

Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften  
Institut für Bodenkunde und Standortslehre

**Anwendung einer neuen standortabhängigen Methode zur  
Humusbilanzierung an sächsischen Dauertestflächen und Vergleich mit  
anderen üblichen Methoden zur Feststellung des Versorgungsgrades mit  
organischer Substanz im Hinblick auf Sicherung der Nachhaltigkeit der  
Betriebe im konventionellen und ökologischen Landbau**

## **Diplomarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur für Umweltschutz und Raumordnung (Dipl.-Ing.)

vorgelegt von  
**Perry Seibt**

Betreuung

Prof. Dr. F. Makeschin (TU Dresden, Institut für Bodenkunde und  
Standortslehre)  
Dr. H. Kolbe (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Dresden, 30. Mai 2007

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mir während dieser Arbeit hilfreich zur Seite gestanden haben.

Besonderer Dank für die intensive und unkomplizierte Betreuung und die vielen fachlichen Tipps und Hinweise gilt Herrn Dr. Kolbe von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Weiterhin möchte ich Herrn Dr. Albert, Herrn Dr. Beer, Herrn Kurzer und Herrn Dr. Mönicke, ebenfalls von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft für die Bereitstellung notwendiger Daten und für die wertvollen Anregungen danken. Die intensive und ständige Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern dieser Fachbehörde haben entscheidend zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen.

Herrn Prof. Makeschin von der Technischen Universität Dresden danke ich für die fachliche Betreuung.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>II</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes</b> .....	<b>4</b>
2.1 Naturräumliche Gliederung Sachsens .....	4
2.2 Geologische Struktur und Relief .....	4
2.3 Klima .....	6
2.4 Wasser .....	7
2.5 Boden.....	7
2.6 Agrarstrukturgebiete.....	10
<b>3 Datengrundlagen</b> .....	<b>13</b>
<b>4 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>15</b>
4.1 Bedeutung von Humus, Humusbildung .....	15
4.2 Cross Compliance.....	20
4.3 Humusbilanzierung.....	21
4.3.1 Ziel und Prinzip .....	21
4.3.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung.....	23
4.3.3 Schulen der Humusbilanzierung.....	25
4.4 Anwendung von Humusbilanzierungen .....	26
4.4.1 Humusbilanzierung im ökologischen Landbau .....	27
4.4.2 Anwendung konventioneller Humusbilanzmethoden im Ökolandbau.....	28
4.4.3 Besonderheiten des Ökologischen Landbaus in Bezug auf die Humusbilanz ....	29
4.4.4 Anpassung bestehender Methoden an den Ökolandbau .....	31
4.5 Abfuhr organischer Substanz .....	32
<b>5 Methodik</b> .....	<b>35</b>
5.1 Vorstellung und Vergleich üblicher Humusbilanzverfahren.....	35
5.1.1 REPRO .....	35
5.1.2 VDLUFA .....	39

---

5.2	Die standortangepasste Humusbilanzmethode .....	43
5.3	Kalkulation von Abfuhrmengen an organischer Substanz .....	51
<b>6</b>	<b>Ergebnisdarstellung und Auswertung .....</b>	<b>53</b>
6.1	Humusbilanzierung nach REPRO, VDLUFA und standortangepasster Methode .....	53
6.1.1	Ergebnisse nach der Bewirtschaftungsart .....	58
6.1.2	Ergebnisse nach Standort .....	62
6.1.3	Ergebnisse nach Agrarstrukturgebieten .....	67
6.1.4	Ergebnisse nach Bodenart .....	71
6.1.5	Ergebnisse des Klimaszenarios .....	76
6.2	Standortabhängige Abfuhrmengenkalkulation .....	80
6.3	Beziehungen zwischen N-Bilanzen und Humusbilanzen .....	87
<b>7</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>91</b>
7.1	Vorbemerkungen .....	91
7.2	Erwartungen und These .....	92
7.3	Überblick Ergebnisse .....	93
7.3.1	Datenlage .....	93
7.3.2	Ergebnisse der Humusbilanzierung .....	94
7.4	Diskussion der Methodik .....	95
7.5	Bedeutung der Humusbilanz im Klimawandel .....	98
7.6	Ausblick .....	102
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>103</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>105</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>112</b>
	<b>Erklärung .....</b>	<b>113</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimazonen in Sachsen (nach WINKLER ET AL. 1999) .....	6
Abbildung 2: Bodenregionen Sachsens (aus dem Bodenportal der LfL) .....	10
Abbildung 3: Gebietsstrukturen in Sachsen (verändert nach WINKLER ET AL. 1999, S. 17) .....	12
Abbildung 4: Gliederung von Huminstoffen und -säuren, leicht verändert nach HERRMANN & PLAKOLM 1991 .....	16
Abbildung 5: Gleichung zur Berechnung der Humusbilanz (nach KOLBE 2005) .....	22
Abbildung 6: Humusgleichgewicht im Boden und Bedarf des Bodens an organischer Substanz, nach LEITHOLD 2004) .....	23
Abbildung 7: Schulen der Humusbilanzierung (nach BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2005) .....	25
Abbildung 8: Funktionsweise von REPRO (nach KÜSTERMANN ET AL.) .....	36
Abbildung 9: Struktur des Modells REPRO und Vernetzung der Module (nach HÜLSBERGEN 2003) .....	37
Abbildung 10: Bewertungsschema für die Humusversorgung (aus KOLBE 2006c) .....	50
Abbildung 11: Vergleich der Häufigkeit des Vorkommens der verschiedenen Versorgungsstufen bei den untersuchten Humusbilanzmethoden .....	54
Abbildung 12: Klassenhäufigkeiten nach standortangepasster Methode (endgemittelt) .....	55
Abbildung 13: Klassenhäufigkeiten nach standortangepasster Methode (original) .....	56
Abbildung 14: Klassenhäufigkeiten nach VDLUFA (untere Werte) .....	56
Abbildung 15: Vergleich der nach der Höhe der Humusbilanz sortierten Flächen verschiedener Humusbilanzmethoden .....	57
Abbildung 16: Vergleich der Mittelwerte der Humusbilanzierung (nach verschiedenen Methoden) zwischen konventionell und ökologisch bestellten Ackerflächen .....	59
Abbildung 17: Statistischer Vergleich der Humusbilanzmethoden für konventionelle Flächen .....	61
Abbildung 18: Statistischer Vergleich der Humusbilanzmethoden für ökologische Flächen .....	61
Abbildung 19: Humusbilanzen für die untersuchten Methoden nach Standorten sortiert .....	64
Abbildung 20: Vergleich der Humusbilanzmethoden für die Standortgruppe 6 .....	66
Abbildung 21: Humusbilanzen für die untersuchten Methoden nach Agrarstrukturgebieten sortiert .....	68
Abbildung 22: Humusbilanzen für die untersuchten Methoden nach Bodenarten sortiert .....	73
Abbildung 23: Humusbilanzen von heute im Vergleich zu Humusbilanzen des Klimaszenarios (für konventionelle Flächen) .....	77
Abbildung 24: Vergleich der Mittelwerte und Mediane (von 732 konventionell bewirtschafteten Dauertestflächen in Sachsen) zwischen heutigen Klimabedingungen und einem Klimaszenario .....	78

Abbildung 25: Humusbilanzen von heute im Vergleich zu Humusbilanzen des Klimaszenarios (für ökologische Flächen) .....	79
Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte und Mediane (von 28 ökologisch bewirtschafteten Dauertestflächen in Sachsen) zwischen heutigen Klimabedingungen und einem Klimaszenario .....	79
Abbildung 27: Mögliche Abfuhrmengen an organischer Substanz pro Hektar und Jahr, nach Standortgruppen differenziert .....	84
Abbildung 28: Mögliche Abfuhrmengen an organischer Substanz pro Hektar und Jahr, nach Bodenarten differenziert .....	86
Abbildung 29: Beziehungen zwischen den N-Salden und den mit der standortangepassten Methode (endgemittelt) berechneten Humussalden .....	87
Abbildung 30: Beziehungen zwischen den N-Salden und den mit der standortangepassten Methode (gemittelt) berechneten Humussalden .....	88
Abbildung 31: Beziehungen zwischen den N-Salden und den mit der VDLUFA-Methode (untere Werte) berechneten Humussalden .....	89
Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse der Humusbilanzierung mit den Verrechnungsvarianten „endgemittelt“ und „original“ der standortangepassten Humusbilanzmethode .....	96

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Natürliche Standortvoraussetzungen nach Agrarstrukturgebieten (leicht verändert nach WINKLER ET AL. 1999, S. 13) .....	11
Tabelle 2: Korn/Stroh-, bzw. Rübe/Blatt-Verhältnis verschiedener Ackerkulturen.....	14
Tabelle 3: Einstufung der Humussalden (jeweils in Prozent der untersuchten Betriebe).....	29
Tabelle 4: Bewertung der Humussalden (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S.12).....	42
Tabelle 5: Standortspezifische Veränderung der Humusvorräte der Kulturarten in Humusäquivalenten (kg C/ha*a) bei 6 Standortgruppen im Vergleich zu den unteren Werten der VDLUFA-Methode (aus KOLBE 2006a).....	46
Tabelle 6: Reproduktionskoeffizienten organischer Materialien nach standortangepasster Methode (nach KOLBE 2006a).....	47
Tabelle 7: Bewertungsschema für die Humusbilanzklassen nach Kolbe 2006a .....	49
Tabelle 8: Korn/Stroh- bzw. Wurzel/Blatt-Verhältnisse verschiedener Ackerkulturen (nach FÖRSTER, ERNST & ALBERT 2004) .....	51
Tabelle 9: Im Erntegut angenommene Trockenmassegehalte verschiedener Ackerkulturen (HYDRO AGRI DÜLMEN GMBH 1993) .....	52
Tabelle 10: Prozentuale Klassenhäufigkeiten bei den unterschiedlichen Humusbilanzmethoden, unterteilt nach Bewirtschaftungsart .....	58
Tabelle 11: Einteilung der Untersuchungsflächen nach Standortgruppen.....	62
Tabelle 12: Dauertestflächenanzahl je Agrarstrukturgebiet .....	67
Tabelle 13: Prozentuale Verteilung der Bodenarten der 760 DTF im Vergleich zu der Bodenartenverteilung nach MÖNICKE ET AL. (2005) .....	71

---

Tabelle 14: Einteilung der Untersuchungsflächen nach Agrarstrukturgebieten und Bodenarten .....	72
Tabelle 15: Verteilung der Bodenarten auf konventionell und ökologisch bestellten Flächen .....	72
Tabelle 16: Aufkommen an abfahrbaren Reststoffen des Ackerbaus in t/ha*a in Sachsen für 1997 und 1999-2001 (nach vier verschiedenen Methoden berechnet).....	81
Tabelle 17: Strohaufkommen und Strohpotenzial Sachsens für 1997 und 2000 in t/ha neu berechnet nach TWISTEL & RÖHRICHT (2000).....	82
Tabelle 18: Gesamtes abfahrbares Potenzial Sachsens an landwirtschaftlichen Reststoffen für die Jahre 1997 und 2000 .....	83
Tabelle 19: Gesamtpotenzial Sachsens an ackerbaulichen Reststoffen der Jahre 1997 und 2000, korrigierte Ergebnisse .....	83

## Abkürzungsverzeichnis

BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
CC	Cross Compliance
DirektZahlVerpflV	Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung
DTF	Dauertestflächen
EU	Europäische Union
EWR	erweiterte Wurzelrückstände
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
Häq	Humusäquivalente
HE	Humuseinheit
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
NN	Normal Null
NW	Nordwest
NWR	Nachwachsende Rohstoffe
ROS	Reproduktionswirksame organische Substanz
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
SO	Südost
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

# 1 Einleitung

Die Ansprüche an heutige Landwirte sind hoch. Es wird erwartet, dass sie hochwertige Nahrungsmittel und nachwachsende Rohstoffe ressourcenschonend produzieren, gleichzeitig sollen sie einen Beitrag zum Erhalt der Kulturlandschaft und deren Arten- und Biotopvielfalt leisten und nicht zuletzt müssen sie dem internationalen Wettbewerb standhalten (HÜLSBERGEN ET AL. 2002). Weiterhin führten Fortschritte im Pflanzenbau (v. a. bei der Düngung), im Pflanzenschutz, in der Züchtung und Lagerhaltung in den letzten Jahrzehnten in Mitteleuropa zu einer Überproduktion an landwirtschaftlichen Erzeugnissen (NAWRATH, 1998). Ertragsmaximierung muss deshalb nicht mehr Ziel der heutigen Agrarforschung sein. Zunehmende Umweltbelastungen und knapper werdende Ressourcen zeigen den dringenden Bedarf an der Erforschung eines „effizienten Einsatzes der organischen und mineralischen Düngung“ (ZOSCHKE, MARQUARD, DIEPENBROCK 1993) und einer damit verbundenen nachhaltigen Sicherung bzw. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

Bei der notwendigen effizienten Landbewirtschaftung gerät manchmal der Faktor der Nachhaltigkeit in den Hintergrund. Nach BBodSchG §17 (2) zur Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft ist ein Grundsatz „die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource.“ Im Zusammenhang mit dem Thema dieser Arbeit interessiert v. a. Punkt 7, in dem es heißt, dass „der standorttypische Humusgehalt des Bodens, insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität erhalten“ werden soll. Die Fruchtbarkeit eines Bodens ist wesentlich vom Humusgehalt mitbestimmt. Eine ausgeglichene Humuswirtschaft ist damit eine Grundvoraussetzung für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Landwirtschaft.

Zur Einschätzung des Humushaushaltes von Böden dient das Instrument der Humusbilanzierung. Auch die Anforderungen an die Verfahren zur Humusbilanzierung haben sich erhöht. Es sind viele verschiedene gesetzliche Vorgaben, wie z. B. die EU-Verordnung 2092/91 über den ökologischen Landbau, das BBodSchG oder die Cross Compliance-Regelung zu beachten und umzusetzen. Allen Vorschriften gemeinsam ist die Forderung nach einer Erhaltung oder Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und der biologischen Aktivität durch eine Sicherung der standorttypischen Humusgehalte. Daraus ergeben sich folgende wichtige Fragen:

Was ist der standorttypische Humusgehalt?

Wie ist der gegenwärtige Versorgungsgrad der Böden mit organischer Substanz?

In der Realität stehen oft an Humus verarmte Ackerböden völlig mit organischer Substanz überversorgten Grünlandflächen gegenüber. Sowohl die Unter-, als auch die Überversorgung stellen ein hohes Risiko dar. Die Unterversorgung, weil damit die langfristige landwirtschaftliche Produktion gefährdet ist. Die Überversorgung, weil durch Auswaschungen von Nährstoffen (v. a. Nitrat) in natürliche Ökosysteme radikale Veränderungen der Trophie und damit auch der Arten- und Biotopzusammensetzung des Systems einsetzen.

Folglich sind Methoden zur Feststellung des Versorgungsgrades von Böden mit organischer Substanz gefordert, die bessere, d. h. genauere Werte liefern. Auf Grundlage dieser Werte können die Landwirte ihre Art der Bewirtschaftung überprüfen und eventuelle Missstände vermeiden.

### **Zielstellung**

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die auf Grundlage des VDLUFA-Standpunktes zur Humusbilanzierung (KÖRSCHENS ET AL. 2004) weiter entwickelte, standortangepasste Humusbilanzmethode nach KOLBE (2006b) auf sächsische Ackerflächen zu testen. Anschließend wird ein Vergleich der Bilanzen mit den Ergebnissen der VDLUFA-Methode<sup>1</sup> und mit den Ergebnissen von REPRO erfolgen. Für jede untersuchte Fläche werden also mehrere Humusbilanzen über den Zeitraum von sechs Jahren erstellt. Um einen repräsentativen Vergleich zwischen der verschiedenen Bilanzierungsmethoden durchführen zu können, sollen möglichst viele Flächen in die Berechnungen einfließen. Sowohl die Berechnungen der Humusbilanzen, als auch die anschließenden Bewertungen der Ergebnisse werden jeweils unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Sicherung der ackerbaulichen Produktion auf diesen Standorten erfolgen. Ziel der Weiterentwicklung der bisherigen VDLUFA-Methode durch KOLBE (2006b) war es, die Humusbilanz genauer für verschiedene Standorte bestimmen zu können. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass bei einer Bewirtschaftung mit dem Ziel der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit des Standortes, mit einer größeren Sicherheit von einer ausreichenden Versorgung des Bodens mit organischer Substanz ausgegangen werden kann. Die Standortangepasstheit stellt die wichtigste Anpassung der neuen Methode dar.

Ein weiteres Ziel im Rahmen dieser Abhandlung wird sein, die Menge an abfahrbarer organischer Substanz<sup>2</sup> von den untersuchten Flächen festzustellen. Diese wird dann mit bisherigen Ergebnissen zum Potenzial an Biomasse aus der sächsischen Landwirtschaft verglichen. Bei dieser Berechnung wird der Fragestellung nachgegangen, wie hoch die Abfuhr organischer Substanz von einer Fläche sein kann, ohne dass eine negative Humusbilanz (ermittelt durch die neue VDLUFA-Methode) auftritt und somit der Forde-

---

<sup>1</sup> Unter VDLUFA-Methode wird im Folgenden immer die Humusbilanzierung nach dem VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanzierung (KÖRSCHENS ET AL. 2004) verstanden

rungen der Gesetzgebung und der ökologischen Ansprüche der Menschen entsprochen werden kann.

Die vorliegende Diplomarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft erstellt. Die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ist wissenschaftliche Fachbehörde des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL).

---

<sup>2</sup> Im Durchschnitt über den gesamten Betrachtungszeitraum von sechs Jahren

## 2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Die vorliegenden Berechnungen und Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf das Land Sachsen. Die Untersuchungsflächen sind ausgewählte Dauertestflächen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Insgesamt wurde für 760 Flächen (DTF) die Humusbilanz berechnet. Davon sind 28 Flächen ökologisch bewirtschaftet worden, 732 konventionell. Die betrachteten Flächen sind annähernd repräsentativ im gesamten Landesgebiet verteilt (MÖNICKE ET AL. 2005).

Im Folgenden soll eine kurze Beschreibung des Untersuchungsraumes erfolgen:

### 2.1 Naturräumliche Gliederung Sachsens

Naturräumlich kann Sachsen in drei verschiedene Regionen untergliedert werden:

- das Nordsächsische Tiefland
- die Sächsische Gefildezone (Lösshügelland)
- die Sächsischen Mittelgebirge

„Das lössfreie Tiefland als Altmoränengebiet ist mit 18 % der Fläche am geringsten vertreten, dann folgen die sächsischen Mittelgebirge mit 33 % und die Lössgebiete mit 49 % der Fläche.“ (MANNSFELD & RICHTER 1995). Die Landoberfläche steigt vom nordsächsischen Tiefland mit ca. 100 m ü. NN bis auf 800 bis 900 m ü. NN in den südlichen Mittelgebirgen an. Somit ist Sachsens Relief nach Norden, bzw. Nordwesten abgedacht. In gleicher Weise, wie die Oberfläche ansteigt, nimmt die Mächtigkeit des Deckgebirges von Norden nach Süden ab. Diese Voraussetzungen prägen entscheidend das Relief Sachsens (MANNSFELD & RICHTER 1995). Als weiterhin sehr wichtige Komponente für die Gliederung Sachsens nennen MANNSFELD & RICHTER (1995) die geomorphologischen Unterschiede zwischen den Gebieten westlich und östlich der Elbe.

### 2.2 Geologische Struktur und Relief

Die geologischen Strukturen der Grundgebirge Sachsens streichen vorherrschend in SW – NO Richtung, welche gleichzeitig die variskische Hauptrichtung markiert. Ausnahmen bilden hier das NW – SO gerichtete Elbtal und die ebenfalls NW – SO gerichteten Strukturen des Lausitzer Granit-Granodiorit-Massivs und der nördlich davon gelegenen Mulden (GRUNERT 1992). Viele dieser Struktureinheiten des Grundgebirges sind heute jedoch mit jüngeren Bildungen bedeckt, welche aus der Gebirgsabtragung (Molasse) und aus verschiedenen Sedimentationsarten stammen. Vor allem die Wirkung des Inlandeises im Pleistozän prägte die sächsische Landschaft.

### *Das nordsächsische Flachland*

Das Nordsächsische Flachland liegt etwa in einer Höhe von 100 m im Norden und steigt auf etwa 160 m über NN im Süden an. Das geologisch junge Aufschüttungsgebiet ist im Pleistozän entstanden und wird in der geologischen Gegenwart weiter geformt (WINKLER ET AL. 1999).

### *Die sächsische Gefildezone*

Das lössbedeckte Hügelland zwischen dem Nordsächsischen Flachland und dem Sächsischen Mittelgebirge wird auch sächsische Gefildezone genannt. Hier sind sowohl bewegte Hügelreliefs mit tief eingeschnittenen Hohlformen, als auch flachwellige bis ebene Gebiete zu finden. Während der Weichselkaltzeit lag diese Zone etwa 100 km vom Eisrand entfernt. Vorherrschende Nord- und Nordostwinde wehten Flugsand aus dem vegetationslosen Land vor dem Eisrand auf, der sich auf dem langsam ansteigenden Gelände des Vorgebirges bis zu 60 cm hoch ablagerte (WINKLER ET AL. 1999). Dies war die Grundlage für die spätere Entstehung des Lösses, der aus einer Umwandlung des Flugsandes hervorging. Der Löss ist das Ausgangssubstrat für die in der Zone anzutreffenden fruchtbaren Böden.

### *Die sächsischen Mittelgebirge*

Mittelgebirge erfassen den gesamten südlichen Teil Sachsens. Sie werden aufgrund ihrer Entstehung, der Gesteinszusammensetzung, der Vegetation, des Klimas und der wirtschaftlichen Nutzung in verschiedene einzelne Gebirge aufgliedert:

„Das flächenmäßig kleine Zittauer Gebirge gehört zu einem Gebirgszug, der an einer Störungszone als Teil der sächsisch-böhmischen Kreideplatte über dem Lausitzer Granit liegt. Das vorherrschende Gestein ist der Kreidesandstein, die höchsten Erhebungen bestehen aber aus Basalt.“ (WINKLER ET AL. 1999, S. 5). Eine ähnliche geologische Entstehung und Gesteinszusammensetzung hat das Elbsandsteingebirge. Im Zittauer Gebirge und im Elbsandsteingebirge haben sich Reliefs mit Tafelbergen, Ebenen und Tälern herausgebildet, die Felsformationen und Schichtstufen enthalten. Zwischen den beiden Gebirgen liegt das Oberlausitzer Bergland. Es gehört zum Granit-Granodiorit-Massiv östlich der Elbe. Der westliche Mittelgebirgstteil setzt sich aus der Pultscholle des Erzgebirges mit seinem Vorland und dem Vogtland zusammen. Prägend für diese Mittelgebirge ist das Relief mit Hochflächen<sup>3</sup>, Tälern und Einzelbergen. (WINKLER ET AL. 1999). Den Übergang zwischen Erzgebirge und Gefildezone bildet das Erzgebirgsvorland.

---

<sup>3</sup> Die Hochflächen stellen die Reste eines Skulpturreliefs dar.

## 2.3 Klima

Sachsen liegt in der nördlich gemäßigten Zone (Westwindzone) und in verhältnismäßig geringer Entfernung vom Atlantik. Aufgrund seiner Lage herrscht in Sachsen ausgesprochenes Jahreszeitenklima. Nach KÜCHLER & HARNAPP (2004) beträgt der mittlere jährliche Niederschlag im Freistaat Sachsen 710 mm mit regionalen Unterschieden von 500 mm in Westsachsen bis 1.300 mm im Erzgebirge. Die Verteilung der Niederschläge im Jahresverlauf ist relativ gleichmäßig. Regionale Gegebenheiten differenzieren das Klima im Land folgendermaßen:

- I: feucht-mildes Hügelland
- II: Trocken- und Randgebiete
- III: Übergangsgebiet vom Hügelland zu den Vorgebirgslagen bis zu den mittleren Berglagen der Mittelgebirge
- IV hohe Berglagen der Mittelgebirge (> 500 m)

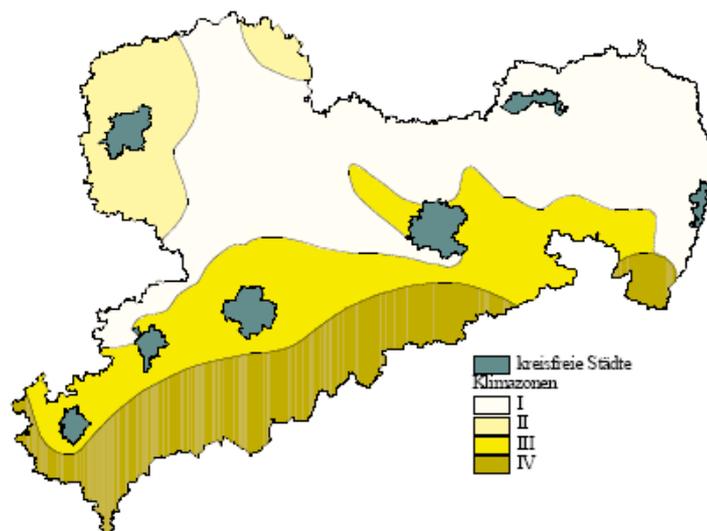


Abbildung 1: Klimazonen in Sachsen (nach WINKLER ET AL. 1999)

Auch MANNSFELD & RICHTER (1995) weisen aufgrund des Reliefs in Sachsen ähnliche Klimagebiete aus: Mittelgebirge, Gebirgsvorland, Tiefland im Lee des Harzes und Subkontinentales Tiefland. Die wesentlichen Parameter des Klimas, wie Temperatur, Niederschlag, Windstärke, Nebel- und Frosthäufigkeit werden vor allem durch die Höhenstufung und die nach Osten zunehmende Kontinentalität bestimmt. Durch das sehr abwechslungsreiche Relief Sachsens werden diese großräumigen Eigenschaften jedoch oft von regionalen Einflüssen, wie Luv- und Lee-Effekten, Stau- und Föhnwirkungen oder Talklimaten überlagert.

Die Leipziger Tieflandsbucht, der größte Teil des Elbtales und ein Teil des oberen Vogtlandes gehören zu den trockensten Gebieten Sachsens. Gleichzeitig ist das Elbtal auch durch eine hohe durchschnittliche Jahrestemperatur gekennzeichnet, wodurch hier Weinanbau möglich wird. Am kältesten sind die Bergregionen des Lausitzer Berglandes und des Erzgebirges bis hin zum Elstergebirge im Vogtland (WINKLER ET AL. 1999).

## 2.4 Wasser

Sachsen verfügt über mehr als 1.000 stehende Gewässer, davon etwa 200 Talsperren und Wasserspeicher (KÜCHLER & HARNAPP 2004). Die Fließgewässer des Landes fließen größtenteils von Süden nach Norden, bzw. Nordwesten und folgen damit der allgemeinen Abdachung. Nach KÜCHLER & HARNAPP (2004) werden insgesamt 15.389 km Gewässerstrecke erfasst. Fast das gesamte Wassernetz gehört zum Elbe-System, deren Wasserläufe alle Richtung Nordsee fließen, was und entwässern damit in die Nordsee. Nur die Neiße und ihre Nebenflüsse im Osten Sachsens fließen zur Oder und entwässern damit zur Ostsee (WINKLER ET AL. 1999). Die Flussschotter der Fließgewässer stellen heute wertvolle Grundwasserspeicher dar. Nur etwa 11 % (80 mm) des Niederschlages in Sachsen tragen zur Grundwasserneubildung bei. 66 % (470 mm) werden als durchschnittliche Verdunstung wieder dem Wasserkreislauf zugeführt und etwa 28 % (160 mm) bilden den oberirdischen Gebietsabfluss als Fließgewässer (KÜCHLER & HARNAPP 2004).

## 2.5 Boden

Sachsen wurde sehr früh besiedelt. Zuerst entwickelte sich das Bauerntum auf lößreichen Standorten, den Altsiedelgebieten. Durch die mit der Zeit zunehmende Siedlungsdichte und die Transitfunktion des Landes wurden schon sehr früh Schädigungen des Bodens sichtbar und spürbar, weshalb der Bodenschutz in Sachsen schon lange eine hohe Bedeutung hat (HUNGER 1992). Belastungen des Bodens erfolgen v. a. durch Stoffein- und -austräge und durch mechanische Belastungen. Heute sind ca. 60 % der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt.

Die Entwicklung von Böden erfolgt immer in Abhängigkeit von Klima, Wasserhaushalt, Grundgestein, Relief, Vegetation, Kulturgeschichte und Nutzungsart, bzw. –dauer. In Sachsen haben sich, aufgrund der schon erwähnten sehr differenzierten Ausgangslage, sehr viele verschiedene Bodentypen und Bodenforen entwickeln können.

Die natürliche Höhenstufung schafft die großräumigen Vorgaben für Bodenentwicklung. Dagegen entscheidet das Grundgestein eher über die kleinräumige Beschaffenheit der Böden. Die heutigen Böden weisen oft einen deutlichen Schichtenaufbau

auf. Dieser resultiert aus verschiedenen Stufen von Fremdüberlagerungen, die das Grundgestein im Laufe der Entwicklung überzogen haben (HUNGER 1992).

Entscheidend für die Bodenbildung in Sachsen sind die nördliche und die gebirgswärtige Lössgrenze. Erstere geht streng mit der Grenze der naturräumlichen Gliederung einher, während die pedologische Grenze zwischen Löss- und Gebirgsregion stärker divergiert (MANNSFELD & RICHTER 1995).

Eine mögliche Gliederung der Böden Sachsens soll im Folgenden vorgestellt werden (nach ZIMMERLING ET AL. 2004). Sie sieht eine Unterteilung der Böden, in Anlehnung an die naturräumliche Gliederung, in Bodenlandschaften und Bodenregionen vor. Dabei erfolgt die Abgrenzung anhand geologischer, klimatischer und morphologischer Kriterien.

### **Bodenregionen in Sachsen:**

#### *Böden der Altmoränenlandschaften*

Die Böden dieser planaren Stufe sind pleistozäne Lockersedimente, die ihre Verbreitung bis zu der so genannten Feuersteinlinie, der Endmarkierung des Inlandeises während der Elster-Kaltzeit, finden. Die vorwiegend sandigen Ausgangssubstrate dieser Böden sind durch einen niedrigen pH-Wert und durch Basenarmut gekennzeichnet. Im Laufe der Entwicklung entstanden aus diesen Sedimenten überwiegend Podsole. Sie sind ertragschwache Standorte mit Ackerzahlen bis 40. Der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche liegt hier unter 40 %.

#### *Böden der Löss- und Sandlösslandschaften*

Ausgangssubstrat für die Entwicklung der Böden in dieser Zone sind periglaziale, äolische Ablagerungen aus dem Pleistozän. Lössse sind vorwiegend in der kollinen Stufe anzutreffen, können aber auch als entkalkter Lösslehm in dünnen Schichten in der submontanen oder auch der montanen Stufe vorkommen. Der dominierende Prozess der Bodenentwicklung ist hier die Lessivierung. Dabei entstehen hauptsächlich ertragsstarke Böden, wie Parabraunerden. Aufgrund der hohen Fruchtbarkeit, die durch Ackerzahlen von über 50 bis teilweise über 80 gekennzeichnet ist, überwiegt in den Gebieten die landwirtschaftliche Nutzung (v. a. durch Ackerbau) mit über 60 % Flächenanteil.

#### *Böden der Berg- und Hügelländer*

In dieser Region sind die Bodenbildungen abhängig vom jeweiligen Ausgangsgestein und von der Mächtigkeit der Lockersedimente. Deshalb unterscheiden ZIMMERLING ET AL. (2004) zwischen folgenden Bodenregionen:

#### *Böden mit hohem Anteil an Sandstein*

Die im Elbsandsteingebirge und im Zittauer Gebirge vorkommenden Sandsteine bilden, vergleichbar mit den Lockersedimenten der Altmoränenlandschaften, ein nährstoffar-

mes, sandiges Substrat mit niedrigen pH-Werten und geringem Wasserhaltevermögen. Eine typische Bodenform ist hier der Podsol aus Sandsteinzersatz.

#### *Böden mit hohem Anteil an Magmatiten und Metamorphiten*

Verwitterungsprodukte von Magmatiten und Metamorphiten, vermischt mit Löss, bilden heute das Ausgangssubstrat der Bodenbildung auf den meisten Gebirgsböden in Sachsen. Als Beispiel einer typischen daraus resultierenden Bodenform kann eine Pseudogley-Braunerde aus lösshaltigem Gneiszersatz genannt werden.

#### *Böden mit hohem Anteil an Ton- und Schluffschiefern*

Diese, nur im sächsischen Vogtland vorkommenden Böden, basieren auf Verwitterungsprodukten von Tonschiefern, Kalken und Diabasen. Teilweise ist auch hier noch ein geringer Lössanteil in den Böden nachzuweisen. Typische Bodentypen sind hier Podsol-Braunerden und, aufgrund der oft geringen Geländeneigung, Pseudogleye.

Trotz der geringen Werte der Ackerzahlen (zwischen 20 und 40), ist der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Sächsischen Hügel- und Bergland mit 40 bis 60 % relativ hoch. Eine Ausnahme bilden hier nur die Kammlagen der Mittelgebirge.

#### *Böden der überregionalen Flusslandschaften*

Junge Auenlehme sind das Resultat nacheiszeitlicher Hochwässer. Aus diesen holozänen Lockersedimenten entstanden die heutigen Auenböden entlang der Wasserläufe, von denen als typischer Vertreter die Vega genannt werden kann. Oft ist eine deutliche Schichtung zu erkennen, die aus den verschiedenen Überschwemmungsphasen stammen. Cirka 80 % der Flussauen werden aufgrund ihrer hohen Fruchtbarkeit (zurückzuführen u. a. auf den hohen Humusgehalt) landwirtschaftlich genutzt. Die Ackerzahlen haben Werte zwischen 50 und 70.

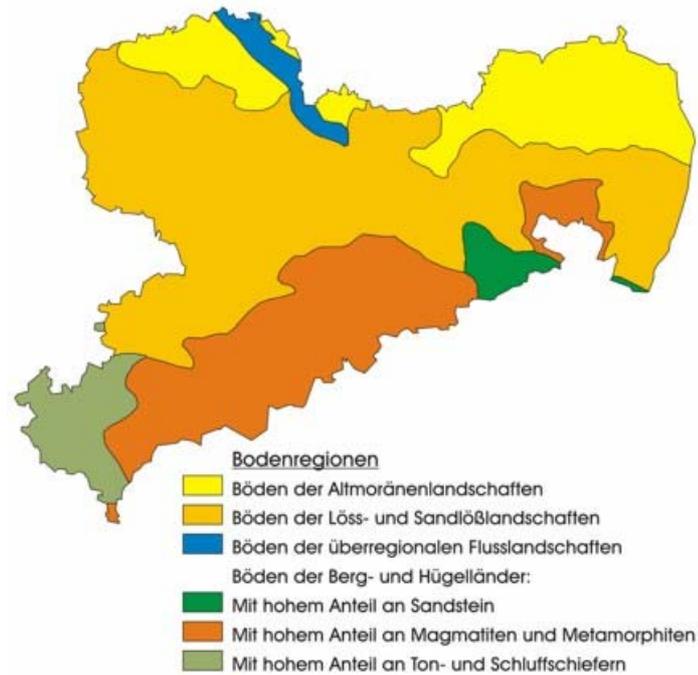


Abbildung 2: Bodenregionen Sachsens (aus dem Bodenportal der LfL)<sup>4</sup>

Wichtig für die Einteilung der Bodenregionen sind die nördliche und die gebirgsseitige Lössgrenze. Die nördliche Grenze verläuft genau mit der Grenze der Naturraumeinheit und ist morphologisch bedingt (Grenze der Inlandvereisung). Dagegen kann die Abgrenzung zwischen Löss- und Gebirgsregionen nicht streng gezeichnet werden (WINKLER ET AL. 1999).

Mit den vorgestellten natürlichen Voraussetzungen der verschiedenen Regionen Sachsens ist auch deren Eignung für die landwirtschaftliche Produktion vorgegeben. Sowohl die großräumigen, als auch die kleinräumigen Standorteigenschaften bestimmen das Potenzial für die landwirtschaftliche Nutzung. Ein wesentlicher kleinräumiger Standortfaktor ist das Relief. WINKLER ET AL. (1999) nennen die Hangneigung, ein Charakteristikum des Reliefs, als eine wesentliche Vorgabe für den Einsatz von Landtechnik, die Kulturartenverteilung und die Bewässerung.

## 2.6 Agrarstrukturgebiete

Von WINKLER ET AL. (1999) wurde eine Einteilung Sachsens in Vergleichsgebiete und Agrarstrukturgebiete vorgestellt, die in der vorliegenden Arbeit verwendet werden wird. Deshalb folgt an dieser Stelle eine kurze Vorstellung des Konzeptes und der daraus folgenden Untergliederung.

<sup>4</sup> Aus: [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/7236\\_7240.htm](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/7236_7240.htm), 15.10.2006

„Ziel der Einteilung Sachsens in Vergleichsgebiete ist es, die Unterschiede der natürlichen Bedingungen (Boden, Klima, Wasserversorgung, Höhenlage und Relief) für die landwirtschaftliche Produktion zu erfassen und zu regionalisieren. Die vorliegenden Vergleichsgebiete stellen eine Anlehnung an die naturräumliche Gliederung Sachsens dar. Diese Einteilung kann eine Hilfe bei der Erarbeitung betriebswirtschaftlicher Richtwerte und der Produktionsgestaltung in den landwirtschaftlichen Unternehmen in den Vergleichsgebieten sein.“ (WINKLER ET AL. 1999, S. 14). Die 12 Vergleichsgebiete wurden anschließend zu fünf Agrarstrukturgebieten aggregiert. Das Zusammenfassen erfolgte mit dem Ziel, Einheiten zu schaffen, die agrarstatistische Auswertungen zulassen und die einer gröberen Planung Rechnung tragen. Diese Einheiten sind somit optimal für eine Auswertung der in der Arbeit vorliegenden Daten der landwirtschaftlichen Flächen geeignet. Folgende Agrarstrukturgebiete wurden durch die Zusammenführung geschaffen:

I Sächsische Heidegebiete, Riesaer-Torgauer Elbtal

II Oberlausitz, Sächsische Schweiz

III Mittelsächsisches Lößgebiet

IV Erzgebirgsvorland, Vogtland, Elsterbergland

V Erzgebirgskamm

In Tabelle 1 sind grundlegende Charakteristika der 5 Gebiete dargestellt:

Tabelle 1: Natürliche Standortvoraussetzungen nach Agrarstrukturgebieten (leicht verändert nach WINKLER ET AL. 1999, S. 13)

Agrarstrukturgebiet	Durchschnittliche Höhe [m ü. NN]	Durchschnittlich verfügbare Feldarbeitsstage	Jahresniederschlag [mm]	Niederschläge Mai-Juli [mm]	Jahresdurchschnittstemperatur [°C]
I Sächsische Heidegebiete, Riesaer-Torgauer Elbtal	134	209	628	202	8,3
II Oberlausitz, Sächsische Schweiz	264	161	763	237	7,4
III Mittelsächsisches Lößgebiet	199	176	668	209	8,0
IV Erzgebirgsvorland, Vogtland, Elsterbergland	418	147	798	265	6,4
V Erzgebirgskamm	621	131	942	300	5,5

Aus der vorgestellten Gliederung können Rückschlüsse auf die Anbaueignung von Fruchtarten, auf im jeweiligen Gebiet vorteilhafte Betriebsstrukturen und damit auch auf die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe gezogen werden. Eine Übersicht dazu befin-

det sich im Anhang<sup>5</sup>. In Abbildung 3 ist die Gebietsstruktur Sachsens anhand der Aufteilung in Vergleichsgebiete und in Agrarstrukturgebiete noch einmal graphisch dargestellt:

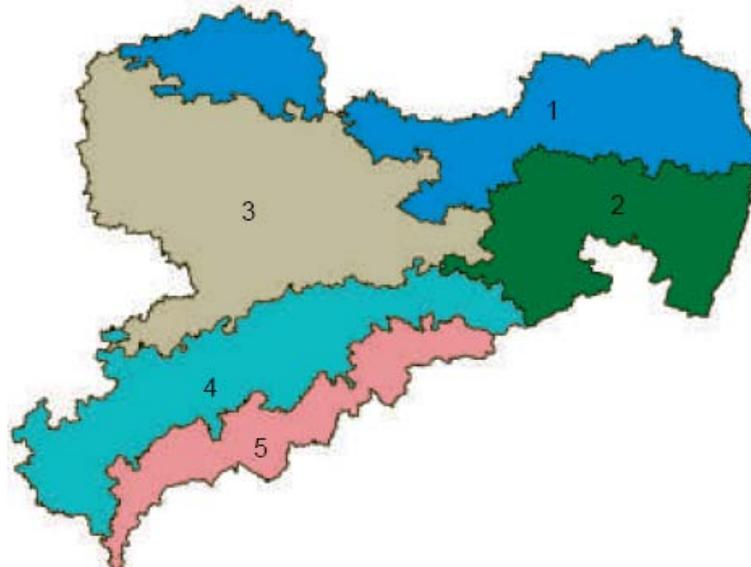


Abbildung 3: Gebietsstrukturen in Sachsen (verändert nach WINKLER ET AL. 1999, S. 17)

Dabei bezeichnen die Ziffern folgende Agrarstrukturgebiete:

- 1 Sächsische Heidegebiete, Riesaer - Torgauer Elbtal
- 2 Oberlausitz; Sächsische Schweiz
- 3 Mittelsächsisches Lössgebiet
- 4 Erzgebirgsvorland, Vogtland, Elsterbergland
- 5 Erzgebirgskamm

---

<sup>5</sup> siehe Anhang 1

### 3 Datengrundlagen

Grundlage der hier vorliegenden Berechnungen sind Daten von 760 Dauertestflächen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Die Dauertestflächen „sind fest eingemessene Praxisflächen bzw. Teile von Praxisflächen, die der standortüblichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung unterliegen.“ MÖNICKE ET AL. (2005, S. 2) Insgesamt stehen in Sachsen mehr als 1000 solcher Dauertestflächen zur Verfügung. Sie sind unter Beachtung von Produktionsbedingungen repräsentativ im Land verteilt. Die von MÖNICKE ET AL. (2005) verwendeten Daten von eben diesen 1000 Dauertestflächen sind der Ausgangspunkt für die Berechnungen in dieser Arbeit. Für die Berechnungen in dieser Arbeit wurden aus den vorhandenen DTF 760 ausgewählt.

Auf den Dauertestflächen werden jährlich die Bewirtschaftungsdaten<sup>6</sup> erfasst. Zusätzlich erfolgt eine Beprobung des Bodens im Frühjahr sowie im Spätherbst. Die vorliegenden Daten stammen aus den Jahren 1998 bis 2003. Allerdings sind nicht für alle in die Kalkulation einbezogenen Flächen Daten über den gesamten Zeitraum von 6 Jahren vorhanden. Um überhaupt Daten von ökologisch bestellten Flächen nutzen zu können, mussten Kompromisse eingegangen werden. So liegen für keine der Ökoflächen Bewirtschaftungsdaten von mehr als 5 Jahren vor.

Die neu berechneten Humusbilanzen nach der standortangepassten Methode von KOLBE (2006b) wurden den errechneten Salden von MÖNICKE ET AL. (2005) gegenübergestellt. Sowohl die REPRO- als auch die VDLUFA-Salden der ausgewählten 760 DTF von MÖNICKE ET AL. (2005) dienen also dem Vergleich und der Validierung der neuen Methode. Die mit REPRO berechneten Humusbilanzen wurden, ebenso wie die mit der herkömmlichen VDLUFA-Methode berechneten Bilanzen, sowohl mit den oberen, als auch mit den unteren Werten der VDLUFA-Methode berechnet. Somit fallen jeweils zwei mit REPRO und zwei mit der VDLUFA-Methode berechnete Humusbilanzen pro Fläche an.

Aus dem Ertrag werden über das Korn/Stroh-, bzw. über das Rübe/Blatt-Verhältnis wie folgt die Mengen an Nebenprodukten errechnet:

---

<sup>6</sup> Bewirtschaftungsdaten sind Angaben zu Fruchtarten, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte und zur Art und Häufigkeit der Arbeitsschritte

Tabelle 2: Korn/Stroh-, bzw. Rübe/Blatt-Verhältnis verschiedener Ackerkulturen

<b>Fruchtart</b>	<b>Korn/Stroh-, bzw. Rübe/Blatt-Verhältnis</b>
Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Dinkel, Durum	1 : 1
Hafer	1 : 1,2
Körnermais, CCN-Mais	1 : 0,8
Zuckerrüben	1 : 0,7
Gehalts-, Masse- und Futterrüben	1 : 0,4
Öllein, Senf	1 : 1,5
Sonnenblumen, Raps	1 : 2

Für die Nutzung der von MÖNICKE ET AL. (2005) errechneten Humusbilanzen nach VDLUFA-Standpunkt war eine Umrechnung der Bilanzen nötig. Zum einen mussten die Bilanzen mit den entsprechenden Trockenmassen der Nebenprodukte neu berechnet werden, zum anderen wurden die Ergebnisse von HE in Humusäquivalente (kg C/ha\*a) umgerechnet. Die Umrechnung der Frischmasse in die Trockenmasse erfolgte anhand der Vorgaben der HYDRO AGRI DÜLMEN GMBH (1993).

## 4 Theoretische Grundlagen

### 4.1 Bedeutung von Humus, Humusbildung

Humus ist ein komplexes Gemisch von organischen Verbindungen pflanzlichen, mikrobiellen und tierischen Ursprungs, die sich in unterschiedlichen Zersetzungsstadien befinden (CAPRIEL 2003). Standortfaktoren, wie Klima, Bodentextur und hydrologische Verhältnisse, sowie Bewirtschaftungsfaktoren, wie Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung prägen sowohl den Humusgehalt, als auch die Humusqualität maßgeblich. Die Abbaugeschwindigkeit von Humusbestandteilen wird u. a. von der Adsorption dieser an Ton- und Schluffpartikel, von der Komplexbildung mit Metallen, dem Einschluss in Bodenaggregaten und der Einlagerung in Tonzwischenschichten bestimmt. Dadurch können auch mikrobiell leicht abbaubare Bestandteile dem direkten Zugriff der Mikroorganismen entzogen werden und somit relativ lange Verweilzeiten erreichen. Alle diese Vorgänge sind jedoch reversibel und abhängig von vielen Faktoren, z.B. der chemischen Zusammensetzung und Struktur der Ton-, Schluff- und Sandpartikel, der Bodenbearbeitung, der Witterung und dem pH-Wert (CAPRIEL 2003).

Generell besteht der Humus aus einer leicht und einer schwer abbaubaren Fraktion mit ihren entsprechenden Verweilzeiten. 60 – 80 % des gesamten Humus gehören zu den „passiven“, bzw. schwer abbaubaren Fraktionen, die v. a. durch Adsorption lange Verweilzeiten aufweisen. Der Rest bildet den "aktiven", also rascher umsetzbaren Anteil. Je nach Bodenart variiert der Anteil der Fraktionen. Mit steigendem Tongehalt der Böden verringert sich der aktive Anteil, gleichzeitig steigt jedoch der  $C_{org}$  – Gehalt (CAPRIEL 2003). SCHEFFER & ULRICH (1960), HERRMANN & PLAKOLM (1991) u. a. benutzen statt „passiver“ und „aktiver“ Fraktion auch die Bezeichnungen Dauerhumus und Nährhumus. Dauerhumus entsteht durch die Umwandlung von organischer Substanz in sekundäre, stabile Huminstoffe mit unterschiedlichem Polymerisierungsgrad und Säurecharakter (KUNTZE et al. 1983). Hauptbestandteile des Dauerhumus sind die zu den Huminstoffen zählenden Fulvosäuren, Huminsäuren und Humine (NAWRATH 1998). Abbildung 4 zeigt noch einmal eine Übersicht zu den Humusarten und deren Inhaltsstoffen:

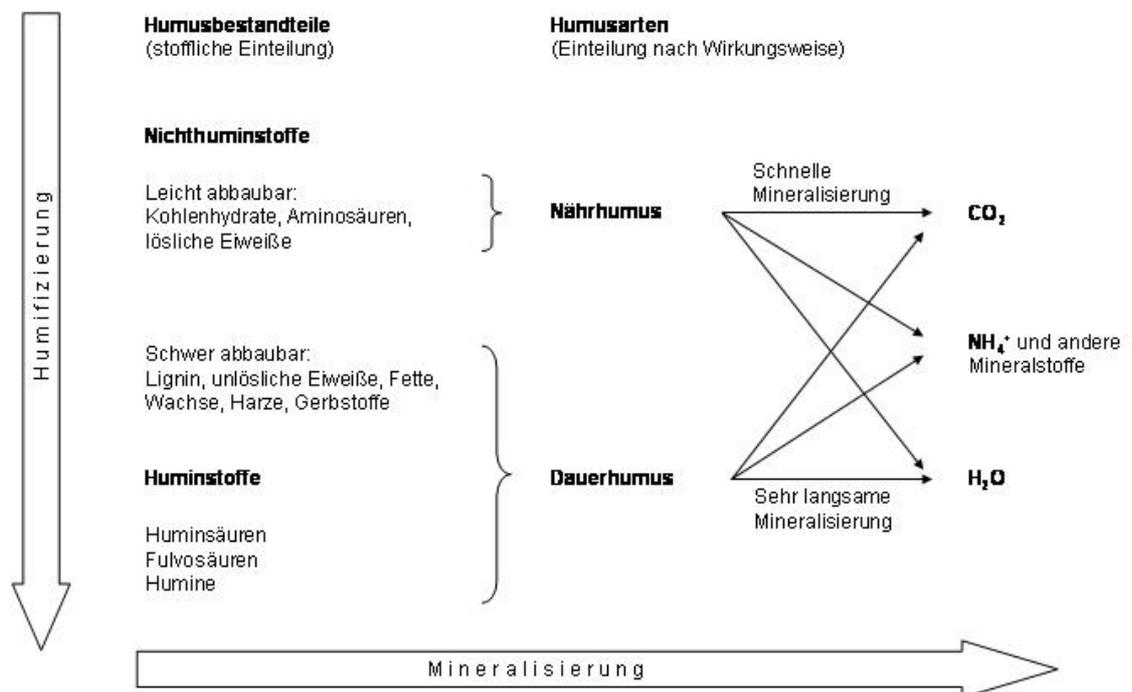


Abbildung 4: Gliederung von Huminstoffen und -säuren, leicht verändert nach HERRMANN & PLAKOLM 1991

### Charakterisierung von Humus

Organische Substanzen bestehen hauptsächlich aus den Elementen C, H, N, O, P und S. Diese Elemente kommen im Boden aber auch in anorganischen Verbindungen vor. Somit ist eine analytische Trennung zwischen den organischen und anorganischen Komponenten schwierig und lediglich für Kohlenstoff und bedingt für Stickstoff möglich. Eine Charakterisierung von Humus kann demnach vor allem durch die Bestimmung von  $C_{\text{org}}$ ,  $N_{\text{org}}$  und dem C/N Verhältnis vorgenommen werden:

#### Organischer Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ )

Kohlenstoff ist ein wichtiger Bestandteil der org. Bodensubstanz, der auch in anorganischer Form als Carbonat - Calcit, Dolomit und Magnesit vorkommt.

Allgemein gilt:  $C_t = C_{\text{org}} + C_{\text{carbonat}}$

Der  $C_{\text{org}}$  - Gehalt des Bodens kann als Maß für den Humusgehalt des Bodens angesehen werden. Nach MÖNICKE ET AL. (2005) kann die organische Substanz eines Bodens wie folgt aus dem Kohlenstoffgehalt ermittelt werden:

$$C * 1,72 = \text{org. Substanz (Humus)}$$

Typische  $C_{\text{org}}$  – Gehalte von Acker-Böden in Bayern liegen zwischen 1,0 und 3,2 % (CAPRIEL 2003).

#### *Organischer Stickstoff ( $N_{\text{org}}$ )*

Stickstoff liegt im Boden überwiegend in organischer Form (Proteine, Peptide, Amino-zucker etc.) vor. Der anorganische Anteil des Stickstoffs wird im Wesentlichen von Nitrat und Ammonium gestellt und macht in der Ackerkrume  $< 5\%$  aus. Deswegen kann der Gesamt-Stickstoff ( $N_{\text{t}} = N_{\text{org}} + N_{\text{min}}$ ) normalerweise als ein guter Indikator für  $N_{\text{org}}$  in der Ackerkrume angesehen werden. In Ton- und Unterböden kann der  $N_{\text{min}}$ -Anteil infolge der Ammoniumfixierung höher sein. Hier ist eine Korrektur notwendig ( $N_{\text{org}} = N_{\text{t}} - N_{\text{min}}$ )

#### *C/N-Verhältnis*

Das C/N Verhältnis als Maß für den Abbaugrad der organischen Bodensubstanz ist als klassischer Indikator für die Humusqualität zu sehen. Mit fortschreitender Humifizierung werden Pflanzenreste (C/N ca. 30 – 80) mikrobiell abgebaut. Damit verbunden sind eine Freisetzung von  $\text{CO}_2$  und die Bildung von mikrobieller Biomasse und Metaboliten. Das Verhältnis von C zu N verengt sich. Der C/N Quotient ist von Bodentextur und Bewirtschaftung abhängig. Ein typisches C/N Verhältnis liegt zwischen 8 und 9.

#### **Ökologische Funktionen von Humus:**

Ein ausreichender Humusgehalt ist Voraussetzung für eine nachhaltige natürliche Bodenfruchtbarkeit. Durch den Humus werden die Bodeneigenschaften beeinflusst, die auf die Ertragsfähigkeit, Bearbeitbarkeit, Erosionsanfälligkeit und auch auf die Filter- und Pufferfunktion einwirken (CAPRIEL 2003).

Im Folgenden werden die wichtigsten ökologischen Funktionen von Humus dargestellt (vgl. SAUERBECK 1992 und CAPRIEL 2003):

- Speicher und Transformator von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff, Schwefel und Phosphor: Nährstoffnachlieferung und Verbesserung der Nährstoffausnutzung, wichtiger N-Pool im Stickstoffkreislauf mit 95 bis 98 % des Gesamt-N des Bodens
- Filter und Puffer: Immobilisierung und Entgiftung toxischer Substanzen
- als  $\text{CO}_2$ -Senke: C-Speicherung und Beeinflussung des  $\text{CO}_2$ -Haushaltes der Atmosphäre
- Förderung der bodenbiologischen Aktivität: erhöhter mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch die Bodenfauna bei guter Humusversorgung, damit verbundene phytosanitäre Wirkungen (Hygienisierung)
- Aufbau eines günstigen Bodengefüges: erhöhte Aggregatstabilität, gute Bodendurchlüftung, verbesserte Wasserspeicherung und Durchwurzelbarkeit; vermin-

derte Bodenerosion durch geringere Verschlammungsneigung, höhere Infiltrationsrate und geringeren Oberflächenabfluss

- Verminderung der Gefahr der Bodenschadverdichtung bei optimaler Humusversorgung
- Erhöhung der Bodentemperatur durch Lichtabsorption
- reversible Bindung von Kationen (Mg, K usw.) an die funktionellen Gruppen der organischen Substanz, damit Schutz vor Auswaschung dieser, was v. a. in Regionen mit sandigen Böden von hoher Bedeutung ist
- hydrophile Gruppen der Huminstoffe binden das Bodenwasser und beeinflussen dadurch die nutzbare Feldkapazität.

### **Gute fachliche Praxis in der Humusversorgung**

Wie schon in der Einleitung erwähnt, beschreibt §17 Abs.2, Nr.7 des BBodSchG als einen Grundsatz der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft, dass „der standorttypische Humusgehalt des Bodens, insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität erhalten“ werden soll.

Laut (CAPRIEL 2003) ist die praktische Umsetzung dieses Grundsatzes z. Z. nicht uneingeschränkt möglich, da in der Vergangenheit die Bestimmung des Humusgehalts ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) nicht zur Standardbodenuntersuchung gehörte und damit wichtige Referenzwerte fehlen.<sup>7</sup> Da sich jedoch der Humusauf- und -abbau im Boden relativ langsam vollzieht, ist eine Zunahme oder Abnahme des Humusgehalts bei Bewirtschaftungsumstellungen je nach Maßnahme im Allgemeinen erst nach etwa fünf Jahren analytisch nachweisbar. Somit sollte ein standorttypischer Humusgehalt erst dann vorliegen, wenn die Ackerfläche über mindestens 10 Jahre nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis bewirtschaftet wurde. Wichtig dabei ist nach SAUERBECK (1992, S. 25-26) v. a., dass Bewirtschaftungsweisen und Anbausysteme sorgfältig auf die Bodeneigenschaften abgestimmt werden und dass eine „Neubesinnung auf die deutlich bessere Selbstregulationsfähigkeit humushaltiger und daher biologisch aktiverer Böden...“ stattfindet, ohne dass zu heute nicht mehr praktikablen Landbauformen zurückgekehrt werden muss.

Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gibt für die Umsetzung des Gesetzes unter Berücksichtigung der Guten fachlichen Praxis fol-

---

<sup>7</sup> Ein wichtiger Schritt zur Umsetzung des §17 BBodSchG in Bayern wurde mit der Anlage einer Humusdatenbank vollzogen, in der sich Humusdaten von sowohl konventionell, als auch ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen befinden. CAPRIEL (2006) untersuchte basierend auf dieser Datenbank die Spannweiten für Humusgehalte und -qualität in Abhängigkeit von der Bodenart. Somit sind jetzt in Bayern eine Bewertung der Humuskennwerte und eine Abschätzung der Versorgung der Böden mit Humus möglich.

gende Empfehlungen (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2006):

- In der landwirtschaftlichen Praxis muss sich die Bedeutung der organischen Bodensubstanz für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit stärker widerspiegeln.
- Zur Abschätzung des Versorgungsgrades des Bodens mit organischer Substanz ist eine geeignete Humusbilanzmethode heranzuziehen.
- Bei festgestelltem Humusmangel soll eine ausreichende Zufuhr organischer Substanz erfolgen.
- Eine zunehmende Bedeutung für die Humusversorgung der Böden wird die Nutzung neuartiger konservierender Bestellverfahren mit Mulchsaat haben.

Im Folgenden werden landwirtschaftliche Maßnahmen, die den Humus erhalten und fördern noch einmal benannt (CAPRIEL 2003):

- Standortgerechte ausgewogene vielfältige Fruchtfolge
- Ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz
- Homogene Verteilung und Einarbeitung von Pflanzenresten und organischen Düngern
- Vermeidung von Schadverdichtungen
- Standort- und bedarfsgerechte Bodenbearbeitung, dabei geht CAPRIEL (2003) davon aus, dass die in der Regel geringere Bearbeitungsintensität konservierender Bestellverfahren wirksam zum Erhalt und zur Mehrung der organischen Bodensubstanz mit allen positiven Folgewirkungen auf die Bodenstruktur und -eigenschaften beitragen kann
- Beachtung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis bei Düngungsmaßnahmen
- Standortgerechte Kalkversorgung

Der VDLUFA betont allerdings in seinem Standpunkt zur Humusbilanzierung (KÖRSCHENS ET AL. 2004) auch, dass unnötig hohe Humusgehalte in Folge des hohen Mineralisierungspotenzials Ursache für vermeidbare Stickstoffausträge in die Hydro- und Atmosphäre sein können. Der Verband begründet damit auch die Notwendigkeit, einfache und damit breit anwendbare Methoden zur Beurteilung und Sicherstellung einer für Produktion und Umweltschutz optimalen Versorgung der Böden mit Humus zu entwickeln.

## 4.2 Cross Compliance

Die jüngste Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union beinhaltet neben einigen anderen Neuerungen auch eine so genannte „Cross Compliance“ Regelung. Gemäß dieser Verordnung (EG Nr. 1782/2003) wird die Gewährung von Direktzahlungen ab dem Jahr 2005 auch an die Einhaltung von Vorschriften in den Bereichen Umwelt, Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit sowie Tiergesundheit und Tierschutz geknüpft (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2006). Das heißt, dass Verstöße gegen die bestehenden Vorschriften auch zu Kürzungen der Direktzahlungen führen.

Die Cross Compliance - Regelungen umfassen (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2006):

- Regelungen zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand,
- Regelungen zur Erhaltung von Dauergrünland,
- 19 einschlägige, schon bestehende EU-Regelungen.

Gesetzliche Bestimmungen zu Cross Compliance finden sich in der Ratsverordnung (EG) Nr. 1782/2003, der EG-Durchführungsverordnung (EG) Nr. 796/2004, dem Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz sowie in der Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung.

Künftig werden im Rahmen von Cross Compliance konkrete Anforderungen an die landwirtschaftliche Flächennutzung gestellt, die unter anderem der optimalen Versorgung des Bodens mit organischer Substanz dienen sollen. Ziel ist ein ordnungsgemäßer Humushaushalt des Bodens (ABRAHAM, REINICKE, CHRISTEN 2005).

Nach der DirektZahlVerpflV § 3 (Erhalt der organischen Substanz im Boden und Schutz der Bodenstruktur) werden zu dieser Thematik folgende Vorgaben gemacht:

- Angestrebt ist der Anbau von mindestens drei verschiedenen Fruchtarten, die jeweils mehr als 15 % der Anbaufläche einnehmen. Eine Addition von mehreren Fruchtarten mit geringerem Anbauumfang oder ein Aufeinanderfolgen verschiedener Fruchtarten in den nächsten Anbaujahren ist dabei möglich. Bei Erfüllung dieser Vorgaben muss keine Humusbilanz erstellt werden.
- Bei Nichteinhaltung der Vorgaben besteht ab Januar 2005 die Verpflichtung, entweder eine jährliche Bilanz unter Einbeziehung aller Ackerflächen des Betriebs zu errechnen, oder den Bodenumusgehalt seiner Ackerflächen durch wissenschaftlich anerkannte Methoden zu bestimmen. Dabei muss mindestens alle sechs Jahre eine erneute Bestimmung des Bodenumusgehaltes erfolgen.

Generell liegt der Zielbereich der Humusversorgung bei -75 bis +125 Humusäquivalenten, d. h. im optimalen Versorgungsbereich (ABRAHAM, REINICKE, CHRISTEN 2005). Der Humusbilanzsaldo darf allerdings im Durchschnitt von drei Jahren nicht unter einen

Wert von -75 Humusäquivalenten nicht unterschreiten. Wenn der bilanzierte Wert (3-Jahres-Durchschnitt) unter diesem Grenzwert liegt, besteht die Verpflichtung, an einer Beratungsmaßnahme teilzunehmen (SÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT 2007).

Bei einer gewählten Bodenuntersuchung müssen folgende Werte eingehalten werden:

- bei Böden mit < 13 % Tongehalt: 1 % Humus
- bei Böden mit > 13 % Tongehalt: 1,5 % Humus.

Auch hier sind bei einer Unterschreitung der vorgegebenen Grenzwerte die Teilnahme an einer Beratungsmaßnahme und die Erstellung einer Humusbilanz spätestens im zweiten darauf folgenden Jahr verpflichtend.

## 4.3 Humusbilanzierung

### 4.3.1 Ziel und Prinzip

Die Humusbilanzierung ist ein Instrument zur indirekten Einschätzung des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden. Mit ihrer Hilfe können folgende Probleme der direkten Messung und Bewertung von Humusgehalten umgangen werden (HÜLSBERGEN ET AL. 2000, S. 64):

- räumliche und zeitliche Variabilität von Humusgehalten
- lange Zeiträume bis zum sicheren Nachweis von Bewirtschaftungseinflüssen

„Ziel der Humusbilanzierung ist es, auf Schlag-, Fruchtfolge- oder Betriebsebene die bewirtschaftungsbedingt zu erwartenden Veränderungen der Humusvorräte acker- und gartenbaulich genutzter Böden abzuschätzen und mit der organischen Düngung entsprechend zu reagieren.“ (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S. 3). LEITHOLD ET AL. (1996, S.19) sehen als Gegenstand der Humusbilanz „Aussagen zum Bedarf des Bodens an organischer Substanz in Abhängigkeit von der Bodennutzung, insbesondere der Fruchtfolgegestaltung, teilweise auch von der Bodenbearbeitungsintensität.“ Für eine nachhaltige Nutzung der Ackerböden ist es unverzichtbar, die Prozesse der Mineralisation und der Humifizierung im Gleichgewicht zu halten. Nur so kann eine standortgerechte und genügende Versorgung der Kulturen gesichert werden (LEITHOLD 2004). LEITHOLD & BROCK (2006, S.1) formulieren das Ziel einer Humusbilanz deshalb wie folgt: „Mit Hilfe der Humusbilanz wird überprüft, ob zwischen den humusaufbauenden und humusabbauenden Prozessen in Ackerböden ein Fließgleichgewicht besteht. Eine ausgeglichene Humusbilanz [Saldo ca.  $\pm 0$ ; Versorgungsgrad des Bodens mit organischer Primärsbstanz ca.100 %] lässt auf eine Erhaltung des Humusvorrates im Sinne einer nachhaltigen Produktion schließen.“

Mit einer Humusbilanzierung soll die Nachhaltigkeit der Produktion gesichert und das Verlustpotenzial für Stickstoff begrenzt werden. Weiterhin informiert die Kenntnis der Humusbilanz über die Veränderungen der Stickstoffvorräte der Böden und ist somit Voraussetzung, um aufgrund schlag- oder betriebsbezogener Stickstoffsalden (Input - Output) die aktuelle Gefahr von N-Verlusten zu beurteilen (KÖRSCHENS ET AL. 2004).

Vergleichbar mit anderen Bilanzierungen, ergibt sich auch bei der Humusbilanzierung das Saldo aus Zufuhr und Verlust. Das Prinzip der Humusbilanz besteht darin, dass dem durch den Anbau Humus zehrender Fruchtarten (Hackfrüchte, Silomais...) verursachten Humusbedarf die Zufuhren durch den Anbau Humus mehrender Fruchtarten, wie Leguminosen und Feldgras und organische Dünger (Stroh, Stallmist, Gülle) gegenübergestellt werden (HÜLSBERGEN ET AL. 2005):

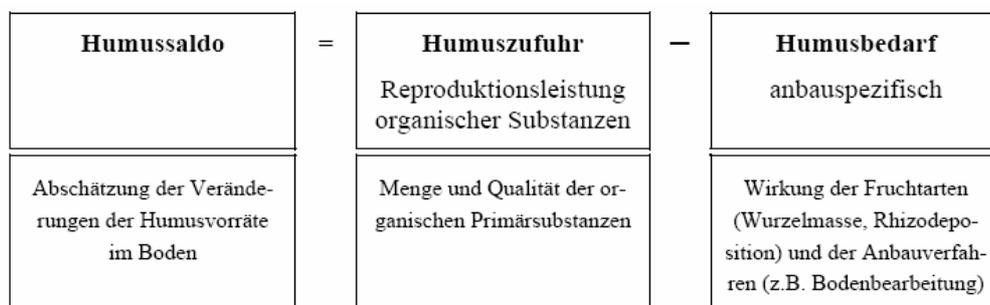


Abbildung 5: Gleichung zur Berechnung der Humusbilanz (nach KOLBE 2005)

Der Humuszuwachs, bzw. -verlust im Boden wird durch das Wurzelsystem der angebauten Pflanzen und durch die speziellen Anforderungen der Kultur an die Bearbeitung beeinflusst. Aus der Menge und der Qualität von zugeführten Ernterückständen und organischem Dünger lässt sich deren unterschiedliche Fähigkeit zur Humusreproduktion ermitteln (LEITHOLD & BROCK 2006).

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden zur Humusbilanzierung 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.“ (UDE 2006, S. 34). Es sei jedoch erwähnt, dass es auch Methoden zur Humusbilanzierung gibt, die den vorhandenen Humusspiegel berücksichtigen (z. B. das Modell CANDY-Carbon-Balance).

### 4.3.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung

Aus den Bilanzsalden kann und sollte die zukünftig sinnvollste und nachhaltigste Art der Landwirtschaft im Hinblick auf die optimale, standortangepasste Humusversorgung der Böden abgeleitet werden (LEITHOLD & BROCK 2006).

Humusverlust	Humusersatz	
$HG \cdot MR_{HG} \geq OD \cdot HR_{OD} + EWR \cdot HR_{EWR}$		[1]
<p><u>Humusbruttoverlust (HBV)</u> = <math>HG \cdot MR_{HG}</math> (abhängig von Boden, Klima, Anbautechnik)</p>		[2]
<p><u>Humusnettoverlust (HNV)</u> = <math>(HG \cdot MR_{HG}) - (EWR \cdot HR_{EWR})</math></p>		[3]
<p>Bedarf an organischem Dünger zum Humusbilanzausgleich <math>\geq \frac{(HG \cdot MR_{HG}) - (EWR \cdot HR_{EWR})}{HR_{OD}}</math></p>		[4]
<p><b>Symbole:</b></p> <p>HG = Humusgehalt (<math>t \cdot ha^{-1}</math>)</p> <p>OD = org. Dünger in TM (<math>t \cdot ha^{-1}</math>)</p> <p>EWR = Ernte- und Wurzelrückstände in TM (<math>t \cdot ha^{-1}</math>)</p> <p><math>MR_{HG}</math> = Mineralisierungsrate des Humusgehaltes</p> <p><math>HR_{OD}</math> = Humifizierungsrate des organischen Düngers</p> <p><math>HR_{EWR}</math> = Humifizierungsrate der EWR</p>		

Abbildung 6: Humusgleichgewicht im Boden und Bedarf des Bodens an organischer Substanz, nach LEITHOLD 2004)

Nach LEITHOLD & BROCK (2006) liegt ein Fließgleichgewicht dann vor, wenn der Saldo  $\pm 0$  bzw. der relative Versorgungsgrad des Bodens mit organischer Substanz 100 % erreicht. Negative Salden weisen auf einen ungedeckten Bedarf an organischer Primärsubstanz hin. Positive Bilanzsalden lassen auf eine Überversorgung, unter Umständen auch zulasten anderer Fruchtfolgen oder Schläge schließen.

Die Grundlage für eine Humusbilanzierung liefern die Bilanzkoeffizienten der verschiedenen humuszehrenden und humusmehrenden Kulturen, sowie für die organischen Dünger verschiedener Herkunft. Als Humuszehrer werden hierbei Kulturen angesehen, bei deren Anbau die eigenen Ernte- und Wurzelrückstände zur Kompensation der anbaubedingten Humusverluste nicht ausreichen. Sie sind mit einem Minusvorzeichen versehen. Alle anderen Kulturen hinterlassen einen Überschuss an Humus und sind damit Humusmehrer (LEITHOLD & BROCK 2006).

Das Ergebnis einer Humusbilanzierung liefert jedoch lediglich einen Humussaldo, der nach Guter fachlicher Praxis ausgeglichen oder leicht positiv sein soll. Ein negativer Saldo bezeichnet, wie schon beschrieben, einen Humusverlust. CAPRIEL (2003) merkt an, dass die Humusbilanzierung keine Beurteilung des Humusversorgungszustandes von Ackerböden erlaubt. Er denkt, dass eine Bewertung der Humusversorgung hinsichtlich der Humusqualität und des Humusgehaltes nur durch eine regelmäßige Humusuntersuchung ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) z. B. in einem Turnus von zehn Jahren ermöglicht werden kann. Erste Ergebnisse in dieser Richtung sind von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 2006 veröffentlicht worden (siehe CARPIEL 2006). Hier wurden Humusdaten von konventionell und ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen Bayerns in einer so genannten Humusdatenbank gesammelt. Anschließend wurden von CARPIEL (2006) die Spannweiten für Humusgehalte und Humusqualität in Abhängigkeit von der Bodenart untersucht. Eine Bewertung der Humuskennwerte und damit auch eine Abschätzung der Versorgung der Böden mit Humus sind jetzt in Bayern möglich. Damit kann zumindest in diesem Bundesland der §17, Abs. 2 Nr.7 des BBoSchG in die Praxis umgesetzt werden<sup>8</sup>.

Bei einer Interpretation der Ergebnisse einer Humusbilanzierung ist immer zu beachten, dass die Humusbilanzen nur eine grobe Abschätzung des Versorgungsgrades mit organischer Substanz erlauben (vgl. HÜLSBERGEN, BIERMANN & KALK 1999). Kleinräumige Standortunterschiede innerhalb der Schläge, die eine Übertragung von Feldversuchsergebnissen in die landwirtschaftliche Praxis schwierig machen, sind ein Grund für die generelle Unschärfe der Bilanzierungsmethoden. Mit einer Bilanzierung über längere Zeiträume kann die Aussagekraft der Humusbilanzierung erhöht werden. KOLBE (2006b) bezeichnet die Verfahren der Humusbilanzierung aufgrund der erheblichen Streubreite der Ergebnisse als semi- oder halbquantitative Verfahren.

HÜLSBERGEN, KÜSTERMANN & SCHMID (2005, S. 59) sehen in der Humusbilanzierung ein Instrument zur indirekten Einschätzung des Humusgehaltes ackerbaulich genutzter Böden: „Mit Humusbilanzen sind quantitative Aussagen zur Humusersatzwirtschaft realer oder geplanter Bewirtschaftungssysteme möglich. Das rein rechnerische, auf langjährigen Versuchsergebnissen und den Bewirtschaftungsdaten der Betriebe basierende Bilanzierungsverfahren liefert auf einfache Weise Informationen für eine aus Sicht der Bodenfruchtbarkeit und des Umweltschutzes anzustrebende Versorgung der Ackerböden mit organischer Masse.“

---

<sup>8</sup> vgl. auch Kapitel 3.1

### 4.3.3 Schulen der Humusbilanzierung

Gegenwärtig finden in Deutschland verschiedene Bilanzverfahren, bzw. -methoden Anwendung, welche zum Teil auf sehr unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben basieren. Diese Methoden sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden:

Methode	Maßeinheit	Literatur
ROS	Reproduktionswirksame organische Substanz (ROS) = organische Trockenmasse (TM) von Stalldung 1 t ROS = 1 t org. TM von Stalldung	Asmus & Herrmann (1977)
HE	Humuseinheiten (HE) = 1 t Humus mit 55 kg N und 580 kg C 1 t ROS = 0,35 HE	Leithold & Hülsbergen (1998)
VDLUFA	Humusäquivalent = 1 kg Humus-C 1 t ROS = 200 kg Humus-C 1 HE = 580 kg Humus-C	VDLUFA (2004)

Abbildung 7: Schulen der Humusbilanzierung (nach BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2005)

#### ROS

Die ROS-Methode nach ASMUS & HERRMANN (1977) und nach KÖRSCHENS & SCHULZ 1999 stellt das älteste der aufgeführten Verfahren dar. Sie basiert auf alten Dauerversuchen auf unterschiedlichen Bodenarten Ostdeutschlands (KOLBE 2005) und reflektiert daher auch die Bewirtschaftungs- und Ertragssituation der 60er und 70er Jahre. Aus pragmatischen Gründen wurde Stalldung als Bezugsbasis gewählt, weil zu diesem organischen Dünger die meisten Langzeituntersuchungen vorlagen. Ein Problem dabei ist die unterschiedliche Zusammensetzung dieses organischen Düngers, der je nach Ausgangsstoffen und Aufbereitung erheblich variieren kann. Weiterhin werden aktuelle Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht berücksichtigt.

Bei dieser Schule wird die einfache Humusproduktion, d. h. ein langfristig gleich bleibendes Potenzial an organischer Substanz im Boden angestrebt.

Neben der ROS-Methode zur einfachen Humusproduktion von ASMUS & HERRMANN (1977) muss noch nach der erweiterten Humusproduktion (KUNDLER ET AL., 1981 in RAUHE ET AL. 1982) unterschieden werden. Höhere Bedarfskoeffizienten für die Humuszehrer und eine stärkere Differenzierung der Leistungen der Humusmehrer kenn-

zeichnen diesen Ansatz, der als Ziel eine Steigerung der Erträge durch die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit (RAUHE ET AL. 1982) hat.

### **HE**

Die Humuseinheiten-(HE)-Methode nach LEITHOLD ET AL. (1997) wurde im Wesentlichen auf der Grundlage des Stickstoffhaushaltes abgeleitet, um einen Ertragsbezug herstellen zu können (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2005). HÜLSBERGEN entwickelt dann 2003 eine computergestützte dynamische HE-Methode, bei der die Standortbedingungen, die Höhe der N-Düngung und der Ertrag als Einflussfaktoren berücksichtigt werden. In Anlehnung an die HE-Methode besteht eine Erweiterung für die Bedingungen des ökologischen Landbaus als ÖKO-Methode zur stark erweiterten Humusreproduktion (LEITHOLD & HÜLSBERGEN 1998). Hierbei wurden die Bedarfskoeffizienten um 50 % erhöht

Für den Aufbau der HE- bzw. der ÖKO-Methode (und damit auch für das Kalkulationsprogramm REPRO) wurden im Wesentlichen konventionelle Versuche am Anbauort Seehausen (stark sandiger Lehm) des ostdeutschen Trockengebietes berücksichtigt (KOLBE 2005).

Für den konventionellen Landbau gilt bei der HE-Methode (HE) die erweiterte Reproduktion, d. h. der Humusgehalt der Böden soll langfristig erhöht werden.

### **VDLUFA**

Die VDLUFA-Methode wurde 2004 verabschiedet. Sie stellt einen Kompromiss der beteiligten Wissenschaftler dar und wurde aus der ROS und der HE-Methode entwickelt. Die VDLUFA-Methode ist für integriert wirtschaftende Betriebe konzipiert, für den ökologischen Landbau ist u. a. aus Gründen der Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff eine höhere Zufuhr organischer Substanzen erforderlich (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2005). Trotz dieser Hinweise der Autoren des VDLUFA-Standpunktes „Humusbilanzierung“ wurde die VDLUFA-Methode in vereinfachter Form in die Cross Compliance Regelung übernommen. Zu weiteren Informationen bezüglich der Humusbilanzierung nach VDLUFA vgl. Kapitel 5.1.2.

## **4.4 Anwendung von Humusbilanzierungen**

Bei jeglicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahme werden die Humus-, die C- und die N-Vorräte des Bodens beeinflusst. D.h. auch bei Umstellung von konventioneller auf ökologische Bewirtschaftung sind deutliche Wirkungen auf diese Vorräte zu erwarten. Somit ist nachvollziehbar, dass sich erst nach Jahrzehnten konstanter acker- und pflanzenbaulicher Nutzung ein neuer Gleichgewichtszustand einstellen kann. Dabei fällt auf, dass unter natürlicher Vegetation große Mengen leicht umsetzbarer organi-

scher Substanz angereichert werden, bei Wiederaufnahme des Ackerbaus jedoch eine Abnahme der Humus und N-Vorräte zu verzeichnen ist (HÜLSBERGEN ET AL. 1999).

Um die Auswirkungen von Bewirtschaftungsarten abschätzen zu können, ist eine Humusbilanzierung sowohl für den konventionellen, als auch für den Ökolandbau von Bedeutung. Jedoch unterscheiden sich einige Details in der Anwendung der Bilanzierung. Die Notwendigkeit von einigen Unterschieden in der Anwendung von Humusbilanzierungsmethoden sollen im Folgenden anhand des Ökolandbaus dargelegt werden.

#### **4.4.1 Humusbilanzierung im ökologischen Landbau**

Das Anliegen von Ökologischem Landbau ist es, die Verluste des Nährstoffkreislaufes möglichst gering zu halten und somit keine bedeutende Zufuhr von Nährstoffen nötig zu machen. Die Nährstoffversorgung der Pflanzen soll weitestgehend über Umsetzungsprozesse des Bodens erfolgen. Die Umsetzung organischer Substanz und die Mobilisierung von Nährstoffen werden durch Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und durch die Aktivierung des Bodenlebens gefördert. „Die Nährstoffbereitstellung erfolgt über den Anbau von Leguminosen, den Einsatz von betriebseigenen Wirtschaftsdüngern, den Umsatz der organischen Substanz, die Nährstoffmobilisierung durch das Bodenleben und den Anbau von bestimmten Pflanzenarten in einer weitgefassten Fruchtfolge.“ (KOLBE 2007, schriftliche Mitteilung). Bei dem Einsatz von organischen Düngern muss zwischen der kurzfristigen und der langfristigen Wirksamkeit unterschieden werden. Dabei wird unter der kurzfristigen Wirkung die Freisetzung von Nährstoffen innerhalb einer Vegetationsperiode verstanden. Dagegen bedeutet die langfristige Wirksamkeit, dass die organischen Dünger einen Einfluss auf die Humusgehalte des Bodens haben<sup>9</sup>. Die generelle Wirksamkeit organischer Dünger hängt entscheidend von der Dauer der Anwendung ab. In jedem Fall bringt eine jährliche Anwendung höhere Mehrerträge, als eine einmalige Anwendung.

Zur Überprüfung der Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung kann oder muss<sup>10</sup>, genau wie im konventionellen Landbau, eine Humusbilanz erstellt werden. Dabei sollte die Bewertung von Humusbilanzen immer in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Betriebes erfolgen (KOLBE 2007, schriftliche Mitteilung):

Marktfruchtbetriebe mit einem hohen Export an pflanzlichen Produkten, sollten sich bei einer Humusbilanzierung mindestens an der Versorgungsstufe C orientieren. Eine Unterschreitung dieser Stufe sollte wegen der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit möglichst vermieden werden. Diese Betriebe sollten „auf einem angemessen hohen Grundversorgungsniveau mit Humus besonders darauf achten, dass die Umsetzung der organischen

---

<sup>9</sup> Siehe Kapitel 3.1 Bedeutung von Humus, Humusbildung

<sup>10</sup> Siehe Kapitel 3.2 Cross Compliance

Substanz auf einem erhöhten Niveau abläuft, damit ein langfristig zufrieden stellendes Ertragsniveau abgesichert werden kann.“ (KOLBE 2007, schriftliche Mitteilung).

Dagegen sichern inputorientierte Betriebe (Futterbau) ein angemessenes hohes Ertragsniveau durch eine hohe Zufuhr an organischer Substanz über Wurzel- und Ernterückstände des Futterbaus und durch Wirtschaftsdünger. Bei der Mehrung der Humusvorräte sollte jedoch die Versorgungsstufe D nicht überschritten werden, da sonst Nährstoffauswaschungen auftreten können.

#### **4.4.2 Anwendung konventioneller Humusbilanzmethoden im Ökolandbau**

Ursprünglich lediglich für den konventionellen Landbau erarbeitete Humusbilanzmethoden führen bei Anwendung in Öko-Betrieben nicht immer zu plausiblen Ergebnissen (LEITHOLD & BROCK 2006). Nach einer Anwendung der ROS-Bilanzmethode nach ASMUS & HERMANN (1977) und einer von KUNDLER ET AL. (1981) modifizierten Methode ergeben sich Spannen der Versorgungsgrade der ökologischen Testflächen mit organischer Substanz von 152 bis 276 % (ROS-Methode 1977) bzw. zwischen 131 und 279 % (ROS-Methodik 1981). Dieses Ergebnis würde eine erhebliche Überversorgung der Böden mit organischer Substanz bedeuten. LEITHOLD & BROCK (2006) bezweifeln deshalb auch die Richtigkeit der Aussage und weisen gleichzeitig auf die Gefahr hin, die bei der Anwendung nicht an den Ökolandbau adaptierten Verfahren besteht, den Humusgehalt der Böden erheblich zu überschätzen. Im Umkehrschluss wird damit der Bedarf des Bodens an organischer Substanz im Ökolandbau deutlich unterschätzt und dies mindestens um 50 % (LEITHOLD & BROCK 2006). Auch HÜLSBERGEN, KÜSTERMANN, SCHMID (2005, S.11) kritisieren den Einsatz herkömmlicher Bilanzverfahren im Ökolandbau: „Obwohl die VDLUFA-Methode nicht für Betriebe des ökologischen Landbaus abgeleitet wurde, so ist sie doch ohne Hinweis auf diese Einschränkung in Cross Compliance übernommen worden.“ Ihrer Meinung nach werden sehr niedrige Humusbedarfe ausgewiesen und zusätzlich wird für Stroh ein sehr hoher Humusersatzwert von 100 kg C/ha\*a angenommen. Bei einer Bilanzierung mit der VDLUFA-Methode würde in der Landwirtschaft „kein Humusmangel-, sondern ein Humusüberschussproblem bestehen.“ (HÜLSBERGEN, KÜSTERMANN, SCHMID 2005, S. 12) In Tabelle 3 werden die Ergebnisse einer Studie von HÜLSBERGEN, KÜSTERMANN, SCHMID (2005) verdeutlicht, in der sie auf 227 Betrieben die Humusbilanz berechneten:

Tabelle 3: Einstufung der Humussalden (jeweils in Prozent der untersuchten Betriebe)

Methode	Betriebe (n)	Landbauform	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Gruppe E
HE	227	Integrierter + Ökologischer Landbau	9	17	44	22	8
VDLUFA	227		1	1	27	42	29
HE	74	Ökologischer Landbau	3	4	49	35	9
VDLUFA	74		0	1	15	43	41

#### 4.4.3 Besonderheiten des Ökologischen Landbaus in Bezug auf die Humusbilanz

##### Höhere Humusgehalte bei ökologischer Bodennutzung

Durch das strikte Verbot der Anwendung von mineralischen Stickstoffdüngern im Ökolandbau, können auch negative Wechselbeziehung zwischen Mineraldüngerstickstoff und Humusstickstoff ausgeschlossen werden. LEITHOLD (2004a) zeigt, dass die Beziehung zwischen Humusgehalt und Ertrag umso enger ist, je weniger Mineraldüngerstickstoff zum Einsatz kam. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass unter Bedingungen des ökologischen Landbaus ein höherer Humusvorrat gegenüber konventionell bewirtschafteten Böden möglich und erstrebenswert ist. „Ein höherer Humusgehalt im Vergleich zur konventionellen Bodennutzung erlaubt die Realisierung höherer Grunderträge (Bodenleistung) und kompensiert so teilweise Ertragsverluste infolge Nichtanwendung von Mineraldüngerstickstoff (LEITHOLD 2004a, S. 3).

LEITHOLD & BROCK (2006) weisen darauf hin, dass durch Ökolandbau in der Tat eine Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz erfolgt. Die Autoren belegen dies mit den Ergebnissen verschiedener Studien, wonach im Vergleich zur konventionellen Bodennutzung höhere Humusgehalte in einer Spanne zwischen 10 und 30 %, höhere Gehalte an mikrobieller Biomasse zwischen 17 und 36 % sowie eine höhere Aktivität der mikrobiellen Biomasse zwischen 40 und 100 % zu verzeichnen war. Dagegen konnten KOLBE & PRUTZER (2004) in einer Evaluierung der HE-ÖL-Methode mit Dauerfeldversuchen keine Besonderheiten der Humusdynamik im ökologischen Landbau feststellen<sup>11</sup>. Sie weisen aber auch darauf hin, dass bei einer Bilanzierung mit der HE-ÖL-Methode auf 100 % Bedarfsdeckung eher mit einem Anstieg der Humusgehalte zu rechnen ist, als bei Verwendung der oberen und unteren Werte der VDLUFA-Methode. KOLBE (2007, schriftliche Mitteilung) führt die höheren  $C_{org}$ -Gehalte im Ökolandbau auf schon lange bekannte Faktoren, wie den höheren Anteil von Futterpflanzen in der Fruchtfolge oder die oftmals höheren Stallungsgaben zurück.

<sup>11</sup> Die Autoren gehen davon aus, dass eine Stallungsgabe von 100 dt/ha sich im ökologischen Landbau ebenso positiv auf den  $C_{org}$ -Gehalt auswirkt, wie dieselbe Gabe im konventionellen Betrieb.

Aufgrund der vielfältigen und verschiedenen Aussagen ist die Notwendigkeit einer neuen quantitativen Bewertung der Humusversorgung sichtbar, die LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1998) erstmalig vornahmen. Die Befürchtung, dass es durch die höheren Humusgehalte in Zusammenarbeit mit erhöhter Mineralisierung zu Stickstoffauswaschungen v. a. im Vorwinter kommen kann, wurde bisher nicht bestätigt (u. a. DE NEVE et al. 2003). Im Gegenteil zeigte ökologische Bewirtschaftung in vielen Studien trotz höherem Humusniveau deutlich geringere Auswaschungsverluste als konventionelle Vergleichsflächen. So konnten auch an der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft folgende Fakten in Bezug auf den Stickstoff bei ökologischer Bewirtschaftung festgestellt werden (KOLBE 2007, schriftliche Mitteilung): generell geringere N-Auswaschungen und günstigere N-Bilanzwerte, niedrigere N-Gehalte des Bodens im Herbst, geringere N-Konzentrationen im Grundwasser.

### **Dreifacheffekt humusmehrender Kulturen auf den Humusgehalt des Ackerlandes**

Als Grund für das erhöhte Humusniveau im Ökolandbau geben LEITHOLD & BROCK (2006) die bessere Versorgung der Humuszehrfläche mit organischer Primärsubstanz an. Diese führen sie zurück auf:

- 1) eine Einschränkung des Humuszehreranteils im Ackerflächenverhältnis
- 2) eine Ausweitung des humusmehrenden Leguminosenanbaus in Haupt- und Zwischenfurchtstellung
- 3) eine bessere Versorgung der Humuszehrfläche mit organischen Düngern der Tierproduktion (sofern der Viehbesatz konstant bleibt und das Grünland nicht zusätzlich mit organischen Düngern aus der Tierhaltung versorgt werden muss).

Die Autoren weisen darauf hin, dass die Unterschiede zwischen der konventionellen Vorbewirtschaftung und den Effekten nach der Umstellung umso größer sein werden, je stärker sich die Bodennutzungssysteme vor und nach der Umstellung voneinander unterscheiden. Vor allem wird es bei langfristig ökologischer Bewirtschaftung nicht nur zu vergleichbar höheren Humusgehalten, sondern auch zu höheren Gehalten an mikrobieller Biomasse und zu einer verstärkten Dynamik mikrobiell bedingter Umsetzungsprozesse kommen. Nach EMMERLING (1998) steht auch der Grad der Bodenfruchtbarkeit in enger Beziehung zum Humusgehalt, und zwar umso stärker, je weniger Mineraldünger angewendet wird.

Letztendlich kann über die Realisierung einer höheren Bodenleistung bei der Ertragsbildung infolge größerer Humusvorräte ein Teil des entgangenen Ertrags, durch Nichtanwendung von Mineraldüngerstickstoff, wieder ausgeglichen werden.

### **Bedarf des Bodens an organischer Primärsubstanz bei höherem Humusreproduktionsniveau**

Ein unter sonst gleichen Standortbedingungen höheres Humusreproduktionsniveau zeichnet sich durch einen höheren Gehalt an mikrobieller Biomasse und damit durch

eine größere Fermentaktivität aus. Ein beschleunigter Abbau von organischer Substanz ist die Folge. „Somit entstehen je Zeiteinheit höhere Messverluste an organischer Substanz, die es durch eine verstärkte Zufuhr an organischer Primärschubstanz wieder auszugleichen gilt.“ (LEITHOLD & BROCK 2006, S. 9)

#### **4.4.4 Anpassung bestehender Methoden an den Ökolandbau**

Schon 1997 wurden von LEITHOLD ET AL. die ROS-Bedarfskoeffizienten von KUNDLER ET AL. (1981) an die Bedingungen des Ökolandbaus angepasst. Statt ROS wurde nun mit der Einheit HE gerechnet. Aus folgenden Gründen wurden die Bedarfswerte der humuszehrenden Kulturen um zunächst 50 % angehoben, wogegen die Koeffizienten der humusmehrenden Kulturen unverändert blieben (LEITHOLD ET AL. 1997):

- Im ökologischen Landbau werden höhere standortspezifische Humusgehalte und damit höhere Umsätze an organischer Substanz angestrebt, um ausreichende Erträge ohne Mineraldüngerstickstoff erreichen zu können. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Versorgung des Bodens mit organischer Substanz und dem Ertragsniveau.
- Ein hoher Humusversorgungsgrad verursacht einen schnellen und intensiven Abbau, d.h. die Umsetzungsprozesse sind intensiviert.
- Die direkte und indirekte Humusersatzwirkung des Mineraldüngerstickstoffs muss durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten und/oder erhöhte organische Düngung kompensiert werden.
- Die Nährstoffgehalte der organischen Dünger sind im ökologischen Landbau niedriger als im konventionellen Landbau, so dass die N- und Humusersatzleistungen geringer anzusetzen sind.
- Durch stärkere mechanische Pflegemaßnahmen werden Humusabbauprozesse angeregt.
- Die erhöhte Zufuhr von organischer Substanz stellt kein überhöhtes Stickstoffbelastungspotenzial für die Umwelt dar, da das Stickstoffdüngungsniveau aufgrund des begrenzten N-Zukaufs im ökologischen Landbau niedriger ist, als im konventionellen Landbau.

Die spätere Anwendung der HE-Methode in Öko-Betrieben unter Nutzung der speziell für den Ökolandbau modifizierten Bedarfskoeffizienten für humuszehrende Fruchtarten zeigte, dass mit diesen Kennzahlen im Vergleich zu den „konventionellen“ Koeffizienten deutlich plausiblere Ergebnisse zur Einschätzung der Humusversorgung erzielt werden konnten (UDE 2006).

LEITHOLD (1995) hat jedoch auch Gründe gegen einen erhöhten Humusbedarf im Ökologischen Landbau angesprochen. So erwähnt er z. B. die geringeren Ertragserwartun-

gen und die niedrigeren Nährstoffgehalte je Produkteinheit im Ökolandbau. Auch die höhere Verwertung des je Flächeneinheit eingesetzten Stickstoffs im System Boden-Pflanze führt er als Argument dagegen an. Nach Einschätzung des Autors überwiegen jedoch die Faktoren, welche einen höheren Bedarf an organischer Substanz begründen.

#### **4.5 Abfuhr organischer Substanz**

Aufgrund aktueller Debatten zum Klimawandel und zur Endlichkeit fossiler Energieträger nimmt die Bedeutung nachwachsender Rohstoffe erheblich zu. Mit dem ehrgeizigen Ziel der Bundesregierung, bis 2020 die Emissionen um 40 % zu senken, rückt die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse noch stärker in das öffentliche Interesse. Auch in Sachsen wurden zu diesem Thema schon vielfältige Untersuchungen durchgeführt. TWISTEL & RÖHRICHT untersuchten im Jahr 2000 das Potenzial an landwirtschaftlicher- und forstlicher Biomasse zur stofflich-energetischen Nutzung im Freistaat Sachsen. Sie formulierten die Vorteile der Nutzung nachwachsender Rohstoffe wie folgt: „Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe (NWR) schont natürliche Ressourcen und fossile Energieträger und trägt zur Förderung der Kreislaufwirtschaft bei. Sie liefert einen wesentlichen Beitrag zur Umweltentlastung, insbesondere zum Klimaschutz.“ TWISTEL & RÖHRICHT (2000, S. 1). Einer besonderen Hervorhebung gebührt zudem der Fakt, dass bei der Verbrennung oder biologischen Umsetzung von Biomasse jeweils nur soviel CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, wie zuvor gespeichert wurde. Das Biomassepotenzial reicht von Reststoffen wie Stroh, Restholz oder Gülle und Stallmist bis zu speziell dafür angebauten Energiepflanzen (TWISTEL & RÖHRICHT, 2000).

Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil des gesamten Strohaufkommens der Getreide- und Rapsproduktion, sowie die Blattrückstände der Zuckerrübenproduktion, welcher nicht als Einstreu oder zur Strohdüngung auf dem Feld benötigt wird, einer anderweitigen energetischen bzw. stofflichen Verwertung zur Verfügung steht. Üblich ist die Verbrennung in Bioheizkraftwerken oder die Nutzung als Bauzuschlagstoff (TWISTEL & RÖHRICHT, 2000).

In der vorliegenden Arbeit soll die mögliche Abfuhr von Reststoffen des Ackerbaus abgeschätzt werden. Es werden ausschließlich die Nutzungspotenziale von Getreide- und Rapsstroh und Zuckerrübenblättern betrachtet.

##### **Getreidestroh** (aus TWISTEL & RÖHRICHT, 2000)

Die Kenntnis der Anbauflächen und der Erträge der verschiedenen Getreidearten ist Voraussetzung für die Berechnung des Strohaufkommens. 1997 nahm die Getreideanbaufläche mehr als 50 % der Ackerflächen Sachsens ein. Bei einem derzeitigen Korn/Strohverhältnis von 1:1 und durchschnittlichen Erträgen von 60,7 dt/ha ergibt sich ein Gesamtstrohaufkommen für Sachsen von ca. 2,5 Mio t Stroh. Je nach den vorherr-

schenden Bodenbedingungen sind die Arten Winterweizen, Roggen oder Winter- und Sommergerste vorherrschend. In den Lössgebieten dominiert der Weizenanbau, auf leichten bis mittleren Böden der Roggenanbau und in den Gebirgsgebieten gewinnt die Sommergerste an Bedeutung.

Mit Hilfe der Korn/Strohverhältnisse kann aus den jeweiligen Erträgen die Strohmenge berechnet werden. Jedoch steht nur eine Teilmenge des gesamten Strohaufkommens einer Verwertung als nachwachsender Rohstoff zur Verfügung. Vom Gesamtstrohaufkommen sind folgende Anteile abzuziehen:

- Anteil für Strohdüngung<sup>12</sup>
- Anteil für den Bedarf von Gärtnereien, Baumschulen, Gestüten, Reiterhöfen usw. (im Weiteren als Sonstiges bezeichnet)<sup>13</sup>
- Anteil für Einstreu- und Futterzwecke<sup>14</sup>

In dieser Arbeit wurde jedoch ausschließlich das abfahrbare Potenzial an Reststoffen berechnet. Deshalb wurden die Anteile für den Bedarf von Gärtnereien, Baumschulen, Gestüten, Reiterhöfen usw. und die Anteile für Einstreu- und Futterzwecke nicht berücksichtigt. Zum Vergleich mit den Ergebnissen von TWISTEL & RÖHRICHT (2000) wurden berechneten Werte jedoch auch umgerechnet.

### **Rapsstroh** (aus RÖHRICHT & GROß-OPHOFF, 2003)

In den letzten Jahren konnte ein deutlicher Anstieg der Rapsanbaufläche verzeichnet werden, was sicher auf die gestiegene Nachfrage (Biodiesel, Ernährung) zurückzuführen ist. Die Anbaufläche 1997 betrug 73.546 ha, wobei durchschnittlich 32,7 dt/ha geerntet werden. Das ergibt ein Rapsstrohaufkommen von ca. 400.00 t pro Jahr (TWISTEL & RÖHRICHT, 2000). Eine stoffliche oder energetische Verwertung des Rapsstrohpotenzials hat bisher kaum stattgefunden, ist aber technisch durchaus machbar<sup>15</sup>. Ebenso wie beim Getreidestroh, wird die anfallende Strohmenge über das Korn/Strohverhältnis abgeschätzt. Bei einer Stoppelhöhe von 20 cm beträgt das Verhältnis 1:1,7. Das Rapsstrohaufkommen zeichnet sich durch eine gute regionale Verfügbarkeit in Sachsen aus. Allerdings liegen zur Ernte kaum praktische Erfahrungen vor, weshalb auf diesem Gebiet noch weitere Entwicklungsarbeiten von Nöten sind.

---

<sup>12</sup> Nach TWISTEL & RÖHRICHT (2000) werden hierfür pauschal 33 % des anfallenden Strohs berechnet. In den Berechnungen dieser Arbeit, wird soviel Stroh zur Düngung auf dem Acker belassen (bei sonst gleich bleibenden Düngungsbedingungen), dass der Humussaldo null ergibt. Das kann bei jeder betrachteten Fläche eine unterschiedliche Menge an Stroh ergeben.

<sup>13</sup> Nach TWISTEL & RÖHRICHT (2000) werden hierfür pauschal 2 % des anfallenden Strohs berechnet.

<sup>14</sup> Dieser Anteil wird anhand des Viehaufkommens und des täglichen Strohbedarfs von 4,12 kg pro Großvieheinheit berechnet (TWISTEL & RÖHRICHT, 2000)

<sup>15</sup> TWISTEL & RÖHRICHT (2000) unterstellen ein nutzbares Rapsstrohpotenzial von 40 % des Rapsstrohaufkommens aus, ebenso verhält es sich bei dem Zuckerrübenpotenzial

**Zuckerrübenblätter** (aus RÖHRICHT & GROß-OPHOFF, 2003)

Zuckerrübenblätter sind gut vergärbar. Die Berechnung des Aufkommens erfolgt, wie bei den Strohmenen auch, über den Ertrag und das Wurzel/Blattverhältnis. Zuckerrüben wurden 1997 in Sachsen auf einer Fläche von 18.525 ha angebaut. Geerntet werden im Landesdurchschnitt 466,7 dt/ha (TWISTEL & RÖHRICHT, 2000). Das Problem bei der Nutzung der Blätter ist jedoch, dass heute eine Blätternte zu Futterzwecken kaum noch stattfindet. Moderne Erntemaschinen entblättern die Rüben und legen das geschnitzelte Material auf dem Feld ab. Für eine großflächige Nutzung müsste somit eine technische Umstellung des Ernteverfahrens erfolgen, die mit erheblichen Investitionen verbunden sein dürfte. Deshalb sehen RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) das Zuckerrübenblattpotential als nicht kurzfristig erschließbar an, befürworten jedoch eine zukünftige Nutzung.

Neben der Verwertung von Reststoffen, spielt auch der Anbau von Energiepflanzen eine große Rolle, um Biomasse bereitzustellen. Etwa 13 % der landwirtschaftlichen Flächen Deutschlands wurden 2006 zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen genutzt. Die größte Bedeutung haben dabei die Ölpflanzen. Aber auch Getreide, Mais und andere Stärkepflanzen gewinnen an Wichtigkeit. (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. 2007)

## 5 Methodik

### 5.1 Vorstellung und Vergleich üblicher Humusbilanzverfahren

#### 5.1.1 REPRO

Das Modell REPRO ist ein computergestütztes Bilanzierungsmodell zur praktischen und wissenschaftlichen Anwendung. Es dient der Analyse, und Bewertung landwirtschaftlicher Betriebssysteme, ihrer Umweltwirkungen und ökologischen Leistungen (HÜLSBERGEN ET AL. 2000). Die Agrar-Software wurde an der Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg mit dem Ziel entwickelt, den Landwirt in seinen Entscheidungen und Planungen zu unterstützen und ökologische Schwachstellen aufzudecken (HÜLSBERGEN ET AL. 2002). Die in dem Modell verwendeten Methoden zur Stoff- und Energiebilanzierung und zur Bodenprozessmodellierung basieren auf Dauerversuchen im mitteldeutschen Agrarraum (HÜLSBERGEN ET AL. 2000).

Grundidee des Modells ist es, die Stoff- und Energieflüsse und die daraus entstehenden Umweltwirkungen komplex und vernetzt zu beschreiben und darzustellen (HARZER 2005).

In dem Modell werden Humus-, Nährstoff-, Futter- und Energiebilanzen vereint. „ Es wird auf verschiedenen Systemebenen bilanziert: Als wichtigste räumliche Systemgrenze ist der landwirtschaftliche Betrieb, als zeitliche Systemgrenze das Wirtschaftsjahr definiert. Tierhaltung, Pflanzenbau und Bodennutzung werden als Subsysteme, unterteilt bis zur Fruchtfolge- und Schlagebene, analysiert.“ (HÜLSBERGEN & DIEPENBROCK 1997, S. 160) Der Anwendungsbereich erstreckt sich von einfachen Nährstoffbilanzierungen bis zu komplexen Szenariorechnungen.

#### **Funktionsweise von Repro**

Über den Stoffkreislauf Pflanze – Tier - Boden werden alle Betriebszweige miteinander verbunden. Die Vernetzung der einzelnen Parameter ist in Abbildung 8 dargestellt.

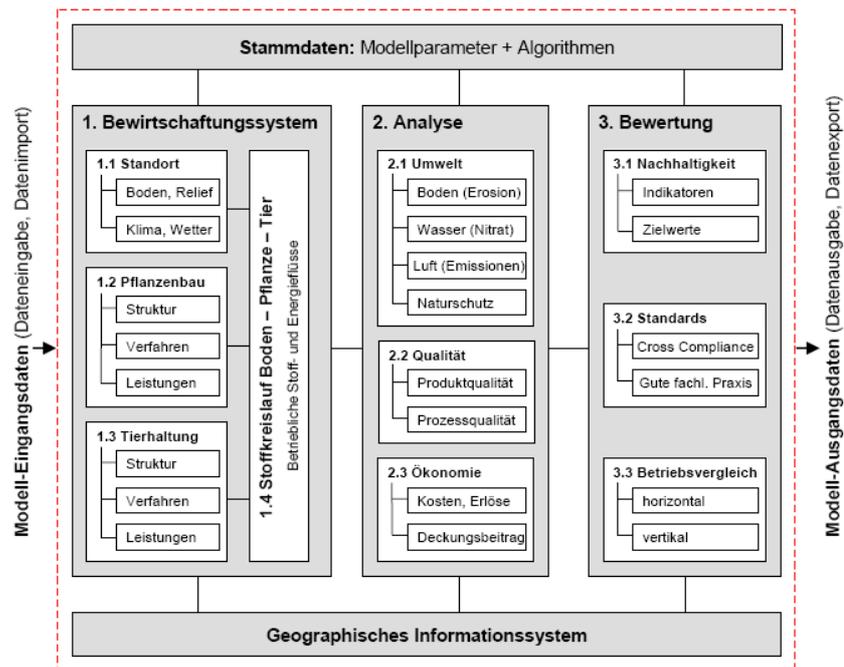


Abbildung 8: Funktionsweise von REPRO (nach KÜSTERMANN ET AL.)

Die Beschreibung der Umweltwirkungen erfolgt im Programm vereinfacht über den Stoffhaushalt, den Energiehaushalt und über die darauf wirkenden Faktoren. Diese Faktoren sind u. a. die Standortbedingungen, die Betriebsstruktur, der Betriebsmitteleinsatz und die Verfahrensgestaltung (HARZER 2005).

REPRO ist in Modulen aufgebaut. Somit ist eine Anpassung an die jeweilige betriebliche Datenlage und an die Zielstellung möglich. So können z. B. Bewirtschaftungsdaten je nach Fragestellung modellintern auf höherer Betrachtungsebene aggregiert werden (HARZER 2005). Abbildung 9 veranschaulicht den Aufbau von REPRO:

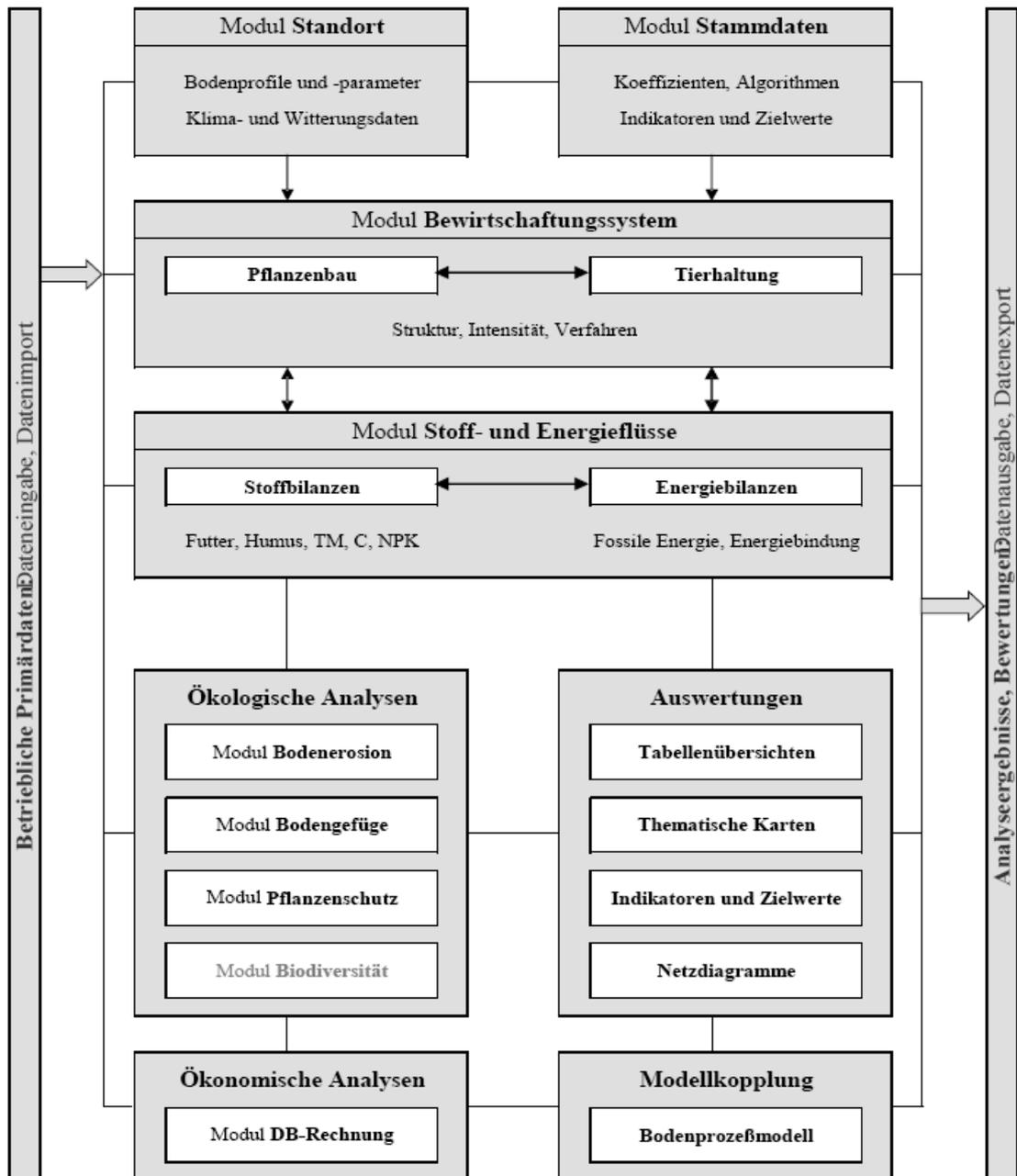


Abbildung 9: Struktur des Modells REPRO und Vernetzung der Module (nach HÜLSBERGEN 2003)

Folgende Module sind Bestandteile von REPRO (nach HARZER 2005):

#### *Modul Bewirtschaftungssystem*

- Zentrale Modellkomponente von Bilanzrechnungen, Simulationen und Auswertungsverfahren
- Betriebsstruktur, Bewirtschaftungsintensität und Produktionsverfahren werden hier abgebildet
- ein reales Betriebssystem kann modelliert werden oder ein Modelbetrieb wird simuliert

#### *Modul Stammdaten*

- Modul zur Speicherung jeglicher Parameter und Koeffizienten

#### *Modul Standort*

- enthält Schlagverwaltung mit GIS-Anbindung als Grundlage für die Erstellung thematischer Karten
- enthält folgende Daten:
  - teilschlag- und jahresbezogene Bodendaten (Standortgrunddaten, bodenphysikalische und bodenchemische Parameter)
  - Wetterdaten (meist wird dem Betrieb eine Wetterstation zugeordnet)

#### *Modul Stoff- und Energieflüsse*

- Berechnung von Nährstoff-, Humus-, Futter- und Energiebilanzen für verschiedene Ebenen des Betriebes
- Einzelne Bilanzen sind miteinander gekoppelt
- Die geschlossene Darstellung der innerbetrieblichen Stoffkreisläufe ermöglicht eine durchgängige und schlüssige Bilanzierung der Stoffströme nach Menge und Qualität.

#### *Modul Auswertung*

- Kombination verschiedener Verfahren
- Auswertung, Visualisierung und Bewertung der Analyseergebnisse

### **Humusbilanzierung mit REPRO**

Die HE-Methode nach LEITHOLD ET AL. (1997) ist die Grundlage der Humusbilanzierung im Modell REPRO. Dabei ist eine Humuseinheit als 1 t Humus mit 50 kg N und 580 kg C definiert. REPRO kann die Humusbilanz nach vier verschiedenen Methoden berechnen (HARZER 2005):

- im Standardmodus mit festen Koeffizienten nach LEITHOLD ET AL. (1997)
- im erweiterten Modus mit dynamischen Koeffizienten nach HÜLSBERGEN ET AL. (2000)
- im LUFA-Modus nach VDLUFA-STANDPUNKT (2004) zur Humusbilanzierung, umgerechnet in Humusäquivalente (Häq), wobei 1 Häq 1 kg C in der humifizierten organischen Masse des Bodens entspricht
- mit den Koeffizienten im Rahmen der Cross Compliance Richtlinien (in Häq).

Die Berechnung der Humusbilanz erfolgt nach den Gleichungen 1 bis 6. In die Berechnungen fließen verschiedene Bewirtschaftungsdaten ein, z. B. die angebauten Fruchtarten, die Erträge von Haupt- und Nebenprodukten, die Stickstoffentzüge, die mineralische N-Düngung und die organische Düngung, welche noch nach Düngerarten und Qualitätsparametern differenziert wird (HARZER 2005).

$$H_{BS} = H_{BB} + H_{HM} + H_{SD} + H_{OD} \quad \text{Gl. (1)}$$

$$H_{BB} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AF_{HZi} * k_{HZi}}{AF} \right) \quad \text{Gl. (2)}$$

$$H_{HM} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AF_{HMi} * k_{HMi}}{AF} \right) \quad \text{Gl. (3)}$$

$$H_{NB} = H_{BB} + H_{HM} \quad \text{Gl. (4)}$$

$$H_{SD} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AF_{SDi} * SD_i * k_{SDi}}{AF} \right) \quad \text{Gl. (5)}$$

$$H_{OD} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{AF_{ODi} * OD_i * k_{ODi}}{AF} \right) \quad \text{Gl. (6)}$$

H <sub>BB</sub>	HE/ ha AF	Humusbruttobedarf
H <sub>HM</sub>	HE/ ha AF	Humusersatzleistung humusmehrender Fruchtarten
H <sub>NB</sub>	HE/ ha AF	Humusnettobedarf
H <sub>SD</sub>	HE/ ha AF	Humusersatzleistung durch Stroh- und Gründüngung
H <sub>OD</sub>	HE/ ha AF	Humusersatzleistung durch organische Dünger
H <sub>BS</sub>	HE/ ha AF	Humus-Bilanzsaldo
AF <sub>HZ</sub>	ha	Ackerfläche mit humuszehrender Fruchtart
AF <sub>HM</sub>	ha	Ackerfläche mit humusmehrender Fruchtart
AF <sub>SD</sub>	ha	Ackerfläche mit Stroh- oder Gründüngung
AF <sub>OD</sub>	ha	Ackerfläche mit organischer Düngung
AF	ha	Ackerfläche (gesamt)
SD	dt FM/ ha	je Flächeneinheit eingesetzte Menge an Stroh- und Gründüngung
OD	dt FM/ ha	je Flächeneinheit ausgebrachte Menge organischer Dünger
k <sub>HZ</sub>	HE/ ha	Bilanzkoeffizient für humuszehrende Fruchtart
k <sub>HZ</sub>	HE/ ha	Bilanzkoeffizient für humusmehrende Fruchtart
k <sub>SD</sub>	HE/ dt FM	Bilanzkoeffizient für Stroh- und Gründünger
k <sub>OD</sub>	HE/ dt FM	Bilanzkoeffizient für organische Dünger

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten wurden im LUFA-Modus nach VDLUFA-Standpunkt (KÖRSCHENS ET AL. 2004) zur Humusbilanzierung berechnet. Die Berechnungen erfolgten jeweils mit oberen und den unteren Eingabewerten der VDLUFA-Methode. Für Stroh wurde der im Gesetz vorgegebene Reproduktionsfaktor von 0,5 ROS, bzw. 100 kg C/t, bzw. 0,1724 HE eingesetzt.

### 5.1.2 VDLUFA

#### *Humusbilanzierung nach VDLUFA (aus KÖRSCHENS ET AL. 2004)*

Im Jahr 2004 wurde von der Projektgruppe Humusbilanzierung des VDLUFA der Standpunkt zur Humusbilanzierung herausgegeben. Ziel war es, eine bundesweit gel-

tende Methode (Standardmethode) zur Humusbilanzierung zu etablieren. Diese Methode sollte einfach handhabbar sein und aussagekräftige Ergebnisse zur Versorgung von ackerbaulich genutzten Böden mit Humus liefern. Sowohl Zustände der Unterversorgung des Bodens mit organischer Substanz, als auch zu hohe Humusgehalte und damit eventuelle Stickstoffausträge in die Hydro- und Atmosphäre sollen hiermit rechtzeitig erkannt werden.

Das Ergebnis der Bilanzierung ist der Humussaldo. Er erlaubt eine quantitative Abschätzung der Humusreproduktion in Abhängigkeit von der jeweiligen Bodenbewirtschaftung (KÖRSCHENS ET AL. 2004). Der Humussaldo errechnet sich aus der Humuszufuhr durch die organischen Dünger (Ernterückstände, Stallmist, Gülle etc.) und aus dem Humusbedarf<sup>16</sup>. Ihrem Ziel der Praktikabilität entsprechend, werden bei der Berechnung der Humusbilanz nur relativ leicht zu erhebende Bewirtschaftungsdaten benötigt, die normalerweise in landwirtschaftlichen Betrieben verfügbar sind (KÖRSCHENS ET AL. 2004).

Für die Berechnungen sind folgende Eingangsdaten vonnöten (KOLBE & PRUTZER 2004, S.12):

- Fruchtarten: - Anbauverhältnis [%]  
- Anbau- u. Ernteinformationen zu Haupt- und Koppelprodukten

Organische Düngung:

- Düngerart, eventuell TS-Gehalt [%]
- Menge der gegebenen Dünger [dt/ha]

Die Kalkulationen des Humussaldos erfolgt ohne Kenntnis des Anfangsgehalts an Humus sowie ohne Kenntnis der erlangten Erträge der Kulturarten in der Fruchtfolge.

### ***Wissenschaftliche Grundlagen der Methode***

Die kulturartspezifischen Bedarfsfaktoren und die Reproduktionsfaktoren für die verschiedenen organischen Dünger wurden aus langjährigen Dauerfeldversuchen mit verschiedenen Fruchtfolgen und mit organischer und mineralischer Düngung auf unterschiedlichen Böden abgeleitet (KOLBE & PRUTZER 2004).

KÖRSCHENS ET AL. (2004) gehen davon aus, dass sich bei unterschiedlicher Bewirtschaftung im Laufe der Zeit jeweils charakteristische und anschließend praktisch konstante Gehalte an Humus im Boden einstellen. Die optimale zuzuführende Humusmenge wurde in vielen Dauerfeldversuchen<sup>17</sup> experimentell ermittelt. „Als „optimal“ wurde

---

<sup>16</sup> Siehe Kapitel 3.3 Humusbilanzierung

<sup>17</sup> Versuche wurden u. a. in Bad Lauchstädt durch (KÖRSCHENS ET AL. 1994) durchgeführt.

die Versuchsvariante bezeichnet, bei der in Kombination mit Mineraldüngung durch eine höhere Zufuhr an organischer Substanz keine weitere Ertragssteigerung mehr erzielt und die höchste Effizienz der N-Düngung erreicht wurde.“ (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S. 4) Die experimentell ermittelten Humusbedarfswerte wurden mit den mittels Bilanzierung errechneten Bedarfen an organischer Masse in Rottemist-Äquivalenten verglichen. Die für die Bilanzierung notwendigen Bedarfs- und Reproduktionskoeffizienten wurden aus langjährigen Fruchtfolge-Düngungsversuchen abgeleitet. Dabei war festzustellen, dass die Werte der Bilanzierung den tatsächlichen Bedarf durchschnittlich um 20 % überschritten. Tendenziell war jedoch, trotz unterschiedlicher Standorte und Böden eine relativ gute Übereinstimmung zu verzeichnen.

Für die neue Humusbilanzierungsmethode wurde der Begriff „Humusäquivalente“ (Häq), welcher in kg C/ha ausgedrückt wird, etabliert. Damit werden die bisherigen Einheiten ROS und HE ersetzt<sup>18</sup>. Humusäquivalente dienen nach KÖRSCHENS ET AL. (2004, S. 5) als „Richtwerte für diejenige Humusmengen (ausgedrückt als kg C/ha), die im Boden nutzungsbedingt durch Abbau verloren gehen und durch organische Düngung ersetzt werden sollten (anbauspezifischer Humusbedarf). Auch die unterschiedliche Humusreproduktion durch verschiedene organische Substanzen wird in Humusäquivalenten ausgedrückt. Aus einer Tonne Substrat entsteht durch Humifizierung eine entsprechende Menge Kohlenstoff (in kg), was derselben Menge an Häq entspricht.

1Häq = 1 kg Boden-C

Aufgrund der verschiedenen Standortbedingungen und Nutzungsweisen der Böden wird für jede Kulturart ein Bereich angegeben, in dessen Fenster die anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte bewegt. Die Autoren des VDLUFA-Standpunktes sehen folgende Anwendung vor:

Untere Richtwerte: vorzugsweise bei Böden in gutem Kulturzustand und mit optimaler mineralischer N-Düngung

Obere Richtwerte: für bereits längere Zeit mit Humus unterversorgte Böden

Die unteren Richtwerte wurden im Wesentlichen aus der ROS-Methode, die oberen Werte dagegen aus der HE-Methode abgeleitet (KOLBE & PRUTZER, 2004). Auf die sehr differenzierte Einstufung der humusmehrenden Kulturen nach der HE-Methode wurde jedoch verzichtet. Für die Humusbilanzierung nach Cross Compliance werden die unteren Werte der VDLUFA-Methode verwendet.

Sowohl die Humusreproduktionsleistung, als auch die Humusersatzleistung von organischen Stoffen ist abhängig von deren stofflicher Zusammensetzung. Für Stroh wird ei-

---

<sup>18</sup> Weitere Informationen zu den verschiedenen Einheiten finden sich im Kapitel 3.3 Humusbilanzierung

ne, je nach Umsatzaktivität der Böden, unterschiedliche Humusproduktion von 80 bis 110 kg C je t angenommen. Dagegen ist für die Humuswirkung von Brache und den verschiedenen organischen Düngern nur ein Wert vorgesehen (UDE 2006).

Generell empfehlen KÖRSCHENS ET AL. (2004) die Anwendung der Humusbilanzierung nur über eine ganze Fruchtfolge. Weiterhin wird betont, dass im Ökologischen Landbau der Stickstoffbedarf nur durch eine erhöhte Gabe an organischer Masse zu decken ist, da hier eine mineralische N-Düngung ausgeschlossen ist.

### ***Bewertung der Humusversorgung***

Die Bewertung des ermittelten Humussaldos erfolgt über die Humusbilanzklassen A bis E. Den Klassen sind entsprechende Maßnahmen zugeordnet (KOLBE & PRUTZER 2004). Die Auswirkung auf das Ertragspotenzial und auf das Verlustpotenzial für Stickstoff wird bei der Bewertung mit berücksichtigt. Gruppe C symbolisiert den optimalen Bereich für einen Humussaldo. Die Gruppen A (sehr niedrig) und E (sehr hoch) markieren die ungünstigsten Humussalden, mit den Gruppen B und D werden „Bereiche für Humussalden angesprochen, bei denen zumindest mittelfristig eine Überprüfung der bestehenden Humuswirtschaft erfolgen sollte.“ (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S. 6)

In Tabelle 4 wird die Bewertung der Humussalden nach dem VDLUFA-Standpunkt aufgezeigt.

Tabelle 4: Bewertung der Humussalden (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S.12)

<b>Humussaldo</b>		<b>Bewertung</b>
kg Humus-C/ha*a	Gruppe	
< - 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 bis 300	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E Sehr hoch	Erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste, niedrige N-Effizienz

### ***Weiterer Forschungsbedarf***

Schon im Standpunkt der VDLUFA wird deutlich auf den weiteren Forschungsbedarf hinsichtlich ihrer Humusbilanzierungsmethode hingewiesen. Nach Ansicht der Autoren bedarf diese Bilanzierungsmethode einer weiteren Absicherung für unterschiedliche Standortbedingungen, Klimaräume und Böden. Es werden folgende vier verbesserungswürdige Punkte benannt (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S. 7):

1. Zur weiteren Differenzierung für verschiedene Standortbedingungen und Bewirtschaftungssysteme sind Langzeitexperimente erforderlich. Zusätzlich sollten Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen und Modellbetrieben sowie Simulations- und Bodenprozess-Modelle mit einbezogen werden.
2. Der Kenntnisstand über den bewirtschaftungsspezifischen Humusbedarf moderner Anbausysteme muss verbessert werden. Die Bedarfsfaktoren sind insbesondere auf ihre Richtigkeit z. B. bei Boden konservierender pflugloser Bewirtschaftung zu überprüfen. Ebenso ist der Einfluss des Produktionsniveaus in Abhängigkeit von der mineralischen N-Düngung zu berücksichtigen.
3. Die Humus-Reproduktionsleistung von Stroh in Abhängigkeit von Standort, Bodenbearbeitung und N-Status der Böden bedarf einer kurzfristigen Präzisierung.
4. Für den ökologischen Landbau ist eine Präzisierung des Humusbedarfes erforderlich.

## 5.2 Die standortangepasste Humusbilanzmethode

Die Humusbilanzierung nach VDLUFA (KÖRSCHENS ET AL. 2004) bedarf, wie in Kapitel 5.1.2 erwähnt, noch vielfältiger Verbesserungen. Aufgrund dessen untersuchte KOLBE (2005) z. B. die Anwendbarkeit verschiedener Bilanzierungsverfahren speziell für den ökologischen Landbau. Dabei betrachtete er vor allem die ROS, die HE, die ÖKO und die VDLUFA-Methode<sup>19</sup>. Das Ergebnis seiner Arbeit stellt einen Katalog der zukünftigen Anforderungen an die Humusbilanzierung im Ökolandbau dar. Folgende Punkte werden angesprochen:

- Ausrichtung auf die Kalkulation der Veränderung der Humusgehalte im Boden
- Differenzierung der Koeffizientensätze nach Standorten (Bodenart, Klima)
- Aufgabe des Zielmerkmals der Erreichung maximaler Erträge und der Ausrichtung auf nur eine spezifische Intensität (Punktlösung)
- Erstellung eines möglichst breiten Handlungsrahmens (VDLUFA- Versorgungsgruppen C - D), in dem der Versorgungsgrad mit organischer Substanz als optimal angesehen wird
- Ausweisung einer unteren Grenze der Versorgung mit organischer Substanz (Versorgungsgruppen A/B), die nicht unterschritten werden darf, damit standorttypische Humusgehalte und die Nachhaltigkeit der Betriebe gewährleistet werden

---

<sup>19</sup> Näheres zu den einzelnen Methoden unter den Kapiteln 3.3 und 4.1

Ausweisung einer oberen Grenze der Versorgung, damit Belange des Umwelt- und Ressourcenschutzes gewahrt werden (Übergang zur Gruppe E).

Jedoch auch andere Autoren (u. a. LEITHOLD & BROCK 2006) weisen auf die Notwendigkeit der Verbesserung bestehender Humusbilanzmethoden hin. Besonders Anpassungen an verschiedene Bewirtschaftungsarten und an unterschiedliche Standorte erscheinen wichtig. 2006 entwickelte KOLBE (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft) eine standortangepasste Humusbilanzierung, deren Grundlage die VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS ET AL. 2004) bildet. Insbesondere das ROS-Verfahren (untere Grenze) der VDLUFA-Methode wurde wegen der hohen Praxisnähe und der großen versuchstechnischen Absicherung als günstige Ausgangsbasis angesehen (KOLBE 2006b). Die Methodenüberprüfungen von KOLBE (2006b) wurden an 39 Versuchen mit 330 Varianten, die alle wesentlichen Bewirtschaftungsverfahren abdecken und eine durchschnittliche Laufzeit von 21 Jahren hatten, vorgenommen. Im Folgenden sollen die Neuerungen der standortangepassten Methode dargestellt werden.

Im Unterschied zu der VDLUFA-Methode von KÖRSCHENS ET AL. (2004) wurden für die neue Methode sechs Standortgruppen herausgebildet. KOLBE betrachtete in seinen Arbeiten die Zusammenhänge zwischen den  $C_{\text{org}}$ -Gehalten des Bodens bei 100 % Bedarfsdeckung für die oberen (HE) und die unteren (ROS) Werte der VDLUFA-Methode und den Feinanteilen des Bodens. Dabei war eine deutliche Gruppierung der separat aufgeführten Bodenarten zu erkennen. Außerdem wurde auch hier deutlich, dass die Schwarzerden die höchsten positiven Abweichungen von der Nullachse (Nullachse = 0 %  $C_{\text{org}}$ -Änderung) und die Lehme die stärksten negativen Abweichungen von der Nullachse haben. Dies verdeutlicht noch einmal, dass die Humifizierung auf den verschiedenen Standorten, mit stark unterschiedlicher Intensität abläuft, so dass zur Aufrechterhaltung eines bestimmten  $C_{\text{org}}$ -Niveaus unterschiedlich hohe Zufuhrmengen an organischer Substanz erforderlich sind. (KOLBE 2006b)

Folgende Standortgruppen konnten nach vielfältigen Verrechnungen herausgebildet werden:

### **Standortgruppe 1**

- Schwarzerden in der Regel aus Lehm (Löss), Feinanteil von ca. 17 – 30 %
- Tonböden ab Feinanteil von > 38 % und > 700 mm (Bergregion) bzw. 800 mm (Flachland) Niederschlag/Jahr
- Sandböden mit einem Feinanteil bis ca. 8 % mit einem C/N-Verhältnis weiter als ca. 12-15

### **Standortgruppe 2**

- Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand mit einem Feinanteil bis 13-14 %

- < 8,5 °C Durchschnittstemperatur
- toniger Lehm ab 28 % Feinanteil, Tonböden

### **Standortgruppe 3**

- Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand
- > 8,5 °C Durchschnittstemperatur

### **Standortgruppe 4**

- stark sandiger Lehm, sandiger Lehm
- Feinanteil zwischen 14 % und 21 %
- < 8,5 °C Durchschnittstemperatur

### **Standortgruppe 5**

- stark sandiger Lehm, sandiger Lehm
- > 8,5 °C Durchschnittstemperatur

### **Standortgruppe 6**

- Lehm
- Feinanteile zwischen 22 und 27 %
- C/N-Verhältnis unter ca. 9,

KOLBE (2006b, S.20) bemerkte, dass schon ASMUS & HERRMANN (1977) eine Abstufung nach Bodenarten „zur Ermittlung der Mengen an reproduktionswirksamer organischer Substanz zur Sicherung der einfachen Reproduktion“ vorgenommen hatten. Sie stellten folgende Bodengruppen mit steigendem Bedarf an organischer Substanz zusammen:

*Schwarzerde < S/Sl < IS/sL < L/T*

Der einzig gravierende Unterschied zu den Ergebnissen von KOLBE (2006b), stellt die Eingruppierung der Tonböden zu den Lehmen dar. Die Tonböden werden von KOLBE (2006b) in eine Gruppe mit den Schwarzerden genannt, was bedeutet, dass sie in den Versuchen auch über einen geringen Abbau von organischer Substanz, bzw. über eine hohe Anreicherung von Humusstoffen verfügen.

Nach der Ausweisung der Standortgruppen konnte eine entsprechende Differenzierung der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten erfolgen. „Hierbei wurden die humusabbauende Intensität des Standortes und die Zufuhr über EWR der jeweiligen Kulturart oder Kulturartengruppe unter Berücksichtigung der Ertragsfähigkeit der Bodengruppe zu einer Kennzahl vereinigt.“ (KOLBE 2006b, S. 20) Dabei wurde von der Vorstellung ausgegangen, dass „unter Einbeziehung der spezifischen Ertragsreaktionen die Aktivität

eines Standortes entsprechend den klimatischen und bodenbürtigen Einflüssen in gleicher Weise auf humuszehrende und humusmehrende Kulturarten wirkt.“ (KOLBE 2006b, S. 22). Bei den Berechnungen konnte eindeutig festgestellt werden, dass die unteren Werte (ROS) der VDLUFA-Methode besser als Ausgangswerte für die Herausbildung einer standortabhängigen Humusbilanzmethode geeignet sind, als die oberen Werte (HE).<sup>20</sup> Deshalb wurde sich bei der Optimierung der Kulturartenkoeffizienten auf die Weiterentwicklung des ROS-Verfahrens konzentriert. Weiterhin wurde deutlich, dass bisher von einer zu niedrigen Höhe der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten ausgegangen worden ist. Dementsprechend wurden alle Koeffizienten pauschal um einen absoluten Betrag von 50 kg C/t erhöht. KOLBE (2007, schriftliche Mitteilung) begründet diese Erhöhung mit dem heute allgemein höheren Ertragsniveau und dem damit zusammenhängenden höheren EWR-Anteil, der im Boden verbleibt. Anschließende Berechnungen bestätigten die Richtigkeit dieses Schrittes.

Das Ergebnis der langen und aufwendigen Verrechnungen sind die in Tabelle 5 dargestellten Zahlen.

Tabelle 5: Standortspezifische Veränderung der Humusvorräte der Kulturarten in Humusäquivalenten (kg C/ha\*a) bei 6 Standortgruppen im Vergleich zu den unteren Werten der VDLUFA-Methode (aus KOLBE 2006a)

		Standortgruppe						Untere Werte (ROS)
		1	2	3	4	5	6	
<b>Hauptfruchtarten</b>	Hackfrüchte: Rüben, Kartoffeln	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-760
	Mais	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-560
	Getreide, Öl- und Faserpfl., Sonnenblume	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-280
	Körnerleguminosen	410	310	210	260	160	20	160
<b>Mehrwähriges Feldfutter, Ackergras, Leguminosen, Leguminosengras, Gemenge, Vermehrung</b>	je Hauptnutzungsjahr	850	750	650	700	600	460	600
	im Ansaatjahr als Frühjahrsblanksaat	650	550	450	500	400	260	400
	bei Gründedeckfrucht	550	450	350	400	300	160	300
	als Untersaat	450	350	250	300	200	60	200
	als Sommerblanksaat	350	250	150	200	100	-40	100
<b>Zwischenfrüchte</b>	Winterzwischenfrüchte	370	270	170	220	120	-20	120
	Stoppelfrüchte	330	230	130	180	80	-60	80
	Untersaat	450	350	250	300	200	60	200
<b>Brache (Stilllegung)</b>								
<b>Selbstbegrünung</b>	ab Herbst	430	330	230	280	180	40	180

<sup>20</sup> genauere Informationen dazu in KOLBE (2006)

	ab Frühjahr des Brachejahres	330	230	130	180	80	-60	80
<b>Gezielte Begrünung</b>	ab Sommer für folgende Brachejahre	950	850	750	800	700	560	700
	ab Frühjahr des Brachejahres	650	550	450	500	400	260	400

In Tabelle 5 sind die z. T. doch sehr starken Differenzierungen der Koeffizienten (entsprechend der Standortgruppe) zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Werte der Standortgruppe 5 genau den Werten der bisherigen ROS-Methode entsprechen. Weiterhin wird die Abstufung der Bedarfe an organischer Substanz von gering (Standortgruppe 1) bis sehr hoch (Standortgruppe 6) sehr deutlich.

Neben der Anpassung der Humifizierungskoeffizienten der Kulturarten musste auch eine Anpassung der Reproduktionskoeffizienten der organischen Düngemittel erfolgen. Besonders erforderlich schien die Korrektur im Falle von Stroh. Der bisher im VDLU-FA-Standpunkt verwendete Wert von 100 kg C/t Stroh wurde v. a. aufgrund von Untersuchungen trocken-warmer Standorte ermittelt. Nach KOLBE (2006b) reicht jedoch die Spanne des Koeffizienten, je nach Standort, von ca. 150 – 120 kg C/t Stroh (Schwarzerden) bis 50 – 0 kg C/t Stroh (schwere Lehmböden). KOLBE (2006b) geht davon aus, dass diese unterschiedliche Reproduktionsleistung nicht nur für Stroh, sondern für alle organischen Materialien zutrifft.

Bei statistischen Auswertungen vieler Dauerversuche stellte KOLBE (2006b) fest, dass die Reproduktionsleistung organischer Substanzen neben der standörtlichen Variationsbreite auch noch von der durchschnittlich zugeführten Substanzmenge abhängig ist. „Je höher diese jährlichen Zufuhrmengen sind, umso geringer waren die Reproduktionsleistungen.“ KOLBE (2006b, S. 31) Folgende Rangfolge der Reproduktionsleistung organischer Materialien konnte formuliert werden:

*Kompost > Stalldung > Gülle > Stroh > Gründüngung*

In Tabelle 6 sind die neuen Reproduktionskoeffizienten der organischen Düngemittel in Abhängigkeit von der zugeführten Menge aufgezeigt:

Tabelle 6: Reproduktionskoeffizienten organischer Materialien nach standortangepasster Methode (nach KOLBE 2006a)

<b>Zufuhr:</b>		<b>TM (%)</b>	<b>niedrig</b>		<b>mittel</b>		<b>hoch</b>	
	Stroh (t/ha*a)		bis 3		3 - 6		> 6	
	Gründüngung, Stalldung, Kompost (t/ha*a)		bis 10		10 - 20		> 20	
	Gülle (m <sup>3</sup> /ha*a)		bis 35		35 - 70		> 70	
			% TM	kg C / t	% TM	kg C / t	% TM	kg C / t
<b>Pflanzenmaterial</b>	Stroh	86,0	9,7	83,4	7,9	67,9	4,8	41,3
	Gründüngung, Rübenblatt, Marktabfälle	10,0	5,5	5,5	3,2	3,2	1,0	1,0
	Grünschnitt	20,0	5,5	11,0	3,2	6,4	1,0	2,0
<b>Stallmist</b>	frisch	20,0	125,0	25,0	10,5	21,0	9,5	19,0

		30,0	12,5	37,5	10,5	31,5	9,5	28,5
	verrottet (auch Feststoff aus Güllesepar.)	25,0	13,2	33,0	11,2	28,0	9,6	24,0
		35,0	13,2	46,2	11,2	39,2	9,6	33,6
	kompostiert	35,0	16,7	58,5	13,5	47,3	10,6	37,1
		55,0	16,7	91,9	13,5	74,3	10,6	58,3
<b>Gülle</b>	Schwein	4,0	8,1	3,2	7,3	2,9	7,3	2,9
		8,0	8,1	6,5	7,3	5,8	7,3	5,8
	Rind	4,0	12,3	4,9	11,6	4,6	11,6	4,6
		7,0	12,3	8,6	11,6	8,1	11,6	8,1
		10,0	12,3	12,3	11,6	11,6	11,6	11,6
	Geflügel (kot)	15,0	8,0	12,0	7,5	11,3	7,0	10,5
		25,0	8,0	20,0	7,5	18,8	7,0	17,5
		35,0	8,0	28,0	7,5	26,3	7,0	24,5
45,0		8,0	36,0	7,5	33,8	7,0	31,5	
<b>Bioabfall</b>	nicht verrottet	20,0	10,0	20,0	8,0	16,0	6,0	12,0
		40,0	10,0	40,0	8,0	32,0	6,0	24,0
	Frischkompost	30,0	13,2	39,6	11,2	33,6	9,6	28,8
		50,0	13,2	66,0	11,2	56,0	9,6	48,0
	Fertigkompost	40,0	15,0	60,0	12,5	50,0	10,0	40,0
		50,0	15,0	75,0	12,5	62,5	10,0	50,0
60,0		15,0	90,0	12,5	75,0	10,0	60,0	
<b>Klärschlamm</b>	ausgefäult, unbehandelt	10,0	11,5	11,5	10,0	10,0	10,0	10,0
		15,0	11,5	17,5	10,0	15,0	10,0	15,0
		25,0	11,5	28,8	10,0	25,0	8,0	20,0
		35,0	11,5	40,3	10,0	35,0	8,0	28,0
		45,0	11,5	51,8	10,0	45,0	8,0	36,0
	kalkstabilisiert	20,0	10,0	20,0	9,0	18,0	8,0	16,0
		25,0	10,0	25,0	9,0	22,5	8,0	20,0
		35,0	10,0	35,0	9,0	31,5	8,0	28,0
		45,0	10,0	45,0	9,0	40,5	8,0	36,0
		55,0	10,0	55,0	9,0	49,5	8,0	44,0
<b>Gärrückstände</b>	flüssig	4,0	15,0	6,0	14,0	5,6	14,0	5,6
		7,0	12,5	8,8	11,5	8,1	11,5	8,1
		10,0	12,0	12,0	11,0	11,0	11,0	11,0
	Fest	25,0	13,2	33,0	11,2	28,0	9,6	24,0
		35,0	13,2	46,2	11,2	39,2	9,6	33,6
	kompostiert	30,0	15,0	45,0	12,5	37,5	10,0	30,0
60,0		15,0	90,0	12,5	75,0	10,0	60,0	
<b>Sonstiges</b>	Rindenkompost	30,0	19,0	57,0	17,0	51,0	16,0	48,0
		50,0	19,0	95,0	17,0	85,0	16,0	80,0
	See- und Teichschlamm	10,0	10,0	10,0	9,0	9,0	9,0	9,0
		40,0	10,0	40,0	9,0	36,0	9,0	36,0

Trotz der vorliegenden differenzierten Faktoren, welche die realen Verhältnisse sicher besser abdecken, als die Faktoren der VDLUFA-Methode nach KÖRSCHENS ET AL. (2004), weist KOLBE (2006b) darauf hin, „dass dem Wesen nach mit dem vorliegenden Verfahren keine voll quantitative Berechnung erfolgen kann. Dafür sind die Eingabeparameter für die Kulturarten und die Standortbeschreibung zu ungenau. Die vorgestellte Methode erlaubt daher nur die Berechnung von halb-quantitativen Abschätzungen, ...“ (KOLBE, 2006b, S. 45). Wichtig ist die Erkenntnis von KOLBE & PRUTZER (2004), nach der die Reproduktionskoeffizienten der Kulturarten und der organischen Materialien gleichermaßen für konventionelle, als auch für ökologische Anbauverfahren übernommen werden können: „Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass der Anbau z. B.

einer Getreideart oder die Applikation einer bestimmten Menge an Stallung keine unterschiedliche Wirkung auf den Boden zwischen diesen Anbausystemen bewirkt.“ (KOLBE, 2006b, S. 45)

Eine letzte Anpassung erfolge für das VDLUFA-Bewertungssystem der Versorgungsstufen A bis E. In der Literatur gab es zu der Höhe der Versorgungsgrade für die einzelnen Stufen heftige Diskussionen. Zudem kam, dass KOLBE & PRUTZER (2004) einen Zusammenhang zwischen der Höhe der N-Mineraldüngung und den berechneten Humussalden gefunden haben. Demnach kann zur Einhaltung eines bestimmten N-Saldenniveaus ein steigender Humussaldo durch eine abnehmende N-Mineraldüngung ersetzt werden (und anders herum). Diese Erkenntnis ist v. a. für den Ökolandbau von Bedeutung, weil sie belegt, dass „die bisher festgelegten VDLUFA-Grenzen der Humussalden z. B. zur Überschreitung des E-Versorgungsniveaus für diese Anbauverfahren, ..., viel zu niedrig angesetzt worden sind.“ (KOLBE, 2006b, S. 48) Nach Auswertung der vorhandenen Daten und Berechnungen wurde von KOLBE (2006a)<sup>21</sup> folgendes Bewertungssystem für die verschiedenen Anbauverfahren vorgeschlagen:

Tabelle 7: Bewertungsschema für die Humusbilanzklassen nach Kolbe 2006a

Bewertungsgruppen	Humussalden in kg C/ha*a			
	Ökologischer Landbau		Konventionelle Landbau	
	Durchschnitt	Leichte Standorte	Durchschnitt	Leichte Standorte
<b>A</b>	< - 200	< - 200	< - 200	< - 200
<b>B</b>	- 200 bis -76	- 200 bis -76	- 200 bis -76	- 200 bis -76
<b>C</b>	-75 bis 400	-75 bis 200	-75 bis 100	-75 bis 75
<b>D</b>	401 bis 600	201 bis 400	101 bis 300	76 bis 200
<b>E</b>	> 600	> 400	> 300	> 200

Dabei konnten die Werte der bisherigen Versorgungsgruppen A bis C im Wesentlichen für den konventionellen, als auch für den ökologischen Landbau übernommen werden. Ziel der Bilanzierung sollte immer die Versorgungsgruppe C (100 % Bedarfsdeckung = 0 kg C/ha\*a) sein, da bei diesem Niveau die standortangepassten Humusgehalte eingehalten werden. „Das System ist so kalibriert, dass bei diesem Niveau dann 75 – 80 % der Fälle den Ausgangsgehalt an Humus einhalten und ca. 100 % der Fälle, die mindestens die untere Grenze von -75 kg C/ha\*a des Standortes nicht unterschreiten.“ (KOLBE, 2006, S. 50) Ab der Obergrenze von Gruppe C unterscheiden sich dann die Anbausysteme erheblich voneinander. Grund dafür sind die schon erwähnten Zusammenhänge zwischen den höchstens tolerierbaren N-Salden und den Humussalden. Während für den Ökolandbau die Stufe D erst ab 400 kg C/ha anfängt, rutscht ein konventioneller Betrieb

schon ab einem Humussaldo von 101 kg C/ha in die Versorgungsstufe D. Abbildung 10 verdeutlicht noch einmal das Bewertungsschema für die Humusversorgung:

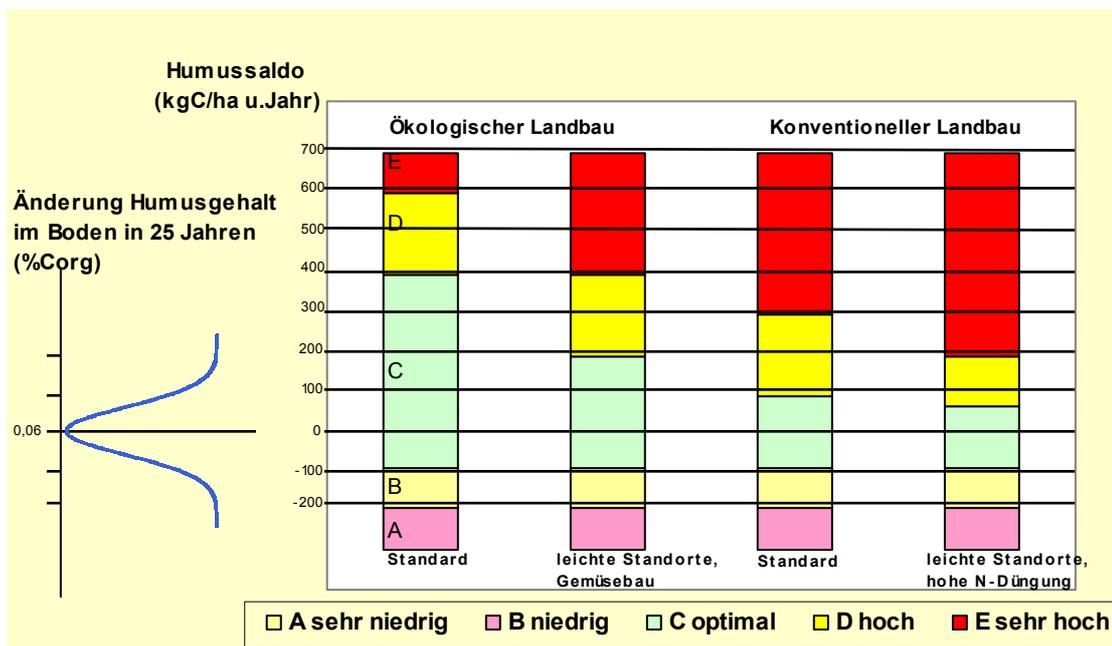


Abbildung 10: Bewertungsschema für die Humusversorgung (aus KOLBE 2006c)

Bei den in dieser Arbeit vorgenommenen Berechnungen der standortangepassten Humusbilanzierung wurden zwei verschiedene Verrechnungsarten getestet. Diese Verrechnungsarten sollen im Folgenden kurz erläutert werden:

*Verrechnungsvariante „original“:*

Sowohl für die Humusbedarfe, als auch für die Reproduktionsleistungen werden Mittelwerte für den betrachteten Zeitraum berechnet. Die Humusbilanz für diese Zeitdauer wird aus den berechneten Mittelwerten erstellt. Diese Variante der Berechnung wurde bei der Entwicklung der neuen Methode von KOLBE (2006b) angewandt.

*Verrechnungsvariante „endgemittelt“:*

Für jedes Jahr des betrachteten Zeitraumes wird aus dem Humusbedarf und der Reproduktionsleistung eine Humusbilanz erstellt. Diese Bilanzen werden am Ende der Berechnung über die entsprechende Zeit gemittelt.

<sup>21</sup> die Berechnungen können in KOLBE (2006, S. 45 bis 51) nachgelesen werden

### 5.3 Kalkulation von Abfuhrmengen an organischer Substanz

Grundlage für die Berechnungen zu Abfuhr von organischer Substanz auf den untersuchten Flächen bildet das Stroh- und Blattaufkommen der einzelnen Flächen<sup>22</sup>. Die Daten zum Strohaufkommen konnten den Urdaten von MÖNICKE ET AL. (2005) entnommen werden. Das Strohaufkommen wird folgendermaßen berechnet:

1. Ertrag der Frucht ermitteln
2. durch das Korn/Stroh- bzw. Wurzel/Blatt-Verhältnis kann aus dem Ertrag die anfallende Strohmenge bestimmt werden

Die in der Tabelle aufgeführten Verhältnisse wurden zu der Berechnung der anfallenden organischen Substanz benutzt.

Tabelle 8: Korn/Stroh- bzw. Wurzel/Blatt-Verhältnisse verschiedener Ackerkulturen (nach FÖRSTER, ERNST & ALBERT 2004)

Frucht	Korn/Stroh- bzw. Wurzel/Blatt-Verhältnis
Getreide	1 : 1
Hafer	1 : 1,2
Mais	1 : 0,8
Zuckerrüben	1 : 0,7
Futterrüben	1 : 0,4
Raps	1 : 2

Für die Fruchtart Silomais wurde eine Strohmenge von Null angenommen, weil davon ausgegangen wurde, dass beim Silomaisanbau die gesamte Pflanze noch vor der Reife geerntet, gehäckselt und zu Silage verarbeitet wird.

Die anfallenden Strohmenngen wurden in einem ersten Schritt von der Frischmasse in die Trockenmasse umgerechnet. Dabei wurden die folgenden Trockenmassegehalte angenommen:

---

<sup>22</sup> Im Folgenden wird der Einfachheit halber statt Stroh- und Blattaufkommen nur noch der Terminus Strohaufkommen verwendet.

Tabelle 9: Im Erntegut angenommene Trockenmassegehalte verschiedener Ackerkulturen (HYDRO AGRICULTURE DÜLMEN GMBH 1993)

<b>Erntegut</b>	<b>% Trockenmasse (im Erntegut angenommener Trockenmassegehalt)</b>
Getreidestroh	86
Körnermais-Stroh	86
Erbsen-, Bohnenstroh	86
Rapsstroh	86
Zuckerrübenblatt	16
Futtermühskraut	10
Kartoffelkraut	25
Leguminosen	20
Ackergras	21

Im Gegensatz zu den Berechnungen von MÖNICKE ET AL. (2005), welche die Humusbilanzen aufgrund der tatsächlich nach der Ernte von Frucht und Stroh noch auf den Äckern vorhandenen Strohmenge kalkulierten, wurde für die Abfuhrmengkalkulation mit den maximalen Strohmenge weitergerechnet, die theoretisch aus dem Ertrag der Ackerfrüchte verfügbar sind. Ausgehend von der anfallenden Menge an abfuhrbarer organischer Substanz, wurden in einem weiteren Schritt für alle Flächen neue Humusbilanzen berechnet. Die Neuberechnungen wurden mit den Methoden „Standortangepasste Methode“ (endgemittelt), „Standortangepasste Methode“ (original), VDLUFA (untere Werte) und VDLUFA (obere Werte) durchgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass die über ein Humussaldo von 0 kg C/ha\*a hinausgehende Menge an organischem Kohlenstoff genutzt und als Stroh abgefahren werden kann. Die Umrechnung von kg C/ha\*a in t Stroh/ha\*a erfolgte anhand der von KOLBE (2006a) vorgegebenen Reproduktionskoeffizienten.<sup>23</sup> Die Humussalden wurden im Anschluss gemittelt. Damit kann für jede Methode eine durchschnittliche Menge Stroh pro Hektar angegeben werden, die abgefahren werden kann.

Um die Ergebnisse der Kalkulation mit den Ergebnissen anderer Autoren (z. B. mit TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003)) vergleichen zu können, wurden anschließend die Ergebnisse auf die Anbauflächen in Sachsen hochgerechnet.

<sup>23</sup> siehe Tabelle 6 in Kapitel 5.2

## 6 Ergebnisdarstellung und Auswertung

### 6.1 Humusbilanzierung nach REPRO, VDLUFA und standortangepasster Methode

Die Ergebnisse der durchgeführten Humusbilanzierungen werden in diesem Kapitel detailliert vorgestellt. Dabei wird eine Unterteilung dieser Ergebnisse nach folgenden Gesichtspunkten erfolgen:

- Bewirtschaftungsart
- Standort
- Agrarstrukturgebiete
- Bodenart
- Klimaentwicklung
- Biomasseproduktion/Energiefruchtfolge

Zuerst werden jedoch allgemeine Aussagen zu den Ergebnissen getroffen.

Für die 760 ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen in Sachsen wurden auf der Grundlage der Daten von MÖNICKE ET AL. (2005) die Humusbilanzen nach verschiedenen Methoden neu berechnet, bzw. vorhandene Humusbilanzergebnisse umgerechnet. Die Bilanzen wurden für folgende Methoden ermittelt:

*REPRO:*

Berechnung der Humusbilanzen mit verschiedenen Eingangsparametern (jeweils mit den unteren und oberen Werten der VDLUFA-Methode)

- REPRO unt
- REPRO ob

*VDLUFA nach VDLUFA-Standpunkt* (KÖRSCHENS ET AL., 2004):

Berechnung der Humusbilanzen jeweils mit den ausgewiesenen unteren und oberen Werten

- VDLUFA unt
- VDLUFA ob

*Standortangepasste Methode* nach KOLBE (2006):

Berechnung der Humusbilanzen mittels zwei unterschiedlicher Verrechnungsarten<sup>24</sup>

- Standortangepasste Methode „endgemittelt“

---

<sup>24</sup> Siehe Kapitel 5.2

- Standortangepasste Methode „original“

In folgendem Diagramm sind die Gesamtergebnisse der Humusbilanzierung differenziert nach den untersuchten Methoden dargestellt. Es ist jeweils die Häufigkeit des Vorkommens der Humusbilanzklassen A bis E aufgezeigt.

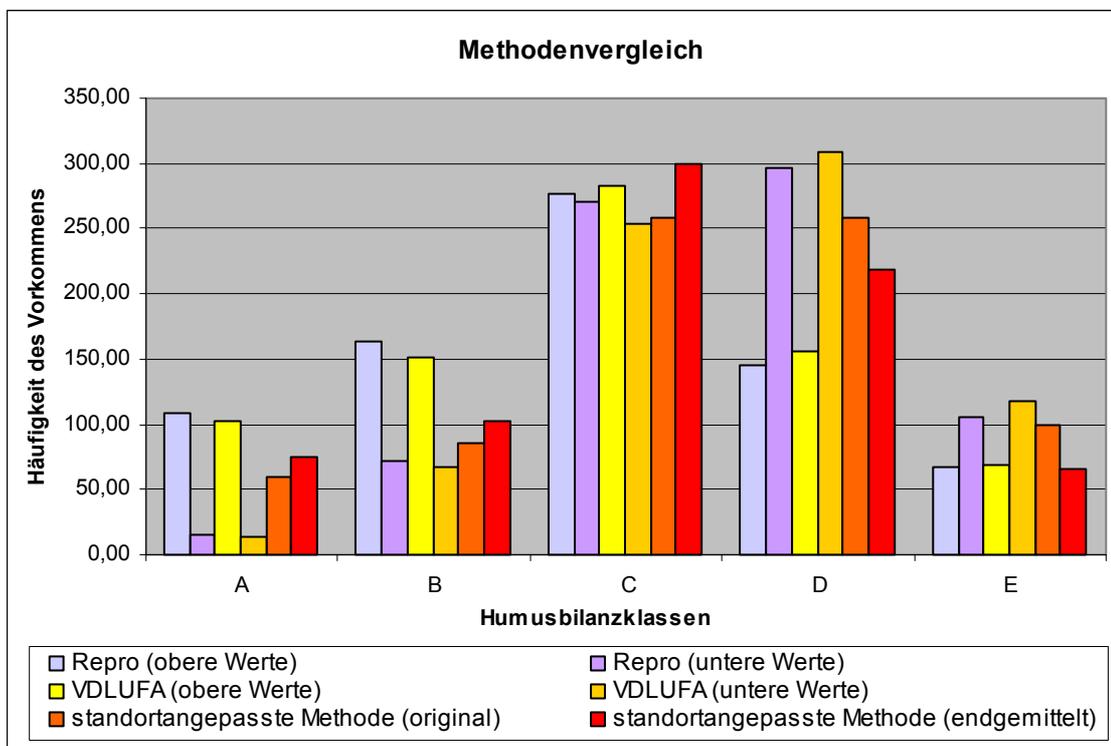


Abbildung 11: Vergleich der Häufigkeit des Vorkommens der verschiedenen Versorgungsstufen bei den untersuchten Humusbilanzmethoden

Die meisten der betrachteten Dauertestflächen liegen mit ihren Humusbilanzen im Bereich der Klassen C und D. Ziel einer Humusbilanzierung sollte das Erreichen der Humusklasse C sein.

Die Ergebnisse der getesteten neuen Methode nach KOLBE (2006b) liegen meist genau zwischen den Ergebnissen der Berechnungen mit den unteren und den oberen Werten. Bei der Betrachtung der herkömmlichen Methoden kann folgendes Bild beschrieben werden:

Berechnungen mit den unteren Werten (REPRO und VDLUFA):

- wenig Flächen in den Klassen A und B
- die meisten Flächen in Klasse D
- leichte Verschiebung der Häufigkeit des Vorkommens in Richtung einer positiven Humusbilanz

Berechnungen mit den oberen Werten (REPRO und VDLUFA):

- die wenigsten Flächen in den Klassen A und E
- etwa gleich viele Werte in den Klassen B und D
- die meisten Werte in der Klasse C

In den nächsten zwei Diagrammen sind die Ergebnisse der Humusbilanzierung nach standortangepasster Methode noch einmal einzeln aufgeführt. Zwischen den beiden Verrechnungsmöglichkeiten der Methode nach KOLBE (2006b) fällt auf, dass bei den Ergebnisse der endgemittelten Variante die Versorgungsstufe C eindeutig dominiert, wogegen die Ergebnisse der originalen Verrechnung eine deutliche Verschiebung der Häufigkeit in Richtung der Klasse D aufweisen. Bei der Verrechnungsvariante „original“ sind ebensoviel Flächen in Klasse C, wie in Klasse D (258) und gleichzeitig auch mehr Flächen in Klasse E. Dementsprechend sind in den Versorgungsklassen A und B weniger Flächen zu verzeichnen.

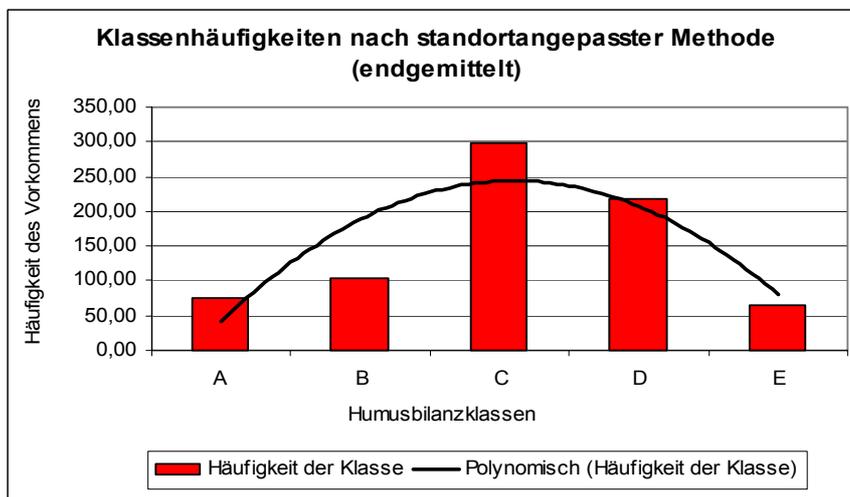


Abbildung 12: Klassenhäufigkeiten nach standortangepasster Methode (endgemittelt)

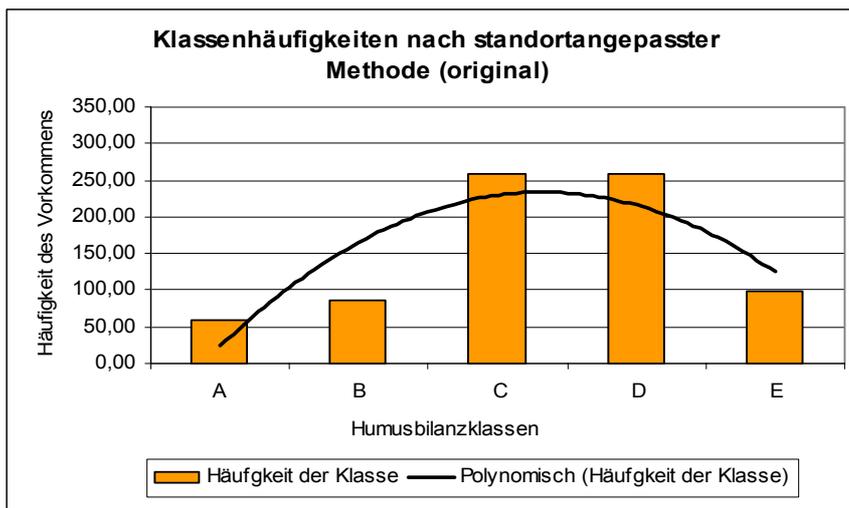


Abbildung 13: Klassenhäufigkeiten nach standortangepasster Methode (original)

Zum Vergleich ist in Abbildung 14 die Verteilung der Humusbilanzen aller Dauertestflächen nach VDLUFA-Standpunkt (KÖRSCHENS ET AL., 2004), untere Werte, dargestellt. Es ist sehr gut zu erkennen, dass in diesem Fall die Masse der Salden in der Versorgungsklasse D liegen, d. h. vom Ziel der Humusbilanzklasse C wird hier noch weiter abgewichen, als bei der „originalen“ Verrechnung der neuen Methode. Klasse D dominiert eindeutig mit 308 Flächen, in Klasse A fallen nur noch 14 von 760 Flächen.

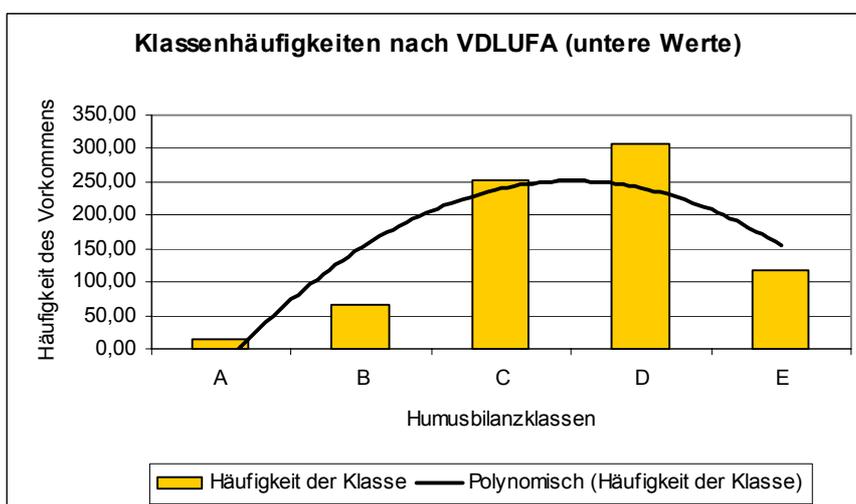


Abbildung 14: Klassenhäufigkeiten nach VDLUFA (untere Werte)

Eine weitere Möglichkeit, die Ergebnisse der Humusbilanzierung vergleichend darzustellen, ist eine Abbildung der aufsteigend sortierten Ergebnisse für alle 760 Flächen. Anhand des resultierenden Graphen lässt sich die Verteilung der Ergebnisse für die einzelnen Methoden recht gut nachvollziehen.

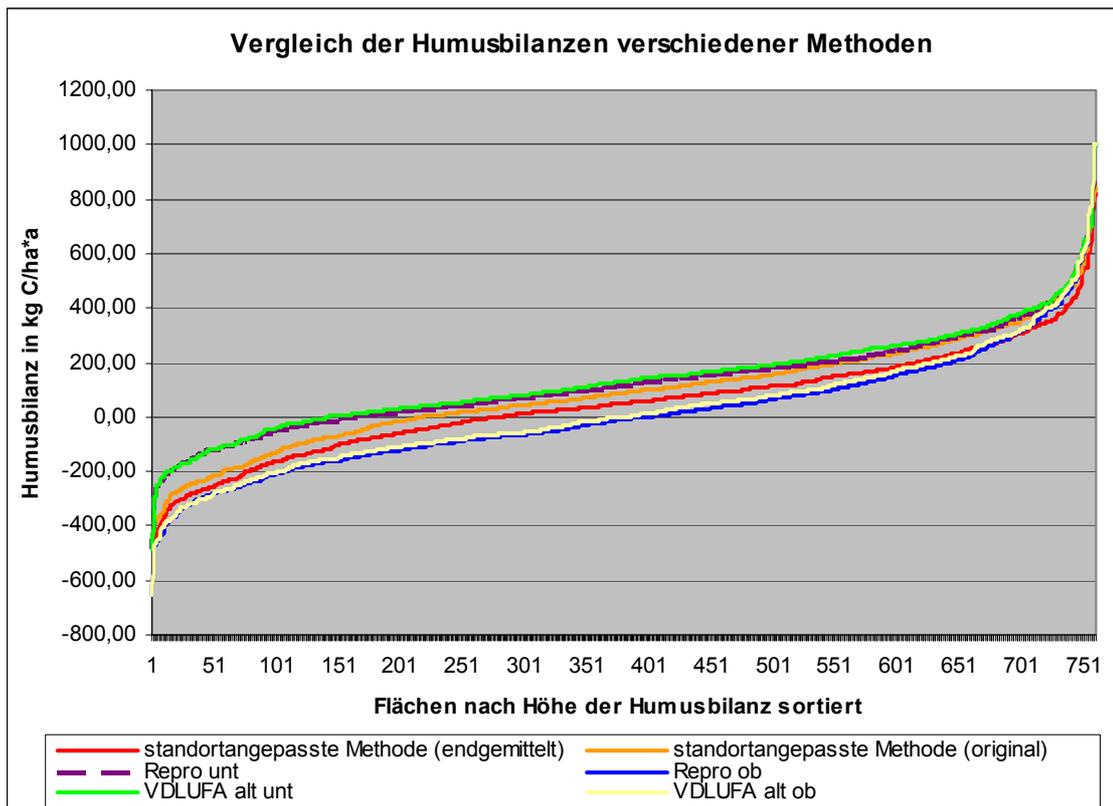


Abbildung 15: Vergleich der nach der Höhe der Humusbilanz sortierten Flächen verschiedener Humusbilanzmethoden

Die Ergebnisse der Methoden REPRO (obere Werte) und VDLUFA (obere Werte) sind ziemlich ähnlich. Die Graphen beider Ergebnismengen befinden sich im unteren Bereich der Darstellung, d. h. dass die Salden der Humusbilanzierung dieser Methoden kleinere Werte haben, als die Salden der anderen Methoden. Es sind sowohl mehr negative Humussalden (auf ca. 370 Flächen), als auch mehr Salden im Bereich zwischen 0 und 200 kg C/ha\*a vorhanden. Das Gegenteil zu den eben erwähnten Graphen bilden die Graphen der Methoden REPRO (untere Werte) und VDLUFA (untere Werte). Sie stellen die obersten beiden Kurven dar. Bei diesen Bilanzierungen liegen wesentlich mehr Werte in den Klassen C und D. Dagegen ist die Anzahl der negativen Salden mit ca. 150 relativ gering im Vergleich zu den Bilanzierungen mit den oberen Werten. Die Ergebniskurven der standortangepassten Methode befinden sich genau zwischen den beiden beschriebenen extremen Varianten. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Ergebnisverteilung bei der neuen Methode ausgeglichener ist. Bei der Betrachtung des Graphen der Variante „endgemittelt“ fällt jedoch auch auf, dass die Kurve ab einem Humussaldo von ca. 300 kg C/ha\*a gegenüber den anderen Kurven langsamer steigt. Das deutet auf wenige Werte in den Klassen D und E und eine Mehrzahl der Werte in der Klasse C hin.

### 6.1.1 Ergebnisse nach der Bewirtschaftungsart

Wie schon in Kapitel 3 beschrieben, sind von den 760 untersuchten Dauertestflächen 28 ökologisch und 732 konventionell bearbeitet worden. Die Humusbilanzen wurden immer mit der verfügbaren Zahl an Daten berechnet. Um überhaupt eine auswertbare Zahl an ökologisch bestellten Flächen mitzubetrachten, wurden auch Flächen berücksichtigt, bei denen nur Daten von drei statt von sechs Jahren vorlagen. Auf diesen Fakt wird in der Diskussion unter Punkt 7.3.1 näher eingegangen<sup>25</sup>. In der folgenden Tabelle werden die prozentualen Klassenhäufigkeiten, unterteilt nach der Bewirtschaftungsart, dargestellt:

Tabelle 10: Prozentuale Klassenhäufigkeiten bei den unterschiedlichen Humusbilanzmethoden, unterteilt nach Bewirtschaftungsart

Berechnungsmethode	Anteil der Humusbilanzklassen in %									
	konventionell					ökologisch				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Standortangepasste Methode (endgemittelt)	9,8	13,5	39,9	28,8	7,9	10,7	14,3	64,3	7,1	3,6
Standortangepasste Methode (original)	7,7	11,2	34,6	34,2	12,4	10,7	14,3	64,3	3,6	7,1
REPRO untere Werte	1,9	9,2	36,1	39,5	13,4	7,1	17,9	53,6	10,7	10,7
REPRO obere Werte	14,1	21,6	37,2	19,3	7,9	17,9	21,4	35,7	10,7	14,3
VDLUFA untere Werte	1,6	8,6	33,9	41,1	14,8	7,1	14,3	57,1	10,7	10,7
VDLUFA obere Werte	13,4	19,7	37,8	20,9	8,2	14,3	17,9	42,9	10,7	14,3

Zwischen den Verteilungen der jeweiligen Flächen auf die Versorgungsklassen A bis E sind bei den beiden Bewirtschaftungsarten eindeutig Unterschiede zu erkennen. Bei den ökologisch bestellten Flächen ist die Versorgungsstufe A mit 7 bis 18 % anzutreffen, konventionelle Flächen gehören jedoch nur zu 2 bis 14 % in diese Klasse. Ein abgeschwächtes Bild dessen ist auch in Versorgungsstufe B zu erkennen. Klasse C ist bei den konventionellen Flächen mit Werten zwischen 34 und 40 % vertreten. Diese Versorgungsstufe dominiert bei den Ökoflächen mit 36 bis 64 %. Zwischen den Klassen C und D sind bei konventionellen Flächen nur geringe Unterschiede in der Häufigkeit zu verzeichnen. Sichtlich geringeren Anteil hat Klasse D bei den ökologischen Flächen (7 bis 11 %). Die höchste Versorgungsstufe E ist bei beiden Bewirtschaftungsvarianten etwa gleich stark vertreten.

Werden jetzt zusätzlich noch die verschiedenen Humusbilanzmethoden beachtet, ergibt sich folgender Eindruck:

<sup>25</sup> siehe Kapitel 7.1

*Berechnungsmethoden mit den unteren Werten (REPRO unt und VDLUFA unt):*

- für konventionelle Flächen: Kurven zur Versorgungsstufe D und E verschoben, d. h. mehr Flächen sind tendenziell ausreichend mit Humus versorgt oder überversorgt
- für ökologische Flächen: eindeutige Dominanz der Klasse C

*Berechnungsmethoden mit den oberen Werten (REPRO ob und VDLUFA ob):*

- für konventionelle Flächen: Klasse C kommt am häufigsten vor, Klassen B und D folgen, A und E sind selten, d. h. die meisten Flächen haben eine ausgewogene Humusbilanz
- für ökologische Flächen: die Häufigkeit des Vorkommens verlagert sich leicht in Richtung der unteren Versorgungsstufen, d. h. auf vielen Flächen sind Humusdefizite zu erwarten

*Berechnung nach standortangepasster Methode (endgemittelt und original)*

- für konventionelle Flächen: leichte Verschiebung der Verteilung Richtung Versorgungsstufe D
- für ökologische Flächen: Klasse C dominiert sichtbar, jedoch sind auch mehr Flächen in den Klassen A und B, als in den Klassen D und E

Für einen anschaulicheren Vergleich der Bewirtschaftungsunterschiede wurden die Mittelwerte und Mediane der Humusbilanzierungen für alle konventionellen und alle ökologischen Flächen gebildet. In Abbildung 16 sind die Mittelwerte für die verschiedenen Bilanzierungsmethoden abgebildet:

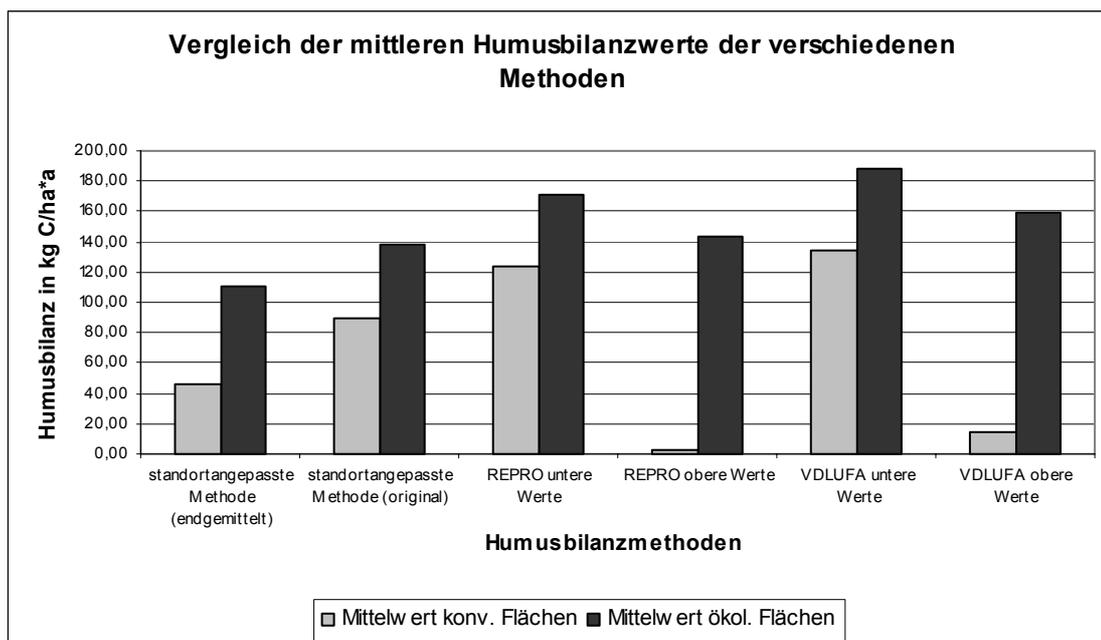


Abbildung 16: Vergleich der Mittelwerte der Humusbilanzierung (nach verschiedenen Methoden) zwischen konventionell und ökologisch bestellten Ackerflächen

Es sind sowohl starke Unterschiede zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Methoden, als auch zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Bewirtschaftungsarten ersichtlich. Die Mittelwerte für konventionelle Flächen schwanken erheblich und reichen von 2,9 kg C/ha\*a bei der Berechnung mit REPRO (obere Werte), bis zu 134,8 kg C/ha\*a bei der Berechnung mittels VDLUFA (untere Werte). Für ökologisch bewirtschaftete Flächen fallen alle Mittelwerte wesentlich höher aus. Sie bewegen sich zwischen 111,0 kg C/ha\*a (standortangepasste Methode, endgemittelt) und 188,3 kg C/ha\*a (VDLUFA, untere Werte). Der eventuell auftretende Widerspruch, dass die Ökoflächen zwar höhere mittlere  $C_{\text{org}}$ -Gehalte aufweisen, dennoch aber bei dem Vorkommen der Humusbilanzklassen etwa gleich (bzw. leicht in Richtung niedrigere Versorgungsstufe verschoben) abschneiden, kann mit der unterschiedlichen Bewertung der Humusgehalte für ökologische und konventionelle Flächen begründet werden.<sup>26</sup>

Die Ergebnisse der Berechnungen mit der standortangepassten Methode ergeben für konventionelle und für ökologische Flächen ein unterschiedliches Bild. Bei der Bewertung konventioneller Flächen bringt die neue Methode Werte, die in der Mitte der Werte von REPRO unt / VDLUFA unt und REPRO ob / VDLUFA ob anzusiedeln sind. Anders verhält es sich jedoch bei ökologischen Flächen. Hier werden mittels der neuen Methode niedrigere Humussalden, als mit allen anderen Methoden berechnet.

In den folgenden Diagrammen sind die statistischen Vergleichswerte Mittelwert und Median für den konventionellen und den Ökolandbau dargestellt. Dabei ist der Median definiert als jener Beobachtungswert, bei dem die Werte jeweils mindestens der Hälfte der Beobachtungen kleiner oder gleich und die Werte mindestens der Hälfte größer oder gleich diesem Wert sind (BRÖSELT 1992).

---

<sup>26</sup> siehe Kapitel 5.2, S. 58

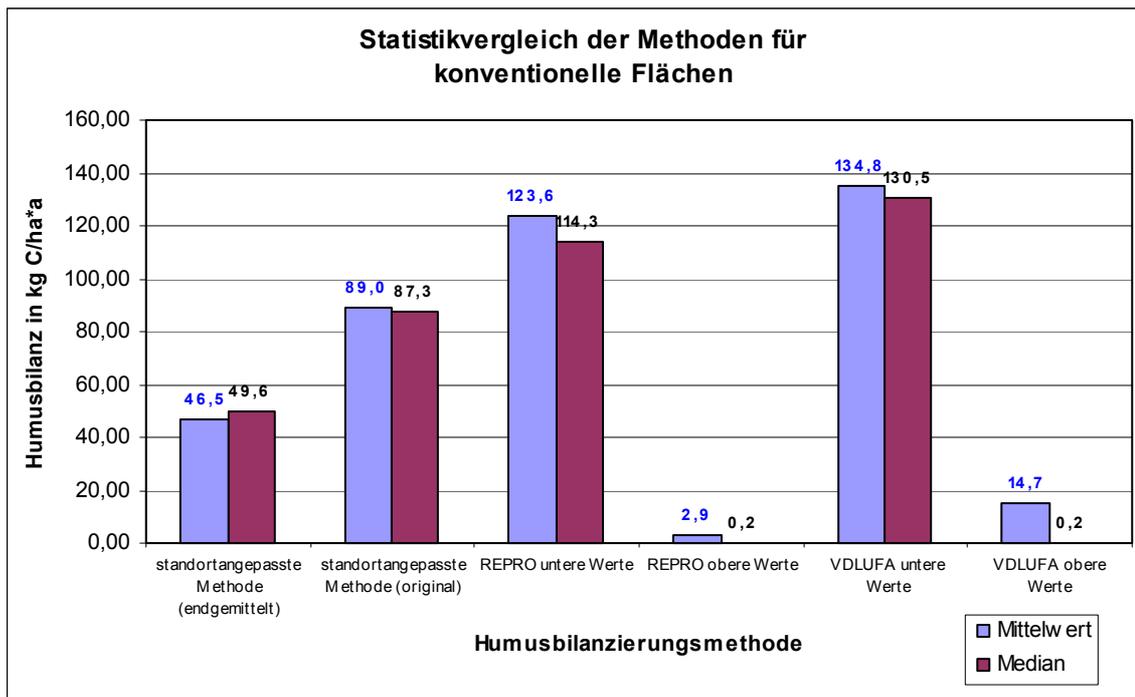


Abbildung 17: Statistischer Vergleich der Humusbilanzmethoden für konventionelle Flächen

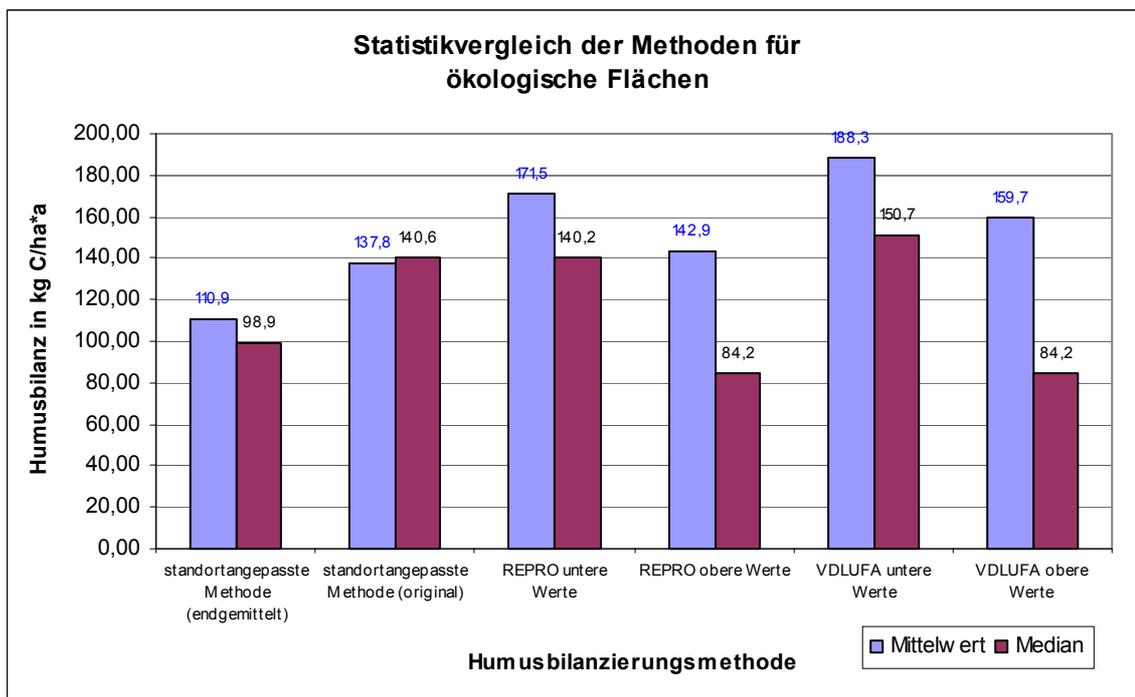


Abbildung 18: Statistischer Vergleich der Humusbilanzmethoden für ökologische Flächen

Der Median ist im Vergleich zum Mittelwert durchweg niedriger. Die einzigen zwei Ausnahmen bilden bei konventionellen Flächen die standortangepasste Methode (endgemittelt) und bei ökologischen Flächen die standortangepasste Methode (original).

Generell sind die Unterschiede zwischen den beiden statistischen Größen bei den Verrechnungsvarianten der standortangepassten Methode am geringsten. Der Median ist normalerweise etwas robuster gegenüber Ausreißerwerten. Wenn nun der Mittelwert und der Median einen vergleichbaren Wert aufweisen, so kann daraus die Schlussfolgerung gezogen werden, dass bei der Bilanzierung weniger Extremwerte aufgetreten sind. Das würde in dem Falle der neuen Methode für eine bessere Standortanpassung sprechen. Je angepasster die Methode an den Standort ist, desto genauer kann der Humussaldo abgeschätzt werden. Bei den herkömmlichen Methoden sind die eingesetzten Parameter immer die gleichen, was bei einer Anwendung auf Standorten, die nicht Grundlage der Entwicklung der Methode waren, zu einer groben Unter- oder Überschätzung führen kann<sup>27</sup>.

Feststellbar ist weiterhin, dass sich die Mittelwerte und Mediane für die Ökolandbauflächen wesentlich mehr unterscheiden. Im Extremfall (VDLUFA obere Werte) ist der Mittelwert doppelt so hoch, wie der Median. Das bedeutet, dass die Werte für die Ökoflächen eine größere Streuung besitzen, als die Salden konventioneller Flächen. Eine mögliche Erklärung liefert die wesentlich geringere Datenbasis bei den Ökoflächen. Eine größere Anzahl von Untersuchungsflächen garantiert natürlich auch eine höhere Sicherheit bei der Auswertung der Daten.

### 6.1.2 Ergebnisse nach Standort

In diesem Abschnitt werden die Humusbilanzen unter dem Aspekt der von KOLBE (2006) ausgewiesenen Standortgruppen betrachtet. In Tabelle 11 wird zunächst die absolute Verteilung der Dauertestflächen nach Standortgruppen vorgestellt:

Tabelle 11: Einteilung der Untersuchungsflächen nach Standortgruppen

Standortgruppe	Sto-Gr. 1	Sto-Gr. 2	Sto-Gr. 3	Sto-Gr. 4	Sto-Gr. 5	Sto-Gr. 6	Flächenanzahl
konventionelle Flächen	3	122	168	221	102	116	732
Ökologische Flächen	0	4	5	7	4	8	28
<b>Gesamt</b>	<b>3</b>	<b>126</b>	<b>173</b>	<b>228</b>	<b>106</b>	<b>124</b>	<b>760</b>

Bei der Betrachtung der obigen Tabelle fällt vor allem das geringe Vorkommen von Flächen der Standortgruppe 1 auf. Nur 3 von 760 Flächen können dieser Gruppe zugeordnet werden. Das schließt von vornherein eine statistisch abgesicherte Betrachtung der Standortgruppe 1 aus.

In den anderen Gruppen sind genügend Flächen für eine Auswertung vorhanden. Jedoch kann auch hier keine Gleichverteilung beobachtet werden. Mit 228 Flächen (30 %), ist

<sup>27</sup> vgl. dazu KOLBE & PRUTZER (2004);

Standortgruppe 4 am stärksten vertreten. Standortgruppe 3 folgt mit 173 oder 23 % der Flächen. Etwa gleich stark vertreten sind die Gruppen 2, 5 und 6, welche mit Anteilen von 14 – 17 % vorkommen.

Werden die ökologisch bewirtschafteten Flächen separat betrachtet, ergibt sich folgendes Bild:

- Standortgruppen 4 und 6 sind am stärksten vertreten
- Standortgruppen 2, 3 und 5 bilden die Mitte
- Standortgruppe 1 kommt nicht vor

Die beschriebene Häufigkeit des Vorkommens von Flächen in den jeweiligen Standortgruppen ist rein zufällig. D.h. es gab im Vorfeld keine Auswahl von Dauertestflächen aufgrund ihres Standortes oder ihrer Bodenart. Jedoch muss festgehalten werden, dass natürlicherweise auf klimatisch und pedologisch günstigen Standorten häufiger Ackerbau betrieben wird, als auf Flächen mit ungünstigen Voraussetzungen. Dabei sind die Standortgruppen 2 bis 5, teilweise auch Standortgruppe 6 für den Ackerbau prädestiniert. Vor allem bei Standortgruppe 1 sind ungünstige Bodenarten<sup>28</sup> Grund für die geringe Eignung.

Da der Standortgruppe 1 nur drei Flächen zugeordnet werden konnten, wird diese Gruppe im Weiteren nicht betrachtet. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass in den folgenden Betrachtungen nicht mehr zwischen konventionell und ökologisch bewirtschaftete Flächen unterschieden wird. Dies geschieht v. a. aufgrund der geringen Datenbasis bei den ökologischen Flächen. In der nächsten Abbildung werden die Ergebnisse der Humusbilanzierung für die 6 untersuchten Methoden aufgezeigt. Diese Abbildung dient der Übersicht und wird später mit einzelnen Diagrammen und Werten untermauert.

---

<sup>28</sup> als ungünstige Bodenarten werden hier tonige Lehme, Tone und reine Sande mit sehr hohen Feinanteilen angesehen, die ihrerseits jedoch auch nur Produkte klimatischer, geologischer und hydrologischer Gegebenheiten sein können.

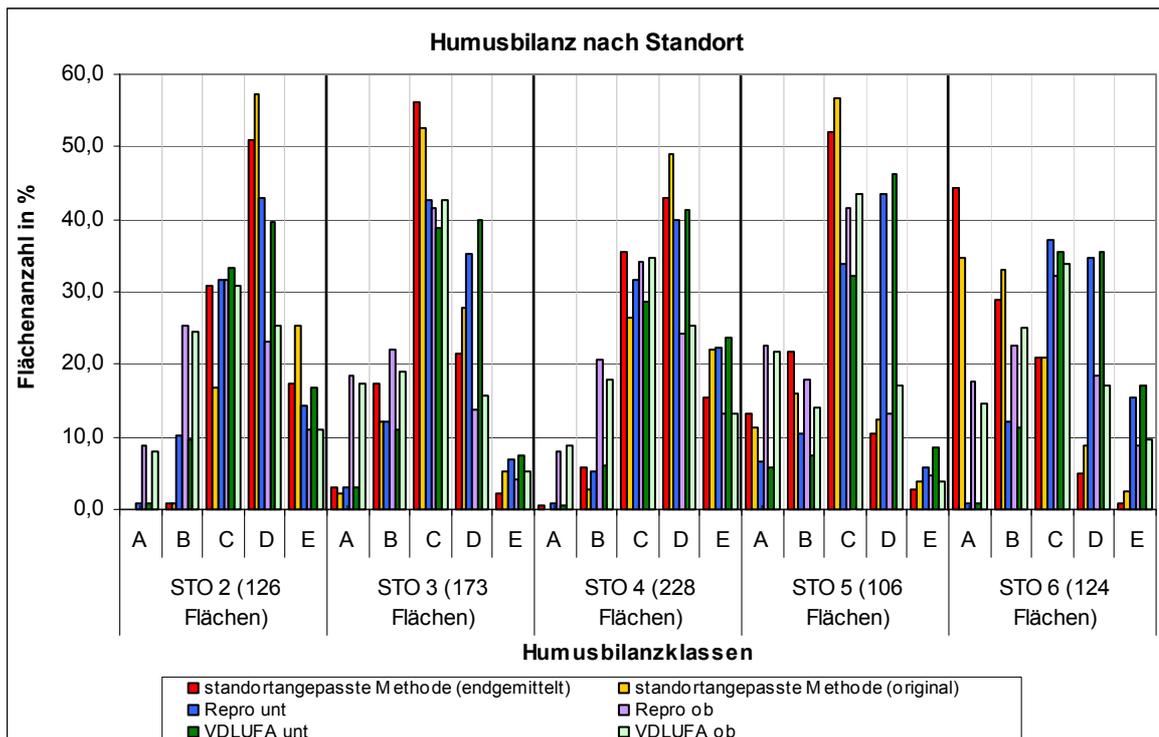


Abbildung 19: Humusbilanzen für die untersuchten Methoden nach Standorten sortiert

Trotz der hohen Informationsdichte des Diagramms, sind die Unterschiede zwischen den Humusbilanzmethoden, zwischen den Standortgruppen und besonders zwischen den Humusbilanzklassen innerhalb eines Standortes deutlich zu erkennen. Generell ist bei den zwei Berechnungsvarianten der standortangepassten Methode eine sehr viel deutlichere Differenzierung zwischen den einzelnen Standortgruppen und auch zwischen den Klassen innerhalb der Standortgruppen auszumachen. Dies kann ebenfalls als Hinweis auf eine erfolgreiche Standortanpassung aufgefasst werden.

### Beschreibung der Standorte

#### Standort 2

Die Ergebnisse der Berechnung mit den oberen Werten für die VDLUFA-Methode und für REPRO zeigen eine Dominanz der Klasse C. Dagegen ist bei den Werten von VDLUFA (unt) und REPRO (unt) eine Verschiebung der Häufigkeit des Vorkommens Richtung Humusbilanzklasse D zu erkennen, welche auch dominiert. Bei der neuen Methode kommt die Humusbilanzklasse A nicht vor, Klasse B nur mit je 1 Fläche. Auch hier dominiert Klasse D stark. Die Ergebnisse der standortangepassten Methode Verrechnungsvariante „original“ zeigen sich extremer, als die andere Variante.

#### Standort 3

Nach den Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) dominiert wieder Klasse C. Jedoch kommen die Klassen A und B häufiger vor, als die Klassen D und E, was eine

Tendenz zur Unterversorgung erkennen lässt. Die Ergebnisse der Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte) zeigen, dass die Klassen C und D fast gleich stark vertreten sind und dass die Klasse A am seltensten vorkommt. Die Ergebnisse nach der standortangepassten Methode sind fast normal verteilt, d.h. Klasse C herrscht vor. Jedoch verzeichnet Klasse D etwas ein etwas häufigeres Auftreten, als Klasse B. Generell weisen in der Standortgruppe 3 die Werte der „endgemittelten“ Berechnungsvariante eine größere Ausgeglichenheit auf.

#### *Standort 4*

Die Werte nach VDLUFA und REPRO (obere Werte) präsentieren wieder eine normale Verteilung des Vorkommens, d. h. Klasse C dominiert. Dem entgegen weisen die Ergebnisse der VDLUFA- und REPRO-Methode (untere Werte) eine deutliche Verschiebung der Verteilung in Richtung der Klasse D auf. Auch Klasse E verzeichnet eine hohe Flächenanzahl, wogegen Gruppe A fast nicht existent ist. Noch auffälliger wird die Flächenverteilung bei der standortangepassten Methode. Hier ist die Verschiebung Richtung Klasse D noch stärker und in Klasse A ist nur noch ein Wert anzutreffen. Die Ergebnisse der Berechnungsvariante „original“ zeigen sich extremer, es herrscht eine noch stärkere Dominanz der Klasse D.

#### *Standort 5*

Die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) präsentieren folgendes Bild: Klasse C dominiert, gefolgt von Klasse A. Die Klassen B und D sind etwa gleich stark besetzt. Nach VDLUFA und REPRO (untere Werte) dominiert Klasse D. Die Klassen A und E sind etwa gleich stark. Dagegen dominiert bei der standortangepassten Methode die Klasse C stark, gefolgt von Klasse B. Die Klassen A und D halten sich die Waage, Klasse E ist am geringsten vertreten. Die Variante endgemittelt der standortangepassten Methode weist eine deutlichere Häufung von Salden in den Klassen A und B und damit Richtung einer Unterversorgung auf.

#### *Standort 6*

Die herkömmliche Berechnung nach VDLUFA und REPRO (obere Werte) zeigt wieder eine Dominanz der Versorgungsklasse C. Nach VDLUFA und REPRO (untere Werte) kann eine deutliche Schiefe der Häufigkeit des Vorkommens in Richtung der Klasse D aufgezeigt werden, wobei die Klassen C und D etwa gleich viele Werte besitzen. Klasse A ist fast nicht vorhanden. Besonders auffällig ist die Flächenverteilung bei der Berechnung mit der standortangepassten Methode. Sie unterscheidet sich stark zu den anderen Methoden. Es kann eine abnehmende Flächenanzahl von Klasse A nach Klasse E verzeichnet werden, wobei Klasse A deutlich dominiert. Die endgemittelte Verrechnungsvariante zeigt noch extremere Unterschiede zwischen A und E.

Die Standortgruppe 6 weist die größten Abweichungen bei der Betrachtung der verschiedenen Methoden auf. Deshalb soll an dieser Stelle noch einmal die Verteilung der Flächen auf die Saldenklassen für die Standortgruppe 6 separat dargestellt werden:

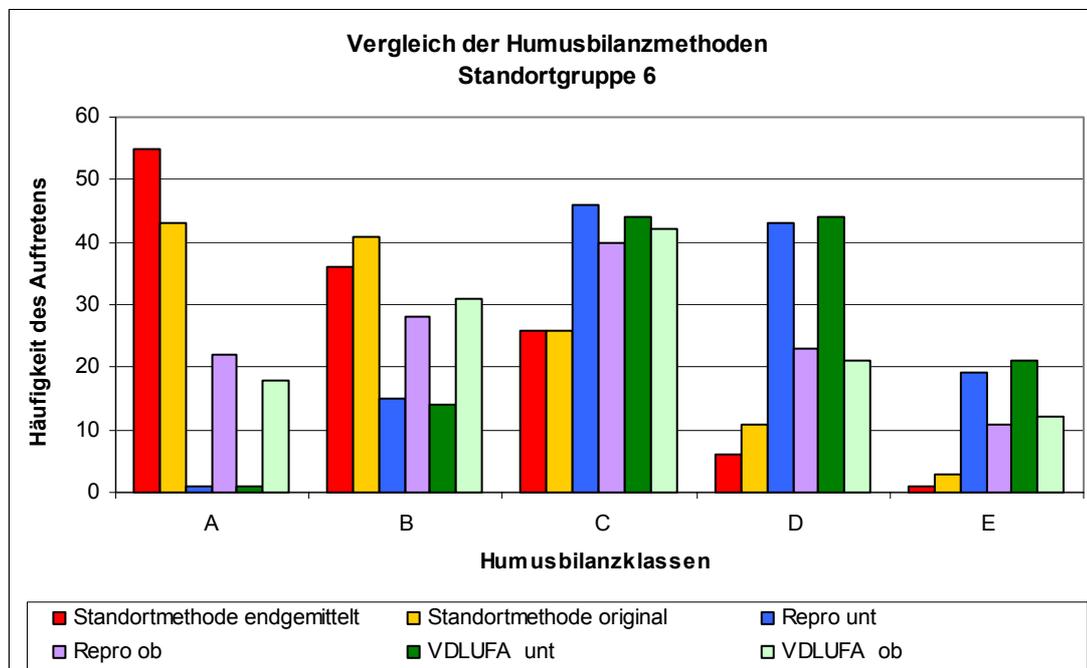


Abbildung 20: Vergleich der Humusbilanzmethoden für die Standortgruppe 6

Die Verteilung der Werte der standortangepassten Methode ist vollkommen verschieden zu den Verteilungen in den anderen Standortgruppen. Statt einer normalen Verteilung der Salden, bei der die meisten Flächen in Gruppe B, C oder D liegen, herrscht hier eine stete Abnahme der Häufigkeit von A nach E vor. Das bedeutet, dass die meisten Flächen nach der standortangepassten Methode auf diesen Standorten stark unterversorgt mit organischer Substanz sind. Bei 100 % Bedarfsdeckung kann daher auf diesen Standorten der dort ortsübliche  $C_{org}$ -Gehalt nicht eingehalten werden. Diese Aussage deckt sich mit Erkenntnissen von KOLBE & PRUTZER (2004). Sie stellten fest, dass das C/N-Verhältnis des Bodens Einfluss auf die an den spezifischen Standorten stattfindenden Umsetzungsgeschwindigkeiten und Mineralisierungspotenziale haben muss. Die Humusqualität ist um so höher zu bewerten, je stickstoffreicher die organische Substanz, d. h. je enger ihr Kohlenstoff: Stickstoff - Verhältnis (C/N) ist. Durch den Abbau im Boden verengt sich das C/N- Verhältnis. Böden mit einem C/N-Verhältnis von unter 9 (insbesondere Bodenart L) sind gekennzeichnet durch einen relativ hohen Abbau des  $C_{org}$ -Gehaltes. Durch diesen hohen Abbau des Boden- $C_{org}$  und einer nur mäßigen Stallungswirkung ist eine etwas höhere Zufuhr organischer Stoffe nötig, damit kein  $C_{org}$ -Abfall eintreten kann (KOLBE & PRUTZER, 2004).

### 6.1.3 Ergebnisse nach Agrarstrukturgebieten

Von MÖNICKE ET AL. (2005) wurde geraten, die Flächen in größere, strukturell einheitliche Gebiete einzuordnen. Zu diesem Zweck erfolgte eine Zuteilung der Flächen zu den Agrarstrukturgebieten Sachsens. Die Verteilung der Flächen nach Agrarstrukturgebieten ist Tabelle 12 zu entnehmen:

Tabelle 12: Dauertestflächenanzahl je Agrarstrukturgebiet

<b>Agrarstruktur- gebiete</b>	Erzgebirgs- kamm	Vogtland, Elstergebir- ge, Erzge- birgsvorland	Mittelsächsi- sches Löss- gebiet	Oberlausitz, Sächsische Schweiz	Sächsische Heide, Elbtal	<b>Flächen- anzahl</b>
konventionelle Flächen	46	178	261	128	119	<b>732</b>
ökologische Flächen	2	7	7	5	7	<b>28</b>
<b>Gesamt</b>	<b>48</b>	<b>185</b>	<b>268</b>	<b>133</b>	<b>126</b>	<b>760</b>

Deutlich zu erkennen ist die Häufung der Flächen (34 %) im Mittelsächsischen Lössgebiet. Dies war allerdings auch zu erwarten, da hier die besten Bedingungen in Sachsen für eine ackerbauliche Nutzung vorhanden sind. Dagegen sind auf dem Erzgebirgskamm nur 6 % der Untersuchungsflächen gelegen. Schlechte, bzw. ungeeignete klimatische und pedologische Bedingungen lassen in diesem Gebiet nur selten einen lohnenswerten Ackerfeldbau zu.

Weiterhin ist festzustellen, dass die ökologischen Flächen gleichmäßiger verteilt sind, als die konventionellen Flächen. Dies ist jedoch vermutlich zufällig und begründet sich in der geringen Datenmenge für ökologische Flächen.

In Abbildung 21 ist die Verteilung der Humusbilanzklassen für jedes Agrarstrukturgebiet und für die betrachteten Humusbilanzmethoden wiedergegeben. Auch in diesem Diagramm wurde auf die Bewirtschaftungsart keine Rücksicht genommen, da eine getrennte Auswertung zu wenig Flächen ökologisch bewirtschaftet wurden. Im Gegensatz zu Abbildung 19 für die Standortabhängigkeit der Ergebnisse, sind in dem Diagramm für die Agrarstrukturgebiete weniger deutliche Unterschiede auszumachen. Die größten Differenzen herrschen hier innerhalb des Agrarstrukturgebietes zwischen den einzelnen Humusbilanzklassen.

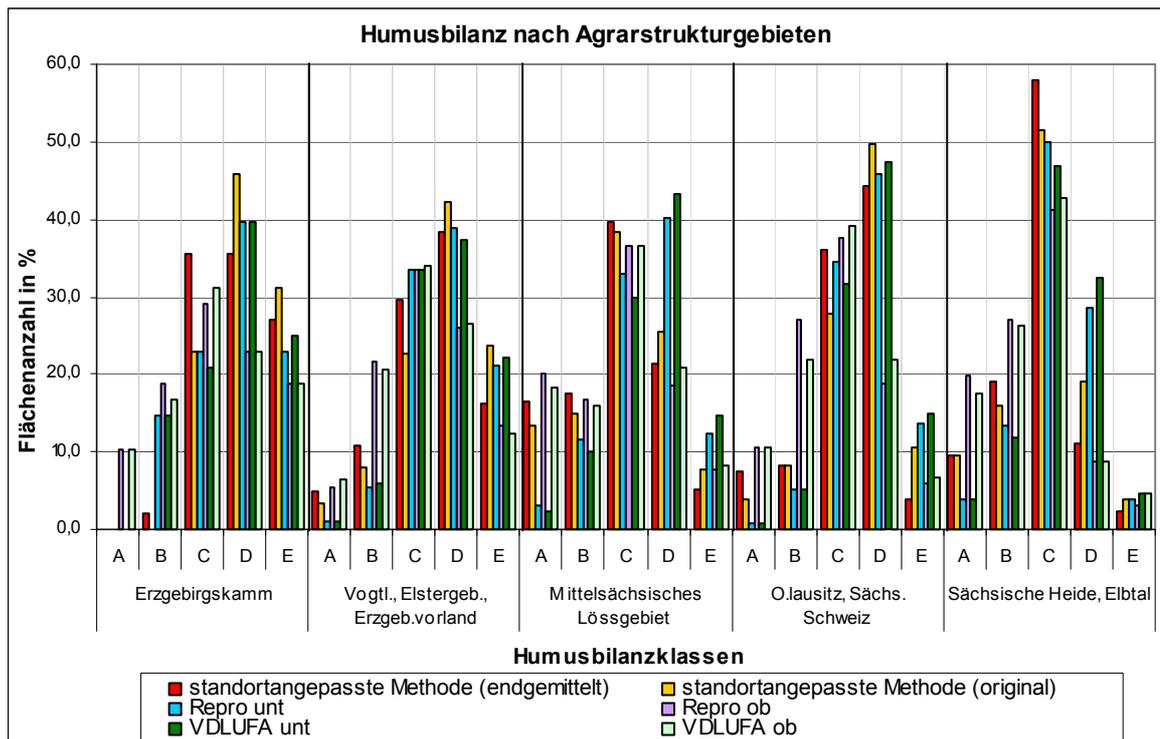


Abbildung 21: Humusbilanzen für die untersuchten Methoden nach Agrarstrukturgebieten sortiert

## Beschreibung der Agrarstrukturgebiete

### *Erzgebirgskamm*

Für die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) kann eine leichte Schiefe des Vorkommens in Richtung der Klasse D festgehalten werden, wobei jedoch Klasse C dominiert. Die Klassen E und B sind etwa gleich stark besetzt. Bei den Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte) sind in Klasse D eindeutig die meisten Werte. Auffällig ist, dass Klasse A nicht vorhanden ist, d. h. die Böden sind in den meisten Fällen ausreichend mit  $C_{org}$  versorgt, bzw. neigen zu einer Überversorgung mit Humus. Noch einseitiger gestaltet sich die Lage bei der standortangepassten Methode. Hier ist Klasse D eindeutig vorherrschend, die Klassen C und E etwa gleich stark vertreten, Klasse A kommt gar nicht vor, Klasse B nur bei der „endgemittelten“ Variante (2 %). Die Verrechnungsvariante „original“ zeigt sich extremer, als die „endgemittelte“ Variante. Die extremeren Ergebnisse der standortangepassten Methode sprechen wieder für den Erfolg der Anpassung. Aufgrund der klimatischen Verhältnisse des Erzgebirgskamms ist mit einem verlangsamten Abbau der organischen Substanz zu rechnen. Deshalb kann sich bei entsprechender Bewirtschaftung Humus anreichern, was sich in den großen Häufigkeiten des Vorkommens der Versorgungsklassen C, D und E widerspiegelt.

*Vogtland, Elstergebirge, Erzgebirgsvorland*

Eine normale Verteilung (d. h. Klasse C dominiert, Klassen B und D folgen, A und E sind selten) zwischen den Klassen ist für die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) auszumachen. Die Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte) zeigen eine D-Dominanz, gefolgt von den Klassen C und E. Ähnlich, wie die Häufigkeit des Vorkommens bei den unteren Werten der VDLUFA- und der REPRO-Methode zeigt sich die Häufigkeit bei der standortangepassten Methode: Klasse D dominiert, die Klassen C und E folgen in der Häufigkeit des Vorkommens. Generell ist für dieses Agrarstrukturgebiet, genau wie für den Erzgebirgskamm, die Tendenz zu einer ausreichenden Versorgung mit Humus zu erkennen.

*Mittelsächsisches Lösshügelland*

Nach VDLUFA und REPRO (obere Werte) herrscht die Klasse C vor, die Klassen D und A folgen mit etwa je 20 % der Werte, Klasse E ist am wenigsten vertreten. Werden die Ergebnisse der Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte) betrachtet, ergibt sich ein anderes Bild: eine klare Schiefe der Häufigkeit nach Klasse D ist erkennbar, gefolgt von Klasse C. Die Klassen B und E haben etwa gleich viele Werte (je ca. 10 %) und Klasse A kommt mit nur 1 % der Werte vor. Die Ergebnisse der neuen Methode zeigen sich ausgeglichener, Klasse C dominiert, gefolgt von den Klassen D, B und A. In diesem Agrarstrukturgebiet sind bei Anwendung der neuen Methode die Versorgungsstufen A und B in stärkerem Maße anzutreffen, als in den anderen Gebieten. Grund dafür könnte die schnelle Umsetzung organischer Substanz auf den für den Ackerbau günstigen Standorten sein. Hinzu kommt, dass nach KOLBE & PRUTZER (2004) auf Böden mit engem C/N-Verhältnis (in der Regel Lehm Böden des Flachlandes, außer Schwarzerden) die geringste Überschätzung (HE) bzw. höchste Unterschätzung (ROS) vorgefunden wurde.

*Oberlausitz, Sächsische Schweiz*

Für dieses Agrarstrukturgebiet kann bei allen Methoden von einer ausreichenden Versorgung mit Humus ausgegangen werden. Die Verteilung der Werte zeigt sich ähnlich der Verteilung im Gebiet Vogtland, Elstergebirge, Erzgebirgsvorland, mit dem Zusatz, dass hier die Ergebnisse noch klarer in Richtung Klasse D tendieren. Die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) zeigen eine C-Dominanz. Für VDLUFA und REPRO (untere Werte) ergibt sich ein ähnliches Bild, wie beim Lösshügelland. Klasse D dominiert stark, Klasse A kommt nur auf 0,8 % der Flächen vor. Die neue Methode bringt vergleichbare Werte, wie REPRO und VDLUFA (untere Werte), jedoch sind hier die Klassen A und B ein wenig stärker vertreten. Dieses Agrarstrukturgebiet beinhaltet, genau wie das Gebiet Vogtland, Elstergebirge, Erzgebirgsvorland Böden in den Lagen der Mittelgebirge und der Gebirgsvorländer. Auch hier hat wieder das etwas rauere und kühlere Klima Einfluss auf die Kohlenstoffgehalte im Boden. Die Umsetzung ist ver-

langsam, es findet eher eine Anreicherung von  $C_{org}$  statt, was sich in den guten (C) bis hohen (D) Humussalden ausdrückt.

#### *Sächsische Heide, Elbtal*

Für die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) kann in diesem Agrarstrukturgebiet eine Verschiebung der Häufigkeit zu Werten, die kleiner als der Mittelwert (Klasse C) sind, beschrieben werden. D. h., dass Klasse C dominiert und die Klassen B und A in der Häufigkeit folgen. Dagegen herrscht bei den Berechnungen mit VDLUFA und REPRO (untere Werte) Klasse C, gefolgt von den Klassen D und B. Die standortangepasste Methode zeigt sich ausgeglichener. Klasse C dominiert mit über 50 % der Werte. Auffallend ist die starke C-Dominanz in allen angewandten Methoden. In diesem Gebiet herrschen geringen Niederschläge und leichte Böden vor. Neben dem Lösshügelland sind hier die niedrigsten Humussalden auszumachen. Auch MÖNICKE ET AL. (2005, S.28) konnten in dem Agrarstrukturgebiet niedrige Humusbilanzen nachweisen. Sie sehen hier einen „dringenden Handlungsbedarf zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.“ Eine Interpretation der Humussalden in diesem Gebiet stellt sich als besonders kritisch heraus. Hier werden zwar Standorte geringer Niederschlagsintensität und hoher Wärmebegünstigung zusammengefasst, jedoch sind sowohl Standorte mit Auenlehmen und Standorte mit nährstoffarmen Sandböden in dieses Gebiet integriert. Das macht eine Interpretation der Ergebnisse schwierig.

Die Differenzierung der Humusbilanzen nach Agrarstrukturgebieten liefert ein undeutlicheres Ergebnis, als die Differenzierung nach Standortgruppen. Diese Aussage ist nachvollziehbar, wenn bedacht wird, dass die Agrarstrukturgebiete lediglich abgegrenzte Regionen darstellen, innerhalb derer jedoch die klimatischen und die pedologischen Bedingungen immer noch erheblich variieren. Sie wurden zwar zu dem Zweck der Vereinheitlichung der Bewertung von Produktionsbedingungen der Landwirtschaft geschaffen, sind aber nicht so differenziert, wie die Standortgruppen nach der neuen Humusbilanzmethode. Dennoch sind je nach Gebiet Tendenzen der Versorgung der Böden mit  $C_{org}$  zu erkennen. Damit kann dem Ziel der Einteilung, die Unterschiede der natürlichen Bedingungen (Boden, Klima, Wasserversorgung, Höhenlage und Relief) für die landwirtschaftliche Produktion zu erfassen und zu regionalisieren (WINKLER ET AL. 1999), entsprochen werden.

### 6.1.4 Ergebnisse nach Bodenart

Die Ergebnisse der Humusbilanzierung nach Bodenarten der untersuchten Dauertestflächen differenziert, sollen in folgendem Kapitel vorgestellt werden. Dabei erfolgt die Zuordnung der Bodenarten nach dem Bodenanteil der Fraktion mit einer Körnung < 0,01 mm (MÖNICKE ET AL., 2005). In Tabelle 13 wird die prozentuale Verteilung der Bodenarten innerhalb der untersuchten 760 Dauertestflächen dargestellt. Vergleichend ist das Ergebnis von MÖNICKE ET AL. (2005) mit aufgezeigt, welche die Verteilung der Bodenarten auf mehr als 1000 DTF der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft untersuchten:

Tabelle 13: Prozentuale Verteilung der Bodenarten der 760 DTF im Vergleich zu der Bodenartenverteilung nach MÖNICKE ET AL. (2005)

Bodenart	Fraktion < 0,01 mm	Prozentualer Anteil bei den 760 DTF der Diplomarbeit	Vergleich: Ergebnis von MÖNICKE ET AL. (2005)
S (Sand)	< 10 %	2,0	2,0
Sl (anlehmiger Sand)	10 – 13 %	2,5	4,0
IS (lehmiger Sand)	14 – 18 %	20,5	19,0
SL (stark lehm. Sand)	19 – 23 %	15,1	15,0
sL (sandiger Lehm)	24 – 29 %	42,9	51,0
L (Lehm)	30 – 44 %	16,4	8,0
IT (lehmiger Ton)	45 – 60 %	0,5	0,0

Auffallend sind die Unterschiede in den prozentualen Anteilen der Bodenarten auf den Dauertestflächen bei der Untersuchung nach MÖNICKE ET AL. (2005) im Gegensatz zu den Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit. V. a. bei den Bodenarten sandiger Lehm und Lehm sind beachtliche Differenzen zu erkennen. Grund für diese Unterschiede ist die Auswahl von Dauertestflächen für die Berechnungen im Rahmen der Diplomarbeit. Bei der Auswahl der für eine Bilanzierung geeigneten Flächen, wurde vorrangig auf die Vollständigkeit aller nötigen Daten pro Fläche geachtet. Dabei spielte die den Flächen zugeordnete Bodenart keine Rolle. So sind z. B., aufgrund der guten Datenlage, prozentual doppelt so viele Lehmflächen in die Betrachtung eingegangen, wie bei den Untersuchungen von MÖNICKE ET AL. (2005).

Um noch den Bezug zu den Agrarstrukturgebieten (und damit zu der Lage) herzustellen, ist in Tabelle 14 die Aufteilung der Flächen nach Bodenarten und Agrarstrukturgebieten wiedergegeben:

Tabelle 14: Einteilung der Untersuchungsflächen nach Agrarstrukturgebieten und Bodenarten

Bodenart	Agrarstrukturgebiet					Gesamtergebnis
	Erzgebirgskamm	Vogtland, Elstergebirge, Erzgebirgs-vorland	Mittelsächs. Lößgebiet	Sächsische Schweiz, Oberlausitz	Sächsische Heide, Elbtal	
<b>S</b> (Sand)					15	<b>15</b>
<b>SI</b> (anlehmiger Sand)			3		16	<b>19</b>
<b>IS</b> (lehmiger Sand)	18	35	41	18	44	<b>156</b>
<b>SL</b> (stark lehm. Sand)	4	32	35	26	18	<b>115</b>
<b>sL</b> (sandiger Lehm)	26	90	120	72	18	<b>326</b>
<b>L</b> (Lehm)		28	67	17	13	<b>125</b>
<b>IT</b> (lehmiger Ton)			2		2	<b>4</b>
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>48</b>	<b>185</b>	<b>268</b>	<b>133</b>	<b>126</b>	<b>760</b>

Klar zu erkennen ist die Dominanz der Bodenart sandiger Lehm (sL), welche auf ca. 43 % der Flächen ansteht. Die Bodenarten lehmiger Sand (IS), Lehm (L) und stark lehmiger Sand (SL) folgen in der Häufigkeit mit 20 %, 16 % bzw. 15 %. Die Sande und die Tone sind im Untersuchungsgebiet dagegen unterrepräsentiert. Die Sande haben v. a. im Agrarstrukturgebiet Sächsische Heide, Elbtal ihre Verbreitung, was auf die geologische Entstehung und die klimatischen Bedingungen dieses Gebietes zurückzuführen ist. Tone sind im Untersuchungsgebiet nur auf vier Flächen vorzufinden, was eine statistische Auswertung wiederum nicht zulässt. Die Lehme finden ihrem Verbreitungsschwerpunkt im Mittelsächsischen Lössgebiet (Lösslehme) und in den angrenzenden Hügel- und Bergländern (Produkte der Verwitterung).

Die Häufigkeit des Vorkommens von Bodenarten ist bei ökologisch bestellten Flächen ähnlich, wie bei konventionellen Flächen. Bemerkenswert ist jedoch, dass 2 von 28 Ökoflächen, also immerhin 7 %, auf lehmigen Ton wirtschaften. Diese Bodenart hat zwar gute Wasser- und Nährstoffhalteeigenschaften, jedoch neigt sie auch zur Verschlammung und damit zum luftdichten Verschluss. Ton stellt für die Landwirtschaft eine sehr schwierige Bodenart dar. Tabelle 15 zeigt die Verteilung der Bodenarten bei konventionellen und ökologischen Flächen:

Tabelle 15: Verteilung der Bodenarten auf konventionell und ökologisch bestellten Flächen

Bodenarten	Sand	anlehmiger Sand	lehmiger Sand	stark lehmiger Sand	sandiger Lehm	Lehm	lehmiger Ton	Flächenanzahl
	<b>S</b>	<b>SI</b>	<b>IS</b>	<b>SL</b>	<b>sL</b>	<b>L</b>	<b>IT</b>	
konventionelle Flächen	14	17	152	113	315	119	2	732
ökologische Flächen	1	2	4	2	11	6	2	28
Gesamt	15	19	156	115	326	125	4	760
in %	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>20,5</b>	<b>15,1</b>	<b>42,9</b>	<b>16,4</b>	<b>0,5</b>	100,0

Auch für die nach Bodenarten differenzierten Humusbilanzen wird im Folgenden wieder eine entsprechende Übersichtsabbildung gezeigt (Abbildung 22). Wie in den vorherigen Kapiteln auch, werden die Ergebnisse, aufgrund des zu geringen Datenpools für ökologische Flächen, nicht nach der Bewirtschaftungsart differenziert. CAPRIEL (2006) beschreibt tendenziell höhere  $C_{org}$ -Gehalte bei ökologisch bewirtschafteten Flächen, weist aber gleichzeitig darauf hin, dass sie sich nicht signifikant von denen konventioneller Flächen unterscheiden. Das bestärkt die Vorgehensweise, nicht noch zusätzlich die Flächen nach ihrer Bewirtschaftungsart zu differenzieren.

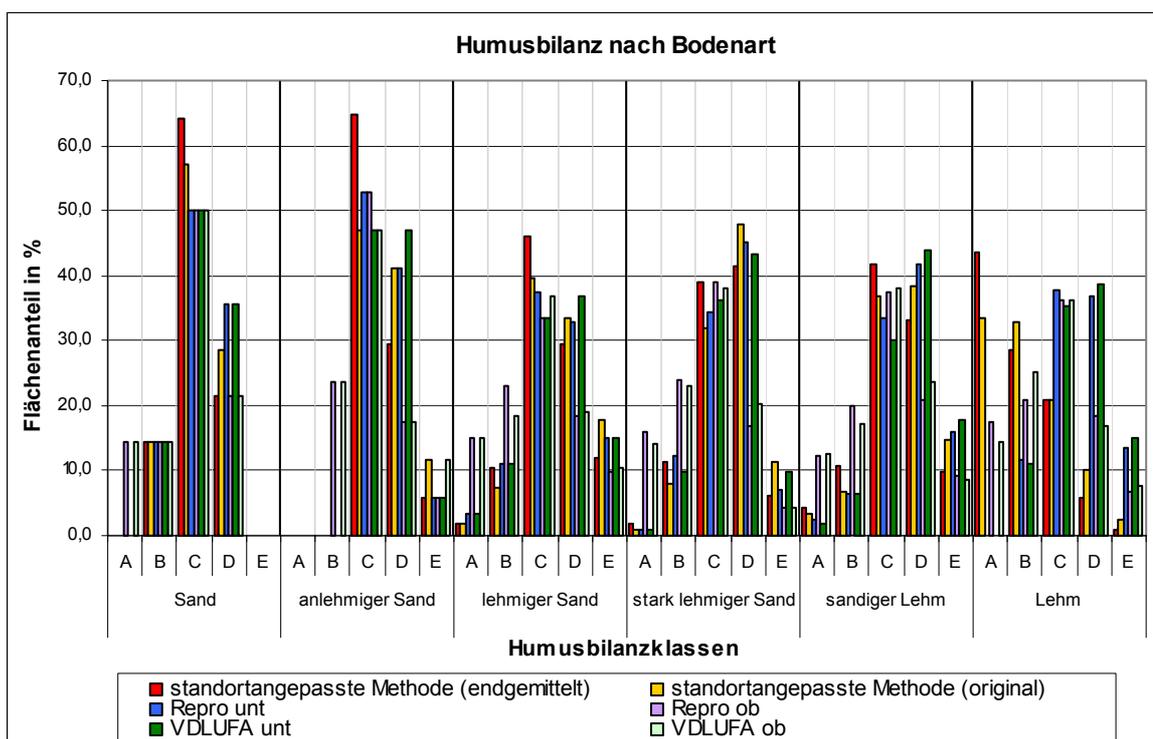


Abbildung 22: Humusbilanzen für die untersuchten Methoden nach Bodenarten sortiert

Die Ergebnisse der Humusbilanzierung zwischen den Bodenarten variieren sehr stark. Mit einer gewissen Vorsicht sind die Ergebnisse für die Bodenarten Sand (S) und anlehmiger Sand (Sl) zu betrachten. Für diese beiden Bodenarten standen leider nur wenig Flächen zur Verfügung, was sich in der Höhe der prozentualen Verteilung der Humusbilanzen dieser beiden Bodenarten auch widerspiegelt. So sind bei Bodenart Sand für Klasse A 14,3 % der Flächen ausgewiesen. In der Realität sind das zwei Flächen, welche bei einer Anzahl von insgesamt 14 Flächen diese 14,3 % ausmachen. Dieser Fakt erklärt die relativ „eckigen“ Kurven und die teilweise hohen Prozentzahlen der Bodenarten Sand und anlehmiger Sand.

Auf eine nähere Betrachtung der Bodenart lehmiger Ton wurde aufgrund der wenigen Flächen, die diese Bodenart aufweisen, unterlassen.

## Beschreibung der Bodenarten

### *Sand (S)*

Die Versorgungsstufe E ist bei allen Humusbilanzmethoden nicht vorhanden. Bei Berechnung mit der VDLUFA-Methode und mit REPRO (obere Werte) dominiert die Klasse C, Klasse D besitzt die zweit meisten Flächen und die Klassen A und B sind mit jeweils zwei Flächen (14,3 %) vertreten. Bei der Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte) herrscht auch Klasse C vor, Klasse D hat jedoch mehr Flächenanteil, als bei Berechnung mit den oberen Werten. Klasse B kommt wieder mit 14,3 % vor, Klasse A ist nicht vorhanden. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Ergebnisse mit der standortangepassten Methode. Auch hier existiert Klasse A nicht, dafür dominiert Klasse C sehr stark. Generell kann bei dieser Bodenart von einer guten Versorgung mit organischer Substanz ausgegangen werden. Nach KOLBE & PRUTZER (2004) ist bei diesen Böden (mit relativ hohen C/N-Verhältnissen) mit nur einem geringen Abbau von  $C_{org}$  zu rechnen, was sich in dem relativ guten bis sehr guten Versorgungsniveau widerspiegelt.

### *Anlehmiger Sand (Sl)*

Bei dieser Bodenart ist mit keiner Bilanzierungsmethode die Klasse A erreicht worden. Bei den Berechnungen mit den oberen Werten der VDLUFA-Methode und REPRO dominiert Klasse C, Klasse B hat so viele Anteile, wie die Klassen D und E. Noch deutlicher ist die Verteilung bei den unteren Werten von VDLUFA und REPRO. Hier sind sowohl in Klasse A, als auch in Klasse B keine Werte. Klasse C hat nur einen knapp höheren Anteil, als Klasse D, Klasse kommt auf 6 % der Flächen vor. Offensichtlich sind nach dieser Methode die Böden oft mit organischer Substanz überversorgt. Eine fast gleiche Verteilung ergibt sich bei der Berechnung mit der neuen Methode. Für die „endgemittelte“ Variante können jedoch noch mehr Flächen in Klasse C ausgewiesen werden (65 %). Deutlich ist auch hier die gute Versorgung bis hin zur Überversorgung mit  $C_{org}$ . Bei der Bodenart ist die schon bei Sand gemachte Aussage zutreffend, nach der bei hohen C/N-Verhältnissen nur ein eingeschränkter Abbau von Humus zu verzeichnen ist. Grund dafür sind v. a. geringe Niederschläge. Eventuell könnten auch die fehlenden Anlagerungsmöglichkeiten für Humus an den Boden ein Grund für die hohen  $C_{org}$ -Gehalte sein. KOLBE & PRUTZER (2004) weisen jedoch auch darauf hin, dass bei den Sandböden mit den bisherigen Bilanzierungsmethoden immer eine Überschätzung der wirklichen Humusgehalte gegeben hat. Dass die standortangepasste Methode jedoch auch hohe  $C_{org}$ -Gehalte ausweist, deutet auf eine reale gute bis Überversorgung hin.

### *Lehmiger Sand (lS)*

Für die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) kann eine Dominanz der Klasse C festgehalten werden. Die Klassen A und B besitzen ein wenig mehr Salden, als die Klassen D und E. Im Gegensatz dazu ist für die Methoden VDLUFA und REPRO (un-

tere Werte) eine Verschiebung der Verteilung deutlich. Die Klassen D und C sind etwa gleich stark vertreten, gefolgt von Klasse E. Auch für die standortangepasste Methode ergibt sich diese Verschiebung. Somit kann für die beiden letztgenannten Methoden eine ausreichende, bzw. eine Überversorgung eines großen Teils der Flächen mit Humus angenommen werden.

#### *Stark lehmiger Sand (SL)*

Die Ergebnisse der Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) ergeben für diese Bodenart wieder Dominanz der Klasse C. Die Tendenz auf den Flächen geht jedoch eher in Richtung Unterversorgung. Anders bei den Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte). Hier herrscht eine deutliche Verschiebung der Häufigkeit der Verteilung Richtung Klasse D, welche vorherrscht. Die Klassen B und E sind etwa gleich häufig und Klasse A kommt nur noch auf 1 % der Flächen vor. Und wieder ergibt sich bei der neuen Methode ein ähnliches Bild, wie bei der Verrechnung mittels VDLUFA und REPRO (untere Werte). Die Verrechnungsvariante „original“ zeigt extremere Werte, als die „endgemittelte“ Variante.

#### *Sandiger Lehm (sL)*

Eine „normale“ Verteilung ist wieder für die Berechnung (obere Werte) mit der VDLUFA-Methode und mit REPRO festzustellen. Klasse C dominiert deutlich. Auch hier ergibt die Berechnung mit den unteren Werten wieder ein gegensätzliches Ergebnis. Es ist eine Dominanz der Klasse D zu erkennen. Die Klassen A und B haben zusammen einen etwa gleichen Flächenanteil, wie Klasse E. Bei der Berechnung mit der standortangepassten Methode ist das Ergebnis wieder ähnlich. Hier sind jedoch Unterschiede zwischen den Verrechnungsvarianten in der Weise sichtbar, als dass bei der „endgemittelten“ Variante Klasse C dominiert und bei der „originalen“ Variante die Klasse D. Zudem befinden sich die Werte der neuen Methode (außer bei Klasse C) zwischen den oberen und unteren Werten der herkömmlichen Methoden.

Die Bodenarten sL, SL und IS zeigen insgesamt ein relativ einheitliches Bild. Die Versorgung mit organischer Substanz auf diesen Böden kann mit gut bis sehr gut eingestuft werden. Die Ergebnisse aller Bilanzierungsmethoden liegen schwerpunktmäßig in den Versorgungsstufen C und D. Diese Bodenarten sind die am häufigsten Vorkommenden. Die Reaktionen dieser Böden sind zwischen denen der Sande und der Lehme einzuordnen. KOLBE & PRUTZER (2004) weisen für diese mittleren Bodenarten eine relativ gute Abschätzbarkeit der Humusgehalte mit der ROS-Methode aus. D.h. eine Über- bzw. Unterbewertung des Humusgehaltes der Böden bei Bemessung auf 100 % Bedarf kommt nur in wenigen Fällen vor. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sowohl mit der Bilanzierung durch VDLUFA bzw. REPRO (untere Werte), als auch durch die Bilanzierung mit der neuen Methode ein relativ realistisches Ergebnis erreicht wird.

Dies bedeutet in dem Falle eine, wie schon erwähnt, gute Versorgung der meisten Böden mit Humus.

### *Lehm (L)*

Für die Methoden VDLUFA und REPRO (obere Werte) ergibt sich eine leichte Verschiebung des Vorkommens Richtung Klasse B, Klasse C dominiert jedoch eindeutig. Die Versorgungsklasse B ist die zweithäufigste Klasse. Die Klassen A und D besitzen etwa gleich viele Anteile, Klasse E die wenigsten. Wie bei den vorherigen Bodenarten auch, ergibt sich für die Methoden VDLUFA und REPRO (untere Werte) eine deutliche Verschiebung der Häufigkeit Richtung einer Überversorgung. Klasse A kommt nicht mehr vor. Die Klassen B und E sind etwa gleich häufig vertreten und die Klassen C und D dominieren mit je knapp 40 %. Das Ergebnis für die standortangepasste Methode ist gut zu vergleichen mit dem Ergebnis bei Standortgruppe 6. Es liegt eine lineare Abnahme der Flächenanzahl von A nach E vor. Die „endgemittelte“ Variante ist noch extremer (44 % in A, 1 % in E), als die Verrechnungsvariante „original“. In jedem Fall ist jedoch der signifikante Unterschied der Ergebnisse der neuen Methode bei dieser Bodenart, im Vergleich zu den Ergebnissen der anderen Methoden zu erkennen. Nach der neuen Methode liegt bei Lehm eine starke Unterversorgung der Böden mit Humus vor. Diese Aussage deckt sich wieder mit den Erkenntnissen der Arbeiten von KOLBE & PRUTZER (2004)<sup>29</sup>. Bei den herkömmlichen Methoden werden v. a. bei Anwendung der unteren Werte die Humusbilanzen dieses Bodens stark überschätzt. Es wurde deshalb die Empfehlung gegeben, bei diesen Bodenarten auf die Bilanzierung mit den oberen Werten zurückzugreifen. Mit der Entwicklung der standortangepassten Methode ist nun auch eine bessere Bilanzierung der Lehmböden möglich. Eindeutig ist die starke Unterversorgung dieser Böden bei Bilanzierung mit der neuen Methode.

Die großen Unterschiede bei der Betrachtung der Humusbilanzen der verschiedenen Bodenarten mit der neuen standortangepassten Methode ist ein Indiz für die erfolgreiche Entwicklung und Anwendung der Methode.

### **6.1.5 Ergebnisse des Klimaszenarios**

Der Berechnung des Klimaszenarios liegt die Annahme zugrunde, dass in der Region Sachsen die Durchschnittstemperaturen ansteigen werden. Die Niederschlagsentwicklung wurde dagegen außer Acht gelassen, da sie in der bisherigen Differenzierung der Standortgruppen der neuen Methode kaum eine Rolle spielen<sup>30</sup>. Die Zuordnung einer Fläche zu einer Standortgruppe ist bei dieser Berechnung der entscheidende Schritt. Nur durch die neue Standortdifferenzierung ist die Berechnung eines Klimaszenarios für

---

<sup>29</sup> Vgl. dazu Kapitel 6.1.2., S. 65, Ausführungen zur Standortgruppe 6

<sup>30</sup> nähere Angaben dazu in der Diskussion, in Kapitel 7.4

solch eine einfache Humusbilanzmethode überhaupt möglich. Es wird angenommen, dass die Temperaturen in Sachsen so stark ansteigen, dass die Zuordnung einer Fläche zu den Standortgruppen 2 und 4 nicht mehr möglich ist. Das bedeutet, dass die Durchschnittstemperaturen in Sachsen über 8,5°C liegen müssen. Für einige Lagen in Sachsen wird dieses Szenario wohl kaum eintreffen, hier sei nur an die Hochlagen des Erzgebirges gedacht. Tendenziell dürfte diese Entwicklung jedoch wahrscheinlich sein (KÜCHLER & SOMMER 2005).

Auf Grundlage der erwähnten Annahme wurden die Humusbilanzen für die 760 Dauerbestflächen neu berechnet. Alle anderen Faktoren der Humusbilanzierung wurden belassen. Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Berechnung, nach der Bewirtschaftungsart untergliedert, vorgestellt werden. Dazu zeigt Abbildung 23 die Bilanzen für konventionelle Flächen:

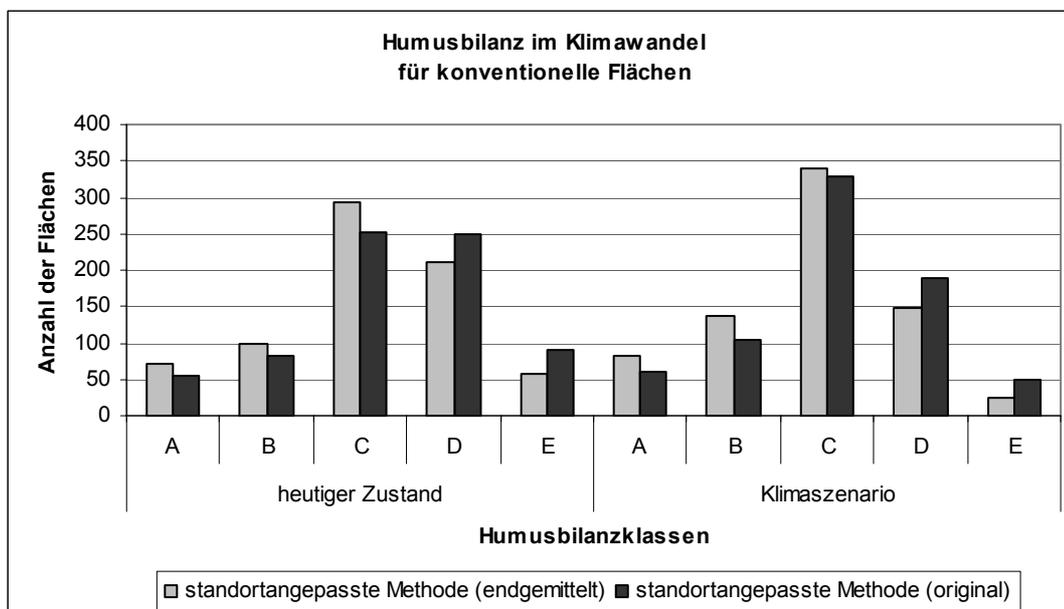


Abbildung 23: Humusbilanzen von heute im Vergleich zu Humusbilanzen des Klimaszenarios (für konventionelle Flächen)

Beim Vergleich der jeweiligen Humusbilanzklassen fällt auf, dass gegenüber dem heutigen Zustand die Flächen einen eher niedrigeren Humussaldo aufweisen. Die Unterschiede fallen nicht sehr stark auf, sind bei näherer Betrachtung jedoch deutlich sichtbar. Für das Klimaszenario lassen sich folgende Aussagen für die standortangepasste Methode im Vergleich zum heutigen Zustand treffen:

- Humusbilanzklasse A: geringfügig höhere Flächenanzahl
- Humusbilanzklasse B: deutlich höhere Flächenanzahl, v. a. bei der Verrechnungsvariante „endgemittelt“ (39)

- Humusbilanzklasse C: bei Verrechnungsvariante „endgemittelt“ 49 Flächen, bei Variante „original“ sogar 77 Flächen mehr, Klasse C dominiert eindeutig vor D
- Humusbilanzklasse D: merklich geringere Flächenanzahl, bei Variante „endgemittelt“ 63 Flächen weniger, bei Variante „original“ 61 Flächen weniger
- Humusbilanzklasse E: geringere Flächenanzahl

Folglich werden bei einem Temperaturanstieg die Humussalden von konventionell bewirtschafteten Ackerflächen im Durchschnitt geringer ausfallen. Die meisten Flächen werden einen ausgeglichenen Saldo im Bereich der Humusbilanzklassen C haben, jedoch werden verstärkt auch Defizite im Humushaushalt dieser Böden auftreten.

In der nächsten Abbildung werden vergleichend die Mittelwerte und Mediane (der Humusbilanzierung der untersuchten konventionellen Flächen) für die klimatischen Bedingungen zwischen 1998 und 2003 und für das beschriebene Klimaszenario dargestellt. Hier sind die Unterschiede eindeutig zu erkennen:

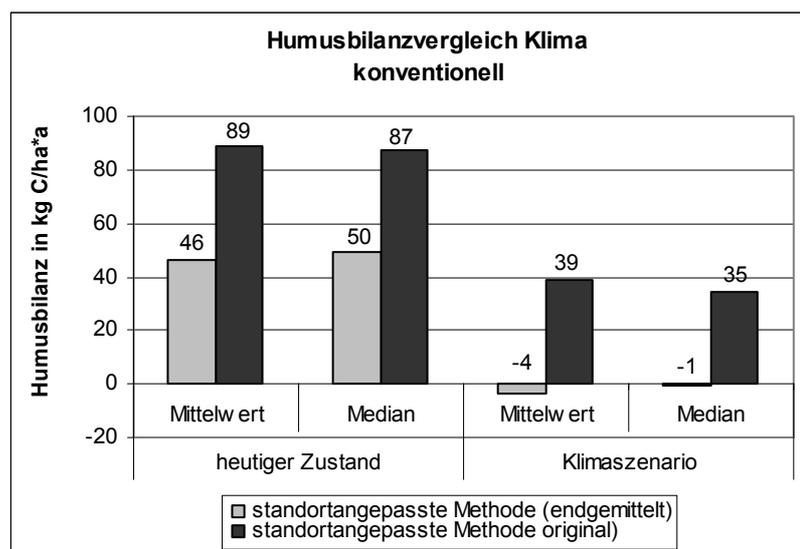


Abbildung 24: Vergleich der Mittelwerte und Mediane (von 732 konventionell bewirtschafteten Dauer-testflächen in Sachsen) zwischen heutigen Klimabedingungen und einem Klimaszenario

Die Unterschiede zwischen den Werten von heute und den Werten des Klimaszenarios liegen bei beiden Verrechnungsvarianten bei ca. 50 kg C/ha\*a. Auffallend ist jedoch auch die große Differenz von ca. 40 kg C/ha\*a zwischen den Ergebnissen der beiden Verrechnungsvarianten.

Abbildung 25 zeigt die ermittelten Humusbilanzen für ökologisch bewirtschaftete Flächen:

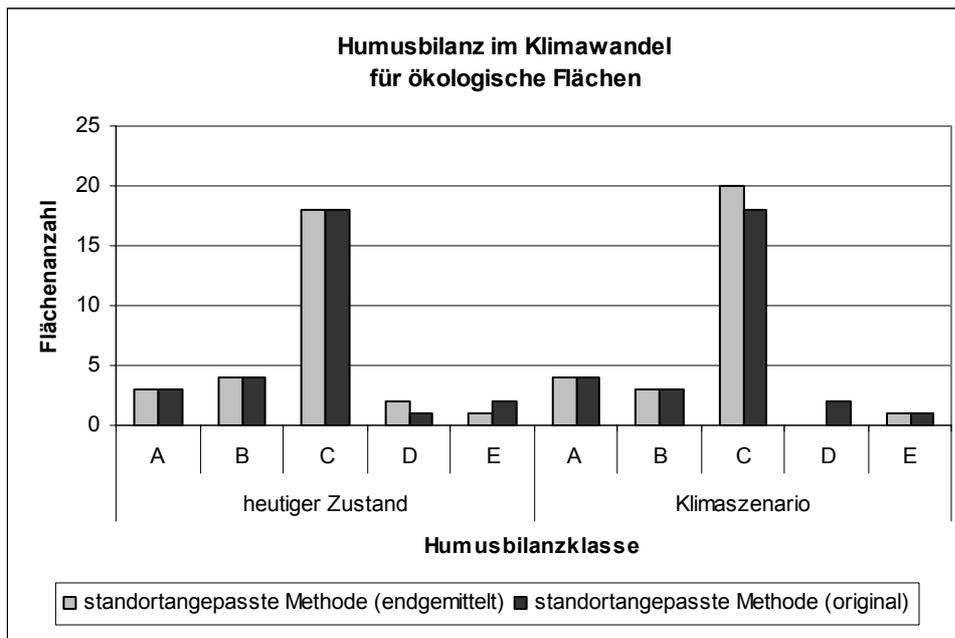


Abbildung 25: Humusbilanzen von heute im Vergleich zu Humusbilanzen des Klimaszenarios (für ökologische Flächen)

Aufgrund der geringen Flächenanzahl, sind die Daten der Ökoflächen nicht statistisch abgesichert und demzufolge auch schwer zu interpretieren. Tendenziell ist auch hier eine ähnliche Entwicklung zu erahnen, wie bei der Betrachtung der Bilanzen für konventionelle Flächen. Die Gruppe C dominiert eindeutig, weniger Flächen haben hohe Humusbilanzen im Bereich der Klassen D und E und Klasse A kann eine höhere Flächenanzahl verzeichnen.

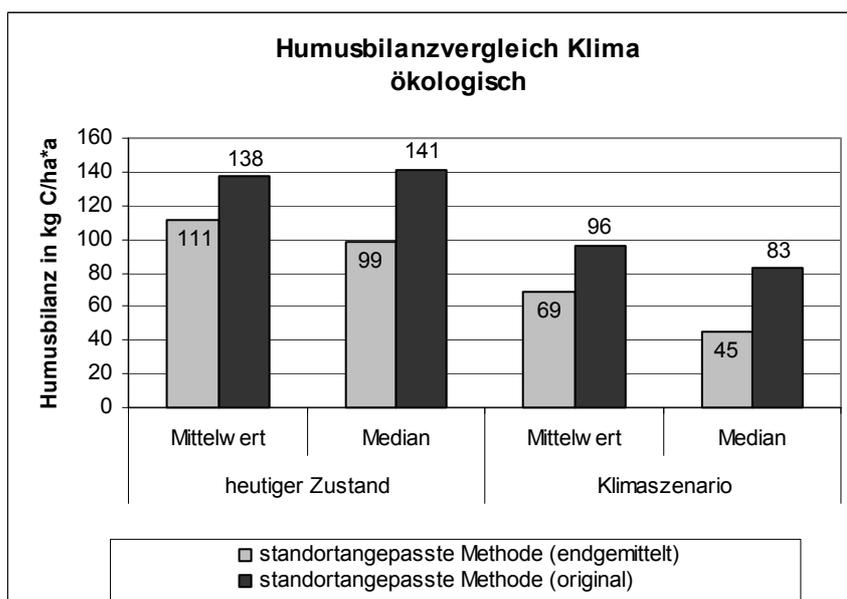


Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte und Mediane (von 28 ökologisch bewirtschafteten Dauertestflächen in Sachsen) zwischen heutigen Klimabedingungen und einem Klimaszenario

Entsprechend der Abbildung 24 für konventionelle Flächen, kann auch bei vergleichender Betrachtung der Mittelwerte und Mediane für ökologische Flächen ein Unterschied zwischen der heutigen Humusbilanz und der Bilanz nach dem Klimaszenario festgestellt werden. Die Mittelwerte des Klimaszenarios sind jeweils 42 kg C/ha\*a niedriger, die Mediane sind sogar um 54 bzw. 58 kg C/ha\*a niedriger. Die Unterschiede zwischen den Verrechnungsvarianten „original“ und „endgemittelt“ sind hier jedoch geringer. Sie betragen beim Mittelwert 27 kg C/ha\*a und beim Median 42 bzw. 38 kg C/ha\*a.

Eine Erklärung für die durchschnittlich geringeren Humussalden bei einer Erwärmung der Temperaturen liefert CAPRIEL (2006). Er belegt die Abhängigkeit des Humusgehalts ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) vom Klima. Der Autor stellte fest, dass mit steigender Höhe und damit abnehmender Bodentemperatur ein langsamerer mikrobieller Abbau der organischen Bodensubstanz und damit verbunden eine Humusanreicherung stattfindet. „Sowohl der  $C_{org}$  - als auch der  $N_t$  - Gehalt nehmen mit steigender Höhe zu“ CAPRIEL (2006, S. 27). Gleichzeitig mit den ansteigenden C- und N-Gehalten sind auch höhere C/N-Verhältnisse nachweisbar, was für eine Verschlechterung der Humusqualität steht. Mit steigenden Temperaturen ist ein schnellerer Abbau der Pflanzenrückstände im Boden möglich, was zu geringeren C- und N-Gehalten im Boden und außerdem zu einer Abnahme des  $C_{org}/N_t$ -Verhältnisses führt. Damit verbunden ist aber gleichzeitig auch eine bessere Humusqualität. Aufgrund der doch recht deutlichen Differenzierung der Naturräume in Sachsen<sup>31</sup>, ist auch innerhalb des Bundeslandes mit unterschiedlich starken Veränderungen im Zuge des klimatischen Wandels zu rechnen. Eher kontinental geprägte, flache Regionen werden stärker mit sinkenden Humussalden konfrontiert sein, als Gebirgsregionen. Verstärkt wird diese Tatsache durch die unterschiedlichen Anbaustrategien in den Regionen. In den wärmeren Regionen wird, an Abhängigkeit vom Niederschlagsangebot, ein verstärkter Anbau von Energiepflanzen erfolgen, d. h. die produzierte Biomasse wird zum größten Teil dem Acker entzogen und steht damit einer Humusreproduktion nicht mehr zur Verfügung. Deshalb ist zukünftig in den angesprochenen trockenen und warmen Regionen verstärkt auf eine ausgeglichene Humusbilanz zu achten. In der Diskussion (Kapitel 7) wird auf diese Sachverhalte noch einmal verstärkt eingegangen werden.

## 6.2 Standortabhängige Abfuhrmengenkalkulation

Nach der Neuberechnung der Humusbilanzen für die Untersuchungsflächen wurde das Aufkommen an abfahrbaren Reststoffen des Ackerbaus berechnet. Dabei ergibt sich der Stroh- oder Blattanfall aus dem Gesamtstroh- oder Gesamtblattaufkommen abzüglich

---

<sup>31</sup> siehe Kapitel 2

der Stroh- oder Blattdüngung bis zu einer ausgeglichenen Humusbilanz von 0 kg C/ha\*a.

In Tabelle 16 sind die errechneten Werte für die unterschiedlichen Methoden und Berechnungsvarianten dargestellt.

Tabelle 16: Aufkommen an abfahrbaren Reststoffen des Ackerbaus in t/ha\*a in Sachsen für 1997 und 1999-2001 (nach vier verschiedenen Methoden berechnet)

		standortangepasste Methode (endgemittelt)	standortangepasste Methode (original)	VDLUFA (unt)	VDLUFA (ob)
<b>Gesamtanbaufläche Getreide</b>	ha	Strohanfall in t/a	Strohanfall in t/a	Strohanfall in t/a	Strohanfall in t/a
1997	390.960	764.320	886.787	1.106.750	645.964
Jahresmittel 1999 - 2001	417.342	815.897	946.627	1.181.434	689.553
<b>Gesamtanbaufläche Zuckerrüben</b>		Blattanfall in t/a	Blattanfall in t/a	Blattanfall in t/a	Blattanfall in t/a
1997	18.525	36.216	42.019	52.442	30.608
2000	16.981	33.198	38.517	48.071	28.057
<b>Gesamtanbaufläche Raps</b>		Strohanfall in t/a	Strohanfall in t/a	Strohanfall in t/a	Strohanfall in t/a
1997	73.546	143.781	166.819	208.198	121.516
Jahresmittel 1999 - 2001	102.094	199.592	231.573	289.013	168.685
<b>Summe - Anbaufläche</b>					
1997	483.031	<b>944.318</b>	<b>1.095.625</b>	<b>1.367.389</b>	<b>798.088</b>
2000	536.417	<b>1.048.686</b>	<b>1.216.716</b>	<b>1.518.517</b>	<b>886.295</b>

Die Unterschiede zwischen den Methoden sind anhand der Ergebnisse deutlich erkennbar. Die Werte der standortangepassten Methode liegen mit 1.048.686 t/a bzw. mit 1.216.716 t/a für das Jahr 2000 genau zwischen den Ergebnissen der unteren und der oberen Werte einer Berechnung mit der VDLUFA-Methode. Die Werte der VDLUFA-Methode stellen damit die Extremwerte dar. Aber auch die zwei Verrechnungsvarianten der neuen Methode unterscheiden sich hinsichtlich der Ergebnisse deutlich. Die Werte der Verrechnungsvariante „original“ ergeben im Jahr 2000 einen um ca. 170.000 Tonnen höheren Anfall, als das Ergebnis der Verrechnungsvariante „endgemittelt“. Es ist außerdem zu beachten, dass beim Anbau von Getreide und Raps die Anbauflächen innerhalb der Zeitspanne gewachsen sind, wogegen die Anbaufläche von Zuckerrüben abnahm.

Interessant ist ein Vergleich der Ergebnisse der Potenzialberechnungen von TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) mit den Ergebnissen der Abfuhrmengenkalkulation in dieser Arbeit. Bei dem Vergleich muss darauf geachtet werden, dass sich die Ergebnisse aus unterschiedlichen Faktoren zusammensetzen<sup>32</sup>. Deswegen wurde in Tabelle 17 eine Spalte eingefügt, in der das Ergebnis der Potenzial-

<sup>32</sup> Die Berechnungswege der in dieser Arbeit ermittelten Abfuhrmengen sind im Kapitel 5.3 vorgestellt worden.

rechnung auf die Berechnungsart in der vorliegenden Arbeit umgerechnet wurde. Im Folgenden ist der Berechnungsweg, welcher in Tabelle 17 angewandt wurde, noch einmal kurz erläutert:

*Stroh:*

- Abfuhrmenge = Gesamtstrohaufkommen - 33 % als Strohdüngung/Erosionsschutz - 2 % für Sonstiges – 36 % (1997) bzw. 32 % (2000) Strohverbrauch für Vieh

*Zuckerrüben:*

- Abfuhrmenge = Gesamtblattaufkommen - 60 %(Düngung)

*Raps:*

- Abfuhrmenge = Gesamtstrohaufkommen - 60 %(Düngung)

Nachfolgend sind die nach den Zahlenangaben der Publikationen von TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) berechneten Abfuhrmengen dargestellt. Die in der Spalte „Abfuhrmenge + Strohverbrauch Vieh“ festgehaltenen Werte sind mit den Werten aus Tabelle 16 vergleichbar. Hier wurden sowohl die Mengen für den Verbrauch an Einstreu und Futter, als auch die Mengen für den sonstigen Strohbedarf wieder mit hinzuaddiert. Somit liefern die Zahlen wieder die Werte für die nach einer Strohdüngung bis zu einem Humussaldo von +/- 0 kg C/ha\*a noch anfallenden tatsächlichen Strohmenge, die dann verschiedenen Nutzungen zugeführt werden können.

Tabelle 17: Strohaufkommen und Strohpotenzial Sachsens für 1997 und 2000 in t/ha neu berechnet nach TWISTEL & RÖHRICHT (2000)

<b>Strohaufkommen</b>		<b>Abfuhrmenge</b>	<b>Abfuhrmenge + Strohverbrauch Vieh</b>
<b>Gesamtstrohaufkommen (Getreide)</b>	t/a	t/a	t/a
1997	2.444.871	701.678	1.630.729
Jahresmittel 1999 - 2001	2.555.712	733.489	1.602.431
<i>(Korn/Stroh-Verh. 1:1,03)</i>			
<b>Gesamtblattaufkommen (Zuckerrüben)</b>	t/a	t/a	t/a
1997	154.324	61.730	61.730
2000	162.198	64.879	64.879
<i>(Wurzel/Blatt-Verhältnis von 1:0,7)</i>			
<b>Gesamtstrohaufkommen (Raps)</b>	t/a	t/a	t/a
1997	408.779	163.512	163.512
Jahresmittel 1999 - 2001	590.680	236.272	236.272
<i>(Korn-Stroh-Verhältnis 1:1,7)</i>			
<b>Summe - Strohaufkommen</b>		<b>Gesamtabfuhrmenge</b>	<b>Vergleichsergebnis</b>
1997	3.007.974	926.919	<b>1.855.970</b>
2000	3.308.590	1.034.641	<b>1.903.583</b>

Zum besseren Vergleich sind die entsprechenden Gesamtergebnisse der Abfuhrmengenkalkulation in Tabelle 18 zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 18: Gesamtes abfahrbares Potenzial Sachsens an landwirtschaftlichen Reststoffen für die Jahre 1997 und 2000

<b>Jahr</b>	<b>Standortangepasste Methode „endgemittelt“</b>	<b>Standortangepasste Methode „original“</b>	<b>VDLUFA Untere Werte</b>	<b>VDLUFA Obere Werte</b>	<b>TWISTEL &amp; RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT &amp; GROß-OPHOFF (2003)</b>
	in t/a	in t/a	in t/a	in t/a	in t/a
1997	944.318	1.095.625	1.367.389	798.088	1.855.970
2000	1.048.686	1.216.716	1.518.517	886.295	1.903.583

Deutlich sind die wesentlich niedriger kalkulierten Abfuhrmengen aller untersuchten Methoden gegenüber den Werten der Literatur (TWISTEL & RÖHRICHT, 2000 und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF, 2003). Theoretisch müssten die unteren Werte der VDLUFA-Methode mit denen von TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) in etwa übereinstimmen, da nach Aussage der Autoren die Abfuhrmengen mit der ROS-Methode berechnet wurden<sup>33</sup>. Das dem nicht so ist, kann der obigen Tabelle entnommen werden. Für die Abweichungen können folgende Gründe angebracht werden:

- Datenbasis bei TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) sind statistische Angaben für ganz Sachsen gewesen
- Datenbasis dieser Arbeit sind 760 Dauertestflächen in Sachsen, deren Ergebnisse hochgerechnet wurden
- die 760 Dauertestflächen sind nicht 100 % repräsentativ für ganz Sachsen

Um die Ergebnisse von TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) und die Ergebnisse dieser Arbeit dennoch vergleichen zu können, wurden die Ergebnisse der Berechnungen nach VDLUFA (untere Werte) den Ergebnissen der oben genannten Autoren gleichgesetzt und anschließend verglichen. Tabelle 19 zeigt die gleichgesetzten Ergebnisse:

Tabelle 19: Gesamtpotenzial Sachsens an ackerbaulichen Reststoffen der Jahre 1997 und 2000, korrigierte Ergebnisse

<b>Jahr</b>	<b>Standortangepasste Methode (endgemittelt)</b>	<b>Standortangepasste Methode (original)</b>	<b>TWISTEL &amp; RÖHRICHT (2000)</b>
	in t/a	in t/a	in t/a
1997	1.276.105	1.480.574	1.855.970
2000	1.417.144	1.644.211	1.903.583

Nach Tabelle 19 ist eindeutig zu erkennen, dass bei einer Humusbilanzierung mit der neuen standortangepassten Methode deutlich geringere Abfuhrmengen an organischer Substanz von den Ackerflächen möglich sind. Das ist auch nachvollziehbar, da die Berechnungen von TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) auf der Humusbilanzierung nach der ROS-Methode beruhen. Diese weist im Durch-

<sup>33</sup> Diese entspricht der Berechnung nach VDLUFA untere Werte

schnitt für die Böden einen höheren Humussaldo aus, wodurch sich die insgesamt auch höheren Abfuhrmengen ergeben. Bei einer Einbeziehung des Standortes in die Betrachtung sollte eine differenziertere Aussage zur Abfuhrmenge möglich sein. Jedoch wird die differenziertere Betrachtung bei der Humusbilanz durch die Extrapolation der Daten auf das Land Sachsen zur Herstellung der Vergleichbarkeit wieder ausgeglichen. Zumindest kann festgehalten werden, dass bei der Humusbilanzierung mit der standortangepassten Methode im Schnitt geringere Abfuhrmengen möglich erscheinen, als bei Anwendung der ROS-Methode (oder der unteren Werte der VDLUFA-Methode).

Neben den Unterschieden der Gesamtabfuhrmengen für Sachsen zwischen den Methoden, können auch Unterschiede der durchschnittlich möglichen Abfuhrmengen in Abhängigkeit vom Standort und von der Bodenart festgestellt werden. Abbildung 27 zeigt die berechneten Abfuhrmengen pro Hektar, nach Standortgruppen differenziert. Auffällig ist dabei besonders die wesentlich stärkere Standortdifferenzierung der Ergebnisse der standortangepassten Methode.

Die berechneten Mittelwerte der möglichen Abfuhr für die einzelnen Standorte reichen von  $-0,83 \text{ t Stroh/ha*a}$  (Standortgruppe 6 mit der Variante „endgemittelt“ berechnet bis  $4,31 \text{ t Stroh/ha*a}$  (Standortgruppe 2 mit der Variante „original“ berechnet).

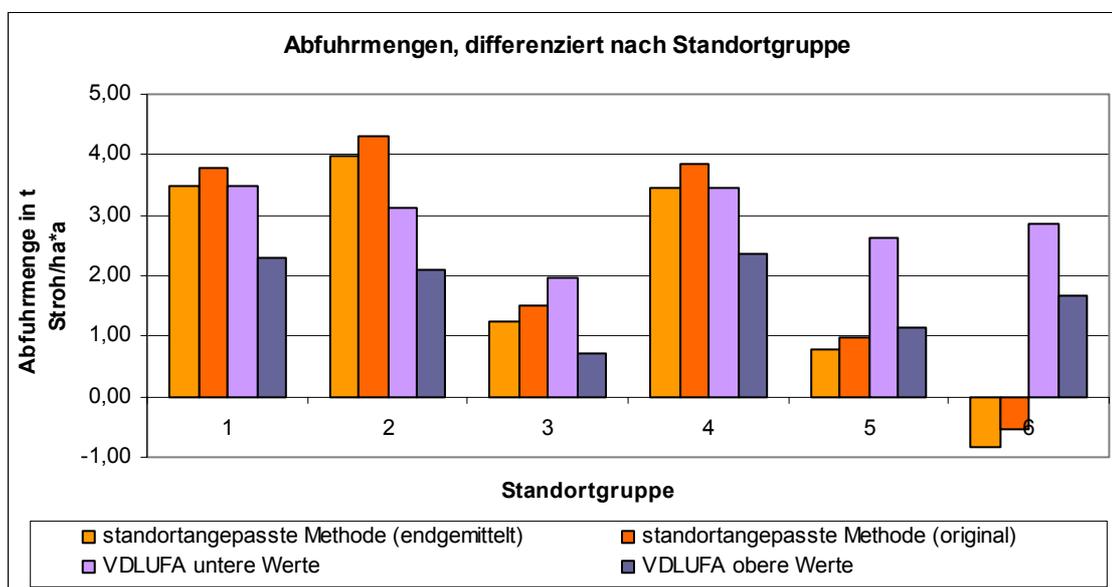


Abbildung 27: Mögliche Abfuhrmengen an organischer Substanz pro Hektar und Jahr, nach Standortgruppen differenziert

Zu beachten ist bei Standortgruppe 1, dass für die Berechnung nur drei Flächen zur Verfügung standen, d. h. die Ergebnisse sind nicht statistisch abgesichert und damit auch nicht interpretierbar. Bei Standortgruppe 2 ist deutlich sichtbar, dass nach standortangepasster Methode eine höhere, sogar fast doppelte Abfuhrmenge möglich ist, als nach

Berechnungen der herkömmlichen Methode. Etwa 4 t Stroh/ha\*a können abgefahren werden. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Standortgruppe 4. Jedoch ist hier nur die Tendenz zu einer höheren Abfuhrmenge bei Berechnung mit der neuen Methode zu erkennen. Die Standortgruppen 3, 5 und 6 unterscheiden sich stark von den Gruppen 1, 2 und 4. Hier sind nach den neuen Berechnungen weniger Abfahren möglich. In Standortgruppe 3 liegen die Werte der neuen Methode zwischen den oberen und unteren Werten der VDLUFA-Methode. Durchschnittlich können hier Strohmenngen von reichlich einer Tonne Stroh/ha\*a weiterverwendet werden. Die Ergebnisse der neuen Methode sind in Standortgruppe 5 auf einem Niveau mit den oberen Werten der alten Methode. Hiernach könnte durchschnittlich knapp eine Tonne Stroh/ha\*a abgefahren werden. Bemerkenswert sind die Ergebnisse für Standortgruppe 6. Hier ist eindeutig keine Abfuhr möglich, im Gegenteil, es sollte weiterhin organische Substanz angereichert werden. In dieser Gruppe sind auch die gravierendsten Unterschiede zwischen der VDLUFA-Methode und der standortangepassten Methode zu verzeichnen. Während nach bisheriger Berechnung eine Abfuhr zwischen 1,5 und 3 t Stroh/ha\*a möglich war, fehlen nach neuer Berechnung bis zu 0,83 t Stroh/ha\*a. Dieses Ergebnis stützt die Aussagen von KOLBE & PRUTZER (2004), welche für den Standort 6, bzw. die Bodenart Lehm eine hohe Umsetzung der organischen Substanz und damit auch einen niedrigen Humussaldo feststellen konnten<sup>34</sup>.

Ein etwas anderes Bild vermittelt Abbildung 28. Hier sind die durchschnittlich möglichen Abfuhrmengen pro Hektar, nach Bodenarten unterschieden, dargestellt. Die berechneten Werte ordnen sich in eine Spanne von -1,79 t Stroh/ha\*a (neue Methode, Variante „endgemittelt“) bis 3,18 t Stroh/ha\*a (VDLUFA untere Werte) ein.

---

<sup>34</sup> siehe dazu Punkt 6.1.2 und 6.1.4

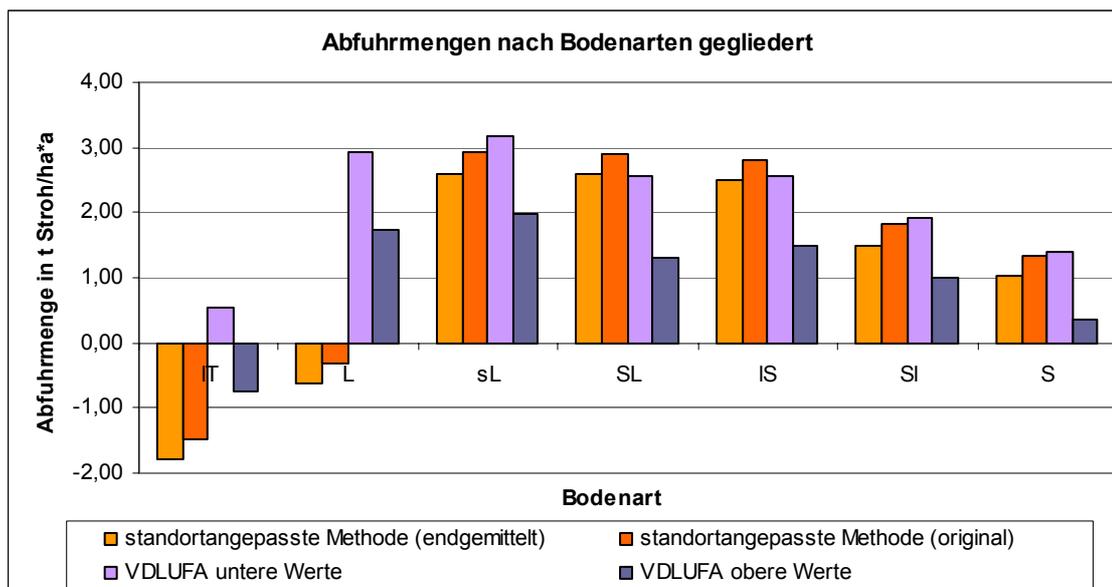


Abbildung 28: Mögliche Abfuhrmengen an organischer Substanz pro Hektar und Jahr, nach Bodenarten differenziert

Generell ist festzustellen, dass sich die Werte der neuen Methode, außer bei den Bodenarten L und IT, immer im Bereich der unteren Werte der VDLUFA-Methode bewegen. Für die Bodenart lehmiger Ton (IT) sind mit vier Flächen zuwenig Daten vorhanden, um statistisch korrekte Aussagen machen zu können. Die größten Abweichungen von bisherigen Berechnungen sind in der Bodenart Lehm zu verzeichnen. Hier kann nach der standortangepassten Methode keine organische Substanz entnommen werden, es herrscht Bedarf mit Werten von  $-0,62$  t Stroh/ha\*a (Variante „endgemittelt“) bzw.  $-0,33$  t Stroh/ha\*a. Nach bisherigen Berechnungen mit der VDLUFA-Methode hätten jedoch  $2,93$  t Stroh/ha\*a (untere Werte VDLUFA-Methode) bzw.  $1,73$  t Stroh/ha\*a abgefahren werden können. Auch hier ist wieder auf die Anpassung der neuen Humusbilanzmethode zu verweisen. Durch eben diese Anpassung erfolgt keine Überschätzung der Humussalden von Lehm- und Tonböden mehr. Damit ist auf diesen Standorten keine Abfuhr organischer Substanz mehr möglich, es treffen die Aussagen, wie bei Standortgruppe 6 zu.

Bei allen anderen Bodenarten bewegen sich die neuen Ergebnisse im Bereich der mit den unteren Werten der VDLUFA-Methode berechneten Werte. Die geringste Abfuhr von organischer Substanz (außerhalb der Bodenarten L und IT) ist nach allen Bilanzierungsmethoden bei den Bodenarten Sand und anlehmiger Sand möglich. Allerdings ist bei diesen beiden Bodenarten die Flächenanzahl nicht besonders hoch. Die Bodenart Sand ist mit 15 Flächen vertreten, die Bodenart anlehmiger Sand mit 19 Flächen. Die Tendenz, dass mit steigendem Sandanteil die mögliche Abfuhrmenge an organischer Substanz geringer wird, ist jedoch sichtbar.

### 6.3 Beziehungen zwischen N-Bilanzen und Humusbilanzen

In diesem Kapitel sollen kurz die vergleichenden Ergebnisse der N-Bilanz und der Humusbilanz dargestellt werden. Hintergrund der Untersuchungen war es festzustellen, ob der von KOLBE & PRUTZER (2004) gefundene Zusammenhang zwischen der Höhe der N-Düngung (und damit auch der Höhe des N-Saldos) und der Höhe der Humusbilanz einer Ackerfläche auch bei den hier untersuchten 760 Dauertestflächen nachzuweisen ist.

Die Ergebnisse der Bilanzierungen für Stickstoff und Humus wurden in je einem Diagramm pro Humusbilanzmethode aufgezeigt. Dabei sind die Flächen nach ihrer durchschnittlichen Höhe der N-Mineraldüngung (innerhalb des Untersuchungszeitraumes) in 4 Gruppen unterteilt worden:

- ohne N-Düngung
- 1 – 70 kg N/ha\*a
- 71 – 140 kg N/ha\*a
- > 140 kg N/ha\*a

Abbildung 29 zeigt das entstandene Diagramm für die standortangepasste Methode, Verrechnungsvariante endgemittelt:

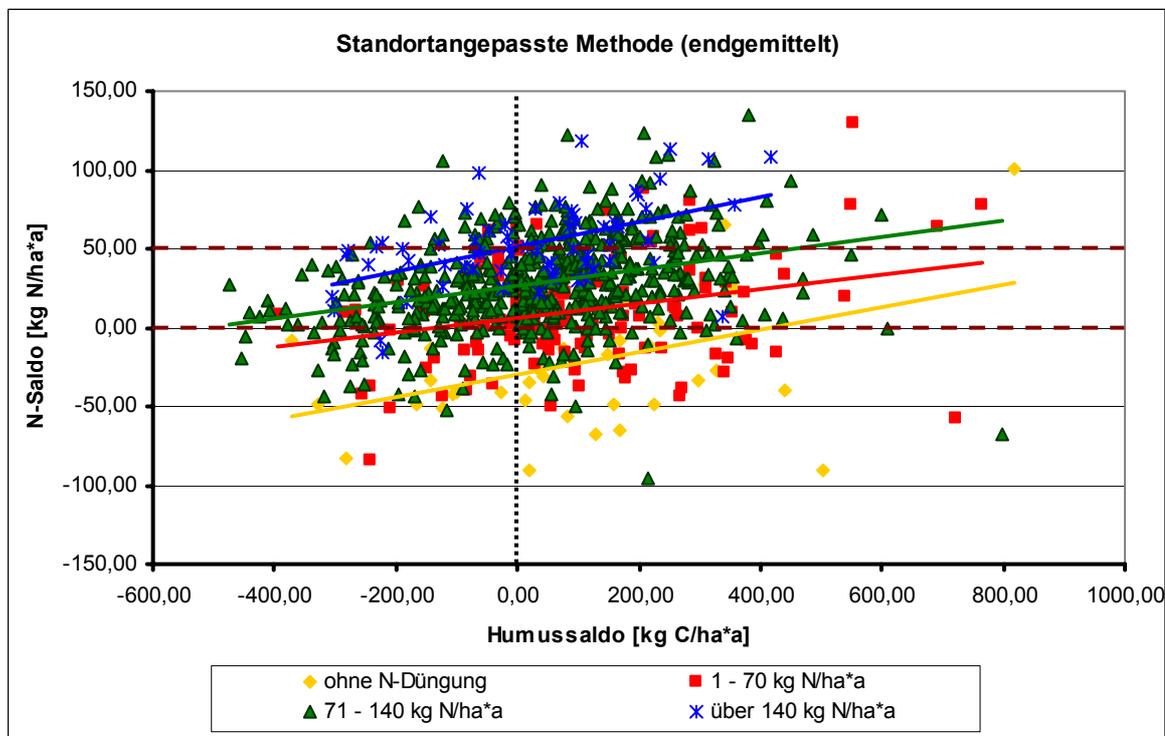


Abbildung 29: Beziehungen zwischen den N-Salden und den mit der standortangepassten Methode (endgemittelt) berechneten Humussalden

Aufgrund der Menge an Werten, die in diesen Diagrammen dargestellt werden, wurden für die einzelnen N-Düngungsklassen die Trendlinien hinzugefügt. An ihnen ist die Tendenz der Werte klar nachzuvollziehen.

Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass die Trendlinien für die Düngungsklassen von der niedrigsten Klasse (0 kg N/ha\*a) bis zur höchsten Klasse (> 140 kg N/ha\*a) die Höhe der N-Salden gut widerspiegeln. Bei nicht erfolgter N-Mineraldüngung ist der N-Saldo entsprechend niedriger, als bei einer sehr hohen N-Mineraldüngung von > 140 kg N/ha\*a. Es ist aber auch zu sehen, dass in der gleichen N-Düngungsklasse die Flächen mit einem hohen Humussaldo auch einen höheren N-Saldo haben. Um ein bestimmtes N-Saldo (z. B. 50 kg N/ha\*a) nicht zu überschreiten, kann bei der niedrigen N-Düngungsklasse (keine N-Düngung) wesentlich mehr organische Substanz zugeführt werden (was einen höheren Humussaldo ergibt), als bei einer hohen N-Düngungsklasse. Z. B. wird der Schnittpunkt 50 kg N/ha\*a durch die Trendlinie der niedrigen Düngungsklasse bei einem Humussaldo von 1127 kg C/ha\*a erreicht, wogegen derselbe Schnittpunkt bei der hohen Düngungsklasse (> 140 kg N/ha\*a) schon bei einer Humusbilanz von -16 kg C/ha\*a erreicht wird. Eine ähnliche Tendenz ist in Abbildung 30 zu erkennen:

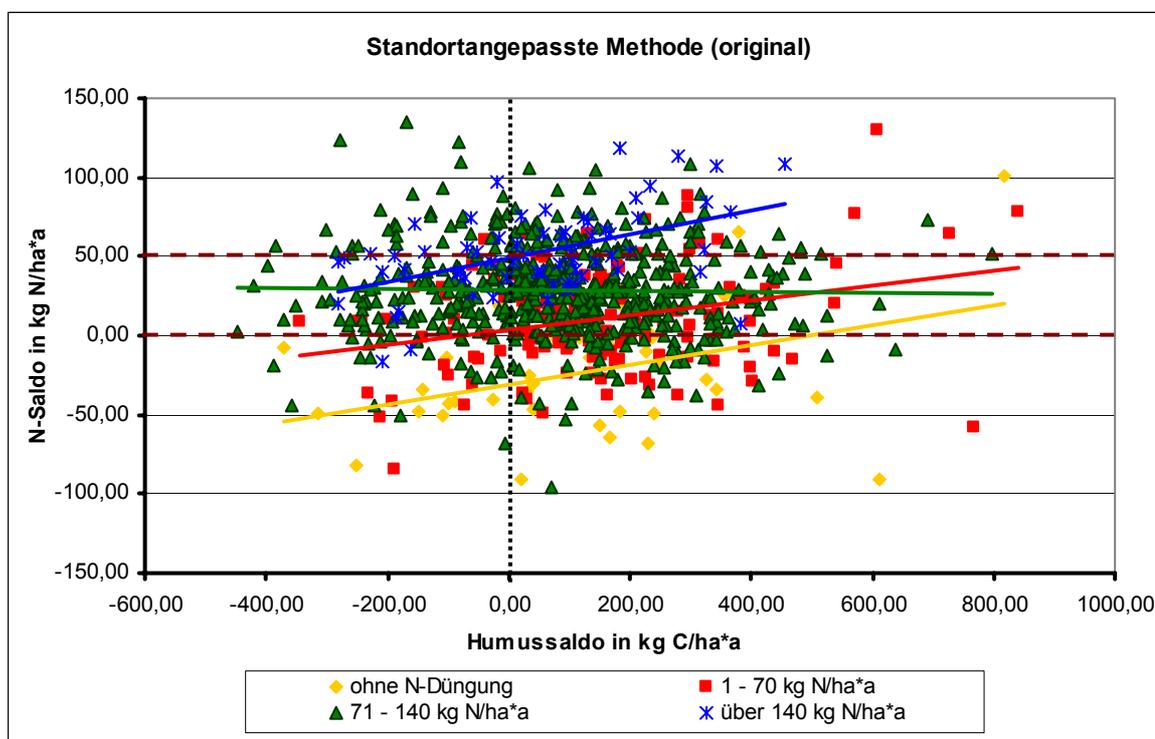


Abbildung 30: Beziehungen zwischen den N-Salden und den mit der standortangepassten Methode (gemittelt) berechneten Humussalden

Hier fällt jedoch die Düngungsklasse 71 – 140 kg N/ha\*a etwas aus dem Rahmen. Unabhängig vom Humussaldo ist immer die gleiche Höhe des N-Saldos anzutreffen. Auch ist zu sehen, dass die Werte dieser Düngungsklasse im Bereich der negativen Humussalden erheblich schwanken, wogegen die Werte im positiven Humussaldenbereich weniger streuen.

Bei den drei anderen Trendlinien ist die gleiche Tendenz wie bei den Trendlinien in Abbildung 29 festzustellen. Auch für die VDLUFA-Methode (untere Werte) wurde ein solches Diagramm erstellt. Es ist in Abbildung 31 aufgezeigt:

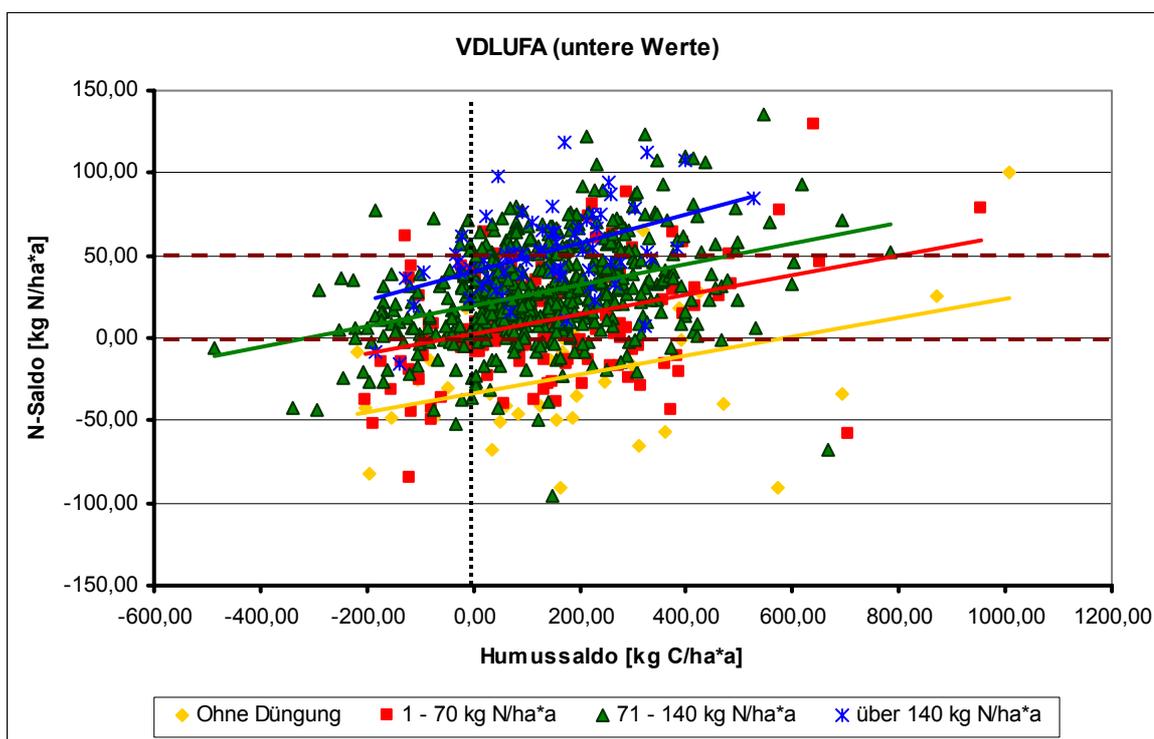


Abbildung 31: Beziehungen zwischen den N-Salden und den mit der VDLUFA-Methode (untere Werte) berechneten Humussalden

Bei der Betrachtung dieser Abbildung fällt auf, dass zwar die Anordnung der Trendlinien sich fast gleich gestaltet, wie die des Diagramms zur standortangepassten Methode (endgemittelt), dass jedoch die Werte generell einen höheren Humussaldo aufweisen. Hier spiegeln sich die unterschiedliche Bewertung der Bedarfs- und Reproduktionsfaktoren und damit die Höhe der Humusbilanz der herkömmlichen und der neuen Methode wider. Der Schnittpunkt der gelben Trendlinie mit der 50 kg N/ha\*a Marke ergibt sich bei einem Humussaldo von 1467 kg C/ha\*a. Für den Schnittpunkt der blauen Trendlinie ist dagegen der Wert 116 kg C/ha\*a abzulesen.

Generell ist bei diesen Abbildungen weniger auf die konkreten Werte, als vielmehr auf die Tendenz der Trendlinien zu achten. Diese lässt die klare Aussage zu, dass auch mit

den hier untersuchten 760 DTF der Zusammenhang zwischen gesteigerter N-Düngung (und damit auch einem höheren N-Saldo) und einem höheren Humussaldo sichtbar wird.

## 7 Diskussion

### 7.1 Vorbemerkungen

Um eine Nutzung von Acker- und Grünlandflächen für folgende Generationen garantieren zu können, müssen jetzt die Grundlagen gesichert werden. Es ist dringend an der Zeit, über Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft nachzudenken. Ansätze in dieser Richtung gibt es schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts. Schon damals waren „der Verfall von Boden und Pflanzen ... der Auslöser für die Diskussion über die Erneuerung der Landwirtschaft.“ (LÜNZER 2007, S. 26). Pioniere, wie Dr. Rudolf Steiner, das Ehepaar Müller oder Otto Buess und Hans Peter Rusch entwickelten Methoden für eine nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung im Einklang mit der Natur. Aus diesen Anfängen entwickelten sich neue sanftere Anbaumethoden, die heute ihre Anwendung in den verschiedenen Richtungen des Ökolandbaus finden. Jedoch gibt der flächenmäßige Anteil ökologisch bewirtschafteter Flächen in Deutschland Anlass zum Nachdenken. Nach Statistiken des BMELV (2007) wurden im Jahr 2005 etwa 4,7 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland ökologisch bewirtschaftet. Was passiert aber auf den anderen 95 % der Flächen? Sind konventionelle Landwirte nicht auch dem Thema der langfristigen Sicherung ihrer Produktionsgrundlagen aufgeschlossen?

Spätestens seit der Wirksamkeit der EU-Richtlinien zur Landwirtschaft, aber auch mit der fortschreitenden Globalisierung und dem damit einhergehenden internationalen Wettbewerb stehen Landwirte unter enormen Druck. Sie sind nicht nur auf Förderungen seitens der EU angewiesen, sie sind auf die ständige Produktionsfähigkeit ihrer Böden angewiesen. Mit der jüngsten Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (Cross Compliance) ist die Vergabe von Direktzahlungen an Bedingungen geknüpft worden, die u. a. die Sicherung der organischen Substanz im Boden und der Bodenstruktur beinhalten. Somit sind im Prinzip alle landwirtschaftlichen Unternehmen angehalten, sich auch mit diesem Thema auseinanderzusetzen. Vielfältige Forschungsprojekte und Untersuchungen existieren inzwischen zu den Themen Erosionsschutz, Bodenverdichtung und Humusbilanzierung.

Auch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft forscht seit langem an Möglichkeiten und Verfahren, die landwirtschaftlichen Böden zu schützen und ihre Funktion als Lebens- und Produktionsraum zu erhalten. Im Fachbereich 4 – Pflanzliche Erzeugung, Referat 41 (Pflanzenbau) wurde zu dem Zweck eine Methode entwickelt, mit der eine Bilanzierung der organischen Substanz des Bodens standortbezogen erfolgen kann. Die standörtliche Differenzierung der Humusbilanzierung ist deshalb so sinnvoll, weil die Humusgehalte und die Umsetzungen von Humus in Böden stark von der Lage, der Bo-

denart und vielen anderen Faktoren – also dem Standort selber abhängen. Um nun dem Prinzip der Nachhaltigkeit entsprechen, als auch der Gefahr des Verlustes von Nährstoffen entgegenwirken zu können, musste eine Bilanzierung gefunden werden, die auf die Eigenarten des Standortes des Bodens eingehen kann.

Diese neue standortangepasste Methode der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Humusbilanzierung, wurde im Rahmen der Diplomarbeit auf ihre Anwendbarkeit am Beispiel von Sachsen getestet.

## 7.2 Erwartungen und These

BROCK & LEITHOLD (2006, S. 78) formulierten folgende sehr prägnante Aussage zu Humusbilanzen: „Humusbilanzen sind vereinfachende Instrumente für die Abschätzung der Humusreproduktion. Sie sind für die praktische Anwendung in der Landwirtschaft konzipiert und sollen deshalb mit einfach verfügbaren Eingabedaten auskommen. Aus diesem Grunde können Humusbilanzen nicht die Genauigkeit von Modellen erreichen, obgleich der komplexe Wirkungszusammenhang von Faktoren und Prozessen der Humusdynamik natürlich in den Algorithmen beachtet werden muss, um plausible Aussagen zu ermöglichen.“ Diese Tatsache musste auch bei der Entwicklung der neuen standortangepassten Methode zur Humusbilanzierung Beachtung finden.

Welche Erwartungen werden an die neue Methode gestellt?

Es sollte eine einfach handhabbare, aber dennoch exaktere Methode zur Bilanzierung der organischen Bodensubstanz entwickelt werden. Erwartet wurde eine differenziertere Beschreibung des Humushaushaltes, je nach Standort, um eine nachhaltige Nutzung des Bodens für zukünftige Generationen auf allen landwirtschaftlichen Flächen gewährleisten zu können. Aussagen zum Bedarf an organischem Dünger, um den optimalen standorttypischen Humusgehalt aufrecht zu erhalten und Aussagen über eine mögliche Kalkulation der Abfuhr organischer Substanz sollten standortabhängig getroffen werden können. Kurz gesagt bedeutet das: die Anwendung der neuen Methode sollte nach Standorten (bzw. Bodenarten) differenzierte Ergebnisse für die Humusbilanz bringen.

Die existierenden Methoden zur Humusbilanzierung basieren im Wesentlichen auf einer der schon im Kapitel 4.3.3 vorgestellten Schulen der Humusbilanzierung. Zwischen den Methoden herrscht eine differenzierte Herangehensweise. Während ASMUS & HERRMANN (1977) und KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) die einfache Reproduktion anstreben, um u. a. mögliche negative Umweltwirkungen durch Auswaschungen zu vermeiden, plädieren RAUHE ET AL. (1982) und LEITHOLD ET AL. (1997) für eine erweiterte Reproduktion, um die Bodenfruchtbarkeit kontinuierlich zu verbessern. Die Fähigkeit des

Bodens als CO<sub>2</sub>-Senke zu fungieren, wird bei letztgenannter Herangehensweise unterstützt. Die neu entwickelte Methode könnte zwischen den schon seit langen existierenden und gegensätzlichen Schulen der Humusbilanzierung stehen und einen Kompromiss darstellen.

Auf den folgenden Seiten soll noch einmal kurz auf die Ergebnisse der Arbeit eingegangen werden um festzustellen, ob die Erwartungen an die neue standortangepasste Methode zur Humusbilanzierung erfüllt werden konnten.

## 7.3 Überblick Ergebnisse

### 7.3.1 Datenlage

Von den zur Verfügung stehenden Daten von mehr als 1000 DTF in Sachsen konnten bei der näheren Betrachtung der Daten nur 760 Flächen ausgewählt werden, die für eine Weiterberechnung geeignet waren. Wegfallen mussten Flächen, bei denen:

- nur Daten zu ein oder zwei Jahren zur Verfügung standen
- nicht alle benötigten Daten zur Standortbeschreibung vorhanden waren
- hauptsächlich Grünlandbewirtschaftung betrieben wurde.

Somit blieben am Ende 732 konventionell bewirtschaftete und 28 ökologisch bewirtschaftete Flächen zur Betrachtung übrig. Bei den ausgewählten 760 Flächen kann dennoch nicht von einer lückenlosen Datenmenge ausgegangen werden. Im Fall von fehlenden Bewirtschaftungsdaten (maximal eine Datei pro Jahr und Fläche) wurde vom „worst case“ der Bewirtschaftung ausgegangen und mit diesen Daten weitergerechnet. Bei den konventionellen Flächen stellte die Datenbasis generell kein Problem dar. Es waren genügend Flächen vorhanden, um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten. Schwieriger war die Lage bei den ökologischen Flächen. Hier wurden, wie schon erwähnt, auch Flächen berücksichtigt, bei denen nur Daten von drei statt von sechs Jahren vorlagen. Dieser Kompromiss musste eingegangen werden, um überhaupt eine genügende Anzahl von ökologisch bewirtschafteten Flächen zur Berechnung zur Verfügung zu haben. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss deshalb auch eine gewisse Vorsicht walten. Um eine statistisch abgesicherte Aussage für Ökoflächen treffen zu können, sollten die Berechnungen in einem Zeitabstand von zwei bis drei Jahren wiederholt werden. Dann kann, unter der Voraussetzung einer gleich bleibenden ökologischen Bewirtschaftungsweise auf diesen Flächen, von einer größeren Datenbasis und damit auch von wesentlich abgesicherteren Werten für die Humusbilanz ausgegangen werden.

### 7.3.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung

Die Ergebnisse der Humusbilanzierung wurden in Kapitel 6 detailliert vorgestellt. An dieser Stelle sollen die Ergebnisse und die relevantesten Aussagen kurz zusammengefasst werden:

- Die Anwendung der standortangepassten Humusbilanzierung in Sachsen bringt realistische Werte, welche zwischen den Werten der Berechnung mit den oberen und den unteren Werten der VDLUFA-Methode angesiedelt werden können.
- Es können durchschnittlich höhere Humussalden bei ökologisch bewirtschafteten Flächen festgestellt werden.
- Bei Anwendung der neuen Methode wird eine deutliche Differenzierung der Ergebnisse nach Standort und Bodenart sichtbar. Vor allem bei den Bodenarten Lehm und lehmiger Ton, sowie bei der Standortgruppe 6 sind Defizite in der Versorgung mit organischer Substanz sichtbar.
- Bei einer zukünftigen Temperaturerhöhung sind durchschnittlich geringere Humussalden zu erwarten.
- Bei der Berechnung möglicher Abfuhrmengen organischer Substanz von Ackerflächen mit der standortdifferenzierten Methode ist eine geringere Abfuhr möglich, als bei den Betrachtungen TWISTEL & RÖHRICHT (2000) und RÖHRICHT & GROß-OPHOFF (2003) angenommen wurde. Letztgenannte berechneten die Potentiale an landwirtschaftlichen Reststoffen für die stoffliche und energetische Verwertung auf Grundlage der VDLUFA-Methode.
- Der Zusammenhang zwischen gesteigerter N-Düngung und einem höheren Humussaldo ist auch in dieser Arbeit sichtbar geworden.

Damit sind die Erwartungen an die neu entwickelte Methode hinsichtlich der Standortanpassung erfüllt worden. Die Anwendbarkeit der Methode in der Praxis ist im Rahmen dieser Arbeit nicht hinreichend geprüft worden. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Implementierung der Erkenntnisse oder der Methode in bisher existierende bundesweite Vorgaben (z. B. durch den VDLUFA), eine Anwendung erfolgen kann.

Das größte Problem bei der Realisierung der Anwendung dürfte die erforderliche Datenbasis sein. Bisher waren zur Berechnung der Humusbilanz keine standortbezogenen Daten nötig. Diese müssten bei einer Anwendung der neuen Methode jedoch unbedingt zur Verfügung stehen. Normalerweise sind die von der Methode benötigten Ausgangsdaten ohne großen Aufwand zu besorgen. Eine genaue Bodenuntersuchung liefert die entsprechenden Daten, wobei davon auszugehen ist, dass ein Großteil der Landwirte auch bisher Bodenuntersuchungen durchführen lassen hat, um die Bewirtschaftung den Verhältnissen anzupassen. Temperatur- und Niederschlagswerte für die verschiedenen landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete und Agrarstrukturgebiete Sachsens sind z. B. in

der Veröffentlichung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (WINKLER ET AL. 1999) zu finden. Auch in anderen Bundesländern stehen von den zuständigen Behörden für Landwirtschaft entsprechende Daten zur Verfügung.

Somit ist die Anwendung der neuen standortangepassten Methode in der Praxis des konventionellen und des ökologischen Landbaus durchaus denkbar und möglich.

## 7.4 Diskussion der Methodik

Das Ziel der Humusbilanzierung wurde unter Punkt 4.3.1 folgendermaßen beschrieben: „Ziel der Humusbilanzierung ist es ... die bewirtschaftungsbedingt zu erwartenden Veränderungen der Humusvorräte ... abzuschätzen und mit der organischen Düngung entsprechend zu reagieren.“ (KÖRSCHENS ET AL. 2004, S. 3). Erreicht werden soll dabei ein „ausgeglichener“ Humushaushalt. Das bedeutet, dass über einen langen Zeitraum hinweg der Vorrat an organischer Substanz im Boden auf einem optimalen Niveau gehalten werden soll, um eine ausreichende Bodenfruchtbarkeit zu gewähren. Dabei können jährliche Schwankungen im Humusgehalt durchaus toleriert werden. Wichtig erscheint, dass langfristig eine Sicherung des Humusgehaltes gegeben ist. Schwierig ist jedoch die Frage zu beantworten, was das optimale Niveau, oder der standorttypische Humusgehalt ist. Neben den Standortfaktoren, wie Klima, Bodeneigenschaften und Lage, wirken v. a. Bewirtschaftungsmaßnahmen entscheidend auf den Gehalt organischer Substanz eines Bodens. WILDHAGEN (2006, S. 35) formuliert Folgendes: „In Abhängigkeit von der Art und Intensität des Bodennutzungssystems stellt sich langfristig ein Gleichgewicht zwischen Mineralisierung und Humifizierung ein. Es bildet sich ein standorttypischer Humusgehalt, der sogenannte Humusspiegel, dessen Höhe von der Bewirtschaftungsweise abhängt.“ Eine genaue Angabe zum Humusgehalt des Bodens kann nur durch eine Messung des Gehaltes an organischer Substanz im Boden erhalten werden. Mit den in dieser Arbeit vorgestellten Verfahren zur Humusbilanzierung werden lediglich Veränderungen des Humusgehaltes über einen bestimmten Zeitraum hinweg festgestellt. Das Ergebnis kann demzufolge nicht der exakte, reale Wert des  $C_{\text{org}}$ -Gehaltes im Boden sein. Das Ergebnis ist ein Saldo.

Das Ziel einer Humusbilanzierung nach den beschriebenen Methoden, sollte das Erreichen der Humusklasse C sein. Dabei wird jedoch davon ausgegangen, dass der Humusgehalt zu Beginn der Bilanzierung standorttypisch war. Wenn dann über einen langen Zeitraum eine Bilanzierung für die Flächen des Standortes gemacht wird und bei der Bilanzierung die Versorgungsstufe C erreicht wird, dann kann davon ausgegangen werden, dass der „standorttypische Humusgehalt“ gehalten oder leicht gesteigert wurde.

Wie stark oder ob der Gehalt organischer Substanz erhöht wurde, hängt maßgeblich von der verwendeten Humusbilanzierungsmethode ab<sup>35</sup>.

Bei Verwendung der neuen standortangepassten Methode ist auch die Versorgungsstufe C das Ziel. Wenn bei einer Bilanz das Ergebnis Null ist, dann sind ebensoviel Stoffe in das System aufgenommen, wie abgegeben worden (100% Bedarfsdeckung = 0 kg C/ha\*a). „Das System ist so kalibriert, dass bei diesem Niveau dann 75 – 80% der Fälle den Ausgangsgehalt an Humus einhalten und ca. 100% der Fälle, die mindestens die untere Grenze von –75 kg C/ha\*a des Standortes nicht unterschreiten.“ (KOLBE, 2006, S. 50).

Bei der Anwendung der neuen standortangepassten Humusbilanzmethode konnte festgestellt werden, dass bei der Verrechnungsvariante „endgemittelt“ die Humusbilanzklasse C am häufigsten auftritt. Bei der Variante „original“ sind ebenso viele Salden in die Klasse C einzuordnen, wie in die Klasse D. Bei allen untersuchten Daten fallen die Unterschiede zwischen den beiden Verrechnungsvarianten deutlich auf. Die Variante „endgemittelt“ tendiert zu durchschnittlich geringeren Humussalden, als die Verrechnungsart „original“. In Abbildung 32 wird der Unterschied noch einmal verdeutlicht:

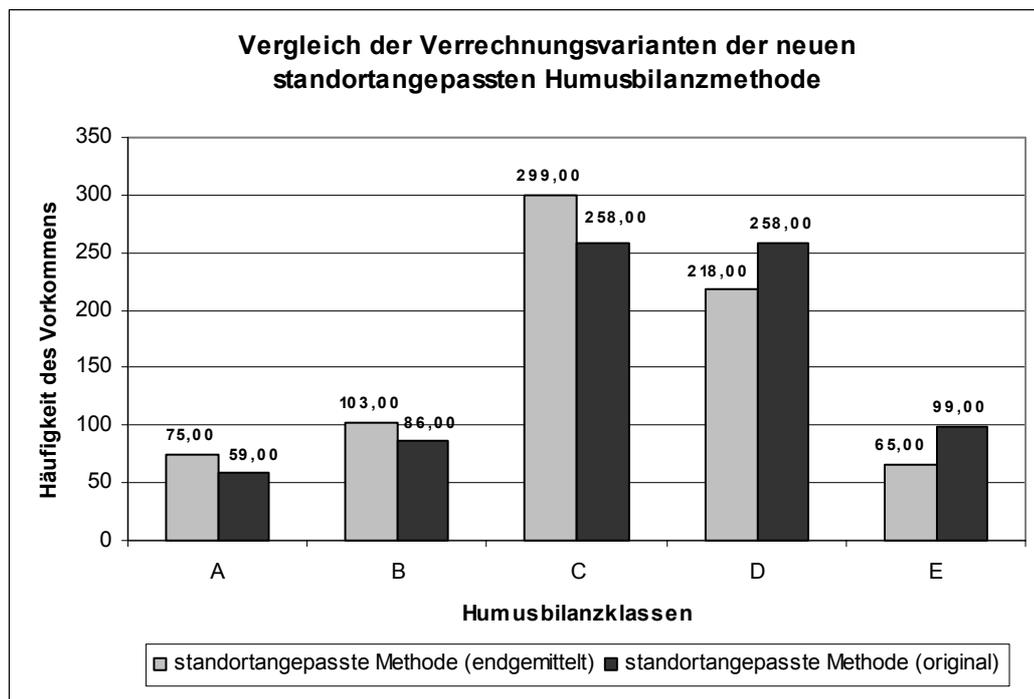


Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse der Humusbilanzierung mit den Verrechnungsvarianten „endgemittelt“ und „original“ der standortangepassten Humusbilanzmethode

<sup>35</sup> Siehe Kapitel 5.1 und 5.2

Bei einem kurzen Rückblick auf die Unterschiede in der Berechnung beider Varianten<sup>36</sup> kann ein Grund für die doch recht unterschiedlichen Ergebnisse gefunden werden. Bei der Variante „original“ wird davon ausgegangen, dass sich ein Humusspiegel erst im Laufe eines gewissen Zeitraumes entwickelt. Das bedeutet, dass die Humusbilanzen einzelner Jahre uninteressant sind. Wichtig ist die Bewirtschaftung über den betrachteten Zeitraum. Am Ende wird der über den gesamten Zeitraum anfallende Humusbedarf der ebenfalls in diesem Zeitraum entstehenden Reproduktionsmenge organischer Substanz gegenübergestellt. Es wird also nur einmal über den Zeitraum bilanziert. In diesem Zeitraum hat „der Boden Zeit“, auf eventuell auftretende Störfaktoren oder auf ungewöhnliche Ereignisse zu reagieren. Die Schwankungen werden in dem Mittelwert über den Zeitraum „aufgefangen“, Ausreißer werden in ihrer Wirkung entschärft. In diesem Zuge gilt es zu bedenken, dass ein einmaliges Ereignis andere Folgen für den Boden hat, als eine langjährig gleich bleibende Bewirtschaftung. Z. B. würden sich bei jährlichen hohen Düngergaben die Bodenorganismen auf die neue Situation einstellen – die Artenzusammensetzung würde sich verändern. Bei einer einmalig hohen Düngergabe ist jedoch mit diesem Vorgang nicht zu rechnen, da die Zeitspanne für eine mögliche Umstellung zu gering ist und keine Kontinuität hinsichtlich der Nährstoffverfügbarkeit gegeben ist.

Demgegenüber ist bei der Berechnung mittels der Variante „endgemittelt“ der Einfluss eines Jahres auf die Gesamtbilanz über den Zeitraum größer, da die Mittelwertbildung erst am Ende der Bilanzierung stattfindet. So können sich hohe Bedarfe oder hohe Reproduktionswerte bis zum Ende der Bilanzierung „aufschaukeln“ und damit den Wert des Saldos nachhaltig verändern.

Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Bilanzierungen mit der Verrechnungsvariante „original“ die wahrscheinlich realistischeren Werte darstellen. Diese Art der Berechnung wurde außerdem der Entwicklung der standortangepassten Methode zugrunde gelegt, was die Plausibilität der Berechnungsweise noch stärkt.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse der Humusbilanzierung nach neuer Methode mit denen herkömmlicher Bilanzierungsmethoden fällt auf, dass die Ergebnisse der standortangepassten Bilanzierung meist zwischen den Ergebnissen der Berechnungen mit den oberen und den unteren Werten der VDLUFA-Methode anzusiedeln sind. Damit hat sich die These, dass sich durch die Standortanpassung der Humusbilanzierung eine Methode entwickelt hat, die einen Kompromiss zwischen den bisher existierenden Schulen der Humusbilanzierung darstellt, bestätigt. Weiterhin kann festgestellt werden, dass die neuen Ergebnisse wesentlich stärker differenziert sind, je nach Standort oder Bodenart. Das bedeutet, dass die Standortanpassung der Humusbilanzierung erfolgreich war. U. a.

---

<sup>36</sup> siehe unter Kapitel 5.2, S. 59

KÖRSCHENS ET AL. (2004) forderten diese Anpassung an die standörtlichen Gegebenheiten, um genauere Ergebnisse für die Anwender in der Praxis ermitteln zu können. CAPRIEL untersuchte 2006 die standorttypischen Humusgehalte von Ackerböden in Bayern in Abhängigkeit von Bodenart, Klima und Viehhaltung. Er nutzte als Maß für den Klimaeinfluss auf Humusgehalt und Humusqualität die Höhe, welche sich in einer Differenzierung von Niederschlag und Temperatur äußert. Dies ist ein weiterer Ansatz, um die Standortabhängigkeit von Humusgehalten in Böden zu quantifizieren. CAPRIEL (2006) bezieht den Niederschlag explizit in die Berechnung mit ein, was bei der hier vorgestellten Methode der standortabhängigen Humusbilanzierung nicht in dem Maße Beachtung fand. Eine stärkere Einbindung des Faktors Niederschlag in die Berechnung könnte eventuell etwas differenziertere und damit genauere Ergebnisse liefern. Jedoch gilt es auch zu bedenken, dass mit jedem hinzukommenden Faktor die Berechnung komplizierter wird. Dies könnte sich auf die Benutzerfreundlichkeit der Methode auswirken.

## **7.5 Bedeutung der Humusbilanz im Klimawandel**

Bei den zurzeit laufenden Forschungen zur Humusbilanzierung muss sich die Frage gestellt werden, welche Bedeutung diese in der Realität hat, bzw. wie häufig sie zur Anwendung kommen wird. Nach der GAP-Reform der EU sind Direktzahlungen an landwirtschaftliche Betriebe an die Einhaltung verbindlicher Vorschriften gekoppelt. Diese Vorschriften sind im Bereich der Humusbilanzierung v. a. von ökologisch wirtschaftenden Betrieben ohne Mehraufwand zu erfüllen. In den Gesetzen und Regelungen zum Ökolandbau werden oft noch viel strengere Vorschriften z. B. zur Einhaltung von abwechslungsreichen Fruchtfolgen und zum Anbau von Leguminosen gemacht. Auch viele konventionelle Landwirte wirtschafteten schon vor Einführung der neuen Regelungen in Bezug auf die Fruchtfolgegestaltung nach den Grundsätzen der Guten fachlichen Praxis. So stellt sich die Frage, ob eine intensive weitere Forschung an dem Thema Humusbilanzierung überhaupt von Nöten ist.

Hier bekommen die Stichworte „Nachwachsende Rohstoffe“, „landwirtschaftliche Biomasse“ und „Erneuerbare Energien“ eine besondere Bedeutung. Die Produktion landwirtschaftlicher Biomasse ist im Aufschwung. GIENAPP (2007, S. 1) macht zu diesem Thema folgende Aussage: „Der Einsatz der Biomasse trägt dazu bei, den CO<sub>2</sub>-Eintrag in die Atmosphäre deutlich zu reduzieren und dadurch den Treibhauseffekt, der den unverkennbaren Klimawechsel verursacht, zu senken. Die Land- und Forstwirtschaft sind die einzigen Wirtschaftszweige, die Biomasse in ausreichender Menge und in der erforderlichen Qualität zur Verfügung stellen können. Damit wird die Biomasseerzeugung neben der Nahrungsmittelproduktion zu einem weiteren Standbein der Landwirtschaft. Diese Neuorientierung in der Agrarproduktion schafft zusätzliche Arbeitsplätze, sichert

die Existenz der Landwirte und bereichert die ländlichen Räume.“ Der Autor nennt für Landwirte zwei Möglichkeiten hinsichtlich der Produktion von Biomasse: der Landwirt als Primärproduzent von Biomasse oder der Landwirt als Energiewirt. Der Begriff „Energiewirt“ suggeriert ein vollkommen anderes Bild, als der Begriff Landwirt. Landwirtschaftliche Böden werden in Zukunft nicht mehr nur Grundlage für die Ernährung der Bevölkerung sein, sie werden auch als Ausgangssubstrat für die Herstellung von Energierohstoffen dienen. Dabei sind nicht nur die besonders für diesen Industriezweig bedeutsamen Arten Raps und Mais, sondern auch Getreide, Zuckerrüben und Ackerhölzer von Interesse.

Um die Fruchtbarkeit von Böden unter diesen sich entwickelnden Umständen zu sichern, sind vielfältige Maßnahmen nötig. V. a. die Erweiterung und Anpassung von Fruchtfolgen, sowie der Einsatz alternativer Anbausysteme werden von GIENAPP (2007) als notwendig erachtet. An der Stelle sei auch kurz auf die unzureichende Regelung der CC-Richtlinie hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung verwiesen. In dem Regelwerk wird einzig gefordert, dass auf betrieblicher Ebene ein Anbauverhältnis von mindestens drei Kulturen sicherzustellen ist (SMUL 2007). Die spezifische Wirkung einzelner Kulturen auf den Humusgehalt bleibt dabei unberücksichtigt. Es würde demnach genügen, drei humuszehrende Kulturen anzubauen – der Nachweis für den Erhalt der organischen Substanz wäre damit anerkannt. Noch verschärft wird die Notwendigkeit der Überprüfung der Humusbilanz durch die Konkurrenz zwischen der ausreichenden Versorgung des Bodens mit Humus (bis hin zur C-Sequestrierung) auf der einen Seite und der möglichst hohen Abfuhr organischer Substanz zur „Energiegewinnung“ auf der anderen Seite. Mit dieser Betrachtung im Hinterkopf, scheint es unerlässlich, die Humusbilanzierung für alle Landwirte verbindlich einzuführen.

Als weiteres Kriterium für einen erfolgreichen Anbau von Biomasse gilt der Standort. Ideal für hohe Biomassenerträge ist ein hohes Sonnenenergieangebot bei gleichzeitig optimaler Wasserversorgung. Diese Kombination ist jedoch in der Realität höchst selten anzutreffen, weshalb immer Kompromisse eingegangen werden müssen. Für fast alle Standorte, ob trocken, sandig, oder vernässt, werden inzwischen geeignete Fruchtarten für den Energiepflanzenanbau empfohlen. Um unter den beschriebenen Bedingungen beim Anbau von Energiepflanzen die Forderungen der GAP-Reform hinsichtlich der Humusbilanz umzusetzen, sind ausgeklügelte Systeme notwendig. Deutlich wird das besonders wenn bedacht wird, dass bei einer Nutzung von Energiepflanzen meist nur wenig Ernterückstand<sup>37</sup> auf dem Feld verbleibt und zur Reproduktion organischer Substanz lediglich der Gärrückstand, bzw. andere Reststoffe der „Energieproduktion“ zur Verfügung stehen. MÖNICKE (2005) plädiert in Bezug auf die Bewahrung der Bodenfruchtbarkeit auf die intensivere Einbindung von Klärschlamm. Danach kommt dem

---

<sup>37</sup> bzw. organische Substanz, dazu siehe Abfuhrmengkalkulation in den Kapiteln 5.3 und 6.2

Klärschlamm als Träger von Nährstoffen und organischer Substanz eine herausragende Ergänzungsfunktion zu. Allerdings wird der Einsatz von Klärschlämmen aufgrund der ihnen innewohnenden Schadstoffe (Schwermetalle, v. a. Cadmium und organische Verbindungen) seit langem kontrovers diskutiert.

Im Zuge der intensiven Diskussion um das Thema der Biomasseproduktion und der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit wird die Anwendung von Humusbilanzierungen als wichtiges Instrument zur Einschätzung des Humushaushaltes landwirtschaftlicher Böden an Bedeutung gewinnen. Eine strenge Kontrolle des Wirtschaftens ist hier nötig, um eine Auslaugung und Verarmung der Böden zu vermeiden. Der BUND (2007) stellt in seiner Position zur energetischen Nutzung von Biomasse die Forderung nach einer jährlichen Humusbilanz beim Anbau von Energiepflanzen verbunden mit einem Verbot der Verengung der Fruchtfolge auf weniger als drei Kulturen.

Die Problematik aus dem Blickwinkel des Klimawandels betrachtet STÜLPNAGEL (2007). Anders als GIENAPP (2007), betrachtet STÜLPNAGEL (2007) die Bedeutung des Bodens als CO<sub>2</sub>-Speicher nicht aus der Sicht der Landwirtschaft, sondern aus der Sicht des zu schützenden Klimas und der Wissenschaft. Er beschreibt als ein Ziel heutiger Klimapolitik den Beitrag des Bodens zur Verminderung des CO<sub>2</sub>-Anstieges der Luft. Zur Realisierung dieses Zieles gibt es dem Autor zufolge zwei Möglichkeiten:

- eine C-Substitution, d. h. einen Ersatz fossiler Energien durch regenerative Energien
- eine C-Sequestrierung im Boden, d. h. eine Speicherung von Kohlenstoff im Boden durch Erhöhung des Humusgehaltes und eine Kohlenstoffspeicherung in einem vermehren Pflanzenbestand (Wald)

In diesem Zusammenhang nennt STÜLPNAGEL (2007) den Emissionshandel als Instrument der europäischen Klimapolitik. Eine Teilnahme von Landwirten am Emissionshandel setzt jedoch die Kenntnis der vorhandenen Kohlenstoffmenge im Boden und im Aufwuchs voraus. Für eine indirekte Aussage zu der Basismenge an C im Boden könnte die Humusbilanzierung zu Rate gezogen werden<sup>38</sup>. V. a. die standortangepasste Methode erscheint hier als geeignetes Instrument, weil damit differenzierte und genauere Ergebnisse für die in Sachsen und zukünftig auch in Deutschland sehr verschiedenartigen Standorte erzielt werden können.

Nach schon sehr langer und intensiver Diskussionen in der Wissenschaft ist inzwischen auch in der Politik das Thema Klimawandel allgegenwärtig. Über eine Einbeziehung des Faktors Boden in den Emissionshandel wurde in einer Anfrage von Abgeordneten der Fraktion Bündnis 90/ Die Grünen an die Bundesregierung zur Einführung der Hu-

---

<sup>38</sup> Die VDLUFA-Methode ist in den Ausführungsbestimmungen der GAP-Reform als Instrument enthalten)

musreproduktion und der Humusbilanzierung in das deutsche Dünge- und Bodenschutzrecht (BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN 2006) von der Bundesregierung Stellung genommen. Die Antwort der Bundesregierung war folgende: „Eine Einbeziehung des gebundenen Kohlenstoffs im Boden ist derzeit aufgrund des vorgegebenen Rechtsrahmens in Deutschland nicht möglich. EG-Gemeinschaftsrecht (Richtlinie 2003/87/EG) und deutsches Recht (Projekt-Mechanismen - Gesetz vom 22. September 2005) schließen Projekte zur Landnutzung vom Emissionshandel aus, obwohl solche Projekte entsprechend den Vereinbarungen von Marrakesch zum Kyoto-Protokoll möglich wären. Es ist derzeit wenig realistisch, den Rechtsrahmen bezüglich solcher Projekte kurzfristig zu ändern. Zu berücksichtigen ist, dass mit diesem Projekttyp keine praktischen Erfahrungen bestehen und aufwändige Erfassungen des Bodenkohlenstoffs erforderlich wären.“ (BUNDESREGIERUNG 2006).

Aus der Stellungnahme der Bundesregierung zur Anfrage der Fraktion Bündnis 90/ Die Grünen sind weiterhin folgende generelle Aussagen zu entnehmen (BUNDESREGIERUNG 2006):

- Eine Erhöhung des Humusanteils im Boden wird nicht als Möglichkeit gegen den Anstieg der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre gesehen.
- Der Einfluss des Klimawandels auf die Humusversorgung von Böden wird als nicht quantifizierbar und als eher unbedeutend gesehen. Ausgenommen davon sind Humusverluste durch Erosion.
- Es wird nicht von Unterschieden zwischen dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen und dem Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen ausgegangen. Jedoch ist unabhängig von der späteren Verwertung der auf Ackerflächen angebauten Kulturen dafür Sorge zu tragen, dass ein standortgerecht ausreichender Humusgehalt erhalten wird.

Aus den Aussagen der Bundesregierung kann geschlussfolgert werden, dass eine Teilnahme von Landwirten am Emissionshandel zumindest derzeit noch in keinster Weise realisierbar ist. Somit ist auch eine entsprechende Vergütung und Wertschätzung von Humusschutzmaßnahmen im Sinne eines Beitrags des Bodens zur C-Sequestrierung nicht in Sicht. Für die Landwirtschaft hat dies zufolge, dass ihr Beitrag zur Verringerung des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre einzig durch den Anbau von Energiepflanzen und durch die Nutzung von organischen Reststoffen der landwirtschaftlichen Produktion zur energetischen und stofflichen Verwertung geleistet werden kann. Somit ist es für die Landwirte wirtschaftlich am sinnvollsten, sich mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe zu beschäftigen. Die Einhaltung der Guten Fachlichen Praxis der Landwirtschaft und die Bewahrung der organischen Bodensubstanz ist eine vom Gesetz vorgeschriebene Wirtschaftsweise. Sie veranlasst zwar, den Landwirt nach diesen Regeln zu handeln, aber zum wirtschaftlichen Erfolg des Betriebes trägt die Einhaltung der Vorschriften

nicht bei. Dies wäre z. B. bei einer Einbindung der Landwirtschaft in den Emissionshandel möglich.

Abgesehen von jeglicher Wirtschaftlichkeit von Bodenschutzmaßnahmen, sollten jedoch sowohl Landwirte, als auch alle anderen Bürger an der Erhaltung der Leistungsfähigkeit von landwirtschaftlichen Böden im Sinne der Nachhaltigkeit interessiert sein.

## 7.6 Ausblick

In Zukunft wird nach Ansicht des Autors, wie in Kapitel 7.5 beschrieben, die Bedeutung von Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit stetig steigen. Die in dieser Arbeit betrachtete standortangepasste Methode zur Humusbilanzierung ist dabei ein mögliches Instrument. Für eine flächenhafte Anwendung in Deutschland oder in anderen Teilen Europas werden allerdings noch weitere Untersuchungen zur Anwendung der Methode in der Praxis empfohlen. Die standortangepasste Methode wurde bisher lediglich von KOLBE (2006b) und in der vorliegenden Arbeit getestet, weshalb von einer statistisch gesicherten Aussage für einen größeren Raum abgesehen werden muss. Die standortangepasste Methode zur Humusbilanzierung sollte mit der Berechnungsvariante „original“<sup>39</sup> Anwendung finden.

Generell zeichnet sich ab, dass mit der Anwendung dieser Art der Humusbilanzierung, in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftungsart, wesentlich differenziertere und demzufolge auch genauere Ergebnisse erzielt werden können, als bei Anwendung der bisher gesetzlich vorgeschriebenen VDLUFA-Methode. Bei beiden Methoden ist die Berechnung und Handhabung einfach und praktikabel und somit für den Einsatz in der Praxis geeignet.

Eine weitere Möglichkeit zur Bilanzierung der organischen Substanz des Bodens bietet die von der Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg entwickelte Agrar-Software REPRO, welche bei den Kalkulationen auch Standortunterschiede berücksichtigt. Der Einsatz dieses Programms erfordert jedoch sowohl eine hohe Datendichte und Datenqualität, als auch den Besitz des Programms, weshalb die Bilanzierung mit REPRO wohl eher für staatliche und wissenschaftliche Institutionen geeignet scheint.

---

<sup>39</sup> siehe Kapitel 5.2

## 8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (KOLBE 2006b) entwickelte standortangepasste Methode zur Humusbilanzierung an sächsischen Dauertestflächen getestet. Ziel dieser Bilanzierung war es herauszufinden, ob die Anwendung der standortangepassten Methode in einem relativ großen, standörtlich stark differenzierten Gebiet wie Sachsen realistische und differenzierte Werte liefert. Die Bilanzergebnisse wurden den mittels VDLUFA-Methode und REPRO berechneten Ergebnissen (auf denselben Flächen) gegenübergestellt und verglichen. Bei dem Vergleich wurden weiterhin die Unterschiede zwischen konventioneller und ökologischer Landbewirtschaftung berücksichtigt. Mit den ermittelten Ergebnissen für die Humusbilanzierung wurde die mögliche Abfuhr organischer Reststoffe der Landwirtschaft von den Ackerflächen kalkuliert und auf die Fläche Sachsens extrapoliert.

Anlass für die Bearbeitung des Themas und die Weiterentwicklung von bisherigen Humusbilanzierungsmethoden liefern die aktuellen Diskussionen um die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und um den Klimawandel und der damit verbundenen Erweiterung der Produktionsflächen für nachwachsende Rohstoffe. Die neue Methode soll deutlich differenziertere Ergebnisse als bisherige Methoden liefern. Damit könnte der Versorgungsgrad von Böden mit organischer Substanz wesentlich genauer abgeschätzt werden. Dies ermöglicht wiederum eine bessere Kalkulation möglicher Abfuhrpotentiale für organische Reststoffe und eine genauere Einschätzung der Eignung von Standorten für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen. Hintergrund jeglicher Überlegungen zu dem Thema ist die nachhaltige Sicherung der Fruchtbarkeit der ackerbaulich genutzten Böden.

Grundlagen für die Berechnungen waren Daten von 760 Dauertestflächen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Es wurde über einen Zeitraum von sechs Jahren, von 1998 bis 2003, bilanziert.

Nach der Bearbeitung des Themas können folgende Hauptaussagen getroffen werden:

- Die Anwendung der standortangepassten Humusbilanzierung in Sachsen bringt realistische Werte, welche zwischen den Werten der Berechnung mit den oberen und den unteren Werten der VDLUFA-Methode angesiedelt werden können.
- Es können durchschnittlich höhere Humussalden bei ökologisch bewirtschafteten Flächen festgestellt werden.
- Bei Anwendung der neuen Methode wird eine deutliche Differenzierung der Ergebnisse nach Standort und Bodenart sichtbar. Vor allem bei den Bodenarten

Lehm und lehmiger Ton, sowie bei der Standortgruppe 6 sind Defizite in der Versorgung mit organischer Substanz sichtbar.

- Bei einer zukünftigen Temperaturerhöhung sind durchschnittlich geringere Humussalden zu erwarten.
- Die Berechnung von Abfuhrmengen organischer Reststoffe von Ackerflächen zeigt für die Ergebnisse der standortdifferenzierten Methode geringere Potentiale auf, als eine Kalkulation mit Ergebnissen der VDLUFA-Methode.

Für den Einsatz der neuen Methode in der Praxis bedarf es noch weiterer Testanwendungen und eventueller Verbesserungen hinsichtlich der Berücksichtigung von Niederschlägen. Eine Einführung der Methode in die landwirtschaftliche Praxis scheint jedoch sehr bald möglich und nötig. Vor allem im Hinblick auf die Sicherung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion sowohl auf konventionellen, als auch auf ökologischen Flächen ist die Anwendung einer standortangepassten Methode zur Humusbilanzierung unverzichtbar. Sie ist die Voraussetzung für eine gesicherte Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion im Zeichen des Klimawandels.

## Literaturverzeichnis

**ABRAHAM, J.; REINICKE, F.; CHRISTEN, O.** (2006): Cross Compliance. <http://www.dlz-agrarmagazin.de/?redid=36458>. (Zugriff: 28.09.2006)

**ASMUS, F. & HERRMANN, V.** (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Akademie der Landwirtschaftswiss. der DDR, Institut für Landwirtschaftliche Information und Dokumentation. Bd. 15, Heft 11. Berlin 1977

**BECKMANN, U.; KOLBE, H.; MODEL, A.** (2000): Ackerbausysteme im ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Dresden 2000. **BEER, K.; KORIATH, H.; PODLESAK, W.** (1990): Organische und mineralische Düngung. Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin 1990.

**BROCK, C. & LEITHOLD, G.** (2006): Faktoren der Humusreproduktion und ihre Umsetzung in Humusbilanzmethoden im Hinblick auf die Bewertung ökologischer Bewirtschaftungssysteme. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Heft 18. S. 78-79

**BRÖSELT, M.** (1992): Statistik. R.Oldenburg Verlag GmbH. München 1992

**BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V.** (Hrsg.) (2005): Organische Düngung. Grundlagen der Guten Fachlichen Praxis. Kompost für die Landwirtschaft. Köln 2005

**BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN** (2006): Kleine Anfrage. Einführung der Humusreproduktion und der Humusbilanzierung in das Dünge- und Bodenschutzrecht. Drucksache 16/2117. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH. Köln, Berlin 2006

**BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN** (1993): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit - Bd. 4. Humushaushalt. Berichte über die Landwirtschaft. Paul Parey. Hamburg und Berlin 1993

**BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ** (2006): Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. <http://www1.mlu.sachsen-anhalt.de/llg/gesetze/bodenschutz/paragraph17/praxis.htm> (Datum des Zugriffs: 20.04.1999)

**BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ** (2007): Ökologischer Landbau in Deutschland. [http://www.bmelv.de/cln\\_045/nn\\_750590/DE/04Landwirtschaft/OekologischerLandbau/OekologischerLandbauDeutschland.html](http://www.bmelv.de/cln_045/nn_750590/DE/04Landwirtschaft/OekologischerLandbau/OekologischerLandbauDeutschland.html) (Datum des Zugriffs: 01.05.2007)

**BUNDESREGIERUNG** (2006): Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Undine Kurth (Quedlinburg), Ulrike Höfken, weiterer

Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 16/2117 –. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH. Köln, Berlin 2006

**BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND E.V. (BUND)** (2007): Energetische Nutzung von Biomasse. BUNDPositionen Nr. 34. Berlin 2007

**CAPRIEL, P.** (2006): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 16. Freising 2006

**CAPRIEL, P.** (2003): Humusversorgung der Böden. Unterlagen zur FÜAK-Fortbildungsmaßnahme: Grundsätze der guten fachlichen Praxis in der landwirtschaftlichen Bodennutzung. [http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/08142/linkurl\\_0\\_0\\_0\\_5\\_.pdf](http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/08142/linkurl_0_0_0_5_.pdf). (Datum des Zugriffs: 28.10.2006)

**EMMERLING, C** (1998): Bodenbiologische und -ökologische Aspekte nachhaltiger landwirtschaftlicher Bodennutzung. Habilitationsschrift. Universität Trier. Trier 1998

**FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.** (2007): Einführung zu Industriepflanzen. <http://www.fnr.de/> (Datum des Zugriffs: 14.03.2007)

**FÖRSTER, F., ERNST, H., ALBERT, E.** (2004): BEFU 2005. N, P, K, Mg, Kalk-Düngungsempfehlung. N, P, K-Nährstoffbilanzen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden 2004

**GRUNERT, S.** (1992): Eine Übersicht der Geologie von Sachsen. Serie: Landeskunde von Sachsen. Sächsische Heimatblätter Jg. 38, Heft 3. 1992

**HARZER, N.** (2005): Humus- und Nährstoffhaushalt ökologischer Betriebe und Systemversuche im Land Sachsen-Anhalt. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Acker- und Pflanzenbau. Diplomarbeit. Halle 2005

**HERRMANN, G. & PLAKOLM, G.** (1991): Ökologischer Landbau. Grundwissen für die Praxis. Verlagsunion Agrar. Wien 1991

**HOCHBERG, H. ET AL.** (2005): Grünlandbewirtschaftung im Ökologischen Landbau. Verband der Landwirtschaftskammern e.V. Bonn 2005. [http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/386\\_1.pdf](http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/386_1.pdf) (Datum des Zugriffs: 14.12.2006)

**HÜLSBERGEN, K.-J.; ABRAHAM, J.; BIERMANN, S.; WERNER, S.; HENSEL, G.; DIEPENBROCK, W.** (o.J.): Einsatz des Modells REPRO zur Stoff- und Energiebilanzierung im Versuchsgut Scheyern. Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Forschungsbericht im Auftrag der TU München

**HÜLSBERGEN, K.-J.; BIERMANN, S.; KALK, W.-D.** (1999): PC-gestützte Entscheidungshilfen zur Humusbilanzierung. Projektbericht. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und Institut für Agrartechnik Bornim. Beispielvorhaben im Rahmen des BMBF-DBU-Verbundprojektes: Naturschutz in der offenen agrar genutzten Kulturlandschaft am Beispiel des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin. Halle/Saale 1999

- HÜLSBERGEN, K.-J.; CHRISTEN, O.; HOLZ, F.; SCHÜLER, H.; NEHRING, W.; KAMM, U.** (2002): REPRO bewertet die Landwirtschaft. Betriebsbilanzierungsprogramm dokumentiert Umweltwirkungen. *Neue Landwirtschaft*, 12/2002, S. 34-37
- HÜLSBERGEN, K.-J. & DIEPENBROCK, W.** (1997): Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. In: *Umweltverträgliche Pflanzenproduktion - Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen*. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Zeller Verlag. Osnabrück 1997. S. 159-183
- HÜLSBERGEN, K.-J.; KÜSTERMANN, B.; SCHMID, H.** (2005): Humusmanagement im ökologischen Betrieb. In: *Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft*. Freising 2005. S. 50-77
- HÜLSBERGEN, K.-J.** (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. *Berichte aus der Agrarwissenschaft*. Shaker Verlag GmbH. Aachen 2003
- HUNGER, W.** (1992): Die Böden Sachsens. Serie: *Landeskunde von Sachsen*. Sächsische Heimatblätter Jg. 38, Heft 3. 1992
- HYDRO AGRI DÜLMEN GMBH** (1993): *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. 12. Aufl. Verlagsunion Agrar. Dülmen 1993
- KOLBE, H.** (2005): Anforderungen an die Humusbilanzierung in der Praxis des ökologischen Landbaus. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. [http://jaguar.smul.-sachsen.de/lfl/publikationen/download/1643\\_1.pdf](http://jaguar.smul.-sachsen.de/lfl/publikationen/download/1643_1.pdf). (Datum des Zugriffs: 08.10.2006)
- KOLBE, H.** (2005a): Prüfung der VDLUFA-Bilanzierungsmethode für Humus durch langjährige Dauerversuche. Skript zur Veröffentlichung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig 2005
- KOLBE, H.** (2006a): Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Skript. Leipzig 2006
- KOLBE, H.** (2006b): Humusbilanzierung. Manuskript. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig 2006
- KOLBE, H.** (2006c): Leistungsfähigkeit von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit für das Nährstoffmanagement des ökologischen Landbaus. Power Point Präsentation. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig. 2006
- KOLBE, H.** (o. J.): Grundlagen und praktische Anleitung zur P-, K- und Mg-Düngung im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. <http://www.land->

wirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/Grundduengung.pdf.

(Datum des Zugriffs: 02.12.2006)

**KOLBE, H.** (2007): schriftliche Mitteilung

**KOLBE, H.; KARALUS, W.; HÄNSEL, M. U.A.** (2002): Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Information für Praxis und Beratung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden 2002. [http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/23\\_1.pdf](http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/23_1.pdf). (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)

**KOLBE, H. & PRUTZER, I.** (2004): Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungsmodellen für Humus an Hand von Langzeitversuchen des Ackerlandes. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden 2004. [http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download-/1008\\_1.pdf](http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download-/1008_1.pdf). (Datum des Zugriffs: 08.10.2006)

**KOLBE, H.; SCHUSTER, M.; HÄNSEL, M. U.A.** (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden 2004. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/LfL>. (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)

**KÖRSCHENS, M.; ROGASIK, J.; SCHULZ, E.; BÖNING, H.; EICH, D.; ELLERBROCK, R.; FRANKO, U.; HÜLSBERGEN, K.-J.; KÖPPEN, D.; KOLBE, H.; LEITHOLD, G.; MERBACH, I.; PESCHKE, H.; PRYSTAV, W.; REINHOLD, J.; ZIMMER, J.** (2004): Standpunkt: Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA. Selbstverlag. Bonn 2004

**KÖRSCHENS, M. & SCHULZ, E.** (1999): Die Organische Bodensubstanz. Dynamik - Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Bericht Nr. 13, UFZ Leipzig-Halle GmbH, Halle 1999

**KÜCHLER, L. & HARNAPP, S.** (2004): Biologische Befunde der Gewässergüte sächsischer Fließgewässer mit Gewässergütekarte. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wassergütebericht 2003. Dresden 2004

**KÜCHLER, W. & SOMMER, W.** (2005): Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Selbstverlag. Dresden 2005

**KUNDLER, P. EICH, D.; LISTE, H. J.; RAUHE, K.** (1981): Mehr tun als nur ersetzen. Deutsche Bauernzeitung Nr. 36, S. 8-9

**KUNTZE, H.; NIEMANN, J.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDTFEGER, G.** (1983): Bodenkunde. 3. Aufl. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart 1983

**KÜSTERMANN, B.; SCHMID, H.; WENSKE, K.; HÜLSBERGEN, K.-J.** (o.J.): Betriebs- und Umweltmanagement mit dem System REPRO. TU München. Power Point Präsentation. [http://www.zalf.de/home\\_zalf/institute/lisa/lisa/gil/pdfdi/f1\\_1.pdf](http://www.zalf.de/home_zalf/institute/lisa/lisa/gil/pdfdi/f1_1.pdf). (Datum des Zugriffs: 14.12.2006)

- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW** (2006): Cross Compliance. Information für die Empfänger von Direktzahlungen über die anderweitigen Verpflichtungen. <http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/foerderung/pdf/cc-infobroschuere.pdf>. (Datum des Zugriffs: 17.01.2007)
- LEITHOLD, G.** (1995): Zu Besonderheiten des Humus- und Stickstoffhaushaltes im ökologischen Landbau. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 76/1995. S. 871-874
- LEITHOLD, G. & BROCK, C.** (2006): Humusbilanzierung im Ökologischen Landbau. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/3134/pdf/LeitholdGuenter-2006-07-28.pdf>. (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)
- LEITHOLD, G.; HÜLSBERGEN, K.-J.; MICHEL, D.; SCHÖNMEIER, H.** (1997): Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Initiativen zum Umweltschutz 5. Zeller Verlag. Osnabrück 1997
- LEITHOLD, G.** (2004): Humusbilanzausgleich durch organische Düngemittel - Chancen für Bioabfallkomposte. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1515/pdf/LeitholdGuenter-2004-04.pdf>. (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)
- LEITHOLD, G.** (2004a): Humusversorgung im ökologischen Landbau: Analyse und Bewertung des Humushaushaltes mit Hilfe von Humusbilanzen. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1446/pdf/LeitholdGuenter-2004-03-04.pdf>. (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)
- LÜNZER, I.** (2007): Pioniere des Ökolandbaus. In: Ökologie & Landbau 141, Ausgabe 1/2007, S. 26-28
- MANNFELD, K. & RICHTER, H.** (1995): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde. Bd. 238. Zentrallausschuss für deutsche Landeskunde. Selbstverlag. Trier 1995
- MÖNICKE, R.; BEER, V.; KURZER, H.-J.** (2005): Ergebnisse der Humusbilanzrechnung im Freistaat Sachsen - dargestellt an 1000 repräsentativ verteilten Dauertestflächen. Skript. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig
- MÖNICKE, R.** (2005): Klärschlamm – ein dringend benötigter preisgünstiger Ergänzungsdünger. In: KA Abwasser, Abfall. 52/2005, Nr. 10. S. 1108-1113
- NAWRATH, M.** (1998): Einfluß von organischer Düngung (Stroh- und Gründüngung, Stallmist) auf Humusgehalt, Humusqualität und Pflanzenertrag. Dissertation. Gießen 1998
- NEVE, S. DE; HARTMANN, R.; HOFMAN, G.** (2003): Temperature effects on N mineralization: changes in soil solution composition and determination of temperature

coefficients by TDR. *European Journal of Soil Science: Incorporating Journal of Soil Science, Pedologie and Science du Sol*. 54/2003, Heft 1

**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*, 1982

**REEB, D.** (2004): Analyse und Bewertung des Humus- und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Studienarbeit. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1811/pdf/ReebDominik-2004-09-24.pdf>. (Datum des Zugriffs: 23.10.2006)

**RÖHRICHT, C. & GROß-OPHOFF, A.** (2003): Landwirtschaftliche Biomasse. Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflich-energetischen Nutzung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden 2003

**SÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT** (Hrsg.) (2007): Cross Compliance 2007. Informationen über die anderweitigen Verpflichtungen im Rahmen der GAP-Reform. Dresden 2007

**SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG** (1997): Naturräume und Naturraumpotentiale des Freistaates Sachsen. Materialien zur Landesentwicklung 2/1997. Dresden 1997

**SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT** (2005a): Agrarbericht in Zahlen 2005. [http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/aktuell/downloads/AGRARBERICHT\\_kpl.pdf](http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/aktuell/downloads/AGRARBERICHT_kpl.pdf). (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)

**SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT** (2002): Aktuelle Entwicklung des ökologischen Landbaus im Freistaat Sachsen. [http://www.umwelt.-sachsen.de/de/wu/aktuell/downloads/2001\\_oeko\\_aktuell.pdf](http://www.umwelt.-sachsen.de/de/wu/aktuell/downloads/2001_oeko_aktuell.pdf). (Datum des Zugriffs: 26.10.2006)

**SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT** (2005b): Cross Compliance 2006. Informationen über die anderweitigen Verpflichtungen im Rahmen der GAP-Reform. Dresden 2005

**SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT** (2007): Cross Compliance 2007. Informationen über die anderweitigen Verpflichtungen im Rahmen der GAP-Reform. Dresden 2007

**SAUERBECK, D.** (1992): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit - ein Überblick. In: *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit - Bd. 4. Humushaushalt. Berichte über die Landwirtschaft*. Paul Parey. Hamburg und Berlin 1993, S. 13-29

- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P.** (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg & Berlin 2002
- SCHEFFER, F. & ULRICH, B.** (1960): Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, III. Teil Humus und Humusdüngung. Band I Morphologie, Biologie, Chemie und Dynamik des Humus. 2. Aufl. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart 1960
- STÜLPNAGEL, R.** (o.J.): Alternativen im Energiepflanzenbau. [http://www1.mlu.sachsen-anhalt.de/llg/konaro/vortraege/biomasse\\_270904/bmt\\_stuelpnagel.pdf](http://www1.mlu.sachsen-anhalt.de/llg/konaro/vortraege/biomasse_270904/bmt_stuelpnagel.pdf). (Datum des Zugriffs: 03.04.2007)
- TWISTEL, G. & RÖHRICHT, C.** (2000): Erfassung des Potentials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflich/energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Jg. 5, Heft 2. Dresden 2000
- UDE, B.** (2006): Möglichkeiten einer monetären Bewertung von organischer Substanz für die Betriebszweigabrechnung im ökologischen Landbau. Diplomarbeit. Universität Kassel. <http://orgprints.org/8283/01/Diplom.Ueberarb-ude.pdf>. (Datum des Zugriffs: 17.11.2006)
- WILDHAGEN, H.** (2006): Materialien zur Vorlesung Agrartechnik, Bodenbearbeitung, Teil: „Bodenbearbeitung“. Universität Kassel. Kassel 2006
- WINKLER, B.; PLEINER, I.; LORENZ, H. u. a.** (2004): Die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete im Freistaat Sachsen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden 1999
- ZIMMERLING, B. ET AL.** (2004): Bodenschutz in der Landwirtschaft. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden 2004
- ZOSCHKE, M.; MARQUARD, R.; DIEPENBROCK, W.** (1993): 37. Jahrestagung vom 30. September - 02. Oktober 1993 in Gießen;(Kurzfassungen der Vorträge und Poster). Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Band 6. Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck. Stuttgart 1993

## Anhang

Anhang 1: Zuordnung der Wettbewerbsfähigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen nach Agrarstrukturgebieten (nach WINKLER ET AL. 1999, S. 15)

Agrarstruktur- gebiet	Wettbewerbsfähigkeit	Produktions- schwerpunkte	Ertragspoten- tiale dt/ha
<b>I</b>	geringe bis mittlere Wettbewerbsfähigkeit Trockengebiete mit geringen Niederschlägen und Vorsommertrockenheit, sehr leichte Böden ⇒ Lausitzer Heide- und Teichgebiete ⇒ Dübener-Dahlener Heide ⇒ Riesaer-Torgauer Elbtal	Winterroggen Kartoffeln Körnerleguminosen Silomais Schweineproduktion Milchproduktion Mutterkuhhaltung Aufforstung	... 40 ... 280 ... 30 ... 80 TM
<b>II</b>	mittlere bis gute Wettbewerbsfähigkeit gute Böden mit relativ hohen Niederschlägen ⇒ Lausitzer Platte, Oberlaus. Bergland ⇒ Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge	Wi-Weizen/-gerste Winterraps Kartoffeln Zuckerrüben Feldfutter Milchproduktion	... 62 ... 32 ... 360 ... 440 ... 105 TM
<b>III</b>	beste Wettbewerbsfähigkeit, sehr gute Böden, aber Vorsommertrockenheit ⇒ Lommatzscher Pflege ⇒ Leipziger Tieflandsbucht ⇒ Großenhainer Pflege	Wi-Weizen/-gerste Körnerleguminosen Zuckerrüben Feldgemüse/Obst Feldfutter Bullenmast Schweineproduktion	... 72 ... 40 ... 520 . ... 115 . .
<b>IV</b>	mittlere Wettbewerbsfähigkeit mit guter Nieder- schlagsmenge und -verteilung ⇒ Elsterbergland ⇒ Vorgebirgslagen ⇒ Zwickauer-Chemnitzer Hügelland	Wi-Weizen Braugerste Winterraps Kartoffeln Feldfutter Milchproduktion	... 58 ... 48 ... 32 ... 310 ... 105 TM
<b>V</b>	geringe Wettbewerbsfähigkeit, geringwertige, steinige Böden sehr hohe Niederschläge, gute Niederschlags- verteilung ⇒ Kammlagen des Erzgebirges	Winterroggen Grünlandnutzung Milchproduktion Färsenaufzucht Mutterkuhhaltung Aufforstung	... 30 ... 60 TM

Quelle: LfL; FB LB; 1995

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift