FACHHOCHSCHUL-BACHELORSTUDIENGANG

BIO- UND UMWELTTECHNIK

WERTIGKEITSVERGLEICH VON MINERALDÜNGER UND KOMPOST

ALS BACHELORARBEIT EINGEREICHT

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering

von

BERNHARD SCHWABEGGER

JÄNNER 2010

Betreuung der Bachelorarbeit durch

ROBERT TULNIK

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt, die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

.....

BERNHARD SCHWABEGGER

Wartberg ob der Aist, 11.2.2010

KURZFASSUNG:

Die Ziele der Kompostanwendung sind die Verbesserung der physikalischen und biologischen Eigenschaften des Bodens, die Erhaltung bzw. Anhebung des Humusgehaltes und die Zufuhr von Pflanzennährstoffen.
Ausgehend von einem gesunden Boden und den darin lebenden Organismen wird die Bedeutung der organischen Bodensubstanz als wichtige Voraussetzung für eine Reihe positiver Bodeneigenschaften vorgestellt.
Die Umwandlung biogener Abfälle zum Produkt Kompost kann als Teil einer funktionierenden regionalen Kreislaufwirtschaft betrachtet werden.
Im Gegensatz dazu durchlaufen Mineraldünger, unter Aufbringung fossiler Rohstoffe, aufwendige Herstellungsverfahren. Dazu werden Veränderungen des nationalen und globalen Düngemittelmarktes präsentiert und auf zukünftige Entwicklungen hingewiesen. Im Weiteren wird die durch Kompost substituierbare Menge an Mineraldünger, sowie das Potential von Kompost auf nationaler und europäischer Ebene gezeigt.
Anhand von Ergebnissen langjähriger Versuche werden Aussagen über den sinnvollen ökonomischen und ökologischen Einsatz von Kompost vorgenommen.
Die enge Dynamik zwischen Rohstoffpreisen und Mineraldünger lässt auf das zukünftige Potential von Kompost schließen.

Danksagung

Einen besonderen Dank möchte ich meiner Freundin Andrea aussprechen.
Sie schenkte mir die Zeit und gab mir den Rückhalt, zum verfassen diese Arbeit.

Mein Dank gebührt auch meinem Betreuer Robert Tulnik, für die Überlassung dieses Arbeit, den fachlichen Ratschlägen und für die Bereitstellung von Informationen.

„Die Probleme, die es in der Welt gibt, können nicht mit den gleichen Denkweisen gelöst werden, die sie erzeugt haben.“

Albert Einstein (1879 - 1955)

Inhaltsverzeichnis:

1. EINLEITUNG – AUSGANGSLAGE 9
1.1 Energiepreisentwicklung 9
1.2 Energiepreise - Düngerpreise 10
1.3 ökologischer Landbau 10
1.4 Alternative Kompost - Potential 12
2. DIE ZENTRALE FUNKTION DES BODENS 14
2.1 Bodendefinitionen 14
2.2 Bodennutzung: 15
2.3 Bodengefährdung: 15
2.4 Bodenschutz: 16
3. DER GESUNDE BODEN 17
3.1 Bodenbiologie: 17
3.2 Die Funktionen der Bodenorganismen 19
3.3 Die organische Bodensubstanz und ihre Bedeutung für die Bodeneigenschaften: 21
3.4 Einfluss von Art und Menge an organischer Bodensubstanz - C/N-Verhältnis 24
4. BODEN UND PFLANZENERNÄHRUNG 25
4.1 Pflanzennährstoffe und Düngerarten: 25
4.1.1 Bedeutung von Stickstoff für Pflanzen 26
4.1.2 Bedeutung von Phosphor für Pflanzen 27
4.1.3 Bedeutung von Kali für Pflanzen 27
4.2 Boden und Düngung mit Kompost 28
4.3 Nährstoffwirkung von Kompost 29
5. PRODUKTION - VERBRAUCH VON DÜNGEMITTEL UND SUBSTITUTIONSPOTENTIAL DURCH KOMPOST 31
5.1 Stickstoff: 31

5.1.1 Exkurs - technische und biologische Fixierung von Stickstoff: 31

5.1.2 Ammoniakherstellung weltweit 34

5.2 Phosphat 35

5.3 Kali: 36

5.4 Weltweiter Verbrauch an Hauptnährstoffen 37

5.5 Düngemittelproduktion- und Verbrauch in Österreich 37

5.6 Substitutionspotential durch Kompost 38

10 ÖKONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE BEURTEILUNG DER KOMPOSTVERWERTUNG IN DER LANDWIRKTSCHAFT. 41

5.7 Grundsätzliche Bedingungen für die Festlegung der Ertragswirkung der Kompostdüngung 41

5.8 Beispiele zur Ertragswirkung der Kompostdüngung 43

5.9 Kosten-Nutzenbetrachtung der Kompostanwendung 45

5.10 Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft 46

5.10.1 Ausgewählte Ergebnisse des Kompostevaluierungsmodells 47

5.10.2 Auswirkung auf den Betriebstyp 48

5.10.3 Deckungsbeitragsänderung auf unterschiedlichen Böden in Marktfruchtbetrieben 49

5.10.4 Auswirkungen der Ausbringungsmengen 50

5.10.5 Wert des Komposts auf unterschiedlichen Bodentypen 52

5.10.6 Wert des Komposts pro Tonne 53

5.10.7 Grenzwerte für Kompostpreise 54

5.10.8 Auswirkung bei Preisänderungen 56

5.10.9 Preisänderungen von 2004 bis 2009 57

11 SCHLUSSFOLGERUNG: 59

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Geschätzter weltweiter Gasverbrauch bis zum Jahr 2025 (Energy information administration 2004, A.T. Kearney, 2008)..... 9
Abbildung 2: Leistungsvergleich - ökologischer- und integrierter Landbau (Niggli, 2008, S. 13)..... 11
Abbildung 3: Lebensraum Boden - mit vereinfachter Darstellung der Symbiose zw. dem Bakterium Rhizobium und Leguminosen (aus Biolandbau_Klimaschutz_Niggli _29_11_2008, von Reganold et al., 1990) 18
Abbildung 4: Modell der Bereitstellung von Pflanzennährstoffen durch Mikroorganismen und deren Prozesse (aus BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 163, von Van-Camp et al., 2004).. 20
Abbildung 5: Zusammensetzung der organischen Substanz eines Grünlandbodens in Gewichts-% der Trockensubstanz; verändert nach: Schroeder D. (1992), S. 36, aus http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/03.htm; 21.11.2009); 21
Abbildung 6: Die Vielfältigen den Boden und die Bodenfunktion verbessernden Effekte der Kompostanwendung (aus BGK, 2005) 29
Abbildung 7: Übersicht über Rohstoffe, Zwischenprodukte und Produktionsprozesse gebräuchlicher Mineraldünger mit den Hauptnährstoffen Stickstoff, Phosphor, Kalium und Calcium nach Mudahar, 1987 34
Abbildung 8: weltweiter Düngemittelverbrauch (ICIS, 2009, 24.10.2009)..... 37
Abbildung 9: Reinnährstoffabsatz in Österreich zwischen den Jahren 1995/96 und 2008/09 (aus Düngemittelstatistik, Agrarmarkt Austria, eigene Darstellung)..... 38
Abbildung 10: Wert der Reinnährstoffe von Kompost pro m³ Kompost in €/m³ im Verlauf der letzten Jahre (eigene Darstellung mit Daten der Agrarmarkt Austria)..... 40
Abbildung 11: Relativertrag über 4 Jahre (1992 - 1995), nach Peterson & Stöppler-Zimmer, 1996..... 43
Abbildung 12: Ertragswirkung bei verschiedenen Düngungsvarianten (Stiko-Versuch, Hartl & Erhart, 1998)..... 44
Abbildung 13: Einfluss von Kompost mit und ohne mineralischer Stickstoff-Ergänzungsdüngung auf den Ertrag von Triticale (Klasnik & Steffens, 1995) 45
Abbildung 14: Aufwand, Bruttoeinkommen und Nettogewinn einer Tomatenproduktion mit Kompost- bzw. Mineraldünger (Steffen et al., 1994)..... 45

Abbildung 15: Deckungsbeitragsänderung beim Einsatz von jährlich 10t/ha TM Kompost bei verschiedenen Betriebstypen (nach Schreiber, 2005, S. 79) 49
Abbildung 16: Deckungsbeitragsänderung beim Einsatz von jährlich 10 t/ha TM Kompost auf schweren, mittleren und leichten Böden in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S. 78)..... 50
Abbildung 17: Deckungsbeitragsänderung beim Einsatz von unterschiedlichen Kompostmengen in t/ha TM in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S.83). 52
Abbildung 18: Wert einer Tonne Kompost (beim Einsatz von jährlich 10 t/ha TM Kompost) auf schweren, mittleren und leichten Böden in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S.84). 53
Abbildung 19: Wert von einer Tonne Kompost bei unterschiedlichen Kompostmengen in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S.78). 54

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Die Rolle der organischen Substanz im Boden (aus Amlinger et al, 2006, S. 163, nach Stevenson, 1994)..... 23
Tabelle 2: Überblick organischer Dünger vs. Mineraldünger, eigene Darstellung..... 25
Tabelle 3: Bereich der N_2-Bindungsleistung von Erbse, Ackerbohne, Sojabohne, Lupinie, Futterleguminosen und Zwischenfrucht-Begrünung (aus http://www.heffterhof.at/img/Umweltgespraeche/liebhard.pdf, 4.12.2009) 33
Tabelle 4: Europaweites Substitutionspotential an synthetisch hergestellten Nährstoffen (BMLFUW, ... 39
Tabelle 5: Mittlere Gehalte an Nährstoffen in Kompost (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009)und der Annahme ihres pflanzenverfügbaren Anteils. 39
Tabelle 6: Netto Einkommen in £ verschiedener Düngesysteme (aus HDRA Consultants, 1999)..... 46
Tabelle 7: Grenzwert für den Kompostpreis, bis zu welchem die jeweilige Ausbringungsmenge ökonomisch sinnvoll ist; Mittelwert über alle Standorte (alle Werte in €/t und auf 10 Cent gerundet), (nach Schreiber, 2005, S.86). 55
Tabelle 8: Auswirkungen von zukünftigen Preisänderungen auf die mit der Kompostausbringung verbundenen positiven Deckungsbeitragsänderungen (nach Schreiber, 2005, S. 97). 57

1.1 Energiepreisentwicklung

Weltweite steigt der Energiebedarf stetig und gleichzeitig schrumpfen die Reserven an fossilen Energieträgern. Der weltweite Energieverbrauch hat zwischen 1980 und 2007 um fast zwei Drittel zugenommen und wird sich voraussichtlich in den kommenden Jahren weiter erhöhen (VfEW, o.J.), wodurch kurzfristig auch mit einer Verteuerung bei den Energiekosten zu rechnen ist.

Die Nettogaseinfuhr wird in den meisten Erdgas importierenden Regionen, wozu auch Europa und die aufstrebenden Volkswirtschaften China und Indien zählen, steigen. Ändert sich am Energie - Konsumverhalten wenig, ist für Einfuhrländer mit zunehmend hohen Ausgaben für Energieimporte auszugehen, die für diese Länder eine große wirtschaftliche Belastung darstellen werden (WEO, 2009, S. 8). Abbildung 1 zeigt ein mögliches Szenario des zukünftigen globalen Gasverbrauchs.

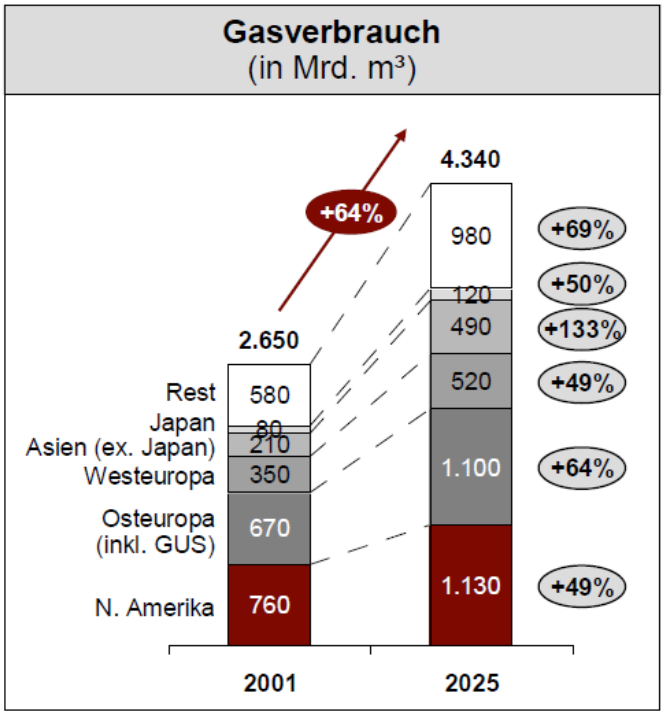

Abbildung 1: Geschätzter weltweiter Gasverbrauch bis zum Jahr 2025 (Energy information administration 2004, A.T. Kearney, 2008)

Erdgas wird vorwiegend als Substitut für Erdöl angesehen, wodurch die Entwicklung des Erdgaspreises von internationalen Erdölindikatoren abhängig ist. In den langfris-

tigen Verträgen sind die Importpreise mit einer Zeitverzögerung von 3 bis 6 Monaten an die Ölpreise gekoppelt
(http://www.e-control.at/de/industrie/gas/gaspreis/grosshandelspreise, 26.12.2009).
Zudem stehen die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas im Verdacht, durch das bei der Verbrennung freigesetzte CO_2 an der globalen Temperaturerhöhung mitverantwortlich zu sein.

1.2 Energiepreise - Düngerpreise

In Bezug auf den Düngemittelbedarf der Landwirtschaft ergibt sich dadurch folgende Ausgangslage.
Das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese kann als der wichtigste Prozess der gesamten Düngemittelindustrie bezeichnet werden, wobei zwei Aspekte entscheidend sind.
Zum Einen ist das Haber-Bosch-Verfahren der grundlegende Prozess der Massenproduktion von Düngemitteln mit dem wichtigsten Nährstoff, Stickstoff. Zum Anderen ist die Ammoniaksynthese der energieaufwendigste Prozessschritt in der Massenproduktion von Düngemitteln (vgl. Patyk & Reinhardt, 1997, S. 21).
Die große Bedeutung von Ammoniak für die Landwirtschaft ist daraus ersichtlich, da über 85% des weltweit produzierten Ammoniaks zur Herstellung von Stickstoffdüngern eingesetzt werden (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 148).

Mineraldünger werden durch fossile Rohstoffe Produziert und besitzen einen hohen Kohlenstoff – Fussabdruck, wobei die finanziellen Kosten den schwankenden Preis von Erdöl spiegeln (SWEA, o. J., 20.12.2009*).*

1.3 ökologischer Landbau

Der ökologische Landbau bietet eine alternative beim nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen und der Umwelt und hat sich in den letzten Jahren in Österreich stark entwickelt. Abbildung 2 bietet einen Überblick der unterschiedlichen Leistungen, die der ökologische Landbau im Vergleich zum integrierten Landbau (ohne Viehhaltung) erbringt.

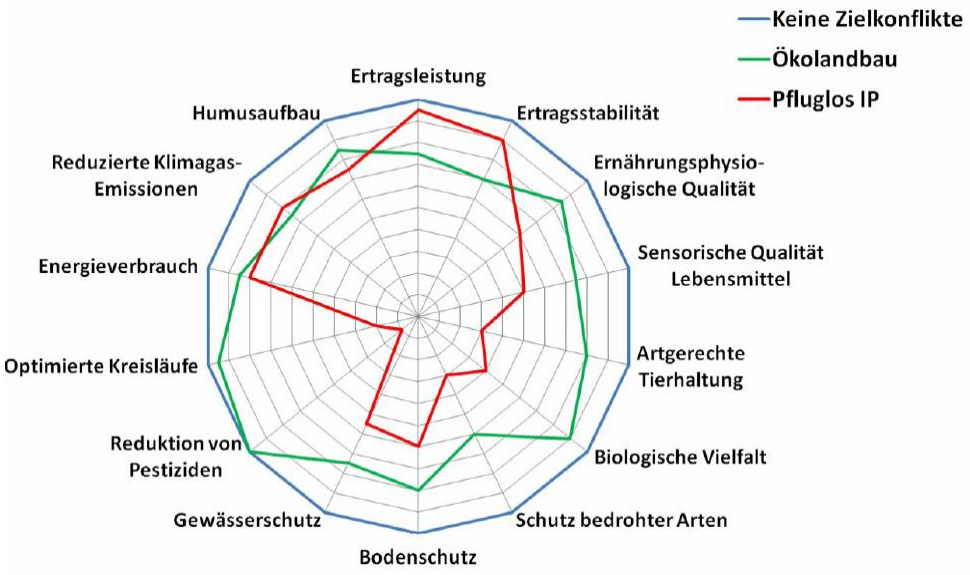

Abbildung 2: Leistungsvergleich - ökologischer- und integrierter Landbau (Niggli, 2008, S. 13)

Der ökologische Landbau ist seit Anbeginn bestrebt, auf den zu bewirtschaftenden Böden, durch gezielte bodenverbessernde Maßnahmen eine Erhöhung der organischen Bodensubstanz (OBS) zu erreichen, wodurch letztlich mit einer Verbesserten Bodenfruchtbarkeit zu rechnen ist.

Durch die auch in Kompost enthaltene organische Substanz werden im Boden eine Reihe wichtiger chemischer, biologischer und physikalischer Eigenschaften positiv beeinflusst. Für den langfristigen Erfolg von Bedeutung ist dabei der Aufbau von Humus durch die Zufuhr von organischer Substanz und die Düngewirkung durch zugeführte Nährstoffe. Die in Kompost enthaltenen Nährstoffe liegen teilweise in gebundener organischer Form vor und werden durch die biologische Aktivität der Bodenorganismen mineralisiert und somit in pflanzenverwertbare Formen umgewandelt. Dadurch vermindert sich das Risiko der Auswaschung von Nährstoffen. Allgemein wird mit einer Erhöhung der OBS auch eine Zunahme der biologischen Aktivität assoziiert.

Zu den positiven physikalischen Wirkungen der OBS zählt die Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes im Boden, da es zu einem Anstieg der Porosität kommt. Bei Trockenperioden kann Wasser länger im Boden gehalten werden und andererseits kann bei Starkregenereignissen mehr Wasser im Boden gespeichert werden, wodurch es zu geringeren Schäden durch Erosion kommt. Ein Anstieg der Porosität

bedeutet eine geringere Bodendichte, was wiederum mit einer leichteren und schonenderen Bearbeitbarkeit des Bodens verbunden ist. Außerdem bewirkt die typische dunkle Farbe von organischem Material im Frühjahr eine bessere Erwärmung des Bodens, was viele Pflanzen als Startvorteil nutzen.

1.4 Alternative Kompost - Potential

Die moderne multifunktionale Landwirtschaft erbringt neben der Produktion hochwertiger Nahrungsmittel, zahlreiche weitere Dienstleistungen wie die Produktion erneuerbarer Rohstoffe und Energieträger. Zusätzlich kommt der Landwirtschaft zunehmend die Rolle als „Stoffdrehscheibe“ zu. Organische Reststoffe auch in kompostierter Form werden im Rahmen ihrer Tätigkeiten verwertet und damit in die natürlichen Kreisläufe rückgeführt (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009).
Die Umwandlung biogener Abfälle zum Produkt Kompost kann als Teil einer funktionierenden regionalen Kreislaufwirtschaft betrachtet werden.
Durch Mineraldünger wird dem Boden ein Teil der Nährstoffe ersetzt, welche in Form von Nahrungsmitteln oder über die Verluste von Wasser und Luft entzogen werden. Eine natürliche Rückführung von Stickstoff in den Boden kann jedoch über die Stickstoff-Fixierung von Leguminosen, sowie durch die Luft und Niederschläge erfolgen. Mineraldünger im Fall von Kalium und besonders Phosphor kommen in geologischen Schichten vorwiegend als frühere Meeressedimente vor, die in Minen abgebaut werden. Der Einsatz von Kompost als Düngemittel schont daher die weltweiten Nähr- (vgl. Herter & Külling, 2001) und Rohstoffreserven.

In Österreich wird das jährliche Potential an biogenen Abfällen auf rund 2,2 Millionen Tonnen geschätzt. Davon werden derzeit rund 25 % in zentralen Anlagen erfasst,
40 % werden durch Eigenkompostierung verwertet und 35 % über den Restmüll entsorgt. Hinzu kommt ein weiteres Potential von rund 1,3 Millionen Tonnen Grünabfällen, dass als Strukturmaterial in Anlagen zur Verwertung sonstiger biogener Abfälle, teilweise in reinen Grünabfall-Kompostierungsanlagen oder über die landwirtschaftliche Kompostierung verwertet wird (vgl. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009).

In den letzten Jahren wurden umfangreiche rechtliche Rahmenbedingungen in Form zahlreicher Gesetze und Verordnungen verabschiedet. Dennoch konnten die Widerstände und Vorbehalte gegen die Kompostdüngung im landwirtschaftlichen Bereich nicht ausreichend verringert, sowie die Zahlungsbereitschaft für das Produkt Kompost dementsprechend erhöht werden (Schreiber, 2004, S.29).

Die vorliegende Arbeit versucht, durch einen Wertigkeitsvergleich von Mineraldünger und Kompost die ökologischen und ökonomischen Unterschiede dieser zwei Düngerarten zu veranschaulichen. Dabei wurde versucht, die Problemstellung aus langfristiger Sicht auf regionale und globale Rohstoff- und Warenströme darzustellen.

1. DIE ZENTRALE FUNKTION DES BODENS

Für die Landwirtschaft und letztlich für den Menschen stellt der Boden durch seine Nutzung als Produktionsstätte von Pflanzen eine zentrale Rolle dar. Durch das Wachstum von Pflanzen werden dem Boden Nährstoffe und Spurenelemente entzogen, die durch sachgemäße Düngung dem Boden in ausreichender Form und Vielfalt zurückgegeben werden müssen. Der Boden besitzt dabei die Funktion zur Speicherung, Filterung und Umwandlung von Nährstoffen, sowie anderer Substanzen und Wasser (EU, 2007).
Die organischen Komponenten von Komposten wirken dabei positiv auf chemische und physikalische Bodeneigenschaften. (vgl. Schinner & Sonnleitner, 1996, S.208).

1.1 Bodendefinitionen

„Boden ist Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen und kann in vielerlei Hinsicht als Grundlage menschlichen Handelns sowie sozialer und gesellschaftlicher Organisation angesehen werden“ (WBGU 1994, S.7).

Der Boden bildet ein komplexes, physikalische, chemische und biologisches Systeme, der unter dem Einfluss von Witterung, Bodenorganismen und Vegetation, vor allem aber unter der Hand des wirtschaftenden Menschen ständigen Veränderungen unterworfen ist. Temperatur und Niederschläge als zentrale Klimafaktoren und die Eigenschaften des Bodens stehen in Wechselbeziehung zueinander, womit der Boden eine wichtige Regelungsfunktion einnimmt. Diese Faktoren bestimmen gemeinsam die Vegetation und damit die land- und forstwirtschaftliche Tragfähigkeit der Böden in Form von Nutzungsfunktion und die Vielfalt der Biosphäre als Lebensraumfunktion (vgl. WBGU 1994, S. 41).

Als Standort für höhere Pflanzen ermöglicht der Boden die Grundlage für pflanzliche Primärproduktion, welche durch Photosynthese entstehen, und bildet den Ausgangspunkt der Nahrungskette. Er ist damit Lebensgrundlage für alle Lebewesen auf der Erde (vgl. Besse, 1997, S. 18).

1.2 Bodennutzung:

Böden bilden eine wesentliche Grundlage für menschliches Leben und gesellschaftliche Entwicklung. Die Erde verfügt nur noch über wenige ungenutzte Flächen, da bereits praktisch alle fruchtbaren oder extensiv nutzbaren Areale bewirtschaftet werden. Zwar hat der Mensch zu allen Zeiten die Böden genutzt, kultiviert und versucht den Ertrag zu steigern, sie aber durch Entwaldung, Besiedlung, zunehmende Überweidung, intensive landwirtschaftliche Produktion, Abbau von Rohstoffen, Deponierung von Schadstoffen, Verkehr und Kriege immer stärker geschädigt und zerstört. In Verbindung mit dem anhaltend exponentiellen Wachstum der Weltbevölkerung werden sich die daraus resultierenden Probleme weiter verstärken (vgl. WBGU 1994, S. 4 ff).

1.3 Bodengefährdung:

Böden, als begrenzte und überlebenswichtige aber nur bedingt erneuerbare Ressourcen, sind Gefährdungen ausgesetzt, die primär aus den vielfältigen Nutzungsansprüchen an den Boden resultieren. Durch die intensive (Über-) Nutzung werden zahlreiche Schädigungen seiner natürlichen Funktionen verursacht, was zu einer nachhaltig wirksamen Erschöpfung seiner natürlichen Potentiale führt.
Durch die Pufferkapazität der Böden, ihre Fähigkeit zur Bindung von Schadstoffen und ihres Regenerationsvermögen werden Schädigungen des Bodens häufig erst dann erkannt, wenn sie bereits sehr weit fortgeschritten sind. Die Anzeichen treten nach vielen Jahren des Missbrauchs heute lokal (z.B. Kontamination von Böden in Städten), aber auch regional (z.B. Rückgang der Produktion in der Landwirtschaft) deutlich zutage (EUA 2002, S. 10).

Bereits im Jahr 1862 stellte Frédéric Albert Fallou Folgendes fest: „Eine Nation, die ihre Böden zerstört, zerstört sich selbst (WBB 2002, S. 8).“ Trotzdem findet die Bedrohung der Böden „… in der breiten Öffentlichkeit noch nicht die Beachtung, die dem Grad der Zerstörung unserer Lebensgrundlage angemessen wäre. Ursache dafür sind nicht nur die langsame, wenig spektakuläre Entwicklung der Bodendegradation, sondern vor allem auch der Verlust des Bodenkontaktes der Menschen in der postmodernen Industriegesellschaft (Held 1997, S. 33)“.

1.4 Bodenschutz:

Boden „…bestimmt gemeinsam mit dem Klima den Standort der Vegetation, deren Ausbildung als Wald, Grasland oder Wüste und damit die Nutzbarkeit des Bodens. Das charakterisiert Boden als Ressource, d.h. als nutzbares Naturgut. Da er in seiner Verbreitung an die Erdoberfläche gebunden ist und außerdem eine lange Entwicklungsdauer aufweist, ist Boden ein nicht vermehrbares Naturgut, eine „endliche Ressource“. Aber die Nutzung des Bodens hat im Laufe der Jahrhunderte […] gezeigt, dass seiner Nutzung Grenzen gesetzt sind: Boden kann unsachgemäß und/oder zu intensiv genutzt („übernutzt“) werden, was zur Abnahme seiner Fruchtbarkeit und zu Bodendegradation führt. Boden kann durch Stoffeinträge geschädigt werden, sodass er nicht mehr voll funktionstüchtig ist oder von ihm Gefährdungen für andere Naturgüter, z.B. Wasser oder für die menschliche Gesundheit ausgehen können. Aus diesem Grund ist Boden allmählich im Bewusstsein der Öffentlichkeit zum Schutzgut geworden, d.h. es hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass Boden nicht nur aufgrund seiner Fruchtbarkeit, sondern zugleich als wesentliches Teilglied der Ökosphäre zu erhalten ist.“ (Schmidt 2000, S. 19) Um eine nachhaltige Bewirtschaftung des Bodens und somit auch der Bodenfruchtbarkeit sicherzustellen, ist auf einem sorgsamen Umgang mit dem Boden und insbesondere auf die Humusbildung Rücksicht zu nehmen. Eine bodenschonende Bewirtschaftung ist dementsprechend mit einer nachhaltigen Humusbewirtschaftung verbunden (vgl. unserboden), die eine Anreicherung von organischem Kohlenstoff, jedoch die Vermeidung des Humusabbaus aktiv fördert (vgl. ELSA e.V., 2009).

Komposte aus biogenen Abfällen weisen hohe organische Substanzgehalte auf. Untersuchungen haben gezeigt, dass an mit Kompost versehenen Standorten der organische Substanzgehalt insgesamt sowie auch der Gehalt an humifizierter organischer Substanz gegenüber Kontrollstandorten signifikant zugenommen haben. Als Bodenzusatz bewirkt Kompost einen Rückgang der Bodendichte, die Zunahme des Gesamtporenvolumens und die Erhöhung der Wasserhaltekapazität. Die Applikation von Kompost verbessert, vor allem im Falle schwerer Böden, physikalische Bodeneigenschaften (vgl. Hernando et al., 1998).

2. DER GESUNDE BODEN

Im Folgenden werden die Eigenschaften eines gesunden Bodens beschrieben. Dabei wird die zentrale Rolle der organischen Bodensubstanz (OBS) ersichtlich, welche wiederum Lebensraum einer Vielzahl von Organismen ist. Diese Faktoren sind tragende Säulen der Bodenverbesserung und letztlich für die Bodenfruchtbarkeit entscheidend.

2.1 Bodenbiologie:

Im Boden befindet sich eine enorme Anzahl und Vielfalt an Organismen. Sie übernehmen eine zentrale Aufgabe in der Erhaltung eines „gesunden“ Bodens mit all seinen ökologischen Funktionen. Diese ergeben letztlich die Bodenfruchtbarkeit (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 161).

Unter Bodenorganismen versteht man alle permanent oder zeitweilig auf oder im Boden lebenden Organismen. Die Bodenorganismen können aufgrund ihrer Stellung im Nahrungsnetz drei unterschiedlichen Trophiestufen zugeteilt werden (Scheffer & Schachtschabel et al., 1998):

Saprophage, phytophage und mycophage Primärzersetzer ernähren sich von toter oder lebender organischer Substanz (z. B. Protozoen, Actinomyceten, einige Nematoden, Regenwürmer)

- Koprophage Sekundärzersetzer verwerten die Verdauungsprodukte der Primärzersetzer (z.B. Nematoden, Enchytraeidae)
- Zoophage Räuber (Prädatoren) ernähren sich von anderen Bodentieren und tragen zur Regulation der Beutepopulationen bei (z. B. Spinnen, Maulwurf)

Zumeist erfolgt die Einteilung jedoch anhand ihrer Körpergrößen:

- Mikroorganismen: Bakterien, Actinomyceten, Pilze, Algen und Protozoen
- Mikrofauna (< 0,2 mm): z. B. Geißel- und Wimpertierchen, Wurzelfüßer
- Mesofauna (0,2 – 2 mm): z. B. Rädertiere, Nematoden, Milben, Collembolen
- Makrofauna (2-20 mm): z. B. Ameisen, Spinnen, Käfer(-larven), AsselnMegafauna (>20 mm): z. B. Regenwürmer, Maulwurf, Spinnen

Die nachfolgende Abbildung bietet eine vereinfachte Darstellung des komplexen System Boden und seiner Bewohner.

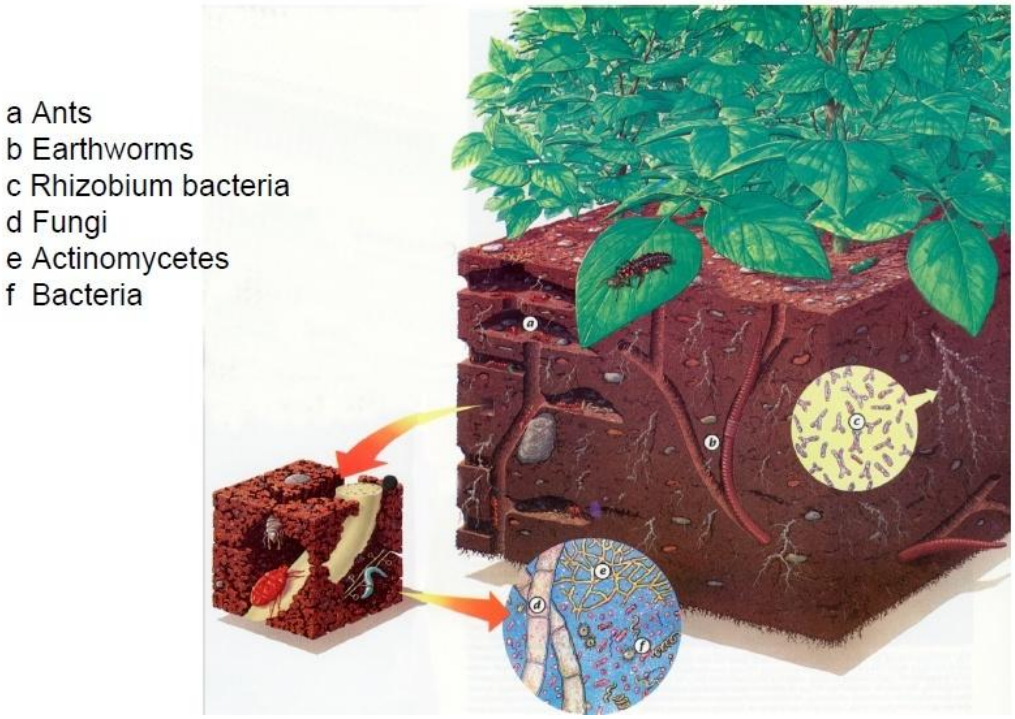

Abbildung 3: Lebensraum Boden - mit vereinfachter Darstellung der Symbiose zw. dem Bakterium Rhizobium und Leguminosen (aus Biolandbau_Klimaschutz_Niggli _29_11_2008, von Reganold et al., 1990)

In Verbindung mit Leguminosen besitzen Rhizobien die Fähigkeit, elementaren Stickstoff zu binden, der von der Pflanze als Nährstoff aufgenommen werden kann. Die Nutzung dieser Symbiose in Kombination mit Kompost, der nur über einen relativ geringen Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff verfügt, kann bei entsprechenden Umweltfaktoren für die Landwirtschaft durchaus lohnend sein.

Etwa 2.500 kg ha^{-1} Bodenorganismen befinden sich in einem gut drainierten, fruchtbaren Boden. Das entspricht etwa 5 Großvieheinheiten oder mindestens der doppelten „Masse“ an Tieren, die auf 1 ha gehalten werden können (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 162).

2.2 Die Funktionen der Bodenorganismen

Bodenorganismen erbringen einen wesentlichen Beitrag zum Um- und Abbau der organischen Substanz und zur Humusbildung. Sie beeinflussen eine Reihe von Bodeneigenschaften (z. B. Nährstoffhaushalt, Bodengefüge), werden aber auch von Bodeneigenschaften beeinflusst. Zudem üben Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz einen großen Einfluss auf die Mengen- und Artenzusammensetzung der Bodenorganismen aus. Den wichtigsten Einflussfaktor stellen jedoch die OBS und die Ausscheidungen von in und auf dem Boden lebenden Organismen dar, da sie als Nahrungsgrundlage für viele Bodenorganismen dienen. Die Schlüsselaufgabe des Bodenlebens ist tatsächlich die Inkorporation dieser Materialien in das Bodensystem und deren Umwandlung sowie deren Beitrag zum Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelkreislauf. Damit ist bereits ein zweiter wesentlicher Aspekt angesprochen: die Freisetzung und Bereitstellung von Pflanzennährstoffen aus primären oder bereits umgeformten organischen Materialien. Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Abbildung skizziert (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 162ff).

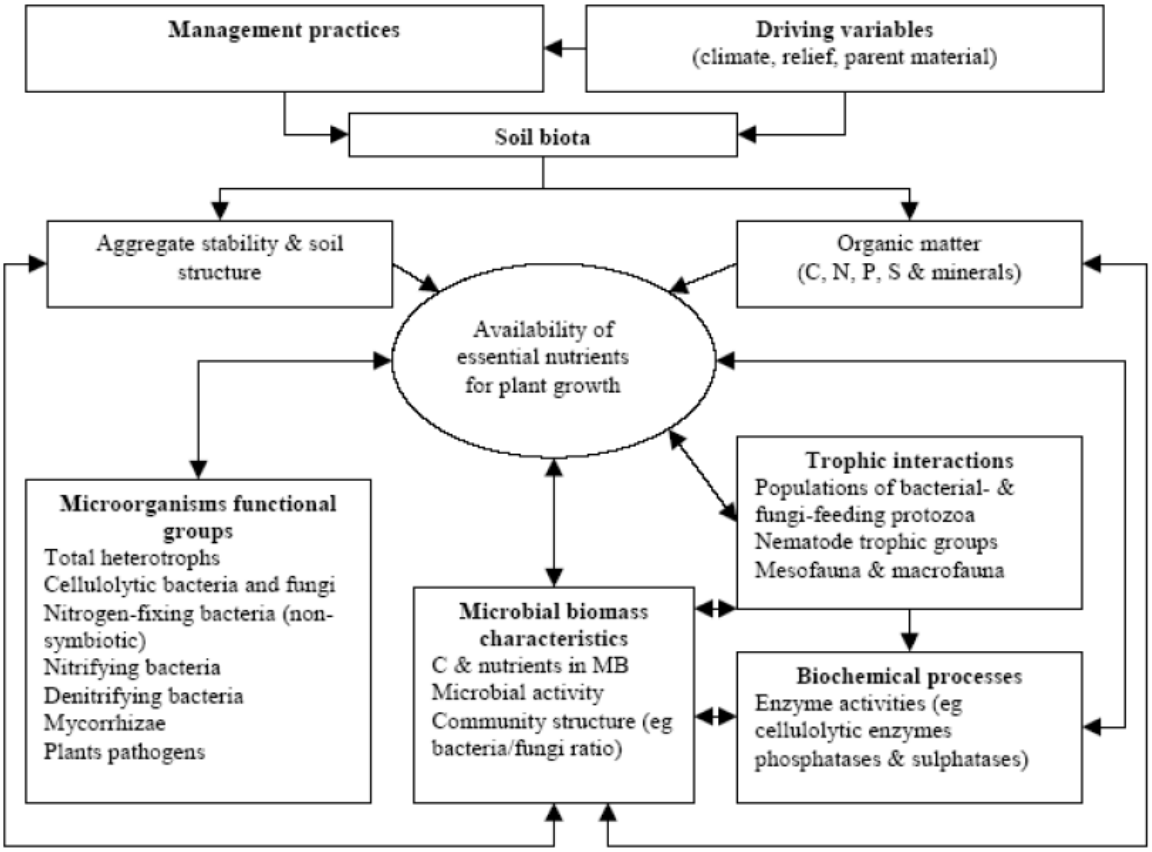

Abbildung 4: Modell der Bereitstellung von Pflanzennährstoffen durch Mikroorganismen und deren Prozesse (aus BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 163, von Van-Camp et al., 2004)

Das im Zuge des biologischen Abbaus freigesetzte und in Wasser gelöste CO_2 bewirkt die Bildung einer schwachen Kohlensäure. Diese führt zur Verwitterung von Primärmineralien und weiter zur Freisetzung von Nährstoffen. Im Kohlenstoffkreislauf bewirken die Bodenorganismen, dass der Kohlenstoff als Bestandteil des organischen C-pools dem Boden erhalten bleibt.

Das Bodenleben spielt hier die Schlüsselrolle für das „Funktionieren“ des Bodensystems. Diese Aufgabe kann von Mikroorganismen jedoch nur dann erledigt werden, wenn ausreichend verfügbare Kohlenstoffquellen anwesende sind.

Sollte über Pflanzenrückstände und Organismen (und deren Ausscheidungen) zu wenig Kohlenstoff zur Verfügung steht, muss zur Erhaltung des Systems externe organische Substanz (Wirtschaftsdünger, Kompost mit der Klasse A, A+) in ausreichender Menge zugeführt werden (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 163ff), da andernfalls eine rapide Verarmung des Boden an organischen Stoffen eintreten würde (Lechner et al., 2005, S. 114). Dies bedeuten eine Verminderung der Biodiversität

im Ökosystem Boden, was letztlich eine Verschlechterung der Bodenfruchtbarkeit zur Folge hat.

2.3 Die organische Bodensubstanz und ihre Bedeutung für die Bodeneigenschaften:

Als organische Substanz werden die Bodenbestandteile bezeichnet, die einen belebten Ursprung haben. Die organische Bodensubstanz (OBS) besteht aus lebenden Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen (= Edaphon) sowie abgestorbene und umgewandelte Reste von Pflanzen und Tieren. Humus (lat. = feuchter, fruchtbarer Boden) bezeichnet die Gesamtheit dieser abgestorbenen, umgewandelten und neu synthetisierten organischen Substanzen und macht mit etwa 85% (siehe Abbildung 3) den Hauptanteil der organischen Substanz des Boden aus. (vgl. http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/03.htm , 21.11.2009

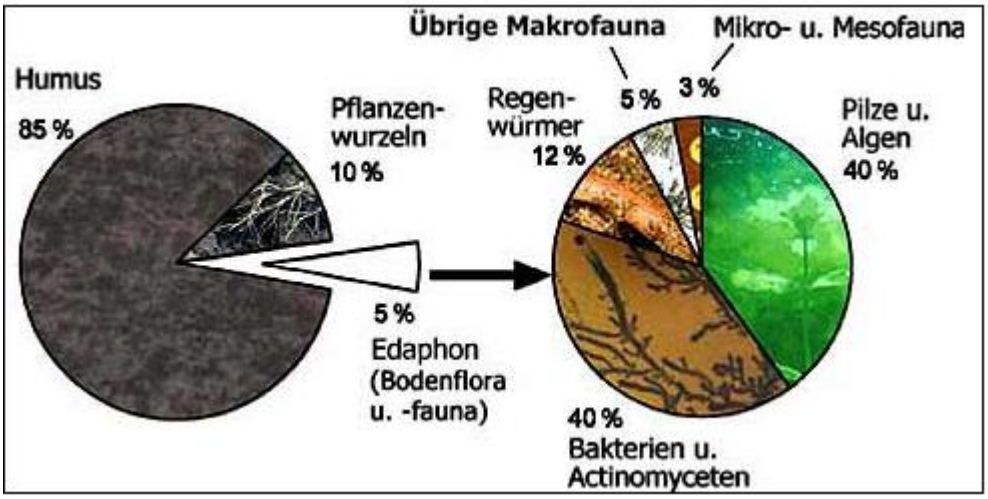

Abbildung 5: Zusammensetzung der organischen Substanz eines Grünlandbodens in Gewichts-% der Trockensubstanz; verändert nach: Schroeder D. (1992), S. 36, aus http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/03.htm; 21.11.2009);

Schon seit langer Zeit wird die Zufuhr organischen Materials in Böden die unter Nutzung stehen als wichtig für die Erhaltung der Qualität von Böden erachtet. Primär wegen der Rolle als Lieferant für Nährstoffe und zusätzlich durch den Einfluss auf die biologischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens.

Noch vor der Einführung von künstlich hergestellten Düngern (Mineraldünger) waren in der Landwirtschaft organische Rückstände die einzige Möglichkeit, den Boden mit Nährstoffen, und hier besonders Stickstoff, zu versorgen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich in nicht kultivierten Böden mehr als 95% des Stickstoffs und des Schwefels und ca. 25% des Phosphors in der OBS befindet.
Nach dem Aufkommen des Kunstdüngers und dem darauf Folgendem breiten Einsatz in der Landwirtschaft nahmen organischen Rückständen als Quelle von Nährstoffen für das Wachstum von Pflanzen ab. Es gibt jedoch grundlegende Unterschiede zwischen organischen und anorganischen Nährstoffquellen. Insbesondere enthalten organische Nährstoffquellen oft einen beträchtlichen Pool von sich nur relativ langsam abbauenden Substanzen. Die Freisetzung von Nährstoffen aus diesem „langsam freisetzenden Pool“ ist zum einen sehr unbeständig und wird durch die Art der organischen Substanzen und die Bedingungen, die im Boden vorherrschen, bestimmt. Niedrige Massenverhältnisse von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N) und Kohlenstoff zu Phosphor (C/P) resultieren bei organischen Düngern oft in einer schnelleren Freisetzungsrate von diesen organischen Quellen. Die organische Substanz der Böden kann dagegen auch bei engen Kohlenstoff-/ Nährstoffverhältnissen sehr stabil sein.
Im Besonderen aus der biologischen Landwirtschaftsbewegung verbreitete sich die Erkenntnis, dass die OBS eine wichtige Rolle für die Erhaltung der Bodenqualität spielt und dass der Boden ohne einen ausreichenden Gehalt von OBS seine natürlichen Schutz- und Produktionsfunktionen nicht optimal erfüllen kann. In den letzten Jahren wurde auch erkannt, dass der Boden ein wichtiges Speichermedium für Kohlenstoff im globalen Kohlenstoffzyklus ist, und dass es möglicherweise einen bedeutenden Einfluss auf den globalen Kohlenstoffhaushalt hat, ob der Kohlenstoffgehalt in Böden gleich gehalten oder erhöht wird.

Die OBS erfüllt im Boden eine Vielzahl an wichtigen Rollen und Aufgaben, die zu einer nachhaltigen Bodenverbesserung und der damit verbundenen Bodenfruchtbarkeit beiträgt.

Tabelle 1 listet in veränderter Form auf Stevenson (1994) basieren, einige weitere positive Wirkungen für den Boden auf, die der OBS zugesprochen werden (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 25ff).

Tabelle 1: Die Rolle der organischen Substanz im Boden (aus Amlinger et al, 2006, S. 163, nach Stevenson, 1994)

Eigenschaft	Bemerkungen	Effekte auf den Boden
Farbe	Die typische dunkle Farbe vieler Böden ist oft durch organische Materialien hervorgerufen.	Kann die Erwärmung im Frühling fördern.
Biodiversität	Die organische Fraktion im Boden als Futterquelle für verschiedene Organismenarten. Die Zusammensetzung und Verteilung der organischen Materialien spiegelt sich in der Zusammensetzung der Bodenorganismen wieder.	Viele Funktionen der OBS stehen in Beziehung zu den Aktivitäten von Flora und Fauna.
Wasserhaltevermögen	Die organische Substanz hat eine Wasserhaltefähigkeit bis zum 20-fachen ihres Gewichts.	Beugt Austrocknung und Schrumpfung vor. Kann in sandigen Böden eine signifikante Verbesserung des Feuchtehaushalts bringen.
Kombination mit Tonmineralien	Baut Bodenpartikel in Struktureinheiten (Aggregaten) ein.	Ermöglicht Gasaustausch; stabilisiert die Struktur; erhöht die Durchlässigkeit.
Reduktion der Dichte mineralischer Böden	Organische Materialien haben in der Regel eine geringe Dichte, folglich „verdünnen“ sie Mineralböden.	Geringere Bodendichte geht mit einem Anstieg der Porosität einher (wegen der Interaktionen zwischen organischen und anorganischen Fraktionen).
Komplex- bzw. Chelatbildung	Bildet mit Cu2+, Mn2+ und Zn2+ und anderen polyvalenten Kationen stabile Komplexe.	Kann die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen für höhere Pflanzen erhöhen.
Wasserlöslichkeit	Organische Substanz auf Grund ihrer Verbindung mit Tonen unlösbar; ebenfalls Salze zwei- und dreiwertiger Kationen mit organischer Substanz. Isoliertes organisches Material teilweise wasserlöslich.	Verringerung der Auswaschungsverluste.
Pufferkapazität	Organische Substanz puffert in schwach sauren, neutralen und alkalischen Bereichen.	Hilft gleichmäßige Bodenreaktion aufrechtzuerhalten.
Kationenaustauschkapazität (KAK)	Gesamtsäuregehalt isolierter Fraktionen von organischem Material reicht von 33 bis 1400 cmolc kg^{-1}.	Kann KAK des Bodens erhöhen. 20 bis 70 % der KAK vieler Böden stehen in Verbindung zur Organi-

		schen Substanz.
Mineralisation	Beim Abbau organischer Substanz entsteht CO_2, NH_4^-, NO_3^-, PO_3^{4-} und SO_2^{4-}	Nahrungsquelle für Pflanzenwachstum.
Stabilisierung und Abbau von organischen Verunreinigungen	Stabilisierung organischer Verunreinigungen in Humussubstanz (einschließlich flüchtiger organischer Bestandteile).	Stabilität hängt von Persistenz des Bodenhumus und der Erhaltung bzw. dem Anstieg des C-pools im Boden ab.

Dem Kompost wird neben der Nährstoffwirkung auch eine Pflanzenschutzwirkung zugesprochen. In verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Kompost den Krankheitsbefall der Pflanzen vermindern kann. Diese Eigenschaft wird als Suppressivität (Krankheitsunterdrückung) bezeichnet. Im Gemüse- und Gartenbau ist sie wegen der dort angewandten höheren Kompostgaben besonders deutlich zum Ausdruck gekommen (Herter & Külling, 2001).

2.4 Einfluss von Art und Menge an organischer Bodensubstanz - C/N-Verhältnis

Die organische Bodensubstanz stellt das Substrat der mikrobiellen Aktivität dar. Humusreiche Böden sind in der Regel aktiver, da Umsetzungsprozesse wie N-Mineralisierung mit höheren Raten ablaufen (Rowell, 1997). Die Mineralisierung umso größer je enger das C/N-Verhältnis des betrachteten Materials ist. Beispielsweise wird Leguminosenstroh (C/N = 15 – 25) schneller, Getreidestroh langsamer (C/N = 50 - 100) mineralisiert. Organische Abfälle und leicht zersetzbare biologische Materialien (Pflanzenrückstände, abgestorbene mikrobielle Biomasse usw.) sind dabei separat von Böden und deren Bodenhumusbestandteilen zu betrachten (C/N-Verhältnis von Schwarzerden und Mullrendzinen: 10-12; Podsole: 30-40; Niedermoor: 15-30). Frisch zugesetzte pflanzliche Materialien werden etwa 7-mal schneller umgesetzt als bodeneigene organische Substanz (Shen et al., 1989, vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 34).

3. BODEN UND PFLANZENERNÄHRUNG

3.1 Pflanzennährstoffe und Düngerarten:

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Pflanzennährstoffe und ihrer Düngerform gegeben.

Für gesundes und ausreichendes Wachstum der Pflanze bezieht diese die erforderlichen Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Schwefel, Magnesium und einer Reihe essentieller Spurenelementen fast ausschließlich aus dem Boden. Dabei sollte der fortlaufende Entzug dieser Elemente, Aufgrund der stattfindenden Abfuhr von Ernteprodukten, dem Boden in dem entsprechender Menge und Vielfallt wieder zugeführt werden (BMLFUW, 2006, S. 3), worüber eine vorhergehende Bodenuntersuchung Auskunft gibt.

Im Wesentlichen kann die Düngung über organischen Dünger oder Mineraldünger erfolgen. Die nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick der gebräuchlichsten Düngerarten.

Tabelle 2: Überblick organischer Dünger vs. Mineraldünger, eigene Darstellung

Organischer Dünger:	Mineraldünger:
• Herstellung aus pflanzlichen und tierischen Abfällen • Nährstoffe liegen hauptsächlich in organisch gebundener Form vor und müssen zuvor durch Bodenorganismen (=Mineralisierung) für die Pflanze verfügbar gemacht werden	• Herstellung Großteils aus fossilen Rohstoffen. • Nährstoffe liegen in Form leicht löslicher und rasch verfügbarer Salze in Form von Ionen vor
• Wirtschaftsdünger: Stallmist, Stallmistkompost, Jauche und Gülle • Sekundärrohstoffdünger: Biotonnen- und Klärschlammkompost • Stroh- und Gründüngung	• Diverse im Handel erhältliche Mineraldünger: Kalkammonsalpeter (27% N), Hyperkorn (26% P_2O_5), Kali (60% K_2O), etc.

Von der Pflanze werden die Hauptnährstoffe in ionischer Form aufgenommen. So wird etwa Stickstoff hauptsächlich als Ammonium (NH_4^+) oder Nitrat (NO_3^-), Phosphor als Phosphat, Kalium als K-Kation, Schwefel als Sulfat und Calcium sowie Magnesium in Form der entsprechenden Kationen aufgenommen. In der Bodenlösung liegen die Nährstoffe in genannter Form vor. In Düngemittel sind diese größtenteils bereits in pflanzenaufnehmbarer Form enthalten, wobei die chemische Reaktion zur Bildung der entsprechenden Verbindung auch erst im Boden stattfinden kann (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 124).

3.1.1 Bedeutung von Stickstoff für Pflanzen

Stickstoff ist für die Pflanzenernährung in beträchtlichem Maße zum Aufbau der Aminosäuren und Proteine, der Nukleinsäuren, sowie zur Chlorophyll-Synthese lebensnotwendig. Die meisten Kulturpflanzen können ohne Zufuhr von Stickstoff nicht existieren und reagieren bei Mangel in Form niedriger Erträge und qualitativ minderwertiger Ernteprodukte. Einzig die Leguminosen sind in Symbiose mit speziellen Bodenbakterien in der Lage, atmosphärischen Stickstoff zu fixieren, der durch mikrobiell gesteuerte Stickstoff-Transformationsprozesse (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 126) letztendlich in die pflanzenverfügbare Form umgewandelt wird.
Während das Ammonium-Ion sorptiv an den Ton-Humus-Komplex des Bodens gebunden werden kann, befindet sich das Nitrat-Anion immer in der Bodenlösung. Dieses Verhalten macht Nitrat gegenüber Auswaschung und Verlagerung in wurzelferne, tiefere Bodenschichten anfällig. Bei Wassersättigung des Bodens in Verbindung mit zu hohen Nitratgehalten, die von der Pflanze nicht aufgenommen werden können, wird das Nitrat mit der Bodenlösung in tiefere Bodenschichten transportiert (Leaching) und steht letztlich der Pflanze nicht mehr zur Verfügung. Dadurch kann ungenutztes Nitrat bis in die Grundwasser führenden Bodenschichten gelangen und diese kontaminieren. Um diese Umweltschädigenden Auswirkungen zu reduzieren oder gänzlich zu vermeiden ist es Notwendig die erforderliche Nitratmenge im Boden an den Bedarf der Pflanze dementsprechend anzupassen (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 126ff).

3.1.2 Bedeutung von Phosphor für Pflanzen

Die Pflanze benötigt Phosphatverbindungen für ihren Energietransfer in Form von Adenosindi- und triphosphat in vielen biochemischen Reaktionen. Des Weiteren ist Phosphor Bestandteil der Nukleinsäure, die ihrerseits die Proteinsynthese steuert und damit für die Pflanze lebensnotwendig ist (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 129). In der Pflanze ist Phosphor für die Keimung, Bestockung, Wurzelausbildung, Rohproteingehalt und N-Bindung bei den Leguminosen wichtig. Phosphat aus Wirtschaftsdüngern wird über den Kot ausgeschieden und liegt zu 60 bis 80 % als wasserlösliches, anorganisches Phosphat vor, wodurch die Verfügbarkeit dem Phosphat aus Mineraldüngern gleichkommt. Der Rest ist organisch gebunden (Phytin-Phosphat), welches im Boden auch mikrobiell abgebaut wird, sodass langfristig mit einer 100%igen P-Ausnutzung der Wirtschaftsdünger gerechnet werden kann (vgl. BMLFUW, o.J., b).

Phosphor kommt im Boden in drei Formen vor: in gelöster Form, an Bodenteilchen labil gebunden und stabil, weitestgehend unlöslich und für die Pflanze nicht nutzbar. Durch die Aufnahme von gelöstem P durch die Pflanze, kann je nach Bodeneigenschaften labiles nicht gelöstes Phosphat im Zuge der Einstellung eines chemischen Gleichgewichtes in Lösung gehen. Dabei sind Bodenphosphate im Bereich von pH-Werten von 5,5 bis 7,0 am besten löslich. Kalk sowie organische Substanzen (so genannter Humateffekt) kann die Verfügbarkeit von Phosphor positiv beeinflussen.

Eine weitere Besonderheit des Bodenphosphors ist seine geringe Beweglichkeit. Pflanzenwurzeln können nämlich nur bis zu einer Entfernung von 1 bis 2 Millimetern um die Wurzeln herum gelöstes Phosphat aufnehmen (Gesunde Pflanzen, 2009, S. 55).

3.1.3 Bedeutung von Kali für Pflanzen

Kalium selbst ist kein Baustein für die Pflanze wie Stickstoff und Phosphor und doch erfüllte es unverzichtbare Aufgaben. Es ist als Kalium-Kation (K^+) ein wesentlicher Bestandteil von Zellflüssigkeiten, steuert Transportvorgänge von Stärke und Zucker, ist an Zellvorgängen bei der Proteinsynthese beteiligt und aktiviert Enzyme (UNIDO, 1998, S. 35). K^+-Kationen sind in den Pflanzen daher sehr mobil. Sie gelangen durch

Verwitterung von K-haltigen Mineralien und Ionenaustausch in die Bodenlösung und sind darüber hinaus sorptiv an den Ton-Humus-Komplex des Bodens gebunden. Kalium kann in Böden mit geringem Tonanteil ausgewaschen werden oder aber in tonreichen Böden an Tonschichten fixiert werden, wodurch eine jährliche Düngung mit Kaliumsalzen effektiver als große gelegentliche Kaliumgaben sind (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 132).

3.2 Boden und Düngung mit Kompost

Bei der Düngung mit Kompost stehen neben der Versorgung der Pflanzen mit ausreichenden Mengen an Nährstoffen zwei weitere Hauptziele der Bodenverbesserung im Mittelpunkt. Zum einen soll eine möglichst gute Humusversorgung durch die Zufuhr an stabilen Humusformen erreicht werden, wodurch ein Beitrag zur Humusreproduktion geleistet wird, und zum anderen soll durch eine ausreichende Zufuhr an basisch wirksamen Substanzen die Kalkversorgung sichergestellt werden (vgl. BMLFUW, Amlinger al et, 2006, S. 20).

In der nachfolgenden Übersicht aus der Broschüre „Organische Düngung“, herausgegeben von der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK, 2005), sind die mit einer regelmäßigen Kompostdüngung verbundenen Verbesserungen dargestellt.

Abbildung 6: Die Vielfältigen den Boden und die Bodenfunktion verbessernden Effekte der Kompostanwendung (aus BGK, 2005)

Der potentiell erzielbare Nutzeffekt der Erhaltung oder Anreicherung von Humus kann jedoch aufgrund vorgegebener Nährstoffgrenzwerte (Grundwasser- und Gewässerschutz) bei vorgegebenen maximalen Kompost-Aufwandmengen nicht vollkommen erzielt werden vgl. BMLFUW, Amlinger al et, 2006, S. 12). Von einer langfristig bodenverbessernden Wirkung durch Kompostgaben kann jedoch ausgegangen werden. Die Schwierigkeit besteht jedoch darin, dass für eine fundierte wissenschaftliche Beurteilung bislang zu wenig langfristige Untersuchungen durchgeführt und ausreichend diskutiert wurden (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 10).

3.3 Nährstoffwirkung von Kompost

Längerfristige Kompostwirtschaft führt zur Anhebung des gesamten und verfügbaren Gehaltes an Hauptnährstoffen (Phosphor, Kalium, Magnesium) sowie Kalk im Boden. Bei einer Kompostausbringung von jährlich 6 – 10 t TM $ha^{-1}a^{-1}$ wird eine Fracht von 60 - 80 kg/ha P_2O_5 sowie von 110 - 130 kg/ha K_2O ausgebracht. Während die Aufnahme durch die Ernteprodukte maximal 10 % der Versorgung beträgt, kommt es zu einer deutlichen Erhöhung des pflanzenverfügbaren löslichen Pools im Boden. Durch

die Versorgung mit Kompost erhöht sich dieser Anteil bei Phosphor auf 25 - 40 % und bei Kalium auf 35 - 50 %. Dabei besteht eine relativ gute Korrelation zwischen der Nährstoffversorgung durch Kompost und dem pflanzenverfügbaren Pool im Boden. Kommerzielle Dünger besitzen auch keine Düngereffizienz von 100 %. Die Effizienz von Phosphordüngern liegt im Jahr der Anwendung lediglich bei 15 - 20 %, die von Kalidüngern bei 50 - 60 %. Unter Beachtung dieser Tatsache kann die gesamte Düngereffizienz der Kompostdüngung mit 30 - 50 % für die Phosphorversorgung und mit 40 - 60 % für die Kaliversorgung als hoch angenommen werden (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 86).

4. PRODUKTION - VERBRAUCH VON DÜNGEMITTEL UND SUBSTITUTIONSPOTENTIAL DURCH KOMPOST

4.1 Stickstoff:

Wie schon einleitend erwähnt kann das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese aus zweierlei Gründen als der wichtigste Prozess der gesamten Düngemittelindustrie bezeichnet werden. Das Haber-Bosch-Verfahren ist der grundlegende Prozess der Massenproduktion von Düngemitteln mit dem wichtigsten Nährstoff, Stickstoff. Und schließlich ist die Ammoniaksynthese der energieaufwendigste Prozessschritt in der Massenproduktion von Düngemitteln (vgl. Patyk & Reinhardt, 1997, S. 21).

4.1.1 Exkurs - technische und biologische Fixierung von Stickstoff:

Technische Stickstofffixierung:

Die Produktion von Stickstoffdüngemittel, ist fast ausschließlich von fossilen Energieträgern abhängig. Das zumeist verwendete Erdgas besteht fast vorwiegend aus der Hauptkomponente Methan, das als Lieferant von Wasserstoff für die Synthese zu Ammoniak wichtig ist (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 148). Zwar hat sich im Laufe der Zeit die Produktionseffizienz bei der Herstellung von Ammoniak wesentlich verbessert, doch werden für die Produktion von 1 kg Stickstoffdünger ca. 40000 kJ Energie verbraucht, was dem Heizwert von ca. 1 kg Öl entspricht (Fink, 1992).

Ammoniak (NH_3) ist das wichtigste Ausgangsprodukt bei der industriellen Herstellung von Stickstoffdüngemitteln. Es wird durch das Zusammenführen von Stickstoff (N) und Wasserstoff (H) hergestellt. Der Prozess der Dampfreformierung, bei dem Wasserstoff durch Erdgas gewonnen wird, ist derzeit die effizienteste und wirtschaftlichste Produktionsweise, auf deren Basis im Jahr 2000 rund 77% der weltweiten Ammoniakherstellung beruhten. Stickstoff wird der Luft, die zu 69% aus Stickstoff besteht, entnommen. Wasserstoff wird aus fossilen Rohstoffen, wie z.B. Erdgas, Kohle, Naphta (Rohbenzin) oder anderen Erdölfraktionen gewonnen, die gewöhnlich auch als Energiequelle im Produktionsprozess dienen (Hannemann, 2000, S. 132-133).

Für die Ammoniaksynthese wird Wasserstoff bei etwa 800°C heute zumeist aus Methan gewonnen. Stickstoff, der relativ Reaktionsträge ist, wird in großen Hochdruckreaktoren bei einem Druck von etwa 200 bar und einer Temperatur von 450°C, in Gegenwart eines Katalysators, mit Wasserstoff in den Teilen 1 zu 3 zu Ammoniak umgewandelt (http://www.ammoniaksynthese.de, 8.11.2009)

Biologische Stickstofffixierung:

In Verbindung mit Leguminosen besitzen Rhizobien die Fähigkeit, elementaren Stickstoff zu binden, der von der Pflanze als Nährstoff aufgenommen werden kann.

Die Nutzung dieser Symbiose in Kombination mit Kompost, der nur über einen relativ geringen Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff verfügt, kann bei entsprechenden Umweltfaktoren für die Landwirtschaft durchaus lohnend sein.

(Reineke & Schlömann, 2007, S. 218ff) erklärten das symbiontische Systeme mit hohen Stickstoff-Fixierungsraten. Ermöglicht wird dies durch die effektive Versorgung der Bakterien mit organischen Substraten durch den Wirt. Die Bakterien (Rhizobien et cetera) befinden sich dabei als ungleichmäßig geformten Bacteroide innerhalb der Cytoplasmamembran der Pflanzenzellen und bilden so die sichtbaren Wurzelknöllchen.

Das für die Stickstofffixierung benötigte Enzym Nitrogenase wird von den Bacteroiden synthetisiert. Zugleich versorgt die Pflanze die Bacteroiden vor allem mit organischen Säuren. Das gebildete Ammonium geben die Bacteroiden an das sie umgebende Cytoplasma ab, in welchem die Aminosäuresynthese erfolgt.

Distickstoff (N_2) ist ein sehr stabiles Molekül, für dessen Reduktion eine hohe Aktivierungsenergie erforderlich ist. Die Bereitstellung der Reduktionskraft ist dem Fixierungsprozess vorgeschaltet. Bei diesem Prozess werden zunächst Elektronen auf die Nitrogenase-Reduktase übertragen. Für diesen Energieaufwändigen ATP-abhängigen Prozess, kommt es durch weiteren Elektronentransfer auf die Nitrogenase zur Bildung eines hochreduzierendem Reaktionssystems. Am dabei gebildeten Eisen-Molybdän-Cofaktor (FeMo-Co), erfolgt die N_2 Bindung und die schrittweise Reduktion zu Ammonium.

Die Reaktion ist sehr energieaufwändig. So werden zur Reduktion von N_2 16 Moleküle ATP benötigt. Damit ist für die Reduktion von einem Mol N_2 etwa ein Mol Glucose notwendig. Anders gesagt werden für die Generierung von 28g Stickstoff etwa 180g Glucose benötigt. Die Gesamtreaktion lautet:

$$\mathbf{N_2 + 8\ H^+ + 8\ e^- + 16\ ATP \longrightarrow 2\ NH_3 + H_2 + 16\ ADP + 16\ P_i}$$

Tabelle 3 listet die Stickstoff-Bindungsleistung unterschiedlicher Leguminosen-Gewächse auf.

Tabelle 3: Bereich der N_2-Bindungsleistung von Erbse, Ackerbohne, Sojabohne, Lupinie, Futterleguminosen und Zwischenfrucht-Begrünung (aus http://www.heffterhof.at/img/Umweltgespraeche/liebhard.pdf, 4.12.2009)

Leguminosen:	Autor:	N_2-Fixierung [kg N ha^{-1}]
Erbse	Baeumer, 1984	150 – 210
	Heichel, 1987	53 – 97
	Jensen, 1996	27 – 215
	Schmidtke, 1997	33 – 162
	Vosin, 2002	0 - 238
Ackerblume	Hauser, 1987	102 – 318
	Carranca, 1999	55 – 122
	Killian, 2000	200 – 360
	Seibersdorf - Österreich	125 – 145
Sojabohne	Weber, 1966	20 – 120
	Liebhard, 1979	0 – 120
	Heichel, 1987	55 - 161
Lupinie	Haynes, 1993	111 – 126
	Heuwinkel, 1997	183 – 282
	Peoples, 2001	87 – 336
Rotklee	Heichel, 1987	69 – 113
	Hess & Mayer, 1997	200 – 350
Luzerne	Heichel, 1987	0 – 324
Zwischenfrucht – Begrünung	Liebhard & Kaimbacher, 2007	10 - 85

4.1.2 Ammoniakherstellung weltweit

Weltweit werden über 85% des produzierten Ammoniaks zur Herstellung von Stickstoffdüngern verwendet, wovon allein 45 % der Welt-NH3-Produktion zur Harnstoffsynthese eingesetzt werden (Hannemann, 2000, S. 132). Für die Düngemittelindustrie von Bedeutung ist des Weiteren die Umwandlung von Ammoniak zu Salpetersäure. Neben Harnstoff sind heute Ammonnitrat und ammonnitrathaltige Dünger die meist verbreiteten Stickstoffdünger. Wegen seines Schwefelgehaltes hat Ammonsulfat in den letzten Jahren wieder eine größere Bedeutung erhalten. Ammoniumphosphate sind als NP-Dünger oder unter Zusatz von Kaliumsalzen im Sortiment der Mehrnährstoffdünger enthalten (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 148). Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Übersicht der Erzeugung der wichtigsten Mineraldünger. Dabei ersichtlich ist die bedeutende Rolle von Ammoniak, aus dem in weiterer Folge eine Reihe wichtiger Dünger entstehen.

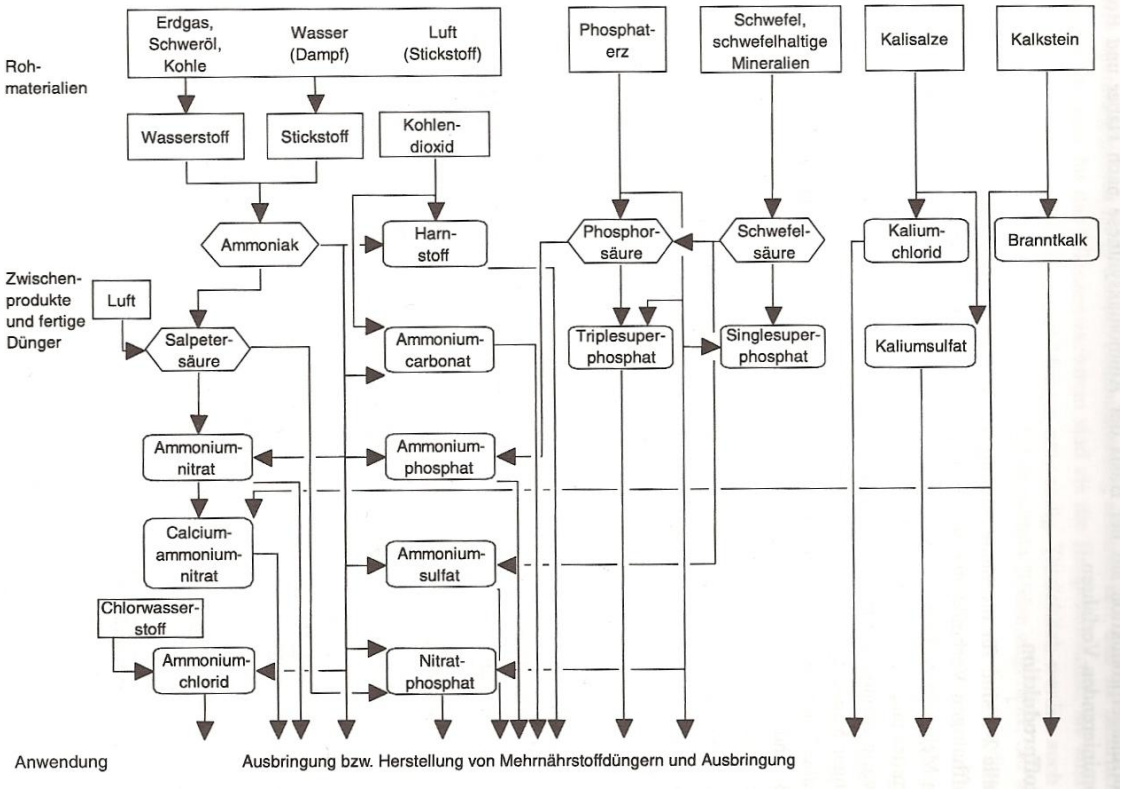

Abbildung 7: Übersicht über Rohstoffe, Zwischenprodukte und Produktionsprozesse gebräuchlicher Mineraldünger mit den Hauptnährstoffen Stickstoff, Phosphor, Kalium und Calcium nach Mudahar, 1987

In den letzten Jahrzehnten haben sich die regionalen Schwerpunkte für Produktion, Betrieb und Anwendung der stickstoffhaltigen Düngemittel verlagert. Bis in die siebziger Jahre waren die Produktionskapazitäten auf Westeuropa, USA und die ehemalige UdSSR konzentriert (http://www.ammoniaksynthese.de/e1.html, 20.10.2009). Dabei spiele neben der Energie-, vor Allem die Erdgasabhängigkeit bei der Produktion eine Rolle. So führte ein Verbrauchsanstieg in den Entwicklungsländern zu einer Verlagerung der N-Produktion aus Westeuropa in die Karibik, den Mittleren Osten und insbesondere China (Hannemann, 2000, S. 254). Heute werden neue Anlagen vorzugsweise in Regionen mit hohem Eigenbedarf oder großen, anders kaum nutzbaren Erdgasvorkommen gebaut. So verbraucht z. B. China inzwischen zirka 22 Millionen Tonnen Stickstoff, das entspricht 28 Prozent der Weltproduktion. Der Anteil Europas ist gleichzeitig auf 16 Prozent abgesunken. (http://www.ammoniaksynthese.de/e1.html, 20.10.2009)

4.2 Phosphat

Im Jahr 2007 wurden weltweit 156 Millionen Tonnen Phosphor abgebaut. An Rohphosphat stehen ökonomisch abbauwürdig 18 Milliarden Tonnen zur Verfügung, womit nach unterschiedlichen Berechnungen die Vorräte für etwa 90 bis 120 Jahren ausreichen.

Die aufstrebenden Schwellenländer Indien und vor allem China, mit derzeit ca. 58 % weltweit größte Verbraucher von Rohphosphat, spielen am gegenwärtigen Welt-Düngermarkt eine wesentliche Rolle. Der Bedarf steigt derzeit jährlich um 3,7 %. Europa hat einen Verbraucht von 9 % mit leicht sinkender Tendenz (H & K, 2009). In Österreich wurden im Wirtschaftsjahr 2008/2009 rund 17.500 t Phosphor (P_2O_5) verkauft, was eine deutliche Verringerung zum Wirtschaftsjahr 1998/1999 bedeutet, in dem noch gut das Dreifache abgesetzt wurden.

Lagerstätten für das derzeit genutzte cadmiumarme Phosphat gehen deutlich schneller zur Neige. Das Schließen von Phosphatkreisläufen ist daher nicht nur wegen des Bodenschutzes, sondern v. a. auch wegen der langfristigen Versorgungssicherheit der Landwirtschaft von elementarer Bedeutung. Pflanzennährstoffe begrenzen die

Nahrungsmittelproduktion absolut. Preise für Phosphat werden daher mittelfristig steigen (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 56).

Vor allem problematisch sind Rohphosphate, die das toxische Radionuklid Uran enthalten, dass auch später im Düngemittel nachgewiesen werden kann. Uran ist ein toxisches Schwermetall und als radioaktiver Alpha-Strahler eine Gefahr für die Gesundheit und Umwelt. Durch die hohe Affinität von Uran zu Phosphor, konnte bei Rohphosphat ein Urangehalt von 13 - 75 mg/kg und nach der Weiterverarbeitung zu Super- oder Triple-Superphosphat sogar eine Anreicherung auf 85 - 191 mg/kg festgestellt werden. Vergleichsweise niedrige Werte weisen hingegen organische Dünger wie Mist und Gülle auf, die teilweise unter 2 mg/kg Uran enthalten.

Die Autoren gehen davon aus, dass bei einer üblichen Phosphor-Düngung von 22 kg/ha zugleich auch etwa 10 - 22 Gramm Uran pro Hektar auf den Acker ausgebracht werden.

Eine Anreicherung von Uran im Boden ist daher bei der Verwendung von mineralischem Phosphor-Düngemittel unumgänglich. Eine mögliche Folge steigender Urangehalte im Boden ist eine Anreicherung in Pflanzen und der damit verbundene Eintritt in die Nahrungskette. Durch Wirtschaftsdünger gelangen hingeben nur Urangehalte in Höhe der zuvor entnommenen Austräge auf die Böden zurück, womit diese einen entscheidenden Vorteil gegenüber der Phosphorvariante in Mineraldüngern bieten (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 2005).

4.3 Kali:

Kaliumdüngemittel und auch Magnesiumdünger entstehen durch die Aufarbeitung von bergmännisch gefördertem Kali-oder Kalium-Magnesiumsalzen. Nur wenige Länder verfügen über Kalisalz-Lagerstätten. Zur Kaliförderung entstand in enger Beziehung ein technisch-technologisches Umfeld, sowie aus infrastruktureller Hinsicht eine hochentwickelte Kaliindustrie. Somit stellen Kali- und Phosphordünger weltweit gehandelte Mineraldünger dar (Jasche K. & Niclas H.-J., 2005, S. 147).

4.4 Weltweiter Verbrauch an Hauptnährstoffen

Die nachfolgende Graphik zeigt den weltweiten Verbrauch der drei wichtigsten Hauptnährstoffe zwischen den Jahren 2006/7 bis 2008/9. Deutlich zu erkennen ist hier der bedeutende Verbrauch der aufstrebenden Länder China und Indien.

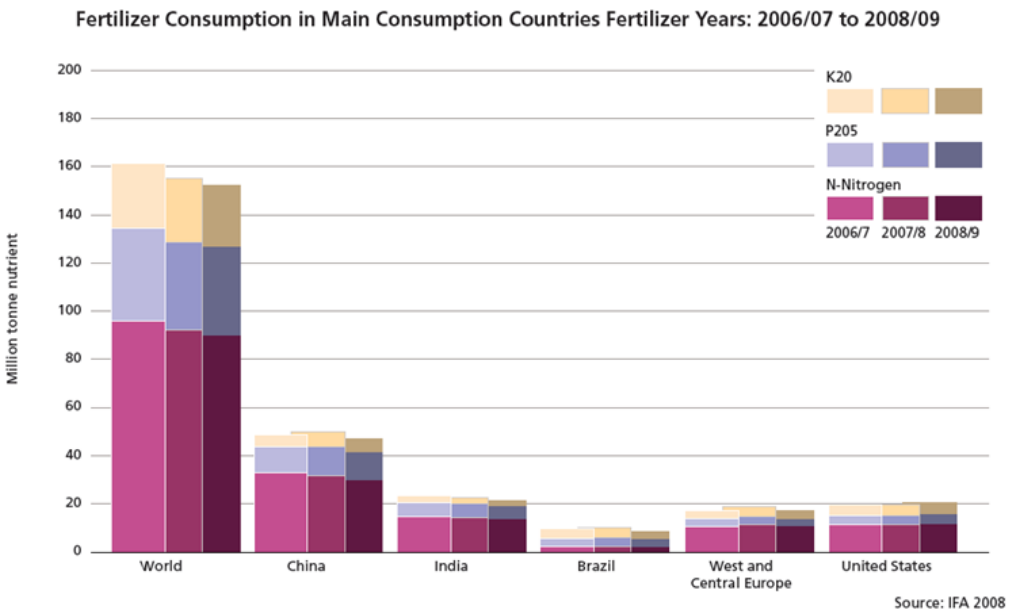

Abbildung 8: weltweiter Düngemittelverbrauch (ICIS, 2009, 24.10.2009)

4.5 Düngemittelproduktion- und Verbrauch in Österreich

In Österreich werden mineralische Düngemittel von zwei Unternehmen in Linz und Pischelsdorf hergestellt. Im Jahr 2008 sank die Produktion drastisch auf 1,1 Mio. t (Wert: 330 Mio. Euro). Davon wurden 0,7 Mio. t (64%) exportiert. Im Vergleich zu anderen EU-Mitgliedstaaten ist der Mineraldüngereinsatz in Österreich gering. Dafür verantwortlich ist vor allem der hohe Anteil an Grünland, wo mineralische Dünger nur in geringem Ausmaß eingesetzt werden. Außerdem sind Verkaufsstatistiken nicht direkt auf den unmittelbaren Verbrauch umzulegen. Aufgrund der gestiegenen Preise enthalten die sehr hohen Verkaufszahlen bedeutende Mengen an Vorziehkäufe. Zu extremen Preissteigerungen kam es aufgrund der turbulenten Rohstoffmärkte vor allem in der zweiten Jahreshälfte 2008. So hat sich etwa der Erdgaspreis fast verdoppelt, der Preis für Kali verfünffacht und der Preis für Rohphosphat hat sich innerhalb von nur 20 Monaten versiebenfacht. Deshalb wurde im Wirtschaftsjahr 2008/09

in der Landwirtschaft bei den Hauptnährstoffen Phosphat und Kali drastisch gespart. Erstmals führten die extremen Schwankungen auf den Rohstoffmärkten und bei der Nachfrage zu monatelangen, europaweiten Produktionsabstellungen in der Düngerindustrie.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Nährstoffabsatz in Österreich der drei wichtigsten Hauptnährstoffe zwischen den Jahren 1995/96 und 2008/09. Die verwendeten Daten stammen von der Agrarmarkt Austria, die diese für den Bereich Getreide und Ölsaaten erhebt. Ersichtlich ist der seit Jahren sinkende Verbrauch der angeführten Nährstoffe (Grüner Bericht, 2009).

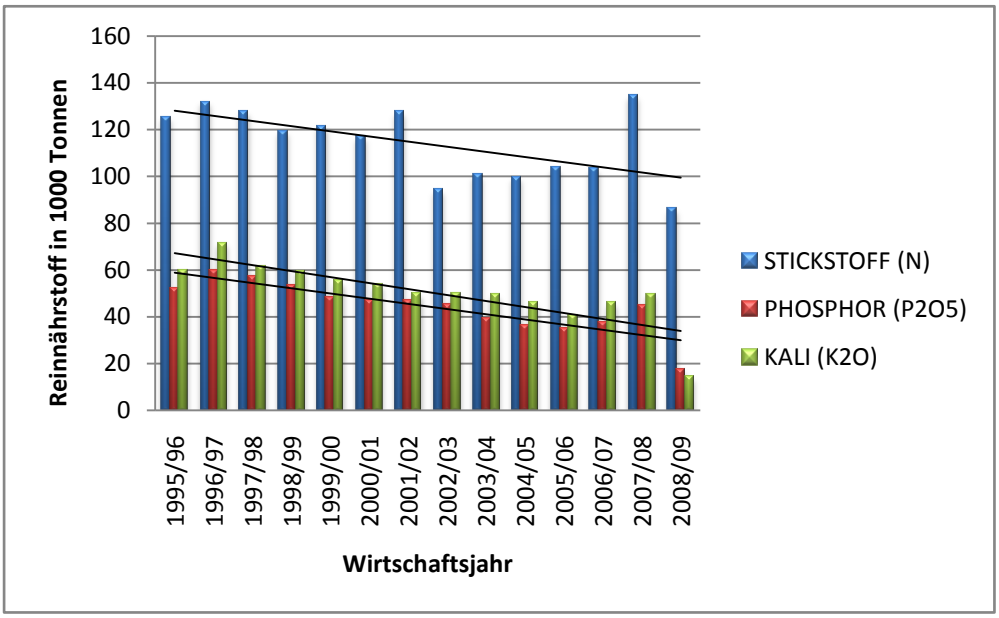

Abbildung 9: Reinnährstoffabsatz in Österreich zwischen den Jahren 1995/96 und 2008/09 (aus Düngemittelstatistik, Agrarmarkt Austria, eigene Darstellung)

4.6 Substitutionspotential durch Kompost

Aufgrund der in Kompost enthaltenen Pflanzennährstoffe können entsprechende Mengen mineralischer Düngemittel substituiert werden. Das Substitutionspotenzial wird für Deutschland mit 8 bis 10 % beziffert. Ähnliche, wenn nicht höhere Werte können für Österreich angenommen werden.

Europaweit kann nach einer Erhebung von Amlinger (2006) bei Ausschöpfung des gesamten Sammelpotenzials an Bioabfällen von 115 Mt und durch die anschließende Kompostproduktion von ca. 50 MT ausgegangen werden. Wie in der nachfolgen-

den Tabelle dargestellt ergibt sich für die jährlich in Europa anfallende Kompostmenge folgendes Substitutionspotential für synthetisch hergestellt Dünger (vgl. BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 79ff):

Tabelle 4: Europaweites Substitutionspotential an synthetisch hergestellten Nährstoffen (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 80)

	N	**P_2O_5**	**K_2O**
Nährstoffe in Kompost (kg/Mg^{-1} FM)	10	6	12
Substitution an Nährstoffen aus Mineraldüngern (Mg)	**500.000**	**292.500**	**585.000**

Um exemplarisch die Düngerleistung der in Kompost enthaltenen Hauptnährstoffe zu verdeutlichen, wird nun versucht, diese darzustellen. Dazu wurden Annahmen getroffen, die den „Richtlinien für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft“ (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009) entnommen wurden. Für den pflanzenverfügbaren Anteil wurden Annahmen getroffen, wie sie praxisüblich verwendet werden. Dazu ist anzumerken, dass bei einer Kompostanwendung über einen längeren Zeitraum damit zu rechnen ist, dass der Humusgehalt und damit der N-Vorrat des Bodens ansteigen. Bei Phosphor und Kali gehen die meisten Autoren davon aus, dass mittelfristig der Großteil der ausgebrachten Mengen pflanzenverfügbar wird (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009).

Tabelle 5: Mittlere Gehalte an Nährstoffen in Kompost (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009)und der Annahme ihres pflanzenverfügbaren Anteils.

Parameter	**Bezugsfläche**	**TM**	**N_{ges}**	**P_2O_5**	**K_2O**	**CaO**
10 m³	ha	4200	63	29,4	54,6	336
Pflanzenverfügbarer Anteil in %			20	100	100	100

Als Berechnungsgrundlage wird die Berechnung auf einen Kubikmeter Kompost bezogen. Die Preise der Nährstoffe wurden den Endverbraucherpreisen der Agrarmarkt

Austria, die diese in €/100 kg lose im Bundesgebiet (exkl. Ust) erhebt, entnommen. Stellvertretend für die einzelnen Reinnährstoffpreise wurden Preise für Kalkammonsalpeter 27%N, Diammonphoshat 15/46/0, Kali 60 % (K_2O) und Mischkalk 60% CaO herangezogen. Aus diesen Preisen wurden dem jeweiligen Anteil des Reinnährstoffs entsprechend die Reinnährstoffpreisen je kg berechnet. Für den Preis eines Kubikmeter Kompost wurden die im Kompost je m³ enthaltenen Kilogramm an Reinnährstoff mit dem pflanzenverfügbaren Anteil sowie dem Preis in €/kg Reinnährstoff multipliziert.

Abbildung 11 stellt den Wert der Nährstoffe von Kompost dar. Dabei ist der steigende Wert pro Kubikmeter Kompost im Laufe der Zeit zu erkennen. Lag der errechnete Durchschnittswert der Reinnährstoffe von einem Kubikmeter Kompost im Jahr 1998 noch bei 7,10 €/m³, so erhöhte er sich in den darauffolgenden 10 Jahren bis zum Jahr 2007 auf 9,11 €/m³. Dies entspricht einer Steigerung von 28,3 %. Im Verlauf der weltweiten Verteuerung der Rohstoffe stieg der errechnete Wert ab dem 3. Quartal 2007 von 8,47 €/m³ bis zum 2. Quartal 2009 auf 14,41 €/m³ und hält im letzten Quartal 2009 bei immer noch 11,42 €/m³.

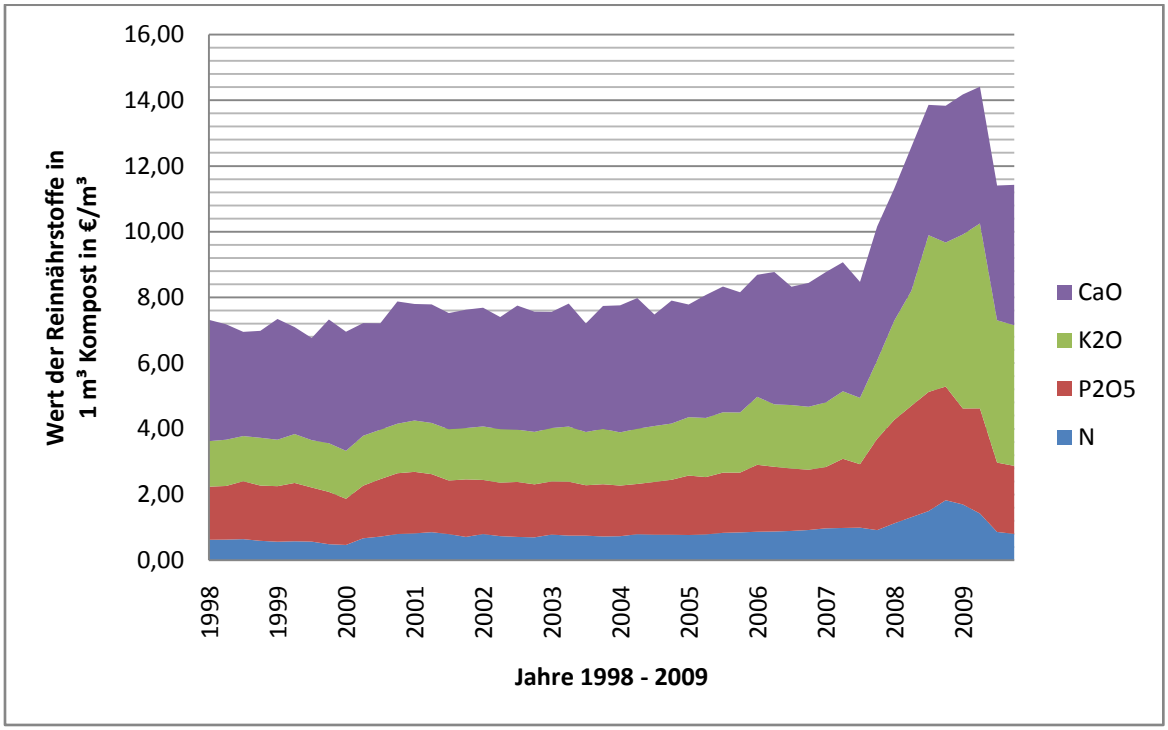

Abbildung 10: Wert der Reinnährstoffe von Kompost pro m³ Kompost in €/m³ im Verlauf der letzten Jahre (eigene Darstellung mit Daten der Agrarmarkt Austria)

10 ÖKONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE BEURTEILUNG DER KOMPOSTVERWERTUNG IN DER LANDWIRKTSCHAFT.

Die Hinterfragung der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Kompostausbringung ist nicht nur aus der Sicht einzelner Komposthersteller und Kompostverwerter von entscheidender Bedeutung, sondern auch von gesellschaftlicher Relevanz (vgl. AGE, 2003). Dementsprechend ist es von großer Bedeutung die zunehmenden Mengen von biogenen Abfällen ökologisch und gleichzeitig ökonomisch tragbar zu verwerten, da die Mitverbrennung von Bioabfällen in Müllverbrennungsanlagen gänzlich das bedeutende ökologische Potenzial vernichtet (Braungart & Kälin, 2008:).

4.7 Grundsätzliche Bedingungen für die Festlegung der Ertragswirkung der Kompostdüngung

Im folgendem werden die Ergebnisse der Literaturstudie (BMLFUW, Amlinger et al, 2006) „Evaluierung der Nachhaltig positiven Wirkung von Kompost auf die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden“ im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, präsentiert.
Später wird anhand der von Axel Schreiber im Jahr 2004 vorgestellten Arbeit „Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft“, die auf Basis von mehrjährigen Versuchen in Deutschland durchgeführt wurde versucht, die Wertigkeit von Kompost auf unterschiedlichen Böden erkenn- und bewertbar zu machen.
Viele Untersuchungen beschäftigen sich mit der Ertragswirkung von Kompostgaben. Aus land- und betriebswirtschaftlicher Sicht stellt der Beitrag der Kompostanwendung zur Ertragsbildung oder Biomasseproduktion einen wesentlichen Erfolgsindikator dar. Dabei stellt die Kosten-Nutzen-Betrachtung die Frage, ob sich der „Aufwand“ der Kompostdüngung anhand konkreter Ertragszahlen auszahlt. Von entscheidender Bedeutung ist hier die Unterscheidung zwischen der „kurzfristigen Jahreswirkung“ und der „langfristigen Bodenverbessernden Wirkung“ (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 51).

Generell soll bei der Bewertung von Untersuchungen eine Unterscheidung erfolgen ob,

- Kompost, hinsichtlich der Nährstofffrachten in praxisrelevanten Mengen eingesetzt wurde (durchschnittlich bis ca. 10 t TM ha^{-1} a^{-1})
- aus experimentellen Gründen überdurchschnittliche Mengen im Rahmen des Versuchs aufgebracht wurden (z. B. 20 t TM ha^{-1} a^{-1} und mehr)
- eine langfristige Auswertung und damit die Nachwirkung von mehrjährigen, wiederholten Kompostgaben oder eine einmalige große Kompostgabe untersucht wurden.

Auch muss berücksichtigt werden, dass die Feldversuche unter unterschiedlichen standortabhängigen Rahmenbedingungen (Klima und Boden) stattfanden und hinsichtlich der allgemeinen Bewirtschaftungsbedingungen wie

- Fruchtfolge
- Ausbringungszeitpunkt
- Ausbringungstechnik (Einarbeitung, Mulchen)
- Kombination mit anderen Düngermaßnahmen
- Qualität und Art des Kompostes (C/N-Verhältnis, Nährstoffniveau, Art des Ausgangssubstrates, wie etwa – Klärschlamm, Grünschnitt, Mistkompost)

stark variieren.

Durch die hohe Variabilität an Bewirtschaftungs- und Standortfaktoren und deren spezifische Kombination ist eine genaue Bewertung ausgeschlossen, die versucht, Kausale Zusammenhänge einzelnen Faktoren (z. B. eine bestimmte Nährstofffracht) zuzuordnen.

Für die Pflanzenernährung spielen neben Stickstoff die Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium eine wesentliche Rolle.

Dabei sind für die Ertragswirkung folgende Fragen von Bedeutung:

- Wie hoch ist die Nährstoffkonzentration?
- Wie ist die kurz- und mittelfristige Verfügbarkeit der Kompostnährstoffe.
- Wie hoch ist die kurz- und langfristige Ertragswirkung von Kompostgaben tatsächlich?

- Wird die Qualität von Ernteprodukte durch Kompost beeinflusst?
- Hat Kompost das Potential mit mineralischen oder anderen herkömmlichen Düngersystemen zu konkurrieren?

(BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 51ff)

4.8 Beispiele zur Ertragswirkung der Kompostdüngung

Im Weiteren wird versucht, trotz unterschiedlichster Versuchsbedingungen, einige generelle Wirkungsgesetzmäßigkeiten zusammen zu fassen.
Die meisten Untersuchungen ergeben eine positive Ertragswirkung. Zum einen gegenüber ungedüngten, andererseits – vor allem bei langjährigen Feldversuchen – auch im Vergleich mit reinen mineralisch gedüngten Parzellen (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 51ff).

Bei der Gegenüberstellung von sogenanntem Frisch- zu Reif- oder Fertigkompost ergeben sich für Frischkompost etwas höhere Konzentrationen der pflanzenverfügbaren Hauptnährstoffe (N-P-K). Die nächste Abbildung zeigt die etwas bessere Ertragswirkung von Frischkompost gegenüber Reifkompost, die in einem 4-jährigen Versuch, von Petersen & Stöppler-Zimmer im Jahr 1996, durchgeführt wurde. Andererseits ist für die langfristige Humusreproduktion und Bodenverbesserung dennoch Fertigkompost überlegen. Bei dem auf 4 Jahre angelegten Versuch zeigt sich gegenüber mineralischer Düngung nur auf lehmigem Boden ein signifikanter Unterschied bei Frischkompost und relativ hohen Kompostgaben von 25 t FM pro Jahr (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 52).

MD … Mineraldünger
FK … Frischkompost
RK … Reifkompost

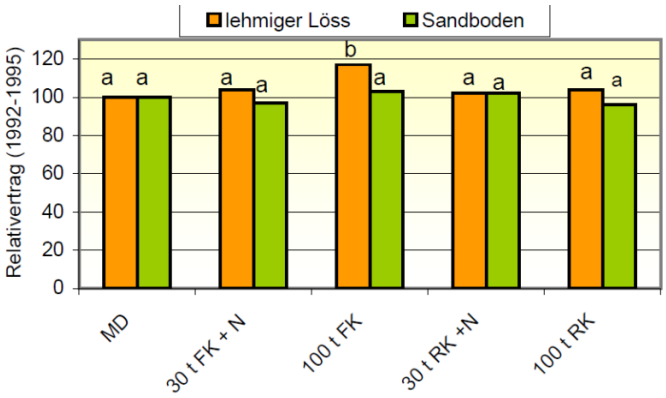

Abbildung 11: Relativertrag über 4 Jahre (1992 - 1995), nach Peterson & Stöppler-Zimmer, 1996

Bei einem Kompostdauerversuch stellten Hartl & Erhart 1998 fest, dass durch eine Düngung mit Biotonnenkompost eine größere Ertragssicherheit gegeben ist als mit mineralischer Düngung. Eine Unterversorgung mit Nährstoffen trat nur zu Versuchsbeginn auf (siehe Abbildung 11). Der Kompost sorgte jedoch erst nach den ersten beiden Jahren für eine gleichmäßige Stickstoffversorgung. Im Gegensatz zu Mineraldünger führte die Kompostdüngung in ungünstigen Jahren zu keiner Überernährung der Kulturpflanzen. Vorsicht ist jedoch bei der Stickstoffzudüngung geboten, die eine gute Abstimmung mit der Fruchtfolge notwendig macht (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 52ff).

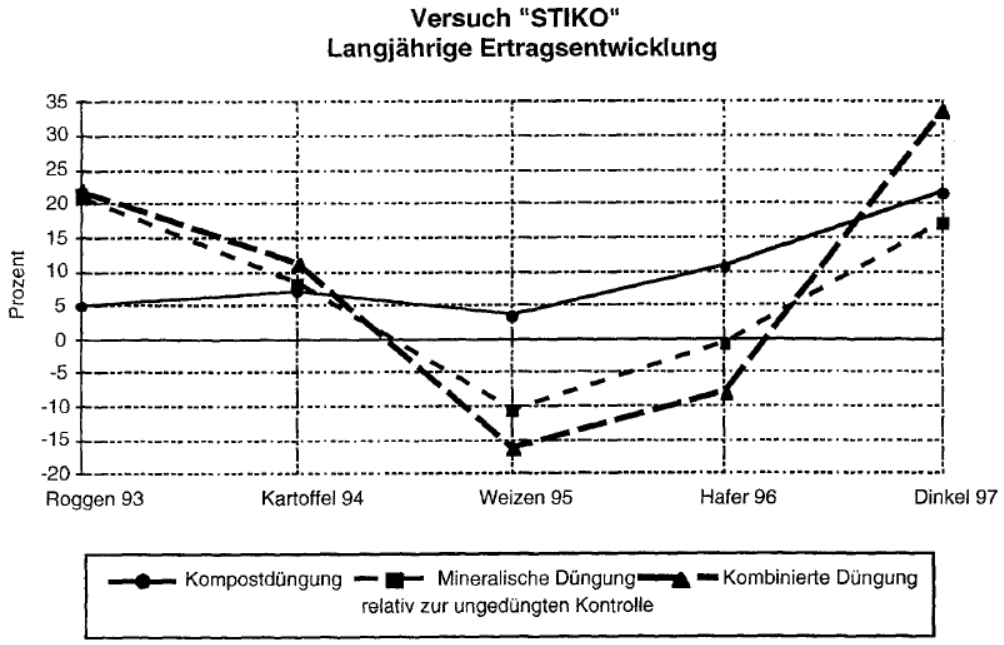

Abbildung 12: Ertragswirkung bei verschiedenen Düngungsvarianten (Stiko-Versuch, Hartl & Erhart, 1998)

Die Autoren (Klasnik & Steffens, 1995) fanden im Vergleich, bei unterschiedlichen Kompostmengen und Stickstoffergänzungsraten zu einer P-K Standarddüngung mit ansteigenden Kompostgaben, bei Triticale eine Ertragssteigerung von 1,5 bis 2,5 t ha^{-1} und führten dies auf den Stickstoffeffekt zurück. Dennoch blieb bei extremen Gaben von 120 m^3 ha^{-1} a^{-1} die N-Effizienz noch immer unter einer mineralischen Stickstoffgabe von 100 kg. Jedoch konnte mit steigender Kompostgabe eine tätsverbesserung des Getreides erzielt werden. So konnte mit steigenden Kompost-

gaben der Rohporteingehalt von 10,6 % auf 13,2 % angehoben werden (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 53).

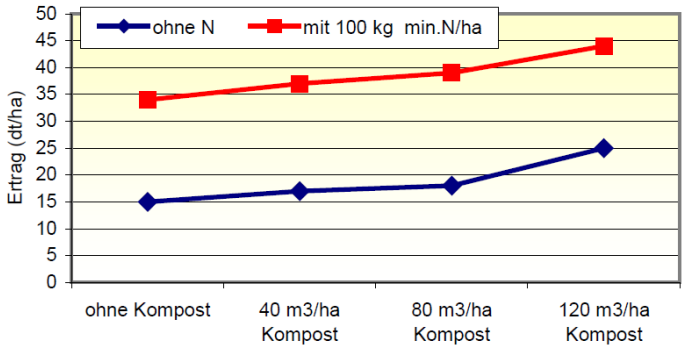

Abbildung 13: Einfluss von Kompost mit und ohne mineralischer Stickstoff-Ergänzungsdüngung auf den Ertrag von Triticale (Klasnik & Steffens, 1995)

4.9 Kosten-Nutzenbetrachtung der Kompostanwendung

Eingehende kann festgehalten werden, dass sich mit der wirtschaftlichen Bewertung von Kompost gegenüber mineralischen Düngersystemen nur wenige Untersuchungen beschäftigen.

In der Arbeit (Steffen et. al., 1994) wurden Aufwand, Bruttoeinkommen und Nettogewinn einer Tomatenproduktion mit Kompost- bzw. Mineraldünger verglichen. Trotz der um 1/3 höheren Aufwände des Kompostsystems wurden diese durch höhere Erträge und besserer Qualität der vermarktbaren Ernteware überkompensiert.

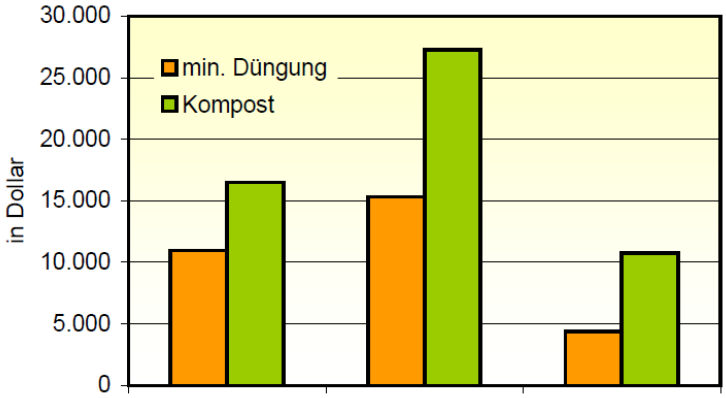

Abbildung 14: Aufwand, Bruttoeinkommen und Nettogewinn einer Tomatenproduktion mit Kompost- bzw. Mineraldünger (Steffen et al., 1994)

HDRA Consultans (1999) berechneten für Ölraps und Wintergetreide das Nettoeinkommen und kamen aufgrund der hohen Ausbringungskosten für Kompost und keinen Mehrerträgen bei den Kompostvarianten zu negativen Ergebnissen. Dabei ist aber auch kritisch anzumerken, dass eine ökonomische, rein ertragsorientierte Bewertung von mit Kompost gedüngten Flächen über eine 3-jährige Fruchtfolge-Periode nicht das langfristige Potential der Kompostdüngung erfasst. Kompost wirkt insbesondere als multifunktioneller Humusdünger vor allem langfristig bodenverbessernd und ertragsstabilisierend, denn unmittelbar düngend (BMLFUW, Amlinger et al, 2006, S. 54ff).

Tabelle 6: Netto Einkommen in £ verschiedener Düngesysteme (aus HDRA Consultants, 1999)

	Winterweizen	Wintergerste	Ölraps
NPK	952	201	276
39 t Kompost + NPK	635	-42	89
117 t Kompost + P	-242	-424	-119
117 t Kompost + NK-reduced	**16**	**-352**	**-155**

4.10 Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft

Einen Beitrag zur ökonomischen und ökologischen Bewertung der Kompostanwendung lieferte Axel Schreiber im Jahr 2004, mit der Arbeit „Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft“.

Basis der Untersuchung bildeten langjährige Kompostdauerversuche, die von der staatlichen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg bei Karlsruhe seit 1995 durchgeführt werden (Schreiber, 2004, S. 29). Die Untersuchungen fanden allesamt auf das Bundesland Baden-Württemberg verteilt statt und sind aufgrund der charakteristischen Boden- und Klimabedingungen auch bundes- und europaweit übertragbar. Die Untersuchungen wurden überwiegend auf mittleren und schweren Böden durchgeführt, bei denen eine Kompostwirkung auf Grund suboptimaler Bodenbedingungen, bedingt durch die Neigung zur Verdichtung und

Vernässung, vorrangig zu erwarten ist (Schreiber, 2004, S. 29). Bei den Versuchen wurde eine Staffelung der Kompostgaben vorgenommen, um die pflanzenbaulich optimale Menge feststellen zu können. Diese Staffelung umfasste eine Kontrollvariante ohne Kompostgabe, eine „halbe Optimalgabe“ mit 5 t/ha, eine „Optimalgabe“ mit 10 t/ha und Variante mit 20 t/ha, die zwar gesetzlich nicht erlaubt, jedoch zur Überprüfung des Nutzens angelegt werde.

An dieser Stelle wird angemerkt, dass in Österreich für die landwirtschaftliche Ausbringung Aufgrund dementsprechender Richtlinien und Verordnungen eine Ausbringungsmenge von **max. 8 t TM/ha und Jahr im Durchschnitt von 5 Jahren** zulässig ist (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009).

Jede dieser vier Kompostvarianten wurde mit drei verschiedenen Stickstoffgaben kombiniert. Grundlage für die Bemessung der optimalen N-Düngergabe bildeten die aktuellen Regeln „guter fachlicher Praxis“. Die Höhe der Gabe erfolgte auf Basis der N_{min}-Gehalte des Bodens im Frühjahr und verschiedener weiterer Gesichtspunkte, wie etwa der Vorfrucht. Ausgehend von der optimalen Stickstoffgabe wird gestaffelt von einer fehlenden zusätzlichen N-Gabe (0%), über eine halbierte optimale N-Gabe (50 %) bis zur optimalen N-Gabe (100%) die Versuchsanordnung abgedeckt

In die Arbeit flossen Daten der 6 verschiedenen Standorte ein, wobei durch die Anlegung mit zwölf Varianten zu je vier Wiederholungen 48 Versuchsparzellen je Standort entstanden (Schreiber, 2004, S. 34-35). Zur ökonomischen Bewertung wurde ein mehrperiodisches, mehrdimensionales Kompostevaluierungsmodell (KME) verwendet, wobei es sich bei diesem Modell um ein dynamisches, lineares Planungsmodell handelte (Schreiber, 2004, S. 53).

4.10.1 Ausgewählte Ergebnisse des Kompostevaluierungsmodells

Nachfolgend sind einige Beispiele der Berechnungen des KME zusammengefasst. Die Ergebnisse spiegeln die bisherigen Erkenntnisse bisheriger Untersuchungen und treffen konkrete Aussagen über die Wertigkeit von Kompost. Für Kompost wurden bei den Berechnungen für den Preis ein Wert von Null und eine Anlieferung frei Feld angesetzt.

4.10.2 Auswirkung auf den Betriebstyp

Als erstes werden die Auswirkungen auf den Betriebstyp vorgestellt. Dazu wurden im Kompostevaluierungsmodell (KME) neben den verschiedenen Standorten auch vier verschiedene Betriebstypen modelliert. Beim ersten Betriebstyp handelt es sich um einen reinen Marktfruchtbetrieb, der per Definition keine wirtschaftseigene organische Substanz auf seine Flächen ausbringt. Bei den anderen Betriebstypen werden ein Veredelungs-, ein Futterbau- und ein Gemischtbetrieb modelliert, die organische Substanz in Form von Festmist, Jauche und Gülle auf die Anbauflächen ausbringen.
Abbildung 10 zeigt, dass reine Marktfruchtbetriebe von der Düngung mit Kompost am meisten profitieren. Auf diese Weise besteht für Ackerbaubetriebe die Möglichkeit einer organischen Düngung, die neben einer Erhöhung des Humusgehaltes auch weitere Vorteilwirkungen hat und so zu Ertragssteigerungen beiträgt. Nach den Modellberechnungen ist in Marktfruchtbetrieben im Durchschnitt mit positiven Effekten von ca. 40 €/ha im ersten Jahr der Kompostausbringung bis hin zu ca. 80 €/ha im siebten Jahr der Düngung mit Kompost zu rechnen. Aus betriebswirtschaftlicher Bewertung wird ersichtlich, dass die Kompostausbringung auf viehintensiven Betrieben unterbleiben soll, da es auf Grund der Ausbringung wirtschaftseigener Dünger zu einer Überdüngung von einzelnen in Nährstoffen kommen kann(vgl. Schreiber, 2004, S. 79ff).

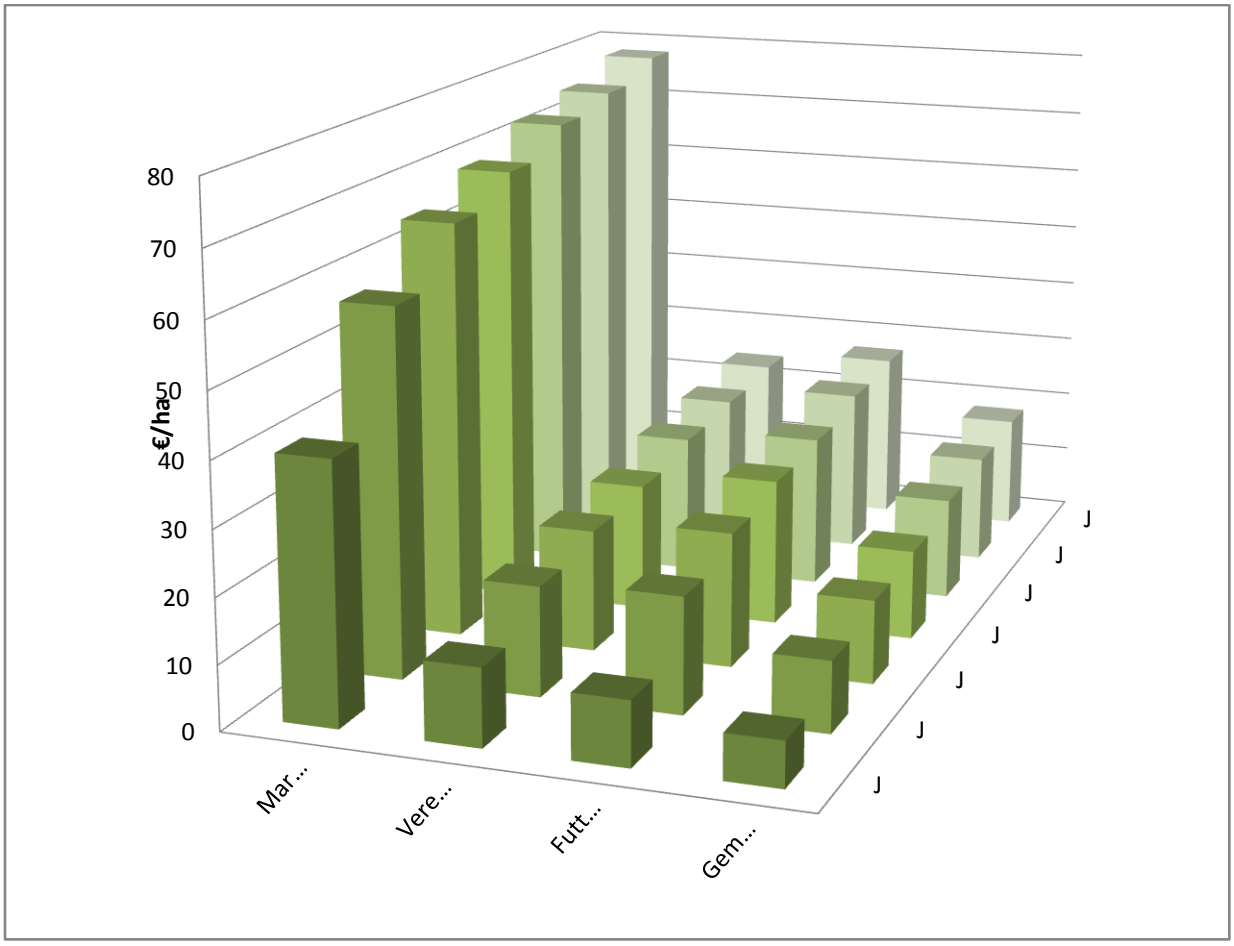

Abbildung 15: Deckungsbeitragsänderung beim Einsatz von jährlich 10t/ha TM Kompost bei verschiedenen Betriebstypen (nach Schreiber, 2005, S. 79)

4.10.3 Deckungsbeitragsänderung auf unterschiedlichen Böden in Marktfruchtbetrieben

In Abbildung 11 wird die Deckungsbeitragsänderung bei einem Einsatz von 10 t/ha TM Kompost auf schweren, mittleren und leichten Böden in Marktfruchtbetrieben dargestellt. Dabei zeigt sich deutlich, dass mit einer Kompostgabe auf schweren Böden nicht nur kurzfristig sehr gute betriebswirtschaftliche Effekte erzielt werden können, sondern bei dieser Bodenklasse auch langfristig mit den besten Resultaten zu rechnen ist (vgl. Schreiber, 2004, S. 77-78).

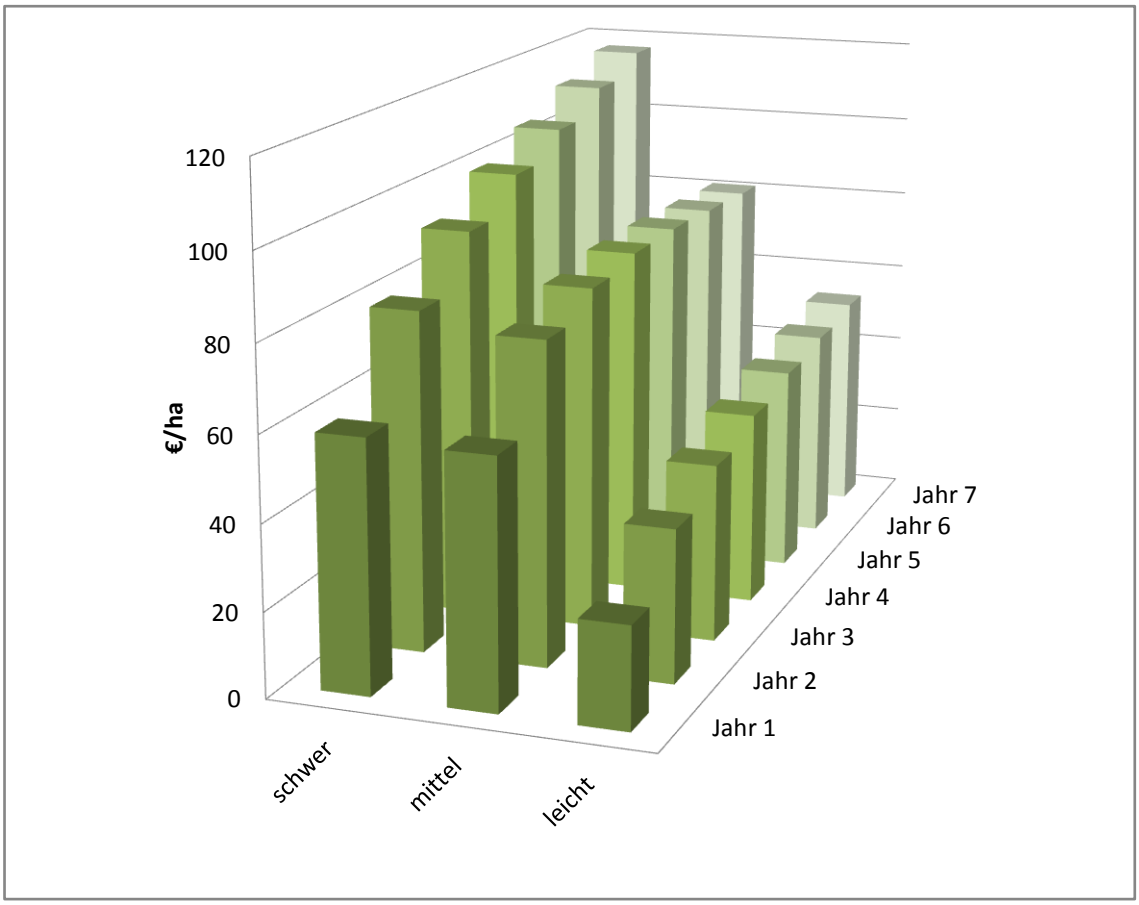

Abbildung 16: Deckungsbeitragsänderung beim Einsatz von jährlich 10 t/ha TM Kompost auf schweren, mittleren und leichten Böden in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S. 78).

4.10.4 Auswirkungen der Ausbringungsmengen

Für Marktfruchtbetriebe wurden auch die Auswirkungen in Bezug zu den Ausbringungsmengen untersucht. Die jährliche Ausbringungsmenge ist von entscheidender Bedeutung, da diese unmittelbar Einfluss auf die Humusanreicherung und Düngerwirkung hat. Nachfolgend werden die Ergebnisse der drei gestaffelten Kompostgabemengen 5 t/ha TM, 10 t/ha TM, 20 t/ha TM in Relation zu keiner Kompostgabe gesetzt. Laut gesetzlicher Regelung, ist die Variante mit 20 t/ha nicht zulässig. Sie soll hier aber zeigen, ob aus rein ökonomischer Sichtweise eine höhere Kompostgabe sinnvoll sein könnte.

Abbildung 16 zeigte wie sich die Veränderung des Deckungsbeitrages pro Hektar bei verschiedenen jährlichen Kompostgaben darstellt. Dabei ist bei allen Kompostgaben über den modellierten Zeitraum von sieben Jahren mit deutlichen Steigerungen des Deckungsbeitrages zu rechnen. Schon bei einer Ausbringungsmenge von 5 t/ha TM steigt der positive Deckungsbeitrag von 38 €/ha im Laufe der Jahre bis 55 €/ha. Bei einer Kompostgabe von 10 t/ha TM liegt der positive Deckungsbeitrag im siebten Jahr bei 90 €/ und bei der in der Praxis unzulässigen Variante sogar bei 108 €/ha. Damit wird zum Einen gezeigt, wie mit steigender Kompostgabe größere Effekte erzielt werden können, jedoch die positiven Einflüsse des Komposts mit steigender Gabe im Verhältnis zur Menge immer geringer werden. Bei einer Verdopplung der Kompostgabe von 5 auf 10 t/ha TM wird der positive DB im Mittel der Jahre um 52,2 % und bei einer weiteren Verdopplung der Zuwachs nur noch durchschnittlich bei 15,6 %. Es ist aber auch zu berücksichtigen, dass mit steigender Gabe die Ausbringungskosten pro Tonne Kompost wesentlich günstiger werden (vgl. Schreiber, 2004, S. 82-83).

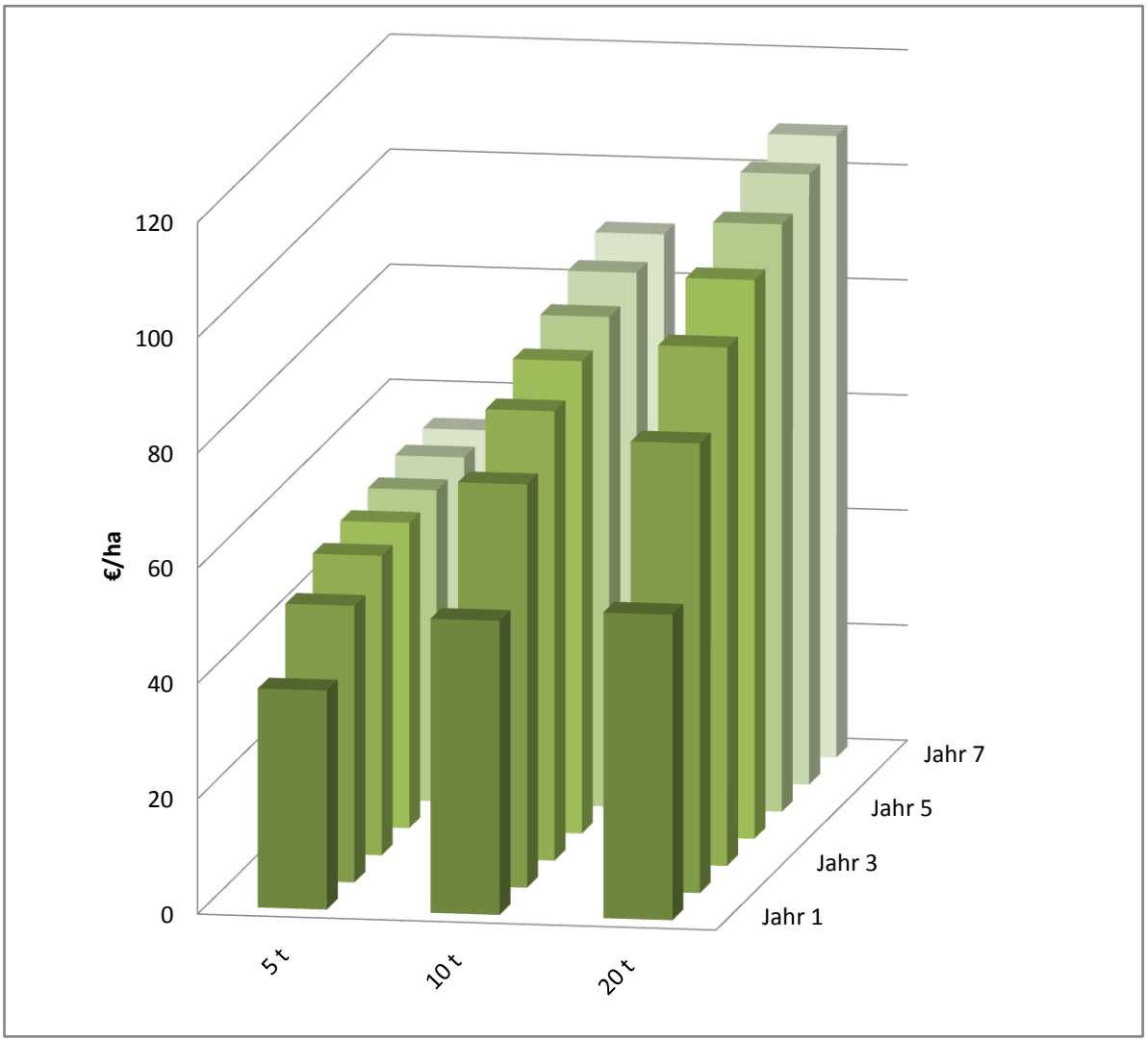

Abbildung 17: Deckungsbeitragsänderung beim Einsatz von unterschiedlichen Kompostmengen in t/ha TM in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S.83).

4.10.5 Wert des Komposts auf unterschiedlichen Bodentypen

Bei den bisherigen Ergebnissen wurde eine Gratisanlieferung des Komposts frei Feldrand unterstellt. Da Kompost gerade bei Marktfruchtbetrieben und auf schweren Böden sehr positive Deckungsbeitragsänderungen führt, muss dem Kompost selbst ein Wert zugestanden werden.

Die nächste Abbildung zeigt den errechneten Wert einer Tonne Kompost, den er für verschiedene Bodentypen in Marktfruchtbetrieben hat. Dabei zeigt sich, dass mit Kompostgaben auf schweren Böden die besten Effekte zu erzielen sind. Schon im ersten Jahr liegt der maximale Betrag, den der Landwirt für Kompost bezahlen sollte,

bei bereits 5,90 € pro Tonne und steigt im Laufe der Jahre auf bis zu 11,80 € an. Ein ähnlicher Kompostwert ergibt sich bei mittleren und schwereren Böden zu Beginn der Kompostgabe. Bei mittleren Böden nimmt der Wert für Kompost bis zum siebten Jahr nur leicht zu und ist bei leichten Böden am niedrigsten. Für leichte Böden liegt der Wert im ersten Jahr bei lediglich 2,40 € und nach 7 Jahren bei 5,34 € pro Tonne TM (Schreiber, 2004, S. 84).

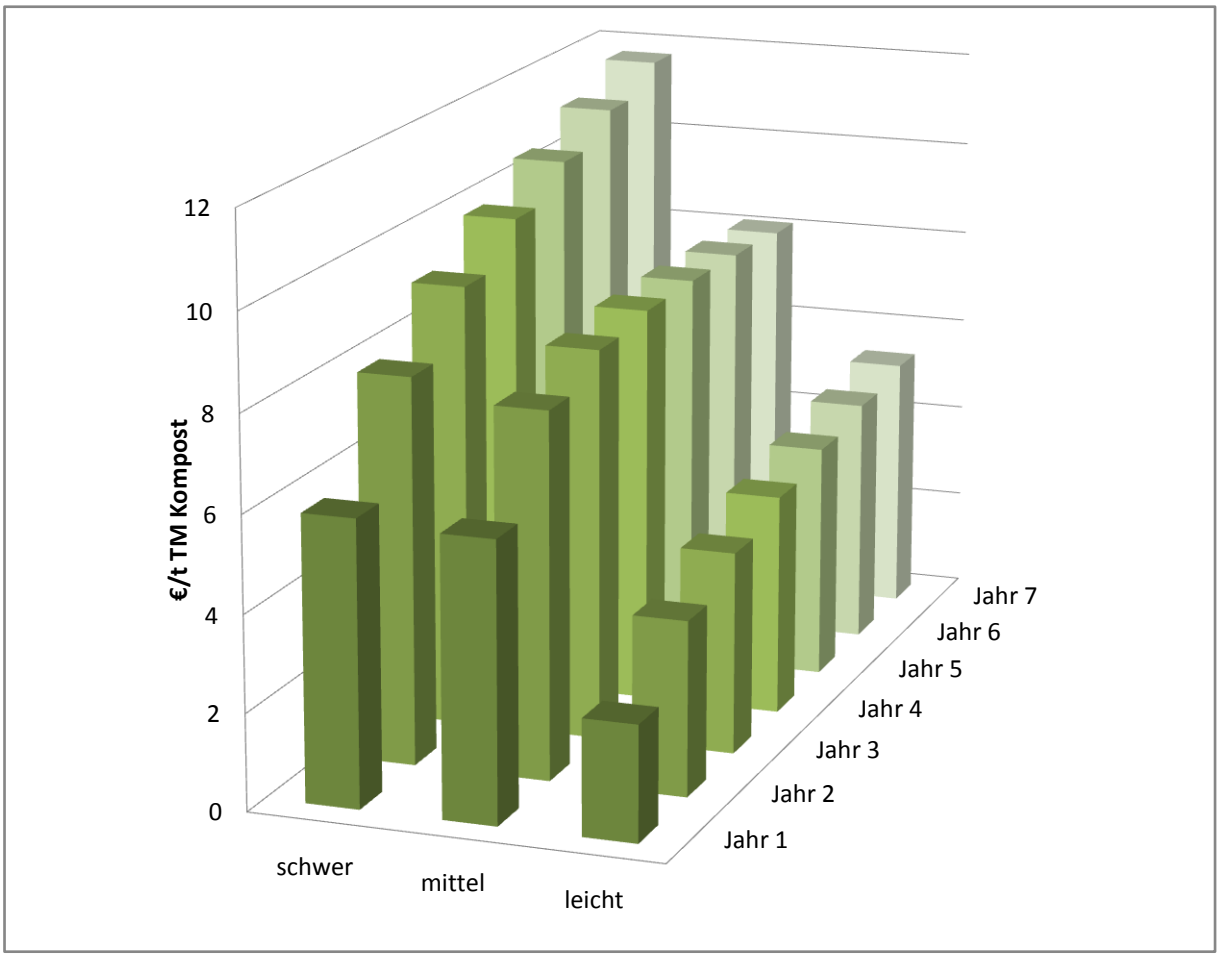

Abbildung 18: Wert einer Tonne Kompost (beim Einsatz von jährlich 10 t/ha TM Kompost) auf schweren, mittleren und leichten Böden in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S.84).

4.10.6 Wert des Komposts pro Tonne

In Abbildung 14 ist der Wert des Kompostes pro Tonne dargestellt, den der Landwirt für unterschiedliche Kompostgaben zu bezahlen hat. Dabei ist festzustellen, dass der Wert pro Tonne Kompost bei geringeren Mengen deutlich höher ist. So entsteht be-

reits bei einer geringen Ausbringungsmenge von jährlich 5 t/ha TM im ersten Jahr ein Wert von 7,5 €/t und steigt im Verlauf von sieben Jahren auf bis zu 11 €/t an. Bei einer Verdoppelung der Ausbringungsmenge auf 10 t/ha TM, liegt der Wert mit etwa 5 €/t im ersten Jahr und knapp 9 €/t im siebten Jahr etwas niedriger. Noch deutlich niedriger fällt der Wert für die unzulässige Ausbringungsmenge von 20 t/ha TM aus. Der errechnete Wert liegt dabei im ersten Jahr bei gar nur 2,60 €/t und steigt dann bis ins siebte Jahr auf 5,40 €/t (vgl. Schreiber, 2004, S. 85).

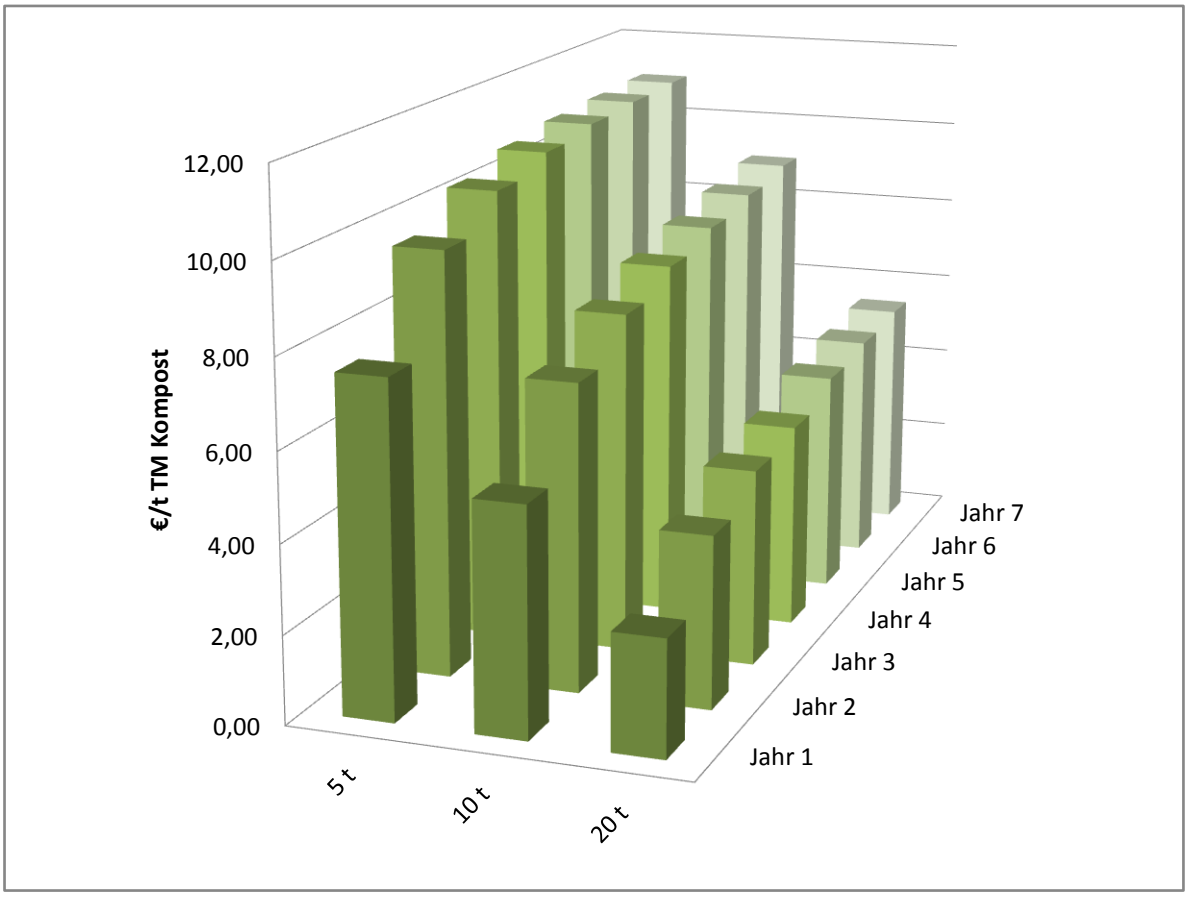

Abbildung 19: Wert von einer Tonne Kompost bei unterschiedlichen Kompostmengen in Marktfruchtbetrieben (nach Schreiber, 2005, S.78).

4.10.7 Grenzwerte für Kompostpreise

Die errechneten Modelldaten lassen vermuten, dass viele Komposthersteller in Zukunft einen Preis für das Produkt Kompost verlangen werden. Wie hoch wird dieser Wert dann sein? Ist dieser gleich oder liegt über den errechneten Werten, ist der Einsatz von Kompost mit der entsprechenden Menge für den Landwirt nicht lohnend.

Das Ziel für einen Landwirt kann daher nur sein, pro Flächeneinheit einen möglichst hohen Gewinn zu erzielen. Dementsprechend wird ein Landwirt immer versuchen, wie in Abbildung 12 dargestellt (wobei hier ein Kompostpreis von null unterstellt wird), eine möglichst hohe positive Deckungsbeitragsänderung zu erzielen. Bei eher geringen Kompostpreisen sollte ein Landwirt demnach eher höhere Kompostgaben anstreben (jährlich 10 t/ha TM sind zulässig) und bei höheren Kompostpreisen die Gabe verringern. Allerdings steigen die Ausbringungskosten bei Gaben von unter 5 t/ha TM stark an und wäre aus technischen Gründen, für noch geringere Mengen, schwierig umzusetzen (Schreiber, 2004, S. 84-85).

Die entsprechenden Grenzwerte sind in Tabelle 2 dargestellt. Vom ökonomischen Standpunkt betrachtet, ist die unzulässige Ausbringungsmenge von jährlich 20 t/ha TM nur bei sehr niedrigen Kompostpreisen sinnvoll. In diesem Fall müsste der Preis für Kompost im ersten Jahr bei 0,20 €/t TM liegen. Andererseits findet der Landwirt bis zu einem Preis von 2,60 €/t TM bei einer Menge von 10 t/ha TM Kompost im ersten Jahr das Optimum und könnte im Laufe der Jahre auf bis zu 7,00 €/t steigen. Würde der Kompostpreis oberhalb dieser Werte liegen, könnte der Landwirt die Kompostgabe auf bis zu 5 t/ha TM senken, um weiterhin das für ihn gewünschte Optimum zu erzielen. Falls der Kompostpreis in den einzelnen Jahren auch diese Grenzwerte überschreiten sollte, wäre auf den Standorten aus ökonomischen Gründen eine Kompostdüngung nicht mehr lohnend (vgl. Schreiber, 2004, S. 86).

Tabelle 7: Grenzwert für den Kompostpreis, bis zu welchem die jeweilige Ausbringungsmenge ökonomisch sinnvoll ist; Mittelwert über alle Standorte (alle Werte in €/t und auf 10 Cent gerundet), (nach Schreiber, 2005, S.86).

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6	Jahr 7
20 t/ha TM	0,20	0,80	1,20	1,50	1,70	1,80	1,80
10 t/ha TM	2,60	4,40	5,20	5,80	6,20	6,60	7,00
5 t/ha TM	7,50	9,60	10,30	10,70	10,90	10,90	11,00

Die in der Tabelle angeführten Werte sind Mittelwerte und können daher je nach Standort sehr stark schwanken. In der Praxis sind Ausbringungsmengen zwischen 5

und 10 t/ha TM möglich und liegen bei entsprechenden Kompostpreisen daher im Optimum (vgl. Schreiber, 2004, S. 86).

4.10.8 Auswirkung bei Preisänderungen

In der Modellrechnung wurden die Parameter Verkaufspreise für Feldfrüchte, Preise für Mineraldünger, Tariflöhne und Dieselpreis für eine Überprüfung der Auswirkungen in einer Spannweite von -20 % bis +50 % verändert.

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen:

Wie in Tabelle 8 ersichtlich, wirken sich Preisschwankungen verschiedener Produkte sehr unterschiedlich auf die errechneten positiven Deckungsbeitragsänderungen aus. Es zeigt sich jedoch, dass mit steigenden Produktpreisen eine Kompostdüngung immer interessanter wird, da die Deckungsbeitragsänderungen höher ausfallen.

Durch die Modellrechnung wurde deutlich, dass für jedes Prozent, mit dem Düngemittel teurer werden, sich die durch Kompostverwertung erzielten positiven Änderungen der Deckungsbeiträge weiter erhöhen. Dabei zeigt sich, dass die Höhe der Düngemittelpreise noch viel entscheidender für eine rentable Kompostverwertung ist, als die zuvor untersuchten Verkaufspreise für Feldfrüchte. Für den Landwirt wird daher die Kompostdüngung mit steigenden Düngemittelpreisen immer interessanter und kann bei sinkenden Düngemittelpreisen auch schnell unrentabel werden. Dies zeigt klar, in welch enger Konkurrenz Kompost zu Mineraldünger und organischen Düngemitteln aus betriebswirtschaftlicher Sicht steht.

Bei Gehaltsänderungen von Landarbeitern zeigt sich, dass diese nur sehr geringe Auswirkungen auf die errechneten Deckungsbeitragsänderungen haben.

Auch bei Änderungen des Dieselpreises, zeigen die errechneten Ergebnisse eine eher untergeordnete Bedeutung, da bei einer Erhöhung des Dieselpreises die positiven Deckungsbeitragsänderungen ähnlich wie bei Lohnsteigerungen geringer ausfallen.

Ein starker Anstieg des Ölpreises wird allerdings auch Auswirkungen auf die Mineraldüngerpreise haben, da deren Herstellung ebenfalls energieaufwendig ist und die negativen Auswirkungen des höheren Dieselpreis dadurch mehr als kompensiert wird. Somit wird für den Landwirt bei steigenden Ölpreisen, oder eine Steuererhö-

hung auf mineralische Öle, die Kompostausbringung interessanter (vgl. Schreiber, 2004, S. 87-97).

Tabelle 8: Auswirkungen von zukünftigen Preisänderungen auf die mit der Kompostausbringung verbundenen positiven Deckungsbeitragsänderungen (nach Schreiber, 2005, S. 97).

Preisänderungen bei …	Auswirkungen bei fallenden Preisen	Auswirkungen bei steigenden Preisen
… den Verkaufspreisen für Feldfrüchte	--	++
… Mineraldünger	---	+++
… Tariflöhne	+	-
… Diesel	+	-

Legende:

+++	Deckungsbeitragsänderungen steigen deutlich
++	Deckungsbeitragsänderungen steigen
+	Deckungsbeitragsänderungen steigen leicht
o	neutral
-	Deckungsbeitragsänderungen sinken leicht
--	Deckungsbeitragsänderungen sinken
---	Deckungsbeitragsänderungen sinken deutlich

4.10.9 Preisänderungen von 2004 bis 2009

Wie haben sich nun in der Zwischenzeit jene zuvor beschriebenen Kosten- und Preisrelationen verändert.

Für jedermann spürbar sind Preisveränderungen beim Benzin und Dieselpreis. Laut Statistik Austria erhöhten sich seit 2004 bis 2008 die Dieselpreise für den privaten Einsatz von 0,81 auf 1,24 Euro pro Liter und somit um 53,1 %. Der Dieselpreis für den kommerziellen Einsatz erhöhte sich im selben Zeitraum um 27,7 % und der Gasölpreis der Industrie um immer noch 35,7 % je Liter (Statistik Austria, 2008) http://www.statistik.at/web_de/statistiken/oeffentliche_finanzen_und_steuern/steuerstatistiken/energiesteuern/index.html).

Zum Teil geringere Veränderungen gab es beim Verkauf von pflanzlichen Erzeugnissen im Zeitraum von 1995 bis 2008, worüber die Preis-Indizes der land- und forst-

wirtschaftlichen Erzeugnisse Auskunft geben. Den höchsten Zuwachs für die erzielten Verkaufspreise konnte der Obstbau mit 60,2 % erzielen. Mit Abstand folgt dann der Weinbau mit einer positiven Preisveränderung von 20,9 %, gefolgt vom Gemüsebau mit 18,5 % und lediglich nur 7,7 % Preiserhöhung gab es für Produkte von Marktfruchtbaubetrieben. Die Fremdlohnkosten in der Landwirtschaft erhöhten sich hingegen um 30,6 % (Landwirtschaftlicher Paritätsspiegel, LBG Wirtschaftstreuhand, 2008).

Schreiber kommt bei seinen Berechnungen zum Schluss, dass Preiserhöhungen bei Düngemittel den größten Einfluss auf positive Deckungsbeitragsänderungen durch mit Kompost gedüngte Ernteprodukten erbringen. Diese Faktoren sind sowohl für Komposterzeuger als auch Landwirte von großer Bedeutung.

Der Landwirtschaftliche Paritätsspiegel, vom LBG Wirtschaftstreuhand erhoben, weist für Handelsdünger im Zeitraum von 2004 bis 2008 eine Preissteigerung von 86,3 % auf. Exemplarisch werden noch Beispiele einzelner Mineraldüngern für den Zeitraum zwischen 2004 und Ende 2009 genannt, die von der Agrarmarkt Austria erhoben wurden. Kalkammonsalpeter (27% N) erhöhte sich im Jahresdurchschnitt um 55,4 %, Diammonphosphat 18/46/0 um 62,3 % und Kali 60 % (K_2O) gar um 190,9 %.

11 SCHLUSSFOLGERUNG:

Die Verwendung von Kompost stellt bei passenden Umweltfaktoren eine sinnvolle Möglichkeit der Düngung dar. Für die langfristige Preisentwicklung von mineralischen Düngermittel spielt die Entwicklung der Produktionskosten eine wesentliche Rolle. Diese hängen in starkem Maße von Energie- Rohstoff- und insbesondere den Erdgaspreisen ab. Da synthetische hergestellter Stickstoffdünger in großem Ausmaß von fossilen Energieträgern abhängig sind, wird sich bei einem Preisanstiege von Erdölprodukten durch eine Anhebung der Düngemittelpreise, langfristig die Attraktivität von Kompost erhöhen.

Für die Anwendung von Kompost ist unbedingt zwischen einer einmaligen Kompostgabe oder einer mehrjährigen Dauerapplikation zu unterscheiden. Die ökonomischen und ökologischen Nutzeffekte sind dabei immer auf Jahre zu bewerten, da sich durch die Anwendung von Kompost erst dann positive Auswirkungen ergeben. Dabei ist vor allem bei Marktfruchtbetrieben mit einer deutlichen Anhebung der Deckungspreise zu rechnen. Diese Verbesserung ist zum einen auf die Anhebung der organischen Bodensubstanz und zum anderen auf die langfristige Freisetzung von Nährstoffen, im Zuge der Mineralisierung durch Bodenmikroorganismen zurück zu führen.

Die in den letzten Jahren realisierten Preiserhöhungen bei fossilen Energieträgern, und vor Allem am Düngemittelmarkt zeigen, wie sich die Attraktivität von Kompost im Vergleich zu Mineraldünger weiter erhöht hat.

Für Komposthersteller bedeutet das, die aktuellen Preisveränderungen am Düngemittelmarkt auf das Produkt Kompost anzupassen, wobei bei der Vermarktung nicht nur der Preis im Vordergrund stehen soll.

Wesentlich wichtiger ist, im Sinne einer aufklärenden Öffentlichkeitsarbeit, die Vorteile des Produkts Kompost für den jeweiligen Anwendungszweck klar herauszuarbeiten.

LITERATUR UND INTERNET LINKS:

AGE, 2003: Agrar-Europe – unabhängiger europäischer Presse- und Informationsdienst für Agrarpolitik und Agrawirtschaft, Kompost in der Diskussion, Agrar-Europe 20/03, Länderbericht S. 18, Bonn, Berlin, Brüssel, Paris, Madrid, Wien.

http://www.ammoniaksynthese.de, 8.11.2009

Besse, 1997: Multitalent - Die vielfältigen Funktionen des Bodens. – Politische Ökologie, 15. Jg., Sonderheft 10 „Bodenlos“: S. 17-22.

BMLFUW, Amlinger et al, 2006: Evaluierung der nachhaltig positiven Wirkung von Kompost auf die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden; Medieninhaber und Herausgeber*:* Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; *Autoren:* Florian Amlinger, Stefan Peyr, Jutta Geszti; Kompost - Entwicklung & Beratung Peter Dreher, Karlheinz Weinfurtner; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie Stephen Nortcliff, University of Reading, Department of Soil Science; http://impressum.lebensministerium.at/filemanager/download/17912/, 9.10.2009

BMLFUW, o.J., b: http://impressum.lebensministerium.at/article/articleview/67672/1/4995, 6.12.2009.

Braungart & Kälin, 2008: Ökologisches Leistungsprofil von Verfahren zur Behandlung von biogenen Reststoffen; EPEA Internationale Umweltforschung GmbH in Kooperation mit VHE - Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e. V.; Hamburg, April 2008 http://www.epea.com/documents/EPEAKompassbiologischeKreislauffuehrung.pdf; 9.10.2009

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 2005: Institutes für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig; http://www.chemlin.de/news/feb05/2005021501.htm, 8.2.2010

ELSA e.V., 2009: Einbezug des Bodens in einen wirksamen Klimaschutz, European Land and Soil Alliance ELSA e.V., http://www.bvboden.de/downloads/ELSA_WE030609.pdf, 2.2.2010

Energy information administration 2004, *A.T. Kearney*, 2008: http://www.atkearney.at/content/misc/wrapper.php/id/49982/name/pdf_atkearney_vortrag_hb_06-10-17_12054893281687.pdf, 6.12.2009

EU, 2007:
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/soil_protection/l28181_de.htm

EUA 2002: Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe, S. 10, http://www.eea.europa.eu/publications/Environmental_issue_series_16, 21.11.2009

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2009: Richtlinien für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien 2009.

Fink, 1992

Gesunde Pflanzen, 2009: Volume 61, Number 1, Springer Berlin / Heidelberg, S. 55, 2009, http://www.springerlink.com/content/0715963422728373/, 18.11.2009

Grüner Bericht, 2009: Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2009, www.gruenerbericht.at; GB2009_full.pdf

Hannemann, T. (2000), Der Markt für Stickstoffdüngemittel – Bestimmungsgründe und Marktanalyse, (S. 254) Bergen/Dumme: Verlag Agrimedia

Held, M., 1997: „Der letzte Dreck“. In: Kümmerer, K./ Schneider, M./ Held, M. (Hrsg.): Bodenlos – Zum nachhaltigen Umgang mit Böden. Politische Ökologie 15, Sonderheft 10. München: ökom, S. 33-37.

Herter U., Külling D., 2001: Risikoanalyse zur Abfalldüngerverwertung in der Landwirtschaft - Teil 1: Grobbeurteilung, Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft und unterstützt durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Herausgeber: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL, Reckenholz, Zürich, Juli 2001.

H & K, 2009: Humuswirtschaft & Kompost aktuell 03_09, Seite 8;
http://www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/Huk_03_09.pdf, 4.10.2009

ICIS, 2009: http://www.fertilizer.org/ifa/content/download/15417/222600/version/2/file/ICIS_map_2009.pdf, 24.10.2009

Jasche K. & Niclas H. J., 2005, Chemische Technik, Prozesse und Produktion – Band 8, Ernährung, Gesundheit, Konsumgüter, S. 124

Landwirtschaftlicher Paritätsspiegel, LBG Wirtschaftstreuhand, 2008: Excel Dateien aus Grünenbericht, Tab_20703_Preis_Indizes_lw_fw_Erzeugnisse; Tab_20704_Preise_lw_Betriebsmittel_u_Loehne

Lechner et al., 2005: Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung (KliKo); Universität für Bodenkultur Wien; Lechner, Linzner, Mostbauer, Binner, Smidt, http://www.boku.ac.at/TCG/rol/KliKo_Endbericht.pdf

Niggli U., 2008: www.fibl.org, Biolandbau_Klimaschutz_Niggli__29_11_2008.pdf, S.13, 12.11.2009

Reineke W. & Schlömann M., 2007: Umweltmikrobiologie, Spektrum Akademischer Verlag, München 2007

Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmer, G., Hartge, K.H., Schwertmann, U., 1998. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 494 S.

Schmidt R., 2000: Die Böden Deutschlands – Ressource und Schutzgut. In: Geographie und Schule 126, S. 19-25.

Schreiber A., 2005: Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main 2005

Shen, S.M., Hart, P.B., Powlson, D.S., Jenkinson, D.S., 1989. The nitrogen cycle in the Broad balk wheat experiment: 15N-labelled fertilizer residues in the soil and in the microbial biomass. Soil Biol. Biochem. 21: 529-533, zitiert nach Jarvis (1996).

Statistik Austria, 2008:
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/oeffentliche_finanzen_und_steuern/steuerstatistiken/energiesteuern/index.html, 8.2.2010

SWEA, o. J.: Severn Wye Energy Agency, www.swea.co.uk/downloads/Biogas_Brochure.pdf, *20.12.2009)*

United Nations Industrial Development Organisation (UNIDO), International Fertilaizer Development-Center (IFDC), Fertilizer Manual 1998, S. 35

unserboden: Amt der NÖ Landesregierung,
http://www.unserboden.at/index.php?article_id=15&clang=0, 2.2.2010

VfEW, Verband für Energie- und Wasserwirtschaft Baden-Württemberg e.V., Stuttgart, http://www.vfew-bw.de/index.php?id=53, 22.12.2009

WBB, 2002: Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Ohne Boden – bodenlos. Eine Denkschrift zum Boden-Bewusstsein. Berlin; http://hypersoil.uni-muenster.de/0/02/02.htm, 19.11.2009

WBGU, 1994: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel - die Gefährdung der Böden, Economica Verlag Bonn, 1994, http://www.wbgu.de/wbgu_jg1994.pdf