen wird aber auch die feine Bettasche ausgeschleust und durch neues Bettmaterial ersetzt. Das Massenverhältnis der anfallenden Mengen entspricht üblicherweise in etwa 1:8 bis 1:10 (Grobanteil:Feinanteil).

Die feine Grobasche macht daher den deutlich größeren Anteil an der gesamt anfallenden Grobasche aus. Daher wurden für die Untersuchungen die Analysenergebnisse der feinen Grobasche jenen der groben Grobasche vorgezogen.

Die Zusammensetzung der einzelnen als Zuschlagstoff in der Kompostierung im Rahmen der durchgeführten Stoffbilanzierungen eingesetzten Aschequalitäten ist in Tabelle 10 dargestellt. Wassergehalt und C_{org}-Gehalt wurden für alle Aschen einheitlich mit 5 Gew% FS (Wassergehalt) bzw. 1 Gew% TS (C_{org}-Gehalt) angenommen, was jeweils üblichen Werten für gut ausgebrannte Aschen bei Trockenentaschung entspricht, die gewisse Zeit gelagert wurden und somit Feuchtigkeit angenommen haben. Der N-Gehalt wurde ebenfalls

einheitlich festgelegt. Da N bei der Verbrennung üblicherweise fast vollständig als N₂ oder NO_x mit dem Rauchgas entweicht, ist der N-Gehalt in Pflanzenaschen sehr gering und wird meist nicht analysiert. Der im Rahmen dieser Studie verwendete N-Gehalt von 185 mg/kg TS entspricht dem im Rahmen des Forschungsprojekts der TU Graz [2] gemessenen Wert in den dort verwendeten Aschen.

Tabelle 10: Zusammensetzung der als Zuschlagsstoff untersuchten Aschen

Erläuterungen: *) Schwermetallgehalte gemäß den Grenzwerten der neuen Pflanzenaschenrichtlinie [8], Nährstoffgehalte gemäß den Durchschnittswerten für Rostaschen aus der Verbrennung von Hackgut aus der BIOS-internen Datenbank; **) Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von unbelasteter Biomasse in Rostfeuerungen, die im Rahmen des FFG-Branchenprojektes untersucht wurden (Anzahl der Einzelwerte: 10); ***) Durchschnittswerte für feine Grobaschen aus der Verbrennung von unbelasteter Biomasse, die im Rahmen des FFG-Branchenprojektes untersucht wurden (Anzahl der Einzelwerte: 4); ****) Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Hackgut bzw. naturbelassener Rinde aus der BIOS-internen Datenbank (Anzahl der Einzelwerte: je 12)

Parameter	Einheit	Grenzwerte gemäß Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen *)		Rostfeuerungen Rostaschen**)	Wirbelschichtfeuerungen Grobaschen fein***)	Datenbankwerte ****) Rostaschen Hackgut	Datenbankwerte ****) Rostaschen Rinde
		Qualitätsklasse A	Qualitätsklasse B				
Wassergehalt	[Gew% FS]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Corg	[Gew% TS]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
N	[mg/kg TS]	185,0	185,0	185,0	185,0	185,0	185,0
Ca	[mg/kg TS]	330.530	330.530	280.100	44.375	330.530	307.276
K	[mg/kg TS]	53.039	53.039	45.670	42.375	53.039	41.053
Mg	[mg/kg TS]	29.592	29.592	38.460	6.163	29.592	40.090
P	[mg/kg TS]	15.843	15.843	8.700	2.293	15.843	7.343
As	[mg/kg TS]	20,0	20,0	2,4	2,5	8,4	12,3
Cd	[mg/kg TS]	5,0	8,0	0,7	0,6	0,8	1,2
Co	[mg/kg TS]	13,3	13,3	18,1	5,1	15,3	23,9
Cr	[mg/kg TS]	150,0	250,0	123,0	47,3	47,5	132,3
Cu	[mg/kg TS]	200,0	250,0	82,2	42,5	120,9	83,3
Hg	[mg/kg TS]	k.G.	k.G.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ni	[mg/kg TS]	150,0	200,0	55,1	9,5	62,2	93,7
Pb	[mg/kg TS]	100,0	200,0	6,1	14,8	11,9	16
Zn	[mg/kg TS]	1.200,0	1.500,0	133,5	302,0	112,7	257,3

Für jede der vier Basisausgangsmischungen wurden nun mit den verschiedenen Aschequalitäten Aschekompostausgangsmischungen mit 2, 5 und 8 Gew% FS Aschezuschlagsmenge erstellt. Dabei wurde das Verhältnis der anderen Ausgangsmaterialien zueinander gegenüber den Basisausgangsmischungen nicht verändert. Insgesamt wurden inklusive der 4 Basisausgangsmischungen 76 verschiedene Kompostausgangsmischungen erstellt, deren Kompostierung simuliert und die somit erhaltenen Komposte bewertet. Beispielfhaft werden hier die Kompostausgangsmischungen für die Mischungen aus Rindermistkompost mit Asche mit Schwermetallgehalten gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie [8] in den folgenden Tabellen dargestellt. Eine vollständige Übersicht aller untersuchen Kompostausgangsmischungen befindet sich im ANHANG A.

Tabelle 11: Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost mit 2 Gew% FS Zuschlag von Holzasche mit Schwermetallgehalten gem. Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie

Erläuterungen: für Quellen der einzelnen Daten siehe Tabelle 5 und Tabelle 10; n.a. ... nicht analysiert.

Ausgangsmaterial		Asche	Stroh	Rindermist	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis [TS]		4,93%	25,67%	50,39%	19,01%	
Mischungsverhältnis [FS]		2,00%	11,30%	77,90%	8,80%	
Parameter	Einheit					
Wassergehalt	Gew% FS	5,0	12,5	75,1	16,8	61,5
Corg.	Gew% TS	1,0	45,0	42,5	1,2	33,2
C/N	mol/mol	63,1	82,4	25,6	9,4	33,2
N-Gesamt	mg/kg TS	185	6.370	19.400	1.450	11.695
Al	mg/kg TS	23.461	32	1.338	19.410	5.530
Ca	mg/kg TS	330.530	3.642	7.368	4.985	21.890
Fe	mg/kg TS	15.589	62	4.186	41.770	10.836
K	mg/kg TS	53.039	29.680	30.540	1.734	25.951
Mg	mg/kg TS	29.592	1.347	3.150	6.742	4.674
Mn	mg/kg TS	13.488	18	119	737	870
Na	mg/kg TS	3.931	2.238	1.964	124	1.781
P	mg/kg TS	15.843	1.080	5.323	919	3.915
As	mg/kg TS	20,0	n.a.	n.a.	40,0	
Cd	mg/kg TS	5,0	0,1	0,3	0,3	0,5
Cr	mg/kg TS	150,0	1,8	16,3	80,0	31,3
Cu	mg/kg TS	200,0	3,8	20,0	50,0	30,4
Hg	mg/kg TS	n.v.	n.a.	n.a.	0,3	
Ni	mg/kg TS	150,0	0,9	4,9	60,0	21,5
Pb	mg/kg TS	100,0	0,9	3,0	30,0	12,4
Zn	mg/kg TS	1200,0	101,7	64,2	140,0	144,2

Tabelle 12: Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost mit 5 Gew% FS Zuschlag von Holzasche mit Schwermetallgehalten gem. Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie

Erläuterungen: für Quellen der einzelnen Daten siehe Tabelle 5 und Tabelle 10; n.a. ... nicht analysiert.

Ausgangsmaterial		Asche	Stroh	Rindermist	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis [TS]		11,80%	23,82%	46,75%	17,64%	
Mischungsverhältnis [FS]		5,00%	10,96%	75,51%	8,53%	
Parameter	Einheit					
Wassergehalt	Gew% FS	5,0	12,5	75,1	16,8	59,7
Corg.	Gew% TS	1,0	45,0	42,5	1,2	30,9
C/N	mol/mol	63,1	82,4	25,6	9,4	33,2
N-Gesamt	mg/kg TS	185	6.370	19.400	1.450	10.864
Al	mg/kg TS	23.461	32	1.338	19.410	6.825
Ca	mg/kg TS	330.530	3.642	7.368	4.985	44.180
Fe	mg/kg TS	15.589	62	4.186	41.770	11.179
K	mg/kg TS	53.039	29.680	30.540	1.734	27.907
Mg	mg/kg TS	29.592	1.347	3.150	6.742	6.473
Mn	mg/kg TS	13.488	18	119	737	1.781
Na	mg/kg TS	3.931	2.238	1.964	124	1.937
P	mg/kg TS	15.843	1.080	5.323	919	4.776
As	mg/kg TS	20,0	n.a.	n.a.	40,0	
Cd	mg/kg TS	5,0	0,1	0,3	0,3	0,8
Cr	mg/kg TS	150,0	1,8	16,3	80,0	39,9
Cu	mg/kg TS	200,0	3,8	20,0	50,0	42,7
Hg	mg/kg TS	n.v.	n.a.	n.a.	0,3	
Ni	mg/kg TS	150,0	0,9	4,9	60,0	30,8
Pb	mg/kg TS	100,0	0,9	3,0	30,0	18,7
Zn	mg/kg TS	1200,0	101,7	64,2	140,0	220,5

Tabelle 13: Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost mit 8 Gew% FS Zuschlag von Holzasche mit Schwermetallgehalten gem. Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie

Erläuterungen: für Quellen der einzelnen Daten siehe Tabelle 5 und Tabelle 10; n.a. ... nicht analysiert.

Ausgangsmaterial		Asche	Stroh	Rindermist	Lehmerde	Kompostmischung
Mischungsverhältnis [TS]		18,10%	22,11%	43,41%	16,38%	
Mischungsverhältnis [FS]		8,00%	10,61%	73,13%	8,26%	
Parameter	Einheit					
Wassergehalt	Gew% FS	5,0	12,5	75,1	16,8	58,0
C _{org.}	Gew% TS	1,0	45,0	42,5	1,2	28,8
C/N	mol/mol	63,1	82,4	25,6	9,4	33,2
N-Gesamt	mg/kg TS	185	6.370	19.400	1.450	10.101
Al	mg/kg TS	23.461	32	1.338	19.410	8.013
Ca	mg/kg TS	330.530	3.642	7.368	4.985	64.635
Fe	mg/kg TS	15.589	62	4.186	41.770	11.494
K	mg/kg TS	53.039	29.680	30.540	1.734	29.703
Mg	mg/kg TS	29.592	1.347	3.150	6.742	8.125
Mn	mg/kg TS	13.488	18	119	737	2.617
Na	mg/kg TS	3.931	2.238	1.964	124	2.079
P	mg/kg TS	15.843	1.080	5.323	919	5.567
As	mg/kg TS	20,0	n.a.	n.a.	40,0	
Cd	mg/kg TS	5,0	0,1	0,3	0,3	1,1
Cr	mg/kg TS	150,0	1,8	16,3	80,0	47,7
Cu	mg/kg TS	200,0	3,8	20,0	50,0	53,9
Hg	mg/kg TS	n.v.	n.a.	n.a.	0,3	
Ni	mg/kg TS	150,0	0,9	4,9	60,0	39,3
Pb	mg/kg TS	100,0	0,9	3,0	30,0	24,5
Zn	mg/kg TS	1200,0	101,7	64,2	140,0	290,4

Ein Vergleich der Zusammensetzungen der Aschekompostausgangsmischungen mit der Basisausgangsmischung zeigt, dass durch den Zuschlag von Holzasche Wassergehalt, C_{org}- und N-Gehalt mit zunehmender Aschezuschlagsmenge abnehmen, was auf die geringen Gehalte in den Aschen im Vergleich zu den Basisausgangsmischungen zurückzuführen ist. Bei den Nährstoffen und anderen Makroelementen ist mit Ausnahme von feinen Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen (hier liegen die Gehalte einiger Nährstoffe und Markoelemente aufgrund der Verdünnung mit Bettmaterial teilweise unterhalb durchschnittlicher Gehalte in Komposten) generell eine Zunahme der Gehalte in den Ascheausgangsmischungen zu erkennen, was sich vor allem positiv auf die Nährstoffgehalt der fertigen Komposte auswirkt.

Bei den in Tabelle 11 bis Tabelle 13 dargestellten Fällen nehmen mit zunehmender Aschezuschlagsmenge auch die Gehalte an Schwermetallen in den Ausgangsmischungen zu. Beim Einsatz von reiner Grob-/Rostasche können durch den Zuschlag von Asche die Schwermetallgehalte in den Ausgangsmischungen auch abnehmen. So nimmt die Ni-Konzentration in den Kompostausgangsmischungen mit feiner Grobasche aus Wirbelschichtfeuerungen aufgrund des geringen Ni-Gehalts in der Asche mit zunehmender Zuschlagsmenge ab. Beim Zuschlag reiner Rostaschen können je nach Ausgangsmischung die Gehalte an Pb und Zn in den Mischungen mit ansteigender Aschezuschlagsmenge abnehmen (für Details siehe Tabellen im ANHANG A).

Es ist also sowohl von der Qualität der organischen Ausgangsmaterialien als auch von der Qualität der zugegebenen Aschen abhängig, wie sich der Zuschlag von Holzasche auf die Zusammensetzung der Kompostausgangsmischung auswirkt.

3.3 Stoffbilanzierung

Für die in Kapitel 3.2 diskutierten Kompostausgangsmischungen wurde anschließend der Rotteverlauf während der Kompostierung simuliert. Die Eingabeparameter (Lückengrad, Partikeldurchmesser, Ausgangskonzentration und Wachstumskonstanten der Mikroorganismen, Reaktionsenthalpie) wurden dabei ausgehend von den im Rahmen der Verifizierung des Simulationsprogramms ausgewählten Werten nach den in Kapitel 3.1 erläuterten Kriterien bei Bedarf angepasst, um plausible Ergebnisse bzgl. C_{org} -, Trockensubstanz- und Wasserverlust zu erhalten (siehe Tabelle 15). Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Erreichung eines Trockensubstanzverlusts zwischen 30 und 40 Gew% TS, da dies der wesentliche Parameter für die Berechnung der Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen im fertigen Kompost ist.

Die Vorgangsweise ist nachfolgend nochmals kurz erläutert:

Lückengrad und Partikeldurchmesser:

Da die Ausgangsmischungen „Rindermistkompost“ bzw. „Wirtschaftsdüngerkompost“ aus ähnlichen Ausgangsmaterialien wie die in den Kompostiersversuchen der TU Graz untersuchten Referenzkomposte (RRI-92 bzw. RHA-92) bestehen, wurden die im Rahmen der Verifizierung des Simulationsprogramms für RRI-92 und RHA-92 ermittelten Werte für diese beiden Ausgangsmischungen herangezogen. Für die beiden anderen Ausgangsmischungen („Bioabfallkompost“ und „Grünschnittkompost“) wurden ebenfalls dieselben Werte verwendet, da die Zusammensetzung bzgl. Struktur in Abstimmung mit Herrn Tulnik von der ARGE Kompost & Biogas bei allen Varianten ähnlich sein sollte.

Die Werte wurden auch für die Varianten mit Aschezuschlag nicht verändert, da die zugegebenen Aschemengen in einem Bereich liegen, der keine wesentliche Änderung der Struktur und somit des Lückengrads und des Partikeldurchmessers erwarten lässt.

Cellulose- und Hemicellulosegehalt:

Die Vorgangsweise entspricht der in Kapitel 3.1 erläuterten. Die Cellulose- und Hemicellulosegehalte reduzierten sich automatisch für die Aschekomposte entsprechend der Aschezuschlagsmenge, da der Anteil der organischen Materialien durch die Aschenzugabe reduziert wird.

Wachstumskonstanten:

Die Wachstumskonstanten wurden aus [3] übernommen. Da die Ausgangsmischung „Rindermistkompost“ aus ähnlichen Ausgangsmaterialien zusammengesetzt ist wie die in [2] und [3] beschriebene und zur Verifizierung des Simulationsprogramms verwendete Referenzmischung RRI-92, wurden die für RRI-92 bestimmten Wachstumskonstanten auch für die Ausgangsmischung „Rindermistkompost“ verwendet.

Die Ausgangsmischung „Wirtschaftsdüngerkompost“ weist ähnliche Ausgangsmaterialien wie die in [2] und [3] beschriebene und zur Verifizierung des Simulationsprogramms verwendete Referenzmischung RHA-92 auf. Daher wurden die für RHA-92 bestimmten Wachstumskonstanten für die Ausgangsmischung „Wirtschaftsdüngerkompost“ verwendet.

Für die anderen zwei Basismischungen konnten mit den für RRI-92 ermittelten Wachstumskonstanten gute Ergebnisse erzielt werden.

Reaktionsenthalpie:

Die Reaktionsenthalpie wurde nach demselben Prinzip, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, näherungsweise bestimmt. Die für die Basisausgangsmischungen festgelegten Reaktionsenthalpien wurden auch für die Mischungen mit Aschezuschlag beibehalten.

Anzahl der Umsetzungen während der Rotte:

Die Anzahl der Umsetzungen der Miete wurde anhand der vom Programm errechneten CO₂-Konzentration in der der Miete durchströmenden Luft festgelegt. Sobald die CO₂-Konzentration unter 1 Vol% gefallen ist, wurde die Miete einmal umgesetzt. Nach dem 40. Tag wurde keine Umsetzung mehr durchgeführt, da dies üblicherweise auch in der Praxis nicht der Fall ist. Bei drei der vier Basisausgangsmischungen (Wirtschaftsdüngerkompost, Bioabfallkompost und Grünschnittkompost) waren 2 Umsetzungen ausreichend, bei einer Ausgangsmischung erfolgten 3 Umsetzungen. Die festgelegte Anzahl der Umsetzungen wurde unabhängig von der Aschezuschlagsmenge für jede der Basisausgangsmischung beibehalten.

Wasserzugabe während der Rotte:

Die Wasserzugabe während der Rotte wurde so eingestellt, dass sich sowohl während der Rotte (50 bis 75 Gew%) als auch im Endprodukt genug Wasser (30 bis 45 Gew%) befindet.

Darüber hinaus wurde bei der Einstellung der Wasserzugabe und der Reaktionsenthalpie (innerhalb der vorgegebenen Grenzen von einer Abweichung bei der Energiebilanz von +/- 10%) darauf geachtet, dass die Temperatur in der Miete ausreichend lange (mindestens 2 Wochen) über 50°C liegt (wichtig für die Hygienisierung des Kompostmaterials).

Nur die Mischungsspezifischen Daten wie Zusammensetzung, Dichte und Wassergehalt wurden entsprechend den Ergebnissen der Mischungsrechnung für die Ausgangsmischungen mit Aschezuschlag angepasst. Das Mietenvolumen wurde jeweils so angepasst, dass die eingesetzte Trockenmasse für alle Aschezuschlagsvarianten in etwa gleich blieb. So ist auch ein Vergleich des Wasserverlustes zwischen den einzelnen Aschezuschlagsvarianten möglich.

Die Eingabeparameter für die einzelnen Kompostausgangsmischungen sind in ANHANG B zusammengefasst. Beispielhaft werden für eine Basisausgangsmischung (Rindermistkompost) die Eingabeparameter für alle Aschezuschlagsvarianten (inklusive der Variante ohne Aschezuschlag) in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Eingabeparameter für die Simulation der einzelnen Aschezuschlagsvarianten für die Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“

Erläuterungen: Erläuterungen zu den einzelnen Eingabeparametern siehe Text; für die Eingabeparameter weiterer Kompostausgangsmischungen siehe ANHANG B

Parameter	Einheit	BASIS	Aschezuschlag		
			2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS
<i>Mietendimension/Ausgangsmischung:</i>					
Mietenvolumen	[m ³]	26,5	25,4	23,8	22,3
Mietenlänge	[m]	25,0	25,0	25,0	25,0
Wassergehalt	[Gew%FS]	62,6	61,5	59,7	58,0
Schüttdichte	[kg/m ³]	384,0	389,0	397,0	406,0
Ausgangsmenge	[kg TS]	3.805	3.805	3.805	3.805
Lückengrad	[m ³ /m ³]	0,42	0,42	0,42	0,42
Partikeldurchmesser	[mm]	14,00	14,00	14,00	14,00
<i>Zusammensetzung:</i>					
Cellulose (cl)	[Gew%TS]	20,0	19,0	17,6	16,4
Hemicellulose (h)	[Gew%TS]	12,0	11,4	10,6	9,8
MO Cell. (v)	[kg/m ³ Miete]	1,5	1,5	1,5	1,5
MO Hemi. (u)	[kg/m ³ Miete]	1,5	1,5	1,5	1,5
C _{org}	[Gew%TS]	34,9	33,2	30,9	28,8
H	[Gew%TS]	4,2	4,1	4,0	3,9
N _{ges}	[Gew%TS]	1,2	1,2	1,1	1,0
S	[Gew%TS]	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>Wachstumskonstanten:</i>					
k1	[m ³ /kg h]	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03
k2	[m ³ /kg h]	1,80E-04	1,80E-04	1,80E-04	1,80E-04
<i>Energiefreisetzung:</i>					
Reaktionsenthalpie	[kJ/kg geb. CO ₂]	13.500	13.500	13.500	13.500
<i>Umgebungsbedingungen:</i>					
rel. Luftfeuchtigkeit	[-]	0,4	0,4	0,4	0,4
Temperatur	[°C]	25	25	25	25
<i>Rotteverlauf:</i>					
Anzahl der Umsetzungen	[-]	3	3	3	3
Zugegebene Wassermenge	[l]	2.400	2.400	2.400	2.400

3.3.1 Bilanzierung über den Rotteverlauf – Verlauf wichtiger Parameter über die Rottedauer

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Verlauf der wichtigsten Parameter während der Kompostierung, der vom Simulationsprogramm ermittelt wurde, beispielhaft für die Basiskompostmischung „Rindermist“ dargestellt.

In den Abbildungen ist deutlich der Einfluss des Umsetzens und der Bewässerung erkennbar. In Abbildung 1 ist der Temperaturverlauf dargestellt. Die Temperatur steigt zunächst rasch an und bleibt dann für etwa 10 Tage im Bereich von 50°C. Nach Umsetzen und Bewässern der Miete steigt die Temperatur kurzfristig an, da das Simulationsprogramm berücksichtigt, dass durch die Umsetzung noch nicht abgebautes organisches Material für die Mikroorganismen zur Verfügung steht. Dieser Vorgang wiederholt sich zwei weitere Male. Nach der dritten und letzten Umsetzung nimmt die Temperatur relativ rasch ab und stellt sich nach etwa 55 Tagen auf einen Wert im Bereich der Außentemperatur ein.

Der Wassergehalt (Verlauf siehe Abbildung 2) nimmt über die Rottedauer durch Verdunstung und Abtransport mit der die Miete durchströmenden Luft kontinuierlich ab. Die Bewässerung

führt jeweils zu einer Anhebung des Wassergehalts. Nach etwa 50 Tagen hat der Kompost praktisch seinen Endwassergehalt erreicht.

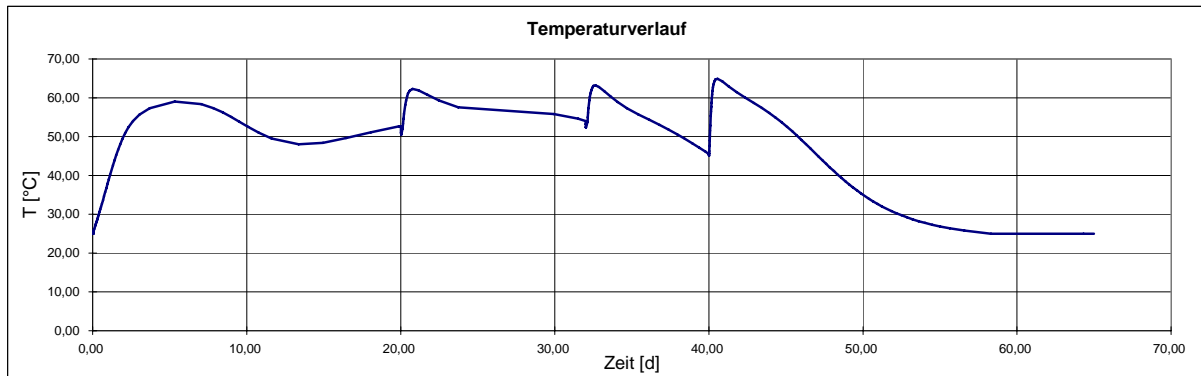


Abbildung 1: Temperaturverlauf über die Rottedauer für die Kompostausgangsmischung „Rindermist“

Erläuterungen: Eingabeparameter siehe Tabelle 14.

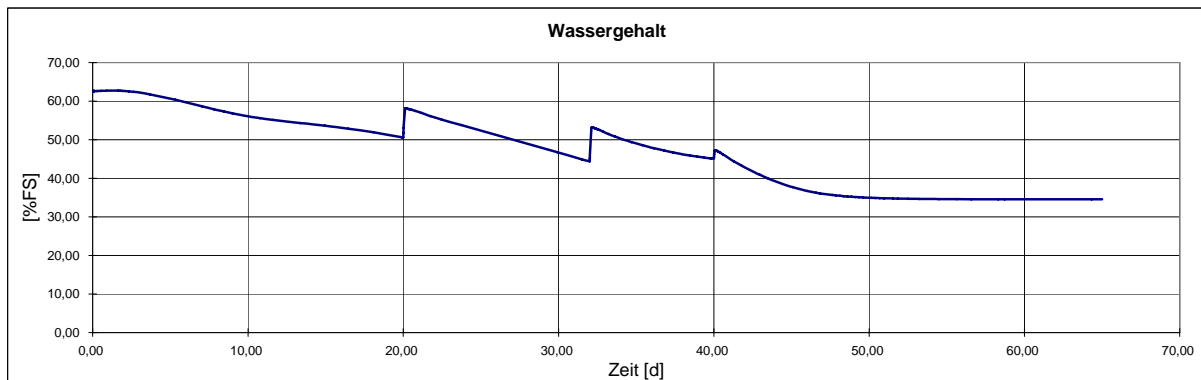


Abbildung 2: Verlauf des Wassergehalts über die Rottedauer für die Kompostausgangsmischung „Rindermist“

Erläuterungen: Eingabeparameter siehe Tabelle 14.

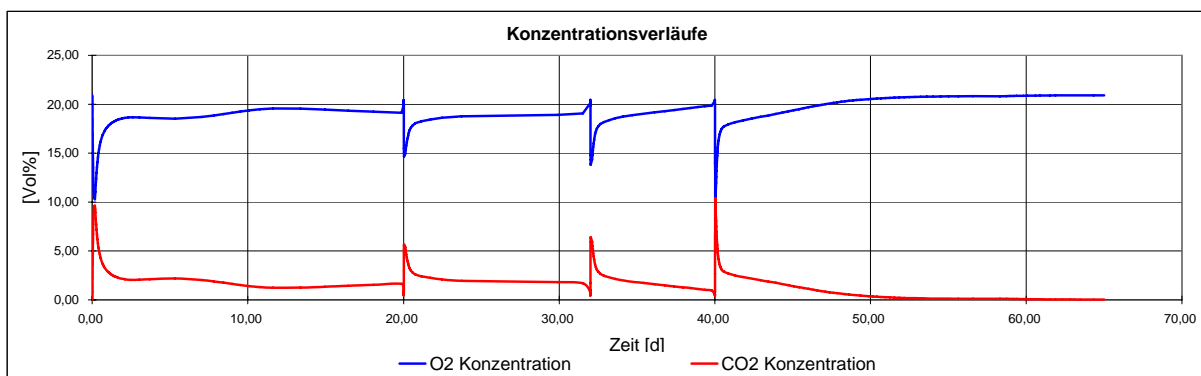


Abbildung 3: Verlauf der Konzentrationsverläufe für O₂ und CO₂ in der Luft in der Miete über die Rottedauer für die Kompostausgangsmischung „Rindermist“

Erläuterungen: Eingabeparameter siehe Tabelle 14.

In Abbildung 3 ist der Konzentrationsverlauf von O_2 und CO_2 in der Mietenluft dargestellt. Die Konzentrationen sind gegenläufig und zeigen den Einfluss der Umsetzungen, die zu einer verstärkten Mikroorganismen-tätigkeit und somit zu erhöhten CO_2 -Konzentrationen führen.

Insgesamt entsprechen die vom Simulationsprogramm ermittelten Verläufe für die in den Abbildungen gezeigten Parameter im Wesentlichen den für eine Mietenkompostierung üblichen Verläufen. Aufgrund der im Simulationsprogramm getroffenen Vereinfachungen ist eine detaillierte Analyse des Rotteverlaufs damit natürlich nicht möglich, wesentliche Änderungen im Prozess, hervorgerufen durch Umsetzungen und Bewässerungen werden aber gut abgebildet.

3.3.2 Bilanzierung über den Rotteverlauf – Kennzahlen

In Tabelle 15 sind die wichtigsten Kennzahlen (Trockensubstanzverlust, C_{org} -Verlust, N-Verlust, Wasserverlust) für die Kompostierung der einzelnen Kompostausgangsmischungen dargestellt. Mit Ausnahme des Trockensubstanzverlusts, der aufgrund der Berücksichtigung der Karbonatisierung des in der Asche enthaltenen Ca und Mg auch von den Gehalten der Elemente Ca und Mg in den Aschen abhängig ist, ist der Verlauf der einzelnen Werte für alle Aschequalitäten gleich.

Bei den Aschekomposten nehmen die Trockensubstanzverluste und Wasserverluste wie erwartet mit zunehmender Aschezuschlagsmenge ab, wodurch auch die Ergebnisse der Kompostierversuche der TU Graz durch die Simulationsergebnisse bestätigt werden konnten. Die C_{org} - und N-Verluste bleiben hingegen unabhängig von der Aschezuschlagsmenge annähernd gleich.

Ein Vergleich der aus den Simulationsergebnissen ermittelten Kennzahlen mit Werten aus der Literatur zeigt, dass die berechneten Werten zum Großteil innerhalb der angegebenen Bereiche liegen. Der C_{org} -Verlust der Rinderkompostmischungen liegt etwas unterhalb der üblichen Bandbreite. Dies hängt mit den relativ niedrigen Gehalten an Cellulose und Hemicellulose im Vergleich zum C_{org} -Gehalt dieser Ausgangsmischung zusammen. Die für die Berechnung der Stoffbilanzen wichtigste Kennzahl, der Trockensubstanzverlust, liegt abgesehen von Grünschnitt, wo ein etwas erhöhter Trockensubstanzverlust ermittelt wurde, für die Basiskomposte im üblichen Bereich.

Die auf Basis der Zusammensetzung der Kompostausgangsmischungen und dem Trockensubstanzverlusten errechneten Zusammensetzungen der fertigen Komposte können somit als plausibel angesehen werden. Ein Vergleich der Ergebnisse mit Literaturdaten in Kapitel 3.4.2 unterstreicht dies.

Die Wasserverluste liegen generell im oberen Bereich der Literaturwerte und teilweise etwas darüber.

3.3.3 Kompostzusammensetzungen

Auf Basis der Ergebnisse der Rottesimulationen wurde anhand der in Kapitel 2.3 erläuterten Methode die chemische Zusammensetzung der fertigen Komposte errechnet. Die vollständigen Ergebnisse für alle untersuchten Kompostausgangsmischungen finden sich im ANHANG C. Beispielhaft sind in Tabelle 16 die Kompostzusammensetzungen für Rindermistkompost mit verschiedenen Aschezuschlagsvarianten für Asche mit Schwermetallgehalten gemäß den Grenzwerten für Qualitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie und in Tabelle 17 die Kompostzusammensetzungen für Rindermistkompost mit verschiedenen Aschezuschlagsvarianten für Rostasche (Schwermetallgehalte gemäß Mittelwerten der Analyseergebnisse aus den im Rahmen des FFG-Branchenprojektes untersuchten Rostaschen) zusammengestellt.

Tabelle 16: Zusammensetzung der fertigen Komposte für die Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“ bei verschiedenen Aschezuschlagsmengen – Schwermetallgehalte gemäß den Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie

Erläuterungen: n.b. ... nicht berechnet, da As- und Hg-Gehalte einzelner Ausgangsmaterialien nicht verfügbar waren

		Basis	Aschenkomposte			
			Schwermetallgehalte gemäß Grenzwerten für Qualitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie			
Aschezuschlag		0 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	
Wassergehalt	Gew% FS	34,6	35,6	36,9	38,1	
Corg.	Gew% TS	30,5	28,4	25,6	23,3	
C/N	mol/mol	24,9	25,0	24,9	25,1	
N-Gesamt	mg/kg TS	14.260	13.262	11.993	10.806	
Al	mg/kg TS	6.743	7.895	9.398	10.681	
Ca	mg/kg TS	8.628	31.252	60.836	86.158	
Fe	mg/kg TS	15.524	15.470	15.394	15.322	
K	mg/kg TS	35.985	37.050	38.429	39.594	
Mg	mg/kg TS	4.957	6.673	8.914	10.830	
Mn	mg/kg TS	316	1.241	2.452	3.489	
Na	mg/kg TS	2.448	2.543	2.667	2.771	
P	mg/kg TS	4.833	5.589	6.577	7.421	
As	mg/kg TS	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Cd	mg/kg TS	0,4	0,7	1,1	1,5	
Cr	mg/kg TS	36,8	44,7	54,9	63,6	
Cu	mg/kg TS	31,7	43,4	58,8	71,9	
Hg	mg/kg TS	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Ni	mg/kg TS	21,8	30,7	42,4	52,4	
Pb	mg/kg TS	11,5	17,7	25,8	32,7	
Zn	mg/kg TS	131,2	205,9	303,6	387,2	

Wie aus Tabelle 16 ersichtlich, steigt der Wassergehalt im Fertigkompost mit zunehmender Aschezuschlagsmenge an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Wasserverlust mit zunehmender Aschezuschlagsmenge abnimmt und somit bei gleichbleibender Wasserzugabe der Wassergehalt im Fertigkompost ansteigt. Der C_{org}-Gehalt nimmt ebenso wie der N-Gehalt mit zunehmender Aschezuschlagsmenge ab. Dadurch ändert sich das C/N-Verhältnis kaum durch die Zugabe von Asche. Es ist hier aber anzumerken, dass aufgrund der Ungenauigkeit des Simulationsprogramms bei der Berechnung des N-Verlusts auch die ermittelten C/N-Verhältnisse von den tatsächlichen abweichen können.

Der Gehalt an den wichtigsten aschebildenden Elementen im Fertigkompost (Al, Ca, K, Mg, Mn, Na, P) steigt mit Ausnahme von Fe generell mit zunehmender Aschezuschlagsmenge an. Besonders groß ist der Anstieg bei Ca, da der Ca-Gehalt in den Aschen im Vergleich zu herkömmlichen Komposten sehr hoch ist. Aber auch der Gehalt an den Nährstoffen K, Mg und P nimmt deutlich zu.

Bei den Schwermetallen steigen die Gehalte durchwegs mit zunehmender Aschezuschlagsmenge an. Besonders groß ist der Anstieg im vorliegenden Beispiel bei Cd,

Pb und Zn. Allerdings muss dazu auch angemerkt werden, dass es sich hier um Aschen mit Schwermetallgrenzwerten gemäß Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie handelt, die typischerweise eine Mischung aus Grob-/Rostasche und Zyklonflugasche repräsentieren und deutlich höhere Gehalte an leichtflüchtigen Schwermetallen (As, Cd, Pb und Zn) aufweisen als reine Grob-/Rostaschen.

Dies wird auch durch die in Tabelle 17 dargestellten errechneten Gehalte in den Rindermistkompostmischungen mit reiner Rostasche deutlich.

Tabelle 17: Zusammensetzung der fertigen Komposte für die Kompostausgangsmischung „Rindermistkompost“ bei verschiedenen Aschezuschlagsmengen – durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Messwerten für Rostasche aus dem FFG-Branchenprojekt

Erläuterungen: n.b. ... nicht berechnet, da As- und Hg-Gehalte einzelner Ausgangsmaterialien nicht verfügbar waren

		Aschenkomposte			
		Durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Messwerten für Rostasche aus Rostfeuerungen aus dem Projekt			
Aschezuschlag		0 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS
Wassergehalt	Gew% FS	34,6	35,6	36,9	38,1
Corg.	Gew% TS	30,5	28,4	25,6	23,3
C/N	mol/mol	24,9	25,0	24,9	25,1
N-Gesamt	mg/kg TS	14.260	13.262	11.993	10.806
Al	mg/kg TS	6.743	8.334	10.413	12.193
Ca	mg/kg TS	8.628	27.712	52.689	74.090
Fe	mg/kg TS	15.524	15.747	16.033	16.272
K	mg/kg TS	35.985	36.544	37.264	37.866
Mg	mg/kg TS	4.957	7.299	10.363	12.987
Mn	mg/kg TS	316	1.073	2.064	2.914
Na	mg/kg TS	2.448	2.577	2.745	2.888
P	mg/kg TS	4.833	5.088	5.422	5.705
As	mg/kg TS	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	mg/kg TS	0,4	0,4	0,4	0,4
Cr	mg/kg TS	36,8	42,8	50,5	57,2
Cu	mg/kg TS	31,7	35,2	39,7	43,5
Hg	mg/kg TS	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ni	mg/kg TS	21,8	24,0	27,0	29,5
Pb	mg/kg TS	11,5	11,1	10,5	10,0
Zn	mg/kg TS	131,2	130,9	130,5	130,1

Der Gehalt an den wichtigsten aschebildenden Elementen im Fertigungskompost steigt bei Zugabe von reiner Rostasche aus Rostfeuerungen in einem ähnlichen Maße mit zunehmender Aschezuschlagsmenge an. Die Schwermetallgehalte liegen hingegen auf einem deutlich niedrigeren Niveau als bei der Zumischung von Aschen mit Schwermetallgehalten gemäß den Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie. Bei Pb und Zn ist mit zunehmender Aschezuschlagsmenge sogar eine Abnahme der Konzentrationen zu beobachten. Für Cd bleibt der Gehalt gleich, bei Cr, Cu und Ni steigen die Gehalte mit zunehmender Aschezuschlagsmenge leicht an.

3.4 Bewertung der Komposte

3.4.1 Vergleich mit den Qualitätsklassen der Kompostverordnung

In Tabelle 18 sind Schwermetallgehalte der untersuchten fertigen Komposte den Grenzwerten der österreichischen KompostVO 2001 gegenüber gestellt. Die Qualitätsklasse des Komposts bestimmt das zulässige Einsatzgebiet. Komposte der Qualitätsklasse A+ dürfen im ökologischen Landbau, in der übrigen Landwirtschaft und im Landschaftsbau sowie zur Rekultivierung von Deponien eingesetzt werden. Komposte der Qualitätsklasse A dürfen in der Landwirtschaft (ausgenommen ökologischer Landbau) und im Landschaftsbau sowie zur Rekultivierung von Deponien verwendet werden. Kompost der Qualitätsklasse B darf nur im Landschaftsbau und zur Rekultivierung von Deponien, aber nicht in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Von den Referenzkomposten ohne Aschezuschlag kann nur der Wirtschaftsdüngerkompost die Anforderungen der Qualitätsklasse A+ nicht einhalten. Verantwortlich dafür sind Grenzwertüberschreitungen bei Ni und Zn.

Verschiedene in Österreich durchgeführte Studien zeigen, dass auch in der Praxis viele hergestellte Komposte nicht Qualitätsklasse A+ entsprechen. So betrug bei einer Österreichweiten Studie der Anteil an Kompostproben, die alle Grenzwerte für Qualitätsklasse A+ einhalten, nur 38,9% [22]. Eine ähnliche Studie aus Niederösterreich [23] ergab einen Anteil von Komposten der Qualitätsklasse A+ an den insgesamt in Niederösterreich erzeugten Komposten von 31%.

Folgende Schlussfolgerungen können aus den in Tabelle 18 gegenübergestellten Schwermetallgehalten gezogen werden:

Bei keiner der untersuchten Ausgangsmischungen und Aschequalitäten wurden selbst bei einer Aschezuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Grenzwerte der Kompostqualitätsklasse B der österreichischen KompostVO überschritten. Somit ist der Einsatz von Holzaschen, die zumindest den Kriterien der neuen Pflanzenaschenrichtlinie entsprechen, grundsätzlich bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% bei der Kompostierung möglich.

Beim Zuschlag von Rostasche aus Rostfeuerungen können bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Schwermetallgrenzwerte der Kompostqualitätsklasse A eingehalten werden. Weiters können bei zwei von drei untersuchten Rostaschenqualitäten (Schwermetallgehalte entsprechend den Durchschnittswerten aus den im Rahmen des FFG-Branchenprojektes untersuchten Rostaschen bzw. Schwermetalle entsprechend den Durchschnittswerten für Rostaschen aus Hackgutfeuerungen gemäß BIOS-interner Datenbank) bei einer Zumischung von 2 Gew% FS zu Rindermistkompost auch die Anforderungen der Qualitätsklasse A+ eingehalten werden. Kritischstes Element in den Rostaschen im Hinblick auf eine Grenzwertüberschreitung für Qualitätsklasse A+ ist Ni, teilweise kommt es auch bei Cd und Zn zu Grenzwertüberschreitungen.

Beim Zuschlag von feiner Grobasche aus Wirbelschichtfeuerungen können bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Anforderungen von Qualitätsklasse A+ (ausgenommen Mischungen auf Basis Wirtschaftsdüngerkompost, da hier bereits der Basiskompost ohne Aschezugabe die Kriterien für Qualitätsklasse A+ nicht erfüllt werden können) eingehalten werden.

Tabelle 18: Vergleich der Schwermetallgehalte verschiedener Kompostausgangsmischungen mit unterschiedlichen Aschezuschlagsmengen mit den Grenzwerten der Kompostverordnung 2001

Erläuterungen: Zusammensetzungen der fertigen Komposte gemäß ANHANG C; RM ... Rindermistkompost; WS ... Wirtschaftsdüngerkompost; BIO .. Bioabfallkompost; GRÜN ... Grünschnittkompost; Farbcode: weiß ... Grenzwert der Kompostklasse A+ (und niedrigerer Qualitätsklassen) wird eingehalten; grün ... Grenzwert der Kompostklasse A (und niedrigerer Qualitätsklassen) wird eingehalten; gelb ... Grenzwert der Kompostklasse B wird eingehalten; rot ... Grenzwert der Kompostklasse B wird nicht eingehalten; - ... nicht berechnet, da nur für sehr wenige Ausgangsstoffe Literaturdaten für Hg-Gehalte zur Verfügung standen; da der Hg-Gehalt in Pflanzenaschen äußerst gering ist, wird nicht erwartet, dass die Zugabe von Pflanzenaschen sich negativ auf den Hg im Kompost auswirkt.

Parameter	Einheit	Referenzkompost	Simulation																		Gütekriterien für Komposte KompostVO 2001					
			Schwermetallgehalte gemäß Grenzwerten für Qualitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie			Schwermetallgehalte gemäß Grenzwerten für Qualitätsklasse B der neuen Pflanzenaschenrichtlinie			Durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Messwerten für Rostasche aus Rostfeuerungen aus dem Projekt			Durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Messwerten für feine Wirbelschicht Grobasche aus dem Projekt			Durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Datenbankwerten für Rostasche aus Hackgutfeuerungen			Durchschnittliche Schwermetallgehalte gemäß Datenbankwerten für Rostasche aus Rindenfeuerungen			A+	A	B			
			2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS			
Cd	[mg/kg TS]	RM	0,4	0,7	1,1	1,5	0,9	1,6	2,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,70	1,00	3,00	
Cr	[mg/kg TS]	36,8	44,7	54,9	63,6	51,7	71,1	87,7	42,8	50,5	57,2	37,5	38,5	39,3	37,4	38,2	38,9	43,4	52,0	59,4	70,00	70,00	250,00			
Cu	[mg/kg TS]	31,7	43,4	58,8	71,9	46,9	66,9	83,9	35,2	39,7	46,9	32,4	33,4	34,3	37,9	43,5	52,8	35,2	39,8	43,7	70,00	150,00	500,00			
Hg	[mg/kg TS]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,70	3,00		
Ni	[mg/kg TS]	21,8	30,7	42,4	52,4	34,2	50,5	64,4	24,0	27,0	29,5	20,9	19,7	18,7	24,5	28,1	31,2	26,7	33,2	38,8	25,00	60,00	100,00			
Pb	[mg/kg TS]	11,5	17,7	25,8	32,7	24,7	42,0	56,8	11,1	10,5	10,0	11,7	12,0	12,3	11,5	11,4	11,4	11,8	12,1	12,4	45,00	120,00	200,00			
Zn	[mg/kg TS]	131,2	205,9	303,6	387,2	227,0	352,3	459,5	130,9	130,5	130,1	143,2	159,0	172,6	129,4	127,0	124,9	139,6	150,5	159,8	200,00	500,00	1.800,00			
Parameter	Einheit	WS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B
Cd	[mg/kg TS]	0,6	0,9	1,3	1,6	1,1	1,8	2,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,00	3,00	
Cr	[mg/kg TS]	35,3	43,0	53,2	61,9	49,9	69,0	85,5	41,2	48,9	55,6	36,1	37,2	38,1	36,0	36,9	37,7	41,8	50,4	57,7	70,00	70,00	250,00			
Cu	[mg/kg TS]	66,4	75,3	87,0	97,0	78,7	94,9	108,8	67,3	68,4	69,3	64,7	62,5	60,6	69,9	74,4	78,3	67,3	68,5	69,5	70,00	150,00	500,00			
Hg	[mg/kg TS]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,70	3,00	
Ni	[mg/kg TS]	27,6	35,9	46,7	56,1	39,3	54,7	67,9	29,4	31,7	33,7	26,3	24,7	23,2	29,9	32,8	35,4	32,0	37,8	42,8	25,00	60,00	100,00			
Pb	[mg/kg TS]	29,3	34,0	40,2	45,6	40,9	56,1	69,2	27,6	25,4	23,4	28,3	26,9	25,8	28,0	26,3	24,8	28,3	26,9	25,7	45,00	120,00	200,00			
Zn	[mg/kg TS]	231,0	296,5	382,5	456,3	317,1	430,0	527,1	223,7	213,6	205,0	235,8	242,1	247,5	222,0	210,1	199,8	232,0	233,1	234,0	200,00	500,00	1.800,00			
Parameter	Einheit	BIO	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B
Cd	[mg/kg TS]	0,5	0,8	1,1	1,4	0,9	1,5	2,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,70	1,00	3,00			
Cr	[mg/kg TS]	30,9	37,5	46,4	54,4	43,1	59,7	74,4	36,0	42,9	49,0	31,8	33,1	34,2	31,7	32,8	33,8	36,5	44,1	50,8	70,00	70,00	250,00			
Cu	[mg/kg TS]	31,9	41,3	53,9	65,2	44,1	60,6	75,2	34,6	38,3	41,6	32,5	33,3	34,0	36,8	43,4	49,3	34,7	38,4	41,8	70,00	150,00	500,00			
Hg	[mg/kg TS]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,70	3,00	
Ni	[mg/kg TS]	24,0	31,1	40,6	49,0	33,9	47,2	59,0	25,7	28,0	30,0	23,2	22,1	21,0	26,1	28,9	31,4	27,9	33,1	37,7	25,00	60,00	100,00			
Pb	[mg/kg TS]	27,3	31,4	36,8	41,5	37,0	50,0	61,6	26,1	24,3	22,7	26,6	25,7	24,8	26,4	25,1	23,9	26,6	25,6	24,7	45,00	120,00	200,00			
Zn	[mg/kg TS]	118,3	179,0	260,9	333,8	195,9	300,8	394,0	118,9	119,4	119,9	128,7	142,8	155,5	117,6	116,5	115,5	125,8	135,8	144,6	200,00	500,00	1.800,00			
Parameter	Einheit	GRÜN	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B
Cd	[mg/kg TS]	0,6	0,9	1,3	1,6	1,1	1,7	2,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,70	1,00	3,00			
Cr	[mg/kg TS]	33,2	41,0	51,2	60,0	47,8	66,9	83,3	39,2	47,0	53,7	34,2	35,4	36,5	34,1	35,1	36,0	39,8	48,4	55,9	70,00	70,00	250,00			
Cu	[mg/kg TS]	29,4	40,8	55,8	68,8	44,2	63,7	80,4	32,9	37,4	41,3	30,3	31,4	32,4	35,5	43,4	50,3	32,9	37,5	41,5	70,00	150,00	500,00			
Hg	[mg/kg TS]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,70	3,00	
Ni	[mg/kg TS]	23,7	32,1	43,3	52,8	35,5	51,1	64,5	25,7	28,4	30,7	22,7	21,4	20,3	26,2	29,5	32,3	28,3	34,4	39,7	25,00	60,00	100,00			
Pb	[mg/kg TS]	39,9	43,8	48,9	53,3	50,6	64,6	76,6	37,5	34,2	31,4	38,2	35,9	33,9	37,8	35,1	32,7	38,1	35,7	33,7	45,00	120,00	200,00			
Zn	[mg/kg TS]	118,3	191,0	286,7	369,0	211,3	333,7	439,0	118,8	119,5	120,1	130,7	147,1	161,5	117,4	116,2	115,1	127,2	138,9	148,9	200,00	500,00	1.800,00			

Beim Zuschlag von Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen aus Rostfeuerungen (die Schwermetallgehalte liegen zwischen den Grenzwerten der beiden Aschequalitätsklassen der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) können bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Schwermetallgrenzwerte der Kompostqualitätsklasse B eingehalten werden. Bei geringeren Aschezuschlagsraten kann teilweise auch Kompostqualitätsklasse A erreicht werden. Entsprechen die Schwermetallgehalte den Grenzwerten von Aschequalitätsklasse A, können bei einer Zuschlagsmenge von 2 Gew% FS für alle untersuchten Komposte die Grenzwerte der Qualitätsklasse A der Kompostverordnung eingehalten werden. Entsprechen die Schwermetallgehalte den Grenzwerten von Aschequalitätsklasse B, können bei einer Zuschlagsmenge von 2 Gew% FS nur bei zwei von vier Komposten (Rindermist und Bioabfall) die Kriterien bzgl. Schwermetallgehalte der Qualitätsklasse A erfüllt werden. Für Zuschlagsmengen über 2 Gew% kann unabhängig von der Kompostausgangsmischung für beide Aschequalitäten nur mehr Qualitätsklasse B erreicht werden. Beim Zuschlag von Asche mit Schwermetallgehalten gemäß Grenzwerten der Aschequalitätsklasse A wird nur der Cd-Grenzwert für Kompostqualitätsklasse A überschritten, beim Zuschlag von Asche mit Schwermetallgehalten gemäß Klasse B treten zusätzlich auch bei Cr, Ni und Zn Grenzwertüberschreitungen auf.

Von einer genaueren Betrachtung des Einflusses von Mischungen aus Grobasche und grober Flugasche (Kesselfugasche und/oder Zyklonflugasche) aus Wirbelschichtfeuerungen wurde Abstand genommen, da diese beiden Ascheströme üblicherweise aus verfahrenstechnischen Gründen (die abgeseibte feine Grobasche wird zunächst mehrere Male in den Feuerraum rückgeführt, bevor sie aus dem Prozess ausgeschleust und gesammelt wird, während die grobe Flugasche meist gemeinsam mit der Filterflugasche gesammelt wird) nicht gemeinsam gesammelt werden. Weiters hängen die Anteile der beiden Fraktionen an der Mischung sehr stark von der Art der Feuerung (stationäre oder zirkulierende Wirbelschicht) ab, wodurch es nicht möglich ist, allgemein gültige Mischungsverhältnisse anzugeben. Aus den im Rahmen dieses Projektes erhaltenen Erkenntnissen bzgl. Aschequalitäten und Ascheanfall aus Wirbelschichtfeuerungen ist aber davon auszugehen, dass eine theoretische Mischung aus Grobasche und grober Flugasche aus Wirbelschichtfeuerungen nach heizwerksspezifischem Anfall den Anforderungen von Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie entsprechen kann.

Bei den meisten Kompostierwerken werden Komposte der Qualitätsklasse A+ oder A hergestellt (laut [23] entfielen z.B. in Niederösterreich im Jahr 1999 etwa 90% der produzierten Komposte auf die Qualitätsklassen A oder A+).

Kompost der Qualitätsklasse B, der nicht in der Landwirtschaft eingesetzt werden darf, wird nur in relativ geringen Mengen erzeugt. Relevante Mengen an Pflanzenaschen können daher nur dann in der Kompostierung eingesetzt werden, wenn die Schwermetallgehalte in einem Bereich liegen, der jedenfalls eine Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A ermöglicht.

Ein Blick auf Tabelle 18 zeigt deutlich, dass bei Aschen mit Schweregehalten gemäß den Grenzwerten für Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie nur der Cd-Grenzwert der Kompostqualitätsklasse A der KompostVO überschritten wird.

Es müsste daher der Cd-Gehalt entsprechend abgesenkt werden, um die Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A mit höheren Aschezuschlagsmengen als 2 Gew% FS bei normaler Schwermetallbelastung der anderen Ausgangsmaterialien zu ermöglichen.

Auf Basis der durchgeführten Stoffbilanzierungen müsste der Cd-Gehalt in der Asche bei einer Zuschlagsrate von 5 Gew% FS unter 3 mg/kg TS, bei einer Zuschlagsrate von 8 Gew% FS unter 2 mg/kg liegen. Für alle anderen Schwermetallgehalte reicht es aus, wenn die Grenzwerte für Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie in den eingesetzten Aschen eingehalten werden.

Die vorgeschlagenen Maximalgehalte sind in Tabelle 19 zusammengefasst. Es wurden dabei nur jene Schwermetalle berücksichtigt, die auch in der neuen Pflanzenaschenrichtlinie limitiert sind (die Grenzwerte für Co, Mo und V wurden gestrichen, da diese bei Grob-/Rost- und Zyklonflugaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Biomasse nicht überschritten werden). Da es für As keinen Grenzwert für fertige Komposte gibt, wäre zu überlegen, ob nicht auch für As eine Limitierung wegfallen sollte. Der in der KompostVO 2001 angegebene Grenzwert für PCDD/PCDF kann beibehalten werden. Die angeführten Maximalwerte für Cd sind konservativ angesetzt, da sie so festgelegt wurden, dass für alle vier untersuchten Kompostmischungen die Grenzwerte der Qualitätsklasse A eingehalten werden.

Ein Vergleich der vorgeschlagenen Maximalgehalte mit den Grenzwerten der KompostVO zeigt, dass für Ni der Grenzwert im Vergleich zur KompostVO deutlich angehoben werden könnte, während die Grenzwerte für Cd, Cr, Cu und Zn abgesenkt werden müssten.

Tabelle 19: Vorgeschlagene Maximalgehalte für Schwermetalle in Aschen als Zuschlagsstoffe in der Kompostierung zur Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A

Erläuterungen: die Maximalgehalte für Cd wurden so gewählt, dass bei Aschebeimischung für alle untersuchten Kompostausgangsmischungen der Cd-Grenzwert der Kompostverordnung für Kompost der Qualitätsklasse A eingehalten werden kann. Als Maximalgehalte für alle anderen Elemente wurden die Grenzwerte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie gewählt.

Parameter	Einheit	Grenzwerte Kompost-VO 2001 für Pflanzenaschen	Vorgeschlagene Maximalgehalte in Pflanzenaschen beim entsprechenden Aschezuschlag zur Einhaltung von Kompostqualitätsklasse A		
			2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS
As	[mg/kg TS]	20	20	20	20
Cd	[mg/kg TS]	8	5	3	2
Cr	[mg/kg TS]	250	150	150	150
Cu	[mg/kg TS]	250	200	200	200
Ni	[mg/kg TS]	100	150	150	150
Pb	[mg/kg TS]	100	100	100	100
Zn	[mg/kg TS]	1.500	1.200	1.200	1.200
PCDD/PCDF	[ngTE TS]	100	100	100	100

Der Bezug auf die Grenzwerte der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie wäre insofern sinnvoll, da vor der Ausbringung von Pflanzenaschen, welche die Grenzwerte für Klasse A gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie einhalten, keine Bodenuntersuchungen notwendig sind (für Klasse B sind Bodenuntersuchungen vorgeschrieben). Da auch beim Einsatz von Kompost keine Bodenuntersuchungen vorgeschrieben sind, würde ein Bezug der vorgeschlagenen Maximalgehalte auf die Grenzwerte der Klasse B der neuen

Pflanzenaschenrichtlinie dazu führen, dass die für Klasse B vorgeschriebenen Bodenuntersuchungen durch Beimischung von Aschen der Klasse B zur Kompostierung umgangen werden könnten, was nicht im Sinne des Bodenschutzes wäre.

Die in Tabelle 19 zusammengefassten Maximalgehalte werden üblicherweise von reinen Grob-/Rostaschen deutlich unterschritten, was auch aus Tabelle 18 ersichtlich ist. Bei Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen nach heizwerksspezifischem Anfall können zum Teil Überschreitungen der angegebenen Maximalgehalte auftreten (vor allem der Cd-Gehalt ist hier der limitierende Faktor). Dennoch wäre es für viele Heizwerke interessant, wenn zumindest die Rostasche einer sinnvollen Verwertung zugeführt werden könnte, da diese Fraktion üblicherweise den mengenmäßig größten Anteil am Gesamtaschenanfall darstellt. Es wäre daher durchaus eine sinnvolle Vorgangsweise, die maximalen Zuschlagsmengen für Pflanzenaschen auf bis zu 8 Gew% FS zu erhöhen und gleichzeitig den Grenzwert für Cd abzusenken.

Um auch die Grenzwerte der Kompostqualitätsklasse A+ gesichert einhalten zu können, müssten die Maximalwerte deutlich abgesenkt werden. Die Maximalgehalte an Schwermetallen in Pflanzenaschen zur Erreichung der Kompostqualitätsklasse A+ sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Theoretische Maximalgehalte für Schwermetalle in Aschen als Zuschlagsstoffe in der Kompostierung zur Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+

Erläuterungen: die Maximalgehalte sind so gewählt, dass bei Aschebeimischung zu den drei untersuchten Kompostausgangsmischungen, die ohne Aschezuschlag Qualitätsklasse A+ erreichen, die Grenzwerte der Kompostverordnung für Kompost der Qualitätsklasse A+ eingehalten werden können.

Parameter	Einheit	Grenzwerte Kompost-VO 2001 für Pflanzenaschen	Theoretische Maximalgehalte in Pflanzenaschen beim entsprechenden Aschezuschlag zur Einhaltung von Kompostqualitätsklasse A+		
			2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS
As	[mg/kg TS]	20	20	20	20
Cd	[mg/kg TS]	8	2	1	1
Cr	[mg/kg TS]	250	250	240	180
Cu	[mg/kg TS]	250	120	90	80
Ni	[mg/kg TS]	100	40	30	30
Pb	[mg/kg TS]	100	110	75	60
Zn	[mg/kg TS]	1.500	1.100	550	400
PCDD/PCDF	[ngTE TS]	100	100	100	100

Die in Tabelle 20 dargestellten Maximalwerte für 5 und 8 Gew% FS Aschezuschlagsmenge sind von Rostaschen aus Rostfeuerungen nur sehr schwer einzuhalten. Limitierend sind hierbei vor allem die Ni-Gehalte sowie bei der Kompostmischung „Wirtschaftsdüngerkompost“ zusätzlich auch Zn. Feine Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen können aufgrund der „Verdünnung“ der Aschen mit Bettmaterial diese Maximalwerte unterschreiten, allerdings ist auch hier aufgrund der natürlichen Schwankungsbreite der Aschenzusammensetzungen mit Überschreitungen der Maximalwerte zu rechnen. Bei der Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+ ist allerdings generell darauf zu achten, dass nur schwermetallarme Einsatzmaterialien zum Einsatz kommen. Da bei der Berechnung der Zusammensetzung der Kompostmischungen bewusst auf mittlere und

nicht auf minimale Nährstoff- und Schwermetallgehalte in den Ausgangsmaterialien zurückgegriffen wurde, sind die daraus erhaltenen Ergebnisse daher nicht unbedingt für die Festlegung von Maximalgehalten zur Einhaltung der Qualitätsklasse A+ geeignet.

Generell wird es als nicht sinnvoll erachtet, für den Einsatz von Pflanzenaschen bei der Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+ eigene Grenzwerte festzulegen, da durch die strengen Grenzwerte der Qualitätsklasse A+ ohnehin nur schwermetallarme Ausgangsmaterialien zum Einsatz kommen können. Zudem kann es vor allem aufgrund von unterschiedlichen anthropogenen Einflüssen vorkommen, dass selbst die im Rahmen dieser Studie erhaltenen Maximalwerte nicht ausreichen, um vor allem den sehr strengen Ni-Grenzwert einhalten zu können (so sind z.B. in der Obersteiermark die Ni-Gehalte in den Böden deutlich über den Bodenrichtwerten, wodurch auch typische Komposteinsatzmaterialien erhöhte Ni-Gehalte aufweisen). Es sollte daher ausreichend sein, wenn die in Tabelle 19 vorgeschlagenen Maximalwerte eingehalten werden und die Aschezuschlagsmenge auf Basis der Qualität der Einsatzmaterialien ermittelt wird. Somit würde auch der Weg der KompostVO 2001, wo die Grenzwerte für Pflanzenaschen unabhängig von der Kompostqualitätsklasse gelten, weitergeführt werden.

3.4.2 Vergleich mit Literaturwerten

Abschließend wurden die Zusammensetzungen der untersuchten Kompostmischungen mit Werten aus der Literatur verglichen. Die Gegenüberstellung ist in Tabelle 21 dargestellt.

Der Vergleich zeigt bei den meisten Parametern eine gute Übereinstimmung mit den Literaturwerten. Lediglich das C/N-Verhältnis und der C_{org} -Gehalt sind im oberen Bereich der Literaturwerte bzw. darüber. Da das errechnete C/N-Verhältnis in den untersuchten Komposten allerdings aufgrund der Tatsache, dass der N-Verlust während der Rotte vom Simulationsprogramm nicht korrekt errechnet wird, nicht dem tatsächlichen C/N-Verhältnis entspricht, erscheint ein Vergleich hier nicht als sinnvoll.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen aus den Kompostierversuchen der TU Graz ist zu bedenken, dass aufgrund des sehr hohen Anteils an Lehmerde in den Ausgangsmischungen (etwa 50 Gew% TS im Vergleich zu 16 bis 20 Gew% TS in den in dieser Studie untersuchten Kompostausgangsmischungen) der C_{org} -Anteil sowohl in den Ausgangsmischungen als auch in den fertigen Komposten niedriger ist.

Beim Grünschnittkompost liegen darüber hinaus die Gehalte an Ca, Mg, und P etwas unterhalb der üblichen Schwankungsbreiten für Grünschnittkomposte.

Bzgl. Schwermetalle liegen die für die untersuchten Kompostmischungen errechneten Werte in den meisten Fällen im Bereich von Literaturdaten. Lediglich die Cr-Gehalte liegen etwas über und die Pb-Gehalte unter dem in der Literatur angegebenen Wert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die mittels Simulationsprogramm ermittelten Basiskomposte im Wesentlichen eine übliche Kompostzusammensetzung aufweisen und somit die Bandbreite an Komposten in Österreich gut abdecken können. Vor allem die für die ökologische Bewertung der Komposte ausschlaggebenden Nährstoff- und Schwermetallgehalte liegen in üblichen Bereichen, wodurch die Plausibilität der Ergebnisse der durchgeführten Stoffbilanzierungen und Frachtenrechnungen gegeben ist.

Tabelle 21: Gegenüberstellung der ermittelten Kompostzusammensetzungen mit Werten aus der Literatur

Erläuterungen: Komposte der TU Graz nach [2], weitere Literaturdaten nach [7, 9, 10, 11]; n.a. ... nicht analysiert; n.v. ... nicht verfügbar; n.b. ... nicht berechnet, da für Bioabfall keine Literaturdaten verfügbar waren

Kompostbezeichnung		Komposte Versuche TU Graz			Literaturdaten			Basiskomposte aus Simulation			
		RRI 91	RRI 92	RHA 92	Bioabfall-	Grün-	Kompost	RM	WS	BIO	GRÜN
		Basis:			kompost	schnitt-	allgemein	Basis:	Basis:	Basis:	Basis:
		Rindermist				kompost		Rindermist	Wirtschafts-	Bioabfall	Grünschnitt
		und Stroh							dünger		
Parameter	Einheit										
Wassergehalt	Gew% FS	49,5	40,0	26,1	35 - 45	n.v.		34,6	36,1	35,8	34,8
Org.	Gew% TS	15,0	15,2	13,6	7,0 - 29,1	n.v.	12,0 - 26,0	30,5	28,2	25,9	30,1
C/N	mol/mol	10,6	8,9	8,4	10 - 20	n.v.	11,0 - 16,0	24,9	19,9	27,9	22,8
N-Gesamt	mg/kg TS	12,100	14,650	13,950	8.000 - 17.000	n.v.	12,000	14,260	16,557	10,830	15,352
Al	mg/kg TS	15,038	12,195	12,240	n.v.	n.v.		6,743	6,491	n.b.	3,571
Ca	mg/kg TS	14,008	10,529	16,369	10,700 - 85,800	10,700 - 71,500	40,000	8,628	20,936	n.b.	7,462
Fe	mg/kg TS	34,240	27,870	24,460	n.v.	n.v.		15,524	13,080	n.b.	7,162
K	mg/kg TS	16,888	21,630	19,181	10,000 - 19,900	6,600 - 11,600	12,000	35,985	16,697	n.b.	9,954
Mg	mg/kg TS	6,982	6,853	6,901	3,000 - 18,100	3,000 - 18,100	8,000	4,957	6,016	n.b.	2,346
Mn	mg/kg TS	684	570	748	n.v.	n.v.		316	560	n.b.	286
Na	mg/kg TS	987	1,402	2,409	n.v.	n.v.		2,448	2,314	n.b.	413
P	mg/kg TS	4,377	4,063	6,583	3,500 - 6,100	1,750 - 3,500	3,500	4,833	7,067	n.b.	1,395
Cd	mg/kg TS	0,7	0,8	0,6	n.v.	n.v.	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6
Cr	mg/kg TS	53,2	59,1	67,1	n.v.	n.v.	25,6	36,8	35,3	30,9	33,2
Cu	mg/kg TS	33,7	36,1	61,7	n.v.	n.v.	49,6	31,7	66,4	31,9	29,4
Hg	mg/kg TS	0,1	n.a.	n.a.	n.v.	n.v.	0,2	n.v.	n.b.	n.b.	n.b.
Ni	mg/kg TS	22,1	34,0	36,0	n.v.	n.v.	15,9	21,8	27,6	24,0	23,7
Pb	mg/kg TS	8,4	11,4	13,2	n.v.	n.v.	52,7	11,5	29,3	27,3	39,9
Zn	mg/kg TS	112,3	110,4	189,5	n.v.	n.v.	195,0	131,2	231,0	118,3	118,3

Ein interessanter Vergleich ergibt sich, wenn die üblichen Nährstoffgehalte von Komposten mit üblichen Nährstoffgehalten von Holzaschen verglichen werden. Beim in Tabelle 22 dargestellten Vergleich zeigt sich, dass mit Ausnahme von Grobaschen aus der Wirbelschichtverbrennung die Nährstoffgehalte der Aschen generell oberhalb der üblichen Bereiche für Komposte liegen. Eine Beimischung von Holzaschen steigert damit beim Einsatz von Rostaschen aus Rostfeuerungen für alle relevanten Nährstoffe und beim Einsatz von Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen bei K₂O die Nährstoffgehalte im Kompost, was als positiv zu werten ist.

Tabelle 22: Vergleich der Nährstoffgehalte von Komposten und Holzaschen

Erläuterungen: Nährstoffgehalte für Bioabfall- und Grünschnittkompost nach [7]; Nährstoffgehalte für Aschen gemäß Mittelwerten aus im Rahmen des FFG-Branchenprojektes durchgeführten Analysen (aus Projekt) bzw. aus der BIOS-internen Datenbank (aus Datenbank); grün ... Gehalt liegt oberhalb des üblichen Bereichs für Komposte; weiß ... Gehalt liegt innerhalb des üblichen Bereichs für Komposte

	Wertgebende Inhaltsstoffe			
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	[Gew% TS]	[Gew% TS]	[Gew% TS]	[Gew% TS]
Bioabfallkompost	0,8 - 1,4	1,2 - 2,4	1,5 - 12	0,5 - 3
Grünschnittkompost	0,4 - 0,8	0,8 - 1,4	1,5 - 10	0,5 - 3
Rostaschen aus Rostfeuerungen aus dem Projekt	2,0	5,5	39,2	6,4
Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen aus dem Projekt	0,5	5,1	6,2	1,0
Rostaschen aus Rostfeuerungen (Hackgutverbrennung) aus Datenbank	3,6	6,4	46,3	4,9
Rostaschen aus Rostfeuerungen (Rindenverbrennung) aus Datenbank	1,7	4,9	43,0	6,7
Mischung Rost- und Zyklonflugaschen (Hackgutverbrennung) aus Datenbank	3,6	6,7	44,7	4,8
Mischung Rost- und Zyklonflugaschen (Rindenverbrennung) aus Datenbank	1,7	5,1	42,2	6,5

3.5 Ökologische Bewertung der Kompostnutzung

Die Nutzung von Kompost in der Landwirtschaft unterliegt grundsätzlich den Empfehlungen für die sachgerechte Düngung. Darüber hinaus ist in der österreichischen KompostVO 2001 eine maximale Ausbringungsmenge von 8 t TS/ha*a zulässig.

Wesentlich für die ökologische Bewertung der Komposte sind die durch die Ausbringung von Kompost auf die Ackerflächen ausgebrachten Schwermetallfrachten. Es wurden dazu zunächst die maximalen Frachten unter Zugrundelegung der maximal zulässigen Ausbringungsmengen für Kompost in der Landwirtschaft untersucht. Anschließend wurde für eine typische Fruchtfolge der Nährstoffbedarf ermittelt und die Schwermetallfrachten bei Berücksichtigung der Richtlinien für die sachgerechte Düngung durch die Ausbringung von Kompost und mineralischen Düngern ermittelt.

Die maximalen Schwermetallfrachten bei der Ausbringung der maximal zulässigen Kompostmenge von 8 t TS/ha*a sind in Tabelle 23 dargestellt.

Die ausgebrachten Schwermetallfrachten korrelieren direkt mit den Schwermetallgehalten in den einzelnen Kompostmischungen. Ein Vergleich mit den in der neuen Pflanzenaschenrichtlinie festgelegten maximalen Schwermetallfrachten bei der direkten Ausbringung von Pflanzenaschen zeigt, dass selbst bei Einhaltung der Grenzwerte für Kompostqualitätsklasse A+ die Schwermetallfrachten durch die Kompostausbringung höher sind als bei der Ausbringung von Asche gemäß Klasse A. Es muss dazu allerdings erwähnt werden, dass sich im fertigen Kompost auch Humus befindet, der zum Bodenaufbau beiträgt, wodurch ein direkter Vergleich der Frachten nicht sinnvoll ist.

Ein weiterer Aspekt ist der Vergleich mit den maximalen Cd-Frachten gemäß Düngemittelverordnung, die sinngemäß auch für den Einsatz von Kompost und Pflanzenaschen als Sekundärrohstoffe mit düngender Wirkung dient. Gemäß Düngemittelverordnung darf die maximale Cd-Fracht pro Hektar 5 g pro Jahr bzw. 10 g alle 2 Jahre nicht überschreiten. Somit ist ein Einsatz einer Kompostmenge von 8 t TS/ha*a nur bei sehr Cd-armen Komposten überhaupt möglich, da auch bei Einhaltung des Grenzwerts für Kompostqualitätsklasse A+ die Cd-Fracht über 5 g ansteigen kann (liegt der Cd-Gehalt im Kompost genau auf dem Grenzwert, dann beträgt die Cd-Fracht 5,6 g/ha*a). Bei Komposten der Qualitätsklasse A ist die Ausbringung der maximalen Kompostmenge von 8 t TS/ha*a demnach gänzlich ausgeschlossen.

In der Realität wird unter Anwendung der Richtlinien für die sachgerechte Düngung aber ohnehin nur in Einzelfällen die Ausschöpfung der maximalen Ausbringungsmenge notwendig sein, da der Nährstoffbedarf oft schon mit geringeren Kompostmengen in Kombination mit mineralischen Ergänzungsdüngern abgedeckt werden kann.

Im Rahmen dieser Studie wurde in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner von der Landwirtschaftskammer Steiermark der Nährstoffbedarf für eine typische Fruchtfolge von Körnermais, Getreide, Körnerraps und Ackerbohne ermittelt und darauf aufbauend, die notwendigen Mengen an Kompost und zusätzlichen Mineraldüngern sowie bedarfsweise Kalk ermittelt.

Als Komposte wurden die im Rahmen dieser Studie untersuchten Basisausgangsmischungen (Rindermist, Wirtschaftsdünger, Bioabfall und Grünschnitt) sowie die mit Zuschlag von Rostasche aus Rostfeuerungen (Mittelwerte aus den im Rahmen des FFG-Branchenprojektes durchgeführten Analysen) bzw. Asche mit Schwermetallgehalten gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie hergestellten Komposte untersucht.

Tabelle 23: Übersicht über die Schwermetallfrachten bei maximaler Kompostausbringungsmenge von 8 t TS/ha*a und Vergleich mit zulässigen Schwermetallfrachten gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie

Erläuterungen: Schwermetallfrachten gemäß den Aschequalitätsklassen A und B der neuen Pflanzenaschenrichtlinie gemäß [8]

Parameter	Einheit	Referenzkompost RM	Schwermetallfrachten bei Zuschlag von Asche gemäß Grenzwerten für Qualitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie			Schwermetallfrachten bei Zuschlag von Asche gemäß Grenzwerten für Qualitätsklasse B der neuen Pflanzenaschenrichtlinie			Schwermetallfrachten bei Zuschlag von Asche mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten gemäß Messwerten für Rostasche aus Rostfeuerungen aus dem Projekt			Schwermetallfrachten bei Zuschlag von Asche mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten gemäß Messwerten für Wirbelschicht-grobasche aus dem Projekt			Schwermetallfrachten bei Zuschlag von Asche mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten gemäß Datenbankwerten für Rostasche aus Hackgutfeuerungen			Schwermetallfrachten bei Zuschlag von Asche mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten gemäß Datenbankwerten für Rostasche aus Rindenfeuerungen			Gütekriterien für Komposte KompostVO 2001			Grenzfrachten für Ackeböden gemäß Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen				
			2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B	Klasse A	Klasse B
As	[g/ha*a]	93,8	98,1	103,7	108,5	98,1	103,7	108,5	88,3	80,9	74,6	88,6	81,6	75,6	91,6	88,6	86,1	93,8	93,7	93,6							20,0	20,0
Cd	[g/ha*a]	2,9	5,5	8,9	11,8	7,2	12,8	17,6	3,1	3,3	3,5	3,0	3,1	3,3	3,1	3,4	3,7	3,3	4,0	4,5	5,6	5,6	8,0	24,0	3,0	6,0		
Cr	[g/ha*a]	294,7	357,3	439,0	508,9	413,6	569,0	701,9	342,2	404,3	457,4	300,4	307,9	314,4	299,6	305,9	311,1	347,3	416,1	474,9	560,0	560,0	2000,0	150,0	250,0			
Cu	[g/ha*a]	253,6	347,4	470,0	574,8	375,6	535,0	671,3	281,2	317,3	348,1	259,6	267,4	274,2	302,9	367,2	422,2	281,7	318,4	349,7	560,0	1200,0	4000,0	200,0	250,0			
Hg	[g/ha*a]	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	5,6	24,0					
Ni	[g/ha*a]	174,0	245,6	339,1	419,1	273,8	404,1	515,6	192,2	215,9	236,2	167,0	157,7	149,7	196,2	225,0	249,6	213,9	266,0	310,5	200,0	480,0	800,0	150,0	200,0			
Pb	[g/ha*a]	91,9	141,4	206,1	261,4	197,7	336,0	454,4	88,5	84,2	80,4	93,7	96,1	98,2	91,8	91,6	91,4	94,1	96,9	99,3	360,0	960,0	1600,0	100,0	200,0			
Zn	[g/ha*a]	1.049,5	1.647,3	2.428,8	3.097,3	1.816,3	2.818,6	3.676,3	1.047,2	1.043,9	1.040,6	1.145,4	1.271,8	1.381,0	1.035,1	1.015,9	999,1	1.116,6	1.204,0	1.278,4	1.600,0	4.000,0	14.400,0	1.200,0	1.500,0			
Parameter	Einheit	RM	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B	Klasse A	Klasse B			
As	[g/ha*a]	129,2	130,9	132,9	134,6	130,9	132,9	134,6	121,4	110,7	101,6	121,7	111,6	102,9	124,5	118,2	112,7	126,6	123,2	120,1						20,0	20,0	
Cd	[g/ha*a]	4,7	7,1	10,2	12,9	8,7	14,0	18,6	4,7	4,8	4,8	4,7	4,6	4,6	4,8	4,9	5,0	5,0	5,4	5,8	5,6	8,0	24,0	3,0	6,0			
Cr	[g/ha*a]	282,6	344,4	425,4	495,0	399,2	552,2	683,7	329,9	391,5	444,6	289,0	297,5	304,8	288,2	295,4	301,5	334,7	403,0	461,7	560,0	560,0	2000,0	150,0	250,0			
Cu	[g/ha*a]	531,4	602,6	695,9	775,9	630,0	759,3	870,3	538,6	547,0	554,4	518,0	500,1	484,6	559,2	595,5	626,6	538,6	547,9	555,7	560,0	1200,0	4000,0	200,0	250,0			
Hg	[g/ha*a]	1,0	0,95	0,86	0,77	0,95	0,86	0,77	0,96	0,86	0,77	0,96	0,86	0,78	0,95	0,86	0,77	0,95	0,86	0,77	3,2	5,6	24,0					
Ni	[g/ha*a]	220,8	287,1	374,0	448,7	314,5	437,4	543,1	235,3	253,8	269,8	210,7	197,3	185,7	238,9	262,7	283,0	256,2	302,6	342,5	200,0	480,0	800,0	150,0	200,0			
Pb	[g/ha*a]	234,4	272,2	321,9	364,5	327,0	448,7	553,2	221,0	203,0	187,6	226,3	215,6	206,2	223,9	210,1	198,2	226,2	215,4	205,9	360,0	960,0	1600,0	100,0	200,0			
Zn	[g/ha*a]	1.848,2	2.372,2	3.059,9	3.650,6	2.536,7	3.440,3	4.216,9	1.789,6	1.708,9	1.639,8	1.886,2	1.936,5	1.980,0	1.776,2	1.681,0	1.598,3	1.855,6	1.864,6	1.871,6	1.600,0	4.000,0	14.400,0	1.200,0	1.500,0			
Parameter	Einheit	BIO	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B	Klasse A	Klasse B			
As	[g/ha*a]	77,6	82,0	87,9	93,1	82,0	87,9	93,1	74,1	69,3	64,9	74,4	69,9	65,8	76,8	75,5	74,4	78,5	79,7	80,7						20,0	20,0	
Cd	[g/ha*a]	4,0	6,1	8,8	11,2	7,4	12,0	16,0	4,1	4,2	4,3	4,1	4,1	4,1	4,2	4,3	4,5	4,3	4,7	5,1	5,6	8,0	24,0	3,0	6,0			
Cr	[g/ha*a]	247,0	300,1	371,5	434,9	345,2	477,7	595,4	288,0	343,1	392,0	254,6	264,5	273,4	253,8	262,6	270,3	292,1	352,7	406,5	560,0	560,0	2000,0	150,0	250,0			
Cu	[g/ha*a]	255,0	330,2	431,5	521,5	352,8	484,6	601,7	277,2	306,7	332,9	260,0	266,3	272,0	294,5	347,5	394,5	277,5	307,6	334,2	560,0	1200,0	4000,0	200,0	250,0			
Hg	[g/ha*a]	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	5,6	24,0					
Ni	[g/ha*a]	192,2	248,5	324,4	391,8	271,1	377,5	472,1	205,8	223,8	239,7	185,7	176,6	168,3	208,9	231,1	250,9	223,1	264,6	301,5	200,0	480,0	800,0	150,0	200,0			
Pb	[g/ha*a]	218,7	250,9	294,0	332,4	296,0	400,3	492,9	208,6	194,5	181,9	213,1	205,2	198,1	211,1	200,4	190,9	213,0	204,8	197,5	360,0	960,0	1600,0	100,0	200,0			
Zn	[g/ha*a]	946,1	1.431,7	2.087,4	2.670,0	1.567,1	2.406,1	3.151,7	950,8	955,3	959,0	1.029,9	1.142,7	1.243,8	941,1	932,3	924,3	1.006,4	1.086,1	1.156,7	1.600,0	4.000,0	14.400,0	1.200,0	1.500,0			
Parameter	Einheit	GRÜN	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	2 Gew% FS	5 Gew% FS	8 Gew% FS	A+	A	B	Klasse A	Klasse B			
As	[g/ha*a]	86,3	90,9	97,0	102,1	90,9	97,0	102,1	81,4	75,0	69,4	81,7	75,7	70,4	84,6	82,4	80,5	86,8	87,3	87,8						20,0	20,0	
Cd	[g/ha*a]	4,7	7,1	10,2	12,9	8,7	14,0	18,5	4,8	4,8	4,9	4,7	4,7	4,7	4,8	5,0	5,1	5,1	5,5	5,8	5,6	8,0	24,0	3,0	6,0			
Cr	[g/ha*a]	265,8	328,0	409,6	479,8	382,2	535,0	666,6	313,5	376,1	429,9	273,3	283,2	291,8	272,4	281,0	288,3	318,4	387,4	446,8	560,0	560,0	2000,0	150,0	250,0			
Cu	[g/ha*a]	235,1	326,6	446,7	550,1	353,7	509,5	643,5	262,9	299,3	330,6	242,1	251,4	259,4	283,7	347,5	402,3	263,3	300,4	332,2	560,0	1200,0	4000,0	200,0	250,0			
Hg	[g/ha*a]	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	5,6	24,0					
Ni	[g/ha*a]	189,5	257,2	346,0	422,5	284,3	408,8	515,9	205,8	227,1	245,5	181,7	171,2	162,2	209,6	235,9	258,5	226,7	275,4	317,4	200,0	480,0	800,0	150,0	200,0			
Pb	[g/ha*a]	319,2	350,4	391,3	426,4	404,5	516,7	613,2	299,6	273,8	251,4	305,3	287,0	270,9	302,6	280,8	261,8	304,9	285,9	269,5	360,0	960,0	1600,0	100,0	200,0			
Zn	[g/ha*a]	946,0	1.528,2	2.293,3	2.951,8	1.690,8	2.669,7	3.512,2	950,6	956,4	961,0	1.045,4	1.177,2	1.291,8	939,0	929,3	920,7	1.017,4	1.110,9	1.191,1	1.600,0	4.000,0	14.400,0	1.200,0	1.500,0			

Die Nährstoffgehalte wurden für die Komposte auf Basis Rindermist und Wirtschaftsdünger aus den Ergebnissen der Simulationsrechnungen und Stoffbilanzierungen entnommen. Beim Kompost auf Basis Bioabfall fehlten allerdings für die Ausgangsmaterialien Angaben bzgl. Ca, K und P. Beim Kompost auf Basis Grünschnitt lagen wiederum die Nährstoffgehalte unterhalb der üblichen Nährstoffgehalte (Grünschnittkompost). Die Nährstoffgehalte für Bioabfall- und Grünschnittkompost wurden daher auf Basis der in Tabelle 22 angeführten, typischen Nährstoffgehalte errechnet. Dabei wurden die Mittelwerte der als Bereiche angegebenen Gehalte als Gehalte der Basiskomposte aus Bioabfall und Grünschnitt verwendet. Der Einfluss des Aschezuschlags erfolgte auf Basis einer einfachen Mischungsrechnung, indem die Nährstoffgehalte entsprechend den Anteilen von Asche und Kompost (jeweils umgerechnet in Gew% TS) ermittelt wurden. Die erhaltenen Ergebnisse wurden für die Frachtenberechnung verwendet.

Als mineralische Dünger wurden Hyperphosphat, Kaliumsulfat und Branntkalk verwendet. Bei Hyperphosphat und Kaliumsulfat wurden auch die Schwermetallgehalte in den Mineraldüngern (dabei ist vor allem der Cd-Gehalt von Hyperphosphat relevant), die im Rahmen von Analysen ermittelt wurden, berücksichtigt. Bei Branntkalk wurde davon ausgegangen, dass keine wesentlichen Verunreinigungen mit Schwermetallen vorliegen.

Es wurde davon ausgegangen, dass keine Nährstoffrückführung aus der Tierhaltung erfolgt, da in diesem Fall erfahrungsgemäß kaum Potenzial für eine Düngung mit Kompost besteht. Die Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände wurde hingegen berücksichtigt.

Der Stickstoffbedarf wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Bzgl. Schwermetallfrachten sollte dies aber keinen Einfluss haben, da Stickstoffdünger keine wesentlichen Schwermetallgehalte aufweisen.

Zunächst wurde die Kompostmenge so festgelegt, dass der Bedarf eines Nährstoffs vollständig abgedeckt werden kann, ohne den Bedarf an anderen Nährstoffen zu überschreiten. Der verbleibende Nährstoffbedarf wurde dann durch mineralische Dünger abgedeckt. Dabei wurde auch der Kalkgehalt von Hyperphosphat (knapp 50 Gew% TS CaO) berücksichtigt. Aus den eingesetzten Mengen der einzelnen Düngemittel und deren Schwermetallgehalten wurden dann schließlich die Schwermetallfrachten durch die Düngung ermittelt. Schlussendlich wurden die Schwermetallfrachten bei der Ausbringung von Aschekomposten mit jenen bei der Ausbringung von Komposten ohne Aschezuschlag verglichen.

In Tabelle 24 ist die Frachtenberechnung für die Basiskomposte dargestellt. In Tabelle 25 bis Tabelle 27 sind die Frachtenberechnungen für die Komposte mit Zuschlag von Rostaschen aus Rostfeuerungen (Gehalt gemäß Mittelwerten aus den im Rahmen des FFG-Branchenprojektes durchgeführten Analysen) dargestellt.

Ein Vergleich der Schwermetallfrachten für die in Tabelle 24 bis Tabelle 27 untersuchten Kompostmischungen und Aschezuschlagsmengen zeigt, dass die Schwermetallfrachten bei Zusatz von entsprechend schwermetallarmer Asche (Rostasche aus Rostfeuerungen oder Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen) teilweise durch Einsatz von Aschekomposten sogar verringert werden können. Ein wesentliches Ergebnis ist auch, dass mit allen Düngevarianten die maximale Cd-Fracht von 5 g/ha*a eingehalten werden kann.

Tabelle 24: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten ohne Aschezusatz und mit Mineraldünger-Ergänzung

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt. Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Kultur	Nährstoffempfehlung [kg je Hektar und Jahr]				Nährstoffrücklieferung Ernterückstände [kg je Hektar und Jahr]									
	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Körnermais	98	230	250	50%	49	115	125	20	150	-	50%	10	75	-
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnermais	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]			
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompostzusammensetzung	[% TM]			[mg / kg TM]						
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Rindermistkompost	1,1	4,3	1,2	0,4	37	32	22	11	131	
Wirtschaftsdüngerkompost	1,6	2,0	2,9	0,6	35	66	28	29	231	
Bioabfallkompost	1,1	1,8	6,8	0,5	31	32	24	27	118	
Grünschnittkompost	0,6	1,1	5,8	0,6	33	29	24	40	118	

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	6.422	1.933	20.712	0,7	71	61	42	22	254
Wirtschaftsdüngerkompost	4.391	4.165	8.535	2,4	147	277	115	122	962
Bioabfallkompost	6.464	4.656	3.704	1,9	114	118	89	101	438
Grünschnittkompost	11.850	7.618	4.348	2,6	144	128	103	173	514

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger			
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
bei Düngung mit			
Rindermistkompost	50	0	227
Wirtschaftsdüngerkompost	4	0	128
Bioabfallkompost	30	17	0
Grünschnittkompost	45	36	0

Zusammensetzung Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	25.159	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	175		481	1,4	21	2	4	1	37
Brantkalk	0		157	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	6.422	1.933	20.712	0,7	71	61	42	22	254

Gesamt				2,1	92,2	63,5	46,1	22,9	290,1
---------------	--	--	--	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		0	14.208	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	13		272	0,1	2	0	0	0	3
Brantkalk			133	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.391	4.165	8.535	2,4	147	277	115	122	962

Gesamt				2,5	148,7	276,8	115,3	122,1	964,9
---------------	--	--	--	------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		35		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	107	27.291		0,9	13	1	2	0	22
Brantkalk	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.464	4.656	3.704	1,9	114	118	89	101	438

Gesamt				2,7	127,7	119,5	91,6	101,7	461,2
---------------	--	--	--	------------	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		72		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	158	57.301		1,3	19	2	4	1	33
Brantkalk	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	11.850	7.618	4.348	2,6	144	128	103	173	514

Gesamt				3,8	164,6	129,9	107,0	174,1	549,1
---------------	--	--	--	------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Tabelle 25: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 2 Gew% FS Rostaschezusatz und mit Mineraldünger-Ergänzung

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; Rostaschezusammensetzung gemäß Mittelwerten der im Rahmen des FFG-Branchenprojektes durchgeführten Analysen; limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt; grün ... Reduktion der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; rot .. Anstieg der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Kultur	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
	Körnermais	98	230		250	50%	49	115	125	20		150	-	50%
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnermais	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompost mit 2 Gew% Aschezschlag	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	1,2	4,4	3,9	0,4	43	35	24	11	131
Wirtschaftsdüngerkompost	1,6	2,2	5,4	0,6	41	67	29	28	224
Bioabfallkompost	1,1	1,9	7,4	0,5	36	35	26	26	119
Grünschnittkompost	0,6	1,2	6,4	0,6	39	33	26	37	119

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	6.099	1.903	6.448	0,7	83	68	46	21	253
Wirtschaftsdüngerkompost	4.335	3.731	4.623	2,5	172	280	122	115	932
Bioabfallkompost	6.360	4.472	3.379	1,9	133	128	95	97	440
Grünschnittkompost	11.324	7.053	3.895	2,6	143	143	112	163	517

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger

bei Düngung mit	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Rindermistkompost	49	0	176
Wirtschaftsdüngerkompost	10	0	48
Bioabfallkompost	33	20	0
Grünschnittkompost	47	38	0

Zusammensetzung Mineraldünger

Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	19.559	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	172		374	1,4	21	2	4	1	36
Brantkalk			103	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	6.099	1.903	6.448	0,7	83	68	46	21	253

Gesamt **2,1** **103,3** **70,2** **50,4** **22,1** **289,0**

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		0	5.352	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	35		102	0,3	4	0	1	0	7
Brantkalk			35	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.335	3.731	4.623	2,5	172	280	122	115	932

Gesamt **2,7** **175,9** **280,9** **123,3** **115,2** **939,0**

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		41		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	117	32.622		0,9	14	2	3	0	25
Brantkalk	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.360	4.472	3.379	1,9	133	128	95	97	440

Gesamt **2,8** **148,0** **129,9** **98,2** **97,0** **465,7**

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		76		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	164	59.780		1,3	20	2	4	1	34
Brantkalk	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	11.324	7.053	3.895	2,6	143	143	112	163	517

Gesamt **3,9** **163,7** **145,0** **116,0** **163,5** **552,9**

Tabelle 26: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 5 Gew% FS Rostaschezusatz und mit Mineraldünger-Ergänzung

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; Rostaschezusammensetzung gemäß Mittelwerten der im Rahmen des FFG-Branchenprojektes durchgeführten Analysen; limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt; grün ... Reduktion der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; rot .. Anstieg der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Kultur	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
	Körnermais	98	230		250	50%	49	115	125	20		150	-	50%
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnermais	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompost mit 5 Gew% Aschezschlag	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	1,2	4,5	7,4	0,4	51	40	27	11	130
Wirtschaftsdüngerkompost	1,7	2,5	8,7	0,6	49	68	32	25	214
Bioabfallkompost	1,1	2,0	8,4	0,5	43	38	28	24	119
Grünschnittkompost	0,7	1,3	7,4	0,6	47	37	28	34	120

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	5.724	1.866	3.392	0,8	98	77	52	20	252
Wirtschaftsdüngerkompost	4.271	3.288	2.888	2,5	204	285	132	106	890
Bioabfallkompost	6.212	4.221	2.986	2,0	159	142	104	90	442
Grünschnittkompost	10.618	6.348	3.368	2,6	163	163	123	149	520

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger

bei Düngung mit	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Rindermistkompost	48	0	112
Wirtschaftsdüngerkompost	23	10	0
Bioabfallkompost	37	25	0
Grünschnittkompost	49	39	0

Zusammensetzung Mineraldünger

Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	12.479	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	169		238	1,3	20	2	4	1	35
Brantkalk			36	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	5.724	1.866	3.392	0,8	98	77	52	20	252
Gesamt				2,1	117,9	78,8	56,0	21,0	287,4

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		21		0,0	0	0	0	0	1
Hyperphosphat	81	16.231		0,6	10	1	2	0	17
Brantkalk	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.271	3.288	2.888	2,5	204	285	132	106	890
Gesamt				3,1	213,8	285,8	134,1	106,0	907,1

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		49		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	130	39.069		1,0	16	2	3	1	27
Brantkalk	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.212	4.221	2.986	2,0	159	142	104	90	442
Gesamt				3,0	175,2	143,7	106,8	90,6	470,7

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		79		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	171	62.660		1,4	21	2	4	1	36
Brantkalk	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	10.618	6.348	3.368	2,6	163	163	123	149	520
Gesamt				4,0	184,4	164,9	127,8	149,5	557,5

Tabelle 27: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 8 Gew% FS Rostaschezusatz und mit Mineraldüngern

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; Rostaschezusammensetzung gemäß Mittelwerten der im Rahmen des FFG-Branchenprojektes durchgeführten Analysen; limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt; grün ... Reduktion der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; rot .. Anstieg der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Kultur	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
	Körnermais	98	230		250	50%	49	115	125	20		150	-	50%
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnermais	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompost mit 8 Gew% Aschezschlag	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	1,3	4,6	10,4	0,4	57	44	30	10	130
Wirtschaftsdüngerkompost	1,7	2,8	11,5	0,6	56	69	34	23	205
Bioabfallkompost	1,2	2,1	9,3	0,5	49	42	30	23	120
Grünschnittkompost	0,7	1,5	8,4	0,6	54	41	31	31	120

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	5.440	1.837	2.412	0,8	110	84	57	19	251
Wirtschaftsdüngerkompost	4.216	2.982	2.182	2,5	231	289	140	98	854
Bioabfallkompost	6.070	3.998	2.675	2,0	181	154	111	84	444
Grünschnittkompost	9.994	5.770	2.967	2,7	180	180	133	137	522

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger

bei Düngung mit	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Rindermistkompost	47	0	60
Wirtschaftsdüngerkompost	34	22	0
Bioabfallkompost	36	21	-29
Grünschnittkompost	47	35	-34

Zusammensetzung Mineraldünger

Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	6.619	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	166		126	1,0	15	2	3	1	26
Brantkalk		0	0	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	5.440	1.837	2.412	0,8	110	84	57	19	251
Gesamt				1,9	125,7	85,7	60,0	19,9	277,8

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		45	0	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	121		0	1,0	14	2	3	0	25
Brantkalk			0	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.216	2.982	2.182	2,5	231	289	140	98	854
Gesamt				3,5	245,9	290,2	143,3	98,1	879,0

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		43		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	127	33.785		1,0	15	2	3	1	27
Brantkalk			0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.070	3.998	2.675	2,0	181	154	111	84	444
Gesamt				3,0	197,4	155,8	114,1	84,7	471,6

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		70		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	166	55.573		1,3	20	2	4	1	35
Brantkalk			0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	9.994	5.770	2.967	2,7	180	180	133	137	522
Gesamt				4,0	200,7	181,9	137,6	137,3	558,7

Wenn Aschen mit höheren Schwermetallgehalten als Zuschlagsstoff eingesetzt werden, dann sind erwartungsgemäß auch die Schwermetallfrachten höher. Die Ergebnisse der Frachtenberechnung für Aschekomposte mit Aschen, deren Schwermetallgehalte den Grenzwerten gemäß Klasse A der neuen Pflanzenascherichtlinie entsprechen, sind in Tabelle 28 bis Tabelle 30 dargestellt. Der Cd-Gehalt in der Asche wurde dabei, wie in Tabelle 19 vorgeschlagen, für eine Zuschlagsmenge von 5 Gew% auf 3 mg/kg TS und für eine Zuschlagsmenge von 8 Gew% TS auf 2 mg/kg TS reduziert. Alle anderen Schwermetallgehalte in den Aschen entsprechen den Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie. Der so erhaltene Kompost kann somit die Grenzwerte gemäß Kompostqualitätsklasse A der österreichischen KompostVO einhalten.

Wie aus Tabelle 28 bis Tabelle 30 ersichtlich, steigen in diesem Fall die Schwermetallfrachten für alle Elemente bei zunehmender Aschezuschlagsmenge. Die maximal zulässige Cd-Fracht wird, obwohl der Grenzwert der Kompostqualitätsklasse A eingehalten wird, von den Aschekomposten auf Basis Grünschnitt überschritten. Dies zeigt, dass bei Komposten die zulässige Cd-Fracht überschritten werden kann, wenn der Cd-Gehalt im Kompost im Bereich des Grenzwerts der Kompostklasse A liegt.

Andererseits zeigt sich auch, dass durch entsprechende Qualität der Kompostausgangsmischung (im konkreten Fall die Komposte auf Basis Rindermist, Wirtschaftsdünger und Bioabfall) die zulässigen Cd-Fracht von 5 g/ha*a auch beim Einsatz von Aschen mit höheren Schwermetallgehalten (z.B. Mischungen aus Rost- und Zyklonflugasche nach heizwerksspezifischem Anfall) nicht überschritten wird. Es ist daher bei Aschezuschlagsmengen über 2 Gew% wichtig, bei der Zusammenstellung der Einsatzmaterialien darauf zu achten, dass deren Belastung mit Schwermetallen gering ist.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass die Zugabe von Pflanzenaschen durchaus positive Effekte auf die Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Kompost haben kann, wenn die zugegebenen Aschen niedrige Schwermetallgehalte aufweisen, was bei reinen Grob- bzw. Rostaschen üblicherweise der Fall ist. Wenn Aschen mit etwas höheren Schwermetallgehalten (Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen) in der Kompostierung eingesetzt werden, ist mit höheren Schwermetallfrachten zu rechnen, die aber bei entsprechend sorgfältiger Auswahl der Komposteinsatzstoffe sowie der ergänzenden Düngemittel üblicherweise unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte liegen.

Es ist daher auch aus ökologischer Sicht eine Anhebung der Aschezuschlagsraten auf bis zu 8 Gew% unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.4.1 dargelegten Einschränkungen durchaus vertretbar.

Tabelle 28: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 2 Gew% FS Aschezusatz (Schwermetallgehalte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) und mit Mineraldünger-Ergänzung

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; Aschezusammensetzung gemäß Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie; limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt; grün ... Reduktion der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; rot .. Anstieg der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Nährstoffempfehlung [kg je Hektar und Jahr]					Nährstoffrücklieferung Ernterückstände [kg je Hektar und Jahr]									
Kultur	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Körnermais	98	230	250	50%	49	115	125	20	150	-	50%	10	75	-
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnererbsen	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompost mit 2 Gew% Aschezusatz	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	1,2	4,4	3,9	0,7	45	43	31	18	206
Wirtschaftsdüngerkompost	1,6	2,2	5,4	0,9	43	75	36	34	297
Bioabfallkompost	1,1	1,9	7,4	0,8	38	41	31	31	179
Grünschnittkompost	0,6	1,2	6,4	0,9	41	41	32	44	191

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	6.099	1.903	6.448	1,3	86	84	59	34	398
Wirtschaftsdüngerkompost	4.335	3.731	4.623	3,7	179	314	149	142	1235
Bioabfallkompost	6.360	4.472	3.379	2,8	139	153	115	116	663
Grünschnittkompost	11.324	7.053	3.895	3,9	177	177	140	190	831

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger

bei Düngung mit	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Rindermistkompost	49	0	176
Wirtschaftsdüngerkompost	10	0	48
Bioabfallkompost	33	20	0
Grünschnittkompost	47	38	0

Zusammensetzung Mineraldünger

Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	19.559	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	172		374	1,4	21	2	4	1	36
Brantkalk			103	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	6.099	1.903	6.448	1,3	86	84	59	34	398
Gesamt				2,7	107,0	86,2	63,3	34,8	433,9

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		0	5.352	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	35		102	0,3	4	0	1	0	7
Brantkalk			35	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.335	3.731	4.623	3,7	179	314	149	142	1235
Gesamt				4,0	183,5	314,2	150,3	141,9	1242,3

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		41		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	117	32.622		0,9	14	2	3	0	25
Brantkalk	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.360	4.472	3.379	2,8	139	153	115	116	663
Gesamt				3,7	153,6	154,4	118,0	116,6	688,4

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		76		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	164	59.780		1,3	20	2	4	1	34
Brantkalk	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	11.324	7.053	3.895	3,9	177	177	140	190	831
Gesamt				5,2	198,3	179,7	143,9	191,1	866,8

Tabelle 29: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 5 Gew% FS Aschezusatz (Cd-Gehalt 3 mg/kg TS, übrige Schwermetallgehalte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) und mit Mineraldünger-Ergänzung

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; Aschezusammensetzung gemäß Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie; Cd-Gehalt wurde auf 3 mg/kg reduziert (siehe Tabelle 19); limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt; grün ... Reduktion der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; rot .. Anstieg der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Kultur	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
	Körnermais	98	230		250	50%	49	115	125	20		150	-	50%
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnererbsen	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompost mit 5 Gew% Aschezusatz	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	1,2	4,5	7,4	0,8	55	59	42	26	304
Wirtschaftsdüngerkompost	1,7	2,5	8,7	1,0	53	87	47	40	382
Bioabfallkompost	1,1	2,0	8,4	0,8	46	54	41	37	261
Grünschnittkompost	0,7	1,3	7,4	1,0	51	56	43	49	287

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	5.724	1.866	3.392	1,5	106	114	82	50	587
Wirtschaftsdüngerkompost	4.271	3.288	2.888	4,0	221	362	195	168	1593
Bioabfallkompost	6.212	4.221	2.986	3,1	172	200	150	136	966
Grünschnittkompost	10.618	6.348	3.368	4,2	243	243	188	213	1246

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger

bei Düngung mit	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Rindermistkompost	48	0	112
Wirtschaftsdüngerkompost	23	10	0
Bioabfallkompost	37	25	0
Grünschnittkompost	49	39	0

Zusammensetzung Mineraldünger

Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	12.479	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	169		238	1,3	20	2	4	1	35
Brantkalk			36	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	5.724	1.866	3.392	1,5	106	114	82	50	587
Gesamt				2,9	126,3	115,7	85,8	50,5	622,0

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		21		0,0	0	0	0	0	1
Hyperphosphat	81	16.231		0,6	10	1	2	0	17
Brantkalk	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.271	3.288	2.888	4,0	221	362	195	168	1593
Gesamt				4,7	231,5	363,3	196,7	167,9	1610,5

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		49		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	130	39.069		1,0	16	2	3	1	27
Brantkalk	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.212	4.221	2.986	3,1	172	200	150	136	966
Gesamt				4,1	188,3	201,5	153,4	136,7	994,8

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		79		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	171	62.660		1,4	21	2	4	1	36
Brantkalk	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	10.618	6.348	3.368	4,2	243	243	188	213	1246
Gesamt				5,6	264,5	245,0	192,4	213,3	1284,1

Tabelle 30: Zu erwartende Schwermetallfrachten bei der Düngung mit Komposten mit 8 Gew% FS Aschezusatz (Cd-Gehalt 2 mg/kg TS, übrige Schwermetallgehalte gemäß Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie) und mit Mineraldünger-Ergänzung

Erläuterungen: Fruchtfolge, Nährstoffbedarf und Nährstoffrückführung in Abstimmung mit Dr. Heinrich Holzner, Landwirtschaftskammer Steiermark festgelegt; Aschezusammensetzung gemäß Grenzwerten der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie; Cd-Gehalt wurde auf 3 mg/kg reduziert (siehe Tabelle 19); limitierende Nährstoffe sind gelb hinterlegt; grün ... Reduktion der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; rot .. Anstieg der Schwermetallfracht gegenüber Basiskompost; Nährstoff- und Schwermetallgehalte auf Basis der Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Simulationen (Komposte) bzw. Analysen (Mineraldünger) berücksichtigt.

Kultur	Nährstoffbedarf der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffbedarf in der Fruchtfolge			Nährstoffrücklieferung der Kultur			Fruchtfolgeanteil	Nährstoffrücklieferung in der Fruchtfolge		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
	Körnermais	98	230		250	50%	49	115	125	20		150	-	50%
Getreide	63	92	250	25%	16	23	63	0	0	-	25%	0	0	-
Körnermais	86	230	250	15%	13	35	38	20	150	-	15%	3	23	-
Ackerbohne	75	138	250	10%	7	14	25	10	50	-	10%	1	5	-
Summe					85	186	250					14	103	-

Berechnung des Ergänzungsbedarfs über die Fruchtfolge [kg je Hektar und Jahr]

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Nährstoffbedarf (Korn + Stroh)	85	186	250
Nährstoffrücklieferung durch Ernterückstände	-14	-103	-
Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung	0	0	0
zu ergänzen	71	84	250

Kompost mit 8 Gew% Aschezusatz	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	1,3	4,6	10,4	0,8	64	72	52	33	387
Wirtschaftsdüngerkompost	1,7	2,8	11,5	0,9	62	97	56	46	456
Bioabfallkompost	1,2	2,1	9,3	0,8	54	65	49	42	334
Grünschnittkompost	0,7	1,5	8,4	0,9	60	69	53	53	369

Mögliche Ausbringungsmengen [kg je Hektar und Jahr]	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindermistkompost	5.440	1.837	2.412	1,5	123	139	101	63	748
Wirtschaftsdüngerkompost	4.216	2.982	2.182	3,8	258	404	234	190	1901
Bioabfallkompost	6.070	3.998	2.675	3,0	201	241	181	154	1236
Grünschnittkompost	9.994	5.770	2.967	4,0	299	299	230	232	1604

Ergänzungsbedarf durch Mineraldünger

bei Düngung mit	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Rindermistkompost	47	0	60
Wirtschaftsdüngerkompost	34	22	0
Bioabfallkompost	36	21	-29
Grünschnittkompost	47	35	-34

Zusammensetzung Mineraldünger

Mineraldünger	[% TM]			[mg / kg TM]					
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0,0	49,6	0,9	0,05	15	0,5	5	0,2	25
Hyperphosphat	28,4	0,1	47,1	8	120	13	23	4	209
Brantkalk	0	0	92						

Schwermetallfrachten bei Rindermistkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat	0	0	6.619	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	166		126	1,0	15	2	3	1	26
Brantkalk			0	0,0	0	0	0	0	0
Rindermistkompost	5.440	1.837	2.412	1,5	123	139	101	63	748
Gesamt				2,5	138,1	140,5	104,1	63,7	774,7

Schwermetallfrachten bei Wirtschaftsdüngerkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		45	0	0,0	0	0	0	0	0
Hyperphosphat	121		0	1,0	14	2	3	0	25
Brantkalk			0	0,0	0	0	0	0	0
Wirtschaftsdüngerkompost	4.216	2.982	2.182	3,8	258	404	234	190	1901
Gesamt				4,8	272,2	405,5	236,4	190,2	1925,8

Schwermetallfrachten bei Bioabfallkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		43		0,0	1	0	0	0	1
Hyperphosphat	127	33.785		1,0	15	2	3	1	27
Brantkalk			0,0	0,0	0	0	0	0	0
Bioabfallkompost	6.070	3.998	2.675	3,0	201	241	181	154	1236
Gesamt				4,0	217,2	243,1	184,5	154,4	1263,8

Schwermetallfrachten bei Grünschnittkompostdüngung

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fracht in [g / ha] bei möglicher Ausbringungsmenge					
				Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kaliumsulfat		70		0,0	1	0	0	0	2
Hyperphosphat	166	55.573		1,3	20	2	4	1	35
Brantkalk			0,0	0,0	0	0	0	0	0
Grünschnittkompost	9.994	5.770	2.967	4,0	299	299	230	232	1604
Gesamt				5,3	319,9	301,2	233,8	232,4	1640,7

4 Zusammenfassung

Verifizierung des Simulationsprogramms

Das im Rahmen dieser Studie verwendete Simulationsprogramm für den Rotteprozess in einer Kompostmiete konnte durch den Vergleich mit Ergebnissen aus durchgeführten Kompostierungsversuchen und Literaturdaten verifiziert werden.

Vor allem bzgl. Trockensubstanzverlust konnten sehr gute Übereinstimmungen erzielt werden. Der Abbau von organischem Kohlenstoff und der Wasserverlust werden ebenfalls relativ genau vom Simulationsprogramm abgebildet. Lediglich beim Abbau von Stickstoff gibt es größere Abweichungen zwischen den Versuchsergebnissen und den berechneten Werten. Dies ist auf die vereinfachte Berechnung des Stickstoffabbaus (es können aufgrund der Komplexität der auftretenden Abbaureaktionen nicht alle Stickstoffrelevanten Reaktionen berücksichtigt werden) zurückzuführen. Da der N-Abbau aber, wie aus den Ergebnissen der Kompostierversuche der TU Graz mit Komposten mit und ohne Aschezuschlag ersichtlich, nicht wesentlich durch die Zugabe von Pflanzenaschen beeinflusst wird, wiegt auch die ungenaue Berechnung des N-Verlustes durch das Simulationsprogramm nicht schwer, zumal der N-Verlust keinen Einfluss auf die Berechnung der Schwermetallgehalte im fertigen Kompost hat, die auf Basis der Gehalte in der Ausgangskompostmischung und dem Trockensubstanzverlust erfolgt.

Die Ergebnisse bzgl. Trockensubstanzverlust, C_{org} -Abbau und Wasserverlust der durchgeführten Simulationen für die verschiedenen Kompostausgangsmischungen ohne Aschezuschlag wurden darüber hinaus mit Werten aus der Literatur verglichen. Dabei lagen die Ergebnisse im Wesentlichen innerhalb der erwarteten Bandbreite.

Auch bezüglich der Energiebilanz (Gegenüberstellung der Input- und Outputströme über den gesamten Kompostierungsprozess) konnten bei der Verifizierung gute Ergebnisse erzielt werden (Abweichungen innerhalb eines Bereichs von +/- 10% des Energieinputs).

Kompostausgangsmischungen

Bei der Auswahl der Kompostausgangsmischungen wurde versucht, eine möglichst große Bandbreite an möglichen Ausgangsmaterialien und Mischungen abzudecken. Schließlich wurden in Abstimmung mit der ARGE Kompost & Biogas vier Basisausgangsmischungen zusammengestellt, die sowohl die Kompostierung im ländlichen (Basiskomponenten Rindermist und Wirtschaftsdünger) als auch im kommunalen (Basiskomponenten Bioabfall und Grünschnitt) Bereich abdecken sollen.

Bei der Einstellung der Mischungsverhältnisse wurde auf die Einhaltung wesentlicher Rahmenbedingungen wie das C/N-Verhältnis (zwischen 25 und 40), den Wassergehalt (zwischen 50 und 65 Gew%), gesetzliche Vorgaben (maximale Zugabe von Erde im Ausmaß von 15 Gew% FS) sowie die ausreichende Struktur der Mischungen (Zumischung von Strauch- und Baumschnitt) geachtet.

Auf Basis dieser Basisausgangsmischungen wurden Aschekomposte mit verschiedenen Aschequalitäten und Zuschlagsmengen zusammengestellt. Neben der laut österreichischer KompostVO zulässigen Aschezuschlagsmenge von 2 Gew% FS wurden auch Aschezuschlagsmengen von 5 und 8 Gew% FS im Rahmen der Studie untersucht. Höhere Zuschlagsraten machen wenig Sinn, da dann der Anteil an Asche in der Trockensubstanz der

Ausgangsmaterialien über 20 Gew% ansteigt und so wohl nicht mehr dem Grundsatz der Kompostierung, dem mikrobiellen Abbau von *organischer* Substanz, entspricht.

Bei der Auswahl der untersuchten Aschequalitäten wurde darauf geachtet, einen möglichst großen Bereich an Aschen, die für die Verwertung in der Kompostierung in Frage kommen, abzudecken. So wurden sowohl Aschen aus Rostfeuerungen als auch Aschen aus Wirbelschichtfeuerungen in unterschiedlichen Qualitäten untersucht.

Einerseits wurden reine Grob-/Rostaschen (insgesamt 4 Qualitäten: Durchschnittswerte aus dem FFG-Forschungsprojekt für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Biomasse in Rostfeuerungen, Durchschnittswerte aus dem FFG-Forschungsprojekt für Grobaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Biomasse in Wirbelschichtfeuerungen, Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Hackgut in Rostfeuerungen und Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Rinde in Rostfeuerungen) in die Untersuchungen aufgenommen, um den Einfluss schwermetallarmer Pflanzenaschen auf die Kompostqualität untersuchen zu können.

Darüber hinaus wurden die Anforderungen der neuen, voraussichtlich ab 1.1.2011 in Kraft tretenden, Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen berücksichtigt, indem Aschefraktionen, deren Schwermetallgehalte den Grenzwerten der beiden in der neuen Pflanzenaschenrichtlinie definierten Aschequalitätsklassen (Klasse A und Klasse B) entsprechen, als Zuschlag zu den Kompostausgangsmischungen untersucht wurden. Diese Aschen repräsentieren somit die obere Bandbreite bzgl. Schwermetallgehalten, wie sie üblicherweise in Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen nach heizwerksspezifischem Anfall auftreten. Klasse B entspricht dabei mit Ausnahme von Ni und Pb (hier wurden die Grenzwerte in der neuen Pflanzenaschenrichtlinie von 100 auf 200 mg/kg TS erhöht) den derzeit für Pflanzenaschen festgelegten Grenzwerten in der österreichischen KompostVO.

Aus den vier Ausgangsmischungen sowie den insgesamt 6 verschiedenen Aschequalitäten wurden inklusive der Basismischungen ohne Aschenzuschlag insgesamt 76 verschiedene Kompostmischungen untersucht, wodurch gewährleistet werden konnte, dass sich die erhaltenen Ergebnisse auf eine breite Basis möglicher Komposte beziehen und somit als repräsentativ angesehen werden können.

Stoffbilanzierung

Auf Basis der Ergebnisse der Rottesimulation wurden für die einzelnen Kompostausgangsmischungen die Stoffbilanzierungen erstellt. Dabei wurden auf Basis der Gehalte in den Ausgangsmischungen und dem in der Simulation berechneten Trockensubstanzverlust die Gehalte an Nährstoffen und Schwermetallen ermittelt. Bei der Berechnung wurde angenommen, dass die aschebildenden Elemente während des Rotteprozesses nicht verloren gehen (kein Austrag über Sickerwasser). Diese Vorgangsweise ist zulässig, da die Nachrechnung der Versuchsergebnisse der von der TU Graz durchgeführten Kompostiersuche zeigte, dass die Abweichungen zwischen Messwerten und mit dieser Methode errechneten Werten weniger als +/- 25% betragen und die Berechnungen somit ausreichend genau sind.

Die Ergebnisse der Stoffbilanzierung zeigen, dass die Gehalte an Nährstoffen durch Zugabe von Aschen aus Rostfeuerungen mit zunehmender Aschezuschlagsmenge ansteigen. Dies ist zu erwarten, da die Nährstoffgehalte (CaO, K₂O, P₂O₅, MgO) in den Aschen aus Rostfeuerungen deutlich über den Durchschnittswerten von herkömmlichen Komposten

liegen. Die Grobaschen (Bettaschen) aus Wirbelschichtfeuerungen enthalten relativ viel Bettmaterial (meist Quarzsand, SiO_2), wodurch andere Elemente verdünnt werden und somit die Nährstoffgehalte, aber auch die Schwermetallgehalte geringer sind. Daher führt die Zugabe von Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen üblicherweise nur beim K_2O -Gehalt zu einer Erhöhung im Kompost, die übrigen Nährstoffgehalte werden nicht wesentlich beeinflusst.

Die Schwermetallgehalte im Kompost steigen durch Zugabe von Pflanzenaschen mit Schwermetallgehalten im Bereich der Grenzwerte der beiden Aschequalitätsklassen laut neuer Pflanzenaschenrichtlinie mit zunehmender Menge an. Bei reinen Grob-/Rostaschen, die wesentlich geringere Schwermetallgehalte aufweisen, ist bei einigen Elementen sogar eine Abnahme der Schwermetallkonzentrationen (Ni, teilweise Cu und Pb bei Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen, sowie Pb und teilweise Zn bei Rostaschen aus Rostfeuerungen) im Kompost mit zunehmender Aschezuschlagsmenge zu beobachten. Die Tendenzen hängen neben der Qualität der Aschen aber natürlich auch von der Zusammensetzung der Ausgangsmischungen ab, die aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsstoffe deutlichen Schwankungen unterliegen.

Vergleich der Kompostzusammensetzungen mit den Grenzwerten der Kompostverordnung

Die mittels der Stoffbilanzierungen ermittelten Schwermetallgehalte in den fertigen Komposten wurden mit den Grenzwerten für die verschiedenen Kompostqualitätsklassen laut österreichischer Kompostverordnung verglichen.

Dabei zeigte sich, dass von den ausgewählten Basiskomposten der Kompost auf Basis Wirtschaftsdünger die Grenzwerte für Kompostqualitätsklasse A+ nicht einhalten kann und somit nicht für den ökologischen Landbau zugelassen ist. Alle übrigen Basiskomposte erfüllen die Qualitätskriterien der Qualitätsklasse A+ bzgl. Schwermetallgehalten.

Bei keiner der untersuchten Ausgangsmischungen und Aschequalitäten wurden selbst bei einer Aschezuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Grenzwerte der Kompostqualitätsklasse B der österreichischen KompostVO überschritten.

Beim Zuschlag von Rostasche aus Rostfeuerungen können bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Schwermetallgrenzwerte der Kompostqualitätsklasse A eingehalten werden. Bei einer Beimischung von 2 Gew% FS können bei einer Basiskompostmischung (Rindermist) für zwei Aschequalitäten (Durchschnittswerte aus dem FFG-Forschungsprojekt für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassener Biomasse in Rostfeuerungen sowie Durchschnittswerte für Rostaschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Hackgut in Rostfeuerungen) auch die Grenzwerte der Qualitätsklasse A+ eingehalten werden.

Beim Zuschlag von feiner Grobasche aus Wirbelschichtfeuerungen können bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Anforderungen von Qualitätsklasse A+ (ausgenommen Mischungen auf Basis Wirtschaftsdüngerkompost, da hier bereits der Basiskompost ohne Aschezugabe die Kriterien für Qualitätsklasse A+ nicht erfüllt werden können) eingehalten werden.

Beim Zuschlag von Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen aus Rostfeuerungen (die Schwermetallgehalte liegen normalerweise zwischen den Grenzwerten der beiden Aschequalitätsklassen laut neuer Pflanzenaschenrichtlinie) können bis zu einer Zuschlagsmenge von 8 Gew% FS die Schwermetallgrenzwerte der Kompostqualitätsklasse B eingehalten werden. Entsprechen die Schwermetallgehalte in der Asche den Grenzwerten von

Aschequalitätsklasse A gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie, kann bei einer Beimischung von 2 Gew% FS für alle Basiskomposte die Kompostqualitätsklasse A erreicht werden. Entsprechen die Schwermetallgehalte in der Asche den Grenzwerten von Aschequalitätsklasse B gemäß neuer Pflanzenaschenrichtlinie, kann bei einer Beimischung von 2 Gew% FS nur bei zwei Basisposten (Rindermist- und Bioabfallkompost) Qualitätsklasse A eingehalten werden.

Von einer genaueren Betrachtung des Einflusses von Mischungen aus Grobasche und grober Flugasche (Kesselflugasche und/oder Zyklonflugasche) aus Wirbelschichtfeuerungen wurde Abstand genommen, da diese beiden Ascheströme üblicherweise aus verfahrenstechnischen Gründen nicht gemeinsam gesammelt werden. Weiters hängen die Anteile der beiden Fraktionen an der Mischung sehr stark von der Art der Feuerung (stationäre oder zirkulierende Wirbelschicht) ab, wodurch es nicht möglich ist, allgemein gültige Mischungsverhältnisse anzugeben. Aus den im Rahmen dieses Projektes erhaltenen Erkenntnissen bzgl. Aschequalitäten und Ascheanfall aus Wirbelschichtfeuerungen ist aber davon auszugehen, dass eine theoretische Mischung aus Grobasche und grober Flugasche aus Wirbelschichtfeuerungen nach heizwerksspezifischem Anfall den Anforderungen von Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie entsprechen kann.

Da der Großteil (bis zu 90%) der produzierten Komposte den Qualitätsklassen A+ oder A entspricht, können mengenmäßig relevante Mengen von Pflanzenaschen nur bei der Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A oder A+ eingesetzt werden. Für Aschezuschlagsraten über 2 Gew% FS wäre es für die Einhaltung der Grenzwerte der Qualitätsklasse A daher notwendig, den Cd-Gehalt in den Aschen im Vergleich zum geltenden Grenzwert der österreichischen KompostVO bzw. den Grenzwerten gemäß Klasse A und Klasse B der neuen Pflanzenaschenrichtlinie zu reduzieren. Für eine Aschezuschlagsmenge von 5 Gew% FS sollte der Cd-Gehalt in der Asche unter 3 mg/kg TS liegen, für eine Aschezuschlagsmenge von 8 Gew% FS sollte der Cd-Gehalt unter 2 mg/kg TS liegen. Für die übrigen Schwermetallgehalte wären die Grenzwerte der Klasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie ausreichend, um bei einem Aschezuschlag von bis zu 8 Gew% die Schwermetallgrenzwerte für Kompost der Qualitätsklasse A einzuhalten.

Cd-Gehalte von 2 bzw. 3 mg/kg können üblicherweise von Grob-/Rostaschen und zum Teil auch von Mischungen aus Grob-/Rost- und Zyklonflugaschen nach heizwerksspezifischem Anfall (vor allem bei Verbrennung von nicht holzartiger Biomasse) eingehalten werden. Mittels dieser Regelung wäre es daher möglich, die Aschezuschlagsmengen deutlich zu erhöhen und dennoch einen Großteil der in Biomassefeuerungsanlagen anfallenden Aschen einsetzen zu können (Rostaschen aus Rostfeuerungen machen üblicherweise den größten Anteil am Gesamtaschenanfall aus, Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen entsprechen je nach Art der Wirbelschicht 30 bis 70% des Gesamtaschenaufkommens).

Aus den Ergebnissen der Vergleiche der Schwermetallgehalte in den untersuchten Kompostmischungen mit den Grenzwerten der österreichischen Kompostverordnung geht klar hervor, dass für die Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A auf jeden Fall eine Erhöhung der Aschezuschlagsmenge vertretbar ist, und die dazu notwendigen Einschränkung bzgl. Cd-Gehalt in den Aschen auch von einem großen Teil der für die Kompostierung prinzipiell zugelassenen Pflanzenaschen erfüllt werden kann.

Die auf Basis der Ergebnisse der Stoffbilanzierungen ermittelten maximalen Schwermetallgehalte für die gesicherte Einhaltung der Kompostqualitätsklasse A+ würden für alle Elemente zum Teil deutlich unter den bisher in der KompostVO bzw. der neuen

Pflanzenaschenrichtlinie festgelegten Schwermetallgrenzwerten liegen und könnten auch von reinen Grob-/Rostaschen nicht dauerhaft gesichert eingehalten werden.

Für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A+ kommen jedenfalls nur Aschen mit sehr niedrigen Schwermetallgehalten (Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen und teilweise Rostaschen aus Rostfeuerungen) sowie Ausgangsmaterialien mit entsprechend guter Qualität in Frage. Das Haupteinsatzgebiet für Pflanzenaschen wird daher hauptsächlich die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A sein, wo Aschezuschlagsraten von bis zu 8 Gew% FS möglich und sinnvoll erscheinen.

Ökologische Bewertung der Kompostnutzung

Ergänzend zum Vergleich der Zusammensetzungen der untersuchten Komposte mit den Grenzwerten der KompostVO wurden auch die ökologischen Auswirkungen beim Einsatz von Kompost als Düngemittel untersucht. Der wesentliche Faktor dabei sind die Schwermetallfrachten, die durch die Düngung in den Boden gelangen.

Die theoretischen maximalen Schwermetallfrachten ergeben sich aus der maximal zulässigen Ausbringungsmenge an Kompost von 8 t TS/ha*a. Vergleicht man die so erhalten Frachten mit der laut Düngemittelverordnung zulässigen Cd-Fracht für Ackerböden, so kann es selbst bei Komposten der Qualitätsklasse A+ zu Überschreitungen des Grenzwerts von 5 g Cd/ha*a kommen, da bei einem Cd-Gehalt von 0,7 mg/kg TS (Grenzwert für Kompostqualitätsklasse A+) sich bereits eine jährliche Cd-Fracht von 5,6 G TS/ha*a ergeben würde. Komposte der Qualitätsklasse A würden bei der maximalen Ausbringungsmenge von 8 t TS/ha*a somit immer die maximale Cd-Fracht überschreiten. Es muss dazu allerdings erwähnt werden, dass sich im fertigen Kompost auch Humus befindet, der zum Bodenaufbau beiträgt, wodurch ein direkter Vergleich der Frachten nicht sinnvoll ist.

Betrachtet man die auf Basis der Grundlagen der sachgerechten Düngung ermittelten Kompostmengen, ergeben sich hingegen deutlich geringere Ausbringungsmengen. Anhand einer typischen Fruchtfolge wurde im Rahmen der Studie der Nährstoffbedarf und in weiterer Folge der Bedarf an Kompost und Mineraldünger (Kaliumsulfat, Hyperphosphat, Branntkalk) zur integralen Düngung ermittelt. Aus den benötigten Mengen sowie den Schwermetallgehalten der einzelnen Düngemittel (vor allem der Cd-Gehalt von Hyperphosphat ist dabei von Relevanz) wurden für die im Rahmen der Studie untersuchten Basiskomposte sowie für Aschekomposte mit verschiedenen Zuschlagsraten an Rostasche und Asche mit Schwermetallgehalten gemäß Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie die zu erwartenden Schwermetallfrachten ermittelt.

Dabei zeigte sich, dass beim Einsatz von Rostaschen als Zuschlagsstoff die Schwermetallfrachten beim Einsatz von Aschekompost im Vergleich zu den Basiskomposten bei einigen Schwermetallen zwar moderat ansteigen, für Pb und teilweise auch für Cr und Zn aber sogar leicht abnehmen. Als wichtigste Erkenntnis zeigte sich, dass für alle Kompostmischungen und Aschezuschlagsraten bis 8 Gew% FS die Grenzfracht für Cd deutlich (um mindestens 20%) unterschritten wurde. Beim Einsatz von Aschen mit geringen Schwermetallgehalten als Zuschlagsstoffe sind daher bzgl. der Schwermetallfrachten keine wesentlichen Änderungen im Vergleich zu konventionellen Komposten zu erwarten.

Wird Asche mit den im Rahmen dieser Studie vorgeschlagenen maximalen Schwermetallgehalten (Schwermetallgehalte gemäß Grenzwerten der Aschequalitätsklasse A der neuen Pflanzenaschenrichtlinie für eine Zuschlagsmenge bis 2 Gew% FS, darüber hinaus Absenkung des Cd-Gehalts der Asche auf 3 mg/kg TS bei bis zu 5 Gew% und auf 2 mg/kg TS

bei bis zu 8 Gew% FS Zuschlagsmenge bei sonst gleichbleibenden Grenzwerten gemäß Aschequalitätsklasse A (er neuen Pflanzenaschenrichtlinie) eingesetzt, ist der Anstieg bei den Schwermetallfrachten im Vergleich zu den Basiskomposten deutlich höher. Obwohl der Cd-Grenzwert im Kompost für Qualitätsklasse A eingehalten werden konnte, wurde bei einem Kompost (auf Basis Grünschnitt) bei allen Aschezuschlagsraten die Maximalfracht für Cd überschritten. Dies zeigt, dass es selbst bei Einhaltung der Kriterien für Kompostqualitätsklasse A vorkommen kann, dass die maximale Cd-Fracht bei der Düngung mit Kompost, unabhängig davon, ob Asche beigemischt wird oder nicht, überschritten werden kann.

Es ist daher generell bei Komposten mit Schwermetallgehalten im Bereich der Grenzwerte laut Kompostqualitätsklasse A und besonders beim Zuschlag von Pflanzenaschen mit Schwermetallgehalten im Bereich der vorgeschlagenen Maximalgehalte wichtig, die zu erwartenden Schwermetallfrachten in Kombination mit Mineraldüngern vor der Ausbringung zu prüfen und bei Bedarf Anpassungen (Reduktion der Kompostmenge, Einsatz von Cd-armen Phosphatdüngern) vorzunehmen, um den Grenzwert für die Cd-Fracht gesichert einhalten zu können.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass der Zuschlag von Pflanzenaschen von bis zu 8 Gew% FS unter gewissen Rahmenbedingungen und Einschränkungen möglich und ökologisch sinnvoll ist.

Ein wesentliches Ergebnis dieser Studie neben den gewonnenen Erkenntnissen über Auswirkungen des Aschezuschlags zur Kompostierung ist die Tatsache, dass das von der TU Graz entwickelte Simulationsprogramm für die Kompostierung zur Bilanzierung des Rotteprozesses gut geeignet ist, was durch den Vergleich der berechneten Werte mit Versuchsdaten verifiziert werden konnte.

Die geltenden Schwermetallgrenzwerte für Pflanzenaschen laut österreichischer KompostVO bzw. laut der voraussichtlich ab 1.1.2011 in Kraft tretenden neuen Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen liegen in einem Bereich, der üblicherweise den Einsatz von Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen nach heizwerksspezifischem Anfall zulässt. Die Schwermetallgehalte, vor allem die Gehalte an leichtflüchtigen Schwermetallen wie As, Cd, Pb und Zn, in reinen Rost-/Grobaschen aus Rostfeuerungen und Wirbelschichtfeuerungen liegen üblicherweise deutlich unterhalb der Grenzwerte.

Nachfolgend werden die Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Studie sowie vorangegangener Forschungsprojekte zum Thema Aschezuschlag in der Kompostierung nochmals angeführt, die eine Anhebung der bisher gemäß österreichischer KompostVO zugelassenen Aschezuschlagsmenge von 2 Gew% FS auf 8 Gew% FS als sinnvoll erscheinen lassen:

- Gemäß den Ergebnissen dieser Studie können Pflanzenaschen, die die Schwermetallgrenzwerte für Aschequalitätsklasse B gemäß der neuen Pflanzenaschenrichtlinie nicht überschreiten, bei Zuschlagsraten von bis zu 8 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse B eingesetzt werden.
- Pflanzenaschen, deren Schwermetallgehalte den Grenzwerten laut Aschequalitätsklasse A entsprechen, können bei Zuschlagsraten von bis zu 2 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A eingesetzt werden. Bei höheren Zuschlagsraten bis 8 Gew% FS können diese Pflanzenaschen für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse B eingesetzt werden.
- Reine Rostaschen aus Rostfeuerungen können bis zu einer Zuschlagsrate von 8 Gew% FS für die Produktion von Kompost der Qualitätsklasse A verwendet werden.
- Reine Grobaschen aus Wirbelschichtfeuerungen können bei entsprechend schwermetallarmen Ausgangsmischungen bis zu einer Zuschlagsrate von 8 Gew% FS für die Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+ eingesetzt werden.
- Der Einsatz von Pflanzenaschen bei der Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+ ist möglich, dafür müssen aber sowohl die eingesetzten Aschen als auch die Ausgangsmaterialien entsprechend geringe Schwermetallgehalte aufweisen (nur bei schwermetallarmen Grob-/Rostaschen möglich). Der Einsatz von Mischungen aus Rost- und Zyklonflugaschen für die Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A+ ist auszuschließen.

- Pflanzenaschenkomposte können bei entsprechend geringer Schwermetallbelastung der eingesetzten Aschen (reine Grob-/Rostaschen) sogar teilweise zu einer Verringerung der Schwermetallfrachten bei der Düngung in Kombination mit ergänzenden Mineraldüngern führen. Bei Komposten, deren Schwermetallgehalte nahe an den Grenzwerten für Qualitätskompostklasse A liegen, ist unabhängig von der Beimischung von Pflanzenasche durch entsprechende Wahl der Düngemittel darauf zu achten, dass vor allem die Cd-Fracht den Grenzwert laut Düngemittelverordnung nicht überschreitet.
- Auf Basis dieser Ergebnisse sind Aschezuschlagsmengen von bis zu 8 Gew% FS, bei der Herstellung von Kompost der Qualitätsklasse A möglich. Daraus abgeleitet sollen, um Überschreitungen der Schwermetallgrenzwerte gemäß Qualitätsklasse A in den Komposten in der Praxis zu vermeiden, die bestehenden Grenzwerte der österreichischen KompostVO für Cd entsprechend reduziert werden. **Als Basis für die Festlegung der neuen Grenzwerte soll die neue, voraussichtlich ab 1.1.2011 in Kraft tretende Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen (neue Pflanzenaschenrichtlinie) herangezogen werden.** Dabei sollen die Grenzwerte für Aschequalitätsklasse A laut neuer Pflanzenaschenrichtlinie für Pflanzenaschen, die bei der Kompostierung als Zuschlagsstoff eingesetzt werden, als Mindestanforderung für eine Aschezuschlagsmenge von bis zu 2 Gew% FS festgelegt werden. **Zwischen 2 und 5 Gew% FS Aschezuschlag soll der Cd-Grenzwert für Pflanzenaschen von 5 auf 3 mg/kg TS und für eine Aschezuschlagsmenge von 5 bis 8 Gew% FS auf 2 mg/kg TS abgesenkt werden. Die Grenzwerte für andere Schwermetalle können unabhängig von der Zuschlagsrate gleichbleiben.** Die Reduzierung der Grenzwerte bleibt dabei in einem Rahmen, der einen Aschezuschlag von bis zu 8 Gew% FS für einen großen Teil der prinzipiell für die Kompostierung zugelassenen Aschen zulässt (reine Grob-/ Rostaschen aus Wirbelschicht- und Rostfeuerungen, aber zum Teil auch Mischungen aus Grob-/ Rostaschen mit groben Flugaschen, vor allem wenn nicht holzartige Biomasse als Brennstoff eingesetzt wird).
- Da es für Co, Mo und V keine Grenzwerte in der neuen Pflanzenaschenrichtlinie mehr gibt und es darüber hinaus auch für As keine Grenzwerte für die einzelnen Kompostqualitätsklassen gibt, könnten die Grenzwerte für diese Elemente gestrichen werden, zumal die typischen Gehalte dieser Elemente in den für die Kompostierung zugelassenen Aschen üblicherweise deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten liegen.

Die Erhöhung der Aschezuschlagsrate erscheint auch aus folgenden Gründen als ökologisch sinnvoll:

- Laut bereits vorliegenden F&E-Ergebnissen sind selbst bei hohen Aschezuschlagsmengen von bis zu 25 Gew% FS keine wesentlichen Unterschiede im N-Verlust zwischen herkömmlichen Komposten und Aschekomposten erkennbar (der N-Verlust ist bei den Aschekomposten sogar tendenziell niedriger).
- Der C_{org} -Abbau von Aschekomposten ist mit dem von konventionellen Komposten vergleichbar.
- Bei Aschekomposten ist üblicherweise ein niedrigerer Wasserverlust als bei Referenzkomposten zu beobachten, was positiv zu bewerten ist (geringerer Frischsubstanzverlust und geringerer Wasserbedarf während der Kompostierung).

- Aufgrund der Tatsache, dass die Asche nicht abgebaut wird, sowie durch die teilweise Karbonatisierung des in der Holzasche enthaltenen CaO und MgO, ist der Trockensubstanzverlust bei den Aschekomposten geringer.
- Durch die Beimischung von Pflanzenasche erfolgt normalerweise eine Anhebung der Nährstoffgehalte (K₂O, P₂O₅, MgO) im Kompost und durch den relativ hohen CaO-Eintrag auch eine deutliche kalkende Wirkung.
- Der Zuschlag von Pflanzenasche kann zur Verbesserung der Kompoststruktur beitragen.
- Eine Aufbereitung der Asche, wie sie vor einer direkten Ausbringung auf landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Flächen meist notwendig ist (Siebung, Metallabscheidung), ist bei der Zugabe zur Kompostierung nicht notwendig (Zerkleinerung erfolgt im Zuge der Kompostierung, Störstoffabtrennung erfolgt bei der Umsetzung).
- Pflanzenaschen können im Kompost gegenüber der direkten Ausbringung ohne wesentliche Staubentwicklung ausgebracht werden.
- Der hohe pH-Wert der Pflanzenaschen wird durch die Kompostierung entsprechend abgepuffert (Karbonatisierungsprozess). Dadurch ist der pH-Wert in den Aschekomposten etwas höher, liegt aber deutlich unter den pH-Werten von reinen Aschen, wodurch die Ausbringung von Aschen über die Kompostierung schonender für Boden und Bodenorganismen erfolgt als bei der direkten Ausbringung.
- Die Infrastruktur für die Kompostierung ist praktisch flächendeckend vorhanden. Dadurch könnten die anfallenden Pflanzenaschen dezentral verwertet und somit lange Transportwege vermieden werden.
- Eine Anhebung der Aschezuschlagsmenge von 2 auf 8 Gew% FS würde das theoretische Verwertungspotenzial von Pflanzenaschen in der Kompostierung von derzeit 20.000 auf 80.000 t (auf Basis eines jährlichen Einsatzes von Kompostausgangsmaterialien in der Menge von 1.000.000 t) anheben.
- Durch die Anhebung der Aschezuschlagsmenge wird darüber hinaus erwartet, dass die Attraktivität dieser Verwertungsschiene sowohl für die Betreiber von Biomasseheiz(kraft)werken (bei höheren Zuschlagsmengen können auch Anlagen mit höherem Ascheanfall entsprechende Mengen liefern) als auch für Kompostieranlagenbetreiber (durch höhere Zuschlagsmengen können auch kleinere Kompostierwerke Aschemengen abnehmen, die für Heizwerksbetreiber logistisch machbar sind → minimale Abgabemenge entspricht einer Containerfüllung) deutlich erhöht wird und somit das theoretische Potenzial viel besser ausgeschöpft werden kann als bisher.

Auf Basis der oben zusammengefassten Ergebnisse und Erkenntnisse kann die Zulassung von Aschezuschlagsmengen von bis zu 8 Gew% FS der Kompostausgangsmischung unter Berücksichtigung der in dieser Studie erläuterten Rahmenbedingungen empfohlen werden. Eine entsprechende Änderung der österreichischen Kompostverordnung im Rahmen der geplanten Novellierung wäre dazu notwendig und wird als ökologisch und nachhaltig sinnvoll angesehen.

6 Literatur

- 1 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW), 2001a: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). BGBl. II Nr. 292/2001.
- 2 NARODOSLAWSKY, Michael, OBERNBERGER, Ingwald, 1995: Verwendung von Holzaschen zur Kompostierung, Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 4159 des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank, Institut für Verfahrenstechnik (Hrsg.), Technische Universität Graz, Österreich
- 3 MÖRTH, Josef, 1995: Optimale Ausgangszusammensetzung für die Kompostierung und Simulation eines Rotteprozesses in einer Miete und in einer Rottebox. Diplomarbeit an der TU Graz
- 4 STROMBERGER, Michael Karl, 1997: Stoffströme und Reaktionskinetik einer Kompostierung im Biozellenreaktor mit anschließender Nachrotte und mit Holzasche als Zuschlagstoff. Diplomarbeit an der TU Graz
- 5 KUBA, T., TSCHÖLL, A., PARTL, C., MEYER, K., INSAM, H., 2008: Wood ash admixture to organic waste improves compost and its performance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127 (2008)
- 6 AMLINGER, Florian et al., 2004: Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers – Final Report, Europäische Kommission, Brüssel
- 7 AMLINGER, Florian et al., 2005: Stand der Technik der Kompostierung – Grundlagenstudie. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- 8 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.), 2011 (Inkrafttreten 1.1.2011): Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien
- 9 DOTT, W., FRICKE, K., OETJEN, R.:1990: Biologische Verfahren der Abfallbehandlung. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin
- 10 BLUME, H.-P. et al: 2010: Scheffer/Schachtschnabel – Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg
- 11 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.), 2006: Evaluierung der nachhaltig positiven Wirkung von Kompost auf die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden, Literaturstudie, Wien
- 12 SOYEZ, K., KAISER, J., 1990: Simulation der aeroben Rotte mit biotechnologischen Modellen, in *Biologische Verfahren der Abfallbehandlung*, EF-Verlag für Energie- u. Umwelttechnik GmbH,
- 13 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW), 2004: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (Düngemittelverordnung 2004). BGBl. II Nr. 100/2004, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 53/2007.
- 14 KRANERT, M. 1988: Freisetzung und Nutzung von thermischer Energie bei der Schlammkompostierung, Erich Schmidt Verlag, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft
- 15 SPOERRI, U., 1975: Celluloseabbau während der Kompostierung, Dissertation Nr. 5591, ETH Zürich
- 16 FRIEDL, A. et al; 2005: Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition, *Analytica Chimica Acta*, Vol. 544, Issues 1-2, pp. 191 - 198
- 17 SHENG, C., Azevedo, J.L.T.; 2005: Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data; *Biomass and Bioenergy*, Vol. 28, Issue 5, pp. 499 - 507

- 18 DUNST, G., 1992: Kompostierung, 2. Auflage, Leopold Stocker Verlag, Graz
- 19 Amt der Steiermärkischen Landesregierung, (Hrsg.), 2000: Bodenschutzbericht 2000, Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark, Rechtsabteilung 8, Graz
- 20 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- und FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.), 1998: Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Acker- und Grünland, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien
- 21 FRICKE, K. et al., 1990: Grundlagen der Kompostierung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- 22 AMLINGER, F., PEYR, S.: 2001: Dokumentation zur Schwermetallverteilung in kompostierten Haushaltsabfällen vor dem Hintergrund der Grenzwerte in Anhang IIA der EU-VO 2092/91 EWG über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. Studie im Auftrag der Stadt Wien, Magistratsabteilung 48, Wien
- 23 BALA, H. et al., 2000: Qualitätssicherungs- und Marketingstrategien für Biokomposte. Projekt ARINCO Nr. 95AT06018, Endbericht Februar/2000. Institut für Land- und Energie- und Umwelttechnik, Wien