



Diplomarbeit zum Fachhochschuldiplom (D I)

Überarbeitete Fassung – April 2006

Möglichkeiten einer monetären Bewertung von organischer Substanz für die Betriebszweigabrechnung im ökologischen Landbau

Autorin: Birge Michaela Ude

1. Prüfer/Betreuer: Prof. Dr. Detlev Möller,
Fachgebiet Agrarökonomie, Universität Kassel-Witzenhausen
2. Prüfer/Betreuer: Prof. Dr. Jürgen Heß,
Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Universität
Kassel-Witzenhausen
3. Betreuer: Dr. Hartmut Kolbe, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	1
2	Dynamik und Stoffflüsse der organischen Substanz.....	3
3	Monetäre Bewertung organischer Substanz in der Literatur.....	8
3.1	Einflussgrößen auf den monetären Wert der organischen Dünger	9
3.2	Rechenverfahren für die Ermittlung von innerbetrieblichen Werten.....	11
3.3	Innerbetriebliche Werte in der Betriebszweigabrechnung	15
3.4	Berücksichtigung der Humusreproduktion in ökonomischen Modellen.....	17
3.5	Schlussfolgerungen aus der Literatur zur monetären Bewertung der organischen Substanz	21
4	Allgemeine Wirkungen der organischen Substanz	24
4.1	Wirkung auf chemische Bodeneigenschaften	24
4.1.1	Sorptionsvermögen/ KAK.....	24
4.2	Wirkung auf physikalische Bodeneigenschaften	25
4.2.1	Aggregatstabilität	25
4.2.2	Porenvolumen und Wasserhaushalt	26
4.2.3	Bearbeitbarkeit und Erosionsvermeidung	27
4.2.4	Wärmehaushalt.....	28
4.3	Biologische Wirkungen.....	28
4.3.1	Biologische Aktivität.....	28
4.3.2	Antiphytopathogenes Potential	29
4.4	Pflanzenphysiologisch wirksame Substanzen.....	30
5	Humusbilanzierung	32
5.1	Humusbilanzierung mit Berücksichtigung des Humusgehaltes.....	32
5.1.1	Bilanzierungsverfahren auf Basis einer Mineralisierungsrate	32
5.1.2	Bilanzierungsverfahren auf Basis von Modellrechnungen	32
5.2	Humusbilanzierung ohne Berücksichtigung des Humusgehaltes	34
5.2.1	Bilanzierung der Reproduzierbaren organischen Substanz.....	34
5.2.2	Bilanzierung von Humuseinheiten	35
5.2.3	Die Humuseinheiten -Methode für den ökologischen Landbau.....	35
5.2.4	Humusbilanzierung im Modell REPRO.....	37
5.2.5	Humusbilanzierung nach VDLUFA-Methode und „Cross Compliance“	37
5.3	Unterschiede zwischen den Bilanzierungsmethoden	39
5.3.1.1	Standortspezifität.....	41
5.3.1.2	Annahmen über den optimalen Humusgehalt	42
5.3.1.3	Annahmen bezüglich des Bewirtschaftungssystems.....	44
5.3.1.4	Bilanzierung auf Basis von N- oder C-Entzügen	45
5.3.1.5	Verbesserungsbedarf der Humusbilanzierung im Allgemeinen.....	46
6	Bildung wirkungsgleicher Mengen	47

6.1	Schlussfolgerungen aus Dynamik, Wirkungen und Bilanzierung der organischen Substanz	47
6.2	Ertragssteigerung durch die Sonderwirkung bei unterschiedlichen Bezugsgrößen .	50
6.3	Ertragssteigerungen der Sonderwirkung bezogen auf die Zufuhr Humus-C	53
6.3.1	Material und Methoden	53
6.3.1.1	Vergleich von mineralisch-organischer Düngung mit alleiniger Mineraldüngung	53
6.3.1.2	Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger	55
6.3.2	Ergebnisse auf Basis des Vergleichs von mineralisch-organischer Düngung mit alleiniger Mineraldüngung	56
6.3.3	Ergebnisse auf der Basis von Dauer- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger	60
7	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	63
7.1	Humus-C und Ertrag als Bezugsgrößen für wirkungsgleiche Mengen.....	63
7.1.1	Diskussion von Material und Methoden	64
7.1.2	Die Eignung der Zufuhr Humus-C als Bezugsgröße für die Wirkungen der organischen Substanz	66
7.1.3	Die Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung	68
7.1.4	Übertragbarkeit auf den ökologischen Landbau	72
7.2	Möglichkeiten einer monetären Bewertung	73
7.2.1	Abbildung der Substitutionsbeziehung und Berücksichtigung der Effizienz	73
7.2.2	Bewertung von Teilleistungen	76
7.2.2.1	Humusersatz	76
7.2.2.2	Ausweitung der Nährstoffbewertung auf den Humusauf- und -abbau.....	77
7.3	Qualitative Ableitungen für den monetären Wert der organischen Substanz	79
7.4	Fazit.....	81
8	Zusammenfassung	82
9	Literaturverzeichnis.....	85
10	Anhang	I

Tabellenverzeichnis:

Tab. 1: Berechnungsverfahren für die Bewertung innerbetrieblicher Leistungen (nach STEINHAUSER et al. 1992).....	12
Tab. 2: Berechnung der Substitutionskosten von Stalldünger bei Ersatz durch Mineraldünger und Grün- bzw. Strohdüngung (nach STEINHAUSER, 1963).....	13
Tab. 3: Ökonomischer Vergleich von Humuszehrern und Humusmehrern (RAUHE & ROST, o.J.).....	15
Tab. 4: Die KAK der organischen Substanz in verschiedenen Quellen.....	24
Tab. 5: Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) von Oberböden und der Anteil der organischen und anorganischen Komponente des Bodens (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).....	25
Tab. 6: Bewertung der Humussalden in der VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS, et al., 2004) .	38
Tab. 7: Unterschiede zwischen den Koeffizienten der Hauptfruchtarten der VDLUFA-Methode, der HE- und der HE-ÖL-Methode zur Humusbilanzierung, umgerechnet auf kg Humus-C	39
Tab. 8: Unterschiede zwischen den Koeffizienten des Feldfutters und der Zwischenfrüchte der VDLUFA-Methode, der HE- und der HE-ÖL-Methode zur Humusbilanzierung, umgerechnet auf kg Humus-C/ha.....	40
Tab. 9: Standortspezifität, Bezugsgröße, Einflussfaktoren und Substituierbarkeit ausgewählter Wirkungen der OS. Zusammengefasst nach Kap. 4.....	48
Tab. 10: Charakteristika der verwendeten Dauerversuche. Die Standortcharakteristik beschreibt die Bodenart, das langjährige Niederschlagsmittel und die mittlere Jahresdurchschnitttemperatur	54
Tab. 11: Ertragssteigerung durch Zufuhr von 1000kg Humus-C durch verschiedene Maßnahmen der organischen Düngung auf allen Versuchsstandorten (eigene Auswertungen aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX).....	58
Tab. 12: Vergleich der Standortgruppen mit unterschiedlichem Humusbedarf (nach KOLBE, 2005 mündl. Mitteilung) mit der Ertragssteigerung pro 1000kg Humus-C/ha einer Stallmistdüngung auss Dauerversuchen, die den Standortgruppen zugeordnet wurden..	80

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Gliederung der unterschiedlichen Fraktionen der organischen Substanz (KÖRSCHENS et al. 1997).....	3
Abb. 2: Abbau, Anhäufung und Umsatz von organischer Masse im Boden (SAUERBECK, 1985 in SAUERBECK, 1992)	5
Abb. 3: Schematische Darstellung der Erlös- und Kostenfunktion nach MITSCHERLICH (1909 in DABBERT, 1994), verändert.....	10
Abb. 4: Stoffflüsse im Optimierungsmodell (BADEWITZ & GATH, 1982b)	18
Abb. 5: Einfluss physiologisch aktiver Substanzen auf die Ertragsbildung bei Änderung der Umweltfaktoren (FLAIG & SÖCHTIG, 1973)	31
Abb. 6: Ertragsunterschiede und Veränderungen im C_{org} -Gehalt durch unterschiedliche mineralische und organische Düngung im Dauerdüngungsversuch Groß Kreutz (eigene Darstellung nach Daten von ZIMMER et al., 2004).....	52
Abb. 7: Links: Ermittlung der Sonderwirkung anhand der Maximalerträge der mineralischen und der mineralisch-organischen Düngung. Der Doppelpfeil zeigt die Sonderwirkung. Rechts: Ermittlung der Zufuhr Humus-C durch die Differenz zwischen den Bilanzsalden	55
Abb. 8: Der relative Ertrag einzelner Kulturen durch organische Düngung im Vergleich zur alleinigen mineralischen Düngung bezogen auf die Zufuhr Humus-C (eigene Auswertungen aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX).....	56
Abb. 9 Relativer Ertrag der Fruchtfolge durch organische Düngung im Vergleich zu alleiniger Mineraldüngung, bezogen auf die Zufuhr Humus-C. (eigene Auswertungen aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX)	57
Abb. 10: Ertragswirksamkeit der Sonderwirkung bei Stallmist auf verschiedenen Standorten (eigene Auswertung aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX).....	60
Abb. 11: Ertragssteigerung in % bei Kartoffeln durch einmalige und dauerhafte Stallmistanwendung ohne zusätzliche Mineraldüngung (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005).....	61
Abb. 12: Ertragssteigerungen durch einmalige und dauerhafte Gaben von Stallmistkompost. (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005)	61
Abb. 13: Ertragssteigerungen durch einmalige und dauerhafte Gaben von Stallmist und Stallmistkompost. (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005).....	62
Abb. 14: Zusammenhang zwischen steigenden Stallmistgaben in der dauerhaften Anwendung und der Ertragshöhe bei Kartoffeln (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005)	62
Abb. 15: Silomaisertrag in Abhängigkeit des C_t -Gehaltes im Dauerdüngungsversuch Seehausen mit und ohne Mineraldüngung (LEITHOLD, 2004)	69
Abb. 16: Modelle zu den Wirkungen der organischen Substanz. Rechts: Wirkungstrennung in Nährstoffwirkung und Sonderwirkung nach KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) und ASMUS (1992) und Unterteilung der Sonderwirkungen in direkte und indirekte Wirkungen nach	

FLAIG & SÖCHTIG (1973), die Umsatzwirkung wurde hinzugefügt. Links: Komplexe Wirkung der organischen Substanz, die einzelnen Elemente beeinflussen sich gegenseitig und sind nicht eindeutig gegeneinander abgrenzbar (eigene Darstellung) 71

Abb. 17: Links: Ermittlung der Sonderwirkung über den Maximalertrag, ohne Berücksichtigung der Nährstoffeffizienz. Rechts: Ermittlung der Sonderwirkung mit Berücksichtigung der Nährstoffeffizienz, Bezugsgröße sind die verfügbaren Nährstoffe, weshalb die Ermittlung der Sonderwirkung bei jedem Nährstoffniveau möglich ist. 74

Abb. 18: Ermittlung des Wertes der organischen Substanz über die Substitutionsbeziehung zu der Nährstoffversorgung (eigene Abb.) 75

Abb. 19: Ergänzung der bisherigen Stickstoffbewertung um die Stickstofflieferung aus dem Humus-N-Pool 78

Abkürzungsverzeichnis:

BZA	Betriebszweigabrechnung
C_{inert}	inert Kohlenstoff
C_{org}	organischer Kohlenstoffgehalt des Bodens
C_{t}	totaler Kohlenstoffgehalt des Bodens
C_{ums}	umsetzbarer Kohlenstoff
GE	Getreideeinheiten
HE	Humuseinheit, entspricht einer Tonne Humustrockenmasse
Humus-C	Einheit der VDLUFA-Methode für 1 kg Kohlenstoff in der OBS, verwendet auch als Oberbegriff
OBS	organische Bodensubstanz synonym verwendet für den Begriff Humus
OPS	organische Primärsubstanz, umfasst Ernte- und Wurzelrückstände und organische Dünger
OS	Organische Substanz, verwendet als Oberbegriff für die verschiedenen Arten der OS
ROS	Reproduzierbare organische Substanz, entspricht einer Tonne Stallmisttrockenmasse mit einem Humifizierungskoeffizienten von 0,35
TM	Trockenmasse

1 Einleitung

Boden entsteht erst durch die Überschneidung von Atmosphäre, Lithospäre, Hydrosphäre und Biosphäre. Letztere führt durch die Aktivität von Pflanzen und Bodenlebewesen zu einem Auf-, Ab- und Umbau sowie einer Akkumulation von organischer Substanz im Boden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et. al., 2002). Diese organische Bodensubstanz trägt wesentlich zur Regelungs-, Lebensraum- und Nutzungsfunktion des Bodens bei (BLUM, 1997 in KÖRSCHENS, et al., 2002) und ist ein entscheidendes Element der Bodenfruchtbarkeit (SAUERBECK, 1992).

Die genannten Prozesse sind sowohl von den natürlichen Bedingungen abhängig, als auch durch Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft beeinflussbar, weshalb die organische Substanz des Bodens gleichzeitig eine natürliche Ressource und ein wichtiges Produktionsmittel ist.

Der Erhalt eines standorttypischen Humusgehaltes und die Erhaltung oder Förderung der biologischen Aktivität auf landwirtschaftlich genutzten Böden wird im §17 Abs. 2 S. 2 Nr. 6 und 7 des Bundesbodenschutzgesetzes gefordert (LOLL, 2003). Im Rahmen von „Cross Compliance“ wird eine Humusbilanzierung vorgeschrieben, sobald ein Betrieb weniger als drei Fruchtfolgeglieder anbaut (DIREKTZAHLVERPFLV, 2004).

Im ökologischen Landbau wird dem Humusgehalt eine besonders große Bedeutung beigemessen. Dies wird unter anderem in den Verbandsrichtlinien und der EU VO zum ökologischen Landbau deutlich, wo der Erhalt oder die Steigerung des standortspezifischen Humusgehaltes und die Förderung des Bodenlebens und der Bodenfruchtbarkeit gefordert wird. Unter anderem sollen ausreichende Leguminosenanteile (20 – 33%) in der Fruchtfolge vorhanden sein und Wirtschaftsdünger eingesetzt werden (EWG 2091/92, 2003; BIOPARK, 2005; BIOLAND, 2005; GÄA, 2004; NATURLAND, 2005).

Der Einsatz wirtschaftseigener Dünger ist in der Landwirtschaft durch die Düngeverordnung sehr klar geregelt und darf 170kg N/ha/a nicht überschreiten (HDLGN, 2004).

Innerhalb der genannten Vorschriften kann der Landwirt die Humuswirtschaft in einer wirtschaftlich sinnvollen Weise gestalten.

Da im ökologischen Landbau weitgehend geschlossenen Stoffkreisläufe angestrebt werden, sind die einzelnen Produktionsverfahren intensiv miteinander verknüpft und ein großer Teil der Produktionsfaktoren wird im Betrieb selbst erstellt. Dies gilt in besonderem Maße für die organische Substanz (OS) als innerbetriebliche Leistung.

Die Deckungsbeitragsrechnung wird für den ökologischen Landbau als unzureichend bezeichnet, da die unterschiedliche Produktion und Inanspruchnahme von innerbetrieblichen Leistungen nicht im Deckungsbeitrag der jeweiligen Kultur auftaucht, sondern nur als natürliche Größe angegeben wird (HEIßENHUBER, 1993).

In Vollkostenrechnungen wird dagegen versucht die innerbetrieblichen Leistungen monetär zu erfassen um sie im kalkulatorischen Gewinn des Betriebszweiges zu berücksichtigen (DLG, 2004). Je besser und vollständiger die innerbetrieblichen Leistungen erfasst werden

können, desto eher entsprechen die in der Betriebszweigabrechnung (BZA) ermittelten Konkurrenzverhältnisse zwischen den Produktionsverfahren den tatsächlichen Gegebenheiten des Betriebes. Da der organischen Substanz im ökologischen Landbau ein hoher Stellenwert beigemessen wird, ist zu erwarten, dass sie auf die oben genannten Konkurrenzverhältnisse zwischen den Kulturen Einfluss nimmt.

Für die BZA im ökologischen Landbau werden von REDELBERGER (2004) Vorschläge gemacht, wie die Bewertung für Grundnährstoffe, Futter und Stroh u. a. erfolgen kann. Eine Bewertung der organischen Substanz von Wirtschaftsdüngern und humusmehrenden Kulturen unterbleibt jedoch, da „dafür bisher geeignete Ansätze fehlen“ obwohl die OS „sehr wichtig und wertvoll für Ökobetriebe ist“ (REDELBERGER, 2004).

Die Möglichkeiten und Schwierigkeiten einer monetären Bewertung der organischen Substanz sollen deshalb in dieser Diplomarbeit einer eingehenden Überprüfung unterzogen werden. Aufgrund der vielfältigen Wirkungen der organischen Substanz und der stetigen Auf-, Ab-, und Umbauprozesse stellt sich wie bei keiner anderen innerbetrieblichen Leistung die Frage nach der geeigneten Bezugsgröße, die eine Proportionalität zu den Leistungen und Kosten aufweisen muss. Um diesem Aspekt nachzugehen, wird sich zunächst mit der Dynamik der organischen Substanz beschäftigt und die bestehenden Ansätze zur monetären Bewertung aufgeführt und kritisch reflektiert. Die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen bestimmen die weitere Auseinandersetzung mit einer angemessenen Erfassung der Leistung und dafür geeigneten Bezugsgrößen, mit der die organische Substanz quantifiziert werden kann.

2 Dynamik und Stoffflüsse der organischen Substanz

Ziel dieses Kapitels ist es, die Dynamik der organischen Substanz und die damit verbundenen Begrifflichkeiten als Grundlage dieser Arbeit darzustellen.

Der Gehalt an organischer Bodensubstanz (OBS) von Ackerböden ist sehr variabel, liegt meist aber zwischen 300 – 1000 dt/ha (SCHEFFER & ULRICH, 1960). Diese organische Substanz unterliegt ständigen Auf-, Ab- und Umbauprozessen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, et al., 2002). Abhängig von der Stabilität der organischen Substanzen reicht die Verweilzeit des organischen Kohlenstoffs von weniger als einem Jahr bis zu Tausenden von Jahren (JENKINSON & RAYNER, 1977).

Aus diesen verschiedenen Verweilzeiten leitet sich das Vorhandensein verschiedener Pools ab, wobei mindestens zwei Pools unterschieden werden: Der Nährhumus und der Dauerhumus (AHL et al., 1991) bzw. die umsetzbare und die inerte OBS (KÖRSCHENS, 1980). Im Gegensatz dazu bilden beispielsweise JENKINSON & RAYNER (1977) bis zu 5 Fraktionen und unterscheiden zwischen physikalisch stabilisierter und chemisch stabilisierter organischer Substanz.

Für diese Arbeit wird sich im Wesentlichen an der Systematik und der Begriffsbestimmung von KÖRSCHENS et al. (1997) in Abb. 1 orientiert.

Die Begriffe Humus und OBS werden im Folgenden bedeutungsgleich verwendet, obwohl Humus meist als die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz beschrieben wird (SCHROEDER, 1992) und die OBS zusätzlich noch das Edaphon und die lebenden Pflanzen(wurzeln) im Boden mit einschließt (KÖRSCHENS et al. 1997).

Die organische Primärschubstanz (OPS) bezeichnet Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) und organische Dünger, sie lässt sich im Boden aber analytisch nicht von der OBS trennen (AUTORENKOLLEKTIV, 1990 in KÖRSCHENS et al., 1997).

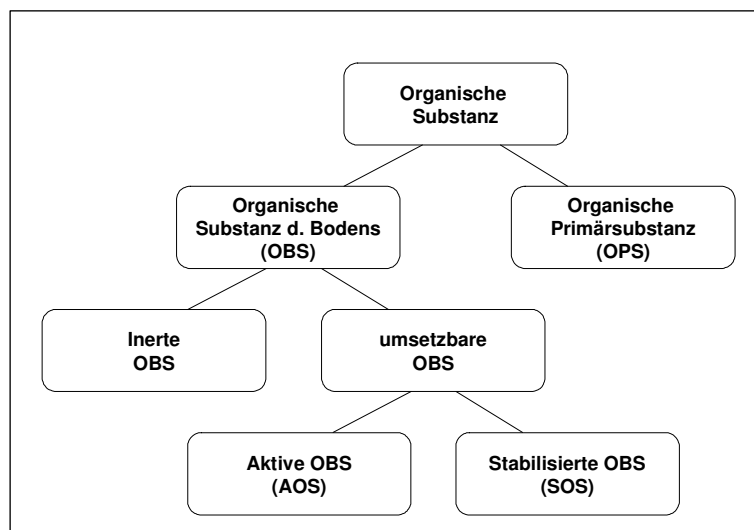


Abb. 1: Gliederung der unterschiedlichen Fraktionen der organischen Substanz (KÖRSCHENS et al. 1997)

Die organische Bodensubstanz wird unterteilt in die inerte OBS und die umsetzbare OBS. Letztere wird wiederum in die aktive OBS (AOS), welche in ihrer Funktion der mikrobiellen Biomasse entspricht, und die stabilisierte OBS (SOS) unterteilt (KÖRSCHENS et al., 1997).

Als inerte Fraktion der OBS wird der Humusgehalt bzw. C- und N-Gehalt des Bodens bezeichnet, der unter natürlichen Bedingungen bei langjähriger Unterlassung jeglicher Düngung und Anbau humuszehrender Fruchtarten bzw. Schwarzbrache nicht unterschritten wird (KÖRSCHENS 1980). Sowohl der inerte als auch der umsetzbare Anteil der OBS ist stark von den Standortbedingungen beeinflusst.

Neben der Korngrößenzusammensetzung haben das Klima (Temperatur und Niederschlag), der Grundwasserstand, die Tiefe des Ap-Horizontes sowie die Hangneigung einen wesentlichen Einfluss auf die OBS (KÖRSCHENS et al., 1997; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

Die höheren Humusgehalte feinkörniger Böden erklären sich aus der Fähigkeit von Tonmineralen, Aluminium- und Eisenoxiden, organische Stoffe zu adsorbieren und damit den mikrobiellen Abbau zu vermindern sowie dem höheren Gehalt an Aggregaten, die den Abbau der eingeschlossenen Kohlenstoffverbindungen vermindern. Je weniger Ton vorhanden ist, desto bedeutsamer wird der Tongehalt für die Anreicherung von Kohlenstoff und Stickstoff (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

Die ausgeprägte Beziehung zwischen inertem Kohlenstoff (C_{inert}) und dem Feinanteilgehalt (Korngröße $< 0,006$ mm) bzw. dem Tongehalt wird von KÖRSCHENS (1980) zur Berechnung des C_{inert} genutzt. Eine andere Möglichkeit ist die Bestimmung des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs um den Gehalt an umsetzbarer OBS zu ermitteln (KLIMANEK & KÖRSCHENS, 1982; KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999).

Der Gehalt an umsetzbarer OBS bei Dauerversuchen mit vergleichbarer Stallmistdüngung aber verschiedenen Tongehalten (3-30 %) wird mit 0,1 - 0,6 % C_{org} angegeben (KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999).

Im Wesentlichen beruht die Veränderung von Humusgehalten also auf Veränderungen der umsetzbaren OBS, verläuft aber sehr langsam. So sind messbare Veränderungen im Gesamthumusgehalt erst nach mehr als 10 Jahren nachweisbar (KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999). Eine Messung von Humusgehalten ist aufgrund der kleinräumigen Variabilität und den jahreszeitlichen Schwankungen mit großen Unsicherheiten behaftet bzw. erfordert eine große Stichprobenmenge (HÜLSBERGEN & DIEPENBROCK, 2000; KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999). Nicht weniger problematisch ist die Messung der umsetzbaren OBS, je nach Versuchsstandort und Fragestellung kann die umsetzbare OBS zwar gut über die mikrobielle Biomasse, die partikuläre organische Substanz oder die heißwasserlösliche Fraktion charakterisiert werden, die Verfahren sind jedoch nicht allgemeingültig verwendbar (GUGGENBERGER, 2000).

Die Umsetzungsintensität der OS eines Standorts kann mit der wirksamen Mineralisierungszeit (WMZ) quantifiziert werden. Sie gibt an, wie viele Tage unter optimalen Bedingungen im

Labor erforderlich wären, um den gleichen Jahresumsatz wie im Freiland zu erzielen (FRANKO & OELSCHLÄGEL, 1995). Aus diesem Grund ist nicht nur der Humusgehalt standortabhängig, sondern auch die Gehaltssteigerungen, die durch die gleiche Zufuhr organischer Substanz erreicht werden können (KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999; KOLBE & PRUTZER, 2004).

Mit steigenden Gehalten an umsetzbarer OBS steigt auch der Bedarf an organischer Substanz zum Erhalt des erhöhten Niveaus (ASMUS & HERRMANN, 1977; ASMUS, 1992). Aus diesem Grund stellt sich im Laufe der Zeit ein bewirtschaftungsabhängiges Fließgleichgewicht ein (FRANKO & OELSCHLÄGEL, 1995). Die Veränderung des Humusgehaltes nach einer Bewirtschaftungsänderung ähnelt deshalb einer e-Funktion (Abb. 2).

Im Fließgleichgewicht entsprechen sich Abbau und Aufbau der OBS, jedoch können u. U. mehr als 50 Jahre bis zum Erreichen eines neuen Fließgleichgewichtes nach einer Veränderung der Bewirtschaftung vergehen. Die Richtung der Veränderung wird vom Ausgangsniveau bestimmt, die gleiche Art der Bewirtschaftung kann bei einem niedrigen Ausgangsniveau eine Erhöhung, bei einem hohen Ausgangsniveau eine Verringerung des Humusgehaltes bewirken (KÖRSCHENS & SCHULZ 1999).

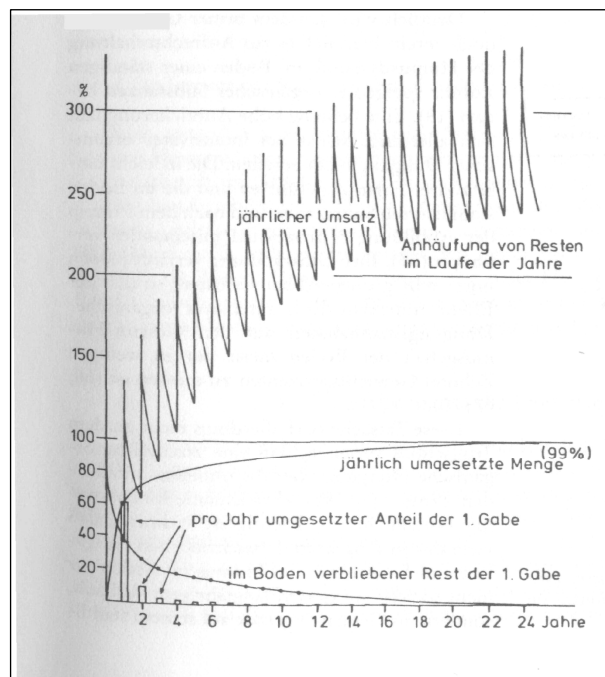


Abb. 2: Abbau, Anhäufung und Umsatz von organischer Masse im Boden (SAUERBECK, 1985 in SAUERBECK, 1992)

Doch nicht nur bei steigenden Humusgehalten sondern auch bei einer steigenden Zufuhr von organischer Substanz steigt der Umsatz an und die Humifizierungskoeffizienten sinken ab (ASMUS, 1995).

Ferner ist die Bildung der OBS ist nicht proportional zur zugeführten Trockensubstanz oder Kohlenstoffmenge, da unterschiedliche Zusammensetzungen der OPS eine unterschiedliche

Humifizierung bedingen. Hohe Gehalte an Lignin vermindern und wasserlösliche Kohlenhydrate, Stärke und Proteine erhöhen die Mineralisierung des Materials (KLIMANEK, 1997).

Um dies zu berücksichtigen, wurden auf Basis von Humifizierungskoeffizienten verschiedener Materialien und Dauerversuchen unterschiedliche Humusbilanzierungsmethoden entwickelt (RAUHE & SCHÖNMEIER, 1966; ASMUS & HERRMANN, 1977; KUNDLER, 1981 in RAUHE et al. 1882; LEITHOLD et al. 1997; u. a.). Darüber hinaus wird die Humusdynamik eines Standortes nicht nur durch Menge und Qualität der organischen Substanz bestimmt, sondern ist auch von der Effizienz der Substratnutzung und die Umsatzleistungen der vorhandenen Mikroorganismenpopulation abhängig (MANZKE, 1995), diesbezüglich können große Unterschiede zwischen unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen auftreten.

Die Effizienz der Substratnutzung, gemessen über den metabolischen Quotienten ($\text{CO}_2\text{-C}$ Basalatmung/ C_{mik}), verbessert sich im Allgemeinen bei höherer Zufuhr an organischer Substanz, wird aber auch von anderen Faktoren beeinflusst (ANDERSON & DOMSCH, 1990; BECK, 1988; HAIDER, 1992; FLIEBBACH & MÄDER, 2000; FLIEBBACH et al., 2000).

Die Kohlenstoff- und die Stickstoffumsetzung sind intensiv miteinander verflochten, da von wenigen Ausnahmen abgesehen der größte Teil (bis 98 %) des Stickstoffs im Boden organisch gebunden ist (SCHEFFER & ULRICH, 1960), wobei wiederum nur die umsetzbare organische Substanz für die N-Mineralisierung relevant ist (KÖRSCHENS & SCHULZ 1999).

Die N-Mineralisierung im Boden ergibt sich aus dem jährlichen Abbau der umsetzbaren OBS und dem C/N-Verhältnis im Boden (MAGID & JENSEN, 2003).

Beim Abbau der OPS ist der C-Umsatz, der im Wesentlichen von der Stabilität der OPS bestimmt wird, die entscheidende Größe für Ausmaß und Geschwindigkeit der Netto-N-Transformation. Die Richtung dieses Transformationsprozesses ist dagegen abhängig vom C/N-Verhältnis des Materials. Aus diesem Grund verlaufen die Umsetzungsprozesse für C und N nicht parallel nach dem jeweiligen C/N-Verhältnis des Materials (KLIMANEK & SCHULZ, 1997; AVNIMELECH, 1986). Beide Faktoren werden auch im mineralization-immobilization turnover (MIT) Modell berücksichtigt, wo Mineralisation und Immobilisation (durch die organische Substanz) zeitgleich stattfinden und deren Summe über die freigesetzte oder festgelegt N-Menge bestimmt (MAGID & JENSEN, 2003). Der Turning-Point zwischen beiden Prozessen wird in der Literatur im Bereich zwischen 10 und 25 % angegeben (MAGID & JENSEN, 2003; THORUP-KRISTENSEN et al., 2003). Da organische Materialien nicht homogen im Boden verteilt sind können N-Mineralisation und -Immobilisation an verschiedenen Orten stattfinden, weshalb für die Pflanze eine Aufnahme von Stickstoff teilweise auch dann möglich ist, wenn eine Netto-Immobilisation ermittelt wird (THORUP-KRISTENSEN et al., 2003).

Eine besonders intensive Form der gegenseitigen Beeinflussung von C- und N-Dynamik liegt bei dem sog. Priming Effekt vor. Der positive Priming Effekt beschreibt eine vermehrte N-Mineralisation, die u. a. durch leicht abbaubare Substanzen, Rhizodeposition und Mineral-

dünger ausgelöst werden kann. Das Gegenteil entspricht einer verstärkten Immobilisation (KUZYAKOV et al. 2000).

Die für diese Arbeit relevante organische Substanz wird in Form organischer Dünger, als Wurzel- und Ernterückstände bzw. als umsetzbare OBS von den Produktionsverfahren in unterschiedlichem Maße produziert oder in Anspruch genommen, weshalb von einem Austausch der OS zwischen den Produktionsverfahren gesprochen werden kann.

Die inerte OBS kann von den Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht beeinflusst werden und ist deshalb lediglich als Einflussgröße relevant.

3 Monetäre Bewertung organischer Substanz in der Literatur

Die integrierenden Kräfte - Bodennutzungsgemeinschaft, Futterausgleich, Arbeitsausgleich und Risikoausgleich - nach BRINKMANN (1922 in STEINHAUSER, 1963) mit ihren kumulativen Beziehungen sind die Grundlage für den Austausch der innerbetrieblichen Leistungen zwischen den Betriebszweigen. Eine Quantifizierung der innerbetrieblichen Werte ist die Voraussetzung für die Bestimmung des Betriebsoptimums mit seinen drei Elementen: der optimalen Intensität, der optimalen Produktionsrichtung und der optimalen Zusammensetzung des Aufwandes (Minimalkostenkombination) (WEINSCHENCK, 1956; WOERMANN, 1954 in DABBERT, 1994).

Die innerbetrieblichen Leistungen werden in drei Gruppen unterteilt: a) Produktionsfördernde Leistungen, b) Produktionsverbilligende Leistungen, c) Risikomindernde Leistungen. Leistungen zur Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit, einschließlich der Beiträge zur Humusversorgung werden der ersten Gruppe zugeordnet (STEINHAUSER, 1963).

Die Bewertung der kumulativen Beziehungen zwischen den Produktionszweigen spielte bereits ab 1800 bei Thaer und Thünen, eine große Rolle. Sie basierte auf der sog. Statik und der Humustheorie, die den heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen jedoch nicht mehr entsprechen, wie auch einige der darauf folgenden Berechnungsverfahren (STEINHAUSER, 1963; DABBERT, 1994).

Die neueste Entwicklung in der sich Ökonomen wieder vermehrt dem Humus zuwenden, findet sich in der Diskussion über den Boden als mögliche Senke für CO₂.

Die derzeitigen Marktpreise für eine CO₂-Minderung liegen in Europa zwischen 20 – 30 €/t CO₂ (INFOPORTAL ZUM EMISSIONSHANDEL, 2006), dies entspricht 5,46 – 8,19 €/t Kohlenstoff. FREIBAUER et al. 2004 nennt dagegen Preise von 0,82 € pro Tonne Kohlenstoff, bei PRETTY & BALL, (2001 in RECOUS & CADISCH, 2004) werden die Preise weltweit mit 1-38\$/t Kohlenstoff angegeben. Die Einflüsse der verschiedenen Maßnahmen auf den Betriebsgewinn können sowohl positiv als auch negativ sein, und werden von FREIBAUER et al. (2004) und der ECCP (2001) lediglich qualitativ abgeschätzt. ANTLE et al. (2001) berechnet dagegen Kosten von 12-140 \$/t C für einen Verzicht auf die, zur Erhöhung des Wasservorrates durchgeführte Schwarzbrache oder 50-500 \$/t C für eine Umwandlung von Ackerland in Dauergrünland in den Northern Plains der USA. Der in Relation zum Aufwand der Humusanreicherung, recht niedrigen „Marktpreises“ für die Anreicherung von Kohlenstoff im Boden steht jedoch nur in geringem Bezug zu der eigentlichen Bewertung von innerbetrieblichen Werten.

Im Folgenden werden die Einflussgrößen auf den Wert der organischen Dünger, die Berechnung innerbetrieblicher Werte und ihre Verwendung in der Betriebszweigabrechnung, sowie die Berücksichtigung des Humushaushaltes in ökonomischen Modellen vorgestellt.

3.1 Einflussgrößen auf den monetären Wert der organischen Dünger

ANDREAE (1956 u. 1959) hat sich mit der Ökonomie der Humuswirtschaft beschäftigt und auf die Verkopplung von Düngerwirtschaft, Fruchtfolge und Lohn- und Preisverhältnisse hingewiesen. Für steigende Lohnkosten prognostizierte er den Ersatz der Humuswirkung des Stalldüngers durch Klee-graswirtschaft bzw. Wurzelhumus und für sinkende Mineraldüngerpreise den Ersatz der Nährstoffwirkung durch Mineraldünger.

Das tatsächliche Eintreten dieser Entwicklung wird von REISCH & KNECHT (1995), REISCH & ZEDDIES (1992) und BRANDES & WOERMANN (1971) bestätigt. Durch steigende Lohnkosten kann sich die Anwendung des Stalldüngers auch von den verwertungseffizientesten Kulturen hin zu den Kulturen, deren Düngung in Zeiten mit niedriger Arbeitsbelastung möglich ist, verschieben (BRANDES & WOERMANN (1971) bzw. durch strohlose Aufstallung der Stalldünger durch Stroh- und Gülledüngung ersetzt werden (PAASCH, 1960).

Der Wert der organischen Dünger ist auch Standortabhängig und wird deshalb von HOPFE, MEIMBERG und FÖRSTER (1960, in STEINHAUSER, 1963) in Abhängigkeit vom Grünlandanteil bewertet.

Die Anwendung der organischen Dünger als wichtiges Produktionsmittel ist auch Gegenstand Produktionstheoretischer Überlegungen.

So wurde das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs auch auf die organische Düngung bezogen und beschreibt den abnehmenden Wert pro Einheit des verwendeten Produktionsmittels bei steigenden Aufwandmengen (ANDREAE, 1956 u. 1959; RINTELEN, 1947 in STEINHAUSER, 1963; BRANDES & WOERMANN, 1971). Der abnehmende Ertragszuwachs bezieht sich nicht nur auf die Einsatzmenge der organischen Dünger, sondern auch auf die Standortqualität und die Anbauverhältnisse von humusmehrenden zu humuszehrenden Pflanzen (STEINHAUSER, 1963).

Die Produktion des Stalldüngers und die Beschaffungskosten eines Substituts unterliegen dem Gesetz der steigenden Kosten (ANDREAE, 1956; STEINHAUSER, 1963). Genauer bedeutet dies, dass die Produktionskosten steigen, je stärker die Produktion der Nebenleistungen über das eigentlich anfallende Maß hinaus ausgeweitet wird. So können bei einer Ausweitung der Gründüngung die Produktionskosten pro dt TM steigen, wenn nur noch Vorfrüchte zur Verfügung stehen, die eine spätere Saat und damit geringere Erträge erlauben (STEINHAUSER, 1963). Des Weiteren liegt eine abnehmende Grenzrate der Substitution zwischen den Maßnahmen der organischen Düngung vor (WEINSCHENCK, 1956), d.h., dass mit steigender Substitutionsrate die Kosten für den Ersatz der letzten Einheit steigen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse erfolgt die Ermittlung der optimalen Aufwandsmengen und Verteilung durch Differenzrechnung oder Produktions-, Erlös-, und Kostenfunktionen.

Maßgeblich für die Verteilung ist die erreichbare Leistungssteigerung der Kulturen: Der höchste Effekt der Stalldungwirkung ist dann erzielt, wenn die in Geld gemessenen Ertragssteigerungen aller Früchte durch die Verwendung der verschiedenen Stalldüngermengen gleich hoch sind (ANDREAE, 1956 u. 1959; PAASCH, 1960; WOERMANN & ANDREAE, 1952 in

STEINHAUSER, 1963). Aus diesem Grunde haben die Hackfrüchte meist erste Priorität bei der Stalldüngerversorgung (ANDREAE, 1956 u. 1959).

In den landwirtschaftlichen Betrieben der DDR wurde eine Rangfolge nach Kulturarten- und Standortgruppen für den Empfang von organischer Düngung aufgestellt und die Notwendigkeit einer Minimierung des Transportaufwandes und einer Erhöhung der Transportwürdigkeit der organischen Dünger betont (AUTORENKOLLEKTIV, 1983).

Die Ermittlung von Produktionsfunktionen, inklusive der ertragsmindernden Wirkung zu hoher Konzentrationen eines Wachstumsfaktors, erfolgt beispielsweise bei MITSCHERLICH (1928 in DABBERT, 1994). Die Arbeiten von Mitscherlich basieren auf der Theorie von Liebscher (DABBERT, 1994). Liebscher hat das Minimumgesetz von Liebig dahingehend modifiziert, dass der Minimumfaktor umso stärker ertragswirksam ist, je mehr sich die anderen Faktoren dem Optimum annähern (LIEBSCHER 1895 in FINCK, 1991). Die Produktionsfunktionen wurden für viele Wachstumsfaktoren anhand von Feldversuchen ermittelt (MITSCHERLICH, 1947), jedoch nicht für die Zufuhr oder den Gehalt des Bodens an organischer Substanz.

Um die Entwicklung der Produktionsfunktion im Verhältnis zur Zeit abzubilden, ist es notwendig die Veränderung der Wachstumsfaktoren von einer Periode in die nächste zu übertragen (DABBERT, 1994). Dafür stehen die sog. Carry-over Funktionen zur Verfügung (HEADY & DILLON, 1961 in DABBERT, 1994; FULLER, 1965; STAUBER et al., 1975; LANZER & PARIS, 1981), die in erster Linie für die monetäre Bewertung von Nährstoffgaben verwendet wurden. LANZER & PARIS (1981) verwenden den Achsenabschnitt b (vgl. Abb. 3) der Produktionsfunktion um sowohl die Standortqualität ohne den Einsatz eines Produktionsmittels zu erfassen, als auch um die Veränderung des Achsenabschnittes durch die Bewirtschaftung der vorhergehenden Periode zu erfassen.

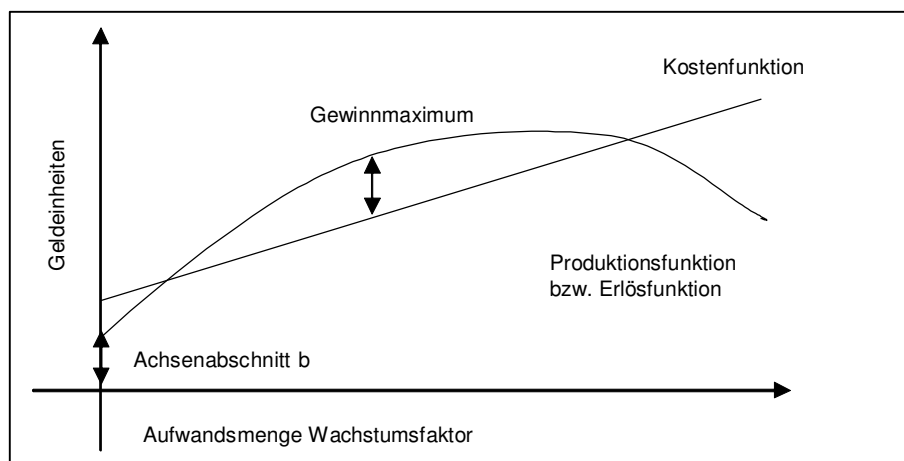


Abb. 3: Schematische Darstellung der Erlös- und Kostenfunktion nach MITSCHERLICH (1909 in DABBERT, 1994), verändert

Abb. 3 zeigt den schematischen Verlauf einer Produktionsfunktion und einer linearen Kostenfunktion. Je nach Gegebenheiten kann die Kostenfunktion auch überproportional (Gesetz der steigenden Kosten ANDREAE (1959) oder unterproportional verlaufen (STEINHAUSER et al. 1992). Welche Auswirkungen die Kombination des Stalldüngers mit anderen Faktoren auf dessen Wert hat, wird von PAASCH (1960) thematisiert. Es wird zwischen einer limitationalen, komplementären oder substitutiven Beziehung unterschieden. Limitational sind die Wirkungen dann, wenn eine Ertragssteigerung nur durch Einsatz des Stallmistes zu erreichen sind, komplementär, wenn sich die Produktionsmittel in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken, und substitutiv, wenn die Produktionsmittel sich gegenseitig ersetzen können. Die Einordnung in diese drei Kategorien verändert sich nach der Aufwandmenge und den kombinierten Faktoren. Je nach dem, welche Beziehungen vorliegen, lassen sich sehr unterschiedliche Isoquanten¹ (bzw. Isofertilen², DABBERT, 1994) aus der Kombination zweier Produktionsfaktoren bilden, was die Bestimmung einer Minimalkostenkombination ermöglicht (STEINHAUSER et al. 1992).

Die Kosten der Substitute für die Bodenfruchtbarkeit haben ebenso wie die Preise für landwirtschaftliche Produkte einen großen Einfluss auf die Wertschätzung der Bodenfruchtbarkeit. Dabei ergibt sich, dass eine hohe Wertschätzung nur bei hohen Preisen für die landwirtschaftlichen Produkte und Substitute vorliegt. In den anderen drei von vier möglichen Kombinationen liegt eine geringe Wertschätzung der produzierten Bodenfruchtbarkeit vor (STEINHAUSER, 1963). DABBERT (1994) nennt zusätzlich noch eine niedrige Zinsrate (auf dem Kapitalmarkt) als Bedingung für eine Anreicherung der Bodenfruchtbarkeit.

3.2 Rechenverfahren für die Ermittlung von innerbetrieblichen Werten

AEREBOE (1896 in STEINHAUSER 1963) verwendet für die Bewertung organischer Dünger erstmals den Veredelungswert sowie den Ersatzkostenwert und weist gleichzeitig auf die Ungenauigkeit dieses Wertes aufgrund der mangelnden Vergleichbarkeit der Nährstoffe und der Schwierigkeit der Bewertung der organischen Substanz hin.

Durch die Arbeiten zahlreicher weiterer Autoren wurden vier auch heute noch verwendete Bewertungsverfahren für innerbetriebliche, also nicht-marktfähige und nicht-marktgängige, Werte entwickelt, die in Tab. 1 beschrieben werden. Die Berechnung basiert auf der Bildung wirkungsgleicher Mengen, wodurch ein Produktionsmittel durch ein anderes substituiert werden kann. Außerdem muss jeweils der niedrigste Wert verwendet werden, um die Forderung der Minimalkostenkombination zu erfüllen (STEINHAUSER, 1963; WEINSCHENCK, 1956). In den meisten Fällen ist der Veredelungswert am höchsten und die anderen Werte liegen niedriger (STEINHAUSER, 1963).

¹ Die Kurve einer Isoquante beschreibt ein bestimmtes Ertragsniveau, dass mit verschiedenen Kombinationen zweier Produktionsmittel erzielt werden kann.

² Die Isofertile beschreibt den gleichen Sachverhalt, jedoch für ein konstantes Niveau an Bodenfruchtbarkeit.

Tab. 1: Berechnungsverfahren für die Bewertung innerbetrieblicher Leistungen (nach STEINHAUSER et al. 1992)

Veredelungswert	Verkaufswert der Produkte die mit der innerbetrieblichen Leistung erzeugt werden, abzüglich der Veredelungskosten.
Ersatzkostenwert	Kosten der günstigsten Beschaffungsmöglichkeit einer wirkungsgleichen Menge eines anderen nicht marktfähigen Gutes.
Relativer Verkaufswert	Geldbetrag durch den Verkauf der billigsten wirkungsgleichen Menge eines Selbsterzeugten marktfähigen Substituts.
Relativer Zukaufswert	Geldbetrag durch den Zukauf der billigsten wirkungsgleichen Menge eines Substituts.

Ferner ist noch der Herstellungswert, der die Herstellungskosten der innerbetrieblichen Leistung erfasst, in Erwägung zu ziehen (SEIDEL, 1984 in LEIBER, 1984).

Beim Veredelungswert muss zwischen dem Grenz- und dem Durchschnittswert unterschieden werden (STEINHAUSER et al. 1992).

In einzelnen Fällen kann es zweckmäßig sein, nur Teileigenschaften der innerbetrieblichen Leistungen zu erfassen (z.B. nur die Nährstoffe) (STEINHAUSER, 1963).

Bei STEINHAUSER, (1963) werden die innerbetrieblichen Leistungen für die Humuswirtschaft von Stallmist, Stroh, und Nebenprodukten (Rübenblatt) bewertet. Die Gründüngung wird nur als Substitut herangezogen, da sie keine echte Nebenleistung ist, und die Wurzel- und Ernterückstände der Kulturpflanzen bleiben unberücksichtigt, da diese von STEINHAUSER (1963) über die Fruchtfolgewirkungen erfasst werden.

STEINHAUSER (1963) differenziert zwischen der Nährstoffwirkung und der Sonderwirkung, welche standortspezifisch ist und auch von der Bodennutzung und dem Düngungsniveau abhängt. Beispielsweise kann auf Grünland nur der Nährstoffwert des Stalldüngers angerechnet werden, da genug organische Substanz vom Grünland selbst produziert wird.

Bei einer Berechnung der Ersatzkosten wird angenommen, dass Stalldünger durch eine Minereraldüngung in Kombination mit einer Strohdüngung oder einer Gründüngung ersetzt werden kann. Als problematisch wird gesehen, dass die Substitutionsverhältnisse nur annäherungsweise bekannt sind. Bei der Bildung von wirkungsgleichen Mengen für die Substitution von Stroh oder Stallmist durch Gründüngung wird sich auf die ober- und unterirdische Trockenmasse bezogen; die unterschiedlichen C/N-Verhältnisse werden nicht berücksichtigt, da sie über die Zugabe von Mineraldünger zum Stroh ausgeglichen werden können. Spurenelemente werden ebenfalls nicht mit einbezogen.

Die Berechnung der jeweiligen Substitutionskosten erfolgt wie in

Tab. 2 dargestellt.

Kosten für eine Strohdüngung und damit für den Humusersatz des Stalldüngers können nur veranschlagt werden, wenn eine alternative Verwendung für das Stroh besteht.

Oder aber es werden bei innerbetrieblicher Verwertung des Strohs zur Strohdüngung die Kosten des jeweils eingesparten bzw. ansonsten erforderlichen organischen Düngemittels z. B. einer Gründüngung verwendet.

Tab. 2: Berechnung der Substitutionskosten von Stalldünger bei Ersatz durch Mineraldünger und Grün- bzw. Strohdüngung (nach STEINHAUSER, 1963)

Substitution durch Gründüngung	Substitution durch Strohdüngung
+ Nährstoffwert des Stalldüngers auf der Basis von Handelsdüngemitteln	+ Nährstoffwert des Stalldüngers auf der Basis von Handelsdüngemitteln
+ Ausbringungskosten für den Handelsdünger	+ Ausbringungskosten für den Handelsdünger
- Ausbringungskosten für den Stalldünger	- Ausbringungskosten für den Stalldünger
+ Spezialkosten einer der TM des Stalldüngers äquivalenten Gründüngermenge	+ Wert einer der TM des Stalldüngers äquivalenten Strohmenge
- Nährstoffwert der Gründüngung	- Nährstoffwert des Strohs
= Substitutionskosten je dt Stalldüngung	= Substitutionskosten je dt Stalldüngung

Die Kosten für die Substitution des Strohs durch eine Gründüngung ergeben sich auf die gleiche Weise wie für den Stallmist in Tab. 2.

Bei einem Verkauf des Strohs wird der Gewinn aus dem Strohverkauf, abzüglich des Nährstoffwertes des Strohs und der Ausbringungskosten für die äquivalente Menge Mineraldünger veranschlagt.

Ähnlich verhält es sich bei der Ermittlung des Stalldüngerwertes durch Substitution mit Mineraldünger und Zuckerrübenblatt. Nur wenn das Rübenblatt verkauft oder verfüttert werden kann, entspricht die Humusleistung dem entgangenen Gewinn, andernfalls ist sie kostenlos.

Bei REISCH & ZEDDIES (1992) werden die Kosten der organischen Substanz für Stallungsbereitstellung, Flüssigmist, Strohdüngung, Rübenblattdüngung und Gründüngung mit Kleeergasgemenge auf Basis der TM der organischen Substanz berechnet. Dazu werden die variablen Kosten, die Arbeitskosten, Spezialkosten und eventuelle Nutzungskosten (Strohverkauf, Rübenblattverkauf oder Ertragsdepression durch Untersaat) addiert und der Nährstoffwert, berechnet auf Basis von Mineraldüngeräquivalenten und Mineraldüngerpreisen, wird subtrahiert. Bei der Bewertung des Stickstoffs wird nicht unterschieden, ob es sich um aus dem Boden aufgenommenen oder aus der Luft fixierten Stickstoff handelt.

Die sich ergebenden Gesamtkosten sind stark davon beeinflusst, ob Nutzungskosten bei alternativen Nutzungsmöglichkeiten anfallen. Sollten die verschiedenen Maßnahmen nicht zum gleichen Ertragsergebnis kommen, so soll eine Ertragsminderung als zusätzlicher Kostenfaktor mit einbezogen werden (REISCH & ZEDDIES, 1992).

Auch LEIBER (1984) verwendet die TM als Bezugsgröße für die Kosten der organischen Düngung, weist jedoch darauf hin, dass die Humuswirkung der verschiedenen organischen Düngemittel nicht gleich ist. Bei der Berechnung der Kosten der Stallmist- und kombinierter

Stroh- und Gründüngung werden die variablen Kosten inklusive Arbeitskosten berücksichtigt; nach Abzug des Nährstoffwertes ergeben sich die Kosten für den Humusersatz.

Eine Berechnung der Ersatzkosten bezogen auf die TM der organischen Substanz führen auch JÄGER & MÖLLER (1996) für die Bewertung der organischen Substanz in Kompost durch. Dafür werden die variablen Kosten inklusive der Arbeitskosten für eine Klee gras-Gründüngung berechnet, die zusätzliche Stickstofffixierung des Klee grasses wird jedoch nicht berücksichtigt.

REISCH & KNECHT (1995) nehmen an, dass 50 % des TM-Gehaltes der organischen Dünger zur Humusbildung beitragen und bilden auf dieser Basis wirkungsgleiche Mengen.

Zur Berechnung werden die variablen Kosten abzüglich des Nährstoffwertes ohne den im Dauerhumus gebundenen Stickstoff auf Basis von Mineraldüngerpreisen verwendet. Die variablen Maschinenkosten werden nur für die Ausbringung des Stallmistes, nicht aber für die Strohbergung einbezogen. Der Arbeitsbedarf wird nicht geldlich bewertet, aber bei der Aufstellung einer Rangfolge berücksichtigt. Auch hier sind die Nutzungskosten ausschlaggebend für die Rangfolge der Maßnahmen.

Im vorangegangenen Abschnitt wurden für die Berechnung der Ersatzkosten verschiedene Bezugsgrößen (meistens TM) verwendet. Die Forderung der wirkungsgleichen Mengen für die Berechnung der innerbetrieblichen Werte wird von MÖLLER & SCHMIDT-EISERT (1999) als schwer erfüllbar angesehen.

Eine dem Veredelungswert ähnliche Berechnung für den Wert von Kompost wird von SCHREIBER (2005) durchgeführt, jedoch keine Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkungen vorgenommen. Für den Kompost wird ein Preis von Null und eine freie Anlieferung ans Feld angenommen. Die Deckungsbeiträge, in denen auch die Ausbringung des Kompostes und die Ertragssteigerung durch den Kompost berücksichtigt sind, werden berechnet. Die Differenz zu den Deckungsbeiträgen ohne eine Kompostanwendung entspricht dem maximalen Kompostpreis für die zugeführte Kompostmenge.

Auch RAUHE & ROST (O.J.) berechnen den Vorteil von Humuszehrn gegenüber Humusmehrern mit dem Veredelungswert, wie in Tab. 3 aufgeführt ist. Die Wirkung der organischen Substanz wird mit 5 GE³/t TM OS in der Gesamtfruchtfolge angegeben, ohne dass die Berechnung dieses Wertes genauer angegeben wird.

³ 1 GE steht für Getreideeinheit, und entspricht 1 dt Gerste. Andere Erzeugnisse können mit dem Getreideeinheitenschlüssel auf diese Einheit umgerechnet werden.

Tab. 3: Ökonomischer Vergleich von Humuszehrnern und Humusmehrern (RAUHE & ROST, o.J.)

Kultur	Silomais	Luzerne
1. Abrechnung der oberirdischen Leistung Erlös M ¹⁾ /ha - Kosten M/ha = Ergebnis M/ha	200	50
2. Abrechnung der Leistung für die Bodenfruchtbarkeit Zufuhr bzw. Entzug in TM/ha	-2,8	10,5 ²⁾
möglicher Mehrertrag in GE (5GE/tTM)	0	52,5
Ergebnis aus dem Mehrertrag (20M/GE)	0	1100
3. Abrechnung aus 1. und 2. Ergebnis M/ha	200	1150

¹⁾ M= DDR-Mark ²⁾ Mit berücksichtigt ist der sog. Doppeleffekt

Die Humuszehrung des Silomaises wird berechnet, indem angenommen wird, dass 50 % des TM-Ertrages dem Humusabbau entsprechen (RAUHE & ROST, o.J.). Eine monetäre Bewertung des Humusabbaus unterbleibt jedoch. In der monetären Bewertung der Humusmehrung durch die Luzerne wird der sog. Doppeleffekt berücksichtigt, der entsteht, wenn a) durch den Anbau von Humusmehrern die Humuszehrerfläche verkleinert wird und b) diese Fläche besser durch die Humusmehrer bzw. mit Stalldünger versorgt wird (RAUHE et al. 1982; ROST et al. 1983). LEITHOLD (2004) beschreibt diesen Sachverhalt als Dreifacheffekt.

Aber auch andere Verfahren der Bewertung wurden in der DDR für den Austausch von organischen Düngern verwendet.

Eine Bewertung des Stallmistes mit einem berechneten Nährstoffwert von rund 5 Mark/t Stalldung und einem Wert von 5 Mark/t für die organische Substanz der nicht genauer erläutert wird, findet sich beim AUTORENKOLLEKTIV (1981). Des Weiteren wurde die Verwendung von Qualitätsklassen in Verbindung mit abgestuften Preisen empfohlen (AUTORENKOLLEKTIV, 1981).

An anderer Stelle wird vorgeschlagen, die organische Substanz bei Gülle nur nach besonderer Vereinbarung, bei Stallmist auf Basis des Wertes für das eingesetzte Streustroh, zu bewerten (RÜBESAM, o.J.).

3.3 Innerbetriebliche Werte in der Betriebszweigabrechnung

Die Betriebszweigabrechnung ist eine Vollkostenrechnung zur Planung und Kontrolle. Der Gesamtbetrieb wird in einzelne Betriebszweige unterteilt und der Austausch zwischen den Betriebszweigen mittels innerbetrieblicher Werte monetär bewertet (DLG, 2004).

Die besonders intensive Verflechtung der Produktionsverfahren im ökologischen Landbau wird von HEIBENHUBER (1993) und LAMPKIN & PADEL (1994) hervorgehoben und die Notwendigkeit einer Vollkostenrechnung, in der die Geldflüsse den Materialflüssen entsprechen, betont. Die Kosten eines Kleegrases müssten beispielsweise aufgrund der Futterlieferung teilweise der Viehhaltung und wegen der N-Fixierung und Unkrautregulierung teilweise den nachfolgenden Kulturen angerechnet werden (HEIBENHUBER, 1993).

Die Deckungsbeitragsrechnung wird von REDELBERGER (1997) als ungeeignet für den ökologischen Landbau bezeichnet, da die für den Betriebserfolg entscheidenden innerbetrieblichen Leistungen nicht geldlich erfasst werden.

In der derzeitigen allgemeinen Betriebszweigabrechnung wird der Wirtschaftsdünger lediglich mit dem Nährstoffwert, errechnet aus den verfügbaren Nährstoffmengen und Mineraldüngerpreisen, bewertet (DLG, 2004).

Für die Betriebszweigabrechnung im ökologischen Landbau schlägt REDELBERGER (2004) vor, die Nährstoffleistung der organischen Dünger und der N₂-Fixierung der Leguminosen monetär zu bewerten. Die Kosten für Stickstoff werden anhand der Stickstofffixierung und der Anbaukosten der Leguminosen-(Grasgemenge) ermittelt und sind mit 2,00 - 5,00 € je kg N deutlich höher als im konventionellen Landbau. Jedoch bestehen keine genauen Angaben, inwieweit hier Verluste oder die Verfügbarkeit des Stickstoffs einbezogen werden (REDELBERGER, 2004).

Für die Bewertung von Wirtschaftsdüngern soll ein Preis von 2,50 € je kg N verwendet werden. Dabei werden unabhängig von der Art der Wirtschaftsdünger jeweils nur 66% des Stickstoffgehaltes für die monetäre Bewertung angerechnet. Damit sind sowohl Verluste, insbesondere bei Gülle und Jauche als auch eine unvollständige Pflanzenverfügbarkeit des Stickstoffs in Stalldüngern und Komposten mit einbezogen. Die übrigen Nährstoffe werden anhand der Zukaufpreise bewertet (REDELBERGER, 2004).

Sowohl REDELBERGER (2004) als auch MÖLLER & SCHMIDT-EISERT (1999) betonen, dass der Wert der organischen Dünger durch eine Berücksichtigung der für den ökologischen Landbau wichtigen organischen Substanz steigen würde.

Die gerechte Aufteilung der Kosten für die organische Düngung ist ein weiterer wichtiger Aspekt.

In dem Vorschlag für die Betriebszweigabrechnung der DLG (2004) wird der Nährstoffwert von der Pflanzenproduktion an die Tierproduktion gezahlt, die wiederum für die Ausbringungskosten aufkommt (DLG, 2004).

REDELBERGER (2004) schlägt aufgrund der Langzeitwirkung von organischen Düngern vor, die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern als eigenen Betriebszweig zu berechnen, der dann mit den Verfahren der Tier- und Pflanzenproduktion kombiniert werden kann. In der Vollkostenrechnung trägt die Tierhaltung die Ausbringungskosten und bekommt dafür den Nährstoffwert vergütet. Im Ackerbau wird der Nährstoffentzug der Kulturen mit den innerbetrieblichen Werten für die Nährstoffe bewertet (REDELBERGER, 2004).

Es sind jedoch auch andere Vorgehensweisen für die Aufteilung der Kosten zwischen den Betriebszweigen denkbar. Bei REISCH & ZEDDIES (1992) übernimmt die Tierhaltung die Kosten für Strohhäufung, Stallmisterzeugung und -ausbringung, die Kosten der Strohdüngung und Nährstoffe werden von der pflanzlichen Produktion gezahlt.

Weitere Beispiele finden sich in der Literatur aus der DDR.

Bei RÜBESAM (O.J) wird vorgeschlagen, dass die Pflanzenproduktion mindestens den Nährstoffwert der organischen Dünger an die Tierproduktion zahlt. Die Ausbringungskosten sollen von der Tierproduktion übernommen werden, und zwar bei Gülle vollständig, und bei Stallmist nur bis zum ersten Lagerungsort.

Beim AUTORENKOLLEKTIV (1981) wird die gleiche Vorgehensweise vorgeschlagen, jedoch soll die Pflanzenproduktion zusätzlich die Umschlags-, Lagerungs-, und Ausbringungskosten, die für eine dem Nährstoffwert äquivalente Menge an Mineraldünger nötig gewesen wären an die Tierproduktion zahlen.

3.4 Berücksichtigung der Humusreproduktion in ökonomischen Modellen

Modelle werden in der Betriebswirtschaft verwendet, um die wichtigsten Komponenten und ihre Interaktion in einem System abzubilden. Die Modelle können unter anderem zur Optimierung und zur Simulation von betriebswirtschaftlichen Aspekten verwendet werden (MÖLLER, 1995).

Eine Berücksichtigung der Humusreproduktion in mathematischen Optimierungsmodellen wurde von BADEWITZ & GATH (1982b) als wichtige Voraussetzung für die Richtigkeit eines Modells gesehen. Die Stoffkreisläufe sollen inklusive der Zu- und Abgänge im System Boden-Pflanze-Tier vollständig erfasst werden und eine Verflechtung mit anderen Betrieben ermöglichen. Die Humusreproduktion soll auf Schlag- bzw. Fruchtfolgeebene erfassbar sein (BADEWITZ & GATH, 1982b). Die Stoffflüsse des Modells sind in Abb. 4 dargestellt, beziehen sich aber in erster Linie auf den Einfluss der Humusreproduktion auf die Stickstoffversorgung.

Auch STEINHAUSER et al. (1992) sehen die Erfassung gesamter Betriebssysteme als Voraussetzung für die Ermittlung und Verwendung von innerbetrieblichen Werten.

Das Modell in Abb. 4 wurde von BADEWITZ & BEYER (1985) in der DDR angewendet, um die Optimierung der Futterproduktion unter Berücksichtigung der Humusreproduktion vorzunehmen. Unter dem Humusreproduktionsniveau wird hier nicht der Bilanzsaldo verstanden, sondern die reproduktionswirksame organische Substanz (ROS⁴), die dem Boden je Flächen- und Zeiteinheit zugeführt wird. Deshalb kann das Humusreproduktionsniveau steigen ohne dass sich der Humusspiegel verändert, weil der Abbau in gleichem Maße steigt (BADEWITZ & GATH, 1982a). Für die Bewertung der Humusreproduktion wird die Veränderung der Leistung der gesamten Rotation erfasst (BADEWITZ & BEYER, 1985) und auch der bereits erwähnte Doppelleffekt berücksichtigt.

Inwieweit die durch verbesserte Humusreproduktion erhöhte Ertragsfähigkeit in eine höhere Leistung umgesetzt werden kann, hängt entscheidend von den angebauten Kulturen (Humuszehrer) und der konkreten Verfügbarkeit der anderen Produktionsfaktoren ab. Damit wird die

⁴ ROS wird als Einheit in einer Humusbilanzierungsmethode verwendet und entspricht der Humusersatzleistung von 1t Stallmisttrockenmasse mit einem Humifizierungskoeffizienten von 0,35.

Leistung eine Funktion der verschiedenen Humusreproduktionsniveaus und der Faktorverfügbarkeit anderer Produktionsfaktoren. Zur Festlegung dieser Funktion sind mindestens zwei Intensitätsstufen der ROS-Versorgung mit Kosten und Leistungserfassung notwendig (BADEWITZ & BEYER, 1985).

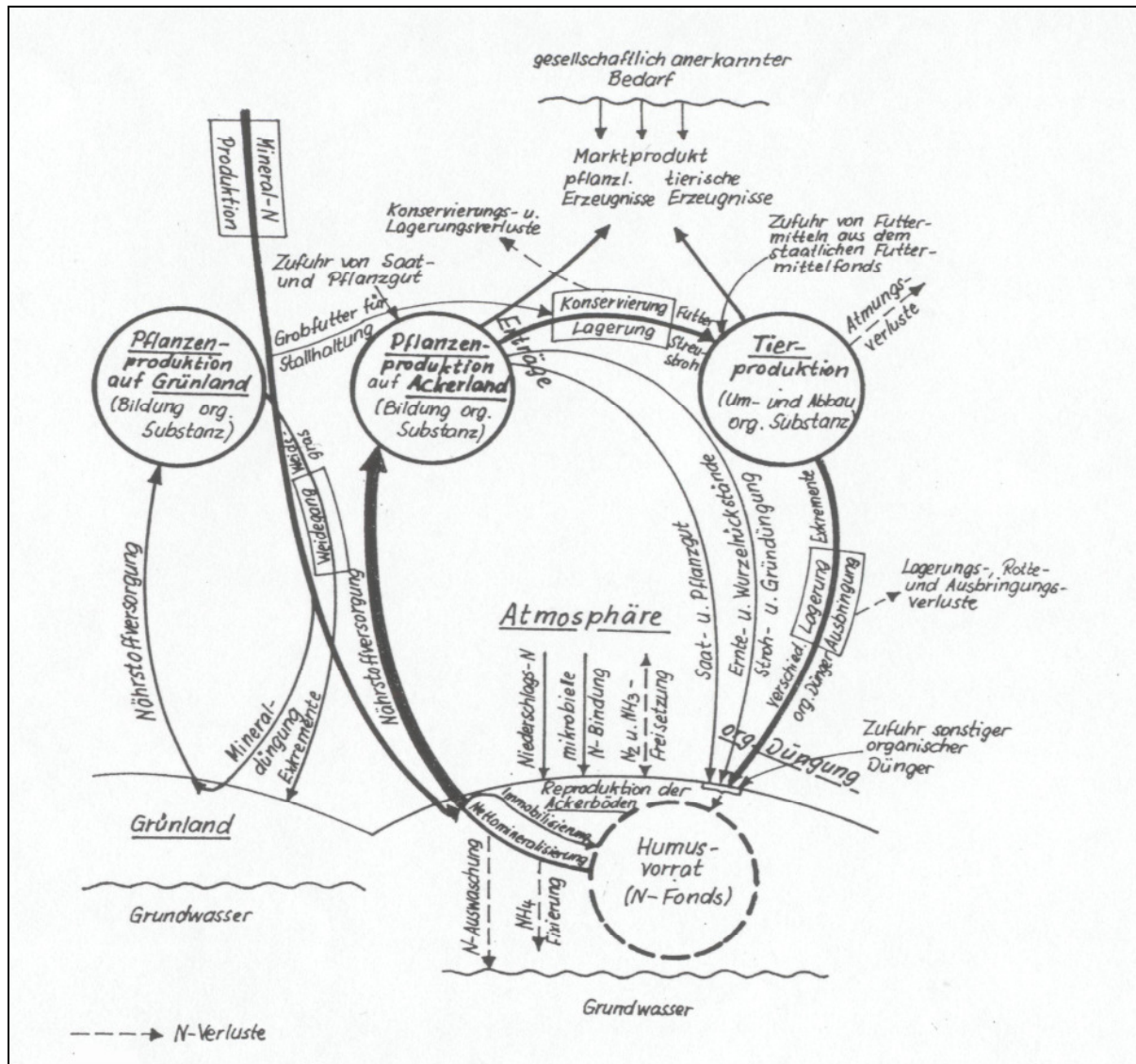


Abb. 4: Stoffflüsse im Optimierungsmodell (BADEWITZ & GATH, 1982b)

Das Humusreproduktionsniveau muss aus ökonomischer Sicht nur soweit erhöht werden, wie es über die Ertrags- und Aufwandsänderungen im gesamten Betriebssystem zur Steigerung der Leistung desselben beiträgt (BADEWITZ & BEYER, 1985). Diese Leistungssteigerung aufgrund der besseren Humusreproduktion wird aber nicht monetär bewertet, sondern als Gratisfaktor bezeichnet (BADEWITZ & BEYER, 1985).

Der durchschnittliche Veredelungswert innerhalb des Produktionssystems ließe sich jedoch berechnen, indem die Fläche zwischen Grenzleistungen und Grenzkosten bis zum Erreichen des Optimums auf die eingesetzten Einheiten ROS bezogen wird.

Die Standortabhängigkeit des Humusreproduktionsniveaus, als Funktion des Bedarfes und den unterschiedlichen Möglichkeiten und Aufwendungen für den Humusersatz, wurde ebenfalls mit dem Optimierungsmodell ermittelt (BADEWITZ & GATH, 1982a).

RAUHE & KNAPPE (1971) definieren den optimalen Humusgehalt ähnlich des Ansatzes von BADEWITZ & BEYER (1985) als den Humusgehalt, „der bei ökonomisch vertretbarer intensiver Bewirtschaftung ständig hohe Erträge gewährleistet.“

Statt einer Ermittlung des Humusreproduktionsniveaus verwendet ROST et al. (1983) ein bestimmtes Niveau als Nebenbedingung und ermittelt auf diesem Wege die Produktionsstruktur. Dafür werden die gesamten Biomasseerträge (incl. Ernte- und Wurzelrückstände) der Kulturen berücksichtigt. Bei den Humuszehern wird nach RAUHE & ROST (o.J) angenommen, dass der Humusabbau die Hälfte des Biomasseertrages ausmacht.

Der Futterbedarf der Tiere und ein bestimmtes Niveau der Humusproduktion müssen erfüllt werden und bestimmen unter Berücksichtigung des Arbeits- und Energiebedarfs die optimale Produktionsstruktur (ROST et al., 1983).

Die Berücksichtigung einer ausgeglichenen Humusbilanz als Nebenbedingung ist auch durch die Verwendung der verschiedenen Humusbilanzierungsmethoden (Kap. 4) möglich.

Das Modell REPRO wird zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme verwendet und verbindet Humusbilanz, N-Bilanz und ökonomische Analysen (HÜLSBERGEN, 2003). Die monetäre Bewertung der organischen Dünger und der Humusmehrung oder -zehrung wurde stufenweise in das Modell eingeführt.

DIEPENBROCK et al. (1998) beschreibt die Berechnung der Ersatzkosten der organischen Düngung für die Deckungsbeitragsrechnung. Es wird nur der Nährstoffwert auf Basis der Mineraldüngerpreise und der Reinnährstoffgehalte von Phosphor, Kalium und des im ersten Jahr verfügbaren Stickstoffs berechnet. Kritisiert wird, dass die Deckungsbeitragsrechnung zu kurzfristig ist, um die Effekte der organischen Düngung abzubilden. Außerdem wird als nachteilig bezeichnet, dass in der Kalkulation die Kosten der Stroh und Gründüngung jeweils der Vorfrucht zugeordnet werden, obwohl ihre Wirkung der Nachfrucht zugute kommt (DIEPENBROCK et al. 1998).

In der derzeitigen Modellvariante können Deckungsbeitrags- und Vollkostenrechnungen durchgeführt werden. Im erweiterten Berechnungsmodus wird eine monetäre Bewertung von Umweltkosten und Leistungen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit vorgenommen (HÜLSBERGEN, 2003).

Die Humusbilanzierung erfolgt in Humuseinheiten⁵ (HE) nach LEITHOLD et al. (1997), zusätzlich wird der Humusbedarf ertragsabhängig modifiziert (HÜLSBERGEN, 2003).

⁵ HE ist die Einheit einer Humusbilanzierungsmethode und entspricht 1t Humustrockenmasse mit ~580 kg Kohlenstoff und 50 kg Stickstoff.

Nach HÜLSBERGEN et al. (2000) wird der Wert einer HE nach deren Stickstoffgehalt von 50 kg/t und der daraus erzielbaren Ertragsleistung in Getreideeinheiten (GE) quantifiziert. Der Erzeugungswert wird unter Berücksichtigung einer standortspezifischen N-Verwertungsrate von 0,45- 0,85 % und einem Faktor von 0,5 für die Ertragswirksamkeit wie folgt berechnet:

Erzeugungswert je HE =

$$\frac{(50 \text{ kg N} * \text{N-Verwertungsrate} * \text{Faktor für die Ertragswirksamkeit}) * \text{mittlerer Preis je GE}}{2 \text{ kg N/dt GE}}$$

Auch BELCHER et al. (2003) bestimmt den monetären Wert der organischen Bodensubstanz über die Leistung. In dem verwendeten Modell werden die Komponenten der Humusdynamik und der Ertragsbildung sowie die Produktpreise miteinander verknüpft.

Bewertet wird der Einfluss der OBS auf Stickstoff, Phosphor und Wasserverfügbarkeit. Gleichzeitig stellen diese Parameter zusammen mit den Wetterdaten die Grundlage für die Berechnung des Ertrages, basierend auf Liebigs Minimumgesetz, dar.

Die Preise für Produkte und die gesamten Kosten werden als feste Größen in das Modell aufgenommen und die Nettogewinne bei verschiedenen OBS-Gehalten ermittelt. Die aus dieser linearen Funktion ermittelte Steigung stellt den Wert von einer Einheit OBS pro ha/a dar. Anschließend wird der Barwert einer Tonne OBS für eine Zeitspanne von 50 Jahren bei einer Zinsrate von 5 % berechnet.

Angewendet wurde das Modell in Kanada für traditionelle, konservierende und ökologische Bewirtschaftung und zwei Direktsaatverfahren in zwei sog. Ecodistricts (ein Gebiet mit relativ homogenen Bodenbedingungen, Vegetation und Landschaftstyp). In einem Ecodistrict werden sehr niedrige Werte von 0,20 - 0,30 \$/ha/a pro Tonne OBS ermittelt, da die Niederschläge derart limitierend wirkten, dass zusätzliche Nährstoffe nicht ausgenutzt werden konnten. Im anderen Ecodistrict wurden Werte für eine Tonne OBS von 2,20 \$/ha/a für konventionelle, 0,70 \$/ha/a für konservierende Bewirtschaftung und 0,50 - 0,60 \$/ha/a für Direktsaat ermittelt. Das entspricht Barwerten von 42,36 bis 9,63 \$/t/ha. Bei der konventionellen und bei der ökologischen Bewirtschaftung wurde nur eine sehr marginale OBS-Anreicherung simuliert, um den Effekt steigender OBS-Gehalte zu abbilden wurde eine jährliche relative Steigerung der OBS-Gehalte von 2% berechnet. Daraus konnte bei konventionelle Bewirtschaftung ein Wert von 0,50 \$/ha/a für eine Tonne OBS und für ökologische Bewirtschaftung von 2,10\$/ha/a, aufgrund der höheren Produktpreise, ermittelt werden (BELCHER et al. 2003).

BURT (1981) verwendet ein einfaches Entscheidungsmodell für eine besonders erosionsgefährdete Lößregion mit der OBS und der Krumentiefe als Variablen. Ziel des Modells ist es, den ökonomisch sinnvollen Weizenanteil der Fruchtfolge in Abhängigkeit zu verschiedenen Weizenpreisen zu ermitteln. Der Wert der OBS und der Krumentiefe ergibt sich aus dem Weizenanteil, den sie in der Fruchtfolge ermöglichen. Die Substitutionsbeziehung zwischen OBS und Krumentiefe wird mittels Isoquanten mit abnehmender Grenzrate der Substitution für einen bestimmten Weizenanteil in der Fruchtfolge dargestellt.

3.5 Schlussfolgerungen aus der Literatur zur monetären Bewertung der organischen Substanz

Bei den verschiedenen Einflussgrößen auf den Wert der organischen Dünger und den Überlegungen der Produktionstheorie wird nur in wenigen Fällen zwischen den Nährstoffen und der organischen Substanz unterschieden. Wahrscheinlich kann jedoch weitestgehend davon ausgegangen werden, dass die dabei getroffenen Annahmen nicht nur auf die Nährstoffwirkung sondern auch auf die Sonderwirkung der organischen Substanz zutreffen.

Obwohl eine weitgehende Übereinkunft darin besteht, wie innerbetriebliche Werte berechnet werden können, zeichnen sich die recherchierten Vorgehensweisen durch eine große Variabilität bezüglich der einbezogenen Faktoren aus. Besonders dahingehend, ob Arbeitskosten, Nutzungskosten, Kosten für die Strohbergung bei der Bewertung von Stallmist oder Ausbringungskosten für eine dem Nährstoffwert der OS entsprechende Mineraldüngermenge berücksichtigt werden. Durch die unterschiedliche Berücksichtigung ergeben sich sehr verschiedene Rangfolgen bei der Bewertung der Maßnahmen, sowie teilweise eine unterschiedliche Aufteilung der Kosten der Wirtschaftsdünger zwischen Tierhaltung und Pflanzenbau.

In nahezu allen Fällen wird der Nährstoffwert der organischen Dünger berechnet. Dabei wird jeweils vom Nährstoffgehalt der OS (teilweise mit Abzügen) ausgegangen, unabhängig davon, ob es sich um dem Ackerbau zugeführte Nährstoffe (Wirtschaftsdünger, N-Fixierung der Leguminosen) oder um aus dem Boden aufgenommene Nährstoffe (nichtlegume Zwischenfrüchte) handelt. Letztere Vorgehensweise würde die bereits im Boden vorhandenen und lediglich aufgenommenen Nährstoffe erneut bewerten, was jedoch nur zulässig wäre, wenn sie vor einer Auswaschung bewahrt würden.

Die Berechnung innerbetrieblicher Werte basiert auf den Substitutionsbeziehungen zwischen wirkungsgleichen Mengen, die in den meisten Fällen auf Basis der Trockenmasse der organischen Substanz gebildet werden. Teilweise wird vorausgesetzt oder auch angezweifelt, dass ein wirkungsgleicher Beitrag zur Humuswirtschaft oder zur Ertragsleistung besteht. Aufgrund der Dynamik der OS (vgl. Kap. 2) und der verschiedenen, seit 1966 entwickelten Humusbilanzierungsmethoden muss der Annahme eines gleichen Beitrags verschiedener Materialien zur Humuswirtschaft ebenso widersprochen werden, wie der ebenfalls verwendeten Annahme, dass eine dt TM OS zu 50% zum Humusersatz beiträgt.

Die verwendeten Einheiten der Humusbilanzierung (ROS, HE) bei BADEWITZ & GATH (1982b) bzw. HÜLSBERGEN (2003) oder der direkte Bezug zur OBS bei BELCHER et al. (2003) berücksichtigen die Dynamik der OBS besser und scheinen deshalb besser geeignet zu sein um wirkungsgleiche Mengen zu ermitteln.

Die wirkungsgleichen Mengen haben im Fall der organischen Substanz gleich zwei Komponenten, nämlich den Beitrag zum Humusersatz und die Ertragswirkung.

Zur Ertragswirkung werden jedoch kaum Angaben gemacht.

Für die Berücksichtigung der Humusdynamik in der BZA scheint die Unterscheidung in inerte und umsetzbare OBS sowie OPS verwendbar zu sein.

Die inerte OBS ist durch die Bewirtschaftung nicht beeinflussbar und deshalb kein innerbetrieblich erzeugter Wert. Die Veränderungen in der umsetzbaren OBS sind bewirtschaftungsabhängig und müssen deshalb in der monetären Bewertung der organischen Substanz berücksichtigt werden. Jedoch wird für eine Erschöpfung der umsetzbaren OBS eine Zeitspanne von bis zu 50 Jahren und länger angegeben, was für den Zeithorizont der BZA relativ lang ist. Abgesehen davon, dass eine solche Bewirtschaftung (Schwarzbrache ohne Düngung) nicht praxisüblich ist, kann die umsetzbare OBS nicht vollständig als innerbetrieblich erzeugter Wert betrachtet werden, sondern stellt auch eine natürliche Ressource dar.

Bei den innerbetrieblichen Werten werden überwiegend die Kosten errechnet. Da die Berechnung des Nährstoffwertes sehr einfach ist, kann zwischen den Nährstoffen und der organischen Substanz gut getrennt werden. Anders sieht es bei der Bewertung der Leistung aus, so wird bei RAUHE & ROST (O.J.) nicht deutlich, welche Leistungen bewertet werden.

In den vorgestellten Modellen werden Teilleistungen des Humus bewertet, und zwar auf Basis von Stickstoff (HÜLSBERGEN et al., 2000; BADEWITZ & GATH 1982a/b) oder N- und P-Lieferung und verfügbares Wasser (BELCHER et al., 2003).

Zu einer Leistungsbewertung der Sonderwirkung der organischen Substanz gibt es daher kaum Anhaltspunkte. In der BZA findet bereits eine Nährstoffbewertung statt, weshalb eindeutig zwischen der Nährstoffwirkung und der Sonderwirkung differenziert werden muss, um eine Überschneidung zu vermeiden.

Bei REDELBERGER (2004) werden die innerbetrieblichen Werte für den Stickstoff auf Basis der Kosten für den Leguminosen-Anbau berechnet. Gleichzeitig ist dies auch die wichtigste humusmehrende Maßnahme im ökologischen Landbau (FREYER, 2003), weshalb nur eingeschränkte Möglichkeiten einer Bewertung der organischen Substanz auf Kostenbasis bestehen, bzw. die Leistungen der organischen Substanz bekannt sein müssen um die Kosten des Leguminosenanbaus entsprechend aufzuteilen.

Problematisch könnte sein, dass der Humusersatz weitgehend kostenlos ist, wenn das Substitutionsprodukt (Stroh und Rübenblatt) nicht verkauft oder anders verwertet werden kann. Dadurch wird es schwierig, die Konkurrenzverhältnisse in der Fruchtfolge um die innerbetrieblichen Werte zu erweitern. Auf einem Betrieb kann angenommen werden, dass sowohl kostenlose als auch kostenträchtige Verfahren des Humusersatzes kombiniert werden müssen, wodurch sich dann ein Durchschnittswert ergibt.

Als Anforderungen an ein Bewertungssystem ergeben sich deshalb die folgenden Punkte:

Die Leistungen der organischen Substanz müssen so quantifiziert werden, dass eine eindeutige Trennung von den bereits bewerteten Nährstoffen möglich ist.

Die Bildung wirkungsgleicher Mengen muss der Dynamik der organischen Substanz entsprechen und geeignet sein die Stoffflüsse zwischen den Betriebszweigen abzubilden.

Die Forderung der Wirkungsgleichheit bezieht sich sowohl auf den Humusersatz als auch auf den Ertrag. Für wirkungsgleiche Mengen in Bezug auf den Humusersatz kommen bereits bestehende Verfahren der C-N-Modelle und klassische Humusbilanzierungsverfahren in Frage. Inwieweit mit dieser Bezugsgröße auch wirkungsgleiche Mengen auf den Ertrag erstellt werden können ist unklar. Die Leistungen der organischen Substanz müssen sich zu der gewählten Bezugsgröße proportional verhalten und die Bezugsgröße muss für verschiedene Maßnahmen der organischen Düngung verwendbar sein, damit die für die Berechnung von innerbetrieblichen Werten notwendigen Substitutionsbeziehungen abgebildet werden können.

Diese Anforderungen werden im Folgenden überprüft:

- Die Wirkungen der organischen Substanz werden aufgeführt um Anhaltspunkte dafür zu bekommen, mit welcher Bezugsgröße die Wirkungen assoziiert sind, durch welche Faktoren die Wirkung und deren Stellenwert beeinflusst werden, durch welche Maßnahmen die Wirkungen evtl. substituiert werden können und wie sie in monetäre Werte zu fassen sind.
- Die Methoden der Humusbilanzierung incl. der C-N-Modelle werden vorgestellt, Unterschiede diskutiert und Einflüsse auf die monetäre Bewertung der organischen Substanz ermittelt.
- Die Ertragswirkung der OS bei einer Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung wird dargestellt, und die Proportionalität zwischen der Ertragswirkung und einer Größe der Humusbilanzierung überprüft.

4 Allgemeine Wirkungen der organischen Substanz

In Kap. 3 werden die Ertragsleistungen verwendet um die Wirkung der organischen Substanz zu quantifizieren. Da mit dem Ertrag möglicherweise nur die produktionssteigernden Leistungen der organischen Substanz erfasst werden, nicht aber die produktionsverbilligenden Leistungen (Bearbeitbarkeit, Betriebsmitteleinsatz, Erosion etc.), müssen die Wirkungen der organischen Substanz zumindest qualitativ den Kosten gegenübergestellt werden.

Mit dem Summenparameter des Ertrages kann außerdem nur unzureichend dargestellt werden, durch welche Größen die Wirkung und ihr Stellenwert beeinflusst wird, welche Standorteinflüsse vorliegen, wodurch die Wirkungen substituiert werden können und mit welcher Bezugsgröße sie assoziiert sind.

Im Folgenden werden nicht alle Wirkungen der organischen Substanz aufgeführt, da sie zu vielfältig sind. Die Quellung, der Einfluss auf bodengenetische Prozesse, die Festlegung und Entgiftung organischer Fremdstoffe (Xenobiotika) und der Einfluss auf die Lebensmittelqualität wurden explizit ausgelassen.

Allgemein lässt sich bereits sagen, dass sowohl die Wirkungen der organischen Substanz als auch ihr jeweiliger Stellenwert standortspezifisch sind (SAUERBECK, 1992). Beispielsweise werden extreme Bodenarten wie Sand und Ton durch die organische Substanz in ihren Eigenschaften den mittleren Böden angenähert (ASMUS & HERMANN, 1977).

4.1 Wirkung auf chemische Bodeneigenschaften

4.1.1 Sorptionsvermögen/ KAK

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) des Bodens hat eine elementare Bedeutung für das Transformations- und Speicherungsvermögen des Bodens für Nährstoffe, und die Huminstoffe sind als Träger variabler Ladungen ein wichtiges Puffersystem im Boden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

Die Kationenaustauschkapazität der organischen Substanz bewegt sich in einem weiten Schwankungsbereich (vgl. Tab. 4), da die KAK der OBS standort- bzw. qualitätsabhängig ist. Bei Schwarzerden ist die KAK der OBS deutlich höher als bei Sandböden (FLAIG & SÖCHTIG, 1963; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

Tab. 4: Die KAK der organischen Substanz in verschiedenen Quellen

KAK in mmol/100g	Quelle
100 – 500	(SCHEFFER & ULRICH, 1960)
150 – 200	(MÜCKENHAUSEN, 1985)
<150 – >250	(KUNTZE et al., 1985)
101 – 470	(GORBUNOW in FLAIG & SÖCHTIG, 1963)
60 – 300	(SCHEFFER SCHACHTSCHABEL et al., 2002)

Werden die Werte in Tab. 4 auf eine Zunahme des C_t -Gehaltes im Boden von 0,1% umgerechnet, entspricht dies einer Zunahme der KAK von 0,06 bis 0,5 mmol/100g.

KÖRSCHENS (1997) definiert auf Basis mehrjähriger Untersuchungen an 20 Standorten einen deutlich engeren und höheren Bereich von 0,5 bis 0,7 mmol pro Zunahme des C_T -Gehaltes im Boden von 0,1 %.

Die KAK von frischer organischer Substanz ist relativ klein, für unverrottetes Stroh beispielsweise 80 mmol/100g (FLAIG & SÖCHTIG, 1963)

Erst im Laufe des Humifizierungsprozesses nimmt die KAK durch Oxidation und der damit einhergehenden Einführung von Carboxylgruppen zu (FLAIG et al., 1963; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2002).

Die KAK der Tonminerale beträgt 40 – 60 mmol/100g (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002), Lehm und insbesondere Sand liegen deutlich niedriger (SCHEFFER & ULRICH, 1960). Für die KAK eines Bodens sind deshalb der Tongehalt und der OBS-Gehalt die entscheidenden Größen, wie in Tab. 5 zu sehen ist.

Tab. 5: Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) von Oberböden und der Anteil der organischen und anorganischen Komponente des Bodens (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002)

Bodentyp	KAK der Böden (mmol/100g)	Anteile an der Gesamt-KAK (%)		Gehalt C_{org} (%)
		anorganisch	organisch	
Schwarzerden aus Löss	20,0	54	46	1,74
Parabraunerden aus Löss	16,9	76	24	1,16
Kalkmarschen	27,8	67	33	2,38
Podsole	11,9	22	78	3,02
Plaggenesche	14,4	27	73	2,50

Des Weiteren wird die effektive KAK durch sinkende pH-Werte abgesenkt. Dabei reagiert die KAK der OBS deutlicher als die der Tonfraktion (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

Der Beitrag der umsetzbaren OBS für die effektive KAK steigt deshalb mit sinkenden Tongehalten, steigenden C_{org} -Gehalten und steigendem pH-Wert.

4.2 Wirkung auf physikalische Bodeneigenschaften

4.2.1 Aggregatstabilität

Die Bildung von Bodenaggregaten beruht auf der Umsetzung von organischer Substanz durch die Mikroorganismen des Bodens, durch die direkte Verbindung von Mikrobenfäden oder -zellen und Bodenteilchen und durch mikrobielle Bindesubstanzen, ist aber auch an das Vorhandensein von Ton gebunden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002) und ist durch Haarwurzeln und Bodentiere, insbesondere Regenwürmer bedingt (SEKERA, 1984).

Je leichter die organischen Substanzen zersetzbar sind, desto schneller und kürzer ist ihr Einfluss auf die Aggregatstabilität (SCHEFFER & ULRICH, 1960). Die Wirkungsdauer der Strukturstabilisierung von Rottemist beträgt maximal 2 - 4 Jahre, von Stroh mehrere Monate und von Gründüngung mehreren Wochen (KUNTZE et al., 1994). Von TISDALL & OADES, (1982) wird die folgende Reihenfolge gebildet: Polysaccharide (kurzlebig), Wurzeln oder

Pilzhyphen (zeitweilig) und aromatische Komponenten mit Bindungen zu Metall-Kationen (widerstandsfähig).

In Sandböden erhöht das Vorhandensein von organischer Substanz den Scherwiderstand und ermöglicht es, eine geringere Lagerungsdichte in den oberen Bodenhorizonten zu erhalten. Die gesteigerten Scherwiderstände gehen mit einem höheren Porenvolumen einher. Außerdem wirkt die Aggregation auf allen Böden indirekt auf die Porengrößenverteilung und den Wasserhaushalt. (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

In finnischen Tonböden (60 – 80 % Ton) fand HEINONEN (1974) eine Steigerung der Wasserstabilität der Krümel bei steigenden Kohlenstoffgehalten bis etwa 4 % C_{org} und eine Steigerung des Porenvolumens in Kombination mit einer gesteigerten Stabilität gegen plastische Deformation bei C_{org} -gehalten von 2,4 – 7,8%. Bei günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen wird diesen Steigerungen jedoch nur eine kleine Bedeutung beigemessen.

In Rothamstedt konnte durch hohe jährliche Stallungsgaben von 350 dt/ha der Anteil der wasserbeständigen Krümel von 28 auf 55 % erhöht werden (ANSORGE, 1966 in TIETJEN & SAUERLANDT, 1974). Die Krümelstabilität ist deshalb sowohl mit der organischen Düngung (DEBRUCK, 1974) als auch mit höheren C_{org} -gehalten assoziiert.

Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. (2002) hat die Aggregation durch organische Substanz insbesondere auf Braunerden, Parabraunerden, und Schwarzerden eine hohe Bedeutung. In Böden mit vielen Hydroxiden und Oxiden (Oxisole und Andosole) wirken dagegen diese stabilisierend.

Ertragssteigerungen durch eine erhöhte Strukturstabilität wurde von LOW (1973) bei Flächen mit unterschiedlich langer Grünlandnutzung vor der Ackernutzung nachgewiesen. BAEUMER (1990) beschreibt eine zunehmende N-Effizienz durch verbesserte Bodenstruktur.

4.2.2 Porenvolumen und Wasserhaushalt

Die organische Substanz verändert den Anteil der am wenigsten vorhandenen Porengrößen, weshalb auf kolloidarmen Böden das wasserführende, auf kolloidreichen Böden dagegen das luftführende Porenvolumen vergrößert wird (ASMUS & HERMANN, 1977; SCHEFFER & ULRICH, 1960). Deshalb steigt auf leichten Böden der verfügbare Wassergehalt und auf schweren Böden wird eine verbesserte Auflockerung, Durchlüftung und Ableitung von überschüssigem Wasser erreicht (SCHEFFER & ULRICH, 1960).

Auf anlehmigen Sandböden in Völkenrode wurde keine Beziehung zwischen Volumengewicht und Humusgehalt in Böden, die eine Strohdüngung oder seit wenigstens 5 Jahren keine organische Düngung erhielten, gefunden. Jedoch bestand eine Korrelation zwischen Humuszunahme und Abnahme des Volumengewichtes bei Düngung mit Komposten und Stallung bei etwas höheren C-Gehalten (TIETJEN & SAUERLANDT, 1974). Auch HEINONEN (1974) fand eine Abnahme der Dichte bei steigenden C_{org} -gehalten in einer ähnlichen Größenordnung wie KÖRSCHENS & WALDSCHMIDT (1997), welche die Verminderung der Lagerungsdichte pro Zunahme des C_t -Gehaltes von 0,1% mit -0,006 bis -0,008 g/cm³ angeben. In Relation zu der Dichte verschiedener Böden von 1 – 2 g/cm³ (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2002) sind

diese Veränderungen relativ gering und müssen auch in Relation zum vorhandenen Humusgehalt gesehen werden. Es ist jedoch auch die Beziehung zur Aggregatstabilität und damit zur regelmäßigen Zufuhr organischer Substanz zu beachten.

Humus ist in der Lage, das 3 – 5 fache seines Eigengewichtes an Wasser zu speichern, weshalb die Wasserhaltefähigkeit der Böden linear mit dem Humusgehalt ansteigt (LINSER, 1956 in SCHEFFER & ULRICH, 1960). Bei feiner Verteilung entspricht der Einfluss der OBS auf die Feldkapazität dem der Tonfraktion. In Sandböden ist deshalb der Humusgehalt die bestimmende Größe für die Feldkapazität (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002), auf schluffreichen Böden mit höchster verfügbarer Wasserkapazität ist kaum eine Verbesserung durch Humus zu erwarten (HEINONEN, 1974).

Bei einer Steigerung des Humusgehaltes um 0,1 % wird die Steigerung der verfügbaren Wasserkapazität mit 0,8 bis 1,0 Masse % (WELTE, 1963 in ASMUS & HERMANN, 1977) bzw. 0,4 bis 0,6 Masse % (KÖRSCHENS & WALDSCHMIDT, 1996) angegeben.

Auch die Hygroskopizität, aus welcher der permanente Welkepunkt berechnet werden kann, nimmt mit einer Steigerung des C_r -Gehaltes von 0,1 % um 0,06 bis 0,08 Masse % zu (KÖRSCHENS & WALDSCHMIDT, 1996).

4.2.3 Bearbeitbarkeit und Erosionsvermeidung

Mit der Bearbeitbarkeit und dem Erosionsschutz werden Wirkungen der organischen Substanz erfasst, welche auf mehreren Eigenschaften beruhen.

Die erhöhte Wasserkapazität durch erhöhte Humusgehalte kann auf schweren Böden bzw. bei schlechten Entwässerungsverhältnissen zu einer Verschlechterung der Bearbeitungsmöglichkeiten im Frühling führen obwohl durch den Humus auch die Infiltration verbessert wird, auf leichten Böden ist dagegen kein negativer Einfluss auf die Bearbeitbarkeit zu erwarten (BOEKEL, 1974).

Andererseits können höhere Humusgehalte auf schweren Böden die Bindung herabsetzen wodurch sich die Bearbeitungsgrenze auf schweren Böden in Richtung eines höheren Wassergehaltes verschiebt. Jedoch benötigen Böden mit Tongehalten >30 % mindestens einen Humusgehalt von 5,5 % um die Bindung unter einen bestimmten Schwellenwert zu senken. Die Wirkung der organischen Substanz auf die Bindung ist bedingt substituierbar durch Kalk (BOEKEL, 1974).

Insgesamt kann das erhöhte Porenvolumen und die verbesserte Aggregatstabilität u. a. nicht nur die Bearbeitbarkeit verbessern, sondern wirkt sich auch auf die Erosionsgefährdung aus.

Ein Zusammenhang zwischen dem Humusgehalt und Bodenerosion sowie Oberflächenabfluss bestätigt FLAIG et al. (1977). HEGE (1981) beschreibt die organische Düngung als erosionsmindernde Maßnahme aufgrund der erhöhten Aggregatstabilität.

Auf leichten Böden kann ein erhöhter Humusgehalt die Verschlammung reduzieren, jedoch liegt auch eine Substitutionsbeziehung mit dem Kalkzustand des Bodens vor. Bei schlechtem Kalkzustand war ein Humusgehalt von 2 %, bei gutem Kalkzustand dagegen nur von 1 %

nötig, um oberhalb eines bestimmten Schwellenwertes für die Verschlammung zu liegen. Bei schlechter Entwässerung liegen die benötigten Humusgehalte noch etwas höher (BOEKEL, 1974).

Erosion lässt sich jedoch auch durch zahlreiche andere Maßnahmen reduzieren, z.B. Nutzung quer zu Gefälle oder Hauptwindrichtung, Windschutzhecken, Minimalbodenbearbeitung, Fruchtfolgemeasures etc. (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002), so dass zu diesen Faktoren eine Substitutionsbeziehung vorliegt.

4.2.4 Wärmehaushalt

Der Wärmehaushalt des Bodens wird vom Humus in gegenläufiger Weise beeinflusst.

Die dunkle Färbung erhöht die Absorption durch Sonnenstrahlung und damit die Erwärmbarkeit (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002) und die Verdunstung (WOLLNY, 1881b in SCHEFFER & ULRICH, 1960).

Gegenläufig dazu ist die höhere spezifische Wärmekapazität von Humus (0,3 – 0,4 cal/g) gegenüber der mineralischen Bodenkomponente (~0,2 cal/g) und besonders die Erhöhung des Wassergehaltes des Bodens, mit der hohen Wärmekapazität des Wassers (1 cal/g).

Deshalb wird auf Mineralböden im Allgemeinen die Erwärmbarkeit durch den Humus erhöht, auf sehr humus- und wasserreichen Böden dagegen erniedrigt (SCHEFFER & ULRICH 1960).

4.3 Biologische Wirkungen

4.3.1 Biologische Aktivität

Mit einem höheren Humusspiegel bzw. durch organische Düngung sind nachweislich auch die bodenmikrobiologischen Parameter, wie mikrobielle Biomasse und die Enzymaktivitäten (Dehydrogenase, Protease, Katalase, Reduktase) erhöht (EMMERLING & SCHRÖDER, 1996; BECK, 1981; BECK, 1991; und VAN DIJK, 1981 in SAUERBECK, 1992). Ein Zusammenhang zwischen biologischer Aktivität und organischer Düngung wird auch von DEBRUCK (1974) und HOFFMANN et al. (2002) bestätigt.

Dabei ist der Einfluss einer langjährigen organischen Düngung auf die Organismenzahl und –aktivität sehr viel höher als letztendlich auf den Humusgehalt (SAUERBECK, 1981).

Die Aufrechterhaltung der hohen biologischen Aktivität erfordert einen ständigen Ersatz der verbrauchten organischen Substanz (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

Durch verschiedene Messgrößen und Koeffizienten können in vielen Fällen Aussagen über die Qualität des Humus und der Stoffwechselaktivität und Effizienz der Mikroflora gemacht werden (MANZKE, 1995).

Die biologische Aktivität ist wiederum mit nahezu allen Aspekten der Bodenfruchtbarkeit verbunden (SAUERBECK, 1981), insbesondere mit der Nährstofftransformation (SAUERBECK, 1992; DORAN & SMITH, 1987) der Aggregatstabilität und dem antiophytopathogenen Potential (vgl. Kap. 4.2.1 und 4.3.2).

Unter Umständen kann jedoch eine hohe Mineraldüngung durch vermehrte Produktion von Ernte- und Wurzelrückständen die biologische Aktivität des Bodens stärker anregen als eine organische Düngung bei extensiver Nutzung (BECK, 1981).

Wie auch in dem Kap. 4.3.2 deutlich wird, ist die Aktivität und Artenzusammensetzung in höchstem Maße abhängig von der Substratzusammensetzung.

4.3.2 Antiphytopathogenes Potential

Die Wechselwirkungen zwischen im Boden lebenden saprophytischen Mikroorganismen und bodenbürtigen, fakultativ saprophytischen Pathogenen sind aufs Engste mit der Versorgung des Bodens mit organischer Substanz verbunden und werden von verschiedenen biotischen und abiotischen Faktoren beeinflusst (BAKER & COOK, 1974).

Diese grundsätzlich vorhandenen Wechselwirkungen werden als antiphytopathogenes Potenzial (ALABOUVETTE, 1990) oder bei größerer Intensität als Suppressivität bezeichnet (BAKER & COOK, 1974; PHILLIP, 1988).

Eine relativ unspezifische Unterdrückung ist mit der mikrobiellen Aktivität und der Diversität des Bodenlebens assoziiert und beruht auf der Besetzung von Nischen (PHILLIP, 1988) bzw. einer intensiven Nahrungskonkurrenz (BAKER & COOK, 1974).

Für eine erfolgreiche Unterdrückung liegen zahlreiche Einflussfaktoren vor, beispielsweise mit welcher Strategie die Pathogene von den Antagonisten unterdrückt werden, wie hoch die saprophytische Wettbewerbskraft der Pathogene gegenüber den Antagonisten ist, und wie die Ernährungsweise bzw. Enzymausstattung des Antagonisten ist (PHILLIP, 1988; BAKER & COOK, 1974; HOITINK & BOEHM, 1999).

Die Zusammensetzung der organischen Primärschubstanz bestimmt das Vorkommen und die Aktivität der Antagonisten, sowie die Dauer der erfolgreichen Unterdrückung.

In lignozellulosereichem Material kommen andere Antagonisten vor (HOITINK & BOEHM, 1999; STONE et al., 2001; BAKER & COOK, 1974) als auf leichter abbaubaren, zuckerreichen Materialien (HOITINK & BOEHM, 1999).

Nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die Aktivität der Antagonisten ist substratabhängig. So müssen beispielsweise bestimmte Stoffe an- oder abwesend sein, um benötigte Enzyme zum Durchdringen der Pathogen-Zellwand (HOITINK & BOEHM, 1999) oder Toxine zu bilden (BAKER & COOK, 1974).

Die Dauer der unterdrückenden Effekte ist auf das Zeitfenster zwischen einem noch nicht ausreichendem und einem zu starken Abbau der organischen Substanz begrenzt.

Bei schwerer abbaubarem bzw. kompostiertem Material haben die verwertungseffizienteren Antagonisten einen Vorteil gegenüber den Pathogenen und die Dauer der unterdrückenden Effekte ist länger (HOITINK & BOEHM, 1999; STONE et al., 2001; BOEHM et al., 1993). Eine zu geringe Abbaubarkeit, z.B. bei Torf, führt hingegen zu keiner suppressiven Wirkung (STONE et al., 2001).

Aufgrund der leichten Abbaubarkeit der Gründüngung sind die unterdrückenden Effekte recht kurz (mehrere Wochen) und anfänglich kann teilweise auch eine Vermehrung der Pathogene stattfinden (GRÜNEWALD et al., 1999; PHILLIP, 1988).

In vielen Versuchen (HOITINK & BOEHM, 1999; BOEHM et al., 1993; STONE et al., 2001) werden Mengen an organischer Substanz eingesetzt, die für den landwirtschaftlichen Ackerbau nicht relevant sind. Die Unterdrückung bodenbürtiger Wurzelfäule-Erreger durch organische Substanz unter Feldbedingungen wird von BAKER & COOK (1974) als „frustratingly unpredictable“ bezeichnet.

Außerdem ist eine erfolgreiche Unterdrückung von der Qualität der OS und dem Management abhängig. Der Stellenwert der antiphytopathogenen Wirkungen kann deshalb schlecht eingeschätzt werden.

Die Substitutionsmöglichkeiten für diese Wirkungen durch Betriebsmittel sind im ökologischen Landbau jedoch relativ gering, da nur wenige Pflanzenschutzmittel zur Verfügung stehen (EWG Nr. 2092/91, Anhang II B), dagegen ist eine Substitution durch Fruchtfolgemaßnahmen, Bodenbearbeitung und Management teilweise recht gut möglich.

4.4 Pflanzenphysiologisch wirksame Substanzen

Physiologische Wirkungen der organischen Substanz ergeben sich durch die Aufnahme geringer Dosen stoffwechselwirksamer Stoffe durch die Pflanzenwurzel (FLAIG & SÖCHTIG, 1973). Dabei ist die Wirkungsrichtung häufig konzentrationsabhängig; zahlreiche Wirkstoffe sind in niedrigen Konzentrationen fördernd, in hohen dagegen hemmend für die Pflanze (Arndsches Gesetz) (SCHEFFER & ULRICH, 1960; CHEN & AVIAD, 1990; CHEN et al., 1994). Aber auch die Art der Substanzen (z.B. das Molekulargewicht) (DELL'AMICO et al., 1994), die Pflanzenart, das Pflanzenorgan und die Umweltbedingungen sind entscheidend (FLAIG & SÖCHTIG, 1963; SÖCHTIG, 1964).

Die entsprechenden Wirkungen sind sowohl durch die große Vielfalt der Stoffwechsel- und Abbauprodukte im Boden, u. a. Vitamine, Wachstumsstoffe, Enzyme und Antibiotika, (SCHEFFER & ULRICH, 1960), als auch durch stabilere Abbauprodukte wie Huminstoffe, Humin- und Fulvosäuren bedingt (FLAIG & SÖCHTIG, 1973). Die kurzlebigen Stoffe können auch durch eine starke Zufuhr von organischer Substanz nicht angereichert werden (MÜCKENHAUSEN, 1985).

Durch Huminstoffe, Huminsäuren, Fulvosäuren bzw. OS kann die Jugendentwicklung (CHRISTEWA, 1955, in SCHEFFER & ULRICH, 1960), die Keimung (CSICSOR et al., 1994), das Keimlingswachstum, die Bildung von Spross- und insbesondere Wurzelmasse und die Blütenbildung gefördert werden (CHEN & AVIAD 1990).

Ertragsvorteile können durch Huminstoffe bei hoher Temperatur und geringer Luftfeuchtigkeit durch bessere Welkeresistenz erreicht werden. Auch die Frostresistenz wird erhöht (SÖCHTIG, 1964).

Physiologische Wirkungen auf die Ernährung der Pflanze bestehen beispielsweise durch eine Erhöhung der Zellwandpermeabilität für Nähr- und Spurenelement in den Pflanzenwurzeln (CHEN et al., 1994). Huminstoffe bzw. Humin- und Fulvosäuren erhöhen in vielen Fällen die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor, Kalium, und Natrium und mit deutlichen pH-Einflüssen auch die Versorgung mit Mikronährstoffen (Fe, Mn, Cu, Zn) (CHEN et al., 1994).

Die verbesserte Aufnahme von anorganischen Ionen durch die Pflanze wird von FLAIG & SÖCHTIG (1963) auf die Bildung von Chelaten, Beeinflussung der Ionenabsorption, eine direkte Verwendung aufgenommener organischer Substanzen in der Pflanze, katalytische Beeinflussung von Stoffwechselfvorgängen und Komplexbindungen mit Schwermetallen zurückgeführt. Festgestellt wurde auch eine Beeinflussung des Zuckerstoffwechsels, des Zitronensäurezyklus und eine Zunahme von Chlorophyll durch Humusstoffe (SÖCHTIG, 1994), sowie eine Zunahme von Chlorophyll, Respirationsrate, der Produktion von Protein und Nukleinsäuren und unterschiedliche Einflüsse auf die Enzymaktivität (CHEN & AVIAD, 1990). Die vielfältigen physiologische Wirkungen der organischen Substanz können hier keinesfalls umfassend beschrieben werden und sind in ihrer Ertragswirkung schwer zu quantifizieren, da nahezu alle Ergebnisse im Labor gewonnen wurden. Die Bedeutung für den praktischen Ackerbau ist damit schwer einschätzbar und es können auch keine genauen Aussagen gemacht werden, wie stark die physiologischen Wirkungen durch organische Düngung beeinflusst werden können.

Das mögliche Ausmaß der ertragssteigernden Wirkungen in Interaktion mit den Umweltbedingungen wird in Abb. 5 schematisch dargestellt. FLAIG & SÖCHTIG (1973) stellten fest, dass die ertragsteigernde und –stabilisierende Wirkung von verschiedenen aus dem Humus isolierten, physiologisch wirksamen Substanzen, bei ungünstigen Umweltbedingungen für das Pflanzenwachstum (Nährstoffüberschuss, Sauerstoffmangel, Wassermangel, Lichtmangel) zunimmt. Deshalb sind auf ungünstigen Standorten eher Ertragssteigerung zu erwarten, und Ertragsschwankungen durch ungünstige Umweltbedingungen können abgemildert werden (FLAIG & SÖCHTIG, 1973). Von synergistischen Effekten zwischen Nährstoffzufuhr und Huminstoffen schreibt dagegen CHEN et al. (1994).

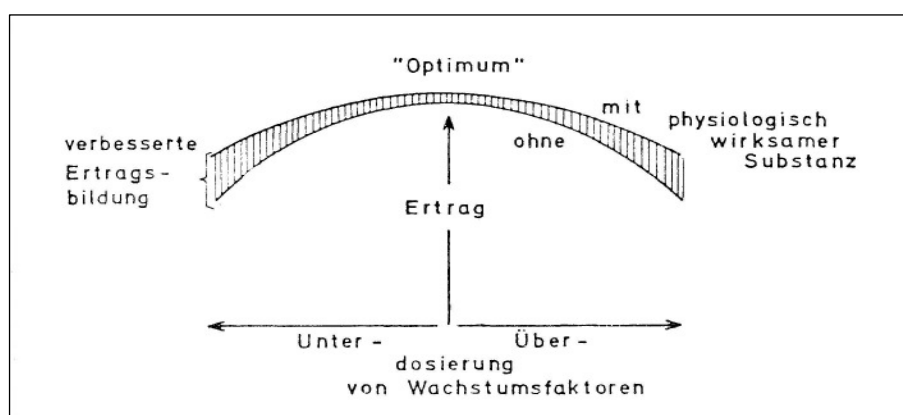


Abb. 5: Einfluss physiologisch aktiver Substanzen auf die Ertragsbildung bei Änderung der Umweltfaktoren (FLAIG & SÖCHTIG, 1973)

5 Humusbilanzierung

In diesem Kapitel sollen Methoden dargestellt werden, deren Einheiten als Bezugsgröße für wirkungsgleiche Mengen der organischen Substanz dienen könnten und somit die Grundvoraussetzung für eine monetäre Bewertung der organischen Substanz bilden.

Methoden der Humusbilanzierung dienen dazu, die Stoffflüsse des Auf- und Abbaus der OBS zu quantifizieren. Die zugeführte OPS wird anhand ihre Fähigkeit zum Humusersatz beizutragen bewertet. Das Ziel ist in der Regel der Erhalt des Humusspiegels auf einem bestimmten Niveau.

Der Humusspiegel, als wichtige Einflussgröße für diese Stoffflüsse, wird nur in einigen Verfahren berücksichtigt. Andere Verfahren bilanzieren ohne Berücksichtigung des Humusgehaltes, unter der Annahme, dass sich bei einem ausgeglichenen Verhältnis von Zufuhr und Abfuhr ein dem Standort entsprechendes Fließgleichgewicht einstellt.

5.1 Humusbilanzierung mit Berücksichtigung des Humusgehaltes

5.1.1 Bilanzierungsverfahren auf Basis einer Mineralisierungsrate

Bilanzierungsmethoden, die mit einer auf den Humusgehalt bezogenen Mineralisierungsrate arbeiten, werden von KÖRSCHENS et al. (1998) beschrieben. Ihre Verwendbarkeit wird jedoch dadurch eingeschränkt, dass die inerte Fraktion als standortabhängige und an den Umsetzungsprozessen unbeteiligte Größe nicht berücksichtigt wird, weshalb auf Standorten mit hohen C_{inert} -Gehalten eine Überschätzung des Humusabbaus erfolgt und umgekehrt. (KÖRSCHENS et al. 1998).

5.1.2 Bilanzierungsverfahren auf Basis von Modellrechnungen

Kohlenstoff-Stickstoff-Modelle versuchen die Prozesse der OBS-Dynamik (vgl. Kap. 2) zu quantifizieren, sie basieren u. a. auf Ergebnissen von Inkubationsversuchen im Labor, Fraktionierung der OBS und der OPS, Arbeiten mit ^{14}C -markiertem Material und Ergebnissen aus Dauerfeldversuchen (PARTON et al. 1996).

Die Abbauraten beziehen sich häufig auf eine Kinetik erster Ordnung, wodurch sich die Notwendigkeit ergibt, verschiedene Pools zu bilden, um die unterschiedliche Abbaubarkeit innerhalb der OBS und der OPS zu berücksichtigen. Die Einteilung der Pools ergibt sich je nach Einsatzzweck; bei Schwerpunkt auf die langjährige C-Akkumulation sind besonders die schwerer abbaubaren Fraktionen in mehrere Pools, leicht umsetzbare Fraktionen dagegen nur in einen oder wenige Pools unterteilt. Bei Simulation der kurzfristigen N-Freisetzung verhält es sich genau umgekehrt (PARTON et al. 1996).

Neben der Abbaubarkeit wird auch das C/N-Verhältnis der Pools berücksichtigt, wodurch die freigesetzte N-Menge von der freigesetzten C-Menge abhängig ist (WU & MCGECHAN, 1998; GABRIELLE et al., 2002).

Die einzelnen Abbauraten werden unterschiedlich differenziert an die zugeführte OPS, die Bodenverhältnisse und Klimabedingungen angepasst (PARTON et al., 1996).

Eine Evaluierung verschiedener Modelle mit Dauerversuchen, z.B. von GABRIELLE et al. (2002) für die Modelle CERES, NCSOIL, SUNDIAL, STICS, von WU & MCGECHAN (1998) für die Modelle SOILN, ANIMO, DAISY, SUNDIAL, von PARTON et al. (1996) für das Modell CERES und von KOLBE & PRUTZER (2004) für das Modell CANDY-Carbon-Balance, zeigten eine unterschiedlich gute Eignung für bestimmte Standorte und Bewirtschaftungsmaßnahmen. Liegt eine Eignung vor, kann die C- und N-Dynamik im Boden gut abgebildet werden. Aufgrund der Vielzahl der Modelle und der Komplexität der Materie soll im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter auf diese Unterschiede eingegangen werden, die bei einer Verwendung der Modelle unbedingt beachtet werden müssen.

Lediglich das Modell CANDY-Carbon-Balance (im folgenden CCB-Modell genannt) soll hier kurz skizziert werden, da es im wesentlichen auf der in Kap. 2 verwendeten Einteilung der Pools der OS beruht und mit dem in Kap. 3.4 vorgestellten Simulationsmodell REPRO verknüpft werden kann.

Das CCB-Modell ermöglicht die Berechnung des C-Umsatzes in Jahresschritten und des Kohlenstoffgehaltes im Zustand des Fließgleichgewichtes (FRANKO, 1997).

Die OBS wird in einen inerten und einen umsetzbaren Pool unterteilt. Innerhalb des umsetzbaren Pools wird nochmals in die aktive und stabilisierte OBS untergliedert (vgl. Abb. 1 in Kap. 2) (FRANKO, 1997).

Die Umsetzungsaktivität eines Standortes wird mit der wirksamen Mineralisierungszeit, die sich durch die Korrelation mit Textur, Lufttemperatur und Niederschlag an verschiedene Standorte anpassen lässt, charakterisiert. Der Umsatz selbst ist eine Kinetik erster Ordnung (FRANKO & OELSCHLÄGEL, 1995).

Die Kohlenstoffreproduktion organischer Dünger wird mittels C/N-Verhältnis, Synthesekoeffizient, Trockenmasse (TM) und C-Gehalt der TM berechnet. Für die Kohlenstoffreproduktion der Ernte und Wurzelrückstände wird zusätzlich der Ertrag basierend auf Ergebnissen von KLIMANEK (1988 in FRANKO, 1997) bzw. KLIMANEK (1997) berücksichtigt. Das Modell wurde anhand des Dauerversuches in Bad Lauchstädt evaluiert (FRANKO, 1997).

Eine Evaluierung des Modells von KOLBE & PRUTZER (2004), in der die simulierten und die gemessenen Endwerte anhand von zahlreichen Dauerversuchen verglichen wurden, ergab eine gute Rechengenauigkeit auf leichten und mittleren Böden Ostdeutschlands sowie Schwarzerden. Auf Lehmböden mit relativ niedrigen C_{org} -Gehalten wurde die Humusanreicherung überschätzt, auf Böden mit hohen C_{org} -Gehalten (außer Schwarzerden), insbesondere auf den leichten Böden der humiden Klimabereiche (Podsole und Eschböden) erfolgte eine Unterschätzung der Humusgehalte.

5.2 Humusbilanzierung ohne Berücksichtigung des Humusgehaltes

Andere Humusbilanzmethoden quantifizieren die Wirkung der angebauten Kulturen und eingesetzter organischer Dünger ohne den Humusgehalt des Bodens zu berücksichtigen. Dadurch ist eine leichte Anwendung in der Praxis gegeben, da keine Messungen des Humusgehaltes erfolgen müssen.

Die Humusbilanz wird durch die Differenz zwischen Humusabbau und Humuszufuhr berechnet. Die in den verschiedenen Methoden verwendeten Koeffizienten beziehen sich in allen Fällen auf die im Boden verbleibende oder verbrauchte Menge an Humus bzw. Kohlenstoff. Die verwendeten Einheiten lassen sich nach KÖRSCHENS et al. (2004) folgendermaßen ineinander umrechnen:

1 t ROS = 0,35 HE,

1 HE = 2,8 t ROS.

1 t ROS ~200kg Humus-C

1 HE ~ 580kg Humus-C

Ebenfalls gemeinsam ist den Bilanzierungsmethoden die Orientierung an maximalen Erträgen und bei den konventionellen Methoden auch „optimalen“ Mineraldüngergaben als Grundlage für die Ermittlung des Bedarfs an organischer Substanz (KOLBE & PRUTZER, 2004).

5.2.1 Bilanzierung der Reproduzierbaren organischen Substanz

Die Humusbilanzierung nach ASMUS & HERRMANN (1977) drückt die Veränderungen im Humushaushalt in Tonnen reproduktionswirksamer organischer Substanz (ROS) aus. Definiert wird 1 t ROS als Tonne organischer Trockenmasse von Stalldung mit einem Humifizierungskoeffizienten von 0,35. Aus mehreren Dauerfeldversuchen wurde die für den Erhalt des Humusgehaltes benötigten Mengen an reproduzierbarer organischer Substanz ermittelt und Koeffizienten für den Bedarf und die Anreicherung an ROS der verschiedenen Kulturen abgeleitet. Dabei wird nach folgenden Bodenarten differenziert: S/Sl, IS/sL, L/T und Schwarzerde. Der Bedarf ist für die Schwarzerde am niedrigsten und nimmt dann von S/Sl zu L/T zu. Die Anreicherung durch Humusmehrer wird ebenfalls nach Bodenarten differenziert und ist bei S/Sl am niedrigsten, etwas höher bei IS/sL und bei L/T und Schwarzerde gleich hoch. Die Reproduktionsleistung der organischen Dünger wird nicht nach Bodenarten differenziert.

Die ROS-Methode zur einfachen Humusreproduktion von ASMUS & HERRMANN (1977) ist von der erweiterten Humusreproduktion nach KUNDLER et al. (1981 in RAUHE et al. 1982) zu unterscheiden. Diese zeichnet sich durch höhere Bedarfskoeffizienten für die Humuszehrer und eine stärkere Differenzierung der Leistungen der Humusmehrer aus. Ziel der erweiterten Reproduktion ist eine Steigerung der Erträge durch die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit (RAUHE et al. 1982).

5.2.2 Bilanzierung von Humuseinheiten

Die Humusbilanzierung in Humuseinheiten (HE) nach RAUHE & SCHÖNMEIER (1966) quantifiziert die Humuswirkung verschiedener Kulturen und organischer Dünger in Tonnen Humus-TM pro ha. Eine Tonne Humus entspricht 580 kg Kohlenstoff und 50 kg Stickstoff. Dem Stickstoffentzug wird eine so große Bedeutung für den Humushaushalt beigemessen, dass ertragsabhängige Bedarfskoeffizienten verwendet werden. Eine Standortdifferenzierung wurde dagegen nicht durchgeführt. Die Methode ist auf leichte und bessere Böden Ostdeutschlands abgestimmt (RAUHE & SCHÖNMEIER 1966).

Aus einer Kombination der HE-Methode und der erweiterten ROS-Methode entwickelten LEITHOLD et al. (1997) neue HE-Koeffizienten. Höhere Koeffizienten als in der einfachen ROS-Methode wurden als notwendig erachtet, um den Einsatz von Mineraldünger zu reduzieren und die weniger optimalen Bedingungen in Praxisbetrieben gegenüber den Feldversuchen auszugleichen. (LEITHOLD et al. 1997).

Die Festlegung der neuen Bedarfswerte erfolgte in zwei Schritten (LEITHOLD & HÜLSBERGEN 1998):

1. Bedarfsermittlung für verschiedene Fruchtfolgesysteme auf der Grundlage von Dauerfeldversuchen, insbesondere Seehausen.
2. Berechnung von Bedarfswerten für Einzelkulturen mittels fruchtartenspezifischer Stickstoffbilanzen mit der horizontalen N-Bilanz nach LEITHOLD (1991a/b), durch die der Bedarf an organischer Substanz unter Berücksichtigung des Ertragsniveaus und der Mineraldüngermenge errechnet werden kann.

5.2.3 Die Humuseinheiten -Methode für den ökologischen Landbau

Eine Anpassung der HE-Methode an den ökologischen Landbau (HE-ÖL-Methode) nehmen LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1998) vor, indem die Bedarfskoeffizienten der Humuszehrer um durchschnittlich 50 % erhöht werden. Die Koeffizienten der humusmehrenden Kulturen bleiben dagegen unverändert. Die Erhöhung der Koeffizienten wird von LEITHOLD et al. (1997) wie folgt begründet:

- Der ökologische Landbau strebt höhere standortspezifische Humusgehalte an, um einen höheren Umsatz der OBS zu erreichen, der für ausreichende Erträge ohne Mineraldüngerstickstoff erforderlich ist. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Versorgung des Bodens mit organischer Substanz und dem Ertragsniveau.
- Bei hohem Humusversorgungsgrad erfolgt ein schnellerer Abbau von Nährhumus, organischen Düngern sowie von Ernte- und Wurzelrückständen, da die Humifizierungskoeffizienten absinken (ASMUS, 1992) (vgl. Kap. 2).
- Die direkte und indirekte Humusersatzwirkung des Mineraldüngerstickstoffs (siehe unten) muss durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten und/oder erhöhte organische Düngung kompensiert werden.

- Die Nährstoffgehalte der organischer Dünger sind im ökologischen Landbau niedriger als im konventionellen Landbau (MIEHE 1994 und BIERMANN 1995 in LEITHOLD et al. 1997), so dass die N- und Humusersatzleistungen geringer anzusetzen sind, vgl. auch HÜNSCHE & DEWES (1998 in STEIN-BACHINGER et al., 2004).
- Durch stärkere mechanische Pflegemaßnahmen werden Humusabbauprozesse ange-regt.
- Die erhöhte Zufuhr von organischer Substanz stellt kein überhöhtes Stickstoffbelas-tungspotential für die Umwelt dar, da das Stickstoffdüngungsniveau aufgrund des be-grenzten N-Zukaufs im ökologischen Landbau niedriger ist, als im konventionellen Landbau.

Als direkte Humusersatzwirkungen des Mineraldüngerstickstoffs nennt LEITHOLD (1996a) die Erhöhung der Ernte- und Wurzelrückstände im Vergleich zu ungedüngten Varianten und die Aufnahme von Mineraldüngerstickstoff durch die Bodenmikroben, wodurch er direkt zur Bildung von organischer Substanz beiträgt. Diese direkte Einbindung beträgt ca. 25 % (LEITHOLD, 1996a) bzw. 20-35 % (MACCARTHY et al., 1990) der mineralischen Stickstoffga-be. Beide Faktoren bewirken einen nachweislich höheren Stallmistbedarf von Parzellen ohne Mineraldüngung zum Erhalt der organischen Bodensubstanz (LEITHOLD et al., 1997).

Die indirekte Humusersatzwirkung des Mineralstickstoffs ist eine Ertragssteigerung, die z. T. in Form von Futter und Einstreu im Betriebssystem verbleibt und dem Boden wieder zuge-führt wird (FRANKEN, 1985). Allerdings ist zu beachten, dass diese indirekten Wirkungen über den organischen Dünger in eine Humusbilanzierung einbezogen werden.

Einem höheren Humusbedarf im ökologischen Landbau stehen dagegen nach LEITHOLD (1995) folgende Faktoren entgegen:

- geringere Ertragserwartungen
- geringere Nährstoffgehalte je Produkteinheit
- höhere Verwertung des je Flächeneinheit eingesetzten Stickstoffs im System Boden-Pflanze
- größeres N-Nachlieferungsvermögen aus dem Humusfonds sofern ein höherer Hu-musgehalt und –umsatz realisiert sind, sowie die größere Ertragswirksamkeit dieses Stickstoffs.

Nach Einschätzung von LEITHOLD (1996b) überwiegen jedoch die Faktoren, welche einen höheren Bedarf an organischer Substanz begründen.

Zur Prüfung der HE-ÖL-Bedarfswerte liegen derzeit noch keine Ergebnisse aus Feldversu-chen vor, jedoch werden Praxisvergleiche zwischen konventioneller und ökologischer Bewirt-schaftung herangezogen, bei denen ein höherer Humusspiegel und eine höhere Humusdynamik nachgewiesen wurden. Gegenüber konventionellen Vergleichsflächen (=100 %) wurden im ökologischen Landbau, nach den Ergebnissen von 7 Autoren, Humusgehalte von 97 bis

154 % ($\bar{\sigma}$ 119 %), Enzymaktivitäten von 108 bis 267 % und Biomassegehalte von 114 bis 226 % gefunden (EMMERLING & SCHRÖDER, 1996). Auch BECK (1981, 1991) findet eine Anhebung der mikrobiologischen Kennwerte im ökologischen Landbau von 10 – 30 % gegenüber konventionellen Vergleichsbetrieben.

Die für den konventionellen Anbau konzipierten Bilanzierungsmethoden weisen bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben große bis sehr große Bilanzüberschüsse auf, die häufig als Verlustpotentiale für Stickstoff interpretiert werden. Dies kann durch Versuchsergebnisse und Praxisanalysen jedoch nicht bestätigt werden und lässt für LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1998) den Schluss zu, dass diese Methoden für den ökol. Landbau ungeeignet sind.

In einer Evaluierung der HE-ÖL-Methode mit Dauerfeldversuchen konnten KOLBE & PRUTZER (2004) keine Besonderheiten der Humusdynamik im ökologischen Landbau feststellen, da sich die verschiedenen Varianten von 3 ökologischen Dauerfeldversuchen problemlos in konventionelle Versuchsvarianten ohne Mineraldüngung auf vergleichbaren Standorten eingliedern lassen. Wird bei der HE-ÖL-Methode auf 100 % Bedarfsdeckung bilanziert, ist jedoch eher mit einem Anstieg der Humusgehalte zu rechnen, als bei Verwendung der oberen und unteren Werte der VDLUFA-Methode.

5.2.4 Humusbilanzierung im Modell REPRO

Die HE- und HE-ÖL-Methode werden modifiziert auch im Model REPRO verwendet und mit der Stickstoffbilanzierung verbunden. Die Humuszehrung wird ertragsabhängig über den N-Entzug und standortabhängig durch die Berücksichtigung der wirksamen Mineralisierungszeit (nach FRANKO & OELSCHLÄGEL, 1995) ermittelt. Um das Verlustpotenzial des Stickstoffs aus dem Humus und aus der OPS zu berücksichtigen, werden standortspezifische Systemverwertungsraten Boden-Pflanze verwendet.

Alternativ zu dieser Vorgehensweise besteht die Möglichkeit die Humusbilanzierung in REPRO mit dem CCB-Modell abzubilden (HÜLSBERGEN, 2003).

5.2.5 Humusbilanzierung nach VDLUFA-Methode und „Cross Compliance“

Die VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung verwendet die Einheit kg Humus-C/ha. Für die Koeffizienten der Humuswirkung der Hauptfruchtarten, des mehrjährigen Feldfutters und der Zwischenfrüchte wurde jeweils ein unterer Wert und ein oberer Wert angegeben. Die unteren Werte sollen auf Standorten in gutem Kulturzustand und optimaler mineralischer N-Düngung verwendet werden, die oberen Richtwerte sind dagegen für bereits längere Zeit mit Humus unterversorgten Böden vorgesehen. Für die Humuswirkung von Brache und den verschiedenen organischen Düngern ist nur ein Wert vorgesehen (KÖRSCHENS et al. 2004).

Der untere Wert wurde im wesentlichen aus der ROS-Methode und obere Werte aus der HE-Methode abgeleitet (KOLBE & PRUTZER, 2004). Die in der HE-Methode sehr differenzierte Einstufung der humusmehrenden Kulturen wurde aber nicht übernommen. Es wird darauf hingewiesen, dass für den ökologischen Landbau eine Präzisierung des Humusbedarfes erforderlich ist (KÖRSCHENS et al. 2004).

In der VDLUFA-Methode erfolgt auch eine Bewertung der Humussalden wie in Tab. 6.

Tab. 6: Bewertung der Humussalden in der VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS, et al., 2004)

Humussaldo kg Humus- C/ha/a	Gruppe	Bewertung
< -200	A sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung
-200 bis -76	B niedrig	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden
-75 bis 100	C optimal	Optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko, langfristig Einstellung Standortangepasster Humusgehalte
101-300	D hoch	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E sehr hoch	Erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste, niedrige N-Effizienz

Die unteren Werte der VDLUFA-Methode werden für die Humusbilanzierung im Rahmen von „Cross Compliance“ verwendet. In der „Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand,“ der „Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung“ wird geregelt, dass diese Humusbilanzierung nur erforderlich ist, wenn der Betriebsinhaber weniger als drei Kulturen mit mindestens 15 % Flächenanteil anbaut (DIREKTZAHLVERPFLV, 2004).

Der Humusbilanzsaldo soll nach dieser Vorschrift im Bereich zwischen -75 kg C/ha/a und +125 kg C/ha/a liegen, und darf den Wert von -75 kg C/ha/a nicht unterschreiten. Wird letzterer Saldo nicht eingehalten, muss durch eine Bodenumusuntersuchung nachgewiesen werden, dass der Gehalt von 1 % Humus für Böden mit weniger als 13 % Ton bzw. 1,5 % für Böden mit mehr als 13% Ton nicht unterschritten wird (DIREKTZAHLVERPFLV, 2004).

5.3 Unterschiede zwischen den Bilanzierungsmethoden

Unterschiede zwischen den einzelnen C-N-Modellen sollen im Rahmen der Arbeit nicht weiter vertieft werden, sondern nur Unterschiede in der grundsätzlichen Herangehensweise gegenüber den anderen Bilanzierungsverfahren erläutert werden.

Innerhalb der Bilanzierungsverfahren liegen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Koeffizientenhöhe vor. In Tab. 7 und Tab. 8 werden die VDLUFA-Methode, die HE- und die HE-ÖL Methode auszugsweise verglichen. Die Variationsbreiten werden dargestellt, um im Überblick zu zeigen, wie groß die Unterschiede zwischen den Koeffizienten sind. Alle Koeffizienten sind in die Einheit Humus-C/ha umgerechnet. Die vollständigen Tabellen befinden sich in Anh. I bis Anh. IV.

Die deutlichsten Unterschiede zwischen den Methoden finden sich bei den Hauptfruchtarten, was durch die hohen Koeffizienten der HE-ÖL-Methode bedingt ist. Zwischen der HE-Methode und dem oberen Wert der VDLUFA-Methode besteht dagegen kaum ein Unterschied.

Tab. 7: Unterschiede zwischen den Koeffizienten der Hauptfruchtarten der VDLUFA-Methode, der HE- und der HE-ÖL-Methode zur Humusbilanzierung, umgerechnet auf kg Humus-C

Hauptfruchtarten	VDLUFA (2004)		HE- nach Leithold et al. (1997)	HE-ÖL nach Leithold et al. (1997)	Variations- breite
	kg Humus-C/ha		kg Humus- C/ha	kg Humus- C/ha	
	untere Werte	obere Werte			
Zucker- und Futterrübe, einschließlich Samenträger	-760	-1300	-1334	-1972	1212
Kartoffeln und 1. Gruppe Gemüse	-760	-1000	-1044	-1595	835
Silomais und 2. Gruppe Gemüse	-560	-800	-783	-1189	629
Getreide einschließlich Öl- und Faserpflanzen, Sonnenblumen sowie 3. Gruppe Gemüse	-280	-400	-406	-609	329
Körnerleguminosen	160	240	203	203	80

Aber auch bei den Koeffizienten für den Feldfutterbau und die Zwischenfrüchte (Tab. 8) ist die Variationsbreite noch beträchtlich. Bei LEITHOLD et al. (1997) wird keine Unterscheidung mehr zwischen HE- und HE-ÖL-Methode vorgenommen, die Koeffizienten haben die gleiche Höhe. Letztgenannte Koeffizienten unterscheiden sich aber deutlich von der VDLUFA-Methode, da sehr viel stärker nach Kulturarten und nach Nutzungsjahren differenziert wird. In der HE-Methode wird die Humusmehrung in der Rangfolge Ackergras < Luzerne < Leguminosen-Grasgemenge angegeben und die Humuswirkung nimmt mit den Nutzungsjahren ab. In der VDLUFA-Methode werden für die genannten Kulturen dagegen mit einheitlichen Werte verwendet.

Tab. 8: Unterschiede zwischen den Koeffizienten des Feldfutters und der Zwischenfrüchte der VDLUFA-Methode, der HE- und der HE-ÖL-Methode zur Humusbilanzierung, umgerechnet auf kg Humus-C/ha

Mehrjähriges Feldfutter /Zwischenfrüchte	VDLUFA (2004)		HE und HE-ÖL-Methode nach Leithold et al. (1997)	Variations- breite
	kg Humus-C/ha		kg Humus-C/ha	
	untere Werte	obere Werte		
Ackergras				
je Hauptnutzungsjahr	600	800	609	200
im Ansaatjahr:				0
als Untersaat	200	300	203	100
als Sommerblanksaat	100	150	116	50
Luzerne:				
im 1. Hauptnutzungsjahr	600	800	1044	444
im 2. Hauptnutzungsjahr	600	800	812	212
im 3. Hauptnutzungsjahr	600	800	464	336
im Ansaatjahr:				
als Frühjahrsblanksaat	400	500	696	296
bei Gründedeckfrucht	300	400	348	100
als Untersaat	200	300	290	100
als Sommerblanksaat	100	150	174	74
Leg.-Grasgemenge:				
im 1. Hauptnutzungsjahr	600	800	1218	618
im 2. Hauptnutzungsjahr	600	800	1044	444
im 3. Hauptnutzungsjahr	600	800	580	220
im Ansaatjahr:				
als Frühjahrsblanksaat	400	500	812	412
bei Gründedeckfrucht	300	400	348	100
als Untersaat	200	300	290	100
als Sommerblanksaat	100	150	174	74
Zwischenfrüchte				
Winterzwischenfrüchte	120	160		464
Winterroggen			-174	
Leguminosen/ Nichtleguminosengemenge			174	
(Wickroggen, Wickweidelgras)				
Landsberger Gemenge			290	
Raps, Rübsen, Senf, Phacelia, Perco			87	
Stoppelfrüchte	80	120		40
Leguminosen/ Nichtleguminosengemenge			116	
Gräsermischungen			116	
Raps, Rübsen, Senf, Phacelia, Perco			87	

Bei den Zwischenfrüchten differenziert die HE- Methode nach dem gleichen Prinzip zwischen Leguminosen und Nichtleguminosen, in der VDLUFA-Methode wird nicht nach Kulturarten differenziert. Daraus ergeben sich große Unterschiede, insbesondere bei der Bewertung von Winterroggen als Gründüngung, wo ein negativer Wert in der HE-Methode, einem positiven

Wert in der VDLUFA-Methode gegenübersteht. Die nicht nach Leguminosen und Nicht-Leguminosen differenzierte Einteilung der VDLUFA-Methode entspricht der ROS-Methode nach ASMUS & HERRMANN (1977).

Bei den organischen Düngern wie Stallmist, Gülle und Rübenblatt gibt es nur geringe Abweichungen zwischen den Methoden. Lediglich Stroh wird in der Humuswirkung in der VDLUFA-Methode nach intensivem und extensivem Anbau differenziert und in der HE-Methode etwas niedriger angegeben.

Die Unterschiede zwischen den Koeffizienten werden intensiv diskutiert:

Beispielsweise werden von LEITHOLD et al. (1997) die Koeffizienten der ROS-Methode (nach ASMUS & HERRMANN, 1977) als zu niedrig angesehen, was unter anderem mit Untersuchungen auf Praxisbetrieben (HÜLSBERGEN et al., 1996 in LEITHOLD et al. 1997) begründet wird. Andererseits beschreiben ASMUS & HERRMANN (1977), dass praktische Erfahrungen mit der HE-Methode (nach RAUHE & SCHÖNMEIER, 1966) gezeigt hätten, dass der errechnete Humusbedarf meistens erheblich über der tatsächlich möglichen Zufuhr von organischen Stoffen läge. KÖRSCHENS et al. (1998) kritisiert an der HE- und HE-ÖL-Methode die hohen Mengen organischer Dünger, die für eine ausgeglichenen Bilanz notwendig sind und zu Stickstoffverlusten führen würden.

Die Unterschiede zwischen den Bilanzierungsmethoden lassen sich im Wesentlichen anhand folgender Aspekte erklären:

- Standortspezifität
- Annahmen bezüglich des optimalen Humusgehaltes
- Annahmen bezüglich des Bewirtschaftungssystems
- Ermittlung des Humusbedarfes auf der Basis von Stickstoff oder Kohlenstoff.

5.3.1.1 Standortspezifität

Der Einfluss des Standortes auf die Umsetzung der OBS und OPS wird in C-N-Modellen durch Klimadaten, Bodenart, Humusgehalt u. a. berücksichtigt. Trotzdem sind Modelle häufig besonders an den Standort angepasst, auf dem sie entwickelt wurden. So wird von KOLBE & PRUTZER (2004) für das CCB-Modell eine unterschiedliche Eignung für verschiedene Standorte ermittelt (vgl. Kap. 5.1.2) und auch GABRIELLE et al. (2002) fand einen Standorteinfluss auf die Genauigkeit verschiedener Modelle.

Die Koeffizienten der ROS-Methode nach ASMUS & HERRMANN (1977) werden differenziert nach Bodenarten angegeben (vgl. Kap. 5.2.1). Der niedrigere Humusbedarf von Schwarzerden und Sandböden wird auch von KOLBE & PRUTZER (2004) bestätigt, wohingegen der gleich hohe Humusbedarf von Lehm und Tonböden den Ergebnissen von KOLBE & PRUTZER (2004) widerspricht, die für Lehm einen hohen und für Tonböden einen niedrigen Humusbedarf angeben.

Die derzeit verwendeten Methoden der Humusbilanzierung berücksichtigen keine Standorteinflüsse, jedoch haben KOLBE & PRUTZER (2004) die unterschiedliche Eignung der unteren und oberen Werte der VDLUFA-Methode für verschiedene Standorte durch einen Vergleich mit zahlreichen Dauerdüngungsversuchen herausgearbeitet.

Ohne eine Einteilung in Standortgruppen konnte keine verlässliche Aussage über einen Erhalt des standortspezifischen Humusgehaltes bei einer ausgeglichenen Humusbilanz (100% Bedarfsdeckung) getroffen werden.

Auf sehr schweren Böden und auf Schwarzerden kommt es auch bei Anwendung der unteren Werte zu einer Anreicherung des C_{org} -Gehaltes. Auf leichten und mittleren Böden des kontinentalen Klimabereiches und auf umsetzungsträgen, schweren Böden (Bergregionen mit niedrigen Temperaturen) reichten die unteren Werte zum Humuserhalt aus. Auf umsetzungsintensiven Lehmböden (außer Schwarzerden) kann bei Verwendung der oberen Werte der C_{org} -Gehalt in vielen Fällen gehalten werden, in einigen Fällen sind dagegen noch höhere Bedarfskoeffizienten notwendig (KOLBE & PRUTZER, 2004).

Aber auch mit dieser Einteilung sind die Aussagen zu einem Erhalt der OBS noch zu ungenau, weshalb KOLBE (2005, mündl. Mitteilung) eine Einteilung der Koeffizienten in 4-7 Standortgruppen für notwendig hält. Die Standortgruppen werden anhand der Bodenart, der Temperatur, der Niederschläge und teilweise des C/N-Verhältnisses charakterisiert. Bei der Anpassung der Koeffizienten an die Standortgruppen werden auf den umsetzungsaktiven Standorten die Koeffizienten der Humuszehrer erhöht und der Humusmehrer abgesenkt. Auf umsetzungsträgen Standorten erfolgt das Gegenteil. Auch mit dieser Verbesserung bleibt die Humusbilanzierung dennoch eine halbquantitative Methode KOLBE (2005, mündl. Mitteilung).

5.3.1.2 Annahmen über den optimalen Humusgehalt

Der Humusgehalt wird in erster Linie von den Standortbedingungen bestimmt. Durch den Einfluss der Bewirtschaftung kann dieses standortspezifische Niveau jedoch in gewissen Grenzen variieren. Das angestrebte Niveau der umsetzbaren OBS im Rahmen der standortspezifischen Grenzen bedingt einen Teil der Unterschiede zwischen den Bilanzierungsmethoden, da die umsetzbare OBS in großem Maße den Humusbedarf eines Bodens bestimmt (vgl. Kap. 2).

In C-N-Modellen ist der Humusgehalt keine Zielgröße, sondern eine Variable, die durch Messdaten in das Modell einbezogen wird. Der eingegebene Humusgehalt zu Beginn der Simulation kann deshalb die Humusdynamik entsprechend der im Modell vorhandenen Algorithmen beeinflussen.

In den klassischen Humusbilanzierungsverfahren wird der tatsächliche Humusgehalt nicht berücksichtigt. Da sich das Fließgleichgewicht jedoch anhand der Bewirtschaftungsmaßnahmen einstellt, ist die Höhe der Koeffizienten von den Vorstellungen des optimalen Humusspiegels beeinflusst.

Für die ROS- Methode nach ASMUS & HERRMANN (1977) wird eine einfache Reproduktion angestrebt. Die erweiterte ROS-Methode nach KUNDLER et al. (1981, in RAUHE et al., 1982) soll dagegen eine erweiterte Reproduktion ermöglichen. Bei der HE-Methode nach RAUHE & SCHÖNMEIER (1966) wird nicht eindeutig geklärt, ob von der einfachen oder der erweiterten Reproduktion ausgegangen wird, die Koeffizienten haben aber ein vergleichbares oder leicht höheres Niveau als bei der erweiterten ROS-Methode. Auch LEITHOLD et al. (1997) streben ein höheres Versorgungsniveau als in der einfachen ROS-Methode an. In der HE-ÖL-Methode sind die Bedarfswerte noch mal um 50 % erhöht, da LEITHOLD (1996a) im ökologischen Landbau den höchstmöglichen Humusgehalt, der unter ökonomisch vertretbarem Aufwand erzielt werden kann, als anstrebenswert ansieht.

Die mit den Bilanzierungsmethoden erreichbaren Humusgehalte geben KOLBE & PRUTZER (2004) in der Reihenfolge ROS/untere Werte VDLUFA-Methode < HE/obere Werte VDLUFA-Methode < HE-ÖL-Methode an. Aufgrund der nichtlinearen Dynamik der organischen Substanz werden in erster Linie die Stoffumsätze gesteigert und erst in zweiter Linie die Humusgehalte erhöht.

Je nachdem, ob die OBS als wichtigster Produktionsfaktor (RAUHE & SCHÖNMEIER, 1966; RAUHE et al., 1982; LEITHOLD, 1983, 1990a/b; LEITHOLD et al., 1997) oder eher die Umweltgefährdung durch unkontrollierte N-Freisetzung aus der OBS bzw. die Kohlenstoffbilanzen betont werden (KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999; KÖRSCHENS et al., 2002), werden unterschiedliche Humusgehalte für angemessen gehalten. Diese Frage hängt auch intensiv mit dem angestrebten Bewirtschaftungssystem zusammen (vgl. Kap. 5.3.1.3).

Genauere Vorstellungen über optimale Humusgehalte der einzelnen Standorte liegen dagegen nur vereinzelt vor.

Aus den Zusammenhängen zwischen Tongehalt und inertem sowie umsetzbarem C_{org} -Gehalt haben KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) Richtwerte für den Humusgehalt von Diluvial- und Lössböden in Abhängigkeit vom Feinanteil entwickelt.

Dabei ist jeweils eine untere und eine obere Grenze festgelegt. Die obere Grenze definiert den Gehalt des Bodens an OBS, deren Überschreitung (unter konventioneller Bewirtschaftung) keinerlei Ertragsvorteile bringt, jedoch infolge von N-Verlusten und ungünstigen C-Bilanzen negativ auf die Umwelt wirken kann (KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999). Die untere Grenze wurde nicht genauer definiert.

Problematisch kann die Anwendung dieser Richtwerte für nordwestdeutsche Sandböden (Podsole, Plaggenesch) sein. Sie haben deutlich höhere Humusgehalte, da 50 – 90 % der organischen Substanz chemisch resistent sind (SPRINGOB & KIRCHMANN, 2002 in OVERSCH et al., 2003). Ein höherer Humusgehalt der nordwestdeutschen Sandböden wird auch von KOLBE & PRUTZER (2004) angegeben. KOLBE & PRUTZER (2004) ermittelten anhand von zahlreichen Dauerversuchen, dass nicht nur der Feinanteil, sondern auch Niederschlag und die Temperatur neben weiteren Faktoren einen entscheidenden Einfluss auf den Humusgehalt haben. Der Einfluss steigender Niederschlagsmengen ist beispielsweise nicht gleichgerichtet, sondern führt bei einem hohen Feinanteil zu abnehmenden Humusgehalten, bei einem niedrigem

Feinanteil dagegen zu steigenden Humusgehalten (KOLBE, 2004). Eine Ausrichtung allein nach dem Feinanteil erscheint deshalb unzureichend.

Anstelle der Berechnung der umsetzbaren OBS aus dem C_t -Gehalt und dem errechneten C_{inert} -Gehalt verwenden KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) die Messung des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs. Es werden Gehaltsklassen für grundwasserferne Sand- und Lehmböden mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 6 - 10°C und 400-800mm Jahresniederschlag aufgestellt.

Optimale Humusgehalte können auch noch aus den erwünschten physikalischen Eigenschaften des Bodens abgeleitet werden, z. B. eine geringe Verschlammungsneigung, gute Bearbeitbarkeit und eine gute Struktur. BOEKEL (1974) beschreibt solche Werte in Abhängigkeit von den Entwässerungsverhältnissen, dem pH-Zustand und dem Tongehalt der Bodens. Der niedrigste Humusgehalt ist bei einem Tongehalt von 15 % notwendig, auf leichten Böden wird ein höherer Humusgehalt benötigt, um die Verschlammung zu reduzieren, auf schwereren Böden, um die Bindung herabzusetzen. Bei einem schlechten Kalkzustand oder schlechten Entwässerungsverhältnissen wurden noch höhere Humusgehalte benötigt.

Auch zur Erfüllung der Ökosystemfunktion und zum Erhalt des Bodens wird der Gehalt an OBS als wichtiger Faktor gesehen, eine notwendige Höhe wird aber nicht definiert (ARSHAD & MARTIN, 2002). In der DIREKTZAHLVERPFLV (2004) werden nur Mindestgehalte an organischer Substanz festgelegt, (vgl. Kap. 5.2.5), die keine Schlüsse auf ein optimales Niveau zulassen.

Eng verknüpft mit den optimalen Humusgehalten ist auch die Frage, wie stark der Gehalt an umsetzbarem Humus verändert werden kann.

Nach KÖRSCHENS et al. (2004) kann der standortspezifische Humusgehalt maximal um den Gehalt der umsetzbaren OBS verändert werden, die bei 0,5 % C_{org} (absolut) liegt.

Andere Autoren geben relative Werte für die möglichen Gehaltsveränderungen an, beispielsweise $\pm 20 - 30$ % (SAUERBECK, 1992). Eine ähnliche Abweichung fanden EMMERLING & SCHRÖDER (1996), die 54 % höhere Humusgehalte bei ökologischer Bewirtschaftung gegenüber konventionellen Vergleichsflächen vorfanden.

5.3.1.3 Annahmen bezüglich des Bewirtschaftungssystems

Auch die Grundannahmen zum Bewirtschaftungssystem, insbesondere die angestrebte Intensität der Mineraldüngung, beeinflussen die Höhe der Koeffizienten.

Bei der Evaluierung der VDLUFA-Methode wählen KOLBE & PRUTZER (2004) optimale Ertragsvarianten bei 100 % Bedarfsdeckung aus. Diese werden bei Anwendung der unteren Werte mit höheren Mineraldüngergaben und geringeren Gaben an organischen Düngern und bei den oberen Werten mit niedrigeren Mineraldüngergaben und höherer organischer Düngung erreicht. Bei einer Ermittlung der N-Salden wird deutlich, dass je extensiver der Mineraldüngereinsatz ist, desto höher kann die Zufuhr an organischer Substanz liegen, ohne dass der N-Saldo von 50 kg N/ha/a überschritten wird.

Nach einer Untersuchung von SCHULTE & SCHRÖDER (1993 in EMMERLING & SCHRÖDER 1996) liegen die N-Bilanzen ökologisch wirtschaftender Betriebe deutlich niedriger als im konventionellen Landbau und häufig sogar im negativen Bereich. Die höheren Bedarfswerte in der HE-ÖL-Methode werden unter anderem mit dem höheren Humusbedarf von Versuchspartzen ohne Mineraldüngung begründet (vgl. 5.2.3).

KOLBE (2005, mündl. Mitteilung) schlägt aus diesem Grunde vor, die Humusbilanzierung nur als Mindestvorgabe für die Versorgung des Bodens mit organischer Substanz zu wählen, und die maximale Zufuhr organischer Substanz durch den N-Saldo zu begrenzen. Die Orientierung an maximalen Erträgen, um den Humusbedarf festzulegen wird, von KOLBE & PRUTZER (2004) als nicht mehr praxistgerecht angesehen.

5.3.1.4 Bilanzierung auf Basis von N- oder C-Entzügen

Weitere Unterschiede ergeben sich dadurch, ob der Stickstoff oder der Kohlenstoff als maßgebliche Basis für die Bilanzierung herangezogen wird. In den meisten Fällen dienen zwar Feldversuche zur Entwicklung der Methoden, die Bewertung der einzelnen Kulturen muss jedoch trotzdem abgeleitet werden.

Den Abbau an OBS über die N-Entzüge der Humuszehrer ermitteln u. a. RAUHE & SCHÖNMEIER (1966), ASMUS (1984), LEITHOLD (1983, 1990a/b) und LEITHOLD et al. (1997). Die OBS-Bedarfsermittlung nach diesem Verfahren begründet sich in der engen Verbindung zwischen Humusbilanz und Stickstoffbilanz und der begrenzten Ersetzbarkeit von organisch gebundenem Stickstoff durch Mineraldüngerstickstoff. An dieser Vorgehensweise wird u. a. kritisiert, dass mit der Definition der HE von 580 kg C und 50 kg N von einem festen C/N-Verhältnis von 12:1 im Boden ausgegangen wird. In vielen Fällen wäre das C/N-Verhältnis jedoch enger, weshalb die über N-Mineralisierung verloren gegangenen Humusmengen überschätzt würden (ASMUS & HERRMANN, 1977; ASMUS et al., 1979).

Eine Ermittlung des Bedarfs an organischer Substanz über den Kohlenstoff liegt bei ASMUS & HERMANN (1977) und ASMUS (1979) vor. KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) begründen die Wahl des Kohlenstoffs als Bezugsgröße mit dem Aspekt, dass der mineralische Stickstoff jederzeit zugeführt werden kann und, sofern er mit organischen Düngern mit weitem C/N-Verhältnis gemeinsam verabreicht wird, den organischen Stickstoff ersetzen kann. Diese Annahme trifft auf den ökologischen Landbau mit nur wenigen leicht verfügbaren N-Düngern (Jauche, Gülle, und ggf. Vinasse) jedoch nur bedingt zu.

Die Herangehensweise von C-N-Modellen an diese Thematik ist dagegen wesentlich komplexer und berücksichtigt stärker die Dynamik der organischen Substanz wo C und N als Einflussgrößen auftreten. Grundsätzlich wird die N-Dynamik jedoch eher von der C-Dynamik bestimmt und nicht umgekehrt (vgl. Kap. 2 und 5.1.2).

Weitere Unterschiede zwischen der Bilanzierung nach Stickstoff bzw. Kohlenstoff ergeben sich bei der Frage, welchen Einfluss der Ertrag einjähriger Nicht-Leguminosen auf den Bedarf an organischer Substanz hat:

Autoren, welche den Bedarf an organischer Substanz aufgrund des Stickstoffbedarfs quantifizieren, gehen bei steigenden Erträgen von einer größeren Humuszehrung aus. Es sei denn, die Ertragssteigerung wird durch eine gestiegene Systemverwertung des Stickstoffs erreicht (LEITHOLD, 1991b).

Bei einer Bilanzierung auf Basis des Kohlenstoffs, wird dagegen eine negative oder keine Beziehung zwischen Ertrag und Humusbedarf vorausgesetzt. Da durch die Intensivierung höhere Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen anfallen, wird die notwendige Zufuhr an organischer Primärschubstanz vermindert (LEITHOLD, 1991b).

Offensichtlich wird die Bewertung der Zwischenfrüchte und Hauptfutterpflanzen ebenfalls von diesem Aspekt beeinflusst. Bei einer am Stickstoff orientierten Bilanzierung wie der HE-Methode wird die Humusleistung von Leguminosen grundsätzlich höher eingeschätzt als von Nichtleguminosen, wodurch sich die unterschiedliche Differenzierung der Werte in Tab. 8 erklären lässt.

5.3.1.5 Verbesserungsbedarf der Humusbilanzierung im Allgemeinen

Neben der fehlenden Standortdifferenzierung wird noch weiterer Verbesserungsbedarf der Humusbilanzierungsmethoden von verschiedenen Autoren festgestellt.

Zur Wirkung der einzelnen Maßnahmen der organischen Dünger stellten KOLBE & PRUTZER (2004) durch die Evaluierung der VDLUFA-Methode mit 39 Dauerversuchen fest, dass Stroh-, Gülle- und Gründüngung (inkl. Rübenblatt) tendenziell ein zu hoher Humusersatz zugeschrieben wird. Für den Humusaufbau durch Strohdüngung wurden von KOLBE & PRUTZER (2004) standortspezifische Unterschiede gefunden: Auf Lehm Böden ist sie besonders gering, auf humiden Sandböden dagegen besonders hoch. In der VDLUFA-Methode wird die Humusreproduktion des Strohs nach Bewirtschaftungsintensität differenziert. Eine Präzisierung der Humusreproduktionsleistung verschiedener organischer Dünger, insbesondere Stroh, Rübenblatt, Gärrückstände, Kompost und Klärschlamm halten auch KÖRSCHENS et al. (2005) für notwendig.

Des Weiteren werden Stallmistgaben über 150 dt/ha/a aber auch besonders niedrige organische Düngung ungenau abgebildet. Steigende Leguminosenanteile werden gut, steigende Hackfruchtanteile dagegen ungenau abgebildet. Der Einfluss steigender Mineraldüngergaben kann ebenfalls noch nicht berücksichtigt werden (KOLBE & PRUTZER, 2004). Diese Ungenauigkeiten der Humusbilanzierung sind darin begründet, dass die einheitlichen Koeffizienten einen linearen Verlauf der Humusdynamik unterstellen, der jedoch nicht vorliegt (vgl. Kap. 2).

Die Notwendigkeit einer Standortdifferenzierung und einer Differenzierung nach Intensität der Bodenbearbeitung sowie eine Präzisierung in Bezug auf den Ertrag sehen auch KÖRSCHENS et al. (2005) und LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1998) für die verschiedenen Bilanzierungsmethoden. In der HE-ÖL-Methode soll eine Kombination von Humus- und Stickstoffbilanz zur gleichzeitigen Sicherstellung der Stickstoffversorgung der Kulturpflanzen erfolgen (LEITHOLD & HÜLSBERGEN, 1998).

6 Bildung wirkungsgleicher Mengen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der bisher dargestellten Literatur angewendet. Besonderer Schwerpunkt liegt darin, wie die Forderung der wirkungsgleichen Mengen für die Bewertung innerbetrieblicher Leistungen (vgl. Kap. 3.5) umgesetzt werden kann.

Dafür werden zunächst Schlussfolgerungen aus den vorangegangenen Kapiteln getroffen.

Als quantifizierbare Größe für die Wirkungen der organischen Substanz wird die Ertragssteigerung durch die Sonderwirkung der OS verwendet, die in der Literatur zu verschiedenen Messgrößen in Beziehung gesetzt wird (Kap. 6.2). In einer eigenen Auswertung (Kap. 6.3) wird die Korrelation zwischen der Ertragssteigerung der Sonderwirkung und der Zufuhr Humus-C untersucht sowie die Langzeit- und die Kurzzeitwirkung der organischen Substanz berücksichtigt.

6.1 Schlussfolgerungen aus Dynamik, Wirkungen und Bilanzierung der organischen Substanz

Die einzelnen Wirkungen der organischen Substanz sind intensiv miteinander verknüpft und stehen in intensiver Wechselwirkung zueinander. Auch CHEN & AVIAD (1990) stellen fest, dass sich die einzelnen Wirkungen nur schwer voneinander abgrenzen lassen.

Die KAK, die Wasserkapazität und andere durch das Porenvolumen beeinflusste Wirkungen der organischen Substanz werden proportional zur Humusmenge quantifiziert. Ihre Bedeutung ist spezifisch für den Standort und die Bodenart. Die Bedeutung der umsetzbaren OBS für diese Wirkungen nimmt deshalb mit steigenden Gehalten an inerter OBS ab. Weitere entscheidende Einfluss- und Substitutionsfaktoren sind der Tongehalt, der pH-Wert und die Wasserversorgung bzw. Entwässerung des Bodens.

Die biologischen Wirkungen inklusive der Aggregatstabilität und teilweise auch die physiologischen Wirkungen sind dagegen eher mit dem Umsatz der OBS bzw. mit der Zufuhr und Qualität der OPS assoziiert. Die Aggregatstabilität und das aniphytopathogene Potential sind jedoch von größerer Intensität und Dauer, wenn schwerer abbaubare Materialien zugeführt werden. Deshalb könnten sich diese Wirkungen evtl. zu den nach Abbaubarkeitskriterien definierten Einheiten der Humusbilanzierung proportional verhalten.

Die Umweltbedingungen und qualitative Aspekte, wie der Zeitpunkt der organischen Düngung oder eine spezifische Zusammensetzung, haben einen großen Einfluss. Inwieweit standortspezifische Unterschiede vorliegen, kann dagegen nicht klar eingeschätzt werden. Die Substituierbarkeit der biologischen Wirkungen ist relativ gering.

Die Standortabhängigkeit der Wirkungen, die assoziierten Bezugsgrößen und die Einfluss- bzw. Substitutionsfaktoren sind in Tab. 9 der Übersicht halber für die wichtigsten Wirkungen aus Kap. 4 qualitativ abgeschätzt.

Tab. 9: Standortspezifität, Bezugsgröße, Einflussfaktoren und Substituierbarkeit ausgewählter Wirkungen der OS. Zusammengefasst nach Kap. 4

Wirkung der organischen Substanz	Bedeutung der Wirkung auf verschiedenen Böden			Assoziiert mit			Einflussfaktoren bzw. Substitution
	leichte	mittlere	schwere	C _{inert}	C _{ums}	Umsatz	
KAK	+++	+	0	X	X		pH, Tongehalt
Aggregation /-Stabilität	++	+++	+			X	Al- u. Fe-oxiden, CaCO ₂
Porenvolumen (Wasser und Lufthaushalt)	+++	0	+++	X	X		Niederschläge
Aktivierung des Bodenlebens	+++	++	+++		X	X	Umweltbedingungen
Antiphytopathogenes Potential	++	++	++			X	Management u. Zusammensetzung der OS, Fruchtfolge, Sortenwahl...
Physiologische Wirkungen	++	+	++		X	X	Umweltbedingungen

Wie deutlich sich die einzelnen Wirkungen in einer Ertragssteigerung widerspiegeln, kann hier nicht abgeschätzt werden. So wird kaum ein einzelner Faktor (z.B. Struktur) auf den Ertrag bezogen, oder die Ertragssteigerung wurde im Labor ermittelt (physiologische Wirkungen), weshalb die Praxisrelevanz schwer bewertet werden kann.

Inwieweit eine eindeutige Abgrenzung zur Nährstoffwirkung möglich ist, bleibt ebenfalls fraglich, da die Wirkungen der organischen Substanz teilweise auch in einer verbesserten Nährstoffeffizienz, -aufnahme oder weniger Verlusten resultieren. Deshalb wird in Kap. 6.3 nicht nur die Ertragssteigerung bei einer Trennung von Nährstoff und Sonderwirkung herangezogen, sondern auch der Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger.

Sowohl im Modelling als auch bei der einfachen Bilanzierung wird die OPS nach dem Kriterium der im Boden verbleibenden Kohlenstoffmenge bewertet. Da in der klassischen Humusbilanzierung die Umsetzungsaktivität der Standorte nicht berücksichtigt wird, besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den Methoden:

Die Ermittlung einer in Bezug auf den Humusersatz wirkungsgleiche Menge würde bei Verwendung eines geeigneten C-N-Modells auf verschiedenen Standorten die gleiche Humusanreicherung auf Basis von unterschiedlichen Mengen OPS ermitteln.

Bei der nicht standortspezifischen Humusbilanzierung wird dagegen bei Ermittlung einer wirkungsgleichen Menge auf Basis von Humus-C eine Menge an OPS ermittelt, die dann auf verschiedenen Standorten zu einer unterschiedlichen Anreicherung der OBS führt.

Die Bewertung der tatsächlich im Boden verbleibenden Kohlenstoffmenge kann deshalb besser mit den C-N-Modellen abgeschätzt werden, was neben der Berücksichtigung der Standortbedingungen auch an der besseren Berücksichtigung der Dynamik der OBS und der OPS liegt. Die Forderung der wirkungsgleichen Mengen in Bezug auf den Humusersatz kann deshalb nicht mit den einfachen Humusbilanzierungsmethoden erfüllt werden.

Die Koeffizienten der verschiedenen Methoden eignen sich jedoch, abgesehen von einigen Verbesserungsvorschlägen, um die Relation unterschiedlicher organischer Dünger in Bezug auf die Anreicherung an OBS abzubilden.

Die zweite Forderung wirkungsgleicher Mengen bezieht sich auf die Ertragswirkung. Da die einzelnen Wirkungen der organischen Substanz sowohl mit dem Umsatz als auch mit dem Humusgehalt assoziiert sind, kann davon ausgegangen werden, dass dies auch für die Ertragswirkung zutrifft. Mit den einfachen Humusbilanzierungsmethoden wird die OPS als eine, nach Abbaubarkeitskriterien definierte Menge Humus-C quantifiziert.

Ob die Ertragswirkung der organischen Substanz proportional zu den Veränderungen im Humusgehalt ist, wird in Kap. 6.2 anhand von Literatur dargestellt. Die Beziehung zwischen der Zufuhr Humus-C und der Ertragssteigerung durch die organische Substanz wird in Kap. 6.3 anhand von Auswertungen aus Dauerversuchen ermittelt.

Die Humusbilanzierung lässt sich sehr einfach in der Praxis anwenden, während für die C-N-Modelle mehr Daten benötigt werden und insbesondere die Messung des Humusgehaltes aufgrund der räumlichen und zeitlichen Variabilität entweder mit großen Ungenauigkeiten oder mit einem großen Aufwand verbunden ist.

Die Einfachheit der Humusbilanzierungsmethoden führt aber neben der fehlenden Standortspezifität auch noch zu weiteren Aspekten die beachtet werden müssen.

Die Koeffizienten in der Humusbilanzierung implizieren beispielsweise einen linearen Verlauf der Dynamik der OS, weshalb bei besonders niedrigen oder hohen OPS-Zufuhren bzw. Humusgehalten Ungenauigkeiten auftreten (vgl. KOLBE & PRUTZER, 2004).

Die in Kap. 5.3 dargestellten Unterschiede zwischen den Bilanzierungsmethoden wurden zwar teilweise erklärt, dadurch ist ihr Einfluss auf die monetäre Bewertung der organischen Substanz jedoch nicht aufgehoben. Die Hauptunterschiede zwischen den Bilanzierungsmethoden liegen in den Bedarfskoeffizienten der Humuszehrer. Bei den organischen Düngern und den Humusmehrern sind die Unterschiede abgesehen von der unterschiedlichen Differenzierung zwischen Leguminosen und Nicht-Leguminosen deutlich geringer. Der Einfluss der Methodenwahl kommt deshalb weniger bei der Ermittlung von monetären Werten über die Humusmehrern und die organischen Dünger zum Tragen, als bei der anschließenden Verwendung der Werte. Wird z.B. ein monetärer Wert pro kg Humus-C verwendet, so werden je nach verwendeter Bilanzierungsmethode die Hackfrüchte in Relation zum Getreide unterschiedlich stark mit Kosten für die Humuszehrung belastet. Dadurch können sich die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Kulturen durch die Wahl der Bilanzierungsmethode verändern.

Die Unterschiede in den Humusbilanzierungsmethoden beruhen u. a. auf unterschiedlichen Annahmen über den optimalen Humusgehalt. Schon allein die Messung und die Festlegung von Gehaltsbereichen ist aufgrund der Komplexität der Einflussgrößen nur bedingt durchführbar. Aussagen zu optimalen Humusgehalten aus naturwissenschaftlicher Sicht können hier deshalb nicht getroffen werden. Für die Definition von ökonomisch optimalen Humusgehalten ist die Berücksichtigung der Leistung der OBS notwendig.

6.2 Ertragssteigerung durch die Sonderwirkung bei unterschiedlichen Bezugsgrößen

In diesem Kapitel wird die Sonderwirkung der OS in Relation zu unterschiedlichen Bezugsgrößen dargestellt. Besonderer Schwerpunkt liegt auf Ergebnissen in denen die Veränderung im Humusgehalt als Bezugsgröße dient, um damit indirekt eine Aussage über die Eignung der in C-N-Modellen ermittelten OBS-Veränderungen als Bezugsgröße zu ermöglichen.

Die Sonderwirkung der organischen Substanz beruht u. a. auf der Verbesserung der Bodeneigenschaften, einschließlich der Nährstoffnachlieferung, und kann als der Ertragsanteil quantifiziert werden, der nicht durch Mineraldüngergaben ersetzt werden kann. Die Sonderwirkung wird in Versuchen durch Vergleich des Maximalertrages bei Kombination von organischer und mineralischer Düngung gegenüber alleiniger Mineraldüngung ermittelt (ASMUS, 1992; KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999).

Die Ertragssteigerungen durch die Sonderwirkungen sind stark standortabhängig und kommen besonders auf Böden mit ungünstigen Fruchtbarkeitsmerkmalen im Ertrag zum Ausdruck (ASMUS, 1992).

KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) fassen die Bodenverbessernde Wirkung der OBS mit bis zu 10 % auf Sandböden und bis zu 6 % auf Lehmböden aus den Arbeiten mehrerer Autoren zusammen. Dabei konnte nicht in jedem Falle zwischen Sonder- und Nährstoffwirkung unterschieden werden. ASMUS & HERMANN (1977) zitieren mehrere Autoren, bei denen die ertragssteigernde Wirkung der organischen Substanz mit 5-12 % angegeben wird.

Die Ertragssteigerung der organischen Substanz kann sowohl auf erhöhte Humusgehalte als auch auf die Maßnahmen der organischen Düngung, sowie die Kombination aus beiden Größen bezogen werden.

Im statischen Düngungsversuch in Bad Lauchstädt wurde auf Löß-Schwarzerde die Wirkung differenzierter C_{org} -Gehalte von 1,69 bis 2,23 % und organischer Düngung mit 300 dt Stalldung in jedem 2. Jahr untersucht. Bei jeweils optimaler Mineraldüngung wurden innerhalb von 18 Jahren bei Winterweizen-, Kartoffel- und Zuckerrüben erträgen leichte Ertragsminderungen und bei Sommergerste Ertragssteigerungen von 9 % festgestellt. Jedoch wurde mit der organischen Düngung und höheren C_{org} -Gehalten die Mineraldüngermenge zum Erreichen des Höchstertrages abgesenkt (KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999).

Auf Basis von 10-jährigen Versuchsergebnissen auf einer Sandlehm-Braunschwarzerde in Halle konnte kein signifikanter Einfluss unterschiedlicher C_{T} -Gehalte (1,72 bis 1,94 %) auf die Erträge gefunden werden. Ebenfalls wurde kein signifikanter Einfluss zwischen dem C_{T} -Gehalt und der für den Höchstertrag benötigten Düngermengen festgestellt. Es wird jedoch angemerkt, dass der niedrigste C_{T} -Gehalt von 1,72 % dem standort- und fruchtfolgespezifischen Bereich entspricht und die regelmäßige Zufuhr von organischer Substanz eine höhere Bedeutung habe als der C_{T} -Gehalt (STUMPE et al., 1983).

BEYER et al. (1997) konnten keine Ertragsdepressionen durch einen verminderten Humuspiegel von Lehmböden in Schleswig-Holstein feststellen, trotz unterdurchschnittlich niedriger bodenbiologischer Messwerte.

Auf einer schwach pseudovergleyten Parabraunerde aus Lößlehm im Dauerversuch in Puch führten leichte Unterschiede im C_T -Gehalt und eine Düngung mit dem gleichen Niveau an Reinnährstoffen auf Basis von schwach verrottetem Stallmist bzw. Mineraldünger zu (nur teilweise signifikanten) Mehrerträgen und einer höheren Ertragsicherheit (HEGE, 1980).

Eine andere Versuchsreihe in Puch zeigte bei annähernd gleichen Humusgehalten eine Ertragssteigerung durch regelmäßige organische Düngung in verschiedenen Fruchtfolgen. Die Ertragssteigerungen waren auch deutlich höher als die auf einer Parzelle mit erhöhtem C_T -Gehalt aufgrund einer länger zurückliegenden hohen organischen Düngung (HEGE, 1980). HEGE (1980) schließt daraus, dass der Humusumsatz für die Ertragsleistung von größerer Bedeutung ist als der Humusgehalt. Auch DIEZ & BACHTHALER (1978) betonen, dass bei Verringerung der Zufuhr organischer Substanz die biologische Aktivität und die Erträge zurückgehen, auch wenn der Gesamt-Humusgehalt des Bodens nicht davon betroffen ist.

Auf einer Tieflehm-Fahlerde in Groß Kreutz wurden dagegen Ertragssteigerungen von 5 – 10 % durch einen höheren C_T -Gehalt von 0,742 % gegenüber 0,698 % erreicht. Auch Stallmistgaben von 400 dt/ha jedes 3. Jahr und 100 kg Mineraldüngerstickstoff in beiden Varianten konnten diese Ertragsunterschiede nicht kompensieren (ASMUS, 1992). Über alle Düngungsstufen hinweg wurden zwischen 7 und 8 dt TM/ha/a Mehrertrag bzw. ein ca. 15 kg höherer N-Entzug mit dem höheren C_T -Gehalt erreicht. Deshalb nehmen die prozentualen Mehrerträge mit zunehmender Düngung ab (ASMUS, 1992).

RAUHE & LEHNE (1964) geben an, dass der langjährige Verzicht auf organische Dünger bei alleiniger Mineraldüngung in mehreren Dauerversuchen im Laufe der Jahrzehnte zu einem deutlichen Ertragsabfall führte. Dieser setzte jedoch bei Hackfrüchten und Mais eher ein als bei Getreide und ist auf Sandböden deutlich stärker und frühzeitiger zu verzeichnen, weil der N-Vorrat des Sandbodens schneller angegriffen wird. RAUHE & LEHNE (1961) sprechen aufgrund der intensiven Umsetzung in diesem Zusammenhang von der geringen potentiellen aber hohen effektiven Bodenfruchtbarkeit auf Sandstandorten.

Die Anwendung von Stalldünger, Leguminosen-Gründüngung und Kombination beider Maßnahmen auf einem Sandstandort in Müncheberg zeigte deutliche Ertragssteigerungen (bis 18 %), die bereits im ersten Jahr der Anwendung zu verzeichnen waren. Bemerkenswert ist, dass die Wirkung von Stallmist mit der Wirkung der Gründüngung vergleichbar war und durch Kombination beider Maßnahmen kaum höhere Erträge erzielt wurden (RAUHE & LEHNE, 1961). Aufgrund von nur zwei vorhandenen N-Düngungsstufen mit maximal 80 kg N/ha/a kann jedoch nicht von einer vollständigen Trennung zwischen Nährstoff- und Sonderwirkung ausgegangen werden.

Gleiches gilt für einen Versuch auf einem anlehmigen Sand in Dülmen. Bei einem Düngungsniveau von 127 kg N/ha/a wird in einer Fruchtfolge mit Kartoffeln, Roggen und Hafer

die Ertragswirkung von Stallmist mit 5 GE angegeben (OLF, 2000), dies entspricht einem Relativertrag von 111,9 %.

Die Standortspezifität der Sonderwirkung wird auch in einem Versuch von SCHREIBER (2004) deutlich. Kompostgaben gleicher Qualität von 100 dt/ha/a auf verschiedenen Standorten führten zu Ertragsunterschieden gegenüber alleiniger Mineraldüngung von -3,8 bis 5,0 %.

Bei einem Vergleich verschiedener organischer Dünger mit alleiniger Mineraldüngung in Groß Kretz wird der dominante Einfluss des N-Düngungsniveaus deutlich (Abb. 6) (ZIMMER et al., 2004). Ein positiver Einfluss des C_{org} -Gehaltes auf den Ertrag lässt sich deshalb nur bei den Varianten mit halber Stallmistmenge und kombinierter Stroh- und GÜlledüngung mit hohen N-Gaben feststellen. In diesen beiden Fällen verhält sich die Ertragssteigerung nicht proportional zur Veränderung des C_{org} -Gehaltes. Außerdem ist die indirekte Humusersatzleistung der Mineraldüngung im Vergleich zwischen der normalen und der erhöhten Gabe zu sehen. Einen positiven Ertragseinfluss trotz niedrigerer N-Gaben und bei einem leichten Abbau der organischen Bodensubstanz zeigt die kombinierte Stroh- und Gründüngung.

Die Datentabelle befindet sich in Anh. V.

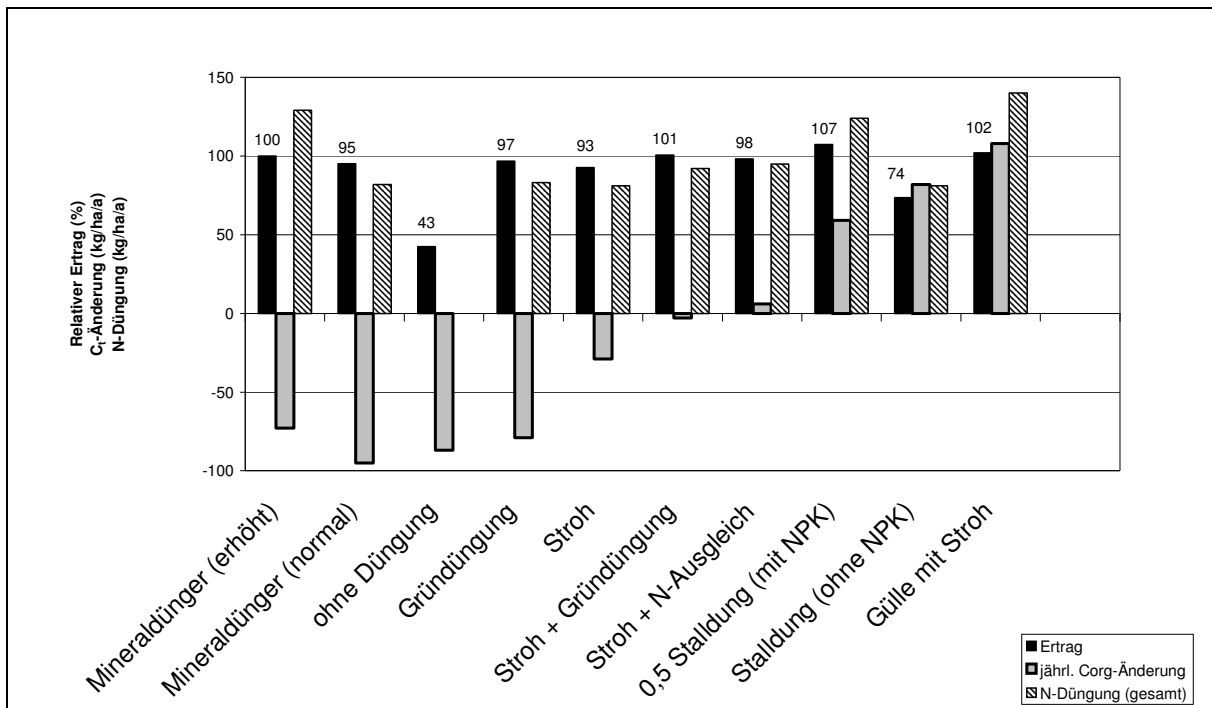


Abb. 6: Ertragsunterschiede und Veränderungen im C_{org} -Gehalt durch unterschiedliche mineralische und organische Düngung im Dauerdüngungsversuch Groß Kretz (eigene Darstellung nach Daten von ZIMMER et al., 2004)

6.3 Ertragssteigerungen der Sonderwirkung bezogen auf die Zufuhr Humus-C

In diesem Kapitel wird der Zusammenhang zwischen der Sonderwirkung der organischen Substanz und der Zufuhr Humus-C, ermittelt über die VDLUFA-Methode, dargestellt, um zu ermitteln, ob beide Größen als Grundlage für ein monetäres Bewertungssystem geeignet sind. Außerdem wird ein Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger durchgeführt, da diese Vorgehensweise auf Basis von Versuchen ohne Mineraldünger möglich sind und deshalb den Bewirtschaftungsrichtlinien der ökologischen Landwirtschaft eher entsprechen.

6.3.1 Material und Methoden

6.3.1.1 Vergleich von mineralisch-organischer Düngung mit alleiniger Mineraldüngung

Die Sonderwirkung verschiedener Maßnahmen der organischen Düngung wird anhand von Dauerdüngungsversuchen ermittelt und der Zufuhr Humus-C gegenübergestellt.

Die Dauerversuche werden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

Erstens müssen sie eine mehrstufige Mineraldüngung als Prüffaktor haben, die hoch genug sind, um eine ausreichende Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung zu gewährleisten.

Zweitens müssen verschiedene Formen der organischen Düngung bzw. verschiedene Aufwandsmengen geprüft werden, um Beziehungen zwischen Ertrag und Art bzw. Menge der organischen Düngung herzustellen. Die Charakteristika der ausgewerteten Versuche sind in Tab. 10 aufgeführt, genauere Angaben zur organischen Düngung, den Humusbilanzen und den Erträgen befinden sich in Anh. VI bis Anh. IX. In allen Versuchen wird eine klassische Bodenbearbeitung durchgeführt.

Für den Ertragsvergleich zwischen den Varianten mit mineralischer und mineralisch-organischer Düngung werden jeweils die Mittelwerte (aus der dokumentierten Laufzeit) innerhalb einer Düngungsstufe verwendet. In jeder Variante wurde die Düngungsstufe mit dem höchsten Mittelwert ausgewählt. Die Maximalerträge verschiedener Varianten innerhalb eines Versuches entstammen deshalb teilweise unterschiedlichen N-Düngungsstufen, um eine ertragsmindernde Wirkung der organischen Düngung aufgrund von Nährstoffüberschuss oder Nährstoffmangel auszuschließen.

Der Maximalertrag der alleinigen Mineraldüngung wird als Vergleichsmaßstab (100 %) verwendet und die Maximalerträge aus den organisch-mineralischen Varianten des selben Standortes dazu in Relation gesetzt. Der Maximalertrag in der Mineraldüngervariante stellt die Nährstoffwirkung dar, die Differenz zum Maximalertrag der mineralisch-organischen Düngung stellt die Sonderwirkung der organischen Substanz dar (vgl. Abb. 7).

Tab. 10: Charakteristika der verwendeten Dauerversuche. Die Standortcharakteristik beschreibt die Bodenart, das langjährige Niederschlagsmittel und die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur

Standort/Quelle	Fruchtfolge	N-Mineral-düngung	organische Düngung	Standort-charakteristik
IOSDV Bad Lauchstädt PFEFFERKORN & KÖRSCHENS (2000)	Zuckerrüben	60-240	Stallmist 2x 200 dt/ha	Lehm
	Sommergerste	60	Stallmist 2x 400 dt/ha	484 mm
	Kartoffeln	50-200	Strohdüngung	8,7 °C
	Winterweizen	80	Zwischenfrucht	
IOSDV Berlin-Dahlem KÖHN et al. (2000)	Kartoffeln	60-150	Stallmist 1x 300 dt/ha	Sand
	Winterweizen	60-160	2xStroh, Rübenblatt, Zwfr.	549 mm
	Sommergerste	40-120	Mineralisch	9,2 °C
IOSDV Puch HEGE & KRAUSS (2000)	Silomais	50-200	Stallmist 1x 300 dt/ha	lehmiger Sand
	Winterweizen	40-160	Stroh+ Zwischenfrucht	550 mm
	Wintergerste	30-120	Stroh	9,9 °C
			Gülle Stroh + Gülle Stroh + Gülle + Zwfr.	
IOSDV Puch HEGE & KRAUSS (2000)	Zuckerrüben	50-200	Stroh + Rübenblatt	lehmiger Sand
	Winterweizen	40-160	Stroh + Zwfr.(Leg.) + R.blatt	550 mm
	Wintergerste	30-120		9,9 °C
IOSDV Rauschholzhausen BEHLE-SCHALK & HONERMEIER (2000)	Zuckerrüben	50-200	Stallmist 1x 300 dt/ha	Löß
	Winterweizen	50-200	2x Stroh u. Zwfr. + R.-blatt	603 mm
	Wintergerste	45-180		8,1 °C
IOSDV Speyer BISCHOFF (2000)	Zuckerrüben	60-240	Stallmist 1x 300 dt/ha	Sand
	Winterweizen	60-240	2xStroh + 1x Zwfr + R.-blatt	583 mm
	Wintergerste	50-200		9,8 °C
IOSDV Limburgerhof LANG et al. (1995)	Körnermais	80-200	Stroh + Zwfr + Gülle	lehmiger Sand
	Winterweizen	80-200	Stroh + Zwfr	545 mm
	Wintergerste	60-180		10,0 °C
IOSDV Oldenburg KLASINK & STEFFENS (1995)	Zuckerrüben	50-200	Stroh + Zwfr + R.blatt	humoser, schwach- lehmiger Sand
	Winterweizen	50-200	Gülle	728 mm
	Wintergerste	40-160		8,4 °C
Kombinationsversuch Seehausen MORITZ & LEITHOLD (1990)	Silomais	60-180	Stallmist 300 + 200 dt	sandiger Lehm
	Winterweizen	40-120	Stallmist 600 + 400 dt	556 mm
	Wintergerste	50-150	Stallmist 900 + 600 dt	9,0 °C
	Zuckerrüben	80-240		
	Sommergerste	20-60		
Groß Kreuz M4 ASMUS (1990/1992)	Kartoffeln	60-240	Stallmist 2x 244 dt	Sand
	Winterweizen	40-160	Stallmist 244 dt	550 mm
	Zuckerrüben	75-300	Stallmist 366 dt	8,9°C
	Sommergerste	25-100	Stallmist 488 dt	
Nährstoffsteigerungs- versuch Müncheberg SMUKALSKI et al. (1990)	Kartoffeln	40-200	Stallmist 2x 24 dt TM	Sand
	Winterweizen	35-175	Stallmist 2x 64 dt TM	521 mm
	Zuckerrüben	50-250	Stroh 2x 40 dt TM	8,2 °C
	Sommergerste	25-125		
Erzgebirge Versuchsanlage II REICHELT (1990)	Feldgras	180-320	Stallmist 25 dt TM + Gülle	Lehm
	Kartoffeln	60-240	Stallmist 51 dt TM + Gülle	900 mm
	Winterweizen	40-160	Stallmist 102 dt TM + Gülle Stallmist 152 dt TM + Gülle	6,3 °C

Für alle Fruchtfolgen und Düngungsvarianten werden die Humusbilanzen errechnet und die Ertragssteigerung der Zufuhr an Humus-C gegenübergestellt.

Für die Berechnung der Humusbilanzen werden die unteren Werte der VDLUFA- Methode (KÖRSCHENS et al., 2004) und die Angaben zu Fruchtfolge, Art und Menge der organischen Düngung verwendet. Nicht vorhandene Angaben zu den Trockenmassegehalten wurden geschätzt. Die Zufuhr an Humus-C entspricht der Differenz zwischen dem Bilanzsaldo der mineralisch-organisch gedüngten und der mineralisch gedüngten Variante.

Die Berechnung zu den in Kap. 6.3.2 dargestellten Ergebnissen befinden sich in Anh. VI bis Anh. IX. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Sonderwirkung und der Zufuhr Humus-C ist in Abb. 7 noch mal schematisch verdeutlicht.

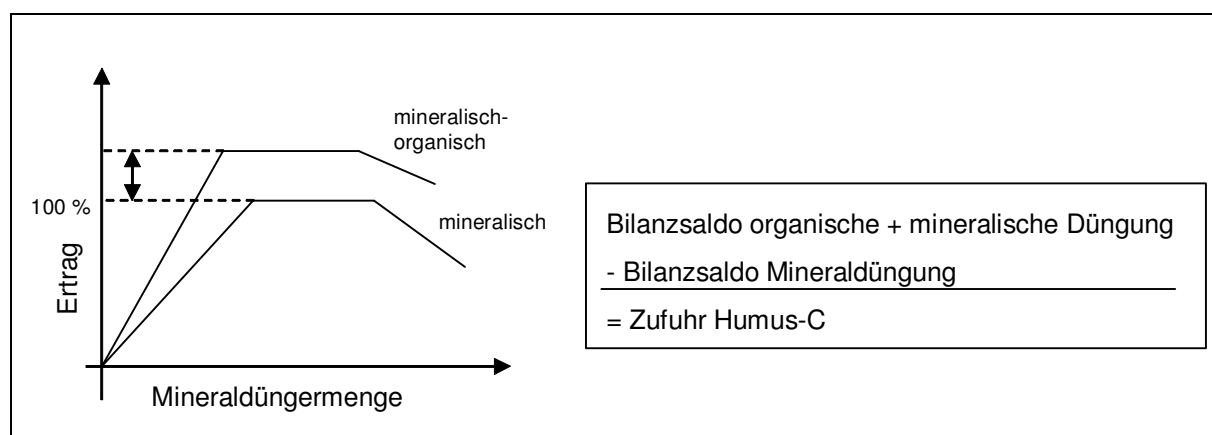


Abb. 7: Links: Ermittlung der Sonderwirkung anhand der Maximalerträge der mineralischen und der mineralisch-organischen Düngung. Der Doppelpfeil zeigt die Sonderwirkung. Rechts: Ermittlung der Zufuhr Humus-C durch die Differenz zwischen den Bilanzsalden

6.3.1.2 Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger

Für den Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger werden Daten von KOLBE (2005) verwendet. Es erfolgte lediglich eine Umrechnung der Zufuhr organischer Dünger von dt/ha in kg Humus-C mit den unteren Werten der VDLUFA-Methode (nach Körschens et al., 2004). Da die Trockenmassegehalte der organischen Dünger nicht angegeben sind, werden die Koeffizienten der VDLUFA-Methode einheitlich für einem TM-Gehalt von 20 % für den Stallmist und 30 % für den Rindermistkompost verwendet.

6.3.2 Ergebnisse auf Basis des Vergleichs von mineralisch-organischer Düngung mit alleiniger Minereraldüngung

In Abb. 8 sind die Ergebnisse aus 11 Dauerversuchen für die einzelnen Kulturen dargestellt. Der relative Ertrag bei organischer Düngung gegenüber alleiniger Minereraldüngung wird auf die jeweilige Zufuhr an Humus-C bezogen. Die Streuung ist sehr groß und lässt weder eine Beziehung zwischen Ertragssteigerung und zugeführter Menge Humus-C, noch bestimmte Reaktionen einzelner Kulturen ermitteln.

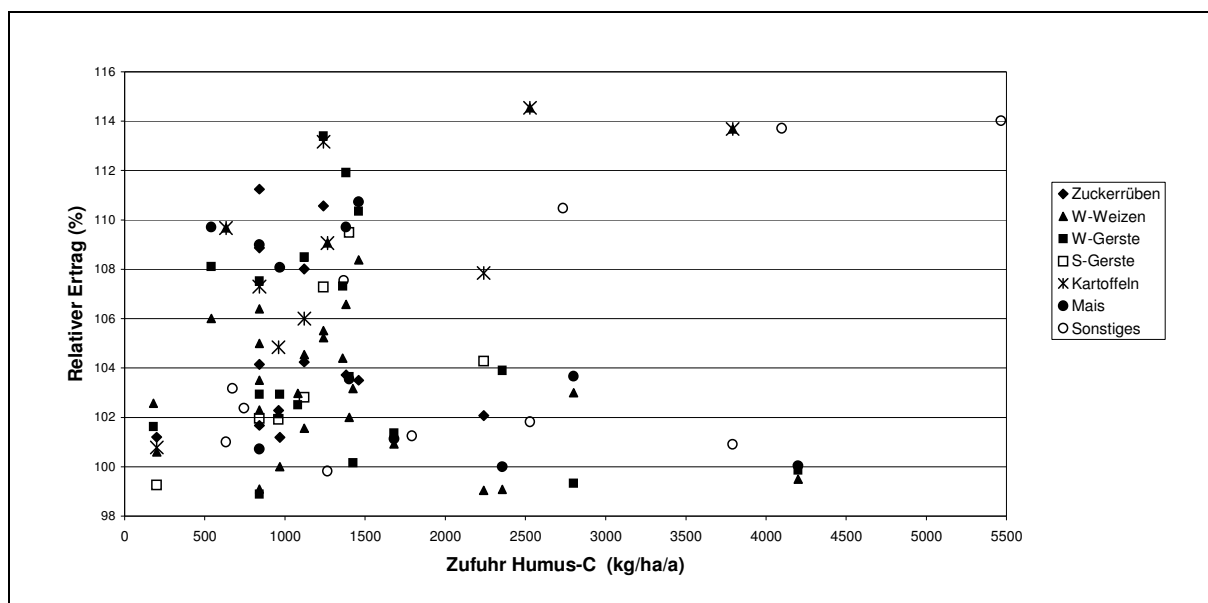


Abb. 8: Der relative Ertrag einzelner Kulturen durch organische Düngung im Vergleich zur alleinigen mineralischen Düngung bezogen auf die Zufuhr Humus-C (eigene Auswertungen aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX)

Die weite Streuung lässt auf zahlreiche Einflussfaktoren schließen, die teilweise auch bereits angesprochen wurden, beispielsweise die Standortspezifität, die unterschiedlichen Reaktion der Kulturen, sowie verschiedene Substitutionsbeziehungen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren.

Eine Verbesserung der Korrelation zwischen Ertragssteigerung und Zufuhr Humus-C ergibt sich durch die Bildung von Mittelwerten für jede Fruchtfolge (Abb. 9). Dadurch werden zum einen die spezifischen Reaktionen der einzelnen Kulturen und zum anderen verschiedene Zeitpunkte der organischen Düngung ausgeglichen. Beispielsweise erfolgte die Stallmistdüngung in allen Fällen zur Hackfrucht, wohingegen die Rübenblattdüngung teilweise zu Getreide gegeben wurde.

An drei Standorten (Seehausen, Groß Kreuz und Erzgebirge) lässt sich eine positive Beziehung zwischen zugeführter Menge Humus-C und Ertrag feststellen, was dadurch bedingt ist, dass es sich um steigende Mengen von Stallmist bzw. Stallmist + Gülle handelt.

Die zwischen den Punkten bestehenden Kurven zeigen, dass das Gesetzes vom abnehmenden Ertragszuwachs auch für die Sonderwirkung der organischen Substanz zutrifft, zumindest solange es sich um dieselbe Art organischer Dünger bzw. Maßnahme handelt.

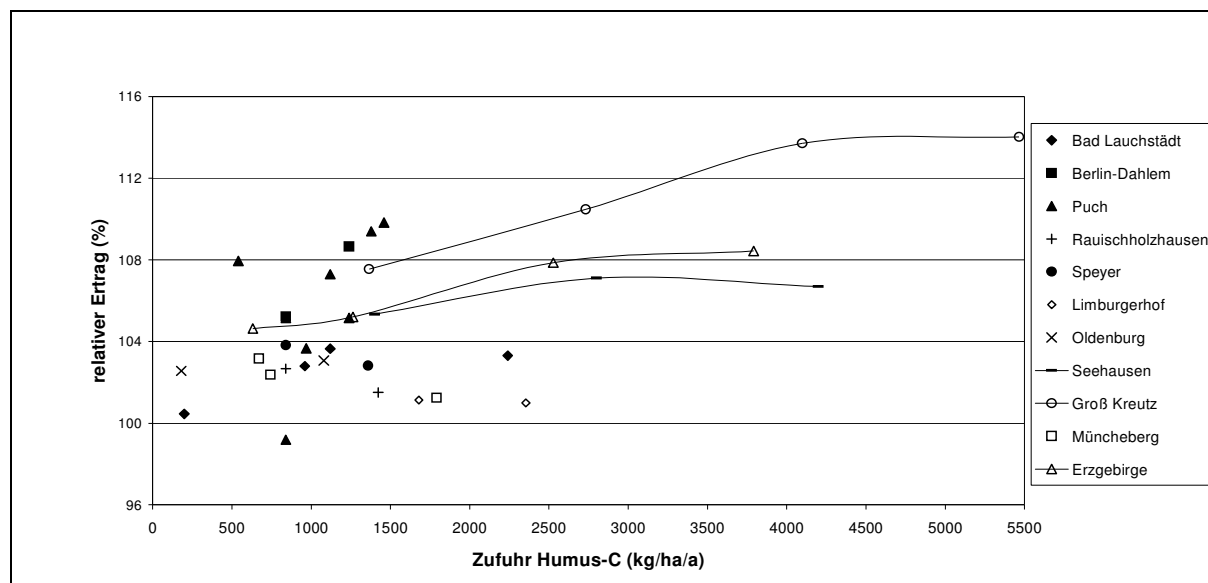


Abb. 9 Relativer Ertrag der Fruchtfolge durch organische Düngung im Vergleich zu alleiniger Mineraldüngung, bezogen auf die Zufuhr Humus-C. (eigene Auswertungen aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX)

Wird für die übrigen acht Standorte eine Regression berechnet, so beträgt diese 1,9 % Mehrertrag bei Zufuhr von 1000 kg Humus-C. Das Bestimmtheitsmaß liegt jedoch nur bei $R^2 = 0,18$, so dass insgesamt nur ein schwacher Zusammenhang zwischen der zugeführten Menge Humus-c und der Ertragssteigerung vorliegt.

Auf den verschiedenen Standorten liegt teilweise eine positive als auch eine negative (Müncheberg, Speyer) Beziehung zwischen der Ertragssteigerung und der Zufuhr Humus-C vor. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass verschiedene organische Dünger verwendet werden.

Besonders deutlich wird dieser Sachverhalt bei dem Dauerversuch in Puch, in dem 2 Fruchtfolgen mit sechs und mit zwei Varianten der organischen Düngung durchgeführt werden und wo fast die gesamte Streubreite abgedeckt wird.

In dem für Praxisbedingungen relevanten Bereich bis 1500 kg Humus-C/ha/a (entspricht ca. 535 dt Stallmist mit 20 % TM) lässt sich auch innerhalb der Standorte kaum eine Beziehung zwischen Ertragssteigerung und Zufuhr Humus-C finden. Die Bildung wirkungsgleicher Maßnahmenbündel auf der Basis von Humus-C scheint deshalb nur bedingt möglich zu sein.

In den Versuchen, in denen nur wenige Varianten getestet werden, lässt sich eine Standortabhängigkeit der Ertragssteigerung tendenziell erkennen.

Die Schwierigkeit, Substitutionsbeziehungen auf Basis der Zufuhr Humus-C herzustellen, wird in Tab. 11 noch deutlicher. Dort sind die Ertragssteigerungen pro 1000 kg/ Humus-C durch verschiedene Maßnahmen der organischen Düngung für alle Standorte aufgeführt. Diese Umrechnung eignet sich zwar gut als Vergleichsbasis, jedoch sollte auch klar sein, dass über den Anbau von Zwischenfrüchten oder Gülledüngung nicht 1000 kg Humus-C pro Jahr zugeführt werden können bzw. sollten (vgl. VDLUFA-Methode in Anh. I bis Anh. IV).

In einigen Varianten wird mit der gleichen Menge Humus-C aus unterschiedlichen Düngungsmaßnahmen auch eine annähernd gleiche Ertragssteigerung erzielt (mit maximal 1 % Unterschied). In diesen Fällen ist eine Substitutionsbeziehung zwischen den Maßnahmen möglich. Die betreffenden Fälle sind in Tab. 11 hellgrau unterlegt.

Es konnten aber keine Varianten ermittelt werden, zwischen denen eine Substitutionsbeziehung auf mehr als einem Standort besteht. Beispielsweise, hat die Zufuhr von 1000 kg Humus-C durch Stallmist bzw. Stroh auf dem Standort Bad Lauchstädt annähernd die gleiche Ertragswirkung, wohingegen in Puch ein Ertragsunterschied von 7 % vorliegt.

Aus diesem Grund lassen sich keine auf mehreren Standorten gültigen Ableitungen zur Bildung von wirkungsgleichen Mengen treffen. Daraus lässt sich schließen, dass bezüglich der Ertragswirkung eine Wechselwirkung zwischen Standort und Art der organischen Düngung vorliegt.

Tab. 11: Ertragssteigerung durch Zufuhr von 1000kg Humus-C durch verschiedene Maßnahmen der organischen Düngung auf allen Versuchsstandorten (eigene Auswertungen aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX)

Standort \ Variante	Bad Lauchstädt	Limburgerhof	Raischholzhausen	Speyer	Müncheberg	Oldenburg	Puch FF1	Puch FF2	Berlin-Dahlem	Seehausen	Groß Kreutz	Erzgebirge
Gülle						14,3	14,7					
Stallmist 1	3,3		3,2	4,6	4,7		6,1		6,2	3,8	5,5	7,3
Stallmist 2	1,5				0,7					2,5	3,8	4,1
Stallmist 3										1,6	3,3	3,1
Stallmist 4											2,6	2,2
Stroh, R.-blatt, Zwfr			1,1	2,1		2,8		4,2	7,0			
Stroh + Gülle							6,8					
Stroh + Gülle + Zwfr		0,4					6,7					
Stroh+ Zwfr		0,7					3,8					
Stroh+ R.-blatt								6,5				
Stroh	2,9				3,2		-1,0					
Zwfr	2,3											

Trotzdem können einige Aussagen zur Ertragswirkung der unterschiedlichen Maßnahmen getroffen werden.

Besonders auffällig ist die hohe Ertragssteigerung durch Gülle, insbesondere da die Humuseratzleistung der Gülle wahrscheinlich noch niedriger ist, als in der VDLUFA-Methode angegeben (KOLBE & PRUTZER, 2004). Aufgrund der hohen Mineraldüngergaben ist eine zusätzlich Nährstoffwirkung unwahrscheinlich.

Die Stallmistdüngung mit praxisnahen Gaben von ca. 100 dt/ha/a (in Tab. 11 als Stallmist 1 bezeichnet) liegt im oberen Ertragsbereich der organischen Düngung und wird, abgesehen von Gülle, nur durch wenige andere Varianten der organischen Düngung und dann auch nur geringfügig übertroffen. Außerdem weisen die Ertragssteigerungen durch Stallmist die geringsten, standortspezifischen, Schwankungen auf. Die Kombination aus Stroh, Rübenblatt

und Zwischenfrucht weist bei einer geringeren Anzahl von Versuchsvarianten dagegen deutlich höhere Schwankungen auf.

Besonders standortspezifisch scheint auch die Wirkung von Stroh zu sein.

Die in Kap. 6.2 zitierte höhere Sonderwirkung der OS bei Hackfrüchten wurde in dieser Auswertung nur bedingt wieder gefunden. Die relativen Ertragssteigerungen der Hackfrüchte werden mit denen der übrigen Kulturen der Fruchtfolge des jeweiligen Standortes verglichen. Die Differenz zwischen dem Relativertrag der Hackfrüchte und der anderen Kulturen beträgt im Mittel 1,7 %. Im Einzelfall sind die Unterschiede deutlich beträchtlicher, sie reichen von -12,5 bis 10,0 % Ertragsunterschied. Dies lässt zum einen eine empfindlichere Reaktion der Hackfrüchte auf die organische Düngung vermuten bzw. eine stärkere Wechselwirkung zwischen Standort, Düngerart und Kultur und schränkt zum anderen die Aussagekraft des Mehrertrages der Fruchtfolge ein, da dieser dann stark vom Hackfruchtanteil beeinflusst wird. Die Datentabelle befindet sich im Anh. IX.

Die ebenfalls in Kap. 6.2 zitierte höhere Sonderwirkung auf Sandböden und ungünstigen Standorten konnte bisher nicht bestätigt werden, da zwischen den verschiedenen Düngungsmaßnahmen nur unzureichende Substitutionsbeziehungen vorliegen und auf jedem Standort unterschiedliche Varianten getestet werden. Deshalb wurden nur die Ertragssteigerungen der Fruchtfolge bei Stallmistdüngung verwendet. Abb. 10 zeigt eine höhere Ertragswirksamkeit auf Sandböden und auf dem Lehmstandort in Berglage. Im praxisrelevanten Bereich unterhalb von 1500 kg Humus-C sind die Ertragssteigerungen auf diesen Standorten etwas höher. Bei einer höheren Zufuhr werden die Ertragsunterschiede größer, beruhen aber oberhalb von 2500 kg Humus-C auf jeweils nur noch einem Versuchsstandort, wodurch die Aussagekraft eingeschränkt wird.

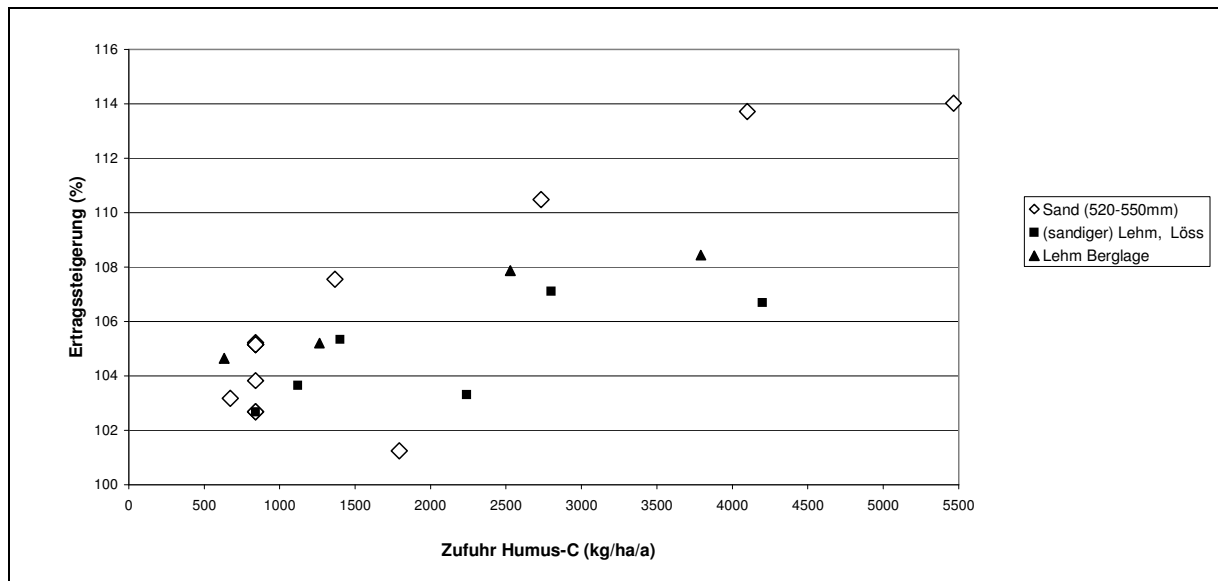


Abb. 10: Ertragswirksamkeit der Sonderwirkung bei Stallmist auf verschiedenen Standorten (eigene Auswertung aus 11 Dauerversuchen, Anh. IX)

6.3.3 Ergebnisse auf der Basis von Dauer- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger

Neben der Ermittlung der Sonderwirkung auf Basis von Versuchen mit maximaler Mineraldüngung im vorangegangenen Kapitel soll hier ein Vergleich von Dauer- und Kurzzeitwirkung der OS stattfinden.

Die Auswertung von Kartoffelerträgen bei unterschiedlicher Stallmist- bzw. Kompostdüngung ohne Mineraldüngung (KOLBE, 2005) ist in Abb. 11 bzw. Abb. 12 zu sehen. Es wurden nur Varianten einbezogen, in denen die jährliche Stickstoffzufuhr unterhalb der Grenze der von 170 kgN/ha der Düngeverordnung liegt (HDLGN, 2004).

Anhand der Trendlinien kann eine Differenz zwischen dauerhafter und einmaliger Stallmist- bzw. Kompostdüngung von bis zu 10 % bzw. 30 % ermittelt werden.

Bei der Kompostdüngung beträgt das Bestimmtheitsmaß für die Regression 0,80 bzw. 0,48 für die dauerhaften bzw. die einmaligen Gaben.

Bei der Stallmistdüngung ist die Streuung dagegen höher, das Bestimmtheitsmaß für die Regression beträgt nur 0,23 bzw. 0,38 für die dauerhaften bzw. einmaligen Gaben. Eine standortspezifische Auswertung, die hier nicht möglich ist, würde deutlich präzisere Aussagen erlauben. Da es sich jedoch um eine recht große Anzahl von Versuchen handelt (Stallmist 26, Kompost 18), können doch einige Schlussfolgerungen gezogen werden.



Abb. 11: Ertragssteigerung in % bei Kartoffeln durch einmalige und dauerhafte Stallmistanwendung ohne zusätzliche Mineraldüngung (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005)

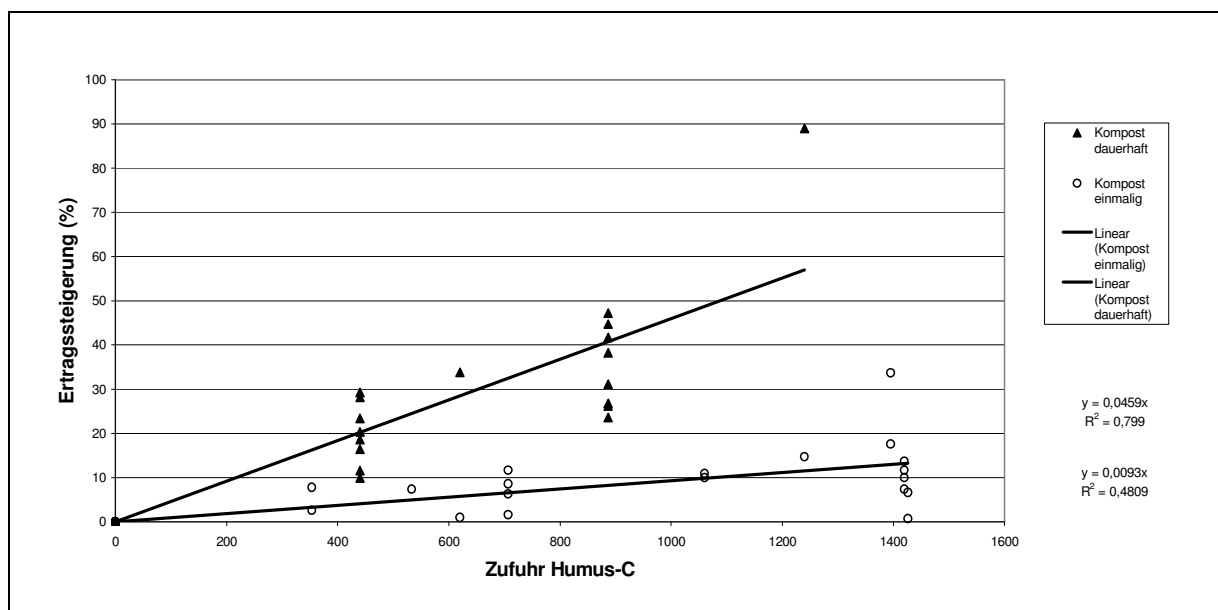


Abb. 12: Ertragssteigerungen durch einmalige und dauerhafte Gaben von Stallmistkompost. (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005)

Die Differenz zwischen Langzeit- und Kurzzeitwirkung fällt bei Kompost mit 30 % deutlich höher aus als bei Stallmist mit 10 %, woraus geschlossen werden kann, dass sich auch mit dieser Vorgehensweise keine Substitutionsbeziehung zwischen den verschiedenen organischen Düngern herstellen lässt.

In Abb. 13 werden die Ursachen dafür deutlich. So hat Kompost nur eine niedrige Ertragswirkung bei einmaliger Kompostanwendung, wohingegen die dauerhafte Kompostanwendung zwischen dem Niveau der einmaligen und der dauerhaften Stallmistanwendung liegt.

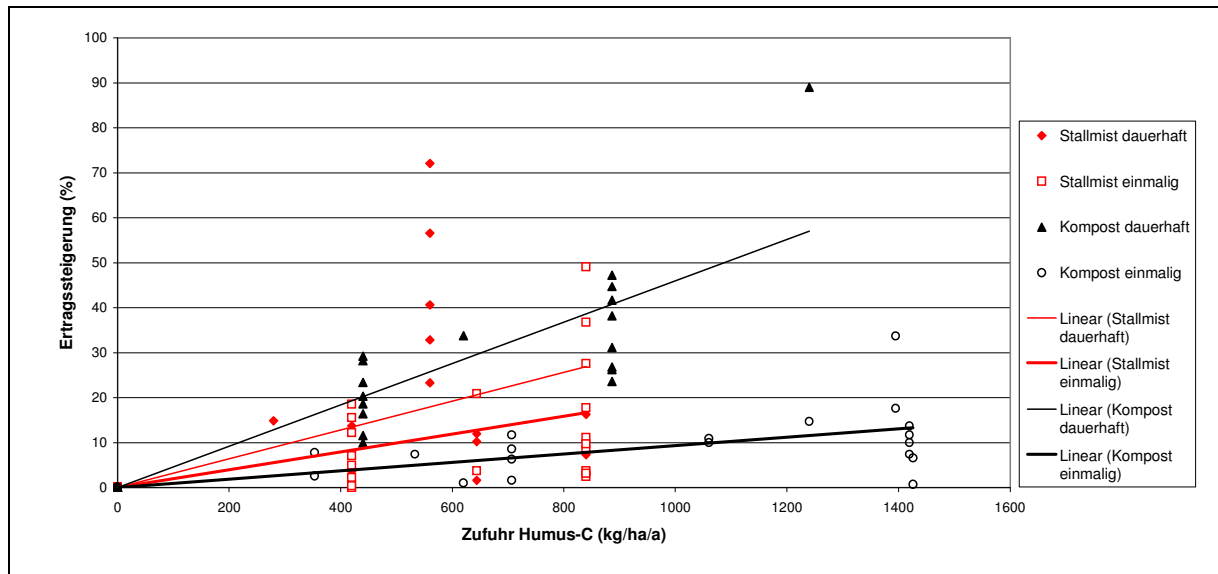


Abb. 13: Ertragssteigerungen durch einmalige und dauerhafte Gaben von Stallmist und Stallmistkompost. (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005)

Da die große Streuung der Ergebnisse bei der dauerhaften Anwendung von Stallmist die Aussagekraft der Auswertung einschränkt, wurde versucht den Standorteinfluss auf die Wirkung von organischen Düngern zu berücksichtigen: Die Daten wurden nach verschiedenen Ertragsniveaus in der Nullvariante differenziert, um die Standorte anhand ihrer natürlichen Ertragsfähigkeit zu unterteilen. Jedoch konnte dadurch keine Verbesserung der Korrelation erzielt werden (ohne Abb.).

Werden die einzelnen Versuche betrachtet (Abb. 14), so lässt sich feststellen, dass in nahezu allen Versuchen eine positive Beziehung zwischen der Ertragssteigerung und der Aufwandsmenge Stallmist festzustellen ist. Die Steigungen sind jedoch recht unterschiedlich, teilweise lässt sich ein abnehmender Ertragszuwachs bei steigenden Stallmistgaben erkennen.

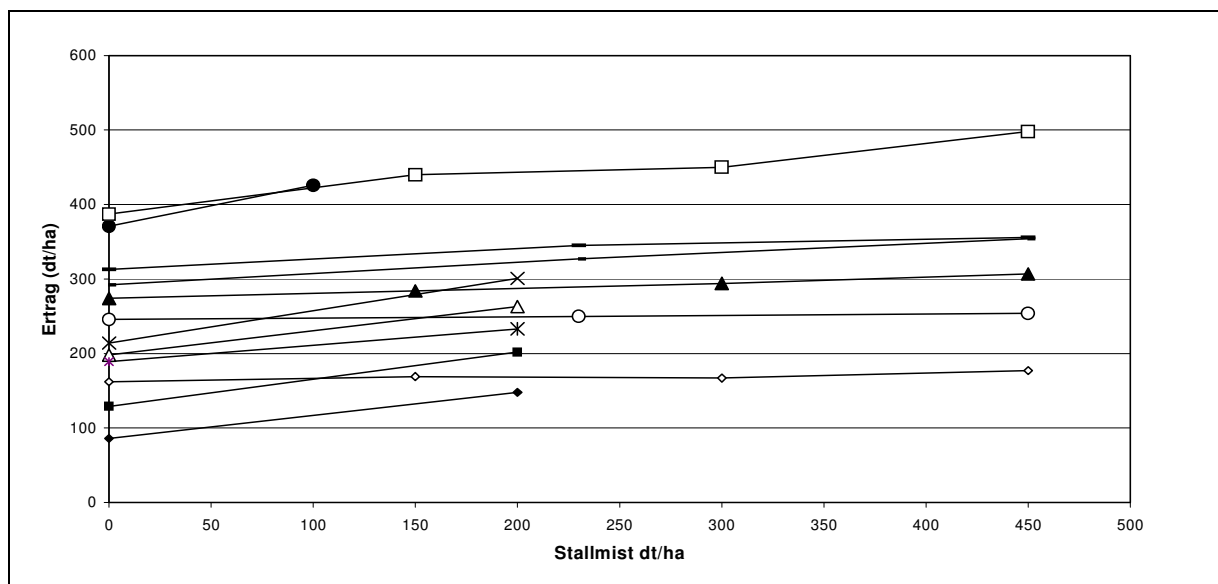


Abb. 14: Zusammenhang zwischen steigenden Stallmistgaben in der dauerhaften Anwendung und der Ertragshöhe bei Kartoffeln (eigene Darstellung nach Daten von KOLBE, 2005)

7 Diskussion und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der Literaturlarbeit und der Auswertung von Versuchsdaten miteinander verglichen und diskutiert. Anschließend werden aus dieser Diskussion die stark eingeschränkten Möglichkeiten einer monetären Bewertung abgeleitet und diskutiert.

7.1 Humus-C und Ertrag als Bezugsgrößen für wirkungsgleiche Mengen

Die Korrelation zwischen der Versorgung mit organischer Substanz und den daraus resultierenden Wirkungen sind in vielen Fällen unzureichend und zwar sowohl bei einer indirekten Erfassung über die Veränderung im Humusgehalt, als auch bei einer Bewertung der Zufuhr mit einer Bilanzierungsmethode. Nach der hier erfolgten Auswertung lassen sich auf der Basis von kg Humus-C für die meisten Maßnahmen der organischen Düngung keine wirkungsgleichen Mengen bilden und zwar sowohl innerhalb als auch zwischen den Standorten. Zu der Ertragswirkung der verschiedenen Maßnahmen der organischen Düngung bei gleicher Zufuhr Humus-C lassen sich keine einheitlichen Schlussfolgerungen ziehen, da die Relation der Maßnahmen zueinander von Standort zu Standort wechselt. Da somit die Grundannahme für die Berechnung innerbetrieblicher Werte, nämlich die Substitutionsbeziehungen zwischen wirkungsgleichen Mengen, nicht erfüllt ist, kann eine Berechnung monetärer Werte nicht erfolgen.

Für die unzureichende Korrelation zwischen Ertrag und Zufuhr Humus-C bzw. Gehaltsveränderungen der OBS kommen verschiedene Ursachen in Frage, die hier im Folgenden diskutiert werden.

Neben einer Diskussion von Material und Methoden (7.1.1) wird in erster Linie die Wahl der Bezugsgrößen diskutiert. Erste Fragestellung ist dabei, inwieweit die Wirkungen der organischen Substanz proportional zur Zufuhr Humus-C sein kann und welche Einflüsse durch die verschiedenen Bilanzierungsverfahren vorliegen (Kap. 7.1.2). Zweite Fragestellung ist, wie gut die Leistungen der OS über den Vergleich von mineralischer mit mineralisch-organischer Düngung bzw. Dauer- und Kurzzeitwirkung organischer Dünger erfasst werden können und wie in beiden Fällen die Forderung der Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung erfüllt werden kann (Kap. 7.1.3). Dritter Aspekt ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den ökologischen Landbau (Kap. 7.1.4).

Grundsätzlich sollte in dieser Diskussion beachtet werden, dass die Kombination der verschiedenen Aspekte der Ökonomie und der Humuswirtschaft Ziel dieser Arbeit sind.

Deshalb wurden verschiedene Möglichkeiten der monetären Bewertung bearbeitet. Bei Verwendung einer größeren Datenmenge kann davon ausgegangen werden, dass hier getroffene Schlussfolgerungen modifiziert werden müssen und weitere Zusammenhänge aufgezeigt werden können. Im folgenden werden auch Themenbereiche aufgezeigt, die weitere Anhaltspunkte für eine monetäre Bewertung der organischen Substanz bieten.

7.1.1 Diskussion von Material und Methoden

Die Auswahl der in dieser Arbeit verwendeten Materialien und Methoden beruht auf zwei aus der Literatur zur monetären Bewertung abgeleiteten Forderungen.

Ausgehend von der bereits bewerteten Nährstoffwirkung der organischen Substanz in der BZA und der weit verbreiteten Annahme einer Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung der organischen Substanz (ASMUS, 1992; KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999) wurde diese Trennung für die Auswahl der Dauerdüngungsversuche zugrunde gelegt. Deshalb wurden nur Versuche berücksichtigt, die mehrere und hohe Mineraldüngerstufen enthalten, um den Maximalertrag bei alleiniger Mineraldüngung und kombinierter mineralisch-organischer Düngung zu ermitteln und die Differenz zwischen beiden als Sonderwirkung der organischen Substanz zu errechnen.

Zweite Forderung war eine Quantifizierung der tatsächlichen Stoffflüsse im Betriebssystem, wodurch eine Berücksichtigung der Veränderung der umsetzbaren OBS unabdingbar ist. Aus diesem Grunde kamen als Erfassungssysteme die verschiedenen Verfahren der Humusbilanzierung incl. C-N-Modelling in Frage.

Die Ermittlung der Sonderwirkung als Differenz zwischen den Maximalerträgen mit und ohne organische Düngung ist mit einem großen Fehler behaftet, da die „wahren“ Maximalerträge auch zwischen den Düngungsstufen liegen können. Wenige Prozent Unterschied zwischen dem „wahren“ Maximalertrag und dem auf Basis einer Düngungsstufe ermittelten Maximalertrag hat damit einen erheblichen Einfluss auf die Quantifizierung der Sonderwirkung. Die auf diesem Wege ermittelte Sonderwirkung, erlaubt grundsätzlich eine Einschätzung des nicht durch Mineraldünger erreichbaren Ertragsanteils. Für die Bildung wirkungsgleicher Mengen, und einer geforderten Korrelation zwischen Wirkung und Aufwandmenge ist der genannte Einfluss der Berechnungsmethode jedoch entscheidend.

Im Vergleich zu den klassischen Humusbilanzierungsmethoden wurde bereits deutlich, dass die C-N-Modelle wesentlich besser geeignet sind, wirkungsgleiche Mengen an umsetzbarer OBS zu ermitteln, da der Standorteinfluss und die Dynamik der OBS wesentlich besser berücksichtigt werden. Inwieweit mit den Veränderungen der OBS auch wirkungsgleiche Mengen in Bezug auf den Ertrag erstellt werden können, wurde nur indirekt anhand von Ergebnissen aus der Literatur überprüft. Es zeigte sich, dass der Ertrag nur in einigen Fällen mit den Veränderungen im Humusgehalt korreliert und der regelmäßigen Zufuhr an OS ein höherer Stellenwert beigemessen wird.

Aus diesem Grund und weil die klassische Humusbilanzierung wesentlich einfacher durchzuführen ist, wurde sie für die hier erfolgte Auswertung verwendet. Bereits vor dieser Auswertung war klar, dass mit den Bilanzierungsmethoden keine eindeutige Aussage darüber möglich ist, wie viel der zugeführten OPS tatsächlich in der OBS verbleibt (vgl. KOLBE &

PRUTZER, 2004), da weder die Standortspezifität noch die Dynamik des Humushaushaltes berücksichtigt wird. Andererseits werden die verschiedenen Arten der OPS nach ihrer Abbaubarkeit charakterisiert, weshalb davon auszugehen ist, dass Substitutionsbeziehungen zwischen den einzelnen Maßnahmen der organischen Düngung in Bezug auf ihre Fähigkeit zum Humusersatz abgebildet werden können. Abgesehen von einigen Verbesserungsvorschlägen wurde dies für die VDLUFA-Methode von KOLBE & PRUTZER (2004) bestätigt.

Verwendet werden in dieser Arbeit die unteren Werte der VDLUFA-Methode. Die Unterschiede zwischen den Koeffizienten der verschiedenen Humusbilanzierungsmethoden wurden ausführlich in Kap. 5.3 dargestellt, weshalb zu erwarten ist, dass die Ergebnisse durch die Wahl der Methode beeinflusst werden.

Grundsätzlich sind die unteren Werte der VDLUFA-Methode niedriger und die oberen Werte höher und zwar sowohl bei der Humuszehrung als auch bei der Humusmehrung. Da sich die Bedarfskoeffizienten der Humuszehrer stärker unterscheiden als die Koeffizienten der Humusmehrer, besteht jedoch keine vollständige Parallelbeziehung zwischen den unteren und oberen Werten. Da ausschließlich konventionelle Versuche ausgewertet werden, wird die HE-ÖL-Methode nicht berücksichtigt. Die HE-Methode ist den oberen Werten der VDLUFA-Methode recht ähnlich, differenziert aber stärker bei dem Feldfutter- und Zwischenfruchtbau.

Da in dieser Arbeit nicht die Bilanzsalden bewertet werden, sondern die Differenz zwischen dem Bilanzsaldo der mineralischen Düngung und der mineralisch-organischen Düngung spielen die unterschiedlichen Bedarfskoeffizienten nur eine untergeordnete Rolle.

Entscheidend sind deshalb die Unterschiede zwischen den Koeffizienten der einzelnen Methoden zur Bewertung der Humuszufuhr. Bei den Koeffizienten für Stallmist, Gülle und Rübenblatt wird in der VDLUFA-Methode jeweils nur ein Wert angegeben, der sich auch nur unwesentlich von der HE- und HE-ÖL-Methode unterscheidet (vgl. Kap. 5.3). Bei Stroh liegen die Werte der Methoden zwischen 70 kg/t und 110 kg/t. Verwendet wurde der niedrige Wert (bei intensiver Bewirtschaftung) der VDLUFA-Methode mit 80 kg/t. Die größten Unterschiede zwischen den Methoden bestehen bei den Zwischenfrüchten. Die Verwendung der unteren Werte der VDLUFA-Methode für Zwischenfrüchte gegenüber dem einheitlichen Wert für die organischen Dünger wertet die Humuswirkung der Zwischenfrüchte etwas ab. Dieser Aspekt scheint jedoch nicht unbedingt nachteilig zu sein, da die Humuswirkung der Gründüngung von KOLBE & PRUTZER (2004) als niedriger eingeschätzt wird, als in den Bilanzierungsmethoden angegeben. Eine Differenzierung nach Kulturarten wie in der HE- und HE-ÖL-Methode unterbleibt zwar, jedoch ist die Humuslieferung durch Zwischenfrüchte relativ gering und nimmt nur einen untergeordneten Anteil in den mit Stroh und anderen Maßnahmen kombinierten Varianten ein.

Bei der Berechnung der Humusbilanzen besteht eine weitere Fehlerquelle durch ungenaue Angaben zu den organischen Düngern in den Beschreibungen der Dauerversuche. Insbesondere die Trockenmassegehalte von Stallmist und Gülle wurden häufig nicht angegeben, so dass in diesen Fällen ein einheitlicher, den übrigen Versuchen entsprechender Wert verwendet wurde.

Die Korrelation zwischen dem Ertragsanteil der Sonderwirkung und der Zufuhr Humus-C wird damit in methodischer Hinsicht von folgenden Faktoren beeinflusst:

Die Platzierung des Datenpunktes auf der x-Achse wird von der Wahl der Bilanzierungsmethode und durch die Abweichungen aufgrund fehlender Angaben für die Humusbilanzierung beeinflusst. Die Platzierung des Datenpunktes auf der y-Achse wird dagegen davon beeinflusst, inwieweit die auf Basis der Düngungsstufen ermittelten Maximalerträge mit den „wahren“ Maximalerträgen übereinstimmen.

Die Ermittlung der Differenz zwischen dauerhafter und einmaliger organischer Düngung diente dazu, Aufschluss zu erlangen, ob eine Ermittlung der Sonderwirkung der organischen Substanz unter Versuchsbedingungen möglich ist, die zumindest hinsichtlich der Düngung dem ökologischen Landbau entsprechen. Die Daten konnten jedoch nicht standortspezifisch ausgewertet werden, weshalb keine sicheren Aussagen über die Differenz zwischen dauerhafter und einmaliger organischer Düngung getroffen werden können. Inwieweit mit dieser Differenz die Sonderwirkung abgebildet werden kann, wird in Kap. 7.1.3 angesprochen.

Da für die verwendeten Daten keine Angaben zum Trockenmassegehalt vorlagen, wurden einheitliche Werte für die TM verwendet, wodurch sich eine Fehlerquelle ergibt.

Die aufgrund der großen Streuung der Ertragssteigerungen in beiden Auswertungen vermuteten intensiven Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Standort, Kultur und Maßnahme der organischen Düngung werden auch von AVNIMELECH (1986) beschrieben.

Aufschlüsse über diese Wechselwirkungen könnten wahrscheinlich mit einer größeren Datenmenge gewonnen werden.

7.1.2 Die Eignung der Zufuhr Humus-C als Bezugsgröße für die Wirkungen der organischen Substanz

Sowohl bei gemessenen Veränderungen im Gehalt der OBS, als auch bei einer Verwendung der Zufuhr Humus-C als Bezugsgröße konnte nur eine unzureichende Beziehung zur Ertragssteigerung durch die OS hergestellt werden. Deshalb stellt sich die Frage, inwieweit der quantitative Bezug zur OBS bei beiden Verfahren überhaupt geeignet ist die Wirkungen der organischen Substanz zu erfassen.

Die Bedeutung der Umsetzungsprozesse für die Wirkungen der organischen Substanz hat sich in dieser Arbeit als wichtiger Faktor herausgestellt. Möglicherweise müssen deshalb noch weitere Faktoren für die Bildung wirkungsgleicher Mengen in Bezug auf den Ertrag herangezogen werden.

So waren die Ertragssteigerungen in Kap. 6.2 häufiger mit der regelmäßigen Zufuhr als mit den Unterschieden im Humusgehalt assoziiert. HAIDER (1992) und DORAN & SMITH (1987) weisen darauf hin, dass durch die Bewirtschaftung bedingte qualitative Veränderungen der organischen Bodensubstanz wichtiger sind als quantitative Unterschiede. Die Ertragsunter-

schiede können weiterhin durch mehrmalige gegenüber einmaligen Gaben bedingt sein, da von SAUERBECK (1992) insbesondere die regelmäßige Zufuhr und der Umsatz als entscheidend für die Humuswirkungen angesehen werden. Die hohen Ertragssteigerungen durch Gülledüngung trotz hoher Mineraldüngergaben in Kap. 6.3.2 stützen diese Annahme.

Ob die organische Substanz von außen zugeführt wurde (Stallmist) oder auf dem Acker gewachsen ist, kann weitere Unterschiede verursachen, da im letzteren Fall alle Faktoren, die durch das Wachstum der Pflanze verändert werden, ebenfalls in die Wirkung einbezogen werden. So können die Wurzelausscheidungen von Pflanzen, aufgrund der intensiven Interaktion zwischen Wurzelausscheidungen der Pflanze und der Bakterienflora, einen Priming Effekt hervorrufen (GUCKERT, 1992). Bei einer Gründüngung kann die sog. Pre-emptive competition⁶ durch den Wasserverbrauch und die Immobilisierung von Stickstoff negativ wirken (THORUP-KRISTENSEN et al., 2003). Positive Effekte der Gründüngung sind die Bodenlockerung, -belebung und Erosionsverminderung aufgrund von Durchwurzelung und Bodenbedeckung, sowie Krankheits- und Unkrautkontrolle (THORUP-KRISTENSEN et al., 2003; FREYER, 2003). Diese Wirkungen werden mit der Ertragswirkung erfasst, stehen aber nur bedingt in Zusammenhang mit der zugeführten Menge Humus-C oder einer Veränderung im OBS-Gehalt.

Als besonders geeignet, um die Bodenqualität zu bestimmen, werden die mikrobielle Biomasse (C_{mik}), der Quotient $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$, und der metabolische Koeffizient ($\text{CO}_2\text{-Bodenatmung}/C_{\text{mik}}$) gesehen (HÖPER & KLEEFISCH, 2001). Von diesen Autoren wird die Belebung des Bodens in Beziehung zu der Kohlenstoffzufuhr in der OPS gesetzt und nicht zu der Kohlenstoffzufuhr, die in der OBS verbleibt.

In der Literatur finden sich verschiedene Angaben über den Zusammenhang von Messgrößen der biologischen Aktivität und dem Ertrag. Über eine Korrelation zwischen dem Ertrag und der $\text{CO}_2\text{-Bodenatmung}$, der Aktivität der Mikroorganismen und der Krümelstabilität bei einer Strohdüngung bzw. Stroh- + Gründüngung, nicht aber bei einer Gründüngung berichtet DEBRUCK (1974). Eine schwache Korrelation zwischen dem Ertrag und der Phosphatase-Aktivität sowie der mikrobiellen Biomasse, nicht aber zu anderen biologischen Messgrößen, fand HOFFMANN et al. (2002) und hält deshalb den Ertrag als Indikator für die Bodenqualität für ungeeignet. BEYER et al. (1990) konnte keinen Nachweis zwischen niedrigen Humusgehalten infolge langjähriger intensiver Bewirtschaftung und dem Ertrag finden, obwohl die biologischen Messgrößen sehr niedrig waren.

Der Umsatz oder die biologische Aktivität alleine, scheint damit auch kein hinreichendes Kriterium zu sein.

⁶ Pre-emptive competition beschreibt die indirekte Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser zwischen der Vorfrucht und der Nachfrucht. Hat eine Vorfrucht bereits wesentliche Wachstumsfaktoren verbraucht, steht sie damit in Konkurrenz zu der Nachfrucht.

Wie bei den intensiven Wechselwirkungen zwischen Standort, Maßnahme, Kultur und Bewirtschaftungssystem auf Basis des Humusersatzes und des Ertrages wirkungsgleiche Mengen erstellt werden können, ist damit ein naturwissenschaftliches Problem.

C-N-Modelle könnten vielleicht durch die Berücksichtigung des Standortes zu einer gleichzeitigen Ermittlung der im Boden verbleibenden Kohlenstoffmenge und des dabei stattfindenden Umsatzes beitragen und auf diesem Wege eine Korrelation zu den daraus resultierenden Ertragswirkungen herstellen. Wenn ein ausreichender Aufschluss über die Ertragswirkung verschiedener Maßnahmen bei der gleichen Zufuhr Humus-C besteht, können Ertragsunterschiede auch als Korrekturfaktoren einbezogen werden.

7.1.3 Die Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung

Aufgrund der unzureichenden Korrelation zwischen Ertragssteigerung und Zufuhr Humus-C muss auch die der Datenauswertung zugrunde liegende Annahme einer Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung der organischen Substanz durch Versuche mit maximalen Mineraldüngergaben einer Diskussion unterzogen werden.

Erste Unklarheiten bestehen bereits in der Definition. ASMUS (1992) und KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) definieren die Nährstoffwirkung der organischen Substanz gleichermaßen als den Ertragsanteil, der durch Mineraldünger ersetzt werden kann. Die Sonderwirkung beruht jedoch bei ASMUS (1992) auf einer Verbesserung der Bodeneigenschaften einschließlich der Nährstoffnachlieferung, bei KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) nur noch auf einer Verbesserung der physikalischen Bodeneigenschaften. Abgesehen davon, dass in beiden Fällen nicht alle Wirkungen der OS berücksichtigt werden, bleibt die Frage, inwieweit die Nährstoffnachlieferung als Sonderwirkung oder als Nährstoffwirkung erfasst wird.

Kohlenstoff und Stickstoff sind in der Dynamik der OBS intensiv miteinander verschränkt (vgl. Kap. 2). Da die Stickstoffdüngung im ökologischen Landbau über Leguminosen, Wirtschaftsdünger und andere zugelassene Dünger ebenfalls in Verbindung mit organischer Substanz verabreicht wird, ist diese Fragestellung auch wesentlich für eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den ökologischen Landbau (vgl. Kap. 7.1.4).

LEITHOLD (1991a/b) beschreibt, dass der Anteil des Humusstickstoffs am Gesamtentzug ca. 55 % beträgt, was auch durch ^{15}N -Untersuchungen bestätigt werden kann (LEITHOLD, 1984). Der Ersatz von Humusstickstoff erfordert aber organische Substanz und kann nur sehr begrenzt durch Mineraldünger ersetzt werden (LEITHOLD, 1991a).

Weiterhin ist die Beziehung zwischen Humusgehalt und Ertrag wesentlich enger, je weniger Mineraldüngerstickstoff zum Einsatz kommt (LEITHOLD, 2004; STUMPE et al., 1983). In Abb. 15 ist deutlich zu erkennen, dass der Ertragsanteil durch die organische Substanz gegenüber dem Ertragsanteil aus der Mineraldüngung mit steigenden Humusgehalten an Bedeutung gewinnt. Dieser enge Zusammenhang deutet auf zwei Aspekte hin. Zum einen nimmt der Ertragsanteil der Mineraldüngung ab, da bei steigenden Humusgehalten und einer dadurch höheren N-Mineralisation aus der OBS insgesamt mehr Stickstoff zur Verfügung steht. Zum anderen lässt sich daraus schließen, dass die Mineraldüngung nicht nur die Nährstoffwirkung

der organischen Substanz ersetzen kann, sondern auch einen Teil der Sonderwirkungen, und zwar insbesondere jene die eine Nährstoffnachlieferung aus der OS ermöglichen.

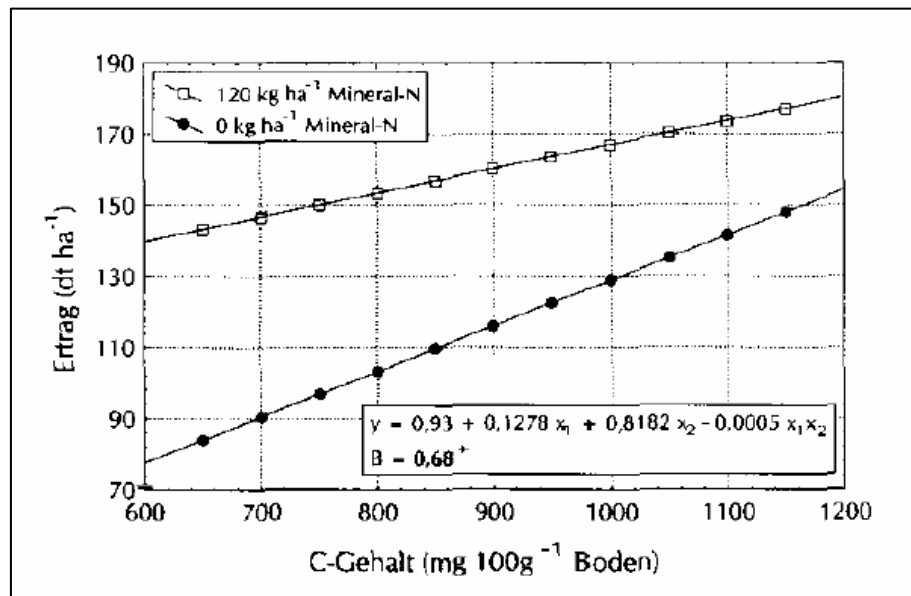


Abb. 15: Silomaisertrag in Abhängigkeit des C_r-Gehaltes im Dauerdüngungsversuch Seehausen mit und ohne Mineraldüngung (LEITHOLD, 2004)

Beispielsweise besteht eine Sonderwirkung der organischen Substanz in der Erhöhung der Wasserkapazität, eine erhöhte Wasserkapazität ist jedoch nicht nur für die Versorgung der Pflanze mit Wasser entscheidend, sondern hält unter trockenen Witterungsbedingungen für eine längere Zeit die optimalen Lebensbedingungen der Mikroorganismen aufrecht und ermöglicht damit eine längere Nachlieferung von Stickstoff aus dem Boden oder dem organischen Dünger (DORAN, 1992). Gleiches gilt sowohl für eine erhöhte mikrobielle Biomasse und steigende Enzymaktivitäten, die im günstigen Fall eine vermehrte Nährstofftransformation bedingen, als auch für eine erhöhte KAK, welche die Nährstoffauswaschung vermindert. In Kap. 4.4 wurden die Einflüsse von physiologisch wirksamen Substanzen aus der organischen Substanz auf die Verfügbarkeit, Aufnahme und Nutzungseffizienz von Nährstoffen sowie eine mögliche Beeinflussung des Stoffwechsels beschrieben.

Offensichtlich können durch günstige Bodenbedingungen mineralisierte, vor der Auswaschung bewahrte oder besser genutzte Nährstoffmengen teilweise auch durch eine zusätzliche Zufuhr an Mineraldünger ersetzt werden.

DORAN & SMITH (1987) beschreiben die Beeinflussung der Nährstoffverfügbarkeit durch die OS in drei Kategorien: direkte physikalisch/chemische Effekte auf NO₃⁻ und NH₄⁻-Verluste durch Bodenstruktur, Wasserhaushalt und bodenchemische Prozesse, indirekte biologische Effekte auf die Denitrifikation, Nitrifikation, Mineralisierung und Immobilisierung, Wurzelentwicklung und Nährstoffaufnahme durch Wasser-, Lufthaushalt und Temperatur, sowie direkte biologische Effekte auf N₂-Fixierung, Mineralisierung und Immobilisierung durch die

Energieverfügbarkeit aus der organischen Substanz. AVNIMELECH (1986) fasst die Wirkung der organischen Substanz auf die Ernährung der Pflanze mit einer verbesserten Nährstoffeffizienz, einem erhöhten Maximalertrag und einer Verminderung des Ertragsabfalls bei zu hohen Nährstoffgaben zusammen.

Wird mit Mineraldünger und Rottemist das gleiche Ertragsniveau eingestellt, so zeigen sich um 57-74 % verringerte Nitratgehalte bei Möhren, Rote Beete und Kartoffeln in den Rottemistvarianten (RAUPP, 2001). KOLBE et al. (1995) fand bei annähernd gleich hoher Versorgung mit verfügbaren Nährstoffen durch Mineraldüngung bzw. Rindermistkompost eine Ertragssteigerung, höhere Gehalte an Trockenmasse und 50 % niedrigere Gehalte an Nitrat bei Kartoffeln bei organischer Düngung. Daraus wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass die Ertragswirkung der organischen Düngung nicht nur auf der Nährstoffzufuhr beruht bzw. die Nährstoffe anders wirken. Dieser Effekt stand auch nicht in Verbindung mit einem erhöhten Humusgehalt, sondern wurde als Kurzzeitwirkung der organischen Düngung identifiziert (KOLBE et al., 1995). Auch diese Ergebnisse legen eine mögliche substitutive Beziehung, zwischen Sonderwirkung und Nährstoffwirkung nahe.

OLSEN (1986) führt jedoch Ertragssteigerungen durch Stallmist, die durch Mineraldünger nicht ersetzt werden können, auf die verbesserte Ertragswirkung einer Kombination von NH_4 und NO_3 in den organischen Düngern zurück.

Wird in Versuchen ohne Mineraldüngung zwischen Kurzzeit- und Dauerwirkung unterschieden, entspricht die Versuchsdurchführung in Düngungsfragen den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Die Differenz zwischen Kurzzeit- und Dauerwirkung betrug bei Stallmist bis zu 10 % und bei Kompost bis zu 30 %, und ist damit höher als die ermittelten Sonderwirkungen aus den konventionellen Versuchen. Es konnte zwar keine standortspezifische Auswertung erfolgen, und es liegen auch nur Ertragsdaten für Kartoffeln vor, es zeichnet sich jedoch ab, dass die Bildung von Substitutionsbeziehungen zwischen verschiedenen Arten organischer Dünger dadurch erschwert wird, dass die Nährstoffwirkung in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit mal mehr in der einmaligen, mal mehr in der dauerhaften Anwendung zum Tragen kommt.

Die hohe Differenz beim Kompost lässt sich z.B. darauf zurückführen, dass bei einmaliger Anwendung nur eine geringe Nährstofffreisetzung erfolgt, die erst durch mehrmalige Anwendung erhöht wird (SCHREIBER, 2005). Nach den oben genannten Ergebnissen von KOLBE et al. (1995) und mehreren Ergebnissen, in denen eine Sonderwirkung durch organische Düngung auch bereits im ersten Jahr der Anwendung zu verzeichnen war (vgl. Kap. 6.2), kann nur bedingt davon ausgegangen werden, dass die Kurzzeitwirkung der Nährstoffwirkung entspricht, bzw. daraus folgend die Differenz zwischen Dauer- und Kurzzeitanwendung der Sonderwirkung entspricht. Eine Abgrenzung zu der, in der Betriebszweigabrechnung bereits bewertete Nährstoffwirkung ist somit nur begrenzt möglich.

In Abb. 16 werden zwei Modelle dargestellt, wie die Wirkungen der organischen Substanz betrachtet werden können. Im Rahmen dieser Arbeit soll nicht entschieden werden, welches Modell realitätsnäher oder praktikabler ist, und es können sich auch unterschiedliche Schlussfolgerungen ergeben, je nachdem ob man die naturwissenschaftliche oder die ökonomische Sichtweise wählt.

Auch bei einer Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung kann die mögliche Substitution zwischen beiden Faktoren nicht unterschlagen werden. Wenn eine Substitutionsbeziehung zwischen der Nährstoffwirkung und der Sonderwirkung besteht, so ist die Effizienz der Nutzung dieser beiden Produktionsfaktoren für eine Bewertung der Sonderwirkung unbedingt zu berücksichtigen.

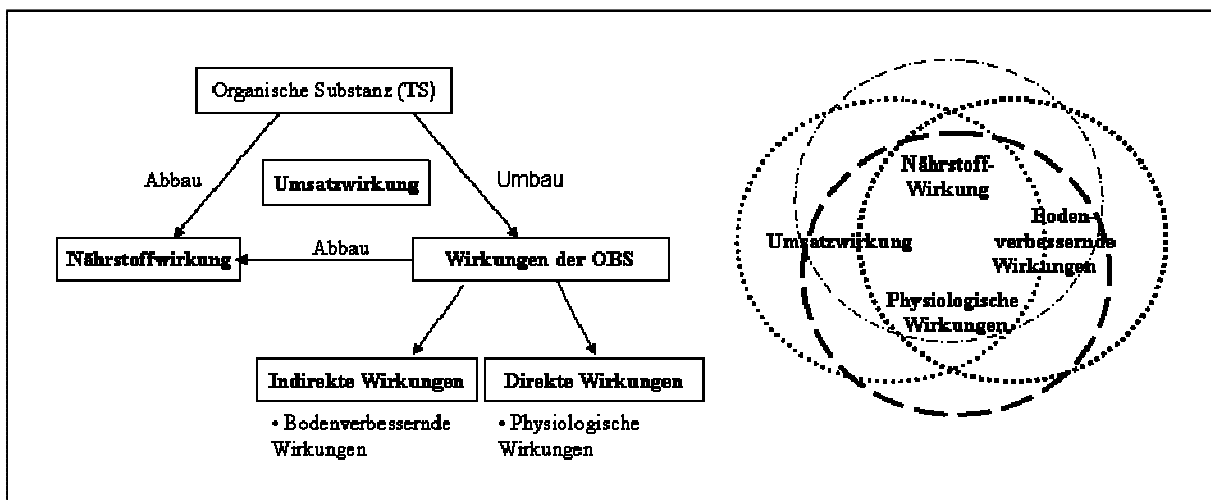


Abb. 16: Modelle zu den Wirkungen der organischen Substanz. Rechts: Wirkungstrennung in Nährstoffwirkung und Sonderwirkung nach KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) und ASMUS (1992) und Unterteilung der Sonderwirkungen in direkte und indirekte Wirkungen nach FLAIG & SÖCHTIG (1973), die Umsatzwirkung wurde hinzugefügt. Links: Komplexe Wirkung der organischen Substanz, die einzelnen Elemente beeinflussen sich gegenseitig und sind nicht eindeutig gegeneinander abgrenzbar (eigene Darstellung)

7.1.4 Übertragbarkeit auf den ökologischen Landbau

Abgesehen davon, ob bzw. wie eine Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung der organischen Substanz vollständig möglich ist, stellt sich trotzdem die Frage, inwieweit die aus konventionellen Versuchen ermittelten Ertragsanteile für die Sonderwirkung auf den ökologischen Landbau übertragbar sind.

Zentrale Frage ist deshalb, ob der „letzte nicht mehr durch Mineraldünger substituierbare Ertragsanteil der Sonderwirkung“ auch dem Ertragsanteil der Sonderwirkung bei niedrigerer N-Düngung und einer Bewirtschaftung nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus entspricht. In Kap. 7.1.3 wurde bereits deutlich, dass die Sonderwirkung der OS teilweise durch Mineraldüngergaben ersetzt werden kann, es sprechen jedoch noch weitere Gründe dafür, dass die Ertragsanteile der Sonderwirkung im ökologischen Landbau einen höheren Stellenwert einnehmen.

- Die Stickstoffversorgung im ökologischen Landbau ist ein ertragsbegrenzender Faktor (DABBERT, 1990) und die Nährstoffpreise sind höher (REDELBERGER, 2004), weshalb die Sonderwirkungen der organischen Substanz, die die Nährstoffnachlieferung verbessern und Nährstoffverluste minimieren, eine größere Bedeutung haben.
- Die Verbesserung der physikalischen Bodeneigenschaften hat eine höhere Bedeutung auf ungünstigen Standorten wie Sand und Tonböden (vgl. Kap. 4.2). Betriebe des ökologischen Landbaus sind häufiger auf den schlechteren Standorten anzutreffen (LVL, 2004), was sich unter anderem in einem niedrigeren Vergleichswert pro ha LF niederschlägt (BMVEL, 2004)
- Die physiologischen Wirkungen der organischen Substanz haben eine höhere Ertragswirksamkeit bei ungünstigen Umweltverhältnissen (vgl. Kap. 4.4), also auf schlechteren Standorten und bei den geringeren Eingriffsmöglichkeiten des ökologischen Landbaus in der Pflanzenernährung und im Pflanzenschutz.
- Die Wirkung des antiphytopathogenen Potenzials (vgl. Kap. 4.3.2) ist durch den begrenzten Betriebsmitteleinsatz schwer, durch Fruchtfolgegestaltung etc. dagegen relativ leicht zu substituieren.

Fraglich ist ebenfalls, inwieweit die Sonderwirkung beeinflusst wird, wenn sich aufgrund des Bewirtschaftungssystems die Nährstoffwirkung der organischen Dünger verändert.

In Feldversuchen werden auch durch sehr hohe alleinige Gaben von organischen Düngern nicht die Erträge der kombinierten organisch-mineralischen Düngung erreicht, was auf die verbesserte Nährstoffausnutzung bei organisch-mineralischer gegenüber organischer Düngung bezogen wird (LANG et al. 1995). Die Anwendung von Mineraldüngung kann einen Priming Effekt hervorrufen (ebenso wie leicht abbaubare organische Substanz). Dadurch wird die Nährstofffreisetzung aus den organischen Düngern oder aus der OBS erhöht (KUZYSKOV, 2000). STEIN-BACHINGER et al. (2004) veranschlagen die direkte N-Ausnutzung und die Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger im ökologischen Landbau niedriger als im konventi-

onellen Landbau. In anderen Fällen wird eine erhöhte Stickstoffeffizienz durch organische Düngung beschrieben (KOLBE et al. 1995; AVNIMELECH, 1986). Die genannten Aspekte geben weitere Anhaltspunkte für die Wechselwirkungen zwischen Nährstoff- und Sonderwirkung der organischen Substanz, sollen aber nicht weiter vertieft werden da sie über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass die N-Effizienz in hohem Maße von der Düngungshöhe abhängt (KÖRSCHENS & SCHLULZ, 1999).

7.2 Möglichkeiten einer monetären Bewertung

7.2.1 Abbildung der Substitutionsbeziehung und Berücksichtigung der Effizienz

Aufgrund der bereits bestehenden monetären Bewertung der Nährstoffe im ökologischen Landbau erscheint es zunächst sinnvoller, die Trennung zwischen Nährstoffwirkung und Sonderwirkung der organischen Substanz aufrechtzuerhalten, da sonst jede Maßnahme der organischen Düngung einer eigenen Bewertung unterzogen werden müsste.

Gleichzeitig wurde aber abgebildet, dass innerhalb gewisser Grenzen eine Substitutionsbeziehung zwischen der Nährstoff- und der Sonderwirkung vorliegt.

Außerdem ist die Übertragbarkeit des „letzten nicht mehr durch Mineraldünger substituierbaren Ertragsanteils der Sonderwirkung“ auf den ökologischen Landbau nur bedingt möglich. Aufgrund der deutlich niedrigeren Nährstoffversorgung und der höheren Stickstoffpreise ist es deshalb sinnvoll, die Effizienz der eingesetzten Produktionsfaktoren in der Bewertung mit zu berücksichtigen.

Die auf Basis konventioneller Versuche ermittelte Sonderwirkung stellt deshalb einen Mindestwert dar, der in den meisten Fällen bei einem, für den ökologischen Ackerbau unzulässigem Stickstoffversorgungsniveau (vgl. EWG 2091/92, 2003) auftritt. Für diese Ertragssteigerung kann der Veredelungswert berechnet werden. Wenn jedoch angenommen wird, dass dieser Ertragsanteil nicht nur für die letzte, sondern für jede produzierte Einheit zutrifft, kann auch eine Bewertung über die „Ersatzkosten“ erfolgen. Bewertungsgrundlage ist dann die Stickstoffmenge, die alternativ für eine entsprechende Ertragssteigerung benötigt werden würde.

Da bei diesem Mindestwert die Sonderwirkung schon meistmöglich durch die Nährstoffgaben ersetzt wurde, ist anzunehmen, dass sie bei einer niedrigeren Nährstoffversorgung höher liegt, wenn die Einflüsse der OS auf die Nährstoffeffizienz und Nährstoffnachlieferung mit berücksichtigt werden. Da das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs sowohl für die Nährstoff- als auch für die Sonderwirkung der organischen Substanz zutrifft, ist die Substitutionsbeziehung abhängig vom Ertragsniveau und kann über Isoquanten dargestellt werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass eine abnehmende Grenzrate der Substitution vorliegt. Isoquanten gelten jeweils nur unter Konstanz der nicht berücksichtigten Produktionsfaktoren (STEINHAUSER et al. 1992).

Die Versorgung mit organischer Substanz beeinflusst eine Vielzahl von Wachstumsfaktoren, und laut LIEBSCHER (1895 in FINCK, 1991) ist ein Minimumfaktor umso ertragswirksamer, je mehr sich die anderen Faktoren dem Optimum annähern. Dieser Sachverhalt wird mit der Isoquante dargestellt, indem je nach Versorgungsniveau mit organischer Substanz eine unterschiedlich hohe Nährstoffversorgung notwendig ist um einen bestimmten Ertrag zu erzielen. Für die Ermittlung von Isoquanten sind Produktionsfunktionen notwendig. In Abb. 17 wird links die klassische Vorgehensweise dargestellt, mit der Nährstoff- und Sonderwirkung getrennt werden und wo die Sonderwirkung nur noch als „letzter nicht mehr durch Mineraldünger ersetzbarer Ertragsanteil“ verbleibt. Rechts wird eine Vorgehensweise dargestellt, mit der eine Ermittlung der Sonderwirkung nicht nur über den Maximalertrag möglich ist, sondern bei jedem Niveau der Stickstoffversorgung. Als Bezugsgröße kann dann jedoch nur die Menge an verfügbaren Nährstoffen verwendet werden, und die Produktionsfunktion der organisch-mineralischen Düngung erfährt eine Parallelverschiebung nach rechts (Vergleich der Abb. 18 links und rechts).

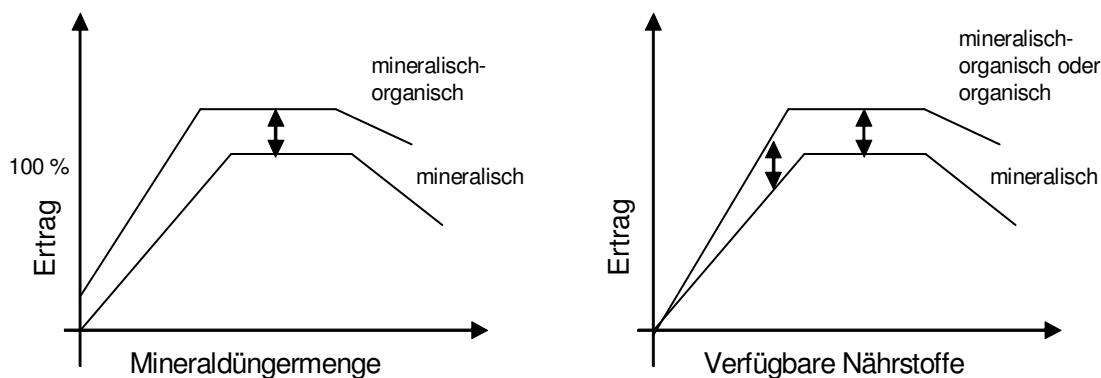


Abb. 17: Links: Ermittlung der Sonderwirkung über den Maximalertrag, ohne Berücksichtigung der Nährstoffeffizienz. Rechts: Ermittlung der Sonderwirkung mit Berücksichtigung der Nährstoffeffizienz, Bezugsgröße sind die verfügbaren Nährstoffe, weshalb die Ermittlung der Sonderwirkung bei jedem Nährstoffniveau möglich ist.

Die Produktionsfunktion der mineralischen Düngung entspricht der Nährstoffwirkung. Die Produktionsfunktion der Sonderwirkung entspricht der Differenz zwischen der Produktionsfunktion mit und ohne organischer Düngung. Diese Differenz muss für verschiedene Aufwandmengen und Arten an organischen Düngern vorliegen. Aus den Produktionsfunktionen der Nährstoff- und der Sonderwirkung ließen sich dann Isoquanten wie in Abb. 18 darstellen. Der Wert einer zusätzlich zugeführten wirkungsgleichen Menge OS würde sich aus der für eine Substitution notwendigen Menge Nährstoffe, (oder vereinfacht nur Stickstoff) multipliziert mit den Nährstoffwerten, ergeben.

Der Wert der organischen Substanz bei einer bestimmten Aufwandsmenge Humus-C ergibt sich abgeleitet aus der Formel für die Minimalkostenkombination: $-\Delta x_2/\Delta x_1 = q_1/p_2$ (STEINHAUSER et al. 1992) folgendermaßen:

$$\text{Wert pro Einheit Humus-C} = \Delta \text{ Nährstoffe} * \text{Wert pro Einheit Nährstoffe} / \Delta \text{ OPS}$$

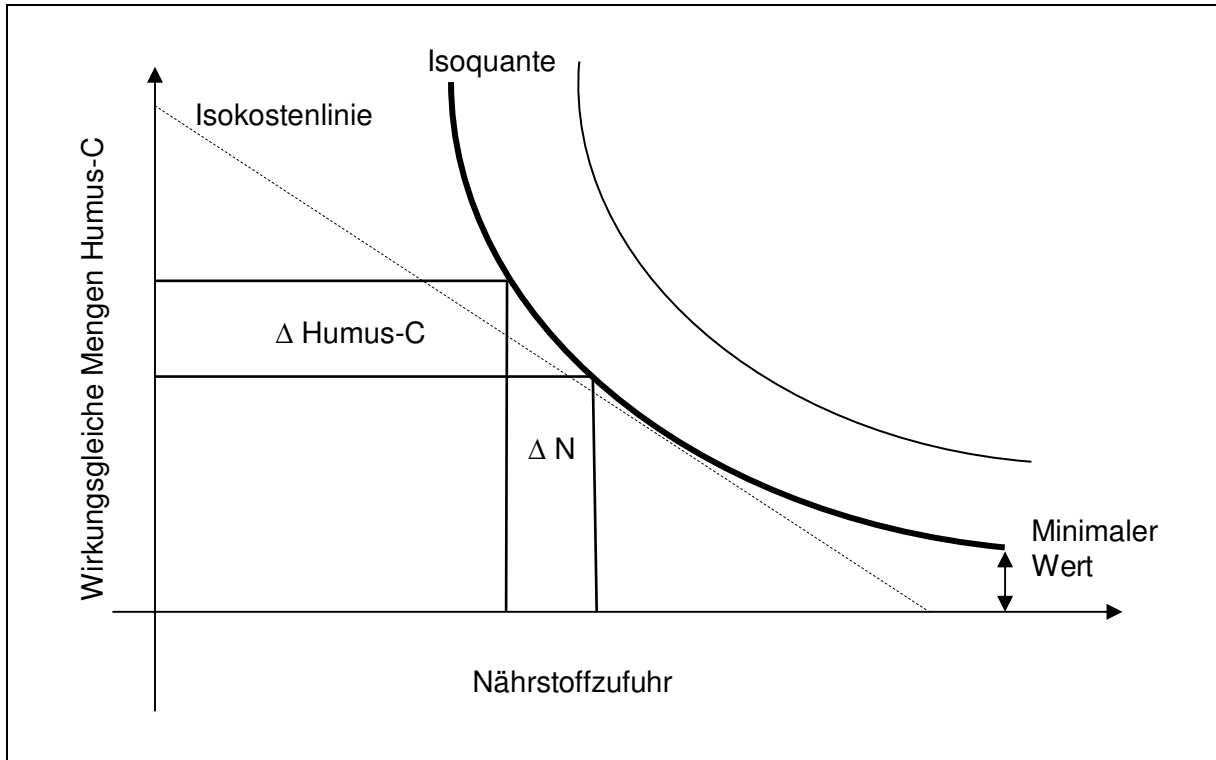


Abb. 18: Ermittlung des Wertes der organischen Substanz über die Substitutionsbeziehung zu der Nährstoffversorgung (eigene Abb.)

Wird gleichzeitig noch der Aufwand für die jeweiligen Maßnahmen mit einer Isokostenlinie berücksichtigt, lässt sich eine optimale Kombination der Produktionsfaktoren (Minimalkostenkombination) erreichen. Da die organische Substanz nicht nur produktionsfördernde sondern auch produktionsverbilligende Wirkungen (Bearbeitbarkeit, Betriebsmittelaufwand außer Nährstoffe) hat, könnten diese Auswirkungen auf das gesamte Betriebssystem mit in die Isokostenlinie einbezogen werden, wenn sie denn quantifizierbar sind. Die Ermittlung dieser Isokostenlinie ist unter konventioneller Bewirtschaftung sehr einfach, da Marktpreise für Nährstoffe existieren und dadurch auch der Ersatzkostenwert für die organische Substanz berechnet werden kann. Im ökologischen Landbau gibt es zwar ebenfalls Marktpreise für die Nährstoffe, jedoch wird insbesondere Stickstoff innerbetrieblich erstellt, und zwar mit denselben Verfahren, die auch für eine Humusmehrung in Frage kommen. Diesem Aspekt wird sich in Kap. 7.2.2.1 gewidmet.

Auch wenn diese Vorgehensweise der Substitutionsbeziehung zwischen Nährstoff- und Sonderwirkung gerecht wird, bleibt dadurch die Problematik der Bildung wirkungsgleicher Mengen unberührt.

Die Ermittlung von Sonderwirkung und Nährstoffwirkung wird durch die Berücksichtigung der Effizienz ebenfalls nicht einfacher. So müsste ein Vergleich zwischen organischer, organisch-mineralischer und mineralischer Düngung auf Basis der verfügbaren Nährstoffmenge stattfinden. Die Nährstoffverfügbarkeit aus der OPS unterliegt mindestens genauso vielen Einflussgrößen und Wechselwirkungen wie die Sonderwirkung der organischen Substanz. Andererseits stehen für diese Vorgehensweise mehr Versuche zur Verfügung, als wenn maximale Mineraldüngergaben gefordert sind, so dass Wechselwirkungen und Standortabhängigkeiten auch besser ermittelt werden können.

Da anstelle der Mineraldüngermenge die verfügbaren Nährstoffe als Bezugsgröße verwendet werden, besteht die Gefahr, einen Zirkelbezug herzustellen, da die OS ja eben gerade die Nährstoffverfügbarkeit und –effizienz erhöht und die Nährstoffverluste vermindert und genau diese Wirkungen mit der Darstellung der Substitutionsbeziehung zwischen Nährstoff- und Sonderwirkung berücksichtigt werden sollen.

Neben den bereits genannten Problemen ist in erster Linie zu klären, ob bei einer Berücksichtigung der Effizienz wirkungsgleiche Mengen erstellt werden können, um die Substitutionsbeziehungen zwischen verschiedenen organischen Düngern abzubilden.

7.2.2 Bewertung von Teilleistungen

Hauptproblem der bisherigen Bewertung ist die Forderung der wirkungsgleichen Mengen in Bezug auf den Humusersatz und den Ertrag. Da diese beiden Komponenten von verschiedenen Faktoren abhängen ist die Ermittlung wirkungsgleicher Mengen schwierig.

Wird zunächst davon ausgegangen, dass auf Basis von Humus-C und Ertrag keine wirkungsgleichen Mengen erstellt werden können, kommt noch eine Beurteilung der Teilleistungen analog zu STEINHAUSER (1963) in Frage.

7.2.2.1 Humusersatz

Der Erhalt oder die Steigerung des standorttypischen Humusgehaltes wird als wichtiges Ziel einer nachhaltigen Landwirtschaft angesehen und beispielsweise im Rahmen von Cross Compliance (DIREKTZAHLVERPFLV, 2004) oder im § 17 Abs. 2, S. 2, Nr. 7 des Bundesbodenschutzgesetzes gesetzlich geregelt (LOLL, 2003). Die Versorgung des Bodens mit OS beeinflusst maßgeblich die Fruchtbarkeit und biologische Aktivität des Bodens, die im ökologischen Landbau nach EWG, Nr. 2092/91 (2003) zu halten oder zu steigern ist.

Trotz aller in Kap. 7.1 genannten Einschränkungen kann deshalb die Menge Humus-C oder die Gehaltsveränderung der umsetzbaren OBS als wichtigste Bezugsgröße für die Bewertung und auch als wichtigste Leistung der organischen Substanz angesehen werden, unabhängig von der daraus resultierenden Ertragsleistung.

Eine genaue Erfassung der tatsächlich im Boden verbleibenden Kohlenstoffmenge ist in diesem Fall von besonderer Bedeutung, weshalb C-N-Modelle besser geeignet sind als die Humusbilanzierungsmethoden. Bei letzteren muss die unterschiedliche Eignung für bestimmte Standorte (vgl. 5.3.1.1) ebenso berücksichtigt werden, wie die Unterschiede zwischen den Koeffizienten der einzelnen Maßnahmen. Bei beiden Verfahren werden sich deshalb standortspezifische Kosten für den Humusersatz ergeben, und es ist keine Übertragbarkeit zwischen den Standorten und Methoden gegeben.

Da auf dieser Basis lediglich die Kosten des Humusersatzes ermittelt werden können, besteht ein Überschneidungsbereich mit der innerbetrieblichen Bewertung des Stickstoffs.

Da dieser bereits auf Basis der Verfahren ermittelt wird, die auch für eine Humusmehrung zur Verfügung stehen (vgl. Kap. 3.3), müssen diese Kosten zwischen dem Stickstoff und der organischen Substanz aufgeteilt werden. Dafür sind aber entweder wieder Daten über die jeweiligen Leistungen erforderlich, oder die Kosten können anhand der Verteilung des Gesamtstickstoffgehaltes auf den in der Menge Humus-C gebundenen und den mittelfristig pflanzenverfügbaren Stickstoff verteilt werden. Eine solche Aufteilung setzt voraus, dass die Lieferung von pflanzenverfügbarem Stickstoff als gleichwertig zur Ergänzung des Humus-N-Pools angesehen wird (siehe 7.2.2.2).

Eine andere Möglichkeit wäre eine Ermittlung der Kosten auf Basis von humusmehrenden Kulturen die keine N-Fixierung erbringen, was für Stroh möglich wäre, wenn eine Verkaufsmöglichkeit oder eine andere alternative Nutzung zur Verfügung steht oder durch den Anbau von nicht-legumen Zwischenfrüchten oder Ackergras. Diese Maßnahmen werden jedoch deutlich seltener durchgeführt als der nahezu obligatorische Anbau von Leguminosen, weshalb sie nicht besonders praxisnah sind.

Die Verwendung von Zukaufwerten ist ebenfalls problematisch, da die organische Substanz nur bedingt transportwürdig und in vielen Fällen (z.B. Ernte- und Wurzelrückstände) nicht transportfähig ist. Die Transportkosten würden so zu einer bestimmenden Größe für den Wert der organischen Substanz.

7.2.2.2 Ausweitung der Nährstoffbewertung auf den Humusauf- und -abbau

Die Bewertung der Nährstoffe in der BZA wurde bereits in Kap. 3.3 ausführlich dargestellt. Ebenfalls besprochen wurde, dass zwar die Zu- und Abfuhr von mittelfristig pflanzenverfügbarem Stickstoff im System Ackerbau bewertet wird, nicht jedoch die Veränderung im Nährstoff- oder Humusgehalt des Bodens durch den Anbau von verschiedenen Kulturen.

Bei Wirtschaftsdüngern und Leguminosen erfolgt bei REDELBERGER (2004) eine unterschiedliche Bewertung. Für die Leguminosen wird die Fixierleistung herangezogen, ohne dass genauer definiert wird ob Verluste berücksichtigt werden. Im folgenden wird jedoch davon ausgegangen, dass auch der im Humus gebundene Stickstoff berücksichtigt wird. Bei den Wirtschaftsdüngern werden jeweils nur 66% des Stickstoffgehaltes für die monetäre Bewertung angerechnet. Damit sind sowohl Verluste, insbesondere bei Gülle und Jauche als auch eine unvollständige Pflanzenverfügbarkeit des Stickstoffs in Stalldüngern und Komposten mit

einbezogen. Bei den Wirtschaftsdüngern wird der Stickstoff im gebildeten Humus deshalb nur zum Teil bewertet.

Eine Bewertung der Wirtschaftsdünger, abzüglich der Verluste aber inklusive der im Humus immobilisierten N-Mengen, würde den Ersatz des Humuspools als gleichwertig zur N-Lieferung an die Pflanze bewerten. Organische Dünger mit einer hohen Humusleistung und einem geringen Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen würden durch ein solches Vorgehen eine Wertsteigerung erfahren.

In Abb. 19 ist das bisherige Bewertungsschema in der Betriebszweigabrechnung (durchgezogene Linien) nach der Beschreibung von REDELBERGER (2004) dargestellt und wird durch eine Stickstoffbewertung des Humus (gestrichelte Linien) ergänzt. In einem Betrieb mit einer ausgeglichenen Humusbilanz ändert sich an den Stoffflüssen in das bzw. aus dem System Ackerbau kaum etwas. Die Zufuhr in das System wird nur geringfügig erhöht.

Da die Kulturen jedoch ohnehin nach dem Nährstoffentzug bewertet werden, spielt die Herkunft des Stickstoffs solange keine Rolle, wie für den gesamten Betrieb ein einheitlicher Wert berücksichtigt wird.

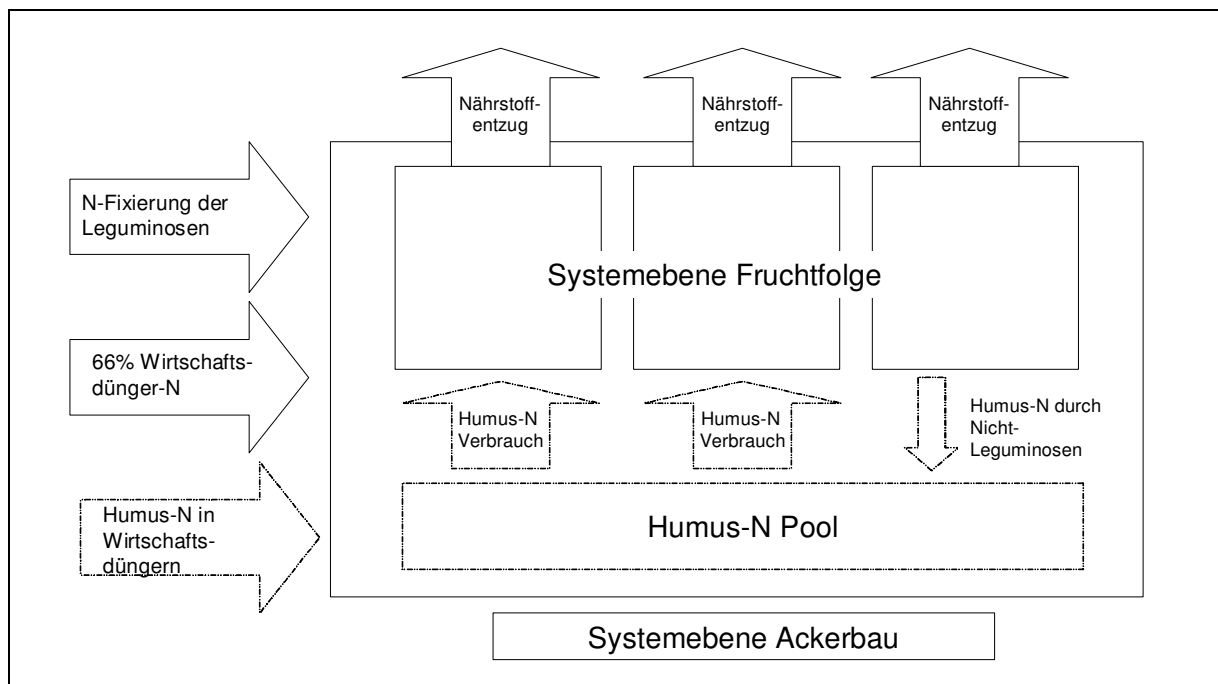


Abb. 19: Ergänzung der bisherigen Stickstoffbewertung um die Stickstofflieferung aus dem Humus-N-Pool

Für eine Bewertung des Stickstoffs im Humus kann sich an der Vorgehensweise in REPRO (HÜLSBERGEN et al., 2000) oder dem Modell von BELCHER et al. 2003 orientiert werden (vgl. Kap. 3.4). In beiden Fällen wird die Ertragsleistung des Stickstoffs bewertet. Bei BELCHER et al. (2003) wird zusätzlich noch Phosphor und die Wasserversorgung bewertet. Alternativ dazu kann auch eine Bewertung über die im ökologischen Landbau verwendeten Stickstoffpreise erfolgen. Zur Bestimmung der Humuszehrung und -mehrung können praktisch alle Modelle

und Bilanzierungsmethoden zum Einsatz kommen, die für den Standort und das Bewirtschaftungssystem geeignet sind. Die unterschiedlich hohen Koeffizienten der Methoden, insbesondere für die Humuszehrung haben hier einen großen Einfluss auf die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Kulturen. Wichtig ist jedoch, dass die Systeme zur Quantifizierung des verfügbaren und des im Humus gebundenen Stickstoffs aufeinander abgestimmt sind um Überschneidungen zwischen den methodischen Ansätzen zu vermeiden.

Für die langsam freigesetzten N-Mengen nach einer Humusanreicherung wird von BELCHER et al. (2003) und JÄGER & MÖLLER (1996) eine Verzinsung durchgeführt.

Wenn eine Humuswirtschaft auf Basis des Fließgleichgewichtes erfolgt, ist dies nicht nötig, da die innerhalb der Fruchtfolge freigesetzte N-Menge der zugeführten N-Menge entspricht.

Auch bei einem Aufbau des Humusvorrates kann auf eine Verzinsung verzichtet werden, da dann berücksichtigt wird, dass die mit dem Humus im Boden gebundene Stickstoffmenge während des dortigen Verbleibs ebenfalls eine Leistung erbringt, wodurch dann auch die Sonderwirkungen der organischen Substanz, relativ pauschal, berücksichtigt würden.

7.3 Qualitative Ableitungen für den monetären Wert der organischen Substanz

Aufgrund der nicht erfüllten Grundannahmen für die Berechnung innerbetrieblicher Werte können keine quantitativen Angaben über den Wert der organischen Substanz getroffen werden. Jedoch lassen sich durch die Kombination der standortspezifischen Anforderungen an die Humusbilanzierung (vgl. KOLBE & PRUTZER, 2004) und die Standortspezifität der Wirkungen qualitative Aussagen für die Differenz zwischen Leistungen und Kosten treffen.

KOLBE (2005 mündl. Mitteilung) teilt die verschiedenen Standorte in sieben Gruppen ein, deren Bedarf an organischer Substanz für den Erhalt des Humusgehaltes von oben nach unten zunimmt. In Tab. 12 wurden die in Kap. 6.3.2 ausgewerteten Dauerversuche und die Ertragssteigerung durch eine Stallmistdüngung von ca. 100 dt/ha diesen Standortgruppen zugeordnet. Auf den Standorten Oldenburg und Limburgerhof stand keine Stallmistdüngung zum Vergleich zur Verfügung, die Düngung erfolgte wie angegeben.

Es lässt sich erkennen, dass in der Gruppe 3 mit Ausnahme des Standortes Limburgerhof eher überdurchschnittliche Ertragssteigerungen verzeichnet werden. Die Lehmböden mit Ausnahme des Standortes Erzgebirge, der sich durch eine besonders niedrige Temperatur (6,3 °C) und hohe Niederschläge (900 mm) auszeichnet, liegen darunter.

Aufgrund der geringen Anzahl der Versuche lassen sich keine eindeutigen Aussagen treffen, in Kombination mit der in Kap. 6.2 zitierten Literatur kann trotzdem eine tendenzielle Einschätzung der Differenz zwischen den Kosten und der Leistung der organischen Substanz erfolgen.

Tab. 12: Vergleich der Standortgruppen mit unterschiedlichem Humusbedarf (nach KOLBE, 2005 mündl. Mitteilung) mit der Ertragssteigerung pro 1000kg Humus-C/ha einer Stallmistdüngung aus Dauerversuchen, die den Standortgruppen zugeordnet wurden

Nr.	Beschreibung der Gruppe	zugeordnete Standorte	Ertragssteigerung bei Stallmist 1
1	Sande in humidem Klima, mit einem C/N-Verhältnis > 13-15, Tone mit mehr als 700 mm Niederschlag und Schwarzerden	Oldenburg ¹	2,8
2	Sande, anlehmige Sande und lehmige Sande mit < 8,5 °C Jahresdurchschnittstemperatur, sowie tonige Lehme und Tone	Müncheberg	4,7
3	Sande, anlehmige Sande und lehmige Sande > 8,5°C Jahresdurchschnittstemperatur	Berlin-Dahlem	6,2
		Puch	6,1
		Speyer	4,6
		Limburgerhof ²	0,7
		Groß Kreuz	5,5
4	stark sandiger Lehm und sandiger Lehm < 8,5°C		
5	stark sandiger Lehm und sandiger Lehm > 8,5°C	Seehausen	3,8
6	Lehme < 8,5 °C	Erzgebirge	7,3
		Rauschholzhausen	3,2
7	Lehme > 8,5 °C		

¹⁾ Stroh, R.-Blatt, Zwfr ²⁾ Stroh + Zwfr

Auf Schwarzerden ist nur mit geringen Aufwendungen für den Humuserhalt zu rechnen, die Ertragswirkung zusätzlich zugeführter organischer Substanz ist eher niedrig einzuschätzen.

Für die anderen Böden in Gruppe 1 lässt sich noch keine Aussage zur Ertragswirkung treffen. Die Standorte in Gruppe 2 - 3 haben einen etwas höheren Bedarf an OS zum Humuserhalt, die Ertragswirkung der OS ist auf den sandigen Böden relativ hoch, zu den tonigen Böden kann keine Aussage getroffen werden. Auf den Sandstandorten dieser Gruppen erscheint deshalb eine Verbesserung der Humusreproduktion am ehesten ökonomisch sinnvoll zu sein.

In Gruppe 4 - 7 nimmt der Bedarf an OS zum Humuserhalt zu. Die OS hat auf Lehmböden grundsätzlich eine niedrigere Ertragswirkung, wenn man von extremeren Standorten wie „Erzgebirge“ absieht. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Standorte eine höhere Umsatzaktivität aufweisen, wodurch die Nährstoffwirkung der organischen Düngung erhöht wird.

Zusätzlich lässt sich noch eine weitere Einschätzung aus dieser Arbeit ableiten:

Aufgrund der sich im Rahmen dieser Arbeit herauskristallisierten hohen Bedeutung der Wirkungen, die mit dem Umsatz der OS assoziiert sind, ist damit zu rechnen, dass eine dem Boden zugeführte Menge Humus-C eine höhere Ertragswirkung hat, als eine durch Extensivierung oder konservierende Bodenbearbeitung „nicht verbrauchte“ Menge Humus-C.

7.4 Fazit

Die monetäre Bewertung der organischen Substanz scheitert bisher an der Bildung wirkungsgleicher Mengen in Bezug auf den Humusersatz und den Ertrag. Der Humusersatz und die Ertragswirkung der organischen Substanz sind von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst, weshalb fraglich ist, ob beide Forderungen der Wirkungsgleichheit überhaupt gleichzeitig erfüllt werden können.

Insbesondere ist es schwierig, einen Zusammenhang zwischen Ertragswirkung und steigender Zufuhr der organischen Substanz herzustellen. Dies kann zum einen auf methodische Einflüsse, wie dem Unterschied zwischen dem auf Basis einer Düngungsstufe ermittelten Maximalertrag und dem „wahren“ Maximalertrag, sowie der Auswahl der Humusbilanzierungsmethode zurückgeführt werden. Zum anderen liegt eine Wechselwirkung zwischen Standort, Art der organischen Düngung, Kultur und Bewirtschaftungssystem vor.

Eine weitere wesentliche Schwierigkeit ist eine dem ökologischen Landbau angemessene Trennung zwischen Nährstoff- und Sonderwirkung. Eine Berücksichtigung der Effizienz der eingesetzten Produktionsfaktoren scheint dafür unerlässlich, erfordert methodisch aber die Quantifizierung der verfügbaren Nährstoffmenge, die ebenfalls vielen Einflüssen unterliegt.

Als einfach durchzuführende Möglichkeit verbleibt die Bewertung von Teilleistungen, die sowohl über die Kosten des Humusersatzes als auch über eine Bewertung der im Humus gebundenen Stickstoffmengen erfolgen kann. Da Stickstoff und Humus im ökologischen Landbau überwiegend mit den gleichen Verfahren „produziert“ werden, laufen beide Bewertungsansätze darauf hinaus, dass der Stickstoff aus der umsetzbaren OBS den gleichen Wert erhält wie der umsetzbare Stickstoff. Die Sonderwirkung der OS lässt sich bei dieser Vorgehensweise bestenfalls noch durch einen Verzicht auf Verzinsung einer Humusanreicherung berücksichtigen. Eine qualitative Abschätzung zur Humusreproduktion ist möglich, durch die Differenz zwischen den standortspezifischen Aufwendungen für den Humusersatz und den zu erwartenden Ertragssteigerungen der Sonderwirkung.

8 Zusammenfassung

Die organische Bodensubstanz (OBS) hat allgemein und insbesondere in der ökologischen Landwirtschaft eine große Bedeutung für die Ökosystem- und Produktionsfunktion des Bodens. Die im ökologischen Landbau eng miteinander verknüpften Betriebszweige tragen in unterschiedlichem Maße zum Humusauf- und -abbau bei. Nach REDELBERGER (2004) fehlen jedoch bisher geeignete Ansätze, um auch die organische Substanz (OS) mit in der Betriebszweigabrechnung, wo innerbetriebliche Leistungen monetär bewertet werden, zu berücksichtigen. Dieser Problematik wurde in der vorliegenden Arbeit genauer nachgegangen.

Die Dynamik der OS und die bereits bestehenden Ansätze einer monetären Bewertung zeigen zahlreiche Einflussgrößen für die Stoffflüsse und den Wert der OS (z. B. Standort, Bewirtschaftungssystem, Aufwandsmenge und Art der OS sowie Preise etc.). Ein besonderes Problem stellt die Bildung wirkungsgleicher Mengen dar, als Bezugsgröße erscheinen lediglich jene geeignet, die sich auf den Humusersatz im Boden beziehen. Außerdem muss eine Abgrenzung zu den in der BZA bereits bewerteten Nährstoffen erfolgen. Deshalb liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit, in der Bildung wirkungsgleicher Mengen auf Basis geeigneter Bezugsgrößen und die Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung der OS.

Die assoziierten Bezugsgrößen für die Wirkungen der OS sind unterschiedlich: Die KAK und alle mit dem Porenvolumen assoziierten Wirkungen der organischen Substanz verhalten sich proportional zum Humusgehalt. Der Stellenwert dieser Leistungen wird besonders durch den inerten Humusgehalt, die Bodenart, den pH-Wert, und die Wasserversorgung beeinflusst. Die biologischen und physiologischen Wirkungen der OS sowie die Aggregatbildung und -stabilität sind dagegen eher mit dem Umsatz der organischen Substanz assoziiert und von Qualitätseigenschaften der OS, Umweltbedingungen und dem Management stärker beeinflusst als durch den Standort.

Als mögliche Bezugs- und Meßsysteme werden Modelle zur C-N-Dynamik und die klassischen Humusbilanzierungsmethoden vorgestellt. Erstere berücksichtigen den Humusgehalt und die Standorteinflüsse und sind deshalb besser geeignet, Veränderung des Humusgehaltes zu prognostizieren, sofern sie für den Standort geeignet sind. Die Auswertung von Literatur zu der Ertragswirkung differenzierter Humusgehalte eines Standortes zeigt aber nur unzureichende Zusammenhänge zwischen beiden Größen.

Die klassischen Humusbilanzierungsmethoden berücksichtigen i. d. R. weder die Dynamik der OS, noch den Standort und unterscheiden sich stark in ihren Grundannahmen und „Idealvorstellungen“. Veränderung des Humusgehaltes infolge der Bewirtschaftung können nur bedingt vorausgesagt werden. Trotzdem werden die verschiedenen organischen Dünger nach ihrer potenziellen Humusersatzleistung eingeschätzt, so dass sich Substitutionsbeziehungen bilden lassen. Mit der Auswertung von 11 Dauerfeldversuchen wird die Zufuhr Humus-C (nach den unteren Werten der VDLUFA-Methode) der Ertragssteigerung der Sonderwirkung gegenübergestellt die Sonderwirkung wird über die Differenz des Maximalertrages bei mine-

ralisch-organischer und mineralischer Düngung ermittelt. Die Korrelation zwischen beiden Größen ist relativ schlecht, insbesondere lassen sich die Substitutionsbeziehungen in Bezug auf die Ertragswirkung zwischen verschiedenen Arten organischer Dünger nicht darstellen.

Ein Vergleich der Langzeit- und Kurzzeitwirkung der OS zeigt, dass diese Vorgehensweise auch nicht besser geeignet ist, um zwischen Nährstoff- und Sonderwirkung zu differenzieren.

Aus der Diskussion über die Ursachen für diese unzureichende Korrelation werden folgende Schlüsse gezogen:

- Der berechnete Ertragsanteil der Sonderwirkung wird davon beeinflusst, ob die auf Basis der Düngungsstufen ermittelten Maximalerträge den „wahren“ Maximalerträgen entsprechen, welche auch zwischen den Düngungsstufen liegen können. Wenige Prozent Abweichung beeinflussen die berechnete Sonderwirkung erheblich.
- Die berechnete Zufuhr Humus-C ist abhängig von der gewählten Humusbilanzierungsmethode.
- Eine größere Datenmenge wäre notwendig um die Wechselwirkungen zwischen Standort, Art der organischen Düngung, Kultur und Bewirtschaftungssystem zu erfassen.
- Die Bezugsgröße Humus-C bzw. Veränderungen im Humusgehalt scheinen die vielfältigen mit dem Umsatz assoziierten Wirkungen nur bedingt zu erfassen.
- Die Quantifizierung der Sonderwirkung über die Maximalerträge bei mineralisch-organischer und mineralischer Düngung berücksichtigt nicht die Effizienz mit der diese Erträge erzielt werden und stellen nur den „letzten, nicht mehr durch Mineraldüngergaben ersetzbaren“ Ertragsanteil der OS dar.
- Eine in gewissen Grenzen bestehende Substitutionsbeziehung zwischen der über Mineraldüngergaben ermittelten Nährstoffwirkung und all jenen Sonderwirkungen der OS, welche die Nährstoffnachlieferung, -aufnahme und -effizienz verbessern, sowie Nährstoffverluste vermindern muss deshalb berücksichtigt werden.
- Eine Übertragbarkeit der ermittelten Ertragsanteile auf den ökologischen Landbau, mit einem deutlich niedrigerem N-Niveau muss aus diesen und anderen Gründen angezweifelt werden.

Eine monetäre Bewertung der OS scheitert somit an der nicht erfüllten Forderung einer Substitutionsbeziehung zwischen verschiedenen Arten der OS mittels wirkungsgleicher Mengen in Bezug auf den Humusersatz **und** den Ertrag. Des Weiteren besteht noch keine, dem ökologischen Landbau angemessene Trennung von Nährstoff- und Sonderwirkung.

Letzteres ließe sich möglicherweise durch Produktionsfunktionen auf Basis der verfügbaren Nährstoffmenge und daraus abgeleiteten Isoquanten lösen, wodurch auch die Effizienz der Nutzung der Produktionsverfahren berücksichtigt werden kann. Neben anderen daraus resultierenden Problemen bleibt die Forderung wirkungsgleicher Mengen davon aber unberührt.

Als praktikable Lösungen verbleibt daher nur eine Bewertung der Teilleistungen über die Kosten des Humusersatzes oder die enthaltenen Stickstoffmengen in der umsetzbaren OBS.

Da für die innerbetriebliche Herstellung von Stickstoff und Humus überwiegend die gleichen Verfahren verwendet werden, laufen beide Ansätze darauf hinaus, dass dem Ersatz von Humusstickstoff der gleiche Wert zugemessen wird, wie der Lieferung von pflanzenverfügbarem Stickstoff.

Als Grundlage für betriebliche Entscheidungen hinsichtlich der Humusreproduktion bietet sich auch noch ein qualitativer Vergleich des standorttypischen Humusbedarfes mit den zu erwartenden Leistungen der OS an.

9 Literaturverzeichnis

- AHL, C., BECKER, K.W., JÖRGENSEN, R.G., KLAGES, F.W., WILDHAGEN, H. (1991): Aspekte und Grundlagen der Bodenkunde, 29. Auflage. Eigenverlag Göttingen und Witzenhausen
- ALABOUVETTE, C. (1990): Biological control of fusarium wilt pathogens in suppressive soils. In: HORNBY (Hrsg) Biological Control of soil-borne plant pathogens. CAB International
- ANDERSON, T.-H., & DOMSCH, K. H. (1990): Application of eco-physiological quotients ($q\text{CO}_2$ and $q\text{D}$) on microbial biomass from soils on different cropping histories. Soil biology and Biochemistry, Vol. 22, S. 251-255
- ANDREAE, B. (1956): Die Humusfrage als betriebswirtschaftliches Problem. Archiv der DLG, Bd. 17, S. 174-190
- ANDREAE, B. (1959): Wirtschaftslehre des Ackerbaus. Ulmer Verlag Stuttgart
- ANTLE, J.M., CAPALBO, S.M., MOONEY, S., ELLIOTT, E.T., PAUSTIAN, K.H. (2001): Economic Analysis of Agricultural Soil Carbon Sequestration: An Integrated Assessment Approach. Journal of Agricultural and Resource Economics Vol. 26(2), S. 344-367
- ARSHAD, M.A., MARTIN, S. (2002): Identifying critical limits of soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 88, S. 153-160
- ASMUS, F. & HERMANN, V. (1977): Zur Reproduktion der organischen Substanz des Bodens zur Sicherung der Reproduktion. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Berlin 15 S. 11-56
- ASMUS, F. (1984): Ermittlung des Bedarfs des Bodens an organischer Substanz auf der Basis von Stickstoffentzügen. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 29 H. 1, S. 31-38
- ASMUS, F. (1990): Versuch M 4 Groß Kreuz – Wirkung organischer und mineralischer Düngung und ihrer Kombination auf Pflanzenertrag und Düngung. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) Dauerfeldversuche, Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer, 2. Auflage. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
- ASMUS, F. (1992): Einfluss organischer Dünger auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 206, Bd. 4, Humushaushalt, S. 127-139. Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin
- ASMUS, F. (1995): Ergebnisse aus einem langjährigen Dauerfeldversuch zur organisch-mineralischen Düngung auf Tieflehm-Fahlerde. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 39, S. 359-367
- AUTORENKOLLEKTIV, (1981): Verbesserung der Humusversorgung der Ackerböden. Agra-Buch, Leipzig-Markkleeberg
- AUTORENKOLLEKTIV, (1983): Einsatzplanung für organische Dünger aus der Tierproduktion. Agra-Buch, Leipzig-Markkleeberg
- AVNIMELECH, Y. (1986): Organic residues in modern agriculture. In: CHEN, Y. & AVNIMELECH, Y. (Hrsg.) The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Martinus Nijhoff Publishers, Niederlande

- BADEWITZ, S. & BEYER, R. (1983): Bewertung von Maßnahmen der Futterproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Erfordernisse der Humusreproduktion. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde*, Berlin, Bd. 29, S. 127 - 134
- BADEWITZ, S. & GATH, C. (1982a): Berücksichtigung von Erfordernissen der Humusreproduktion in Modellen zur Optimierung der Standortverteilung der landwirtschaftlichen Produktion. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde*, Bd. 26, H. 7, S. 459 - 469
- BADEWITZ, S. & GATH, C. (1982b): Bilanzsystem zur Erfassung wichtiger Aspekte der Humusreproduktion in Optimierungsmodellen. *Wissenschaftliche Zeitschrift Universität Halle*, H.5, S. 45-56
- BAKER, K. F. & COOK R. J. (1974): *Biological control of Plant Pathogens*. W.H. Freeman and Company
- BAUEMER, K. (1990): Kapitel 5 Grundlagen der Integration einschließlich Planungs- und Entscheidungskriterien für den Praktiker. In DIERCKS & HEITFUSS (Hrsg.), *Integrierter Landbau*. Verlagsunion Agrar
- BECK, TH. (1991): Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebsschlägen. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, Bd. 68, S. 417-431
- BECK, TH. (1981): Bodenmikrobiologische Auswertung eines mehrjährigen Vergleiches verschiedener Produktionssysteme. *Landwirtschaftliche Forschung So.H.* 37, S. 157-166
- BECK, TH. (1988): Einfluss langjährig unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf bodenmikrobiologische Eigenschaften. *VDLUFA-Schriftenreihe* 28, Teil II, S. 879-891
- BECK, (1989): Einfluss langjährig unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf bodenmikrobiologische Eigenschaften. *VDLUFA-Schriftenreihe*, Bd. 28, Teil II, S. 879-891
- BEHLE-SCHALK, L. & HONERMEIER, B. (2000): Ertragsreaktionen von Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste im internationalen organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Rauischholzhausen. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) *IOSDV, Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche*, UFZ-Bericht Nr. 15
- BELCHER, K. W., BOEHM, M. M., ZENTNER, R. P. (2003): The Economic Value of Soil Quality under Alternative Management in the Canadian Prairies. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 51, S. 175-196
- BEYER, L., SIELING, K., PINGPANK, K. (1999): The impact of a low humus level in arable soils on microbial properties, soil organic matter quality and crop yield. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 28, S.156-161
- BIOLAND (2005): *Bioland Richtlinien*. Bioland e.V.
- BIOPARK (2005): *Erzeugerrichtlinien anerkannter ökologischer Landbau*. Biopark e.V.
- BISCHOFF, R. (2000): Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Speyer. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) *IOSDV, Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche*, UFZ-Bericht Nr. 15
- BMVEL, (2005): *Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2005*
- BOEHM, M. J.; MADDEN, L. V.; HOITINK, H. A. J. (1993): Effect of organic matter decomposition Level on Bacterial species Diversity and composition in relationship to phytium damping-off severity. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 59, No. 12, S. 4171-4179

- BOEKEL, P. (1974): Humusgehalt und Bodenstruktur. Landwirtschaftliche Forschung SH 30/II, S. 127-130. Hrsg. J. D. Sauerlander Verlag, Frankfurt (Main)
- BRANDES, W. & WOERMANN, E. (1971): Landwirtschaftliche Betriebslehre, Bd. 2. Parey Verlag, Hamburg und Berlin
- BURT, O. R. (1981): Farm Level Economics of Soil Conservation in the Palouse Area of the Northwest. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 63, S. 83-92
- CARTER & STEWARD, HRSG. (1996): Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. Advances in Soil Science. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton
- CHEN, Y. & AVIAD, T. (1990): Effects of humic Substances on Plant Growth. In MACCHARTY, P., CLAPP, C. E., MALCOM, R. L., BLOOM, P.R. (Hrsg.) Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc.
- CHEN, Y. & STEVENSON, F. J. (1986): Soil organic matter interactions with trace elements. In: CHEN, Y. & AVNIMELECH, Y. (Hrsg.) The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Martinus Nijhoff Publishers
- CHEN, Y., MAGEN, H., RIOV, J. (1994): Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. In SENESI & MIANO (Hrsg.) Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier Science B.V.
- CSICSOR, J., GERSTE, J., TITKOS, A. (1994): The Biostimulant Effect of Different Humic Substance Fractions on seed Germination. In SENESI & MIANO (Hrsg.) Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier Science B.V.
- DABBERT, S. (1994): Ökonomik der Bodenfruchtbarkeit. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- DABBERT, S. (1990): Betriebswirtschaftliche Beurteilung alternativ bewirtschafteter Betriebe. Agrarwirtschaft, Jg. 39, H. 2, S. 30-37
- DEBRUCK, J. (1974): Die Faktoren der Bodenfruchtbarkeit durch langjährige Strohründung. Landwirtschaftliche Forschung SH 30/II, S. 167-177
- DELL'AMICO, D., MASCIANDARO, G., GANNI, A., CECCANTI, B., GARCIA, C., HERNANDEZ, T., COSTA, F. (1994): Effects of Specific Humic Fractions on Plant Growth. In SENESI & MIANO (Hrsg.) Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier Science B.V.
- DIEPENBROCK, W., HÜLSBERGEN, K.-J., ROST, D. (1998): Forschungsbericht zu den Projekten Informationssystem „Agrar-Umweltindikatoren“ und Betriebsbilanzierungsmodell „REPRO“. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- DIEZ, TH. & BACHTHALER, G. (1978): Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt der Böden. Bayer. Landw. Jb. 55, S. 368-378
- DIREKTZAHLVERPFLV (2004): Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung). Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 58
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT (2004): Die neue Betriebszweigabrechnung. DLG Verlag, Frankfurt

- DORAN, J.W. & SMITH, M.S. (1987): Organic Matter Management and Utilization of Soil and Fertilizer Nutrients. In FOLLET, R.F. (Hrsg.) Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production Systems. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., USA
- DORAN, J. W. (1992): Biochemische Prozesse der Bildung und der Dynamik von Huminstoffen im Boden. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 206. Bd. 4, Humushaushalt, S. 155-167, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- EMMERLING, CH. & SCHRÖDER, D. (1996): Vergleich ökologischer und konventioneller Nutzung: charakteristische Auswirkungen auf biologische und chemische Bodenparameter. Mitteilungen der deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 80, S. 237-240
- EWG 2092/91, (2003): EG-Verordnung Ökologischer Landbau. 3. überarbeitete Auflage, Stand Mai 2003
- FINCK, A. (1991): Pflanzenernährung in Stichworten, 5. Auflage. Ferdinand Hirt Verlag, Berlin, Stuttgart
- FLAIG, W. & SÖCHTIG, H. (1963): Einfluss organischer Stoffe auf die Aufnahme anorganischer Ionen. Landbauforschung Völkenrode, Bd. 13, H. 2, S. 147-148
- FLAIG, W. & SÖCHTIG, H. (1973): Wirkung organischer Bodensubstanzen und Ertragsssicherung. Landbauforschung Völkenrode, Bd. 23, H. 1, S. 19-28
- FLAIG W., NAGAR, B. SÖCHTING, H., TIETJEN, C. (1977): Organic materials and soil productivity. FAO Soils Bulletin. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- FLAIG, W., SÖCHTIG, H., BEUTELSPACHER, H. (1963): Einfluss der Humusstoffe auf die Umtauschkapazität der Böden. Landbauforschung Völkenrode, Bd. 13, H. 1, S. 13-20
- FLIEBBACH, A. & MÄDER, P. (2000): Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agriculture systems. Soil Biology & Biochemistry, Vol. 32, S. 757-768
- FLIEBBACH, A., MÄDER, P., NIGGLI, U. (2000): Mineralization and microbial assimilation of ¹⁴C-labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. Soil Biology & Biochemistry, Vol. 32, S. 1131-1139
- FRANKEN, H. (1985): Einfluss der Landbewirtschaftung auf die Humusversorgung. VDLUFA-Schriftenreihe, 16, Kongressband.
- FRANKO, U., OELSCHLÄGEL, B. (1995): Einfluss von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde Bd. 39, S. 155-163
- FRANKO, U. (1997): Modellierung von Umsatzprozessen der organischen Bodensubstanz. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 41, S. 527-547
- FREIBAUER, A., ROUNSVELL, M. D.A., SMITH, P., VERHAGEN, J. (2004): Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma, Vol. 122 S. 1-23
- FREYER, B. (2003): Fruchtfolgen, Konventionell – Integriert – Biologisch. Ulmer Verlag
- FULLER, W.A. (1965): Stochastic Fertilizer Production Functions for Continous Corn. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 63, No. 1, S. 93-102
- GÄA (2004): Richtlinien für Erzeuger. Gää e.V.

- GABRIELLE, B., MARY, B., ROCHE, R., SMITH, P., GOSSE, G. (2002): Simulation of carbon and nitrogen dynamics in arable soils: a comparison of approaches. *Europ. J. Agronomy*, Vol. 18, S. 107-120
- GRÜNWARD, N. J.; HU, S.; VAN BRUGGEN, A. H. C. (2000): Short-term cover crop decomposition in organic and conventional soils: Charakterization of soil C, N, microbial and plant pathogen dynamics. *European Journal of Plant Pathology* Vol. 106 S. 37-50
- GUCKERT, A. (1992): Bedeutung der Pflanzenwurzeln und ihrer Ausscheidungen als Quellen organischer Stoffe im Boden. *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 206. Bd. 4, Humushaushalt*, S. 97-113, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- GUGGENBERGER, G. (2000): Nachhaltiges Humusmanagement landwirtschaftlich genutzter Böden. *Wissenschaftliche Beiträge der 8. Hochschultagung, „Die Agrarwissenschaften im Übergang zum 21. Jahrhundert: Herausforderungen und Perspektiven.“* Landwirtschaftliche Fakultät der MLU-Halle-Wittenberg
- HAIDER, K. (1992): Biochemische Prozesse der Bildung und der Dynamik von Huminstoffen im Boden. *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 206. Bd. 4, Humushaushalt*, S. 45-62, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- HDLGN (2004): Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung in Hessen. *Hessisches Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz*
- HEGE, U. & KRAUSS, M. (2000): Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Puch. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) *IOSDV, Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche, UFZ-Bericht Nr. 15*
- HEGE, U. (1980): Einfluss kurzfristig starker Humusanreicherung und regelmäßiger organischer Düngung auf Humusgehalt und Ertrag. *Landwirtschaftliche Forschung*, Bd. 33, S. 290-302
- HEGE, U. (1981): Anteil moderner Landbewirtschaftung an der Erosion. *Berichte über Landwirtschaft*, Bd. 197, S. 42-48
- HEINONEN, R. (1974): Humusversorgung, Bodenstruktur und Wasserhaushalt. *Landwirtschaftliche Forschung SH 30/II*, S. 123-126. J. D. Sauerlander Verlag, Frankfurt (Main)
- HEIßENHUBER, A. (1993): Produktionskosten im ökologischen Landbau und Einfluß der EG-Agrarreform auf Rentabilitätskriterien. *Forschung im ökologischen Landbau, Beiträge zur zweiten Wissenschaftstagung im ökologischen Landbau. SÖL-Sonderausgabe*, Nr. 42
- HOFFMANN, S., CSITÁRI, G., HEGEDÜS, L. (2002): The humus content and soil biological properties as a function of organic and mineral fertilization. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde*, Vol. 48, S. 141-146
- HOITINK, H. A. J. & BOEHM, M. J. (1999): Biocontrol within the context of soil microbial communities: A Substrate-Dependent Phenomenon. *Annual Review of Phytopathology*, Vol. 37, S. 427-446
- HÖPER, H. & KLEEFISCH, B. (2001): Untersuchungen bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. *Arbeitshefte Boden*, H. 4
- HÜLSBERGEN, K.J. & DIEPENBROCK, W. (Hrsg.) (2000) *Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau. UZU Schriftenreihe, Neue Folge, Sonderband.* Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

- HÜLSBERGEN, K.J., DIEPENBROCK, W., ROST, D. (2000): Weiterentwicklung des Modells REPRO und GIS-gestützte Anwendung in Referenzbetrieben Sachsen-Anhalts. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt. MLU Halle-Wittenberg
- HÜLSBERGEN, H.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Univ. Halle, Habil.-Schrift, Shaker Verlag
- INFOPORTAL ZUM EMISSIONSHANDEL (2006): http://www.co2-handel.de/article102_0.html Stand, 05.03.06
- JÄGER, C. & MÖLLER, D. (1996): Betriebswirtschaftlicher Teil, Einsatzmöglichkeiten und Absatzpotenziale von Bioabfallkompost in der Landwirtschaft, Modellberechnungen für vier Landkreise Hessens. In STEFFENS, D. & PAPE, H. Umweltverträgliche Anwendung von Bioabfallkompost in der Landwirtschaft. Universität Giessen
- JENKINSON, D. S., & RAYNER, J. H. (1977): The Turnover of Soil Organic Matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. *Soil Science*, Vol. 123, No. 5, S. 298 – 305
- KLASINK, A. & STEFFENS, G. (1995): Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Oldenburg nach neun Versuchsjahren. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde*, Vol.39, S.449-460
- KLIMANEK, E.-M., SCHULZ, E. (1997): C-N-Transformationsprozesse beim Umsatz von organischer Primärschubstanz (OPS) im Boden. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde*, Vol. 41, S. 513-525.
- KLIMANEK, E.-M. (1997): Bedeutung der Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten für die Organische Substanz des Bodens. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde*, Vol. 41, S.485-511
- KÖHN, W., ELLMER, F., PESCHKE, H., CHMIELEWSKI, F.-M., EREKUL, O. (2000): Dauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) IOSDV, Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche, UFZ-Bericht Nr. 15
- KOLBE, H., MEINEKE, S., ZHANG, W.-L. (1995): Differences in organic and mineral fertilization on potato tuber yield and chemical composition compared to model calculations. *Agribiological Research*, Bd. 48, H. 1, S. 63-73
- KOLBE & PRUTZER (2004): Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungsmodellen für Humus an Hand von Langzeitversuchen des Ackerlandes. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- KOLBE, H. (2004): Unveröffentlichtes Material zu KOLBE & PRUTZER, 2004
- KOLBE, H. (2005): Unveröffentlichtes Material, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- KÖRSCHENS, M. & SCHULZ, E. (1999): Die organische Bodensubstanz; Dynamik – Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung
- KÖRSCHENS, M. & WALDSCHMIDT, U. (1995): Ein Beitrag zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Humusgehalt und bodenphysikalischen Eigenschaften. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde*, Bd. 39, S. 165-173
- KÖRSCHENS, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde*, Bd. 41, S. 435-463

- KÖRSCHENS, M., SCHULZ, E. KLIMANEK, E.-M., FRANKO, U. (1997): Die organische Bodensubstanz – Bedeutung, Definition, Bestimmung. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 41, S. 427-433
- KÖRSCHENS, M., WEIGEL, A., SCHULZ, E. (1998): Turnover of Soil Organic Matter (SOM) and Long-Term Balances – Tools for Evaluating Sustainable Productivity of Soils. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Vol. 161, S. 409-424
- KÖRSCHENS, M. HOWITZ, H., HEIN, H.-O. (2002): Untersuchungen über eine Leistungsfähige, Nachhaltige sowie ökonomisch und ökologisch orientierte Landwirtschaft. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Vol. 48, S. 195-211
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E. et al. (2004): VDLUFA Standpunkt, Humusbilanzierung, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA, Bonn
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E. (2005): Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz. Landbauforschung Völkenrode I, (55) S.1-10
- KÖRSCHENS, M. (1980): Beziehungen zwischen Feinanteil, C_T - und N_T -Gehalt des Bodens. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 24, H. 9, S. 585-592
- KUNTZE, H., ROESCHMANN, G., SCHWERDTFEGER, G. (1994): Bodenkunde, 5. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- KUZYAKOW, Y., FRIEDEL, J.K., STAHR, K. (2000): Review of mechanisms and quantification of priming effects. Soil Biology & Biochemistry, Vol. 32, S. 1485-1498
- LAMPKIN, N. & PADEL, S. (1994): The economics of organic farming: an international perspective. CAB International
- LANG, H., DRESSEL, J., BLEIHOLDER, H. (1995): Langzeitwirkung der Stickstoffdüngung IOSDV-Standort Limburgerhof (Deutschland) in der Reihe Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 39, S. 429-448
- LANZER, E.A., & PARIS, Q. (1981): A new Analytical Framework for the Fertilization Problem. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 63, No. 1, S. 93-102.
- LEIBER, F. (1984): Landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre. Parey Verlag, Hamburg und Berlin
- LEITHOLD, G. & HÜLSBERGEN, K. J. (1997): Grundlagen und Methoden zur Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Beitrag zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Bonn, S.56-62
- LEITHOLD, G. & HÜLSBERGEN, K. J. (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Ökologie und Landbau Nr. 105, 26.Jg., Heft 1, S. 32-35
- LEITHOLD, G. (1983): Die Berechnung von fruchtarten- und ertragsorientierten Kennziffern für den Bedarf der Böden an organischer Substanz am Beispiel Zuckerrübe auf sandigem Lehmboden. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, Bd. 27, S. 59-67
- LEITHOLD, G. (1991a): Über den Zusammenhang von Humus und Stickstoff im System Boden-Pflanze und Möglichkeiten einer quantitativen Beschreibung. Wiss. Z. Univ. Halle, H. 3, S. 67-75
- LEITHOLD, G. (1991b): Zur Herleitung der Gleichung der „horizontalen“ Stickstoffbilanz. Wiss. Z. Univ. Halle, H. 6, S. 139-145

- LEITHOLD, G. (1994): Wie viel Humus für die Böden? *Ökologie und Landbau* Nr. 92, 22 Jg., S. 5-7
- LEITHOLD, G. (1995): Zu Besonderheiten des Humus- und Stickstoffhaushaltes im ökologischen Landbau. *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft*, 76, S. 871-874
- LEITHOLD, G. (1996): The special qualities of Humus and nitrogen budget in organic farming. *New Research in Organic Agriculture, IFOAM-Conference, Copenhagen, Vol. 2*
- LEITHOLD, G. (1996): Wie hoch ist der Bedarf des Bodens an organischer Substanz? *Ökologie und Landbau* Nr. 98, 24 Jg., H. 2, S. 42-44
- LEITHOLD, G. (2004): Humusversorgung im ökologischen Landbau: Analyse und Bewertung des Humushaushaltes mit Hilfe von Humusbilanzen. *Tagungsreader, Thüringer Ökologischer Landbau Fachtagung, Schwerpunkt Pflanzenbau. Hrsg. Thüringer Ökoherz e.V., Weimar*
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D., SCHÖNMEIER, H. (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. *Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Initiativen zum Umweltschutz Bd. 3. Zeller Verlag, Osnabrück*
- LEITHOLD, G. (1984): Untersuchung zu der Beziehung zwischen ackerbaulichen Maßnahmen, Ertrag und Humusreproduktion sowie Erarbeitung einer Methode zur Berechnung des Bedarfs des Bodens an organischer Substanz. *Dissertation B. Agrarfakultät Universität Halle*
- LOLL, C. (2003): *Vorsorgender Bodenschutz im Bundes-Bodenschutzgesetz. Duncker & Humboldt Verlag, Berlin*
- LOW, A. J. (1973): Soil structure and crop yield. *Journal of Soil Science*, Vol. 24, No. 2.
- LVL, LANDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDWIRTSCHAFT, LAND BRANDENBURG (2004): *Auswertung der Buchführungsergebnisse ökologisch wirtschaftender Betriebe der fünf neuen Bundesländer*
- MACCARTHY, P., BLOOM, P. R., CLAPP, C.E., MALCOM, R. L. (1990): Humic Substances in soil and Crop Sciences: An Overview. In MACCARTHY, P., BLOOM, P. R., CLAPP, C.E., MALCOM, R. L. (Hrsg.) *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc.*
- MAGID, J. & JENSEN, L. S. (2003): Nutrient turnover in Soil after the addition of organic matter. Chapter 15 in: *Plant Nutrition and Soil Fertility compendium*
- MANZKE, F. (1995): Bodenmikrobiologische und bodenchemische Kenngrößen zur Beurteilung des Umsatzes organischer Bodensubstanz in unterschiedlichen Bodennutzungssystemen, *Dissertation. Cuvillier Verlag Göttingen*
- MITSCHERLICH, E.A. (1947): Das Ergebnis von über 27000 Feld-Düngungsversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, Bd. 38, S. 22-35
- MÖLLER, D. & SCHMID-EISERT, A (1999): Zur ökonomischen Bewertung innerbetrieblicher Leistungen im Organischen Landbau. *5. Wissenschaftstagung S. 459-462*
- MÖLLER, D. (1995): ECOSIM – Ein dynamisches Systemsimulationsmodell für Betriebe des ökologischen Landbaus. *Giessener Schriften zur Agrar- und Ernährungswirtschaft, Heft 23. DLG-Verlag, Frankfurt (Main)*

- MORITZ, C. & LEITHOLD, G. (1990): Kombinationsversuch Seehausen. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) Dauerfeldversuche, Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer, 2.Auflage. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
- MÜCKENHAUSEN, E. (1985): Die Bodenkunde, 3., ergänzte Auflage. DLG Verlag, Frankfurt.
- NATURLAND (2005): Naturland Richtlinien Erzeugung. Naturland e.V.
- OLFS, H.-W. (2000): Wirkung von mineralischer N-, P-, K- und Mg-Düngung in Kombination mit Stallmist in einer Kartoffel-Roggen-Hafer-Rotation. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) IOSDV, Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche, UFZ-Bericht Nr. 15
- OLSEN, S. R. (1986): The role of organic matter and ammonium in producing high corn yields. In: CHEN & AVNIMELECH (Hrsg.) The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Martinus Nijhoff Publishers
- OVERSCH, M., BROLL, G., HÖPNER, H. (2003): Humusversorgung von ackerbaulich genutzten Dauerflächen in Niedersachsen. Möglichkeiten des Einsatzes von Kompost. ISPA, Weiße Reihe, Bd. 21. Vechtaer Druckerei und Verlag
- PAASCH, E.W. (1960): Über Wirkungsweise und Kosten des Stalldüngers. Albrecht-Thaer-Archiv, Bd. 4, H. 5, S. 382-401
- PARTON, W.J., OJIMA, D.S., SCHIMEL, D.S. (1996): Models to Evaluate Soil Organic Matter Storage and Dynamics. In CARTER, M.R. & STEWARD, B.A. (Hrsg.) Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. Advances in Soil Science. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, USA
- PFEFFERKORN, A. & KÖRSCHENS, M. (2000): Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Bad Lauchstädt. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) IOSDV, Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche, UFZ-Bericht Nr. 15
- PHILIPP, W.D. (1988) Biologische Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten. Ulmer Verlag, Stuttgart
- RAUHE, K. & HOBERÜCK, J. M. (1982): Zur Wirkung gestaffelter Mineralstickstoff- und Stallmistgaben auf Pflanze und Boden beim intensiven Hackfrucht-Getreidebau auf Sandlöß-Tieflehm. Wissenschaftliche Zeitschrift Universität Halle, H.5, S. 27-34
- RAUHE, K. & KNAPPE, S. (1971): Systembetrachtung zur Ertragsbildung unter besonderer Berücksichtigung der Humusvorräte des Bodens. Archiv Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenproduktion, Bd. 15, H. 4, S. 281-288.
- RAUHE, K. & LEHNE, I. (1961): Die Ertragswirkung organischer Dünger auf leichtem Boden bei verschiedenen hohen Mineraldüngergaben. Albrecht-Thaer-Archiv, Berlin, Bd. 5, S. 421-437
- RAUHE, K. & LEHNE, I. (1964): Die Bedeutung der organischen Düngung für die bodenfruchtbarkeit. Albrecht-Thaer-Archiv, Berlin, Bd. 8, S. 393-405
- RAUHE, K. & ROST, D. (1983 o. 1984): Ackerbauliche und ökonomische Beurteilung von Bilanzen im Stoffkreislauf eines Ackerbaubetriebes. Tagungsbericht der MLU
- RAUHE, K., & SCHÖNMEIER, H. (1966): Über die Bedeutung des Humusersatzes beim Übergang zu industriemäßigen Produktionsmethoden. Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig, mathematisch Naturwissenschaftliche Reihe 15, Bd. 1, S. 1-5

- RAUHE, K., EICH, D., KUNDLER P. (1982): Hinweise und Empfehlungen zur praktischen Anwendung der seit 1981 gültigen Kennziffern zur Bilanzierung der organischen Substanz. Neue deutsche Bauernzeitung, Mai 1982
- RAUPP, J. (2001): Forschungsthemen und Ergebnisse eines Langzeitdüngungsversuchs in zwei Jahrzehnten; ein Beitrag zur Bewertung von pflanzenbaulichen Langzeitversuchen. Berichte über Landwirtschaft, H.1, S. 71-93
- RECOUS, S. & CADISCH, G. (2004): Organic matter: does it matter, or can technology overcome most problems related to soil fertility? In: HATCH et al., (Hrsg.) Controlling of nitrogen flows and losses. Academic Publishers, Wageningen
- REDELBERGER, H. (1997): Ganzheitliche Betriebswirtschaft im ökologischen Landbau. Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau. Verlag Dr. Köster
- REDELBERGER, H. (Hrsg.) (2004): Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. KTBL Schrift 426. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster
- REICHELT, H. (1990): Dauerversuche auf Berglehm-Braunerde im Erzgebirge. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) Dauerfeldversuche, Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer, 2. Auflage. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
- REISCH, E. & KNECHT, G. (1995): Betriebslehre. Ulmer Verlag, Stuttgart
- REISCH, E. & ZEDDIES, J. (1992): Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Spezieller Teil, 3. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- ROST, D., DIETZEL, H., SCHMIDT, A., NEHRING, W. (1983): Proportionierung von Pflanzen- und Tierproduktion unter besonderer Berücksichtigung Fruchtarten spezifischer Leistungen zur Humusreproduktion. Wiss. Z. Univ. Halle, H. 4, S. 111-120
- RÜBESAM, E. (o.J.): (Leitung des Autorenkollektivs) Empfehlungen zur besseren Versorgung aller Ackerböden mit organischer Substanz. Akademie der Landwirtschaftlichen Wissenschaft. DDR, Berlin
- SAUERBECK, D. & JOHNEN, B. (1974): Radiometrische Untersuchungen zur Humusbilanz. Landwirtschaftliche Forschung SH 30/II, S. 131 – 136. J. D. Sauerlander Verlag, Frankfurt (Main)
- SAUERBECK, D. (1981): Einfluss der Humusversorgung und Düngung auf Bodenleben und Bodenstruktur. Landwirtschaftliche Forschung So.H. 37, S. 147-156
- SAUERBECK, D. (1992): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 206. Bd. 4, Humushaushalt, S. 13-29, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage. Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg und Berlin
- SCHEFFER, F. & ULRICH, B. (1960): Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, III. Teil, Humus und Humusdüngung, Band I, 2. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHREIBER, A. (2005): Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft. Peter Lang Verlag
- SCHROEDER, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten, 5. Auflage. Hirt Verlag

- SEKERA, M. (1984): Gesunder und Kranker Boden, 5. Auflage. Leopold Stocker Verlag
- SMUKALSKI, M., KUNDLER, P., ROGASIK, J. (1990): Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch. In KÖRSCHENS, M. (Hrsg.) Dauerfeldversuche, Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer, 2. Auflage. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
- SÖCHTIG, H. (1964): Beeinflussung des Stoffwechsels der Pflanzen durch Humus und seine Bestandteile und die Auswirkung auf Wachstum und Ertrag. Landbauforschung Völknerode, Bd. 14, S. 9-16
- STAUBER, M.S., BURT, O.R., LINSE, F. (1975): An Economic Evaluation of Nitrogen Fertilization of Grasses When Carry-over is Significant. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 57, No. 3, S. 463-471
- STEINHAUSER, H. (1963): Beiträge zur Quantifizierung innerbetrieblicher Werte im landwirtschaftlichen Betrieb. Berichte über Landwirtschaft, Bd. 41, Teil I: H. 3, S. 466-500, Teil II: H. 4, S. 693-740
- STEINHAUSER, H., LANGBEHN, C., PETERS, U. (1992): Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Allg. Teil, 5. Auflage. UTB, Eugen Ulmer Verlag
- STONE, A. G.; TRAINA, S. J.; HOITINK, H. A. J. (2001): Particulate Organic Matter Composition and Phytium Damping-Off of Cucumber. Soil Science Society of America Journal Vol. 65 S. 761-770
- STUMPE, H., GARZ, J., HAGEDORN, E. (1983): Einfluss unterschiedlicher Humusgehalte des Bodens auf die Erträge der Kulturpflanzen auf einer Sandlehm- Braunschwarzerde. Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, Bd. 27, S. 169-175
- THORUP-KRISTENSEN, K., MAGID, J., JENSEN, L. S. (2003): Catch Crops and green Manures as Biological Tools in Nitrogen Management in Temperate Zones. Advances in Agronomy, Vol. 79, S. 227-300
- TIETJEN, C. & SAUERLANDT, W. (1974): Beziehung zwischen Humusgehalt und Volumengewicht des Ackerbodens nach Anwendung von Stalldung, Kompost und Stroh. Landwirtschaftliche Forschung SH 30/II, S. 131-136. J. D. Sauerlander Verlag, Frankfurt (Main)
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, Vol. 33, S. 141-163
- WEINSCHECK, G. (1956): Zur Theorie und Praxis der Kalkulation im landwirtschaftlichen Betrieb. Berichte über Landwirtschaft, Bd. 34, H. 4, S. 555-588
- WU, L. & MCGECHAN, B. (1998): A Review of Carbon and Nitrogen Processes in Four Soil Nitrogen Dynamics Models. Journal for agricultural Engineering Research, Vol. 69, S. 279-305
- ZIMMER, J., ROSCHKE, M., SCHULZE, D. (2004): Einfluss unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf Ertragsleistung, organische Bodensubstanz und N-Bilanz eines diluvialen Sandbodens – Ergebnisse nach 45 Jahren Dauerfeldversuch P60 (Groß Kreutz, 1959-2003). Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 51, H. 2, S. 135-149

10 Anhang

Anh. I: Koeffizienten der VDLUFA-Methode (2004) und der HE- und HE-ÖL-Methode nach LEITHOLD et al. (1997): Hauptfruchtarten

Hauptfruchtarten	VDLUFA (2004)		HE-Methode nach Leithold et al. (1997)	HE-ÖL-Methode nach Leithold et al. (1997)	HE-Methode nach Leithold et al. (1997)	HE-ÖL-Methode nach Leithold et al. (1997)	Variationsbreite
	kg Humus-C ha		kg Humus-C/ha	kg Humus-C/ha	HE/ha	HE/ha	
	untere Werte	obere Werte					
Zucker- und Futterrübe, einschließlich Samenträger ¹	-760	-1300	-1334	-1972	-2,3	-3,40	1212
Kartoffeln und 1. Gruppe Gemüse	-760	-1000	-1044	-1595	-1,8	-2,75	835
Silomais und 2. Gruppe Gemüse	-560	-800	-783	-1189	-1,35	-2,05	629
Körnermais ohne Stroh	-560	-800					240
Körnermais mit Stroh			-406	-609	-0,7	-1,05	203
Getreide einschließlich Öl- und Faserpflanzen, Sonnenblumen sowie 3. Gruppe Gemüse ²	-280	-400	-406	-609	-0,7	-1,05	329
Körnerleguminosen	160	240	203	203	0,35	0,35	80
<p>1) ohne Koppelprodukte 2) Nach VDLUFA sind die Koeffizienten von Getreide und Ölfrüchten ohne Koppelprodukte, bei den anderen Fruchtarten sind die Koppelprodukte im Humusbedarf berücksichtigt. Nach Leithold et al. 1997 sind die Bedarfskoeffizienten bei Getreide und Raps ohne Koppelprodukte, bei den anderen Fruchtarten sind die Koppelprodukte im Humusbedarf berücksichtigt.</p>							
<p>Die Gruppeneinteilung der Gemüse wird hier nicht aufgeführt, ist aber in der VDLUFA-Methode (Körsches et al., 2004) ausführlich dargestellt.</p>							

Anh. II: Koeffizienten der VDLUFA-Methode (2004) und der HE- und HE-ÖL-Methode nach LEITHOLD et al. (1997): Mehrjähriges Feldfutter

Mehrjähriges Feldfutter	VDLUFA (2004)		HE und HE-ÖL-Methode nach Leithold et al. (1997)		Variationsbreite
	kg Humus-C /ha		kg Humus-C/ha	HE/ ha	
	untere Werte	obere Werte			
Ackergras, Leguminosen, Leguminosen-Gras-Gemenge, Vermehrung und 4. Gruppe Gemüse					
je Hauptnutzungsjahr	600	800			
im Ansaatjahr:					
als Frühjahrsblanksaat	400	500			
bei Gründeckfrucht	300	400			
als Untersaat	200	300			
als Sommerblanksaat	100	150			
Ackergras					
je Hauptnutzungsjahr	600	800	609	1,05	200
im Ansaatjahr:					
als Untersaat	200	300	203	0,35	100
als Sommerblanksaat	100	150	116	0,2	50
Luzerne:					
im 1. Hauptnutzungsjahr	600	800	1044	1,8	444
im 2. Hauptnutzungsjahr	600	800	812	1,4	212
im 3. Hauptnutzungsjahr	600	800	464	0,8	336
im Ansaatjahr:					
als Frühjahrsblanksaat	400	500	696	1,2	296
bei Gründeckfrucht	300	400	348	0,6	100
als Untersaat	200	300	290	0,5	100
als Sommerblanksaat	100	150	174	0,3	74
Leguminosen-Grasgemenge:					
im 1. Hauptnutzungsjahr	600	800	1218	2,1	618
im 2. Hauptnutzungsjahr	600	800	1044	1,8	444
im 3. Hauptnutzungsjahr	600	800	580	1	220
im Ansaatjahr:					
als Frühjahrsblanksaat	400	500	812	1,4	412
bei Gründeckfrucht	300	400	348	0,6	100
als Untersaat	200	300	290	0,5	100
als Sommerblanksaat	100	150	174	0,3	74

Anh. III: Koeffizienten der VDLUFA-Methode (2004) und der HE- und HE-ÖL-Methode nach LEITHOLD et al. (1997): Zwischenfrüchte

Zwischenfrüchte	VDLUFA (2004)		HE und HE-ÖL-Methode nach Leithold et al. (1997)		Variationsbreite
	kg Humus-C /ha		kg Humus-C/ha	HE/ ha	
	untere Werte	obere Werte			
Winterzwischenfrüchte	120	160			464
Winterroggen			-174	-0,30	
Leguminosen/ Nichtleguminosengemenge (Wickroggen, Wickweidelgras)			174	0,30	
Landsberger Gemenge			290	0,50	
Raps, Rübsen, Senf, Phacelia, Perco			87	0,15	
Stoppelfrüchte	80	120			40
Leguminosen/ Nichtleguminosengemenge			116	0,20	
Gräsermischungen			116	0,20	
Raps, Rübsen, Senf, Phacelia, Perco			87	0,15	
Untersaaten:	200	300			232
Gräsermischungen bei Herbstumbruch			174	0,30	
Leguminosen- /Nichtleguminosengemenge bei Herbstumbruch			348	0,60	
Gräsermischungen bei Frühjahrsumbruch bzw. nachfolgender Futternutzung			290	0,50	
Leguminosen- /Nichtleguminosengemenge bei Frühjahrsumbruch bzw. nachfolgender Futternutzung			406	0,70	
Grünhafer u.a. Nichtleguminosen zur Futternutzung (Frühjahrsaussaat)			-116	-0,20	
Brache (einjährig) Selbstbegrünung					
ab Herbst des Vorjahres	180		116	0,20	64
ab Frühjahr des Brachejahres	80		58	0,10	22
Gezielte Begrünung mit Leguminosen-/ Nichtleguminosengemenge					
ab Sommer/ Herbst des Vorjahres	700		870	1,50	170
ab Frühjahr des Brachejahres	400		696	1,20	296
5- jährige Stilllegung					
Selbstbegrünung			1450	2,50	
gezielte Begrünung			2610	4,50	

Anhang

Anh. IV: Koeffizienten der VDLUFA-Methode (2004) und der HE- und HE-ÖL-Methode nach LEITHOLD et al. (1997): Organische Dünger

Organische Dünger	Trocken- masse %	VDLUFA (2004)	HE und HE-ÖL-Methode nach Leithold et al. (1997)		Variationsbreite
		kg Humus-C /ha	kg Humus-C/ ha	HE/ ha	
Pflanzenmaterial:					
Stroh Anbau intensiv	86	80	70	0,12	40,4
Stroh Anbau extensiv		110	70	0,12	
Gründüngung, Rübenblatt, Marktabfälle	10	8	8	0,013*	0,5
Grünschnitt	20	16			
Stallmist					
frisch	17		29	0,05	
	20	28			12,0
	30	40			
verrottet	25	40	41	0,07	16,0
	35	56			
kompostiert	35	62	58	0,1	38,0
	55	96			
Gülle					
Schwein	4	4	4	0,018*	0,2
	8	8	8	0,018*	0,4
Rind	4	6	5	0,022*	0,9
	7	9	9	0,022*	0,1
	10	12	13	0,022*	0,8
Bioabfall					
nicht verrottet	20	30			
	40	62			
Frischkompost	30	40			
	50	66			
Fertigkompost	40	46			
	50	58			
	60	70			
Gärrückstände					
flüssig	4	6			
	7	9			
	10	12			
fest	25	36			
	35	50			
Kompost					
	30	40	81	0,14	41,2
	60	70	81	0,14	
Rindenkompst					
	30	60	81	0,14	40,0
	50	100	81	0,14	

*) Die Reproduktionsfaktoren der Gülle sind für 10% TM angegeben

Anh. V: Datentabelle für Abb. 6 (eigene Berechnungen nach Daten von ZIMMER et al., 2004)

Düngungsvariante	Gesamt-N- Einsatz	Kartoffeln		Silomais		Hafer		W-Roggen 1. Halmfrucht		Erbsen		W-Roggen 2. Halmfrucht		Mittelwert (%) ohne Erbsen	C- Änderung kg C/ha*a	N- Änderung kg N/ha*a
		dt FM/ha	% erhöht	dt TM/ha	% erhöht	dt/ha	% erhöht	dt/ha	% erhöht	dt/ha	erhöht%	dt/ha	% erhöht			
ohne Düngung	0	31,6	47,4	109,5	45,3	16,7	46,1	14,5	31,5	38,4	77,4	18,1	41,9	42,5	-87	-5
Stalldüngung (ohne NPK)	81	51,0	76,6	226,4	93,7	24,5	67,7	31,9	69,3	52,5	105,8	26,2	60,6	73,6	82	10
Stroh ohne N-Ausgleich	81	63,1	94,7	188,6	78,1	33,8	93,4	45,7	99,3	53,3	107,5	42,4	98,1	92,7	-29	-1
Mineraldünger	82	64,0	96,1	227,8	94,3	34,3	94,8	43,6	94,8	51,9	104,6	41,3	95,6	95,1	-95	-7
Gründüngung	83	66,8	100,3	223,5	92,5	33,6	92,8	46,9	102,0	50,2	101,2	41,5	96,1	96,7	-79	-2
Gründüngung mit Stroh	92	68,1	102,3	241,2	99,9	35,2	97,2	45,6	99,1	47,5	95,8	45,2	104,6	100,6	-3	4
Stroh mit N-Ausgleich	95	66,1	99,2	220,6	91,3	36,5	100,8	45,9	99,8	54,2	109,3	42,8	99,1	98,1	6	-3
0,5 Stalldüngung (mit NPK)	124	72,4	108,7	266,7	110,4	38,4	106,1	48,0	104,3	53,9	108,7	46,4	107,4	107,4	59	8
Mineraldünger (erhöht)	129	66,6	100,0	241,5	100,0	36,2	100,0	46,0	100,0	49,6	100,0	43,2	100,0	100,0	-73	-6
Gülle mit Stroh	140	68,1	102,3	230,2	95,3	41,2	113,8	46,0	100,0	52,9	106,7	42,8	99,1	102,1	108	8

Anhang

Anh. VI: Humusbilanzen der IOSDV-Versuche, Bad Lauchstädt, Berlin-Dahlem, Puch, Rauschholzhausen und Speyer

Humusbilanz Bad Lauchstädt IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Winterweizen	-280	-400	S-Zwfr	80	120		560	560		1120	1120	Stroh 60dt	480	660
Sommergerste	-280	-400	W-Zwfr	120	160	2xStallmist	560	560	2xStallmist	1120	1120	Stroh 60dt	480	660
Zuckerrüben	-760	-1300				200dt FM 20% TS			400dt FM 20% TS					
Kartoffeln	-760	-1000												
Summe	-2080	-3100		200	280		1120	1120		2240	2240		960	1320
Saldo				-1880	-2820		-960	-1980		160	-860		-1120	-1780

Humusbilanz Berlin-Dahlem IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Kartoffel	-760	-1000	Stallmist 300dt	840	840	2xStroh	960	1320						
Winterweizen	-280	-400	FM 20% TS			S-Zwfr	80	120						
Sommergerste	-280	-400				Rübenblatt 250dt FM	200	200						
Summe	-1320	-1800		840	840		1240	1640						
Saldo				-480	-960		-80	-160						

Humusbilanz Puch 1 IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Silomais	-560	-800		840	840	Stroh 50 + 55 dt	840	1155	Stroh 50 + 55 dt	840	1155		540	540
Winterweizen	-280	-400	Stallmist 300dt FM 20% TS			Zwischen-frucht 160dt	128	128				Gülle 60m³/ha Rind 7%TS		
Wintergerste	-280	-400												
Summe	-1120	-1600		840	840		968	1283		840	1155		540	540
Saldo				-280	-760		-152	-317		-280	-445		-580	-1060

Humusbilanz Puch 2 IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Silomais	-560	-800	Stroh 50 + 55 dt	840	1155	Stroh 50 + 55 dt	840	1155						
Winterweizen	-280	-400		540	540	Gülle 60m³/ha Rind 7%TS	540	540						
Wintergerste	-280	-400	Gülle 60m³/ha Rind 7%TS			S-Zwfr Senf	80	120						
Summe	-1120	-1600		1380	1695		1460	1815						
Saldo				260	95		340	215						

Humusbilanz Puch 3 IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Zuckerrübe	-760	-1300	Stroh 50 + 55 dt	840	1155	Stroh 50 + 55 dt	840	1155						
Winterweizen	-280	-400	Rübenblatt 350 dt	280	280	Rübenblatt 350 dt FM	280	280						
Wintergerste	-280	-400				W-Zwfr (Leg.)	120	160						
Summe	-1320	-2100		1120	1435		1240	1595						
Saldo				-200	-665		-80	-505						

Humusbilanz Rauschholzhausen IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Zuckerrüben	-760	-1300	Stallmist 300dt	840	840	2xStroh 50dt	800	1100						
Winterweizen	-280	-400	FM 20% TS			2xS-Zwfr	160	240						
Wintergerste	-280	-400				Rübenblatt 58 dtTM/ha	464	464						
Summe	-1320	-2100		840	840		1424	1804						
Saldo				-480	-1260		104	-296						

Humusbilanz Speyer IOSDV														
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr		Variante	Zufuhr	
	uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW		uW	oW
Zuckerrüben	-760	-1300		840	840	2xStroh 60dt/ha	960	1320						
Winterweizen	-280	-400	Stallmist 300dt FM 20% TS			S-Zwfr Ölrettich	80	120						
Wintergerste	-280	-400				Rübenblatt 400 dt/ha	320	320						
Summe	-1320	-2100		840	840		1360	1760						
Saldo				-480	-1260		40	-340						

Anhang

Anh. VII: Humusbilanzen der IOSDV-Versuche Limburgerhof und Oldenburg und der Dauerversuche Seehausen, Müncheberg, Groß Kreuz und Erzgebirge.

Humusbilanz Limburgerhof IOSDV									
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C		
	uG	oG		uG	oG		uG	oG	
Körnermais	-560	-800	Stroh 45 + 100 + 50dt	1560	2145	Stroh 45 + 100 + 50dt	1560	2145	
Winterweizen	-280	-400	Gülle 3x 25m ² Rind 7% TM	675	675	W-Zwfr	120	160	
Wintergerste	-280	-400	W-Zwfr.	120	160				
Summe	-1120	-1600		2355	2980		1680	2305	
Saldo				1235	1380		560	705	

Humusbilanz Oldenburg IOSDV									
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C		
	uG	oG		uG	oG		uG	oG	
Zuckerrübe	-760	-1300	Stroh 40 + 60 dt	800	1100	Gülle 3x 10m ³	180	180	
Winterweizen	-280	-400	W-Zwfr.	120	160	Schwein 6%			
Wintergerste	-280	-400	Rübenblatt 200 dt	160	160	TS			
Summe	-1320	-2100		1080	1420		180	180	
Saldo				-240	-680		-1140	-1920	

Humusbilanz Seehausen											
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C	
	uG	oG		uG	oG		uG	oG		uG	oG
Silomais	-560	-800	Stallmist 300 + 200dt	1400	1400	Stallmist 600 + 400dt	2800	2800	Stallmist 900 + 600dt	4200	4200
Winterweizen	-280	-400	20%TM			20%TM			20%TM		
Wintergerste	-280	-400									
Zuckerrüben	-760	-1300									
Sommergerste	-280	-400									
Summe	-2160	-3300		1400	1400		2800	2800		4200	4200
Saldo				-760	-1900		640	-500		2040	900

Humusbilanz Groß Kreuz M4											
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C	
	uG	oG		uG	oG		uG	oG		uG	oG
Kartoffeln	-760	-1000		683	683		1366	1366		2050	2050
Winterweizen	-280	-400	Stallmist	683	683	Stallmist	1366	1366	Stallmist	2050	2050
Zuckerrüben	-760	-1300	2x244,2dt FM			2x488dt FM			2x732dt FM		
Sommergerste	-280	-400	20% TM			20% TM			20% TM		
Summe	-2080	-3100		1366	1366		2733	2733		4099	4099
Saldo				-714	-1734		653	-367		2019	999

Humusbilanz Müncheberg											
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C	
	uG	oG		uG	oG		uG	oG		uG	oG
Kartoffeln	-760	-1000		336	336		896	896		372	512
Winterweizen	-280	-400		336	336		896	896		372	512
Zuckerrüben	-760	-1300	Stallmist			Stallmist			Stroh 2x40 dt		
Sommergerste	-280	-400	2x24dt TM			2x64dt TM			TM		
Summe	-2080	-3100		672	672		1792	1792		744	1023
Saldo				-1408	-2428		-288	-1308		-1336	-2077

Humusbilanz Erzgebirge											
Kultur	Abfuhr		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C		Variante	Zufuhr Humus-C	
	uG	oG		uG	oG		uG	oG		uG	oG
Feldgras	600	800	Stallmist 25,4 dt TM + R-	356	356	Stallmist 50,8 dt TM + R-	712	712	Stallmist	1424	1424
Kartoffeln	-760	-1000		276	276		552	552	101,6 dt TM + R-Gülle 73,6 dt TM	1104	1104
Winterweizen	-280	-400	Gülle 18,4 dt TM			Gülle 36,8 dt TM					
Sommergerste	-280	-400									
Summe	-720	-1000		632	632		1264	1264		2528	2528
Saldo				-88	-368		544	264		1808	1528

Anh. VIII: Ertragsdaten aus 11 Dauerdüngungsversuchen

Bad Lauchstädt	Zucker- rüben (Zucker dt)	S-Gerste	Kartoffeln	W-Weizen
Mineralisch	91,9	67,7	373,4	83,4
Stallmist 2x200dt/ha	95,8	69,6	395,8	84,7
Stallmist 2x400dt/ha	93,8	70,6	402,7	82,6
Strohdüngung	94,0	69,0	391,5	85,2
Gründüdüngung	93,0	67,2	376,3	83,9
Berlin-Dahlem	Kartoffeln	W-Weizen	S-Gerste	
Mineralisch	384,9	56,2	35,7	
Stallmist 1x300dt/ha	413,0	59,8	36,4	
2xStroh, Rübenblatt, Gründüdüngung	435,6	59,3	38,3	
Puch	Silomais GJNEL/ha	W-Weizen	W-Gerste	
Mineralisch	97,8	88,3	57,9	
Stallmist 1x300dt/ha	106,6	91,4	59,6	
Stroh+ Zwischenfrucht	105,7	88,3	59,6	
Stroh	98,5	87,5	56,6	
Gülle 60m³/ha	107,3	93,6	62,6	
Stroh + Gülle 60m³/ha	107,3	94,1	64,8	
Stroh + Gülle 60m³/ha + Zwfr.	108,3	95,7	63,9	
Puch	Zucker- rüben (Zucker dt)	W-Weizen	W-Gerste	
Mineralisch	104,8	86,0	61,2	
Stroh + Rübenblatt	114,1	89,9	66,4	
Stroh + Zwfr.(Leg.) + R.Bl.	101,5	90,5	69,4	
Raichholzhausen	Zucker- rüben (dt TM/ha)	W-Weizen	W-Gerste	
Mineralisch	151,9	60,0	62,7	
Stallmist 1x300dt/ha	158,2	63,0	62,0	
2xStroh u. Gründüdüngung + Rübenblatt	153,7	61,9	62,8	
Speyer	Zucker- rüben (dt TM/ha)	W-Weizen	W-Gerste	
Mineralisch	137,8	56,8	49,2	
Stallmist 1x300dt/ha	140,1	58,1	52,9	
2xStroh + 1xGründüdüngung + Rübenblatt	133,3	59,3	52,8	

Limburgerhof	Körner- mais	W-Weizen	W-Gerste		
Mineralisch	88,9	64,9	58,9		
Stroh + Zwfr + Gülle	88,9	64,3	61,2		
Stroh + Zwfr	89,9	65,5	59,7		
Oldenburg	Zucker- rüben (Zucker dt)	W-Weizen	W-Gerste		
Mineralisch	94,2	73,9	67,8		
Stroh + Zwfr + Rübenbl.	97,7	76,1	69,5		
Gülle	97,5	75,8	68,9		
Seehausen	Silomais	W-Weizen	W-Gerste	Zucker- rüben dt FM/ha	S-Gerste
Mineralisch	565,5	80,0	74,1	516,7	39,0
Stallmist 300 + 200dt	585,6	81,6	76,8	558,1	42,7
Stallmist 600 + 400dt	586,2	82,4	73,6	571,3	46,4
Stallmist 900 + 600dt	565,7	79,6	74,0	574,8	47,9
Groß Kreuz M4	TM Ertrag Haupterzeugnisse (dt TM/ha) Fruchtfolge: Kartoffeln, W-Weizen, Zuckerrüben, S-Gerste				
Mineralisch	64,9				
Stallmist 122dt	69,8				
Stallmist 244dt	71,7				
Stallmist 366dt	73,8				
Stallmist 488dt	74,0				
Müncheberg	TM Ertrag Haupterzeugnisse (dt TM/ha) Fruchtfolge: Kartoffeln, W-Weizen, Zuckerrüben, S-Gerste				
Mineralisch	88,4				
Stallmist 2x24dt TM	91,2				
Stallmist 2x64dt TM	89,5				
Stroh 2x40 dt TM	90,5				
Erzgebirge Versuchsanlage II	Feldgras (dtTM/ha)	Kartoffeln	W-Weizen		
Mineralisch	109,8	279,1	40,1		
Stallmist 25,4 dtTM + Gülle18,4dt TM	110,9	306,1	41,4		
Stallmist 50,8 dtTM + Gülle 36,8dt TM	109,6	304,4	42,8		
Stallmist 101,6 dtTM + Gülle73,6 dt TM	111,8	319,7	43,0		
Stallmist 152,4 dtTM + Gülle110,4 dt TM	110,8	317,3	44,4		

Anh. IX: Auswertung der Ertragsdaten und der Humusbilanzen von 11 Dauerdüngungsversuchen

	Zucker- rüben	S-Gerste	Kartoffeln	W-Weizen		Fruchtfolge- mittelwert	Zufuhr Humus-C unterer Wert	Zufuhr Humus-C oberer Wert	Bilanzsaldo unterer Wert	Bilanzsaldo oberer Wert	Bodenart	Niederschlag	Temperatur	Ertragssteigerung /1000 kg Humus- C Mittelw.	Hackfrüchte - Mittelw. übrige Früchte		
Bad Lauchstädt																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0	0	0	-2080	-3100	Lehm	484	8,7				
Stallmist 2x200dt/ha	104,2	102,8	106,0	101,6		103,7	1120	1120	-960	-1980						3,3	2,9
Stallmist 2x400dt/ha	102,1	104,3	107,8	99,0		103,3	2240	2240	160	-860						1,5	3,3
Strohdüngung	102,3	101,9	104,8	102,2		102,8	960	1320	-1120	-1780						2,9	1,5
Gründüngung	101,2	99,3	100,8	100,6		100,5	200	280	-1880	-2820						2,3	1,1
Berlin-Dahlem																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1320	-1800	Sand	549	9,2				
Stallmist 1x300dt/ha	107,3	106,4	102,0			105,2	840	840	-480	-960						6,2	3,1
2xStroh, Rübenblatt, Gründüngung	113,2	105,5	107,3			108,7	1240	1640	-80	-160						7,0	6,8
Puch																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1120	-1600	lehmgiger Sand	550	9,9				
Stallmist 1x300dt/ha	109,0	103,5	102,9			105,1	840	840	-280	-760						6,1	5,8
Stroh+ Zwischenfrucht	108,1	100,0	102,9			103,7	968	1283	-152	-317						3,8	6,6
Stroh	100,7	99,1	97,8			99,2	840	1155	-280	-445						-1,0	2,3
Gülle 60m³/ha	109,7	106,0	108,1			107,9	540	540	-580	-1060						14,7	2,7
Stroh + Gülle 60m³/ha	109,7	106,6	111,9			109,4	1380	1695	260	95						6,8	0,5
Stroh + Gülle 60m³/ha + Zwfr.	110,7	108,4	110,4			109,8	1460	1815	340	215						6,7	1,4
Puch																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1320	-2100	lehmgiger Sand	550	9,9				
Stroh + Rübenblatt	108,9	104,5	108,5			107,3	1120	1435	-200	-665						6,5	2,4
Stroh + Zwfr.(Leg.) + R.Bl.	96,9	105,2	113,4			105,2	1240	1595	-80	-505						4,2	-12,5
Rauschholzhausen																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1320	-2100	Löß	603,0	8,1				
Stallmist 1x300dt/ha	104,1	105,0	98,9			102,7	840	840	-480	-1260						3,2	2,2
2xStroh u. Gründüngung + Rübenblatt	101,2	103,2	100,2			101,5	1424	1804	104	-296						1,1	-0,5
Speyer																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1320	-2100	Sand	583,0	9,8				
Stallmist 1x300dt/ha	101,7	102,3	107,5			103,8	840	840	-480	-1260						4,6	-3,2
2xStroh + 1xGründüngung + Rübenblatt	96,7	104,4	107,3			102,8	1360	1760	40	-340						2,1	-9,1
Limburgerhof																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1120	-1600	lehmgiger Sand	545,0	10,0				
Stroh + Zwfr + Gülle	100,0	99,1	103,9			101,0	2355	2980	1235	1380						0,4	-1,5
Stroh + Zwfr	101,1	100,9	101,4			101,1	1680	2305	560	705						0,7	0,0
Oldenburg																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-1320	-2100	humoser, schwach- lehmgiger Sand	728	8,4				
Stroh + Zwfr + Rübenbl.	103,7	103,0	102,5			103,1	1080	1420	-240	-680						2,8	1,0
Gülle	103,5	102,6	101,6			102,6	180	180	-1140	-1920						14,3	1,4
Kombinationsversuch Seehausen																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0	0	-2160	-3300	sandiger Lehm	556	9,0				
Stallmist 300 + 200dt	103,6	102,0	103,6	108,0	109,5	105,3	1400	1400	-760	-1900						3,8	0,7
Stallmist 600 + 400dt	103,7	103,0	99,3	110,6	119,0	107,1	2800	2800	640	-500						2,5	0,0
Stallmist 900 + 600dt	100,0	99,5	111,2	122,8	106,7	106,7	4200	4200	2040	900						1,6	-1,8
Groß Kreuzt M4																	
Mineralisch	100,0					100,0	0	0	-2080	-3100	Sand	550	8,9				
Stallmist 2x244dt	107,6					107,6	1366	1366	-714	-1734						5,5	
Stallmist 244dt	110,5					110,5	2733	2733	653	-367						3,8	
Stallmist 366dt	113,7					113,7	4099	4099	2019	999						3,3	
Stallmist 488dt	114,0					114,0	5466	5466	3086	2366						2,6	
Nährstoffsteigerungs- versuch Müncheberg																	
Mineralisch	100,0					100,0	0	0	-2080	-3100	Sand	521	8,2				
Stallmist 2x24dt TM	103,2					103,2	672	672	-1408	-2428						4,7	
Stallmist 2x64dt TM	101,2					101,2	1792	1792	-288	-1308						0,7	
Stroh 2x40 dt TM	102,4					102,4	744	1023	-1336	-2077						3,2	
Erzgebirge Versuchsanlage II																	
Mineralisch	100,0	100,0	100,0			100,0	0	0	-720	-1000	Lehm	900	6,3				
Stallmist 25,4 dtTM + Gülle18,4dt TM	101,0	109,7	103,2			104,6	632	632	-88	-368						7,3	7,6
Stallmist 50,8 dtTM + Gülle 36,8dt TM	99,8	109,1	106,7			105,2	1264	1264	544	264						4,1	5,8
Stallmist 101,6 dtTM + Gülle73,6 dt TM	101,8	114,5	107,2			107,9	2528	2528	1808	1528						3,1	10,0
Stallmist 152,4 dtTM + Gülle110,4 dt TM	100,9	113,7	110,7			108,4	3792	3792	3072	2792						2,2	7,9
						Mittelwert	103,9	1213	1327	-301	-927			593,3	8,9	4,1	1,7
						Min	99,2	0	0	-2160	-3300			484,0	6,3	-1,0	-12,5
						Max	114,0	5466	5466	3086	2792			900,0	10,0	14,7	10,0