

## Bilanzierungsmethoden

ROS

HE

ÖKO

CCB

Überprüfung und Anpassung von  
Bilanzierungsmodellen für Humus  
an Hand von Langzeitversuchen  
des Ackerlandes

## Impressum

Autoren: Dr. H. Kolbe  
Dipl. Ing. agr. I. Prutzer

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Fachbereich 4 - Pflanzliche Erzeugung  
Referat 41 – Pflanzenbau  
Gustav-Kühn-Straße 8  
04159 Leipzig  
E-Mail: [Hartmut.Kolbe@leipzig.lfl.smul.sachsen.de](mailto:Hartmut.Kolbe@leipzig.lfl.smul.sachsen.de)  
Stand: 2004

## Abstrakt

Verschiedene Modelle zur Berechnung bzw. Beurteilung der Humusreproduktion wurden auf ihre Genauigkeit und Praxistauglichkeit hin untersucht. Hierfür wurde der Entwurf des VDLUFA zur Humusbilanzierung ausgewählt sowie ein Modell zur Dynamik des Kohlenstoffumsatzes im Boden. Von den Simulationsmodellen zur C-Dynamik wurde das Modell CANDY-Carbon Balance (CCB) ausgewählt. CANDY-Carbon Balance wurde aus einem Teilmodell des Modells CANDY (**C**arbon and **N**itrogen **D**ynamics) entwickelt. Von der VDLUFA wurde eine Methode vorgeschlagen, die aus der bekannten **HE**-Methode (**H**umus **E**inheit) sowie der Erweiterung für den ökologischen Landbau als **ÖKO**-Methode und der **ROS**-Methode (**R**eproduktionswirksame **O**rganische **S**ubstanz) entwickelt worden ist.

Die Überprüfung der Verfahren erfolgte an Hand von Ergebnissen aus Dauerversuchen mit Fragestellungen des konventionellen und ökologischen Landbaus. Bei der Beurteilung der Verfahren ist neben der numerischen Genauigkeit vor allem auch der Modellansatz auf Anwendbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis beurteilt worden. Es wurden Empfehlungen zur Verbesserung der Verfahren für den Einsatz im konventionellen und insbesondere für den ökologischen Landbau erarbeitet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstrakt</b>	03
<b>1 Einleitung</b>	06
<b>2 Zielstellung</b>	06
<b>3 Darstellung der Modelle</b>	07
3.1 CANDY Carbon Balance	07
3.2 Humusbilanzierung nach VDLUFA - Entwurf	09
<b>4 Material und Methoden</b>	10
4.1 Datenmaterial	10
4.2 Anwendung der Modelle	11
4.2.1 CANDY Carbon Balance	11
4.2.2 Humusbilanzierung nach VDLUFA	12
<b>5 Ergebnisse und Diskussion</b>	14
5.1 CANDY Carbon Balance	14
5.1.1 Sensitivitätsanalyse	14
5.1.2 Vergleich der Ansätze zur $C_{\text{inert}}$ -Bestimmung in Bezug auf den umsetzbaren Kohlenstoffgehalt des Bodens	17
5.1.3 Vergleich zwischen den in den Dauerversuchen ermittelten und den berechneten $C_{\text{org}}$ -Gehalten	19
- Gesamtdarstellung	21
- Einfluss der Düngung mit organischen Materialien	24
- Steigende Stalldunggaben	25
- N-Mineraldüngung	28
- Leguminosenanteil in der Fruchtfolge	28
- Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge	29
- Feinanteil des Bodens	30
- Wirksame Mineralisierungszeit	31
- C/N-Verhältnisse des Bodens	32
- Ökologischer Landbau	35
5.2 Humusbilanzierung nach VDLUFA - Entwurf	38
5.2.1 Beziehungen zwischen Empfehlung bei 100 % Bedarfsabdeckung und der zu erwartenden Änderungen der $C_{\text{org}}$ -Gehalte des Bodens	38
- Gesamtdarstellung	38
- Einfluss der N-Mineraldüngung	41
- Einfluss steigender Stalldunggaben	41
- Einfluss der Düngung mit organischen Materialien	42
- Einfluss unterschiedlicher Niederschläge und Temperaturen	44
- Einfluss steigender Anteile an Leguminosen und Hackfrüchten in der Fruchtfolge	45
- Einfluss unterschiedlicher Feinanteile und C/N-Verhältnisse des Bodens	47
- Einfluss des Ökologischen Landbaus	48
5.2.2 Höhe der mittleren Stalldungsmenge, N-Düngung, N-Salden und Erträge in Versuchsvarianten, die eine 100 %-ige Bedarfsdeckung aufweisen	52
- Konventionelle Versuche	52
- Ökologischer Landbau	57
<b>6 Schlussfolgerungen</b>	60
6.1 Anmerkungen	60
6.2 CCB-Verfahren	61
6.2.1 Allgemeine Anwendbarkeit	61
6.2.2 Spezielle Hinweise	62
6.3 VDLUFA-Verfahren	63
6.3.1 Allgemeine Anwendbarkeit	63
6.3.2 Spezielle Hinweise	65
<b>7 Danksagung</b>	71
<b>8 Literaturverzeichnis</b>	68
<b>9 Anhang</b>	72

## Abkürzungsverzeichnis

Ap	Ackerkrume
C <sub>org</sub>	organischer Kohlenstoffgehalt des Bodens zu Beginn der Simulation
C <sub>repM</sub>	reproduktionswirksamer Kohlenstoff über organische Dünger
C <sub>repP</sub>	reproduktionswirksamer Kohlenstoff über Ernte- und Wurzelrückstände
CCB	CANDY-Carbon Balance
CIF	Carbon Inert Faktor
C <sub>inert</sub>	inertes Kohlenstoff
C <sub>org</sub>	organischer Kohlenstoff
C <sub>ums</sub>	umsetzbarer Kohlenstoff
FAT	Feinanteil des Bodens
FM	Frischmasse
GD	Gründüngung
HE	Humuseinheit
IOSDV	Internationaler Organischer Stickstoffdauerdüngungsversuch
min.	mineralisch
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
NS	Niederschlag
ÖKO	Ökologischer Landbau
ROS	Reproduktionswirksame Organische Substanz
Temp.	Temperatur
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WMZ	Wirksame Mineralisierungszeit

## 1 Einleitung

Seit den 50-iger Jahren kam es infolge eines intensiven Einsatzes von mineralischen Düngern, Pflanzenschutzmitteln und neuen Pflanzensorten zu einem kontinuierlichen Ertragsanstieg in der Landwirtschaft. Eine zunehmende Spezialisierung führte zu einer Entkopplung von Ackerbau und Viehhaltung. Als Folge betriebswirtschaftlicher Kalkulationen sowie der EU-Subventionspolitik ist die Fruchtfolge oft einseitig ausgerichtet. Getreidereiche Fruchtfolgen sind vorherrschend, der Anbau humusmehrender Sorten erscheint wenig lukrativ. Infolgedessen stehen organische Dünger nicht mehr in dem notwendigen Umfang zur Verfügung bzw. sind ungleichmäßig verteilt.

Hinzu kommt, dass sich das Mengenverhältnis der angewandten organischen Dünger zu Gunsten der Gülle und des Stroh verschoben hat. Neben dem Einsatz als organischer Dünger wird Gülle aber auch in Biogasanlagen zur Energiegewinnung genutzt. Ebenso wird ein Teil des Stroh in entsprechenden Anlagen zur Energiegewinnung verbrannt. Organisches Material geht somit teilweise dem landwirtschaftlichen Kreislauf verloren.

Als Folge dieser Entwicklung steht die Frage im Mittelpunkt, ob der Humusgehalt der landwirtschaftlich genutzten Flächen für die Gewährung der Bodenfruchtbarkeit und manch anderer positiver Wirkungen noch als ausreichend angesehen werden kann. Diesem humusarmen Ackerland stehen die auf Grund der Massenviehhaltung möglicherweise mit Humus überversorgten Böden gegenüber, die durch entsprechend negative Umweltrisiken (Nitratauswaschung) gekennzeichnet sein könnten.

Ackerbaulich genutzte Flächen sollten daher so bewirtschaftet werden, dass einerseits die Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibt und andererseits kein Austrag umweltrelevanter Stoffe in die Umwelt erfolgt. Gesetzlich verankert ist dieser Punkt im § 17 BBodSchG. Da die Fruchtbarkeit eines Bodens wesentlich von dessen Humusgehalt mitbestimmt wird, ist eine ausgeglichene Humuswirtschaft Grundvoraussetzung für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Landwirtschaft. Dies betrifft auch insbesondere den ökologischen Landbau. Verfahren zur Humusbilanzierung sowie Simulationsmodelle sollten hierbei als Instrumente zur Beurteilung des Einflusses einer bestimmten Landbewirtschaftung auf den Humushaushalt genutzt werden.

## 2 Zielstellung

Ziel dieses Projektes ist es, verschiedene Modelle zur Berechnung bzw. Beurteilung der Humusproduktion auf ihre Genauigkeit und Praxistauglichkeit hin zu untersuchen. Hierfür wurde der Entwurf des VDLUFA zur Humusbilanzierung ausgewählt sowie ein Modell zur Dynamik des Kohlenstoffumsatzes im Boden. Die Überprüfung der Verfahren erfolgt an Hand von Dauerversuchen mit Fragestellungen des konventionellen und ökologischen Landbaus. Den mit den Verfahren errechneten Werten bezüglich der Kohlenstoffentwicklung im Versuch werden die experimentell ermittelten Werte gegenüber gestellt.

Bei der Beurteilung der Verfahren ist neben der numerischen Genauigkeit vor allem auch der Modellansatz auf Anwendbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis zu beurteilen. Wenn notwendig und möglich sollen Empfehlungen zur Verbesserung zu den Verfahren gegeben werden. Insbesondere soll überprüft werden, inwieweit die Methoden für den ökologischen Landbau anwendbar sind.

### 3 Darstellung der Modelle

#### 3.1 CANDY-Carbon Balance

Die standort- und bewirtschaftungsabhängige Entwicklung der Humusvorräte kann über die Dynamik des C-Umsatzes im Boden dargestellt werden. Simulationsmodelle zur Beschreibung des C-Umsatzes im Boden erfordern oft einen hohen Aufwand zur Bereitstellung aller notwendigen Eingangsdaten und werden bisher in der Praxis kaum angewendet. Praxisrelevant können nur solche Modelle sein, die mit relativ wenigen, gut verfügbaren und erhebaren Eingangsdaten den C-Umsatz im Boden beschreiben und dem Nutzer unmittelbar nach Eingabe bzw. Änderung der Eingangsdaten das Ergebnis der Simulation präsentieren.

Von den Simulationsmodellen zur C-Dynamik wurde das Modell CANDY-Carbon Balance (CCB) ausgewählt. CANDY-Carbon Balance wurde als eigenständiges Modell aus einem Teilmodell des Modells CANDY (**C**arbon and **N**itrogen **D**ynamics) entwickelt. Für die Simulation des C-Umsatzes mit CCB sind nur wenige, zumeist gut verfügbare Eingangsdaten notwendig, die Ergebnisse der Simulation werden schnell und übersichtlich dargestellt. Daher erscheint der Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis interessant.

Mit CANDY-Carbon Balance wird der zeitliche Verlauf der Akkumulation bzw. des Abbaus des umsetzbaren organischen Kohlenstoffs im Boden in Jahresschritten unter bestimmten Standortbedingungen und in Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung dargestellt. Dabei werden gleichbleibende Bedingungen und Durchschnittswerte für das Klima, die Bewirtschaftung und die Erträge unterstellt. Die in CANDY-Carbon Balance beschriebenen Umsatzprozesse gelten nur für wasserungesättigte Bodenzonen.

In dem Modell wird nach FRANKO (1996) die organische Substanz in verschiedene Pools unterteilt:

**I. ORGANISCHE PRIMÄRSUBSTANZ (OPS)**

frische unzeretzte organische Substanz, die dem Boden zugeführt wird  
umfasst alle organischen Dünger sowie Ernte- und Wurzelrückstände.

**II. ORGANISCHE BODENSUBSTANZ (OBS)**

unterteilt in:

**II.I UMSETZBARE ORGANISCHE BODENSUBSTANZ (OBS<sub>ums</sub>)**

unterteilt in:

**II.Ia AKTIVE ORGANISCHE BODENSUBSTANZ (AOS)**

entsteht durch mikrobielle Umsatzprozesse aus der OPS  
Abbau durch Mineralisation

**II.Ib STABILISIERTE ORGANISCHE BODENSUBSTANZ (SOS)**

organische Bodensubstanz höherer Stabilität

**II.II INERTE ORGANISCHE BODENSUBSTANZ**

wird bei Betrachtung des Umsatzes der organischen Bodensubstanz  
nicht berücksichtigt, ist von Bodentextur abhängig (KÖRSCHENS1980)

Jeder Pool ist durch eine bestimmte Umsatzaktivität charakterisiert. Zwischen den einzelnen Pools gibt es einen Austausch. Zur Beschreibung des Umsatzes der organischen Substanz im Boden wird dieser im Folgenden unterteilt in:

1. Abbau der organischen Primärsubstanz zu reproduktionswirksamen Kohlenstoff und
2. Dynamik des umsetzbaren Kohlenstoffs im Boden.

### **Abbau der organischen Primärsubstanz zu reproduktionswirksamen Kohlenstoff**

Die Zufuhr frischer organischer Substanz, aus der neue organische Bodensubstanz synthetisiert wird, erfolgt über organische Dünger und die Ernte- und Wurzelrückstände.

#### **ORGANISCHE DÜNGER**

Für jede Düngerart wird über die gegebene Menge, den TS-Gehalt und den C-Gehalt der Trockensubstanz sowie den Synthesekoeffizienten des entsprechenden Düngers die Menge an reproduktionswirksamen Kohlenstoff ( $C_{rep}$ ) berechnet.

#### **ERNTE- UND WURZELRÜCKSTÄNDE**

Je Fruchtart wird über den geschätzten Ertrag, einem für jede Fruchtart spezifischen ertragsabhängigen und ertragsunabhängigen Faktor sowie den Synthesekoeffizienten die Menge an reproduktionswirksamen Kohlenstoff berechnet. Grundlagen für die genannten Faktoren bilden die Arbeiten von KLIMANEK (1988, 1997), zitiert in FRANKO (1997). Unter reproduktionswirksamen Kohlenstoff ist hierbei die Menge an organischem Kohlenstoff zu verstehen, die in den AOS-Pool einfließt.

#### **Dynamik des Kohlenstoffumsatzes im Boden**

Der Umsatz des umsetzbaren Kohlenstoffes im Boden wird von verschiedenen Umweltbedingungen (Temperatur, Wasser, Luft) beeinflusst. Unter natürlichen Bedingungen verläuft der Umsatz schwankend und oft langsamer als unter optimalen Bedingungen. Der Grad dieser Verlangsamung wird als Reduktionsfunktion angegeben. Nur der durch solch eine Reduktionsfunktion angegebene Bruchteil der Kalenderzeit ist für den Umsatzprozess wirksam (biologisch wirksame Zeit) (FRANKO & ÖLSCHLÄGEL 1995). Die biologisch wirksame Zeit für die Mineralisierung organischer Substanz wird als Wirksame Mineralisierungszeit (WMZ) bezeichnet (KARTSCHALL 1986, zitiert in FRANKO & ÖLSCHLÄGEL 1995).

In dem Modell CCB wird der Jahreswert für die WMZ über eine Näherungsformel bestimmt. Berechnet wird der Jahreswert der WMZ aus dem Feinanteil des Bodens (FAT), der Jahreslufttemperatur und der Jahresniederschlagssumme des Standortes. Die Gleichung für diese Näherungsformel sowie die für die Berechnung notwendigen Koeffizienten finden sich in Anlage 1 Gleichung 1 und Tabelle 1. Bei der Betrachtung des C-Umsatzes im Boden wird nur der umsetzbare Kohlenstoff berücksichtigt. Dazu wird vom Gesamt-C-Gehalt des Bodens, der als Eingabeparameter notwendig ist, der inerte Kohlenstoff abgezogen. Errechnet werden kann die Menge an inertem Kohlenstoff über den Ansatz nach KÖRSCHENS oder RÜHLMANN. Nach KÖRSCHENS wird der inerte Kohlenstoffgehalt über einen konstanten Faktor (CIF) bestimmt, der die Abhängigkeit des inerten Kohlenstoffgehaltes vom FAT beschreibt (siehe Gl. 2 Abschnitt 4.2.1). Nach RÜHLMANN wird der inerte Kohlenstoffgehalt über den Tongehalt des Bodens errechnet (siehe Gl. 3 Abschnitt 4.2.1).

Aus dem Anfangsgehalt an umsetzbarem Kohlenstoff im Boden, der jährlichen Zufuhr an reproduktionswirksamen Kohlenstoff (Ernte- und Wurzelrückstände, organische Dünger) und der WMZ kann

- a) der zeitliche Verlauf der Änderung der Menge an umsetzbarem Kohlenstoff in Jahresschritten
- b) die Masse des umsetzbaren Kohlenstoffs im Fließgleichgewicht (Gleichgewicht zwischen C-Mineralisation und C-Reproduktion) in dt/ha berechnet werden. Die Modellierung des Umsatzes der organischen Bodensubstanz ist ausführlich von FRANKO (1997) beschrieben worden.



### 3.2 Humusbilanzierung nach VDLUFA – Entwurf

Der Einfluss eines bestimmten landwirtschaftlichen Anbausystems auf den Humushaushalt kann auch mit Hilfe anderer Humusbilanzierungsverfahren eingeschätzt werden. Als bekannte Verfahren sind hierbei die HE-Methode (Humuseinheit) (LEITHOLD et al. 1997) sowie die Erweiterung für den ökologischen Landbau als ÖKO-Methode (LEITHOLD & HÜLSBERGEN 1998) und ROS-Methode (reproduktionswirksame organische Substanz) (AUTORENKOLLEKTIV 1977, KÖRSCHENS & SCHULZ 1999) zu nennen. Bei der Humusbilanzierung wird der Humussaldo aus dem Humusverlust (Anbau humuszehrender Kulturpflanzen) und der Humuszufuhr (Anbau humusmehrender Kulturpflanzen, organische Düngung) errechnet. Über den Humussaldo können Aussagen zu dem Humusreproduktionsvermögen des betrachteten Anbausystems gemacht werden und somit Empfehlungen für die organische Düngung gegeben werden.

Im Zeitraum 2003 – 2004 wurde von der Projektgruppe Humusbilanzierung des VDLUFA ein Entwurf zur Humusbilanzierung erarbeitet, mit dem Ziel, eine bundesweit geltende VDLUFA-Methode (Standardmethode) zur Humusbilanzierung zu etablieren (KÖRSCHENS et al. 2004). Es lag daher nahe, diesen Entwurf zu untersuchen. Im Folgenden wird der Entwurf des VDLUFA zur Humusbilanzierung als VDLUFA-Methode bezeichnet.

Die kulturartspezifischen Bedarfsfaktoren und die Reproduktionsfaktoren für die verschiedenen organischen Dünger wurden aus Dauerfeldversuchen (Fruchtfolge-, Düngungssysteme) abgeleitet. Dabei wurde je nach wissenschaftlichem Ansatz die C- bzw. N-Dynamik im Boden betrachtet. Ausgedrückt und berechnet wird der Humussaldo mit der Maßeinheit ROS. ROS steht für reproduktionswirksame organische Substanz mit

$$1 \text{ t ROS} = 1 \text{ t organische Stallungtrockenmasse.}$$

Mit dem Faktor 0,35 kann von ROS in HE (Humuseinheit) umgerechnet werden ( $1 \text{ t ROS} = 0,35 \text{ HE}$ ).

Eine Bewertung des errechneten Humussaldo erfolgt über Humusbilanzklassen (A – E), denen entsprechende Maßnahmen bei einer Unter- bzw. Überversorgung mit Humus zugeordnet sind. Neu an diesem Entwurf ist, dass es für die Bedarfsfaktoren untere und obere Werte gibt, wobei Empfehlungen gegeben werden, wann welche Werte anzuwenden sind.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Datenmaterial

Die ausgewählten Modelle zur C-Dynamik und Humusbilanzierung sollten anhand von Dauerfeldversuchen auf ihre Genauigkeit und darüber hinaus auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden. Dafür stand eine Datensammlung von über 200 Feldversuchen zur Verfügung (KOLBE 2003). Ein standorttypischer Humusgehalt stellt sich bei gleich bleibender Landbewirtschaftung erst nach Jahrzehnten ein. Daher wurden für die Validierung der Modelle Versuche mit einer Mindestlaufzeit von 10 Jahren ausgewählt. Die Anzahl der geeigneten Versuche wurde dadurch eingeschränkt, dass in der Literatur nicht immer alle Angaben, die für die Simulation des C-Umsatzes mit dem Modell CCB notwendig sind, vorhanden und in ausreichender Genauigkeit und Vollständigkeit dokumentiert sind.

Begrenzend für die Auswahl der Versuche waren:

- fehlende Angaben zur Bearbeitungstiefe
- unsichere Angaben zu Anfangs- und Endwerten für den organischen Kohlenstoffgehalt im Boden
- zu allgemeine Angaben zum Ertragsniveau (Angabe in Getreideeinheiten über eine Fruchtfolge).

Bei der Auswahl der Versuche wurde Wert darauf gelegt, möglichst viele Einflussfaktoren (Klimaraum, Bodenarten, Bewirtschaftungssysteme) auf den Humusgehalt zu erfassen. Auf Grund des Mangels an repräsentativen Versuchen in vielen Regionen Westdeutschlands liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem Standort- und Klimaraum der ostdeutschen Bundesländer.

Der in dieser Arbeit betrachtete Zeitraum eines Versuches stimmt nicht immer mit der in der Literatur angegebenen Versuchsdauer überein. Einige Versuche wurden im Laufe der Zeit bezüglich ihrer Fruchtfolge oder organischen Düngung abgewandelt. In solchen Fällen wurde nur die Phase des Versuches betrachtet, für die alle für die Simulation mit CCB notwendigen Eingangsdaten vorhanden waren bzw. geschätzt werden konnten. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Versuche sind in Tabelle 2 sowie in Anlage 2 (Tab. 2) beschrieben worden.

## 4.2 Anwendung der Modelle

### 4.2.1 CANDY Carbon Balance

Für die Simulation des C-Umsatzes im Boden sind folgende Eingangsdaten notwendig:

- Standort:
- $C_{org}$ -Gehalt des Bodens zu Beginn des betrachteten Zeitraumes [%]
  - Jahreslufttemperatur (langjähriges Mittel) [°C]
  - Jahresniederschlagssumme (langjähriges Mittel) [mm/ a]
  - FAT [%]
  - Ton [%]
  - Bearbeitungstiefe ( $A_p$ ) [cm]
  - CIF (für Berechnung von  $C_{inert}$  nach KÖRSCHENS)
  - Trockenrohddichte [ $g/cm^3$ ]
- Fruchtarten:
- Anbauverhältnis [%]
  - durchschnittliche Erträge der einzelnen Fruchtarten [dt/ha]
  - Anbau- und Ernteinformationen in Haupt- und Koppelprodukten
- organische Düngung:
- Düngart
  - Menge der gegebenen Dünger [dt/ha].

Aus dem prozentualen Masseanteil des organischen Kohlenstoffs wird über die Trockenrohddichte und der Bearbeitungstiefe die Kohlenstoffmenge in dt/ha errechnet, da für die Simulation eine Masseangabe notwendig ist. Ist die Trockenrohddichte des Bodens unbekannt, kann diese intern im Programm nach RÜHLMANN aus dem  $C_{org}$ -Gehalt [%] des Bodens zum Zeitpunkt  $t_0$  und dem Tongehalt [%] des Bodens errechnet werden (siehe Gl. 2 in Anlage 1).

Wurde bei einem im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Versuche die Bodentextur in der Literatur ausschließlich über den Tongehalt des Bodens charakterisiert, so wurde der Feinanteilgehalt des Bodens nach Gl. 1 (KOLBE 2003) errechnet. Analog dazu konnte der Tongehalt des Bodens aus dem Feinanteilgehalt bestimmt werden:

$$FAT[\%] = 3,579 + 1,228 * Ton[\%] \quad \text{Gl. 1}$$

Der Anteil des inerten Kohlenstoffs vom Gesamt-C kann nach verschiedenen Ansätzen bestimmt werden:

a) nach KÖRSCHENS (1980)

$$C_{inert}[\%] = FAT[\%] * CIF \quad \text{Gl. 2}$$

Für die Dauerfeldversuche in Bad Lauchstädt (Schwarzerde) wurde für CIF der Wert 0,05 verwendet, alle anderen Versuche wurden mit 0,04 für CIF gerechnet.

b) nach RÜHLMANN (1998, zitiert in DREYHAUPT 2002)

$$C_{inert}[\%] = 1,097 * (1 - \exp(-0,0747 * Ton[\%])) \quad \text{Gl. 3}$$

Für jede Versuchsvariante wurde der C-Umsatz 2fach simuliert, wobei einmal der Anteil des inerten Kohlenstoffes nach KÖRSCHENS und zum anderen nach RÜHLMANN errechnet wurde.

Zur Beurteilung der Simulationsergebnisse wurde für jede Versuchsvariante neben der absoluten auch die relative Abweichung des simulierten Wertes vom experimentellen Wert an  $C_{org}$  am Versuchsende nach der Gl. 4 ermittelt.

$$relativeAbweichung = \frac{simulierterWert - experimentellerWert}{experimentellerWert} \quad \text{Gl. 4}$$

#### 4.2.2 Humusbilanzierung nach VDLUFA

Für die Berechnungen sind folgende Eingangsdaten erforderlich:

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

Organische Düngung:

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

Folgende Ausgabedaten und ergänzende Berechnungen wurden erhalten:

- Berechnung des Humussaldo in [t ROS/ha\*a] und [HE/ha\*a] für obere und untere Grenze
- Versorgungsklassen laut VDLUFA-Entwurf (A>-1,0; B=-1 bis -0,3; C = -0,3 bis 0,5; D = 0,5 bis 1,5; E > 1,5 tROS/ha u. Jahr)
- aus Humussaldo [HE/ha\*a] Berechnung der  $C_{org}$ -Änderung über Trockenrohddichte und  $A_p$  nach folgenden Verfahren:
  1. 1 HE = 1 t Humus mit 580 kg C (LEITHOLD et al. 1997)
  2. aus Dauerversuchen ermittelt: 154 dt Stallung ~ 0,33 %  $C_{org}$  (KOLBE 2003) (REGRESS)
  3. Berechnung mit CCB

Ein Vergleich dieser drei Verfahren (Abb. 1) bestätigt die Vorgehensweise. Für die Berechnung der  $C_{org}$ -Vergleiche wird der Mittelwert aus Ansatz HE und REGRESS verwendet.

Die  $C_{org}$ -Änderung wurde für jede Versuchsvariante für eine Bedarfsdeckung von 100 % mit organischer Substanz für die Methoden HE, ROS und ÖKO als absolute und relative Werte im Vergleich zum Versuchsanfang (=100 %) berechnet. Über diesen Ansatz wurde die Abweichung in den Humusgehalten zwischen berechneten und experimentell ermittelten Werten bewertet. Zur Einschätzung weiterer Kennzahlen wurden für 19 Versuche Varianten ausgewählt, die einer genauen oder annähernd genauen 100%igen Bedarfsdeckung entsprachen. Aus diesen Varianten wurden die Erträge der Kulturarten, deren Höhe an mineralischer N-Düngung und organischer Düngung an Stallung und Stroh, die N-Salden der Feldbilanz sowie der durch die Verfahren ermittelte Restbedarf in Form von Stallung zur Erreichung einer genauen Einhaltung der 100%igen Bedarfsdeckung ermittelt.

Für ein erfolgreiches Gelingen des F/E-Vorhabens war es erforderlich, in der AG Humusbilanzierung des VDLUFA mitzuwirken. Aus verwaltungstechnischen Erschwernissen war dies im offiziellen Rahmen nicht möglich (Dienstreisen). Damit das Vorhaben nicht zum Scheitern verurteilt war, wurden diese Leistungen privat eingebracht.

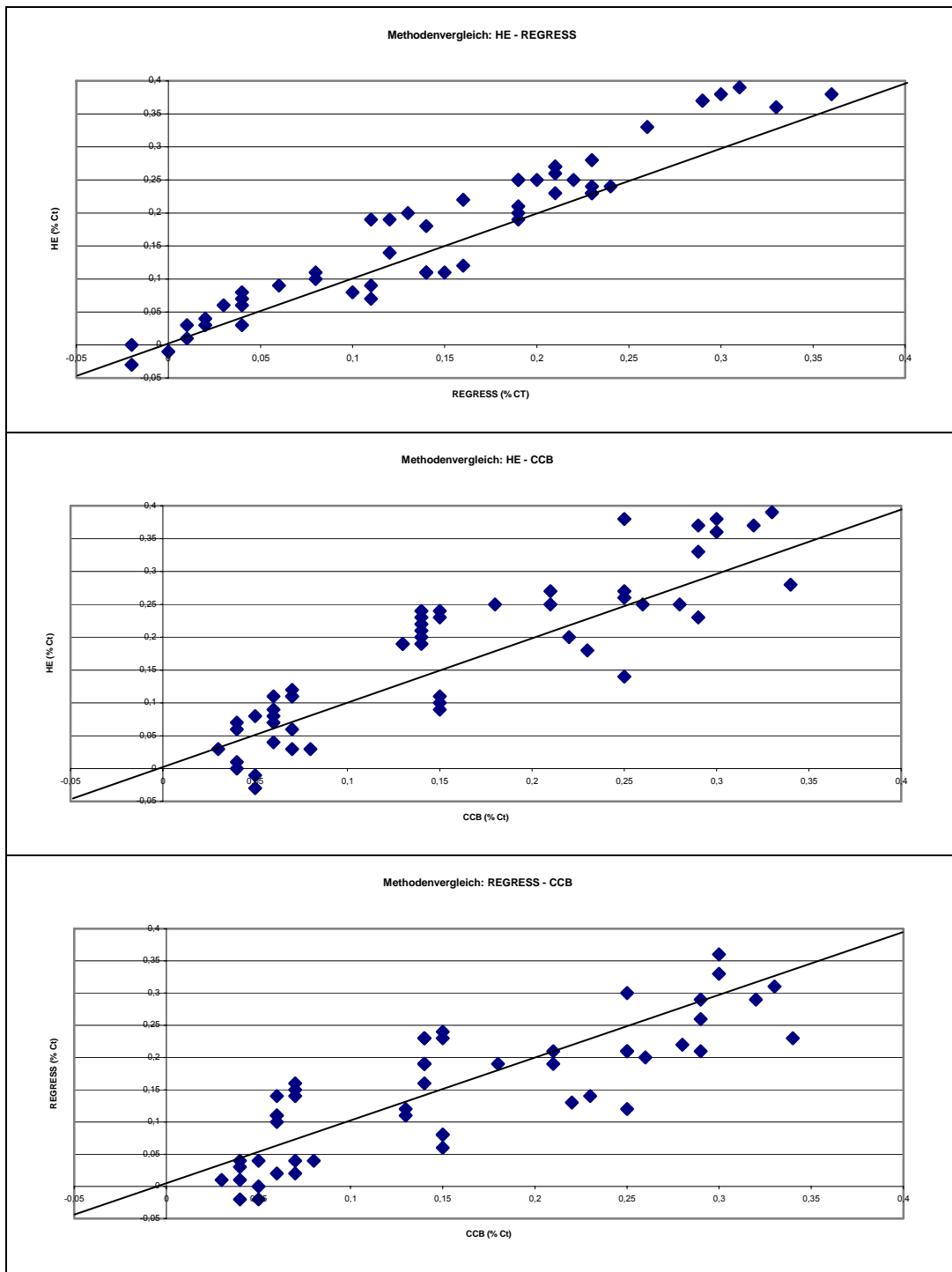


Abbildung 1: Methodenvergleich zwischen den Verfahren HE, REGRESS und CCB zur Berechnung der  $C_{org}$ -Änderung

## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 CANDY Carbon Balance

Im ersten Teil der Auswertung werden Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse mit dem CCB-Modell vorgestellt und die beiden Ansätze zur  $C_{\text{inert}}$ -Bestimmung bezüglich des umsetzbaren Kohlenstoffgehaltes im Boden verglichen. Diese Betrachtungen werden der eigentlichen Auswertung der Simulation des C-Umsatzes mit CCB vorangestellt, da es sinnvoll erscheint, die Simulationsergebnisse im Zusammenhang mit der Sensitivität des Modells zu sehen. Anschließend werden die Ergebnisse der Simulation des C-Umsatzes mit CCB dargestellt und diskutiert und es werden Hinweise und Empfehlungen für die Anwendung von CCB in der Praxis gegeben.

#### 5.1.1 Sensitivitätsanalyse

Um den Einfluss der Eingangsparameter auf den C-Umsatz im Boden zu quantifizieren wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dazu wurde bei ausgewählten Versuchsvarianten jeder Parameter einzeln betrachtet und um 10 bzw. 20 % erhöht und erniedrigt. Für jede prozentuale Änderung des Parameters wurde der  $C_{\text{org}}$ -Gehalt [%] nach 25 und 100 Jahren bestimmt und dessen relative Abweichung zu dem  $C_{\text{org}}$ -Gehalt ermittelt, der mit den "originalen" Parameterwerten (Versuchsbeschreibung) nach 25 bzw. 100 Jahren bestimmt wurde. Diese zwei Zeitintervalle wurden gewählt, um den Einfluss der Parameter in Abhängigkeit von der Zeit darzustellen.

Für die Sensitivitätsanalyse wurden 4 Versuche ausgewählt, die verschiedene Standorte repräsentieren (siehe Tab. 1). Je Versuch wurde eine Variante ohne organische Düngung und eine Variante mit organischer Düngung untersucht. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 2 bis 5 dargestellt worden. Es werden hier nur die Ergebnisse für die Erhöhung jedes einzelnen Parameters um 20 % dargestellt. Die anderen prozentualen Parameteränderungen verhalten sich analog.

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsvarianten, mit denen die Sensitivitätsanalyse durchgeführt wurde

Versuchs- variante	FAT	Lufttemp. [°C]	Niederschlag [mm]	$C_{\text{org}}$ Anfang [%]	organische Düngung [dt Stallmist/ha*a]
3var5	28,1	8,6	490	1,76	ohne
3var1	28,1	8,6	490	2,18	150
143var3.2	14,9	9,0	556	0,86	ohne
143var3.3	14,9	9,0	556	0,93	150
85var1.3	3,0	8,9	537	0,64	ohne
85var3.3	3,0	8,9	537	0,61	182
118var1.3	7,6	8,2	521	0,55	ohne
118var3.3	7,6	8,2	521	0,56	135

Es zeigte sich, dass der Einfluss der Eingabeparameter auf den C-Umsatz abhängig ist von dem zur Bestimmung des inerten C-Anteils verwendeten Ansatz. Dies war auch zu erwarten, da je nach Ansatz verschiedene Parameter in die Bestimmung des inerten C-Anteils einfließen. Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammenfassend für jeden Ansatz dargestellt.

### **$C_{inert}$ -Bestimmung nach KÖRSCHENS**

Die prozentuale Erhöhung um 20 % der Parameter FAT und CIF hatte bei allen untersuchten Varianten einen großen Einfluss. Der Tongehalt des Bodens bewirkte keine, die Niederschlagsmenge nur eine geringe Änderung des betrachteten  $C_{org}$ -Gehaltes. Der Einfluss der anderen Parameter ist schwer zu charakterisieren und scheint von dem Zusammenspiel aller Eingabeparameter abhängig zu sein.

### **$C_{inert}$ -Bestimmung nach RÜHLMANN**

Der wesentlichste Unterschied zum Ansatz nach KÖRSCHENS ist der deutliche Einfluss des Tongehaltes und der stark reduzierte Einfluss des FAT. Der Einfluss der einzelnen Parameter scheint ausgeglichener zu sein, wobei auch hier keine eindeutige Differenzierung bei den meisten Parametern erkennbar ist.

Für beide Ansätze gilt, dass mit der Zeit der Einfluss des C-Anfangsgehaltes sank und gleichzeitig der Einfluss der über Ernte- und Wurzelrückstände und organische Dünger dem Boden zugeführten Menge an reproduktionswirksamen Kohlenstoff geringfügig anstieg. Des Weiteren erhöhte sich der Einfluss der Bearbeitungstiefe bei den organischen Düngungsvarianten.

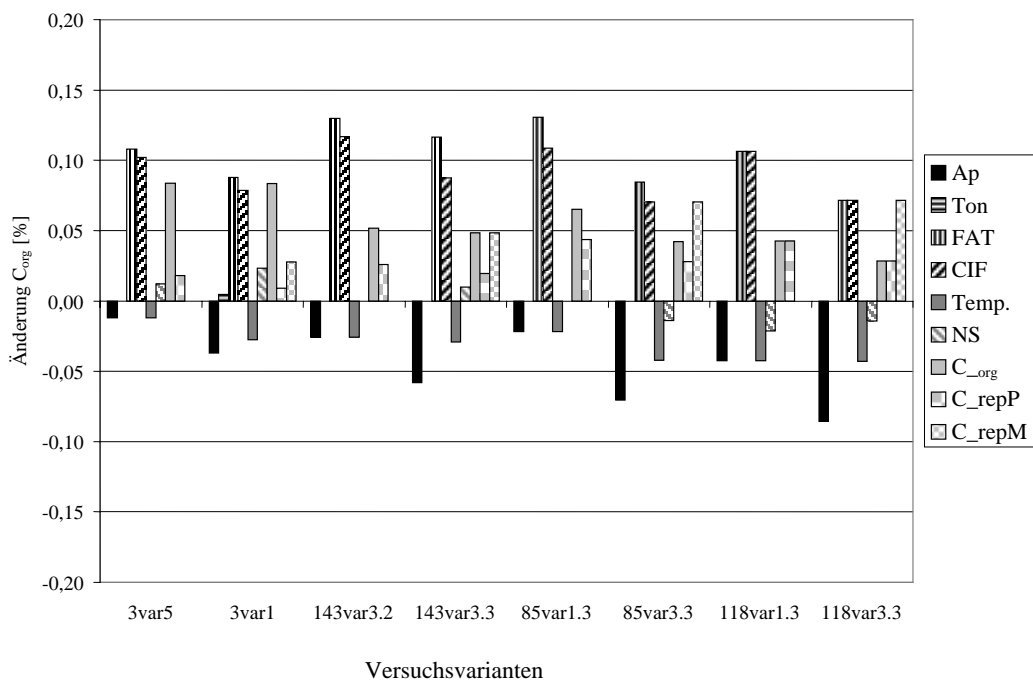


Abbildung 2: Relative Änderung von  $C_{org}$  bezogen auf Parameterwerte in den Versuchen (= 0,0 %) bei Erhöhung der Parameterwerte um 20 % über einen Zeitraum von 25 Jahren,  $C_{inert}$  nach KÖRSCHENS

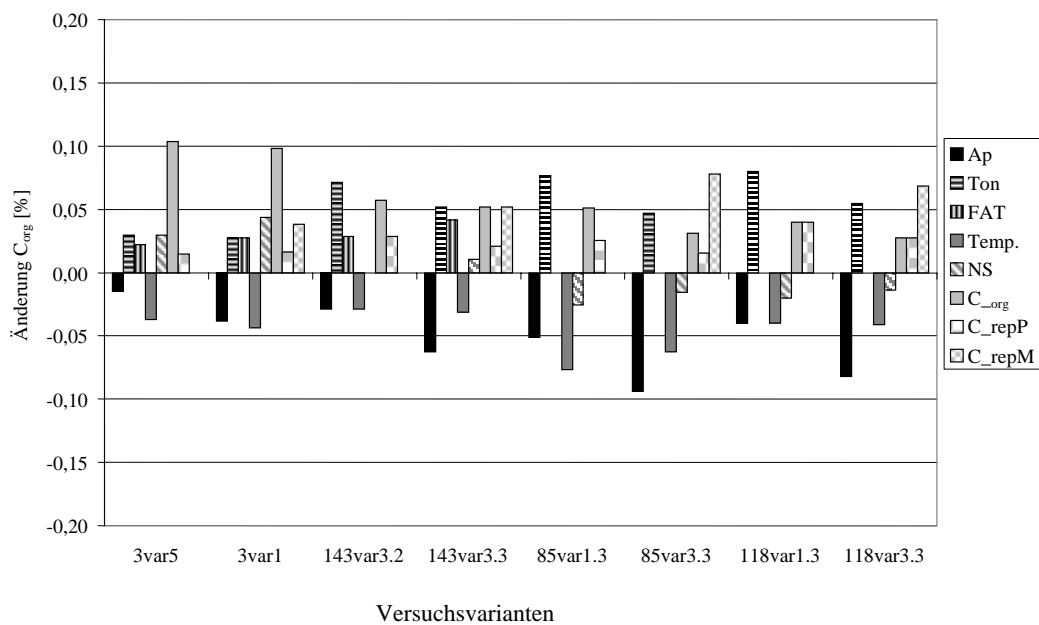


Abbildung 3: Relative Änderung von  $C_{org}$  bezogen auf Parameterwerte in den Versuchen (= 0,0 %) bei Erhöhung der Parameterwerte um 20 % über einen Zeitraum von 25 Jahren,  $C_{inert}$  nach RÜHLMANN

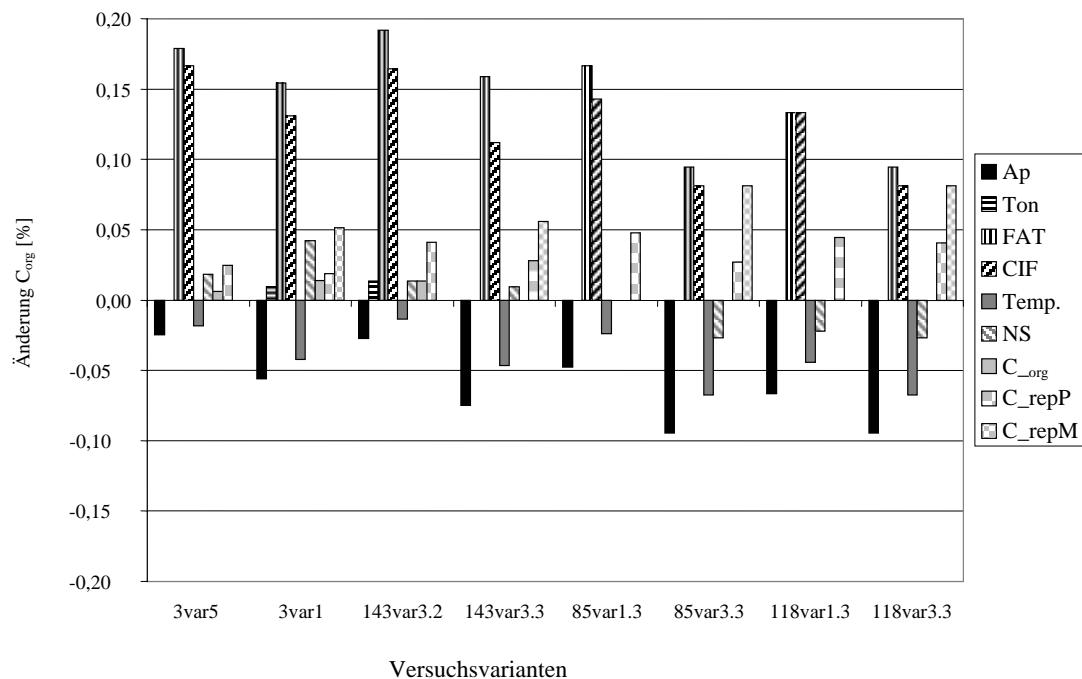


Abbildung 4: Relative Änderung von  $C_{org}$  bezogen auf Parameterwerte in den Versuchen (= 0,0 %) bei Erhöhung der Parameterwerte um 20 % über einen Zeitraum von 100 Jahren,  $C_{inert}$  nach KÖRSCHENS



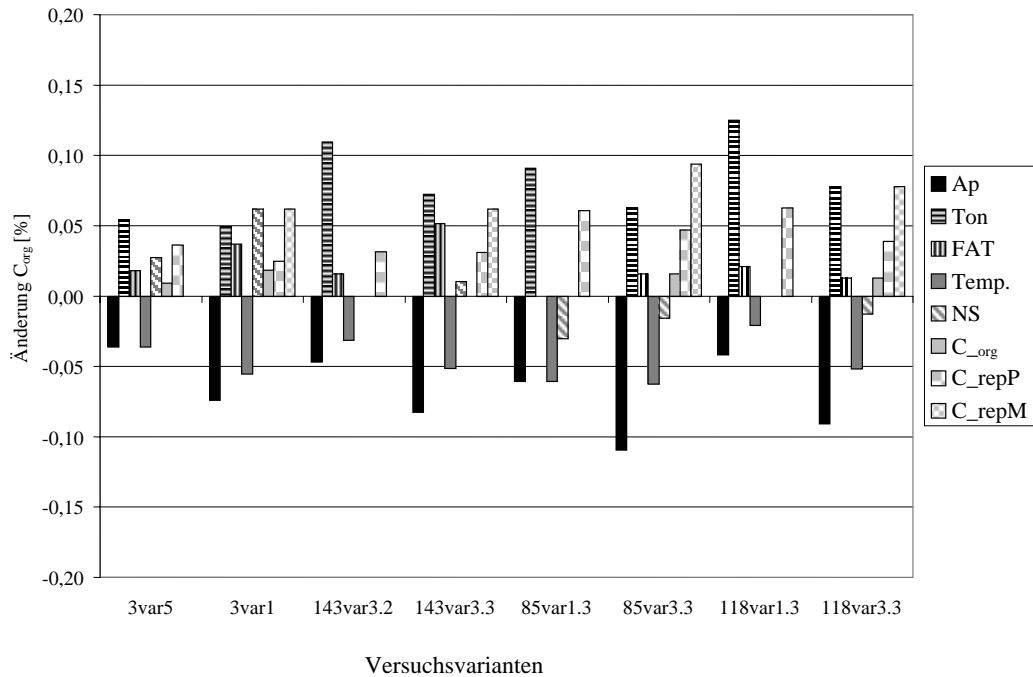


Abbildung 5: Relative Änderung von  $C_{org}$  bezogen auf Parameterwerte in den Versuchen (= 0,0 %) bei Erhöhung der Parameterwerte um 20 % über einen Zeitraum von 100 Jahren,  $C_{inert}$  nach RÜHLMANN

### 5.1.2 Vergleich der Ansätze zur $C_{inert}$ -Bestimmung in Bezug auf den umsetzbaren Kohlenstoffgehalt des Bodens

Die Wahl des Ansatzes zur Bestimmung des inerten C-Gehaltes beeinflusst nicht nur die Sensitivität des Modells, sondern auch die Größe des Bereiches, für den bei einer bestimmten Kombination von  $C_{org}$ -Anfangsgehalt und dem FAT- bzw. Tongehalt des Bodens eine negative Menge an umsetzbarem Kohlenstoff errechnet wird. Der Grundgedanke beider Ansätze ist der, dass im Boden in Abhängigkeit vom FAT- bzw. Tongehalt eine bestimmte Menge an inerten Kohlenstoff vorhanden ist, die durch die Bewirtschaftung nicht beeinflusst wird. Zur Bestimmung des umsetzbaren Kohlenstoffs wird der gesamte organische Kohlenstoff im Boden um den nach Gl. 2 bzw. 3 in Abschnitt 4.2 errechneten inerten Kohlenstoff vermindert. Ist die Menge an errechnetem inerten Kohlenstoff größer als die gesamte organische Kohlenstoffmenge zum Zeitpunkt  $t_0$  (Startwert der Simulation), so ergibt sich eine negative Menge an umsetzbarem Kohlenstoff. In solch einem Fall ist die Simulation zwar rechnerisch durchführbar, aber praktisch nicht relevant.

In den Abbildungen 6 und 7 ist für jeden Ansatz die in Abhängigkeit vom  $C_{org}$ -Anfangsgehalt und dem FAT- bzw. Tongehalt errechnete umsetzbare Kohlenstoffmenge graphisch dargestellt worden. Um die beiden Darstellungen hinsichtlich der Bodentextur vergleichen zu können, wurde für die Beziehung zwischen FAT- und Tongehalt des Bodens die Gl. 1 in Abschnitt 4.2 zu Grunde gelegt. Sowohl in den Abbildungen als auch in den folgenden Betrachtungen wird für beide Ansätze eine Bearbeitungstiefe von 25 cm unterstellt. Bei der Berechnung des inerten Kohlenstoffs nach KÖRSCHENS wurde für CIF der Wert 0,04 verwendet. Bei dem Ansatz nach KÖRSCHENS kann aus dem Verhältnis FAT zu dem  $C_{org}$ -Anfangsgehalt eine Aussage über den umsetzbaren Kohlenstoff getroffen werden. Ist das Verhältnis FAT: $C_{org}$ -Anfangsgehalt größer 25, so ergibt sich eine negative Menge an umsetzbarem Kohlenstoff.

Mit dem Ansatz nach KÖRSCHENS besteht bei einem  $C_{org}$ -Anfangsgehalt  $\leq 1,60$  % die Möglichkeit, bei einem bestimmten Feinanteil einen negativen umsetzbaren C-Gehalt zu errechnen. Betrachtet wird bei dieser Aussage der Feinanteil des Bodens bis 40 %. Mit dem Ansatz nach

RÜHLMANN ergibt sich ein Grenzwert für den  $C_{org}$ -Anfangsgehalt von 0,981 %. Bei einem  $C_{org}$ -Anfangsgehalt  $\geq 0,981$  % wird unabhängig vom Tongehalt des Bodens immer eine positive Menge an umsetzbaren Kohlenstoff errechnet. Für diese Aussage wird der Tongehalt des Bodens bis 30 % betrachtet.

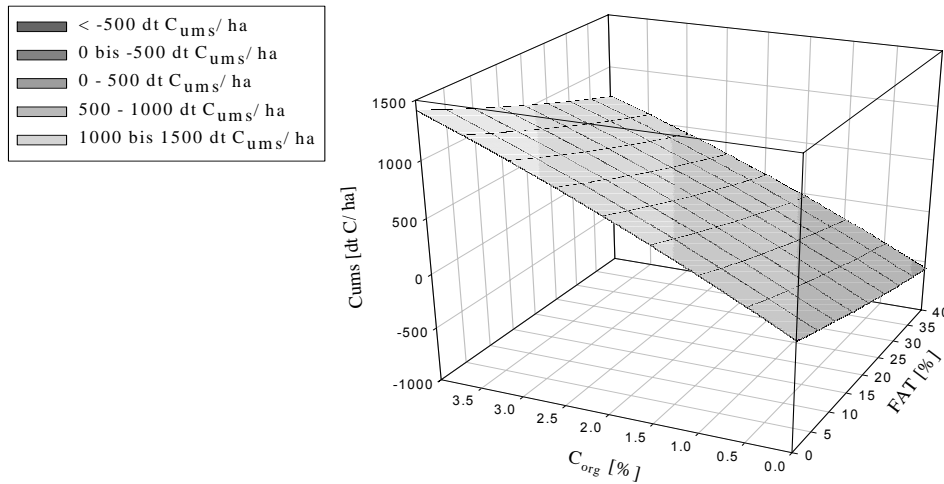


Abbildung 6: Berechnung des umsetzbaren Kohlenstoffs  $C_{ums}$  aus dem Feinanteil und dem  $C_{org}$ -Anfangsgehalt im Boden nach KÖRSCHENS (Ap: 25 cm; CIF: 0,04)

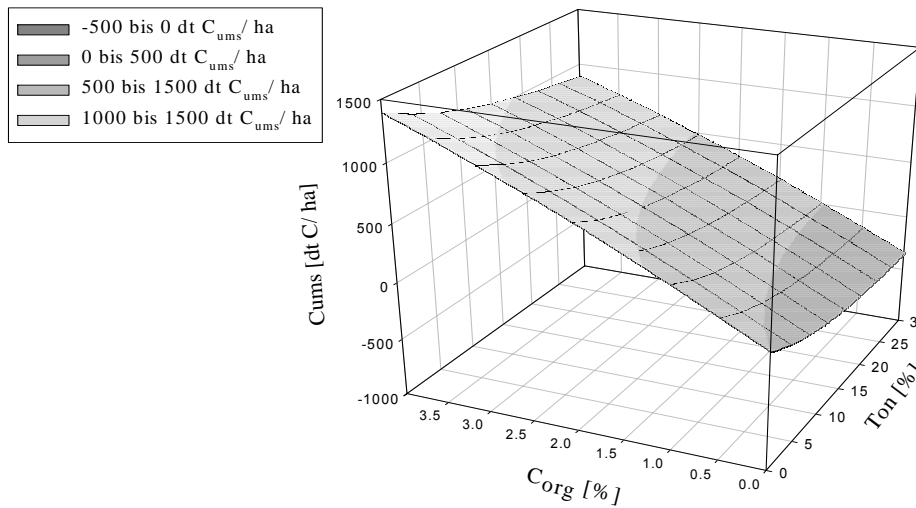


Abbildung 7: Berechnung des umsetzbaren Kohlenstoffs  $C_{ums}$  aus dem Tonanteil und dem  $C_{org}$ -Anfangsgehalt im Boden nach RÜHLMANN (Ap: 25 cm)

Die Wahl des Ansatzes zur Bestimmung des inerten Kohlenstoffanteils am gesamten  $C_{org}$  Kohlenstoff kann das Ergebnis der Simulation des C-Umsatzes beeinflussen. Daher wird im Folgenden der Unterschied zwischen den beiden Ansätzen zusammenfassend kurz dargestellt. Bei der Wahl des Ansatzes zur  $C_{inert}$ -Bestimmung kann das Wissen darüber hilfreich sein.

Es erscheint sinnvoll, den Ansatz zur  $C_{inert}$ -Bestimmung in Abhängigkeit von der Angabe zur Boden-textur zu wählen. Das heißt, wenn nur der Feinanteilgehalt des Bodens gegeben ist, sollte mit dem Ansatz nach KÖRSCHENS gerechnet werden. Liegt dagegen nur der Tongehalt vor, wird der Ansatz nach RÜHLMANN empfohlen. Wird der Ansatz nach KÖRSCHENS verwendet, kommt ein weiterer Eingangsparameter (CIF) und somit auch eine neue "Unsicherheit" hinzu. Dieser Carbon Inert Factor (CIF) ist nicht messbar und muss vom Anwender selbst festgesetzt werden. Mit dem Ansatz nach KÖRSCHENS wird mit dem Feinanteil nicht nur der  $C_{inert}$ -Gehalt des Bodens berechnet, sondern auch die wirksame Mineralisierungszeit, die die standorttypische Umsatzaktivität des Bodens charakterisiert. Der Feinanteil geht also zweifach in die Simulation des C-Umsatzes ein, was bei fehlerhaften Angaben zum Feinanteil ungünstig für das Ergebnis der Simulation ist.

### **5.1.3 Vergleich zwischen den in den Dauerversuchen ermittelten und den berechneten $C_{org}$ -Gehalten**

Für die meisten der betrachteten Versuche begrenzten sich die Angaben in der Literatur zur Entwicklung des Humusgehaltes auf den  $C_{org}$ -Gehalt zu Versuchsbeginn und -ende. In solchen Fällen können keine statistischen Tests zum Nachweis signifikanter Unterschiede zwischen gemessenen und simulierten C-Endwert einer Versuchsvariante durchgeführt werden. Um dennoch eine Aussage darüber treffen zu können, wie gut der mit CCB simulierte  $C_{org}$ -Endwert des betrachteten Zeitraumes mit dem "wirklichen" Messwert übereinstimmt, wird in der folgenden Auswertung die absolute und relative Abweichung des simulierten Wertes zum experimentellen Wert betrachtet. In Anlage 3 Tabelle 1 sind die  $C_{org}$ -Gehalte zu Beginn und Ende des betrachteten Zeitraumes von jeder Versuchsvariante sowie den dazugehörigen Simulationsergebnissen dargestellt worden.

In die folgende Auswertung geht nur ein Teil an Versuchen ein und es werden extreme Düngungsvarianten nicht betrachtet. Dazu zählen die Varianten 1.3, 1.4, 2.3 und 2.4 aus dem Versuch Nr. 7, sowie die Varianten 1.11, 1.12, 2.11 und 2.12 aus Versuch Nr. 156. Die Simulationsergebnisse werden bezüglich ihres Ansatzes zur Bestimmung des inerten Kohlenstoffs unterschieden. Mit dem Ansatz zur Bestimmung des  $C_{inert}$ -Anteils nach KÖRSCHENS wird im Mittel von 244 ausgewerteten Versuchsvarianten der experimentelle Wert um 3 % überschätzt (Standardabweichung 14 %). Mit dem Ansatz nach RÜHLMANN wird hingegen der experimentelle Wert um 1 % unterschätzt (Standardabweichung 15 %).

In Abbildung 8 ist die Häufigkeitsverteilung der relativen Fehler beider Ansätze dargestellt worden. In den Abbildungen 9 und 10 werden die gemessenen und simulierten  $C_{org}$ -Endwerte einander gegenübergestellt. In beiden Abbildungen sind zur Einschätzung der Simulationsergebnisse die Grenzen für eine Über- und Unterschätzung um 0,20 %  $C_{org}$  gegenüber den experimentellen Werten angegeben worden. Bei beiden Ansätzen liegen die meisten Werte in bzw. parallel zu diesem Korridor. Somit kann eingeschätzt werden, dass mit beiden Ansätzen zur  $C_{inert}$ -Bestimmung der experimentelle Wert ähnlich gut getroffen wurde.

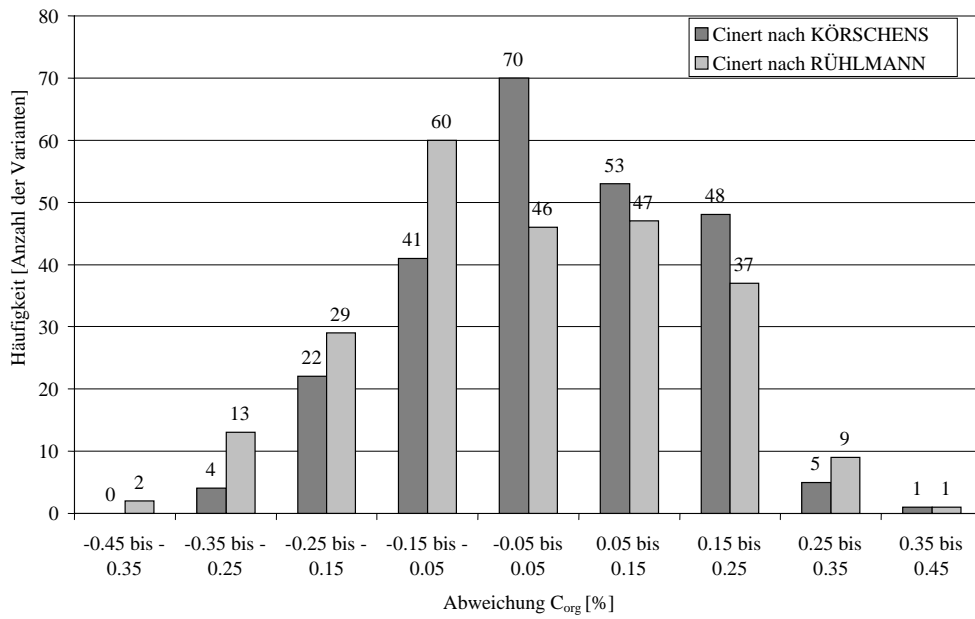


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der relativen Fehler der simulierten Werte zu den experimentell ermittelten Werten bei Verwendung verschiedener Verfahren zur  $C_{inert}$ -Berechnung

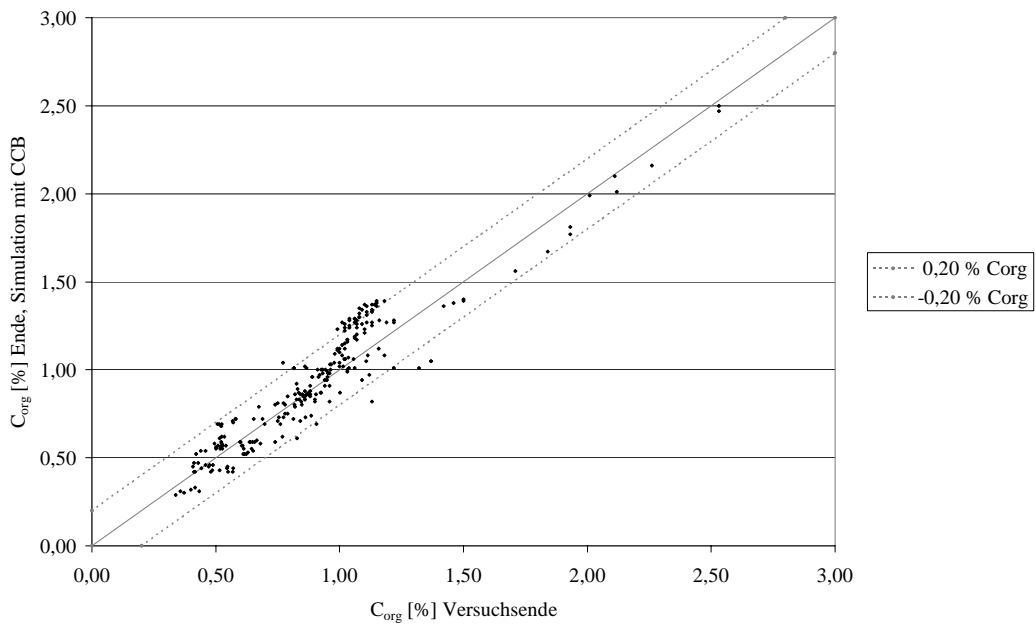


Abbildung 9: Gegenüberstellung der im Versuch experimentell ermittelten  $C_{org}$ -Gehalte [%] zu Versuchsende und den mit CCB simulierten  $C_{org}$ -Gehalten [%] über den entsprechenden Zeitraum,  $C_{inert}$  nach KÖRSCHENS

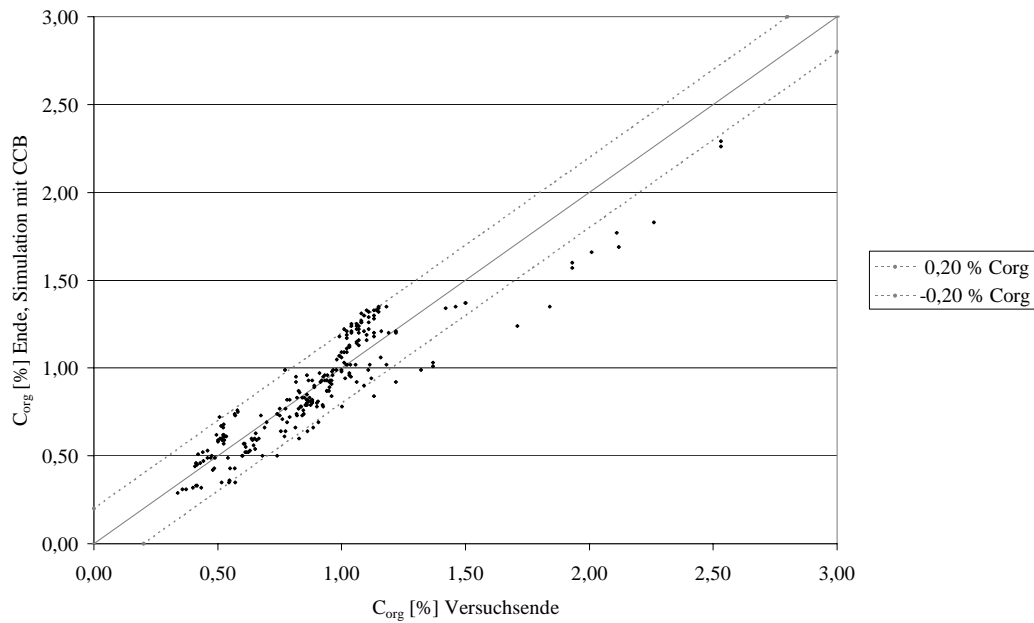


Abbildung 10: Gegenüberstellung der im Versuch experimentell ermittelten  $C_{org}$ -Gehalte [%] zu Versuchsende und den mit CCB simulierten  $C_{org}$ -Gehalten [%] über den entsprechenden Zeitraum,  $C_{inert}$  nach RÜHLMANN

### Gesamtdarstellung

Für diese Gegenüberstellung wurden die absoluten und relativen Abweichungen im  $C_{org}$ -Gehalt am jeweiligen Versuchsende zwischen Feldexperiment und Modell ermittelt. Außerdem wurde die Richtung der Bodenveränderung zwischen Experiment und Modell nach folgendem Maßstab bewertet. Bei Übereinstimmung zwischen Feld und Modell wurde eine +1 eingesetzt. Bei Nichtübereinstimmung wurde eine -1 eingesetzt. Wurde im Experiment oder beim Modell keine Veränderung ausgewiesen und im komplementären Verfahren jedoch eine Veränderung registriert, so wurde eine 0 eingesetzt. In die nachfolgenden Auswertungen gehen 39 untersuchte Versuche nach Bodenarten geordnet ein.

Die Güte der Übereinstimmung zwischen Experiment und Modell war auf den verschiedenen Böden sehr unterschiedlich, daher kann an Hand der Gesamt-Mittelwerte keine sichere Aussage getroffen werden (Tab. 2). Eine sehr hohe Unterschätzung der  $C_{org}$ -Werte fand auf allen Böden (außer Schwarzerden) mit hohen  $C_{org}$ -Gehalten statt. Insbesondere auf leichten Böden (Podsole oder Eschböden) war die Abweichung zwischen Feld und CCB-Verfahren so groß, dass keine Aussage getroffen werden kann (Versagen). Es wird jeweils eine deutliche Abnahme der  $C_{org}$ -Werte berechnet, die im Feld nicht zu vermerken war. Die Richtungsentscheidung ist auf diesen Böden mit +0,30 bis +0,38 auch nicht optimal zu bezeichnen. In der Tendenz ist zwar die Richtungsentscheidung richtig, es gibt aber auch viele falsche Entscheidungen.

Tabelle 2: Kurzbeschreibung der Standortbedingungen (links) sowie CCB-Kalkulationen (rechts): Abweichung zwischen im Feld gemessenen C<sub>org</sub>-Werten am Versuchsende (0,0 % C<sub>org</sub> = 100 %) und den berechneten Werten sowie die Zielgenauigkeit (Richtung) im Durchschnitt aller Varianten (oben) und im Durchschnitt der Versuche (Mitte, unten)

Ort/Land, Boden	NR	C/N-Verhältnis	Feinanteil (%)	WMZ	Temp. °C	Nieders. (mm)	abs.C <sub>org</sub> (%)	rel.C <sub>org</sub> (%)	Richtig
<b>Varianten</b>									
Anzahl:							407	407	407
Mittel:							-0,02	104	0,38
s:							0,47	23,69	0,90
Vk (%)							-1964	22,7	236,6
<b>Sand</b>									
Dahlem, BER	41	12,5	8,0	47,5	7,6	545,0	-0,14	83	0,33
Groß Kreutz, BB	85	10,7	8	45,7	8,9	537	-0,04	95	0,80
Darmstadt (Öko), RP	57	12,5	10	46,9	9,5	590	-0,04	95	0,89
Niederlande	195	?	7	50,2	9,3	800	-1,42	54	0,60
Lentförhden, SH	138	23	7,4	44,9	7,8	758	-2,29	54	-0,50
Dülmen, NRW	58	14	7	49,5	9,1	750	-0,08	94	0,50
<b>Anlehmiger Sand</b>									
Thyrow, BB	165	12,3	5	46,1	8,6	496	-0,06	86	1,00
Thyrow, BB	168	12,3	5	46,1	8,5	550	-0,10	83	-0,14
Thyrow, BB	170	12,3	5,0	46,1	8,7	496 / 698	-0,05	91	1,00
Müncheberg, BB	118	10,5	8	43,5	8,4	511	0,02	103	0,48
Müncheberg, BB	125	10,5	8,0	43,9	8,2	545,0	0,10	121	0,50
Völkenrode, NI	55.1	10,2	9,7	44,9	8,7	648	-0,06	93	0,71
Spröda, SN	156	12	11,6	43,4	8,8	547/669	-0,01	99	0,90
<b>Lehmiger Sand</b>									
Speyer, RP	153	11	12,5	44,2	9,8	583	-0,08	91	0,33
Niederlande	200	?	8,5-12,2	48,6	9,3	800	-1,70	39	0,80
<b>Stark sandiger Lehm</b>									
Puch, BY	28	9	ca 17	30,1	7,9	927	-0,39	80	0,00
Halle, SA	96	13,3	17	35,8	9,2	501	-0,04	97	0,14
<b>Sandiger Lehm</b>									
Seehausen, SN	140	10,3	15	37,4	9	558	0,04	104	0,00
Seehausen, SN	143	10,3	15,0	37,4	9	559,0	-0,03	97	1,00
Seehausen, SN	144	10,7	15	36,7	8,7	558	0,03	103	0,83
Seehausen, SN	148	11	15,0	37,4	9,1	552,0	0,06	108	0,50
Dikopshof, NRW	45	10,3	17,0	32,3	9,7	635,0	0,07	108	1,00
Schädtbek, SH	137	10,6	17,6	30,6	8,6	741	-0,08	94	0,50
<b>Lehm</b>									
Meckenheim, NRW	53	9,5	22,4	25,7	9	625	0,32	132	-1,00
Gießen, HE	73	9	25,1	23,6	8	580	0,38	147	-1,00
Gießen, HE	75	9	24,4	23,3	8	604	0,53	157	-1,00
Gießen, HE	78	9,7	24	23,7	8	590	0,29	129	0,00
Gießen, HE	84	8,7	24	23,7	8	590	0,32	134	-1,00
Methau, SN	158	7,8	26	22,7	8	600	0,37	136	-0,33
Göttingen, NI	107	10,7	29,4	21,9	8,7	613	0,27	122	1,00
Puch, BY	26	8,5	27	21,7	7,9	922	0,19	118	-0,02
Schweiz (Öko)	213	10,7	24	22,8	9	792	0,35	130	-0,64
Puch, BY	27	8,7	22	21,7	7,9	927	0,08	106	1,00
Belgien	171	?	24,2	24,7	9,9	820	0,28	128	0,00
Lauterbach, SN	101	11	25,4	16,4	6,3	867	-0,25	91	1,00
<b>Toniger Lehm, Ton</b>									
Niederlande	197	?	28,1	21,3	9,3	800	0,14	110	0,00
Schweden (Öko)	210	12	38	16,9	6	550	-0,07	98	1,00
Schwarzerde									
Bad Lauchstädt, SA	3	11,6	28	26,1	8,7	484	-0,09	95	-0,33
Bad Lauchstädt, SA	7	11,5	28,0	26,1	8,7	484,0	0,01	100	0,80
Halle, SA	96	13,3	17	35,8	9,2	501	-0,04	97	0,14

Tabelle 2: Fortsetzung

Standorte/Bodenarten	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	Richtg.
<b>Mittelwerte Versuche</b>	<b>-0,08</b>	<b>103</b>	<b>0,30</b>
Anzahl	39	39	39
<b>Mittelwerte Leichte Böden (S, SI, IS)</b>	<b>-0,40</b>	<b>85</b>	<b>0,55</b>
Anzahl	15	15	15
<b>Mittelwerte Leichte Böden (hohe C<sub>org</sub>-Gehalte)</b>	<b>-1,80</b>	<b>49</b>	<b>0,30</b>
<b>Mittelwerte Leichte Böden (ohne hohe C<sub>org</sub>-Gehalte)</b>	<b>-0,05</b>	<b>94</b>	<b>0,61</b>
Anzahl	12	12	12
<b>Mittelwerte Mittlere Böden (SL, sL)</b>	<b>-0,04</b>	<b>99</b>	<b>0,50</b>
Anzahl	8	8	8
<b>Mittelwerte Mittlere Böden (ohne hohe C<sub>org</sub>-Geh.)</b>	<b>0,01</b>	<b>102</b>	<b>0,64</b>
Anzahl	6	6	6
<b>Mittelwerte Schwere Böden (L)</b>	<b>0,26</b>	<b>127</b>	<b>-0,17</b>
Anzahl	12	12	12
<b>Mittelwerte Schwere Böden (Ton, Schwarzerde)</b>	<b>-0,01</b>	<b>101</b>	<b>0,37</b>
Anzahl	4	4	4
<b>Mittelwerte Schwere Böden (niedr. Temp., Bergstandorte)</b>	<b>-0,16</b>	<b>94</b>	<b>1,00</b>
Anzahl	2	2	2

Auf den schweren Böden (Lehm, ohne Schwarzerden) wird demgegenüber eine mittlere bis hohe Überschätzung vorgefunden (Tab. 2). Die C<sub>org</sub>-Werte am Versuchsende werden auf diesen Böden mit +0,26 % C<sub>org</sub> (=127 %) überschätzt. Der Wert von -0,17 für die Richtungsentscheidung zeigt an, dass in der Mehrzahl die falsche Richtung in der Boden-C<sub>org</sub>-Änderung berechnet wird.

Auf den leichten und mittleren Böden ohne hohe C<sub>org</sub>-Gehalte sowie auf den Schwarzerden werden dagegen gute bis sehr gute Übereinstimmungen zwischen Feld und Modell gefunden (Tab. 2). So beträgt die mittlere Abweichung auf den mittleren Böden nur +0,01 % C<sub>org</sub> (= 101 %) und auf den leichten Böden und den Schwarzerden mit -0,05 % (94 %) bzw. -0,04 % C<sub>org</sub>(= 98 %). Auch die Bewertung der Richtungsentscheidung ist bei den leichten und mittleren Böden mit +0,61 bis +0,64 sehr gut, für die Schwarzerden mit +0,20 allerdings nur mäßig gut ausgeprägt.

Im Durchschnitt (Abb. 11) wird ein Mittelwert unter Einbeziehung aller Varianten mit Praxisbedingungen (Ausschluss von Extremvarianten, z.B. mit sehr hoher Düngung) erreicht, der bei -0,04 % C<sub>org</sub> (Median = +0,02 % C<sub>org</sub>) liegt. Diese Werte liegen zwar nahe an einer 100 %igen Übereinstimmung der C<sub>org</sub>-Gehalte, es besteht jedoch eine enorme Streubreite der Werte. So liegen die unteren und oberen 25 %-Perzentile von -0,06 bis +0,16 % C<sub>org</sub>. Innerhalb des Bereiches liegen daher nur 50 % aller Werte. Diese Genauigkeit ist bisher als völlig unzureichend anzusehen. Darüber hinaus sind noch viele Werte als Extremwerte und sogar als Ausreißer identifiziert worden. Als Ursache hierfür sind die extrem ungenauen Analysen anzusehen, die für etliche Bodenarten ermittelt worden sind.

Für die nachfolgende Beschreibung der Methodengenauigkeit in Abhängigkeit von den einzelnen Einflussgrößen werden daher in der Regel die Ergebnisse der leichten und mittleren Böden sowie der Schwarzerden herangezogen, da hierfür bereits eine hohe Verlässlichkeit der Methode vorliegt (siehe auch Tab. 1, Anlage 4).

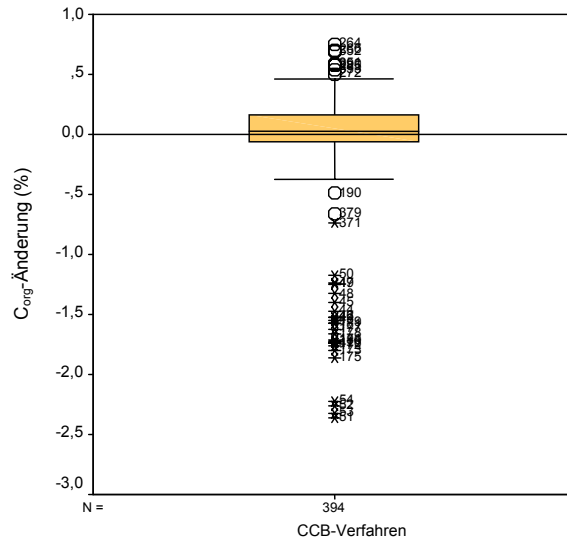


Abbildung 11: Median und Streubereiche in den berechneten  $C_{org}$ -Gehalten (%  $C_{org}$ ) des CCB-Verfahrens unter Einbeziehung aller praxisrelevanten Versuchsvarianten im Vergleich zu den jeweiligen Felddaten am Versuchsende (= 0,0 %  $C_{org}$ )

#### **Einfluss der Düngung mit organischen Materialien (Stalldung, Gülle, Stroh, Gründüngung)**

Die Treffgenauigkeit ist auf leichten und mittleren Böden (ohne hohe  $C_{org}$ -Gehalte) bei den in den Versuchen vorkommenden verschiedenen organischen Materialien ganz gut (Abb. 12). Zu bedenken ist allerdings, dass für einige Faktoren bisher nur wenige Versuchsvarianten vorliegen (siehe Tab. 1, Anlage 4). Lediglich für die alleinige Gründüngung (als Zwischenfrucht) wurde eine deutlichere Überschätzung berechnet. Die Gründüngung führt danach in den Versuchen zu einer etwas geringeren  $C_{org}$ -Änderung (Anstieg) als es durch das CCB-Verfahren berechnet wurde. In Düngungsvarianten mit Gründüngung fiel auf, dass der experimentelle Wert in den meisten der untersuchten Varianten mit CCB stark überschätzt wurde. Hierfür kommen folgende Ursachen in Betracht:

- Der in der Literatur diskutierte fördernde Einfluss der Gründüngung auf den Abbau der organischen Bodensubstanz wird im Modell nicht berücksichtigt.
- Die Höhe der Gründüngung als Eingangsgröße für die Simulation des C-Umsatzes wurde teilweise aufgrund fehlender Angaben nach Richtwerten aus der Literatur abgeschätzt.

Die Treffgenauigkeiten sind beim Stalldung (ohne extrem hohe Gaben), für Stalldung incl. Gründüngung, für Gülle sowie im Durchschnitt aller Varianten in denen Gründüngung vorgekommen ist recht gut, da nur geringe Abweichungen vom Ideal (= 0,0 %  $C_{org}$ -Änderung) zu verzeichnen sind. Weitere Einschätzungen können erst angestellt werden, wenn eine höhere Anzahl an Versuchsvarianten durch Verbesserung der Schätzgenauigkeit auf den Problemböden (Böden mit hohen  $C_{org}$ -Gehalten außer Schwarzerden, Lehmböden) gelingt.



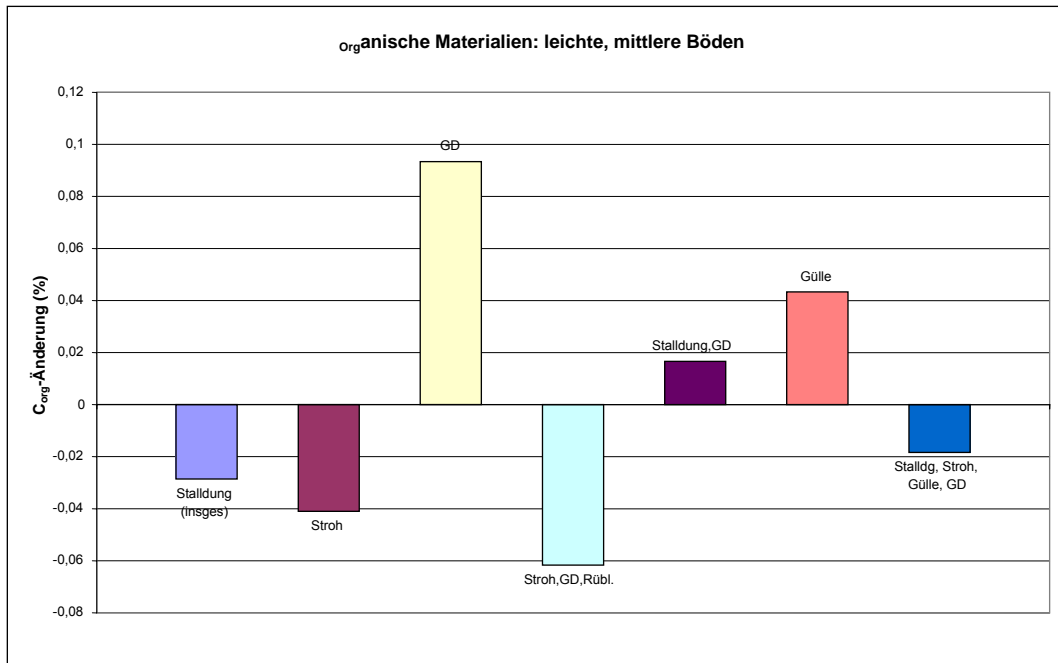


Abbildung 12: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten für die Faktoren Stalldung, Stroh, Gründüngung, Gülle und Mischvarianten

### Steigende Stalldunggaben

Der Faktoreinfluss des Stalldunges ist in Abbildung 13 im Durchschnitt der leichteren und mittleren Böden und der Schwarzerden dargestellt worden (Tab. 1, Anlage 4). Niedrige Gaben führen zu einer leichten Unterschätzung, wie es auch im Durchschnitt der Versuche zu verzeichnen war. Diese Unterschätzung kann daher nicht unbedingt auf eine ungenaue Stalldungeinschätzung zurückgeführt werden. Stalldunggaben bis zu einer Höhe von 300 dt/ha und Jahr (was bereits rel. hoch ist), werden gut eingeschätzt. Ab Gaben von über 110 dt/ha ist aber bereits eine leichte Überschätzung zu erkennen, die bei Gaben von über 300 dt/ha dann stark ansteigt.

Dieser Zusammenhang kann auch in einzelnen Versuchen verdeutlicht werden (Abb. 14). Hiernach ist zu erkennen, dass eine lineare Zunahme der Stalldungmenge nur in einem unteren und mittleren Aufwandbereich auch zu rel. linearen Zunahmen des  $C_{org}$ -Gehaltes geführt hat. Bei hohen Aufwandmengen ist dagegen die Zunahme des  $C_{org}$ -Gehaltes im Boden geringer, da der Wirkungsgrad des Stalldunges abgenommen hat. Bei sehr hohen Aufwandmengen sind anscheinend die Abbauraten höher, was vielleicht durch eine höhere Lockerung der Bodenkrume verursacht wird. Dagegen werden im CCB-Verfahren keine unterschiedlichen Raten angenommen, so dass eine lineare Veränderung der Bodengehalte in Folge steigender Anwendung berechnet wird. Auf Grund der geringen Veränderungen im praxisrelevanten Bereich besteht ein rel. hoher Vertrauensbereich bis zu ungefähr 300 dt/ha und Jahr an Stalldung-Aufwand.

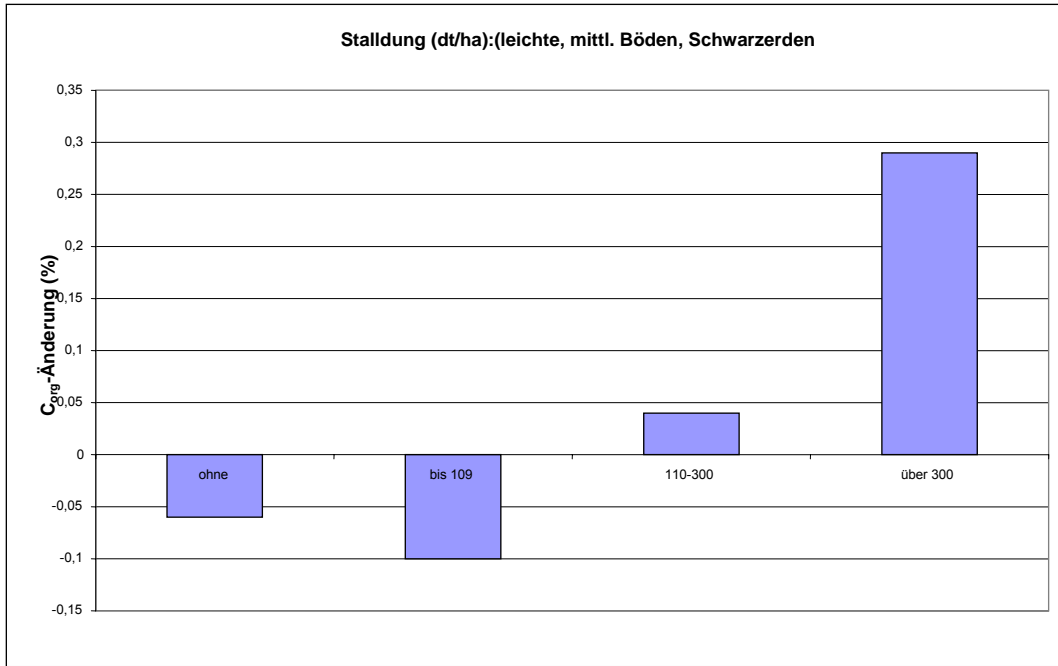


Abbildung 13: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge steigender Stalldung-Anwendung

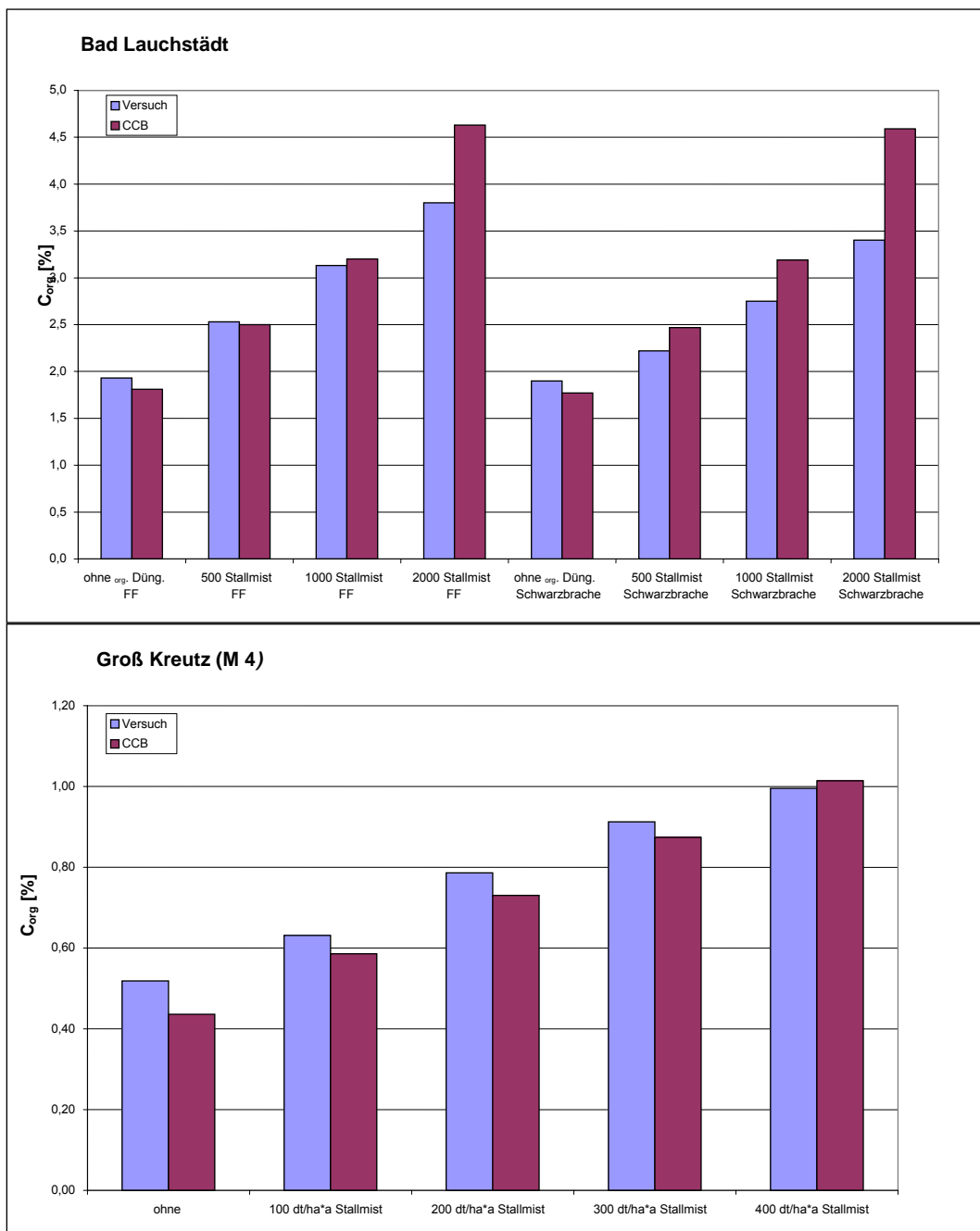


Abbildung 14: Vergleich zwischen Felddaten und CCB-Berechnungen über den Einfluss steigender Stalldunggaben auf die C<sub>org</sub>-Werte im Boden von Versuchen in Bad Lauchstädt und in Groß Kreuz

## N-Mineraldüngung

In Folge einer steigenden Mineraldüngung kommt es zu einer zunehmenden Unterschätzung der  $C_{org}$ -Bodenveränderung. Dies trifft für leichte und mittlere Böden, aber auch für die Schwarzerden zu. Während es auf den Lehm Böden und den schweren Böden mit niedrigen Temperaturen zu einer zunehmenden Überschätzung kommt (Tab. 1, Anlage 4). Besonders an den leichten und mittleren Böden kann die zunehmende Unterschätzung verdeutlicht werden (Abb. 15). Auf diesen Böden war eine rel. gute Gesamtsicherheit des CCB-Verfahrens abgeleitet worden. Diese Unterschätzung der  $C_{org}$ -Veränderung in Folge hoher N-Mineraldüngung ist bemerkenswert, da im Modell CCB über die zunehmenden Erträge (in Folge der Düngung) auch höhere Ernte- und Wurzelreste berechnet werden, die dann für die Humusbildung bereit stehen. Da auf den Lehm Böden eine in etwa gleich große Überschätzung der Düngungswirkung vorliegt, ist die Ursache für diese unterschiedliche Reaktion nicht einfach zu erkennen. Wahrscheinlich sind die Umsetzungsraten auf diesen verschiedenen Böden nicht gleich.

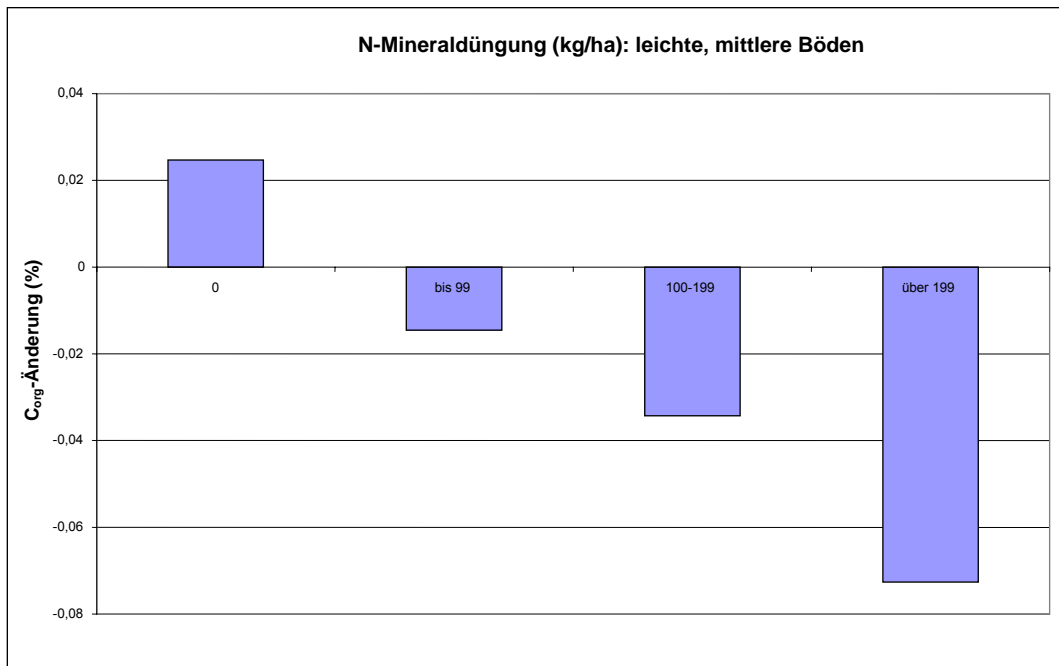


Abbildung 15: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge steigender N-Mineraldüngung in Versuchen auf leichten und mittleren Böden

## Leguminosenanteil in der Fruchtfolge

Es kann ebenfalls ein Einfluss des Leguminosenanteils (in der Regel Futterleguminosen und Gräser, weniger Körnerleguminosen) in der Fruchtfolge nachgewiesen werden (Abb. 16). Im Durchschnitt der leichten und mittleren Böden erfolgt bei keinem oder geringem Leguminosenanteil zunächst eine Unterschätzung um 0,05 %  $C_{org}$ . Das Ausmaß ist ähnlich hoch wie bei dem Gesamtdurchschnitt, so dass wiederum in der nicht richtigen Erfassung des Leguminosenanteils keine Ursache der Unterschätzung zu sehen ist. Mittlere Anteile an Leguminosen werden dagegen in ihrer Humuswirkung recht gut eingeschätzt. Zu einer deutlichen Überschätzung der Wirkung kommt es dann allerdings erst bei rel. hohem Anbauumfang, der in der landwirtschaftlichen (auch ökologischen) Praxis nicht anzutreffen ist. Im Durchschnitt aller Varianten sowie im Durchschnitt aller Versuche (siehe Tab. 1, Anlage 4) ist ein ähnlicher Trend der Veränderung der Treffgenauigkeit zu entnehmen.

Es hat den Anschein, dass der positive Einfluss der Leguminosen auf den Humushaushalt generell überschätzt wird (siehe auch LUFA-Auswertungen). Im CCB-Verfahren werden die Einflüsse des

Futterbau bisher nicht über die Erträge gewichtet. Nach Veränderung des Verrechnungsmodus unter Einbeziehung unterschiedlicher Erträge und abgeleiteter Ernte- und Wurzelreste sollte eine nochmalige Bewertung erfolgen.

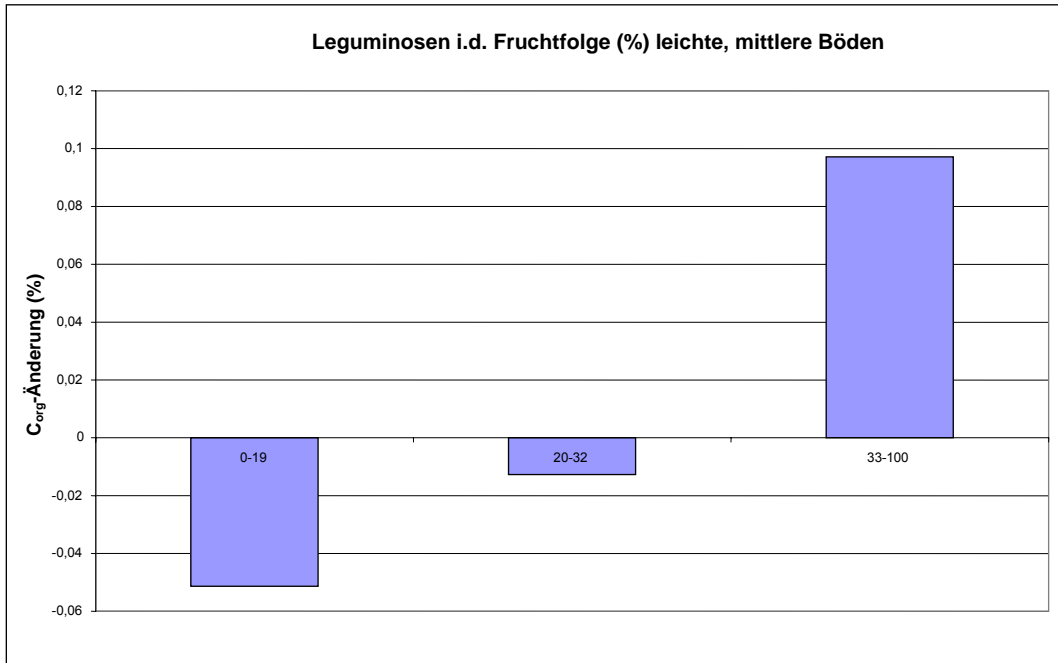


Abbildung 16: Abweichungen der C<sub>org</sub>-Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge eines steigenden Leguminosen- bzw. Leguminosengrasanteils in der Fruchtfolge

#### Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge

Auch mit steigendem Hackfruchtanbau (und komplementär fallendem Getreideanteil, jeweils ohne Leguminosen) in der Fruchtfolge ist eine ähnliche Veränderung der Schätzgenauigkeit zu erkennen (Abb. 17). Während entsprechend dem allgemeinen Trend im Durchschnitt der leichten und mittleren Böden Hackfruchtanteile bis ca. 50 % in ihrer Wirkung auf die C<sub>org</sub>-Gehalte unterschätzt werden, kommt es erst bei nicht praxisrelevanten hohen Hackfruchtanteilen zu einer deutlichen Überbewertung. Bei sehr hohen Hackfruchtanteilen kommt es daher auf dem Feld zu einer geringeren Humuswirkung als es durch das Modell berechnet wird. Hier kann sich ein gewisser Einfluss einer starken Bodenlockerung bei diesen Hackfrüchten bemerkbar machen, die zu einer Mineralisation und über diesen Weg zu einem zusätzlichen Humusabbau führen könnte. Dieser Sachbestand wird im CCB-Verfahren bisher nicht berücksichtigt. In Betrieben mit hohem Hackfruchtanteil, dies dürfte unter praktischen Verhältnissen nur auf spezielle Gartenbaubetriebe und Betriebe mit hohem Feldgemüseanbau der Fall sein, würde daher eine Überschätzung der Humuswirkung berechnet. Auf allen anderen Betrieben, die heute in der Regel rel. geringe Hackfruchtanteile aufweisen, sind demgegenüber keine deutlichen Abweichungen in der Berechnungsgenauigkeit zu erwarten.

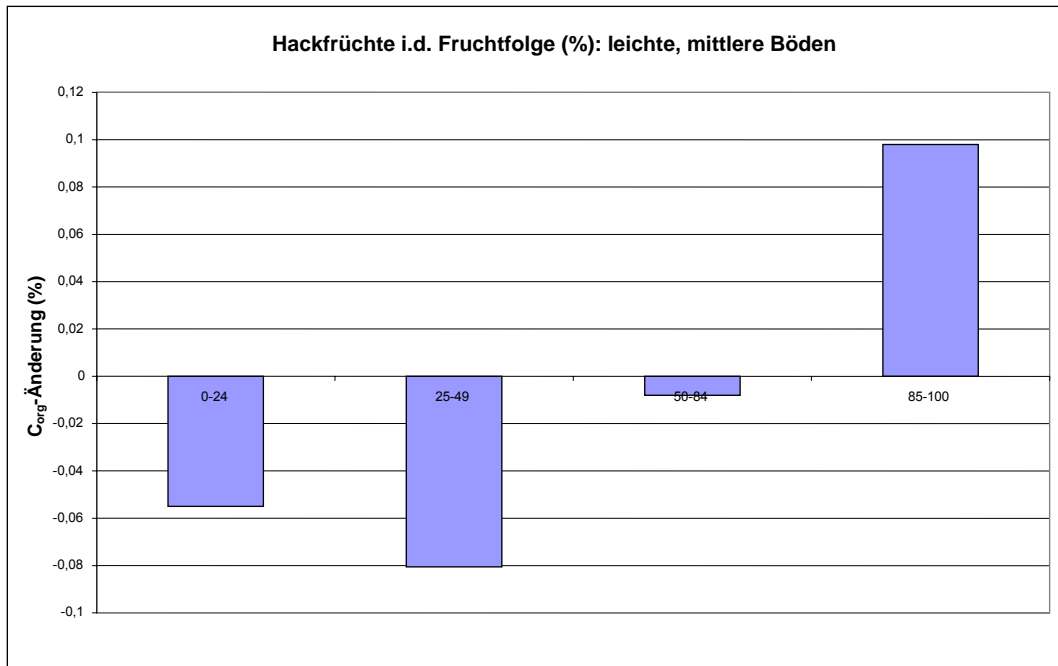


Abbildung 17: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge eines steigenden Hackfruchtanteils in der Fruchtfolge

#### Feinanteil des Bodens

Durch den Feinanteil des Bodens (Ton- + Feinschlufffraktion) kann indirekt die Bodenart charakterisiert werden. Da mit dem CCB-Verfahren bisher auf den mittleren Böden die besten Ergebnisse ermittelt werden, kann dies auch in Abhängigkeit von den Feinanteilen aufgezeigt werden (Abb. 18). Die leichten Böden werden hiernach sehr deutlich in der Humuswirkung unterschätzt und die schweren Böden werden im mittleren Ausmaß überschätzt. Zwischen den leichten und den schweren Böden besteht ein Unterschied in der Schätzgenauigkeit von 0,4 – 0,5 %  $C_{org}$ . Dieser Unterschied ist bedeutend, so dass ohne Verbesserung keine praktische Anwendung möglich ist.

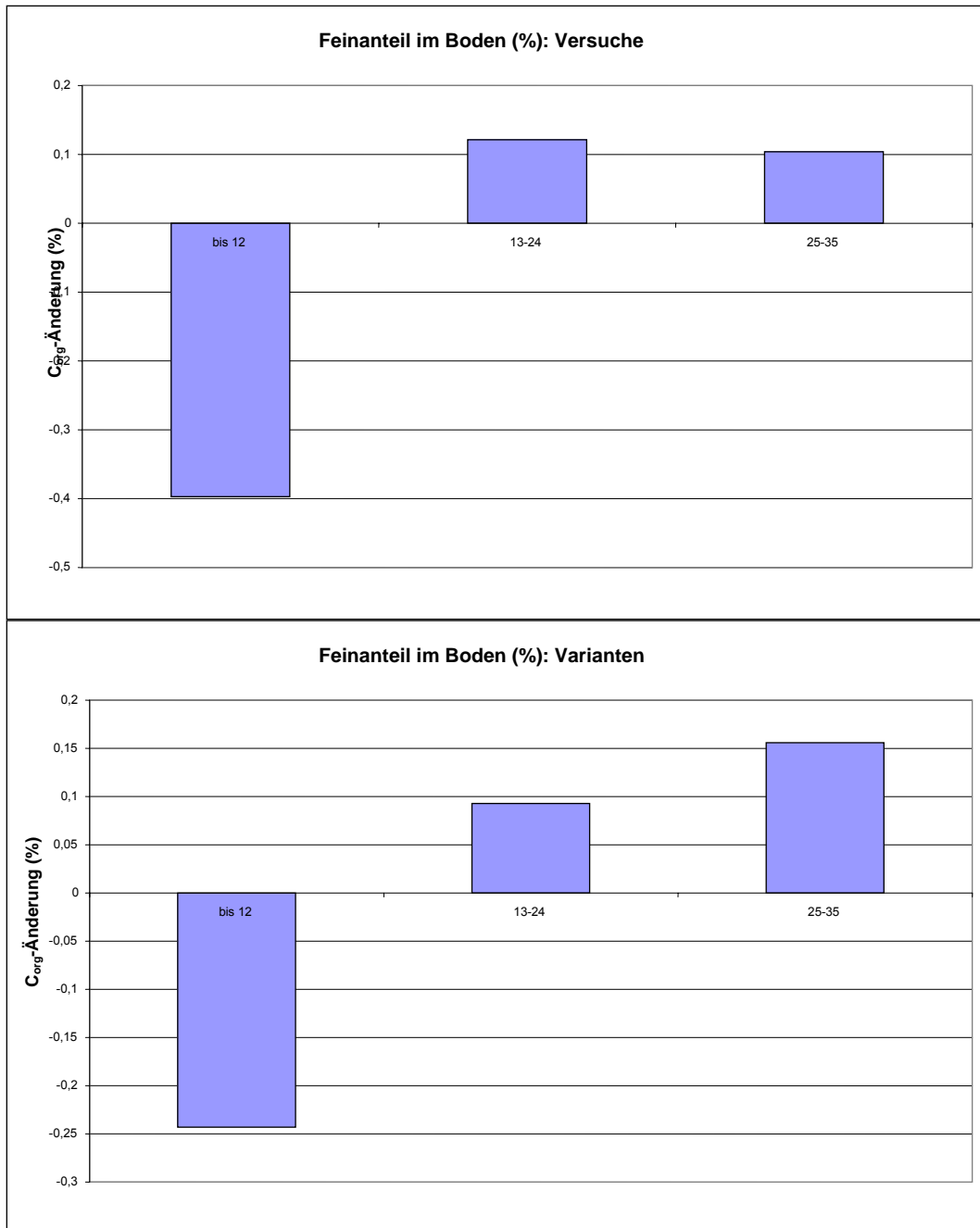


Abbildung 18: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge eines steigenden Feinanteils im Boden unter Berücksichtigung aller untersuchten Versuche bzw. aller Varianten

#### Wirksame Mineralisierungszeit

Ein weiterer Hinweis auf mögliche Ursachen dieser deutlichen Abweichungen zwischen Feld-Daten und berechneten Werten kann möglicherweise durch die folgende Abbildung 19 über den Einfluss der berechneten wirksamen Mineralisierungszeit (WMZ) erfolgen. Bei niedrigen Werten in der WMZ kommt es zu deutlichen Überschätzungen in der Humuswirkung. Eine niedrige WMZ hat ja auch zur Folge, dass nur eine geringe Umsetzung und Mineralisation stattfindet. Anscheinend wird der

Einfluss einer geringen Aktivität übertrieben dargestellt, so dass es zu einer stärkeren Anreicherung an  $C_{org}$  kommt, als es im Feld auf diesen Standorten der Fall ist.

Bei ansteigenden Werten in der WMZ wird demgegenüber der Abbau wiederum zunehmend überschätzt, so dass es bei hohen WMZ-Werten sogar zu einer Unterschätzung um über 0,4 %  $C_{org}$  kommt. Auf diesen Standorten kommt es zu einer wesentlich geringeren negativen Veränderung der  $C_{org}$ -Gehalte als es durch das CCB-Verfahren berechnet wird.

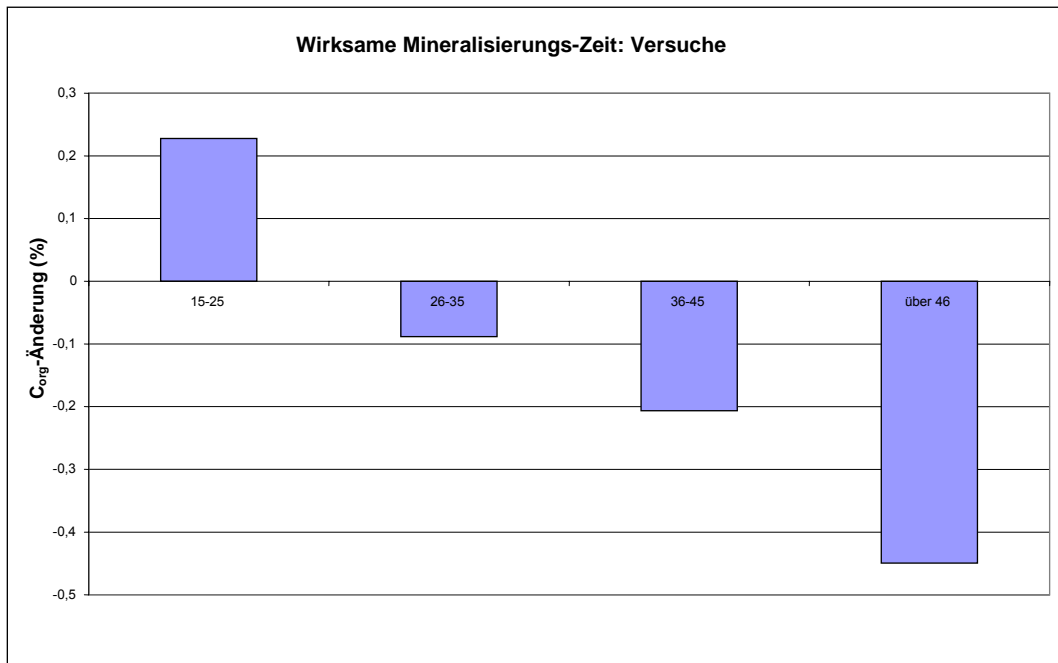


Abbildung 19: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge einer steigenden Wirksamen Mineralisierungszeit

### C/N-Verhältnisse des Bodens

Eine ähnliche Veränderung der Schätzgenauigkeit kann auch bei einer Gegenüberstellung mit den im Boden vorzufindenden C/N-Verhältnissen vorgefunden werden (Abb. 20, Tab. 1, Anlage 4). Bei C/N-Verhältnissen im Boden von unter 9 (dies sind im Wesentlichen die Lehm-Böden) wird durch Anwendung des CCB-Verfahrens eine deutliche Überschätzung ermittelt. Die Überschätzung ist so groß, dass eine Anwendung des Verfahrens auf diesen Böden bisher nicht möglich ist. Demgegenüber sind die durchschnittlichen Schätzgenauigkeiten bei C/N-Verhältnissen zwischen 9 – 10,5 relativ gut und zwischen 10,6 – 11,9 sehr gut einzustufen. Auf diesen Böden kann daher mit einer rel. hohen Genauigkeit des Verfahrens gerechnet werden. Auf Böden mit C/N-Verhältnissen von über 12 ist hingegen wiederum bisher keine befriedigende Rechengenauigkeit zu erwarten, so dass eine erfolgreiche Anwendung auf diesen Böden nicht möglich ist, da im Vergleich zu den Feld-Daten eine erhebliche Unterschätzung des  $C_{org}$ -Gehaltes erfolgt.

Aus den dargelegten Ergebnissen ist zu erkennen, dass das C/N-Verhältnis des Bodens Einfluss auf die an den spezifischen Standorten stattfindenden Umsetzungsgeschwindigkeiten und Mineralisierungspotentiale haben muss. So kann in einer ergänzenden Analyse der hier behandelten Versuche eine deutlich unterschiedliche Wirkung des Bodens und der spezifischen C/N-Verhältnisse im Boden auf die Umsetzung abgeleitet werden (Abb. 21). Böden mit einem C/N-Verhältnis von unter 9 (insbesondere Bodenart L) sind gekennzeichnet durch einen rel. hohen Abbau des  $C_{org}$ -Gehaltes in den Standardvarianten (ohne Zufuhr organischer Materialien). Dagegen ist die umgerechnete Wirkung einer Stalldunggabe von 100 dt/ha und Jahr nach 25 Jahren auf diesen Standorten mit einem mittleren Anstieg des  $C_{org}$ -Gehaltes von 0,24 % anzusetzen.



Durch diesen rel. hohen Abbau des Boden- $C_{org}$  und einer nur mäßigen Stallungswirkung ist ein Humusausgleich bei Verabreichung von 100 dt/ha und Jahr nicht möglich. Es muss also eine etwas höhere Zufuhr erfolgen, damit kein  $C_{org}$ -Abfall eintreten kann.

Auf den Standorten mit C/N-Verhältnissen zwischen 9,1 – 10,5 (Bodenarten SI – L) kommt es in den Standardvarianten zu einem wesentlich geringeren  $C_{org}$ -Abbau im Boden. Dagegen ist die Stallungswirkung mit 0,13 %  $C_{org}$  am geringsten. Da keine deutlich negative Bodenwirkung vorhanden ist, führt die Zufuhr von 100 dt/ha Stallung dennoch bereits zu einem geringen Anstieg der  $C_{org}$ -Werte im Boden. Unter diesen Bedingungen waren bisher auch die genauesten CCB-Vergleichsberechnungen ermittelt worden. Auf Böden mit höheren C/N-Verhältnissen als 11,5 (S – SI, Schwarzerden) erfolgt in den Standardvarianten kaum ein  $C_{org}$ -Abbau. Da gleichzeitig ein deutlicher Anstieg von 0,41 %  $C_{org}$  durch eine Stallunggabe von 100 dt/ha zu verzeichnen ist, wird auf diesen Standorten der Humusgehalt deutlich angehoben. Auf diesen Böden ist also eine erheblich geringere Zufuhr notwendig, um eine vergleichbare Veränderung des Boden- $C_{org}$ -Gehaltes zu bewirken.

Die Wirkung einer steigenden Temperatur sowie steigender Niederschläge führte zu keinen einheitlichen Veränderungen in den berechneten  $C_{org}$ -Veränderungen durch das CCB-Verfahren. Daher wird auf eine nähere Erläuterung an dieser Stelle verzichtet (siehe Tab. 1, Anlage 4).

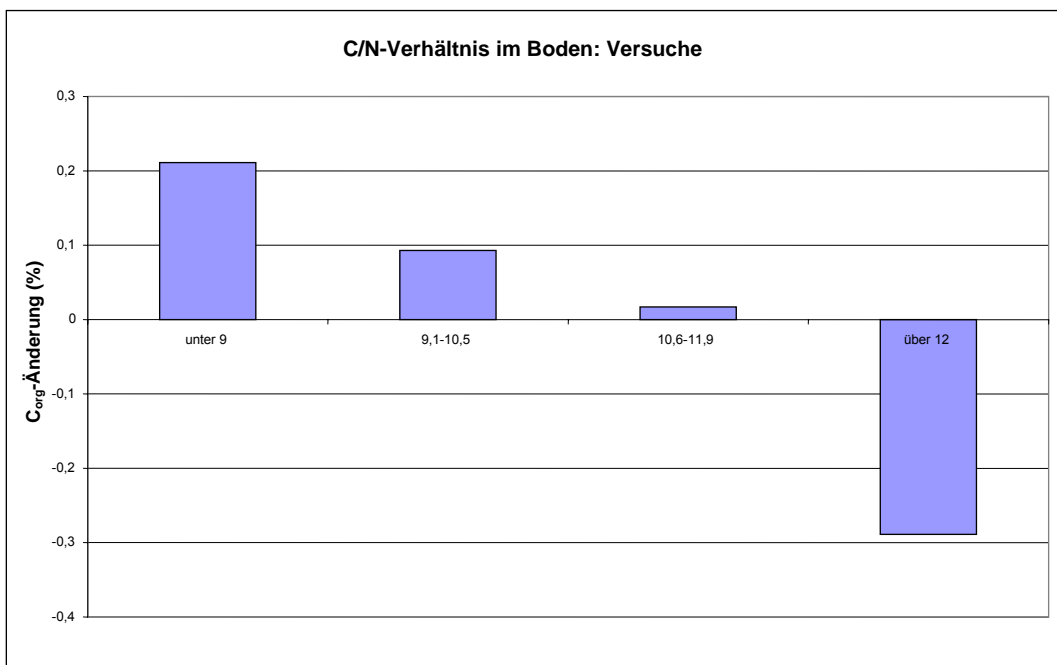


Abbildung 20: Abweichungen der  $C_{org}$ -Gehalte am Versuchsende für das CCB-Verfahren von den im Feld gemessenen Gehalten in Folge steigender C/N-Verhältnisse im Boden unter Berücksichtigung aller untersuchten Versuche

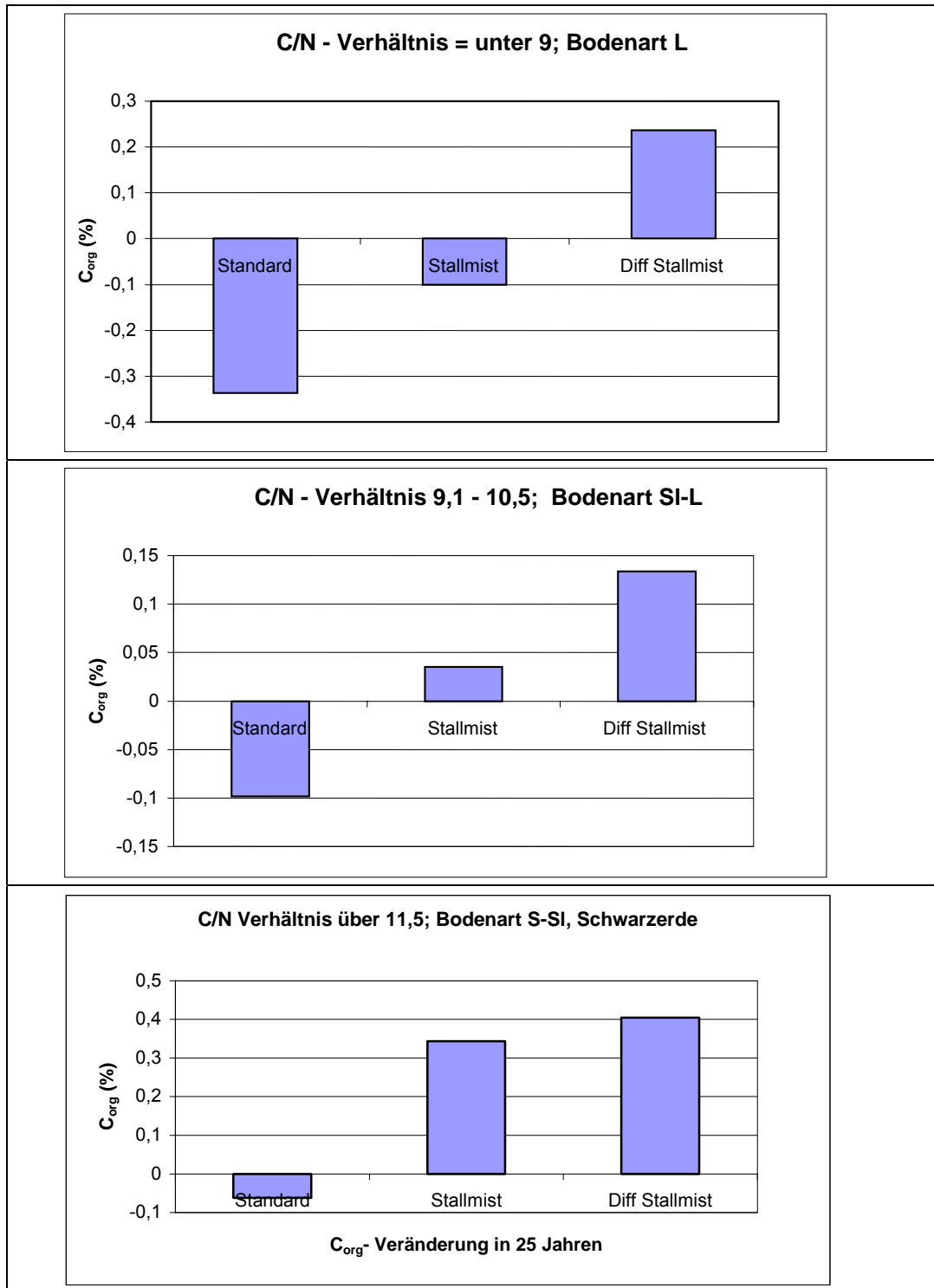


Abbildung 21: Einfluss von drei Gruppen mit jeweils 5 - 7 Versuchen mit ähnlichen C/N-Verhältnissen auf den  $C_{org}$ -Umsatz im Boden von Standard-Varianten mit Stalldung und in Varianten mit Düngung von 100 dt/ha und Jahr

## Ökologischer Landbau

Die Ergebnisse zu den drei getesteten Öko-Versuchen können gut in die jeweilige Bodenart eingegliedert werden (vgl. Tab. 2 u. 3). Hieraus ist zu ersehen, dass maßgebliche Unterschiede nicht von der Versuchsart, sondern eher von der Bodenart und den Standortgegebenheiten ausgehen auf denen die Versuche durchgeführt werden. So ist die Treffgenauigkeit mit durchschnittlich  $-0,04\%$   $C_{org}$  (= 95 %) und die Richtungsentscheidung mit dem Wert 0,89 auf dem Sandboden des Öko-Versuches in Darmstadt sehr gut (Tab. 3, Gesamtauswertung). Eine allgemein hohe Genauigkeit wurde für diese Bodenart auch für die konventionellen Versuche ermittelt.

Der Öko-Versuch in Therwil in der Schweiz liegt auf einem Lehmboden. Wie bei den anderen konventionellen Versuchen der Kategorie ist auch die Schätzgenauigkeit dieses Versuches sehr gering (Tab. 3). Es wird eine Überschätzung der  $C_{org}$ -Entwicklung um  $+0,39\%$   $C_{org}$  (= 130 %) sowie mit  $-0,64$  eine sehr geringe Übereinstimmung in der Richtungsentscheidung erreicht. Bei dem dritten Öko-Versuch handelt es sich um einen sehr schweren Boden in einer klimatischen Randlage in Schweden ( $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  Durchschnittstemperatur). An diesem Standort erfolgt eine Unterschätzung um durchschnittlich  $-0,08\%$   $C_{org}$ . Da der  $C_{org}$ -Gehalt rel. hohe Werte umfasst, ist die relative Abweichung nur gering, zudem wird eine hohe Zielgenauigkeit in der Richtungsentscheidung erreicht. Auch dieser Versuch kann in die Gruppe der Standorte mit hohen  $C_{org}$ -Gehalten und rel. weiten C/N-Verhältnissen eingegliedert werden.

Im Durchschnitt aller Varianten wird ein Mittelwert von  $0,07\%$   $C_{org}$  (Median =  $0,03\%$   $C_{org}$ ) durch das CCB-Verfahren im Vergleich zu den Felddaten ermittelt (Tab. 3, Abb. 22). Die Streubreite ist jedoch erheblich. So liegen die 25 %-Perzentile von  $-0,09$  bis  $+0,29\%$   $C_{org}$ . Hierdurch ist eine sichere Analyse auch für diese Bedingungen kaum möglich.

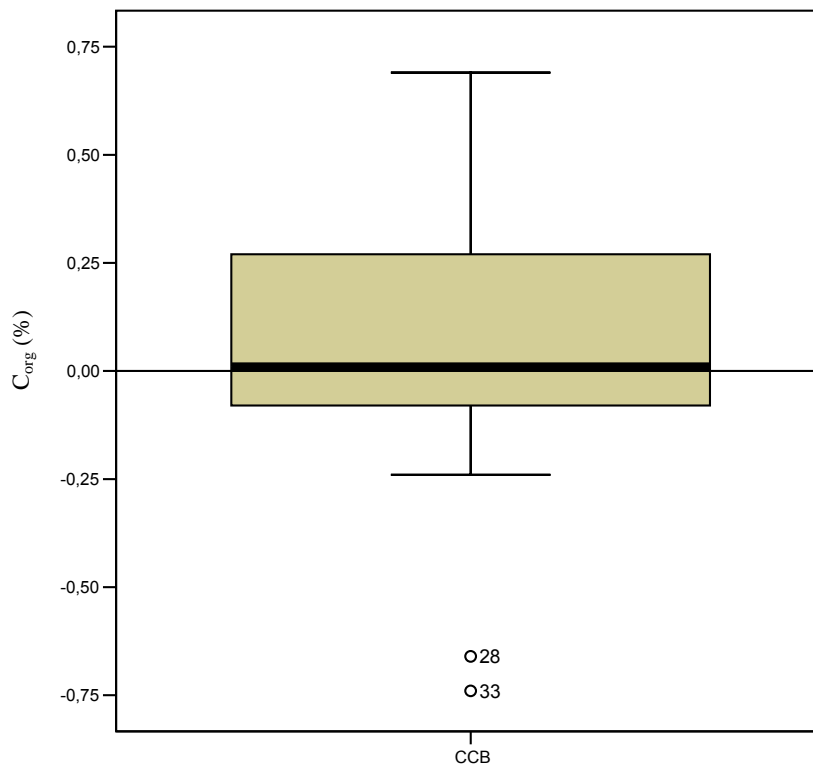


Abbildung 22: Median und Streubereiche in den berechneten  $C_{org}$ -Gehalten (%  $C_{org}$ ) des CCB-Verfahrens unter Einbeziehung aller praxisrelevanten Versuchsvarianten des Ökologischen Landbaus im Vergleich zu den jeweiligen Felddaten am Versuchsende (=  $0,0\%$   $C_{org}$ )

Eine Gegenüberstellung von konventionellen und ökologischen Versuchsgliedern kann zu einer Beantwortung der Frage beitragen, ob Unterschiede in der Schätzgenauigkeit zwischen den Anbauverfahren vorliegen. Zu diesem Zweck sind alle konventionellen und alle ökologischen Varianten getrennt voneinander ausgewertet worden (Tab. 3, konvent. u. ökolog. Bewirtschaftung). Da in den bisherigen Auswertungen über den Faktoreinfluss keine deutlichen Unterschiede in der Wirkung einer mineralischen N-Düngung sowie in Folge steigender Stalldunggaben bei Berechnung mit den CCB-Verfahren zu verzeichnen waren, sind keine Korrekturen an den ausgewiesenen Werten vorgenommen worden.

Wie aus der Gegenüberstellung abgeleitet werden kann, sind keine deutlichen Unterschiede in der Schätzgenauigkeit und Zielrichtung zwischen konventionellen und ökologischen Varianten mit dem CCB-Verfahren ermittelt worden. Es besteht sogar eine rel. hohe Übereinstimmung in den gefundenen Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Ergebnissen. Lediglich die Findung der richtigen Zielgenauigkeit ist in den konventionellen Varianten mit Werten zwischen 0,60 – 0,67 sehr gut und in den ökologischen Varianten mit Werten zwischen 0,28 – 0,32 nur noch mäßig gut ausgeprägt. Hieraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass beide Anbauverfahren mit dem gültigen Instrumentarium bereits gut bilanziert werden können und für ökologische Bedingungen daher keine abgewandelte Methode zum Einsatz kommen muss.

Tabelle 3: Abweichung zwischen im Feld gemessenen  $C_{org}$ -Werten am Versuchsende (0,0 %  $C_{org}$  = 100 %) und den mit dem CCB-Verfahren ermittelten absoluten und relativen Werten sowie die Zielgenauigkeit in der Richtungsentscheidung der Öko-Versuche

Ort, Land, Variante	Gesamtauswertung			Konvent. Bewirtschaftung			Ökol. Bewirtschaftung		
	abs. $C_{org}$ (%)	rel. $C_{org}$ (%)	Richtg.	abs. $C_{org}$ (%)	rel. $C_{org}$ (%)	Richtg.	abs. $C_{org}$ (%)	rel. $C_{org}$ (%)	Richtg.
<b>Darmstadt, RP</b>									
11 Stroh	-0,05	94	1	-0,05	94	1			
12 Stroh	-0,05	94	1	-0,05	94	1			
13 Stroh	-0,07	91	1	-0,07	91	1			
21Stallm 109dt	-0,03	96	1				-0,03	96	1
31Stallm 109dt	-0,21	78	0				-0,21	78	0
22Stallm 182dt	-0,01	99	1				-0,01	99	1
23Stallm 245dt	0,04	104	1				0,04	104	1
32Stallm 182dt	-0,02	98	1				-0,02	98	1
33Stallm 245dt	0,01	101	1				0,01	101	1
<b>Therwil, Schweiz</b>									
1 D2 StmKom 114 dt	0,24	114	-1				0,24	114	-1
2 O2 Stallm 114 dt	0,34	122	-1				0,34	122	-1
5 D1 StmKom 57 dt	0,19	112	-1				0,19	112	-1
6 O1 Stallm 57	0,27	118	-1				0,27	118	-1
1 D2 StmKom 114 dt	0,59	141	-1				0,59	141	-1
2 O2 Stallm 114 dt	0,69	153	-1				0,69	153	-1
3 K2 Stallm 114 dt	0,54	142	-1	0,54	142	-1			
4 M2 0	0,3	120	1	0,3	120	1			
7 K1 0	0,26	118	-1	0,26	118	-1			
3 K2 Stallm 114 dt	0,27	174	-1	0,27	174	-1			
4 M2 0	0,16	111	1	0,16	111	1			
<b>Järna, Schweden</b>									
160 Mistkompost	-0,01	100	1				-0,01	100	1
160 Mistkompost	-0,24	91	1				-0,24	91	1
160 Frischmist	-0,21	93	1				-0,21	93	1
ohne	-0,13	95	1				-0,13	95	1
160 Mistkompost	0,1	103	1				0,1	103	1
160 Mistkompost	-0,13	95	1				-0,13	95	1
160 Frischmist	-0,09	97	1				-0,09	97	1
80 Frischmist	-0,66	78	1	-0,66	78	1			
ohne	-0,08	97	1	-0,08	97	1			
ohne	0,04	102	1	0,04	102	1			
ohne	0,42	116	1	0,42	116	1			
ohne	0,13	105	1	0,13	105	1			
80 Frischmist	-0,74	75	1	-0,74	75	1			
ohne	-0,13	95	1	-0,13	95	1			
ohne	-0,01	100	1	-0,01	100	1			
ohne	0,37	114	1	0,37	114	1			
ohne	0,08	103	1	0,08	103	1			
<b>Mittelwerte</b>									
Anzahl Varianten:	37	37	37	18	18	18	19	19	19
Mittel:	0,06	106	0,49	0,04	107	0,67	0,07	106	0,32
s:	0,29	20,20	0,87	0,33	22,94	0,77	0,26	17,83	0,95
Vk (%)	499	19	179	765	21	115	354	17	300
MW Darmstadt, RP	-0,04	95	0,89	-0,06	93	1,00	-0,04	96	0,83
MW Schweiz	0,35	130	-0,64	0,31	133	-0,20	0,39	127	-1,00
MW Schweden	-0,08	98	1,00	-0,06	99	1,00	-0,10	96	1,00
MW Standorte	0,08	107	0,42	0,06	108	0,60	0,08	106	0,28

## 5.2 Humusbilanzierung nach VDLUFA-Entwurf

### 5.2.1 Beziehungen zwischen Empfehlung bei 100 % Bedarfsabdeckung und der zu erwartenden Änderungen der $C_{org}$ -Gehalte des Bodens

#### Gesamtdarstellung

In der Tabelle 4 sind 39 Dauerversuche im Wesentlichen aus dem deutschen Bereich aufgeführt worden, die aus unserer Datenbasis von ca. 200 Dauerversuchen mit mindestens 10 Jahren Versuchsdauer ausgewählt wurden. Sie umfassen alle wichtigen Bodenarten, standörtlichen und klimatischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes. Um dies zu gewährleisten musste auch auf einige ausländische Versuche zurück gegriffen werden, da für bestimmte Gebiete (insbesondere Nordwestdeutschland) keine Versuche vorhanden sind.

Für insgesamt 330 einzelne Varianten der Versuche wurden laut LUFA-Entwurf die ROS-Methode (Standard, untere Grenze) und die HE-Methode (obere Grenze) auf die Fragestellung untersucht: Welche Veränderung der Humusgehalte ist zu erwarten, wenn auf 100 % Bedarfsdeckung (in Form von Stallung) gedüngt wird?

Im Durchschnitt aller Varianten (Tab. 4, oben) bzw. im Durchschnitt der Standorte (Tab. 4, unten) erfolgt bei Kalkulation mit der HE-Methode ein Anstieg der  $C_{org}$ -Gehalte um 0,11 bzw. 0,14 %. Bei Kalkulation mit der ROS-Methode wurde ein mittlerer Anstieg zwischen 0,00 bis 0,03 %  $C_{org}$  berechnet. Somit ergab sich ein Unterschied zwischen den beiden Methoden von 0,11 %  $C_{org}$ , bzw. von 11 – 13 % höheren Werten durch die HE-Methode.

Es wurden deutliche Unterschiede auf den untersuchten Bodenarten und Standorten gefunden. Auf den leichten und mittleren Böden des kontinentalen Klimabereiches (Ostdeutschland) wird ein Anstieg der  $C_{org}$ -Gehalte von 0,07 – 0,09 % (ROS) und von 0,19 – 0,20 % (HE) erreicht. Bei 100 % Bedarfsdeckung kann daher in diesen Gebieten davon ausgegangen werden, dass in annähernd allen Fällen der  $C_{org}$ -Gehalt zumindest erhalten bleibt oder etwas ansteigt. Aus diesem Einzugsgebiet sind im Wesentlichen auch die untersuchten Methoden entstanden.

Auf fast allen umsetzungsintensiven Lehmböden (außer Schwarzerden) Ost- und Westdeutschlands sowie auch besonders auf den leichten Böden mit höheren  $C_{org}$ -Gehalten (humider Bereich West- und Süd- Deutschlands, Esch- u. Podsol-Böden) kommt es dagegen zu z.T. deutlichen Abnahmen der  $C_{org}$ -Ausgangsgehalte der Versuche zwischen -0,07 bis 0,45 % bei Anwendung der ROS-Methode (untere Grenze). Bei 100 % Bedarfsdeckung kann daher auf diesen Böden und Standorten der dort ortsübliche  $C_{org}$ -Gehalt nicht eingehalten werden.

Bei Anwendung der HE-Methode (obere Grenze) kann dagegen das Humus-Niveau auf den leichten Böden mit hohen  $C_{org}$ -Gehalten sowie auf allen Lehmböden (außer Schwarzerden) in etwa gehalten werden. Auf den ausgeprägten Eschböden (nur 1 Standort!) kann auch bei Anwendung dieser Methode der  $C_{org}$ -Gehalt nicht erhalten werden.

Auf den umsetzungsträgen schweren Böden (Bergregionen, niedrige Temperaturen) reicht dem gegenüber die Anwendung des ROS-Verfahrens aus, um im Durchschnitt den  $C_{org}$ -Gehalt zu erhalten. Auf den sehr schweren Böden (Toniger Lehm, Ton) sowie den Schwarzerden kommt es dagegen bereits bei Anwendung der ROS-Methode zu einer deutlichen Anhebung der Gehalte um 0,22 %  $C_{org}$ . Bei Anwendung der HE-Methode wird sogar eine Anreicherung von durchschnittlich 0,36 %  $C_{org}$  erreicht (= 120 % der Ausgangsgehalte).

Tabelle 4: Einfluss einer 100 %-igen Bedarfsdeckung auf die Gehalte an C<sub>org</sub> im Vergleich zu den Ausgangswerten (= 0,0 % C<sub>org</sub>) in 39 Dauerversuchen bei Anwendung der HE- und ROS-Verfahren

Ort, Land, Bodenart	HE (obere Grenze)		ROS (untere Grenze)	
	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)
<b>Varianten</b>				
Anzahl Varianten:	330	330	329	329
Mittel:	0,11	115	0,00	102
s:	0,20	21,06	0,18	17,83
Vk (%)	181,2	18,4	14716	17,4
<b>Versuche</b>				
<b>Sand</b>				
Dahlem, BER	0,24	136	0,15	122
Groß Kreuz, BB	0,17	126	0,04	106
Darmstadt (Öko), RP	0,04	105	-0,04	97
Niederlande	0,04	101	-0,05	99
Lentförden, SH	0,39	109	0,29	106
Dülmen, NRW	0,09	107	0,02	101
<b>Anlehmiger Sand</b>				
Thyrow, BB	0,18	134	0,08	114
Thyrow, BB	0,22	136	0,12	118
Thyrow, BB	0,21	133	0,10	117
Müncheberg, BB	0,24	142	0,09	116
Müncheberg, BB	0,19	137	0,07	115
Völkenrode, NI	0,26	132	0,11	113
Spröda, SN	0,21	125	0,11	113
<b>Lehmiger Sand</b>				
Speyer, RP	0,28	133	0,13	115
Niederlande	-0,36	90	-0,45	86
<b>Stark sandiger Lehm</b>				
Puch, BY	0,05	103	-0,05	98
Halle, SA	0,25	118	0,08	106
<b>Sandiger Lehm</b>				
Seehausen, SN	0,05	105	0,01	101
Seehausen, SN	0,09	109	0,00	100
Seehausen, SN	0,39	143	0,24	127
Seehausen, SN	0,23	124	0,04	104
Dikopshof, NRW	0,18	118	0,09	109
Schädtbek, SH	0,25	121	0,14	111
<b>Lehm</b>				
Meckenheim, NRW	-0,09	92	-0,16	86
Gießen, HE	0,10	110	-0,05	93
Gießen, HE	-0,17	84	-0,22	79
Gießen, HE	-0,03	97	-0,15	86
Gießen, HE	-0,06	95	-0,17	85
Methau, SN	0,01	101	-0,14	90
Göttingen, NI	0,26	122	0,20	117
Puch, BY	0,11	110	0,01	100
Schweiz (Öko)	-0,29	83	-0,32	81
Puch, BY	0,12	109	-0,02	99
Belgien	0,19	121	0,08	109
Lauterbach, SN	-0,08	98	-0,16	95
<b>Toniger Lehm, Ton</b>				
Niederlande	0,45	134	0,30	123
Schweden (Öko)	0,31	112	0,18	107
Schwarzerde				
Bad Lauchstädt, SA	0,28	114	0,13	107
Bad Lauchstädt, SA	0,43	122	0,30	115
Halle, SA	0,25	118	0,08	106

Tabelle 4: Fortsetzung

Ort, Land, Bodenart	HE		ROS	
	(obere Grenze)		(untere Grenze)	
	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)
<b>MW Versuche</b>	0,14	115	0,03	104
Anzahl	39	39	39	39
<b>MW Leichte Böden (S, SI, IS)</b>	0,20	125	0,09	111
Anzahl	13	13	13	13
<b>MW Leichte Böden (Plaggenesch)</b>	-0,36	90	-0,45	86
Anzahl	1	1	1	1
<b>MW Mittlere Böden (SL, sL)</b>	0,19	118	0,07	107
Anzahl	8	8	8	8
<b>MW Mittlere Böden (ohne hohe C<sub>org</sub>-Gehalte)</b>	0,20	120	0,08	108
Anzahl	7	7	7	7
<b>MW Schwere Böden (L)</b>	0,01	102	-0,09	93
Anzahl	12	12	12	12
<b>MW Schwere Böden (Ton, Schwarzerde)</b>	0,36	121	0,22	113
Anzahl	4	4	4	4
<b>MW Leichte u. mittl. Böden (hohe C<sub>org</sub>-Gehalte)</b>	0,03	101	-0,07	97
Anzahl	4	4	4	4
<b>MW Schwere Böden (niedr. Temp., Bergstandorte)</b>	0,11	105	0,01	101
Anzahl	2	2	2	2

Die Gesamtübersicht der Methodengenauigkeit kann auch durch nachfolgende Boxplot-Abbildung 23 dargestellt werden. Hierin sind die Median-Werte, 50 %-Perzentil-, Maximal- und Minimalwerte sowie die Extremwerte ausgewiesen worden. Gut zu erkennen ist der Abstand zwischen der HE- und der ROS-Methode. Die Streubereiche liegen ebenfalls für beide Verfahren in vergleichbaren Bereichen. Bei Anwendung der ROS-Methode kann für einen erheblichen Anteil der berechneten Fälle die Einhaltung des C<sub>org</sub>-Gehaltes nicht gewährleistet werden. Dagegen wird mit der HE-Methode ein z.T. erheblicher Anstieg der C<sub>org</sub>-Gehalte erfolgen. Insgesamt gesehen ist die Streuung der Werte so erheblich, dass keine sichere Bedarfsrechnung erfolgen kann.

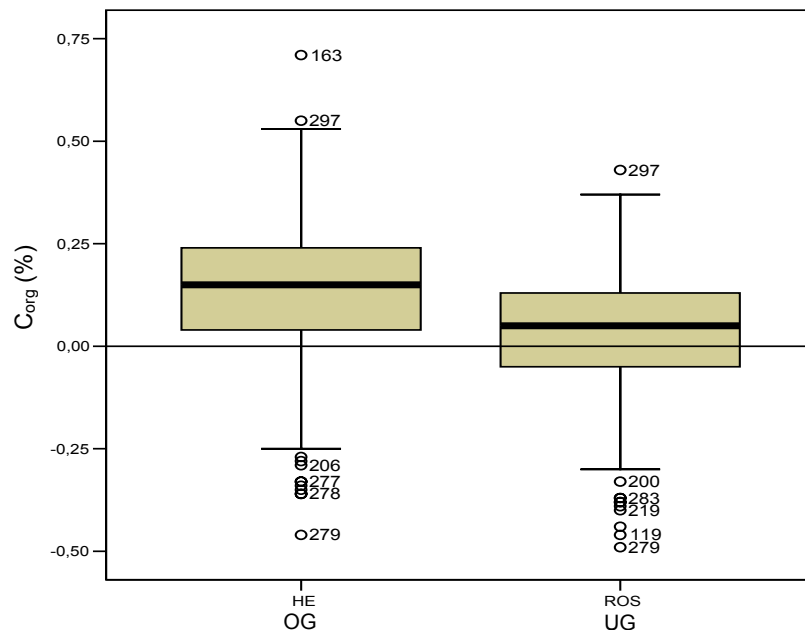


Abbildung 23: Median und Streubereiche in den berechneten C<sub>org</sub>-Gehalten (%) der HE- und ROS-Methode unter Einbeziehung aller praxisrelevanten Versuchsvarianten im Vergleich zu den jeweiligen Felddaten am Versuchsanfang (= 0,0 % C<sub>org</sub>)



### **Einfluss der N-Mineraldüngung**

Steigende N-Düngung wurde in den Versuchen von 0 kg bis z.T. weit über 200 kg/ha vorgefunden. Nach Gruppierung der Düngungshöhe in 4 Stufen wurde ein deutlicher Einfluss der N-Düngung auf die zu erwartende Veränderung der  $C_{org}$ -Gehalte ermittelt (Abb. 24, Tab. 2 in Anlage 4).

Mit steigender N-Düngung nehmen bei beiden Verfahren im Durchschnitt der geprüften Bodenarten und Standortbedingungen die  $C_{org}$ -Gehalte des Bodens zu. Bei Unterlassung der Düngung (Standardvarianten) erfolgt nach Berechnung mit dem ROS-Verfahren quasi keine Veränderung der  $C_{org}$ -Gehalte, bei sehr hoher N-Düngung erfolgt eine Überschätzung um 0,09 bis 0,10 %  $C_{org}$ . Nach Anwendung der HE-Methode erfolgt bereits ein Anstieg der  $C_{org}$ -Werte in den Varianten ohne N-Düngung um 0,11 – 0,12 %. Infolge steigender N-Düngung nimmt diese Überschätzung bis auf 0,22 %  $C_{org}$  zu. Außer dem absoluten Niveau (siehe vorheriges Kap.) bestehen keine Wechselwirkungen zwischen den untersuchten Standorten.

In diesen Ergebnissen wird der Einfluss einer steigenden N-Düngung auf die Ertragsbildung und damit auch auf die Ernte- und Wurzelreste (EWR) deutlich. Da bei beiden Verfahren der Einfluss der Kulturen mit ertragsunabhängigen konstanten Faktoren bewertet wird, kann hierdurch indirekt auf den Einfluss der N-Mineraldüngung geschlossen werden. Hiernach beträgt dieser Einfluss bei mittlerem N-Düngungsniveau in etwa 0,02 – 0,04 % und bei sehr hoher Düngung um 0,10 %  $C_{org}$  im Vergleich zu Varianten ohne N-Mineraldüngung.

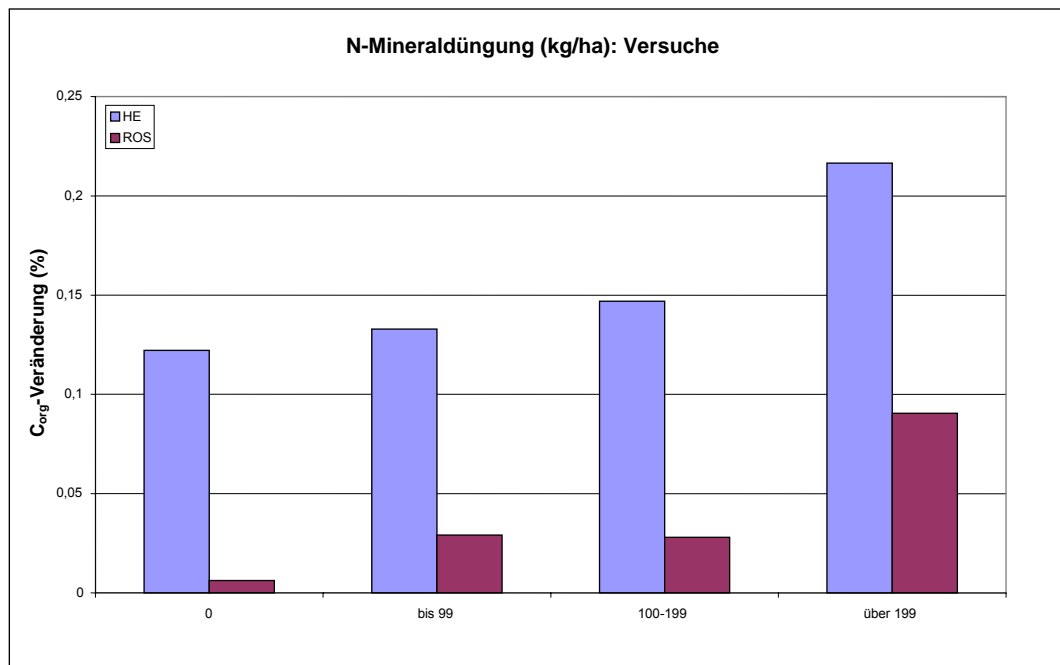


Abbildung 24: Einfluss einer steigenden N-Düngung auf die  $C_{org}$ -Gehalte bei 100 %-iger Bedarfsdeckung mit den Verfahren ROS und HE

### **Einfluss steigender Stallungsgaben**

Auch in Folge steigender Stallung-Gaben besteht ein unterschiedlicher Einfluss auf die zu erwartenden  $C_{org}$ -Änderungen bei Versorgung auf Bedarfsdeckung (Abb. 25, Tab. 2 in Anlage 4). Bis zu einer Düngung von 100 dt/ha und Jahr werden rel. ähnliche Veränderungen des  $C_{org}$ -Gehaltes vorgefunden. In gewissen Grenzen gilt das auch noch bis zu einer Höhe um 180 dt/ha an Stallung. Erst bei sehr hoher Düngung wird durch beide Verfahren eine sehr starke Reduktion der Zufuhr berechnet, um eine Bedarfsdeckung von 100 % zu erreichen. Bei Fortführung dieser Bemessungsratschläge würde es dann aber zu einem deutlichen Abfall der  $C_{org}$ -Gehalte im Boden kommen.

Diese Ergebnisse sind durch folgende Zusammenhänge zu erklären. Auf der einen Seite wird in den Versuchen eine abnehmende Wirkung einer stark steigenden Stallmistdüngung auf die  $C_{org}$ -Werte vorgefunden (siehe Versuch Nr. 7, Bad Lauchstädt). Diese dann stark abnehmende Effizienz der Stallmistdüngung wird aber erst in Bereichen weit oberhalb praktischer Düngungshöhen deutlich (z.B. bei Anwendung von 1000 dt/ha u. Jahr). Auf der anderen Seite wird die Stalldungwirkung durch die Verfahren jeweils mit konstantem Faktor bewertet. Daher kommt es dann bei zu hoher Düngung in zunehmendem Maße zu einer Überschätzung. Durch die Ergebnisse werden daher Grenzen der Anwendung sichtbar. Ein hoher Vertrauensbereich besteht hiernach bei einer Düngung bis ca. 100 dt/ha und Jahr an Stalldung oder verwandter organischer Stoffe (= praxisrelevanter Bereich). Eine eingeschränkte Genauigkeit wird noch bei Zufuhrmengen bis 180 dt/ha und Jahr erzielt, was bereits einer sehr hohen Aufwandmenge gleich kommt. Systeme mit deutlich höheren Dungzufuhren erscheinen dagegen nicht mehr zuverlässig eingestuft werden zu können (Landschaftsbau etc.).

Auf Grund dieser deutlichen Fehleinschätzung sind die Ergebnisse der Varianten mit über 180 dt/ha an jährlicher Stalldung-Zufuhr (oder Zufuhr verwandter Stoffe) nur bei diesen Berechnungen berücksichtigt worden. Bei den anderen Kalkulationen, sowie bei der Gesamtkalkulation (siehe vorheriges Kap.) sind diese Werte nicht mit verrechnet worden.

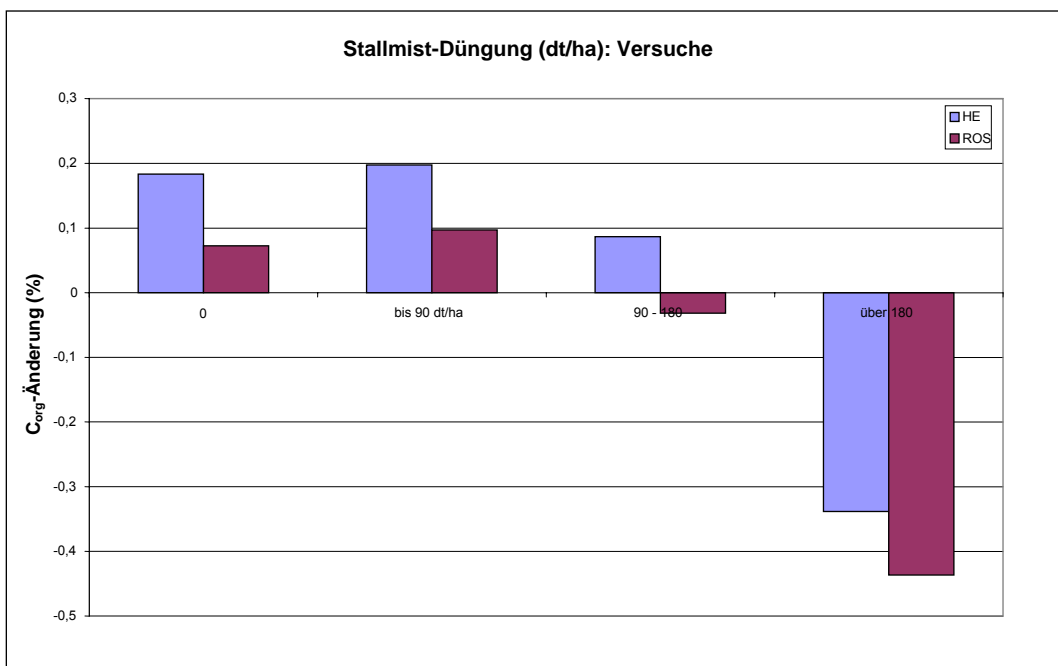


Abbildung 25: Einfluss steigender Gaben von Stalldung auf die  $C_{org}$ -Gehalte bei 100 %-iger Bedarfsdeckung mit den Verfahren ROS und HE

### **Einfluss der Düngung mit organischen Materialien (Stalldung, Gülle, Stroh, Gründüngung)**

Bei den Versuchs-Varianten ohne Zufuhr handelt es sich um Standardvarianten, bei denen keine der genannten organischen Materialien auf dem Feld verblieben sind, bzw. von außen zugeführt worden sind. Aus Abbildung 26 ist zu entnehmen, dass in diesen Fällen die mit beiden Verfahren dann berechnete Zufuhr (jeweils in Stalldung-Äquivalenten) zu einer deutlichen Anhebung der  $C_{org}$ -Werte führen würde. Hieraus kann ersehen werden, dass die eigentliche Ursache für diese Ergebnisse zunächst nicht bei einer ungenauen Justierung der organischen Düngemittel zu sehen ist, sondern bei einer nicht optimalen Zuordnung des Einflusses der Anbauanteile der Kulturarten in der Fruchtfolge (siehe nachfolgende Kapitel). Offensichtlich wird im Durchschnitt der Anbausequenzen und der mineralischen N-Düngung der Abfall der  $C_{org}$ -Gehalte, der in diesen Varianten in der Regel zu verzeichnen ist, übertrieben dargestellt. Deshalb wird dann ein zu hoher Stalldungbedarf ermit-

telt, um die Bedarfslücke auszugleichen und es kommt zu dem beschriebenen Anstieg der  $C_{\text{org}}$ -Gehalte.

Wird lediglich ein Ausgleich der  $C_{\text{org}}$ -Werte, ohne „optimalen“ Ertrag angestrebt, so weisen die Kulturartenkoeffizienten der ROS-Methode in die richtige Richtung, denn es werden  $C_{\text{org}}$ -Werte gefunden, die näher an 0,0 oder nahe bei diesem Wert sich befinden. Dies wird besonders deutlich bei der Betrachtung der gefundenen Werte für Stroh und Gülle, während die Werte für Varianten schon deutlich unter 0,0 abfallen, die zusätzlich noch eine Gründüngung (Zwischenfruchtanbau oder/und Materialien wie Zuckerrüben-Blatt) erhalten haben.

Eine Bewertung der Varianten mit Zufuhr organischer Materialien sollte daher zunächst im Vergleich zu dem Einflussniveau der reinen Kulturartensequenz vorgenommen werden. Der Einfluss der Stalldungzufuhr (unterschiedlicher Höhe, aber ohne extrem hohe Zufuhr, siehe vorhergehendes Kapitel) weicht nur unwesentlich von dem der Varianten ohne Zufuhr ab. Im Bereich praxisrelevanter Zufuhrmengen erscheint daher die Stalldungwirkung relativ exakt mit der Wirklichkeit in den untersuchten Versuchen überein zu stimmen. Im Nachhinein ist diese Einschätzung auch in sofern von Bedeutung, da die positiven oder negativen Fehlbeträge zu einer 100 %-igen Bedarfsdeckung in Form von Stalldung-Äquivalenten berechnet worden sind.

Von dieser allgemeinen Feststellung weichen die einzelnen Bodenarten und Standortgegebenheiten z.T. deutlich ab, da offenbar Wechselwirkungen vorliegen (Tab. 2 Anlage 4). Die besten Übereinstimmungen zwischen den Varianten ohne und mit Stalldungzufuhr bestehen auf den schweren Böden (L, T, Schwarzerden). Die höchste positive Abweichung erfolgt dagegen auf leichten und mittleren Böden mit hohem  $C_{\text{org}}$ -Gehalten (humide Regionen West- u. Süddeutschlands). Hier führt eine Unterlassung der Zufuhr an organischen Materialien zu einem Abfall und die Dungzufuhr zu einem Anstieg der  $C_{\text{org}}$ -Gehalte bei Bedarfsdeckung auf 100 % bei Anwendung beider Verfahren. Diese Böden sind für ihre schnelle Veränderung der Humusgehalte nach Zufuhr organischer Materialien bekannt. Auf den leichteren und mittleren Böden des mehr kontinentalen Einflussbereiches (Ostdeutschland) erfolgt dem gegenüber bereits ein Abfall in der Weise, dass hier ebenfalls eine gewisse Überbewertung der Humuswirkung im Vergleich zu den Varianten ohne Zufuhr vorliegt.

Stroh und Gülle wird nach diesen Ergebnissen offenbar bereits eine zu hohe Humuswirkung zugesprochen, da die berechneten Fehlbeträge zur Bedarfsdeckung zu gering berechnet worden sind (Abb. 26). Für Stroh kann dies an einem Beispiel verdeutlicht werden, da für diesen organischen Stoff unterschiedlich hohe Koeffizienten zur Verfügung stehen (siehe Tab. A2, Anhang). Lediglich durch Verwendung des Koeffizienten für abbauintensive Standorte (0,41 t ROS/t FM) an Stelle des Standard-Koeffizienten (0,55) wird eine Verbesserung des Ergebnisses zwischen 0,04 – 0,10 %  $C_{\text{org}}$  erreicht. Bei Anwendung der ROS-Methode würden dann aber bereits z.T. leicht negative Auswirkungen auf den  $C_{\text{org}}$ -Gehalt zu vermerken sein, während die  $C_{\text{org}}$ -Gehalte nach Anwendung der HE-Methoden noch positive Werte aufweisen.

Auch beim Stroh bestehen Wechselwirkung zwischen den Boden- und Standorttypen. Die Strohwirkung ist auf die Gehalte an Humus anscheinend auf den Lehm Böden besonders gering, dagegen besonders hoch auf den humiden Sandböden (Tab. 2, Anlage 4). Die Wirkung der Gülle wird anscheinend besonders auf den leichten Böden überschätzt, aber die Datenbasis ist hier für eine sichere Beurteilung zu gering.

Der Einfluss der Gründüngung sowie der Wechselwirkung mit Stalldung-, Gülle- und Stroh-Zufuhr ist dagegen auf die Humusgehalte bemerkenswert deutlich ausgeprägt (Abb. 26). Der singuläre Einfluss kann auf Grund zu geringer Anzahl untersuchter Varianten bisher nicht ausgewertet werden. Bei 6 Versuchen lagen mit anderen Arten an organischen Materialien kombinierte Varianten vor. Bei Kenntnis der singulären Wirkung der Zufuhr von Stalldung, Stroh oder Gülle kann an diesen kombinierten Varianten abgeleitet werden, dass die Wirkung der Gründüngung (als Zwischenfrucht-Gründüngung, Zufuhr an Rübenblatt, etc.) deutlich überschätzt wird.

Ein Weglassen der Gründüngung in den Kalkulationen bewirkt dann einen Anstieg der Gehalte um durchschnittlich 0,06 %  $C_{\text{org}}$  (0,02 – 0,12 %) bei Ausgleich auf 100 % Bedarf. Hierdurch gelangen dann die  $C_{\text{org}}$ -Gehalte für beide Methoden in Bereiche, die zwischen den Werten für Stroh und Gülle liegen.

Bei einem zusätzlichen Weglassen des Kultureinflusses durch Stoppelfrucht, Untersaat etc. werden die  $C_{org}$ -Gehalte um insgesamt zwischen 0,10 % (ROS-Methode) und 0,12 %  $C_t$  (HE-Methode) anzuheben sein. Hierbei gelangt man dann in den Bereich der reinen Stallmistwirkung. Aus diesen einfachen Gegenüberstellungen wird deutlich, dass der Wirkung der Gründüngung auf die Gehalte an Humus ein zu bedeutender Stellenwert eingeräumt wird.

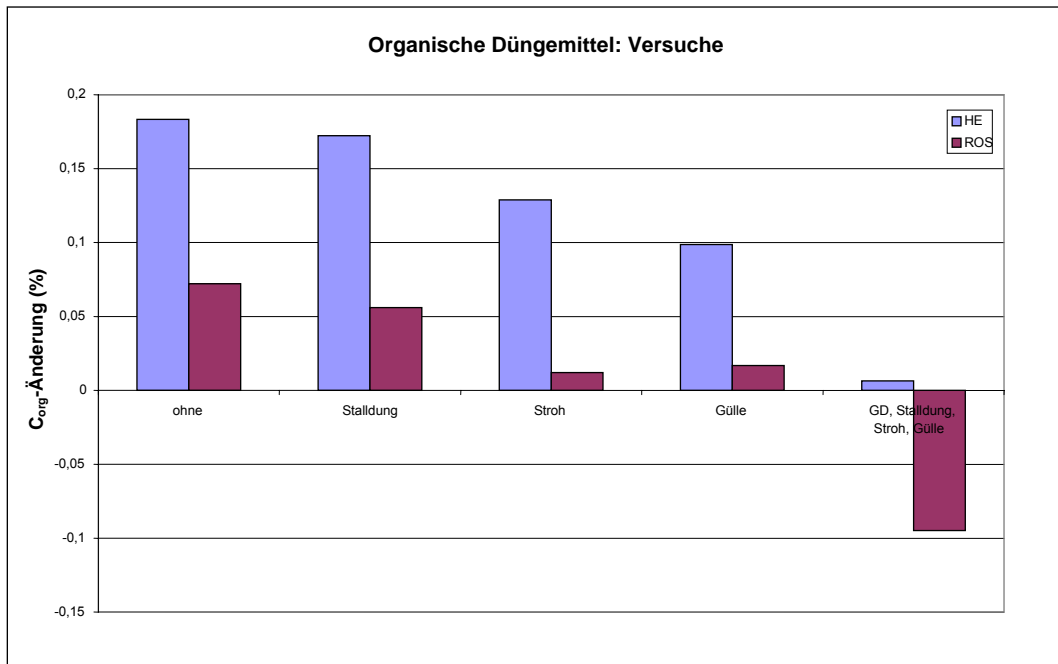


Abbildung 26: Einfluss mittlerer Gaben an Stalldung sowie an Stroh, Gülle und Gründüngung im Vergleich zu ohne Verabreichung organischer Materialien auf die  $C_{org}$ -Gehalte bei 100 %-iger Bedarfsdeckung mit den Verfahren ROS und HE

### Einfluss unterschiedlicher Niederschläge und Temperaturen

Aus Abbildung 27 (siehe Tab. 2 in Anlage 4) ist ein Einfluss der vor Ort langfristig wirkenden Klimabedingungen auf die  $C_{org}$ -Gehalte bei 100 % Bedarfsdeckung zu entnehmen. Dies wird besonders deutlich infolge steigender Niederschläge. Ein Boden in einer klimatischen Lage mit durchschnittlich sehr niedrigen Niederschlägen von unter 500 mm/Jahr (in der Regel Schwarzerden) wird zwischen 0,10 % (ROS) und 0,27 %  $C_{org}$  (HE) überschätzt. Dies sind zwischen 112 % und 127 % des Ausgangsgehaltes in den Versuchen. Bei gleicher Ausrichtung der Bedarfsdeckung wird demgegenüber auf Böden in klimatischen Lagen mit hohen Niederschlägen ein geringer Abfall der Humusgehalte bei Anwendung der ROS-Methode und immer noch ein geringer Anstieg um 0,08 %  $C_{org}$  bei Einsatz der HE-Methode bewirkt.

Auch zu den langfristig vorherrschenden Temperaturen gibt es eine verschiedene Standortbewertung. Insbesondere bei sehr niedrigen Durchschnittstemperaturen von unter 7°C (in der Regel Bergstandorte) und bei sehr hohen Temperaturen von über 9°C besteht offenbar eine geringere Überschätzung als im mittleren Temperaturbereich (Abb. 27, Tab. 2, Anlage 4). Bei sehr niedrigen Temperaturen konnten aber nur zwei Standorte ausgewertet werden, so dass hierbei keine genügend hohe Sicherheit gewährleistet ist. Auch führen die Mittelwertbildungen über die Varianten und über die Versuche zu einem differenzierten Auswertungsbild. Hiernach besteht eher der Eindruck, dass mit steigenden Temperaturen die Überschätzung mit den Methoden abnimmt.

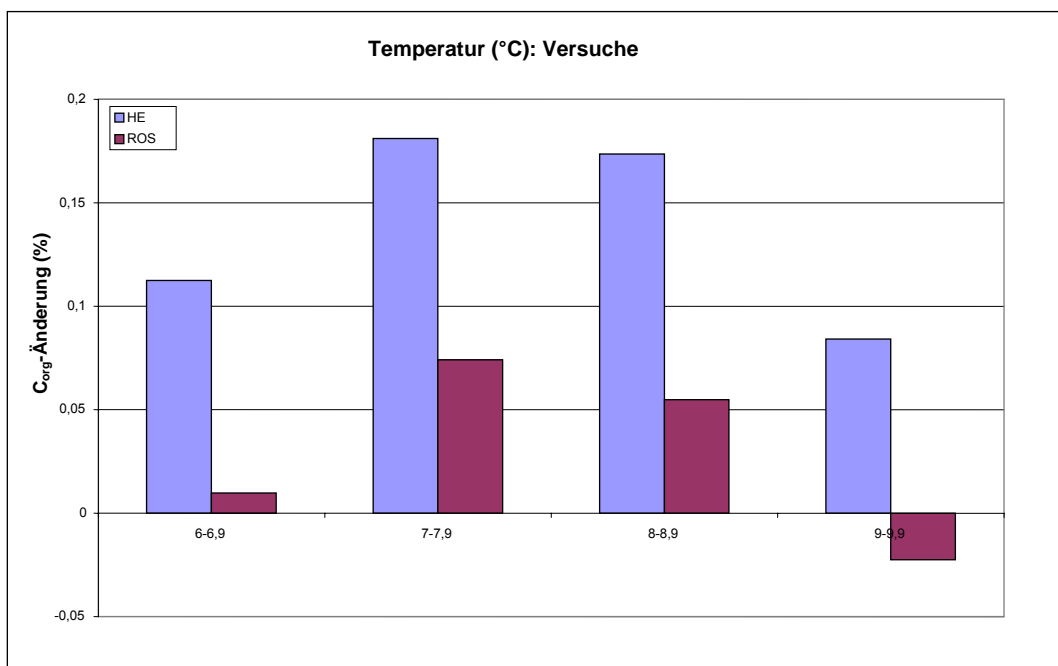
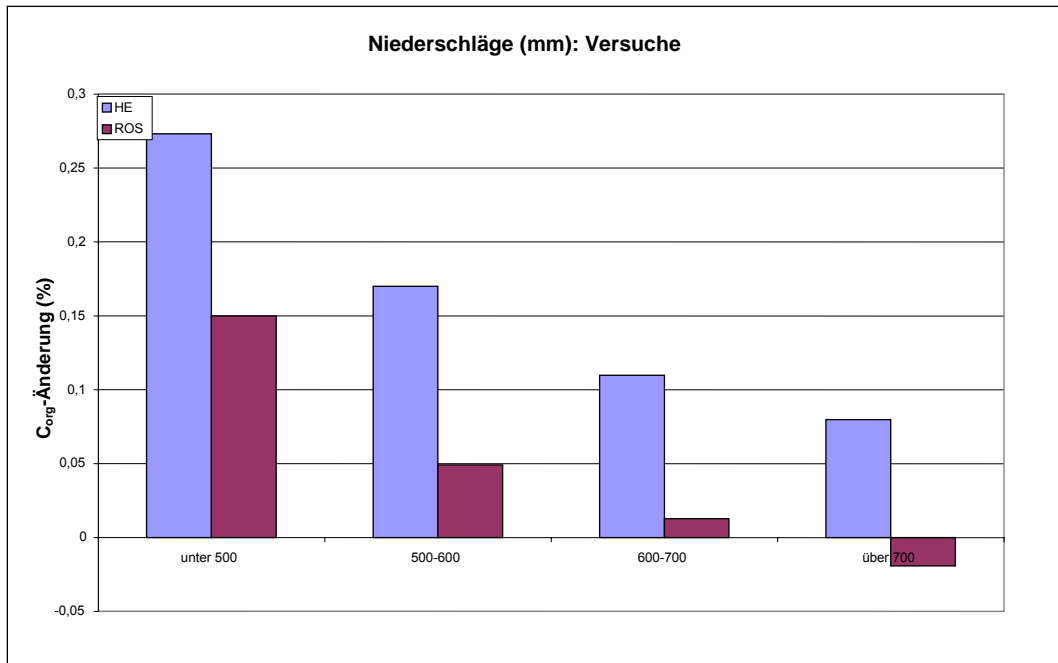


Abbildung 27: Einfluss steigender Niederschläge und Temperaturen auf die  $C_{org}$ -Gehalte bei 100 %-iger Bedarfsdeckung mit den Verfahren ROS und HE

#### **Einfluss steigender Anteile an Leguminosen und Hackfrüchte in der Fruchtfolge**

Nachfolgend ist der Einfluss steigender Anteile an Leguminosen (bei unterschiedlichen Anteilen von Getreide und Hackfrüchten) sowie der Einfluss steigender Anteile an Hackfrüchten (und komplementär fallenden Anteilen an Getreide, ohne Leguminosen) aufgezeigt worden (Abb. 28, siehe Tab. 2 in Anlage 4). Durch Anbau steigender Anteile an (in der Regel) Futterleguminosen (Kleegrass, Luzernegrass) erfolgt keine einheitliche Überschätzung der dann erzielten  $C_{org}$ -Gehalte, wenn eine 100 %-ige Bedarfsdeckung angestrebt wird.

In den praxisrelevanten Bereichen von 0 – 32 % Feldfutterbau (auch von Öko-Betrieben) wird die geringste Überschätzung mit der ROS-Methode erzielt, während hier die Überschätzung mit der HE-Methode besonders ausgeprägt erfolgt. Bei hohem Leguminosenanteil ist dieser Unterschied zwischen den beiden Verfahren etwas geringer. Hierbei standen aber nur 4 Versuche für die Auswertung zur Verfügung.

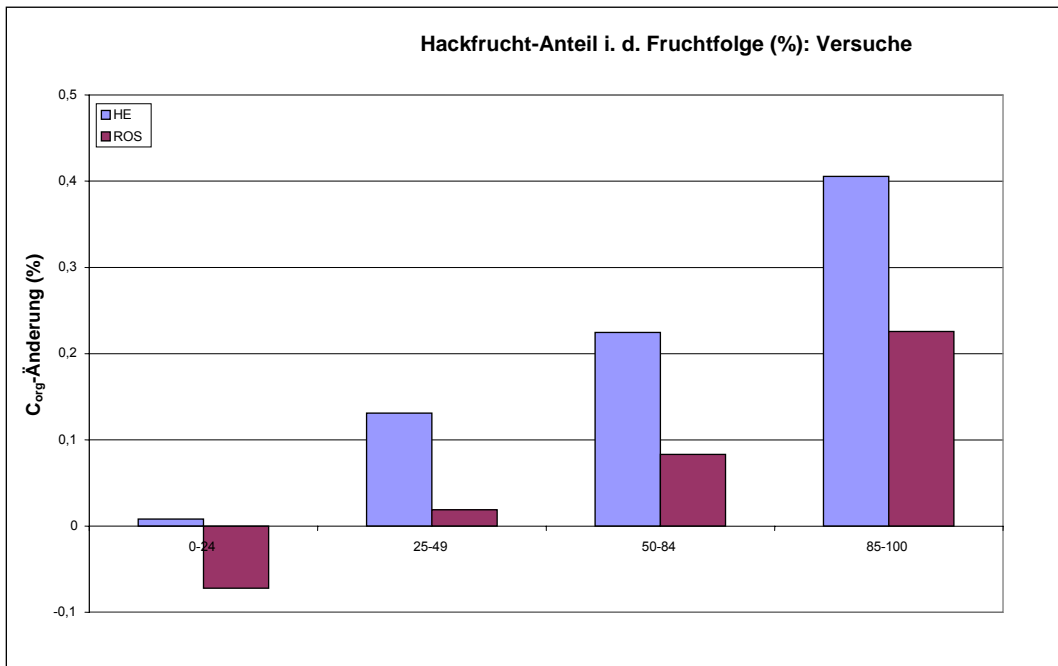
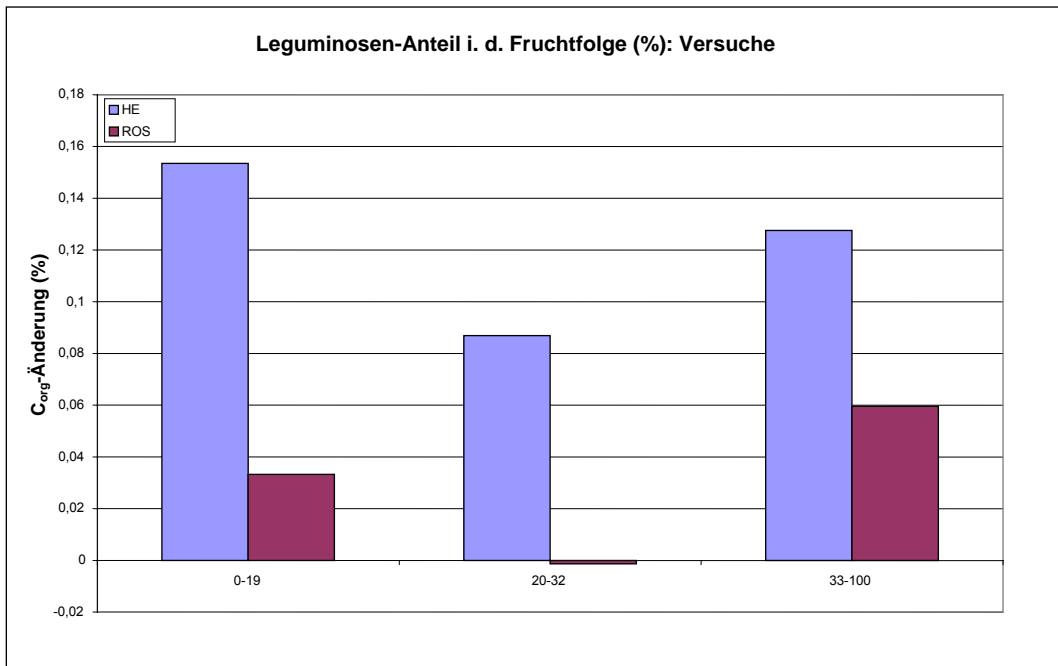


Abbildung 28: Einfluss steigender Anteile an Leguminosen-Futterbau und Hackfrüchten in der Fruchtfolge auf die C<sub>org</sub>-Gehalte bei 100 %-iger Bedarfsdeckung berechnet mit den Verfahren ROS und HE

In Folge steigender Hackfruchtanteile bzw. (komplementär fallender Getreideanteile) erfolgt eine deutlich sichtbare, ansteigende Überschätzung, insbesondere wiederum bei Anwendung der HE-Methode. Im praxisrelevanten Bereich (unter 50 % Hackfruchtanteil) ist aber eine rel. gute Übereinstimmung mit den  $C_{org}$ -Anfangswerten der Versuche gegeben. Auch besteht eine gleichwertige Verteilung der Versuche über die wichtigsten Bodenarten, so dass die Schätzung auf sicherer Basis erfolgt ist. In Systemen mit sehr hohem Hackfruchtanteil (Gemüsebau) könnte allerdings eine deutlichere Überbewertung vorliegen. Hierbei würde dann dem negativen Einfluss der Hackfrüchte eine zu große Bedeutung beim Humusabbau zugeschrieben werden, als es in der Wirklichkeit vorzufinden ist.

#### **Einfluss unterschiedlicher Feinanteile und C/N-Verhältnisse des Bodens**

Der Einfluss des Feinanteils zur Charakterisierung der Bodenart ist nicht einheitlich ausgefallen (Abb. 29, Tab. 2 in Anlage 4). Am besten scheinen beide Verfahren an die Bedingungen mittlerer Böden angepasst zu sein, denn hier ist die Überbewertung am geringsten. So ist das HE-Verfahren auf Grund von Versuchen am Standort Seehausen (sandiger Lehm) entwickelt worden. Sehr leichte Böden und schwere Böden werden wiederum deutlich mit dieser Methode überschätzt.

Ein sehr markanter Einfluss konnte dem gegenüber in Folge steigender C/N-Verhältnisse des Bodens festgestellt werden (Abb. 29, Tab. 2 in Anlage 4). Es wurde eine günstige Verteilung der Versuche auf die 4 Gruppen der C/N-Verhältnisse gefunden, so dass eine rel. gute Sicherheitsbasis für diese Ergebnisse besteht. Das C/N-Verhältnis hat sicherlich auf die Umsetzungsgeschwindigkeit der Böden einen deutlichen bodentypischen Einfluss. Je nach Bodenart sind Böden mit hohem  $C_{org}$ -Gehalt durch ein weites C/N-Verhältnis und umgekehrt Böden mit niedrigen  $C_{org}$ -Werten durch enge C/N-Verhältnisse gekennzeichnet. Auf Böden mit engem C/N-Verhältnis (in der Regel Lehm Böden des Flachlandes, außer Schwarzerden) wurde die geringste Überschätzung (HE) bzw. höchste Unterschätzung (ROS) vorgefunden. Auf diesen Böden können die Ausgangsgehalte ganz gut durch Anwendung der HE-Methode aufrecht erhalten werden.

Bei weiter werdenden C/N-Verhältnissen werden die  $C_{org}$ -Gehalte mit beiden Verfahren, aber besonders stark mit dem HE-Verfahren, überschätzt. Auf diesen Böden findet anscheinend ein wesentlich geringerer Abbau an Kohlenstoff statt, als es durch die in den Verfahren nieder gelegten Koeffizienten berechnet werden kann. Hierzu zählen sowohl Schwarzerden aus Lehm, Bergstandorte als auch die stark humiden leichten Böden Nordwest- und Süddeutschlands. Auf diesen Böden kommt es mit dem augenblicklichen Methodenansatz zu einer durchschnittlichen Überschätzung der  $C_{org}$ -Gehalte von +0,11 %  $C_{org}$  (= 110- 112 %) mit dem ROS-Verfahren und sogar von +0,21 %  $C_{org}$  (= 122 -124 %) mit dem HE-Verfahren bei einer Zielversorgung von jeweils 100 % Bedarfsdeckung.

Eine recht gute Anpassung an einen Humusausgleich besteht mit dem ROS-Verfahren bei C/N-Verhältnissen des mittleren Bereiches zwischen 9 – 12. Auf diesen Böden wird nur eine Überschätzung um 0,05 %  $C_{org}$  vorgefunden, während je nach Bezugsbasis hier bereits mit dem HE-Verfahren eine Überschätzung zwischen 0,11 % und 0,19 %  $C_{org}$  besteht.

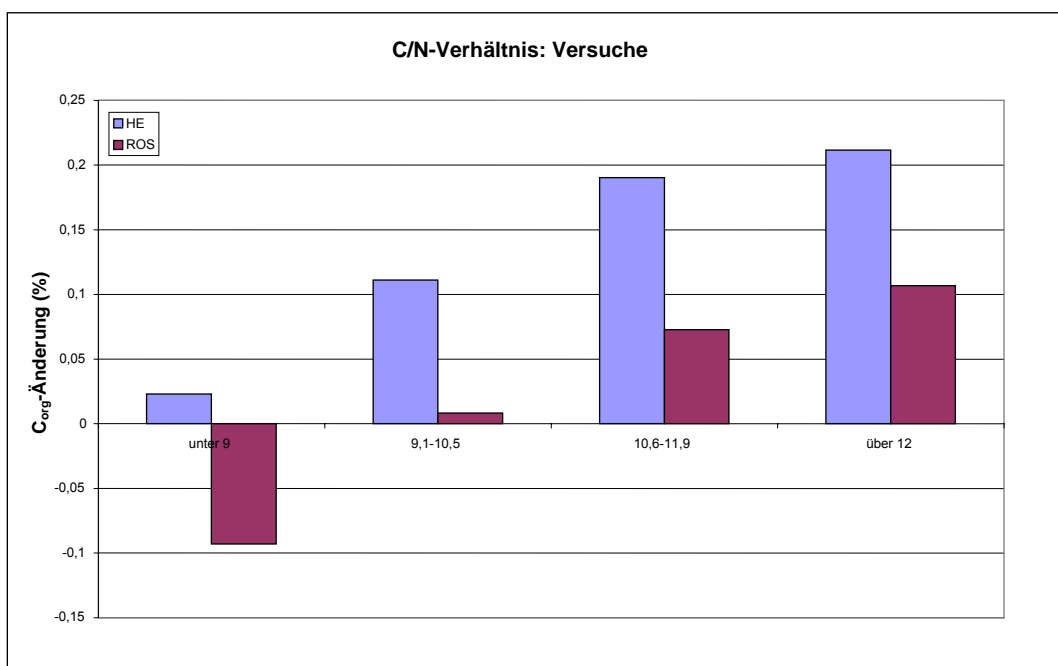
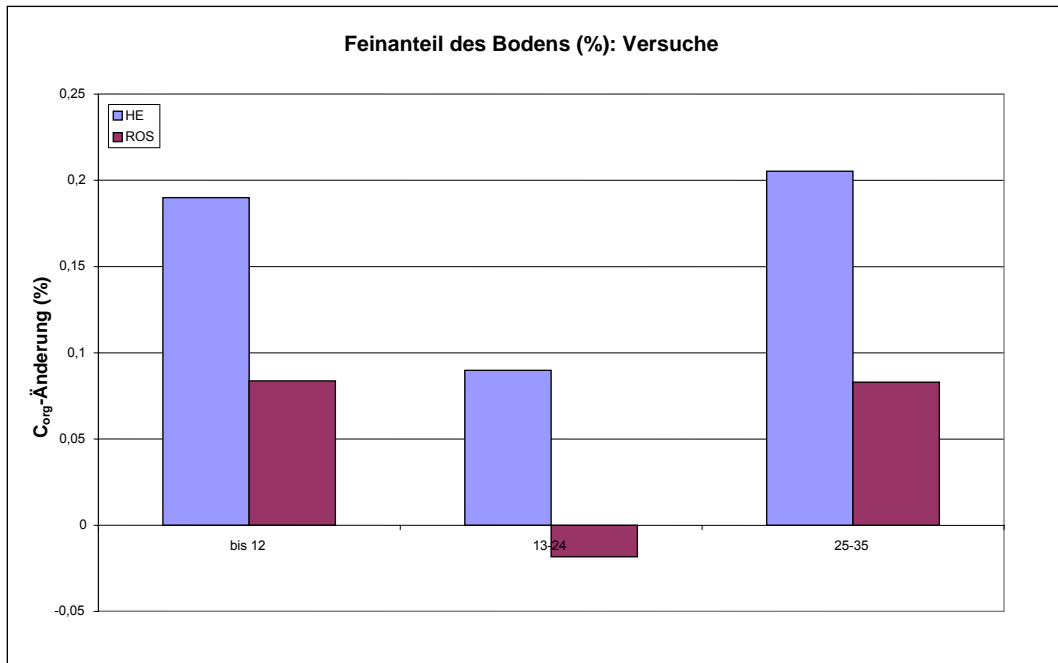


Abbildung 29: Einfluss steigender Feinanteile und C/N-Verhältnisse des Bodens auf die C<sub>org</sub>-Gehalte bei 100 %-iger Bedarfsdeckung berechnet mit den Verfahren ROS und HE

### **Einfluss des Ökologischen Landbaus**

Es konnten nur 3 Öko-Dauerversuche in die Auswertungen mit einbezogen werden, da es bisher nur eine sehr geringe Anzahl an Versuchen gibt, die eine Laufzeit von 10 Jahren deutlich überschreiten, damit eine fundierte Aussage auch über die eingetretenen Bodenveränderungen ermöglicht wird. Aus Tabelle 4 (in Kapitel Gesamtdarstellung) ist zunächst ersichtlich, dass sich die erhaltenen Ergebnisse über die HE- und ROS-Berechnungen der Dauerversuche mit Fragestellungen



des ökologischen Landbaus recht gut in die jeweilige Bodengruppe eingliedern. So ist für die Sandböden eine nur geringe Überschätzung oder, wie es sich am Öko-Versuch in Darmstadt abzeichnet, bereits eine geringe Unterschätzung mit der ROS-Methode charakteristisch.

Der Öko-Versuch auf dem Lehmboden von Therwil (Schweiz) ist durch eine besonders hohe Unterschätzung gekennzeichnet. Der Versuch kann daher gut zu den Lehmböden eingruppiert werden. Der Versuch in Järna (Schweden) ist durch niedrige Temperaturen und eine schwere Bodenart gekennzeichnet. Auf diesen Böden ist ein z.T. deutlicher Anstieg der  $C_{org}$ -Gehalte eingetreten, wenn auf 100 % Bedarfsdeckung gedüngt wird.

Abbildung 30 zeigt die Medianwerte, sowie untere und obere 25 % - Perzentile, Maximal- und Minimalwerte der drei geprüften Verfahren. Wie bei den konventionellen Versuchen ist auch hier eine stufenweise Unterscheidung zwischen den Verfahren abzulesen. Die Spannweite zwischen oberem 25 %-Perzentil und unterem Perzentil ist erheblich. Diese Spannweite kommt durch die ungenaue Analyse der jeweiligen Problemböden zustande. Ein Großteil der mit der ROS-Methode ermittelten Werte liegt im Minusbereich, das heißt es kommt in einem hohen Anteil der Fälle auch zu abnehmenden  $C_{org}$ -Werte bei Versorgung auf Bedarfsdeckung. Auf der anderen Seite wird nach Bemessung mit der ÖKO-Methode ein z.T. deutlicher Anstieg der  $C_{org}$ -Werte berechnet.

Der Abstand zwischen der ROS-Methode und der HE-Methode nimmt mit 0,08 %  $C_{org}$  einen etwas geringeren Wert an als bei der Gesamtdarstellung mit 0,11 %  $C_{org}$  (vgl. vorhergehende Kap.). Die Streuung der Werte ist sehr groß. Bei beiden Verfahren liegt ein erheblicher Anteil der Werte bereits im Minusbereich. Eine sichere Aussage ist daher kaum möglich. Der Abstand zwischen der HE-Methode und der ÖKO-Methode beträgt dann nochmals 0,15 %  $C_{org}$ , so dass im Durchschnitt der Versuche bereits eine Anreicherung von fast 0,2 %  $C_{org}$  bei Versorgung nach Bedarfsdeckung erfolgen würde. Der Schwankungsbereich ist bei diesem Verfahren noch größer. Selbst hierbei würde ein nicht unerheblicher Anteil sogar noch zu einer Abnahme der  $C_{org}$ -Gehalte führen (siehe Tab. 5, Gesamtauswertung).

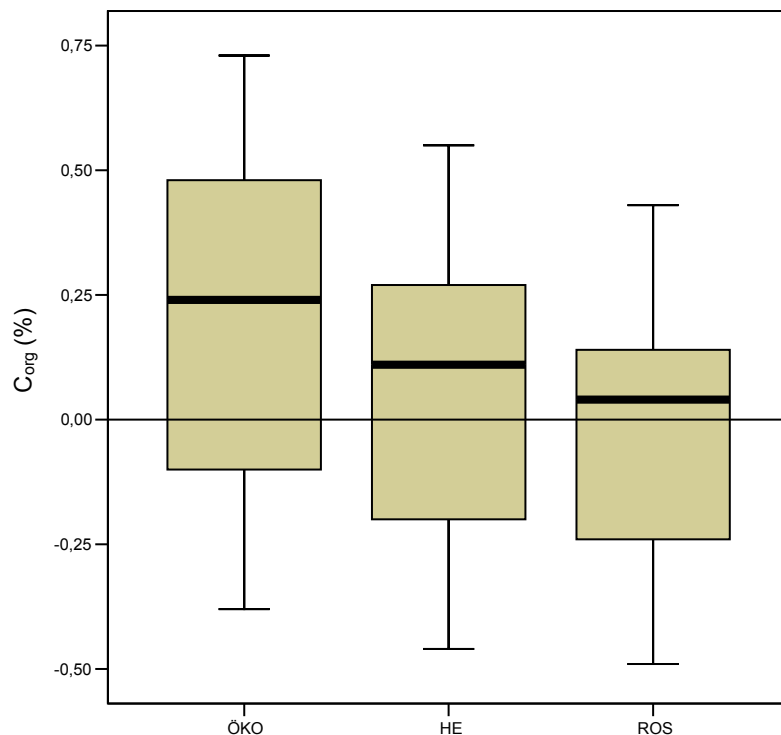


Abbildung 30: Median und Streubereiche in den berechneten  $C_{org}$ -Gehalten (%  $C_{org}$ ) der ÖKO-, HE- und ROS-Methode unter Einbeziehung aller praxisrelevanten Versuchsvarianten im Vergleich zu den jeweiligen Ausgangsgehalten (= 0,0 %  $C_{org}$ ) von Öko-Versuchen

Alle drei Versuche weisen Versuchsglieder sowohl mit ökologischen als auch mit konventionellen Fragestellungen auf. Hierdurch besteht die Möglichkeit einer differenzierten Bewertung. Zur Beantwortung der Fragestellung, ob deutliche Unterschiede zwischen den Systemen im Hinblick auf die Erfassungsgenauigkeit und die Humusdynamik bestehen, wurden jeweils die Varianten mit konventionellen und ökologischen Inhalten zu Gruppen zusammengestellt.

Wie aus der Darstellung (ohne Korrektur der Werte) zunächst zu ersehen ist, bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Anbausystemen, da in den ökologischen Varianten deutlich niedrigere Anreicherungen an  $C_{org}$ -Werten oder sogar eine Abreicherung bei Bewertung mit den drei Verfahren berechnet wurden. Das würde bedeuten, dass bei dieser Anbauform eine geringere Humusanreicherung stattfindet als bei konventionellem Anbau (Tab. 5, ohne Korrektur der Werte). Eine derartige Differenzierung könnte z.B. in den Öko-Varianten durch die verstärkte Bodenbewegung mit anschließender Mineralisierung und Humusabbau in Folge mechanischer Pflegemaßnahmen verursacht werden.

Nun ist aber aus vorausgehenden Kapiteln bekannt, dass die verwendeten Methoden diesbezüglich keinen exakten Vergleich erlauben, da bestimmte Faktorausprägungen zwischen den Systemen unterschiedlich bewertet werden. So ist bekannt, dass eine steigende N-Mineraldüngung die Bewertung mit den verwendeten Methoden gezielt verändert. Es kommt mit steigendem Einsatz an diesen Düngemitteln zu einer Zunahme der Überbewertung. Hierdurch würden die Veränderungen der Humusgehalte in konventionellen Anbauverfahren dann überbewertet und bei unterlassener Düngung im ökologischen Landbau unterbewertet. Auf der andern Seite wurde nach steigender Stalldüngung eine abfallende Überbewertung oder bei hohen Gaben sogar eine Unterschätzung festgestellt. Hierdurch würde für ökologische Verfahren dann eine geringere  $C_{org}$ -Anreicherung oder gar ein Abfall unterstellt werden.

Damit eine genaue Bewertung beider Anbauverfahren ermöglicht wird, müssen diese Faktoreinflüsse, die durch die verwendeten Verfahren entstehen, zunächst ausgeschaltet werden. Daher wurden alle (konventionellen) N-Mineraldüngungsvarianten um den durchschnittlichen Wert von  $-0,05\%$   $C_{org}$  (= Mineraldüngungseinfluss) herabgesetzt und alle konventionellen und ökologischen Stalldüngungsvarianten mit über  $90\text{ dt/ha}$  Zufuhr um einen mittleren Wert von  $+0,10\%$   $C_{org}$  heraufgesetzt (= Stalldüngungseinfluss) und in Tabelle 5 als korrigierte Werte integriert.

Tabelle 5: Abweichung zwischen im Feld gemessenen C<sub>org</sub>-Werten und den mit dem ÖKO-, HE- und ROS-Verfahren ermittelten absoluten und relativen Werten der Öko-Versuche, aufgegliedert nach konventionellen und ökologischen Versuchsgliedern versehen ohne und mit Ausgleichsberechnungen für N-Mineraldüngung und Stalldungwirkung

Ort, Land Varianten	Gesamtauswertung (ohne Wertekorrektur)						Konventionelle Bewirtschaftung (ohne Wertekorrektur)						Ökologische Bewirtschaftung (ohne Wertekorrektur)						Konventionelle Bewirtschaftung (mit Wertekorrektur)						Ökologische Bewirtschaftung (mit Wertekorrektur)					
	ÖKO		HE		ROS		ÖKO		HE		ROS		ÖKO		HE		ROS		ÖKO		HE		ROS		ÖKO		HE		ROS	
	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)	abs. C <sub>org</sub> (%)	rel. C <sub>org</sub> (%)
<b>Therwil, Schweiz</b>																														
1 D2 StmKom 114 dt	-0,24	86	-0,33	80	-0,37	78							-0,24	86	-0,33	80	-0,37	78							-0,14	96	-0,23	90	-0,27	88
2O2 Stallm 114 dt	-0,28	83	-0,36	78	-0,39	77							-0,28	83	-0,36	78	-0,39	77							-0,18	93	-0,26	88	-0,29	87
5 D1 StmKorn 57 dt	-0,1	94	-0,2	88,0	-0,24	86,0							-0,1	94	-0,2	88,0	-0,24	86,0							-0,1	94	-0,2	88,0	-0,24	86,0
6 O1 Stallm 57	-0,18	89	-0,27	84,0	-0,30	82,0							-0,18	89	-0,27	84,0	-0,30	82,0							-0,18	89	-0,27	84,0	-0,30	82,0
4 M2 O	0,04	102	-0,06	96,0	-0,10	94,0	0,04	102	-0,06	96,0	-0,10	94,0							-0,01	97	-0,11	91	-0,15	90						
7 K1 O	-0,25	85	-0,34	80,0	-0,37	78,0	-0,25	85	-0,34	80,0	-0,37	78,0							-0,3	80	-0,39	75	-0,42	73						
3 K2 Stallm 114 dt	-0,38	77	-0,46	72,0	-0,49	71,0	-0,38	77	-0,46	72,0	-0,49	71,0							-0,33	82	-0,41	77	-0,44	76						
<b>Järna, Schweden</b>																														
160 Mistkompost	0,43	117	0,24	110	0,11	105							0,43	117	0,24	110	0,11	105							0,53	127	0,34	120	0,21	115
160 Mistkompost	0,19	108	0,01	100,0	-0,13	96,0							0,19	108	0,01	100,0	-0,13	96,0							0,29	118	0,11	110	-0,03	105
160 Frischmist	0,6	124	0,41	116,0	0,28	112							0,6	124	0,41	116,0	0,28	112							0,7	134	0,51	126	0,38	122
ohne	0,48	119	0,27	111	0,14	106							0,48	119	0,27	111	0,14	106							0,48	119	0,27	111	0,14	106
80 Frischmist	0,73	129	0,55	122,0	0,43	117	0,73	129	0,55	122,0	0,43	117							0,68	124	0,5	117	0,38	112						
ohne	0,48	119	0,27	111	0,14	106	0,48	119	0,27	111	0,14	106							0,48	119	0,27	111	0,14	106						
ohne	0,45	118	0,21	109,0	0,09	104,0	0,45	118	0,21	109,0	0,09	104,0							0,4	113	0,16	104	0,04	99						
ohne	0,6	124	0,4	116,0	0,27	111,0	0,6	124	0,4	116,0	0,27	111,0							0,55	119	0,35	111	0,22	106						
ohne	0,54	122	0,35	114,0	0,22	109,0	0,54	122	0,35	114,0	0,22	109,0							0,49	117	0,3	109	0,17	104						
<b>Darmstadt, BRD</b>																														
11 Stroh	0,24	129	0,11	114,0	0,04	105	0,24	129	0,11	114,0	0,04	105							0,19	124	0,06	109	-0,01	100						
12 Stroh	0,25	130	0,12	114,0	0,05	106	0,25	130	0,12	114,0	0,05	106							0,2	125	0,07	109	0	101						
13 Stroh	0,27	133	0,14	118,0	0,07	109	0,27	133	0,14	118,0	0,07	109							0,22	128	0,09	113	0,02	104						
21 Stallm 109 dt	0,04	104	-0,1	90,0	-0,18	80							0,04	104	-0,1	90,0	-0,18	80							0,14	114	0	100	-0,08	90
31 Stallm 109 dt	0,04	104	-0,09	91,0	-0,17	83							0,04	104	-0,09	91,0	-0,17	83							0,14	114	0,01	101	-0,07	93
22 Stallm 182 dt	-0,1	89	-0,21	77	-0,28	69																								
23 Stallm 245 dt	-0,29	69	-0,43	55	-0,52	45																								
32 Stallm 182 dt	-0,18	83	-0,29	72	-0,36	65																								
33 Stallm 245 dt	-0,35	69	-0,49	55	-0,58	47																								
<b>Mittelwerte</b>																														
Anzahl Varianten:	21	21	21	21	21	21	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10
	0,19	109	0,04	101	-0,04	96	0,27	115	0,12	106	0,03	101	0,10	103	-0,04	95	-0,13	90	0,12	108	0,01	100,0	-0,13	96,0	0,17	110	0,03	102	-0,06	97
Mittel (ALLE)	0,12	104	-0,02	95	-0,11	90	0,27	115	0,12	106	0,03	101	0,10	103	-0,04	95	-0,13	90	0,23	112	0,08	102	0,00	97	0,17	110	0,03	102	-0,06	97
s:	0,34	17,76	0,29	15,79	0,26	14,40	0,35	19,00	0,30	16,30	0,27	14,27	0,32	14,47	0,27	13,63	0,23	13,04	0,33	17,28	0,29	14,60	0,25	12,56	0,32	15,72	0,28	14,57	0,23	13,68
Vk (%)	179,1	16,2	706,0	15,7	-598,6	15,0	129,2	16,5	259,7	15,4	842,6	14,1	322,1	14,1	-640,1	14,4	-182,6	14,4	143,1	15,5	357,8	14,3	-554,7	12,9	192,0	14,3	986,3	14,3	-426,3	14,0
MW Darmstadt (Öko), RP	0,17	120	0,04	105	-0,04	97	0,25	131	0,12	115	0,05	107	0,04	104	-0,10	91	-0,18	82	0,20	126	0,07	110	0,00	102	0,14	114	0,01	101	-0,08	92
MW Schweiz (Öko)	-0,20	88	-0,29	83	-0,32	81	-0,20	88	-0,29	83	-0,32	81	-0,20	88	-0,29	83	-0,33	81	-0,21	86	-0,30	81	-0,34	80	-0,15	93	-0,24	88	-0,28	86
MW Schweden (Öko)	0,50	120	0,30	112	0,17	107	0,56	122	0,36	114	0,23	109	0,43	117	0,23	109	0,10	105	0,52	118	0,32	110	0,19	105	0,50	125	0,31	117	0,18	112
MW Standorte	0,16	109	0,02	100	-0,06	95	0,21	114	0,06	104	-0,01	99	0,09	103	-0,05	94	-0,13	89	0,09	103	0,03	101	-0,05	96	0,16	111	0,02	102	-0,06	92

Ein erneuter Vergleich der Werte zwischen beiden Anbauformen zeigt, dass bei vollem Ausgleich kaum noch Unterschiede zwischen den Anbausystemen zu verzeichnen sind. Diese Ergebnisse werden auch von den CCB-Berechnungen (siehe Kapitel 5.1.3) gestützt, nach denen ebenfalls kaum Unterschiede zwischen den Systemen fest zu stellen waren. Dies würde einerseits bedeuten, dass keine großen Unterschiede in der Humusdynamik zwischen den beiden Systemen bestehen, die nicht auch bereits auf die beschriebenen Faktoren zurückgeführt werden könnten. Auf der anderen Seite könnte dies ein Hinweis dafür sein, dass es kaum erforderlich ist, für beide Anbauformen unterschiedliche Mindestanforderungen an die standorttypische Humussicherung zu stellen. Ein Verfahren würde dann für beide Systeme ausreichen.

### **5.2.2 Höhe der mittleren Stallung-Menge, N-Düngung, N-Salden und Erträge in Versuchsvarianten, die eine 100 %-ige Bedarfsdeckung aufweisen**

Aus den Ergebnissen von insgesamt 19 konventionellen Versuchen sowie 3 Öko-Versuchen wurden Berechnungen der ROS-Methode (Standard, untere Grenze), der HE-Methode (obere Grenze) sowie der ÖKO-Methode auf die nachfolgenden Fragestellungen untersucht:

1. Wie hoch ist in den Versuchs-Varianten, die einer 100 %igen Bedarfsdeckung gleich oder sehr nahe kommen, die Düngung mit Stallung, anderen organischen Komponenten sowie mit mineralischen N-Düngemitteln?
2. Wie hoch ist in diesen Varianten die gemessene/berechnete Feldbilanz für Stickstoff nach langer Versuchsdauer, d.h. nach dem Bodenveränderungen praktisch auszuschließen sind?
3. Wie hoch ist in diesen Varianten das erzielte Ertragsniveau der Kulturarten und wie ist das Ertragsniveau im Vergleich zu dem maximal erzielten Ertragsniveau der Versuche einzustufen?

Bei der Auswahl der Varianten wurde bei Verwendung der HE-Methode auf eine etwas reduzierte N-Düngung (bis ca. 150 kg N/ha) und bei Auswahl optimaler Varianten nach ROS-Anwendung auf eine etwas betontere N-Mineraldüngung (50 – 200 kg/ha) geachtet. Bei Anwendung der ÖKO-Methode wurden Varianten ohne Anwendung von N-Mineraldüngern ausgewählt. Es wurden jeweils Varianten als optimal angesehen, die eine 100 %-ige Bedarfsdeckung mit organischer Substanz erreicht haben.

#### **Konventionelle Versuche**

Im Durchschnitt von 19 Versuchen wurden folgende Merkmale ermittelt (Tab. 6). Bei Anwendung der HE-Methode beträgt das durchschnittliche Niveau an Stallung in etwa 111 – 145 dt/ha, sowie 11 – 25 dt/ha an Stroh. Bei Anwendung der ROS-Methode werden 80 – 103 dt/ha Stallung und 10 – 23 dt/ha Stroh als optimal angesehen. Außerdem wurde ein durchschnittliches N-Düngungsniveau von 94 kg/ha (HE) und 131 kg/ha (ROS) ermittelt.

Das Niveau der N-Salden (ermittelt bei 100 % Nährstoffanrechnung aber ohne N-Deposition) betrug dann in den Versuchen bei erhöhter organischer/reduzierter mineralischer N-Düngung nach Anwendung der HE-Methode 42 kg/ha. Bei insgesamt nicht ganz 20 kg höherer Gesamt-N-Zufuhr wurde nach Anwendung der ROS-Methode ein N-Saldo von 56 kg/ha vorgefunden (Tab. 6). Eine vereinfachte Berechnung der Feldbilanz auf Grund von Tabellenwerken (wie sie z.B. für die Düngerverordnung anzuwenden sind, 100 % Anrechnung, ohne N-Deposition) führte zu ähnlichen Resultaten, wenn die Koppelprodukte auf dem Feld verbleiben (Tab. 7). Es besteht daher eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den in den Versuchen vorgefundenen und den berechneten Werten. Werden die Koppelprodukte abgefahren (was heute nur noch selten vorkommt), so reduzieren sich die Saldowerte entsprechend.

Tabelle 6: Merkmale ausgesuchter Optimal-Varianten, berechnete resultierende Mengen an Stallung zur genauen Erreichung einer 100 %-igen Bedarfsdeckung sowie der N-Feldbilanz im Durchschnitt von 19 konventionellen Versuchen

Versuchsort	Nr.	HE (obere Grenze)					ROS (untere Grenze)				
		Stallung (dt/ha)	Andere organ. Materialien (dt bzw. m³/ha)	N-Mineraldüngung (kg/ha)	N-Saldo (kg/ha)	Stallungsbedarf (dt/ha)	Stallung (dt/ha)	Andere organ. Materialien (dt bzw. m³/ha)	N-Mineraldüngung (kg/ha)	N-Saldo (kg/ha)	Stallungsbedarf (dt/ha)
Bad Lauchstädt	3	150	-	50	-4	+46	100	-	99	+5	+5
Puch	26a	-	18 Stroh, 10 Gülle	100	+56	-5	100	18 Stroh+GD	160	+49	-7
Puch	26b	-	18 Stroh+GD	100	+32	+35	-	18 Stroh+GD	160	+61	-19
Dahlem	41	-	40 Stroh+GD	89	+26	0	100	20 Stroh+GD	117	+55	-15
Dikopshof	45	120	-	46	+20	-3					
Groß Kreuz	85	182	-	125	+70	-20	91	-	175	+65	+23
Halle	96	-	50 Stroh	113	+1	+48	-	50 Stroh	150	+14	-12
Müncheberg	118	135	-	95	+46	+55	126	-	131	+69	-8
Müncheberg	125	150	GD	65	+82	+15	150	-	80	+67	-25
Seehausen	140	-	20 Gülle	75	+71	+3	-	13 Gülle	150	+96	+3
Seehausen	143	150	-	102	+77	+9	150	-	99	+73	+31
Seehausen	148						158	-	143	+79	+15
Spröda	156	61	-	175	+76	+30	61	-	175	+76	-8
Thyrow	165	150	-	38	+60	+14	150	-	75	+80	-33
Thyrow	168	100	-	85	+50	+53	100	-	113	+74	+10
Belgien	171	72	13 Stroh	113	+12	+22	-	25 Stroh+GD	122	+17	+137
Speyer	153	50	24 Stroh+GD	113	+55	+56	50	24 Stroh+GD	142	+70	-17
Dülmen	58	0	37 Stroh+GD	90	+33	+25	28	19 Stroh+GD	84	+26	+10
Methau	158	100	-	123	-2	+96	75	6 Stroh	183	+40	+38
<b>Mittelwert 1</b>		<b>118 (+27 = 145)</b>	<b>25</b>	<b>94</b>	<b>+42</b>	<b>+27</b>	<b>103 (+0,3 = 103)</b>	<b>23</b>	<b>131</b>	<b>+56</b>	<b>+0,3</b>
<b>Mittelwert 2</b>		<b>84 (+27 = 111)</b>	<b>11</b>	<b>94</b>	<b>+42</b>	<b>+27</b>	<b>80 (+0,3 = 80)</b>	<b>10</b>	<b>131</b>	<b>+56</b>	<b>+0,3</b>

- 1) Nur Fälle mit Düngungsmaßnahmen gewertet  
2) Alle Fälle gewertet

Tabelle 7: An Hand von Tabellenwerken berechnete Feldbilanzen für Optimal-Varianten ermittelt durch das HE- und ROS-Verfahren aus 19 Dauerversuchen

Feldbilanz für Stickstoff	HE			ROS		
	Zufuhr (kg/ha)	Abfuhr (kg/ha)	Saldo (kg/ha)	Zufuhr (kg/ha)	Abfuhr (kg/ha)	Saldo (kg/ha)
Ohne Koppelprodukt-Abfuhr	159	122	+37	180	126	+54
Mit Koppelprodukt-Abfuhr	159	157	+2	180	161	+19

Tabelle 8: Ertragsniveau der Kulturarten sowie an Getreideeinheiten im Durchschnitt der Optimal-Varianten von 19 Dauerversuchen

Kulturart		HE	ROS
	Anzahl Versuche	Ertrag (dt/ha)	Ertrag (dt/ha)
Zuckerrüben	10	528	537
Kartoffeln	13	322	337
Silo-Mais	6	397	404
Futtergras	2	599	606
W.-Weizen	13	60	62
S.-Gerste	10	37	39
W.-Roggen	6	49	51
W.-Gerste	4	54	58
Hafer	3	50	50
Getreideeinheiten (GE) 1)		67	69

1) Futtergras nicht bewertet

In den Optimal-Varianten werden die in Tabelle 8 im Einzelnen aufgeführten Erträge der Kulturarten vorgefunden (jeweils Mittelwerte mehrerer Fruchtfolgeperioden). Im Durchschnitt ist ein Ertragsniveau von 67 dt GE/ha bei Anwendung der HE-Methoden und von 69 dt GE/ha bei Verwendung der ROS-Methode ermittelt worden.

Die vorgefundenen Erträge waren in den Optimal-Varianten oft relativ nahe bei den Maximalerträgen angesiedelt. Dies kann an entsprechenden Versuchen, die Varianten mit deutlich abgestuften Zufuhrmengen an Düngemitteln enthalten, verdeutlicht werden. Am Beispiel des Versuches Nr. 85 (Groß Kreuz) geht hervor, dass mit beiden Methoden dieses „optimale“ Ertragsniveau auch erreicht wird (Abb. 31). Durch die ROS-Methode wird eine Kombination aus ungefähr (91 + 23 =) 114 dt/ha Stallung und 175 kg/ha N-Mineraldüngung als optimal angesehen (vgl. Tab. 6). Bei Anwendung der HE-Methode wird eine Stallungsmenge von (182 - 20 =) 162 dt/ha und eine N-Mineraldüngung von 125 kg als günstig angesehen. Beide Verfahren erreichen ein in etwa gleich hohes Ertragsniveau.

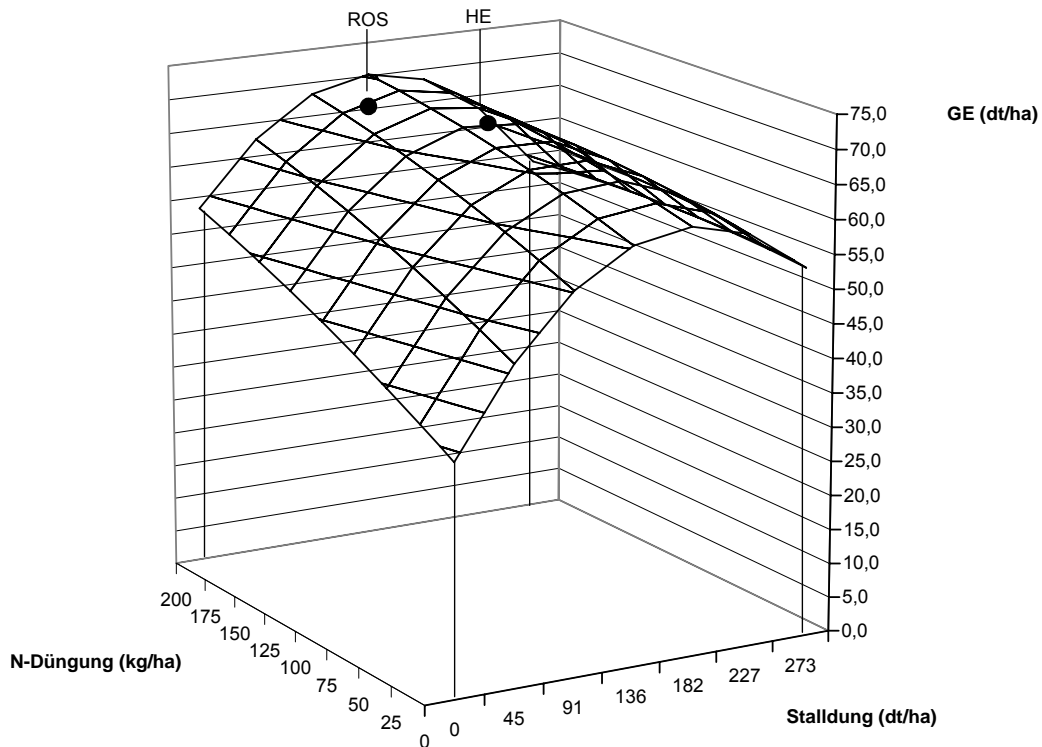


Abbildung 31: Ertragsniveau in Optimalvarianten bei 100 %-iger Bedarfsdeckung mit organischer Substanz, ermittelt mit den Methoden ROS und HE am Beispiel des Versuches Nr. 85 (Groß Kreuz)

Grundsätzlich bestehen nicht sehr enge positive Beziehungen zwischen den in den Versuchen gefundenen N-Salden und den berechneten Bedarfswerten an organischer Substanz (Abb. 32). Die N-Salden sind zunächst abhängig von der Menge an zugeführter organischer Düngung. Mit steigender Zufuhr werden die Salden erhöht. Hierbei besteht allerdings eine hohe Streuung entsprechend den verschiedenen organischen Materialien mit unterschiedlich hohen N-Gehalten (z.B. Stroh u. Gülle). Dies kann gut an der Streubreite der Werte der Varianten ohne N-Mineraldüngung erkannt werden.

Auch eine steigende N-Mineraldüngung führt zu einer deutlichen Erhöhung der N-Salden. In gewissen Grenzen kann eine abnehmende Zufuhr an organischen Materialien durch eine steigende N-Düngung ersetzt werden, um gleich hohe N-Salden zu gewährleisten (z.B. 50 kg N/ha). Somit kann verdeutlicht werden, dass bei Anwendung der ROS-Methode mit ihrem geringeren Anspruch in der Zufuhr organischer Materialien ein etwas höheres N-Düngungsniveau möglich erscheint, um einen bestimmten Wertebereich an N-Salden nicht zu übersteigen (Abb. 32).

Bei Anwendung der HE-Methode demgegenüber besteht ein höherer Anspruch in der Zufuhr an organischen Materialien (vgl. Abb. 32 u. Abb. 33). Der Optimalbereich (0 t/ha) ist weiter nach rechts verschoben. Daher muss dann das N-Düngungsniveau etwas reduziert werden, damit im Durchschnitt ein bestimmter Wertebereich in den N-Salden nicht überschritten wird. Je extensiver das N-Düngungsniveau ist, umso höher kann die Versorgung mit organischer Substanz angesetzt werden. Es ist deutlich zu sehen, dass z.B. bei gänzlichem Verzicht auf eine N-Mineraldüngung die langfristige Zufuhr an organischer Düngung höher liegen kann als bei entsprechend hoher N-Mineraldüngung. Diese Darstellungen sollten dazu beitragen können, die Versorgungs- oder Saldengruppen A – E insbesondere im oberen Wertebereich D – E entsprechend günstig einzuteilen.

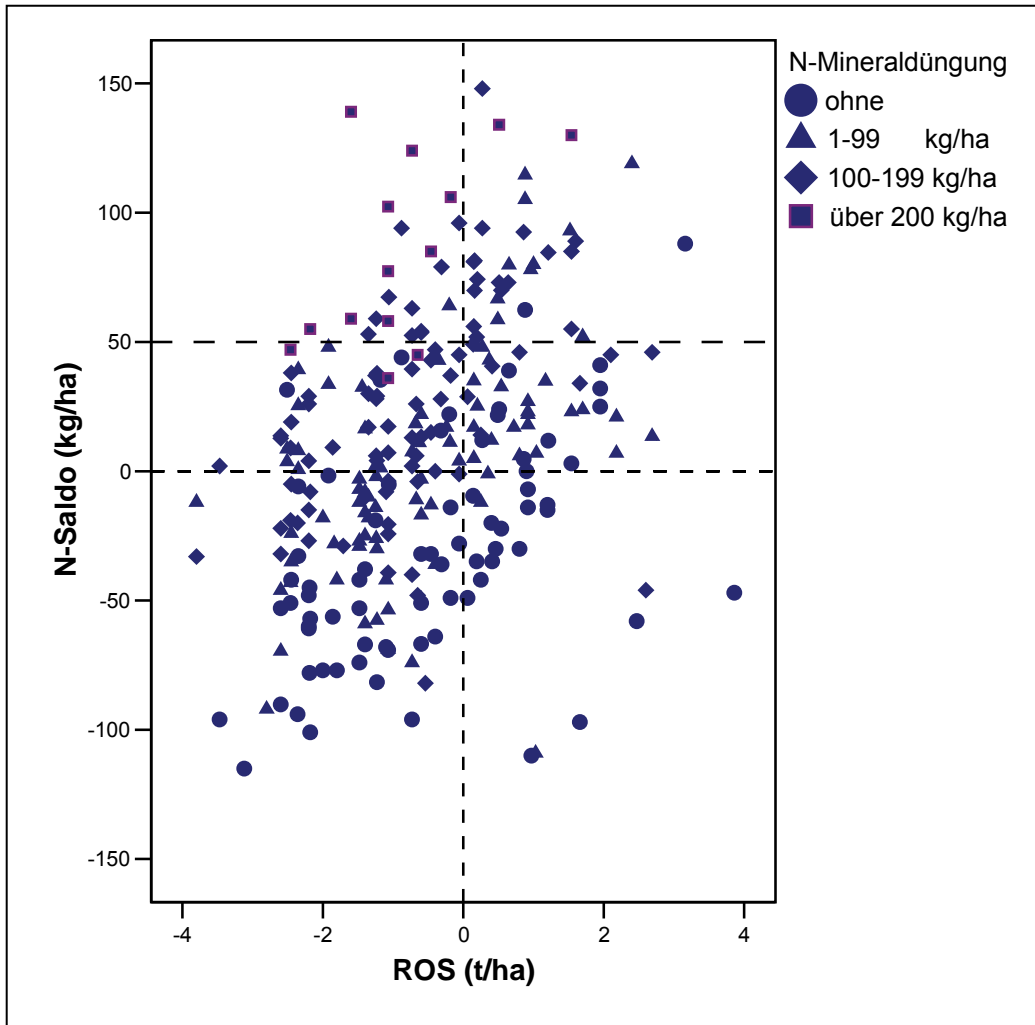


Abbildung 32: Beziehungen zwischen den in allen Versuchsvarianten gefundenen N-Salden und den mit dem ROS-Verfahren berechneten Bedarf an organischen Materialien (0 t/ha = 100 % Bedarfsdeckung)



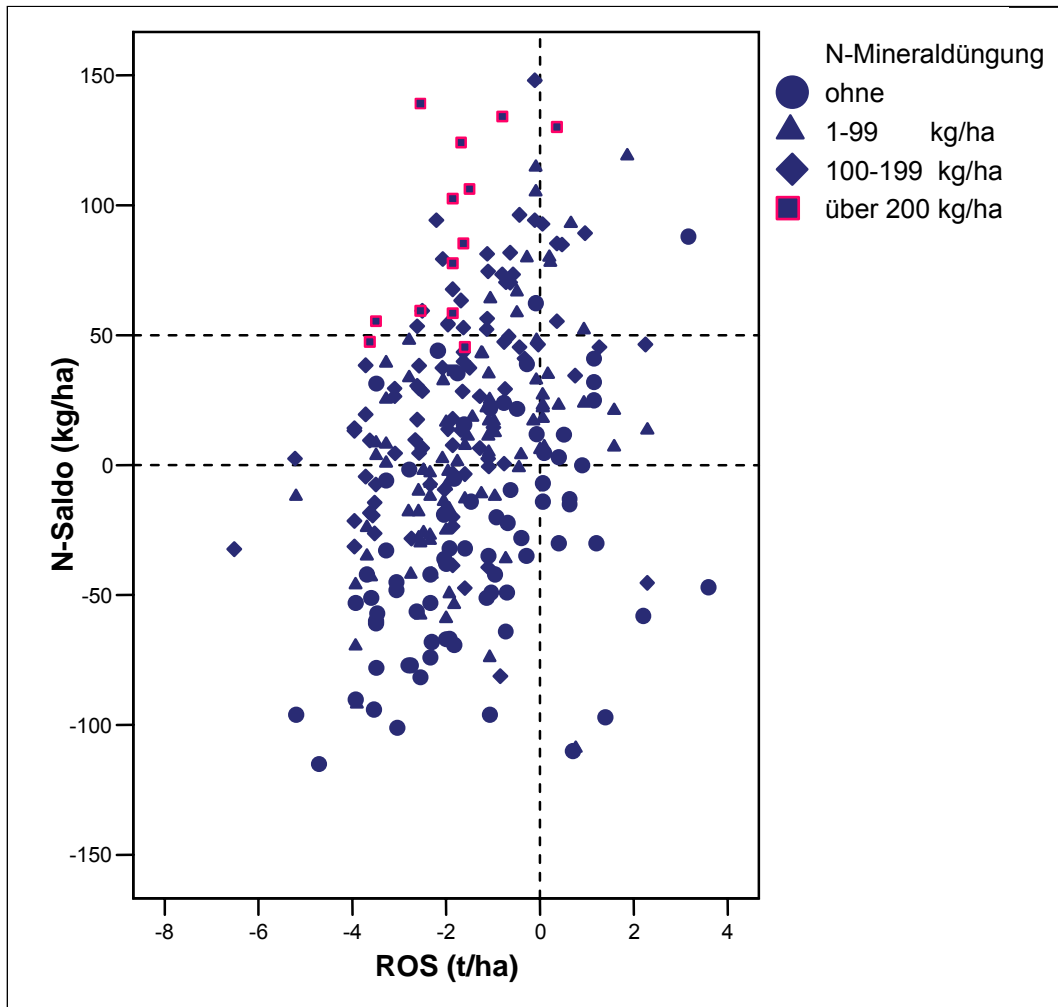


Abbildung 33: Beziehungen zwischen den in allen Versuchsvarianten gefundenen N-Salden und den mit dem HE-Verfahren berechneten Bedarf an organischen Materialien (0 t/ha = 100 % Bedarfsdeckung)

### Ökologischer Landbau

Zur Beurteilung der Situation für den Ökologischen Landbau wurden die Methoden ÖKO, HE und ROS eingesetzt und Optimal-Varianten aus den 3 Dauerversuchen ermittelt, die einer 100%igen Bedarfsdeckung am nächsten standen (Tab. 9). Es wurden Varianten ausgesucht, die wiederum dem Charakter der Methode nahe kommen.

Im Vergleich zu den Auswertungen der konventionellen Versuche (siehe vorhergehendes Kapitel) wurden mit den Methoden vergleichsweise niedrigere Mengen für eine optimale Stallung-Versorgung ermittelt. So wurde für die ÖKO-Methode eine Stallungsmenge von 108 dt als optimal angesehen, für HE eine um 74 dt und für ROS eine um 51 dt/ha und Jahr. Dies sind zwischen 29 dt und 37 dt/ha geringere Mengen an Stallung in den ökologischen Versuchen im Vergleich zu den konventionellen Versuchen. Der Unterschied in den optimal anzusehenden Werten kann auf den wesentlich höheren Anteil an Futterleguminosen in den Öko-Versuchen zurückgeführt werden. Stallung kann hierbei durch den Futterbau ersetzt werden.

Durch Bemessung mit der ÖKO-Methode wurde ein Ertragsniveau (ohne Kohl und Futterbau) von 68 dt/ha Getreideeinheiten bei 100%iger Abdeckung registriert. Nach HE-Bemessung waren es im Durchschnitt 72 dt und nach ROS-Bemessung 73 dt/ha GE. Auch bei diesen Versuchen wurden

ähnliche Ergebnisse erzielt wie bei der vorhergehenden Auswertung der konventionellen Versuche. Das Ertragsniveau liegt auf etwas höherem Niveau, da die ÖKO-Versuche aus der jüngeren Vergangenheit stammen, die durch ein allgemein höheres Ertragsniveau der Kulturarten gekennzeichnet ist als entsprechende Versuche die vor längerer Zeit durchgeführt worden sind.

Die in den Versuchen ermittelten N-Salden sind nicht einfach zu interpretieren, da sie deutlich von der Ausprägung des Standortes abhängen. So ist der Öko-Versuch in der Schweiz, wie bei allen Lehmstandorten, durch eine ausgeprägte allgemeine Abnahme der  $C_{org}$ -Gehalte selbst nach rel. hoher organischer Düngung gekennzeichnet (Tab. 9). Hierdurch sind dann die Abfuhrer auf diesem fruchtbaren Boden sehr hoch, so dass in konventionellen und ökologischen Varianten des Versuches z.T. stark negative Salden ermittelt werden. In der Tendenz werden mit der ROS-Methode etwas höhere Werte in den Salden ermittelt als mit den anderen beiden Methoden. Diese Gewichtung bleibt auch erhalten, wenn die N-Bilanzen mit Tabellenwerten ermittelt werden (ohne Futterbau, Kohl; Tab. 10).

Tabelle 9: Merkmale ausgesuchter Optimal-Varianten sowie die berechneten resultierenden Bedarfswerte an Stallung zur genauen Erreichung einer 100 %-igen Bedarfsdeckung mit organischer Substanz der ökologischen Dauerdüngungsversuche

Standort	Nr.	Stallung (dt/ha)	N-Mineraldügg. + Legumin.-N (kg/ha)	N-Saldo (kg/ha)	Stallung-Bedarf (dt/ha)	Erträge <sup>1)</sup> (dt/ha)				
						Kartoffeln	Weizen	Rüben/ Rote Bete	Gerste/ Roggen	Weißkohl
<b>ÖKO-Methode</b>										
Darmstadt	57	146	0+57	+37	-36	239	37	-	27	-
Schweiz	213	57	87	-105	-7	332	39	543	38	422
Schweden	210	160	0+50	+33	+4	356	32	464	-	-
Mittelwert		121 (-13 = 108)	65	-12	-13	309	36	504	33	422
<b>HE-Methode</b>										
Darmstadt	57	109	0+57	+21	-17	223	36	-	26	-
Schweiz	213	38	113	-95	-11	417	44	594	42	466
Schweden	210	120	16+42	+20	-18	359	33	463	-	-
Mittelwert		89 (-15 = 74)	76	-18	-15	333	38	529	34	466
<b>ROS-Methode</b>										
Darmstadt	57	64	59+57	+50	-12	254	39	-	32	-
Schweiz	213	29	126	-87	-11	398	44	584	41	463
Schweden	210	40	75+38	+18	+45	364	33	471	-	-
Mittelwert		44 (+7 = 51)	118	-6	+7	339	39	528	37	463

<sup>1)</sup> Darmstadt: 25 % Klee/Luzerne in der Fruchtfolge  
 Schweiz: 14 % Klee gras in der Fruchtfolge  
 Schweden: 25 % Klee gras in der Fruchtfolge

Tabelle 10: An Hand von Tabellenwerken ermittelte Feldbilanzen für Stickstoff für die Optimal-Varianten der untersuchten Öko-Versuche

Methode	Zufuhr (kg/ha)	Abfuhr (kg/ha)	Saldo (kg/ha)
<b>Ohne Koppelproduktabfuhr</b>			
ÖKO	124	74	+50
HE	117	78	+39
ROS	146	81	+65
<b>Mit Koppelproduktabfuhr</b>			
ÖKO	124	96	+28
HE	117	102	+15
ROS	146	105	+41

Ohne Koppelprodukt-Abfuhr werden Werte zwischen +39 kg und +65 kg N/ha und mit Abfuhr im Bereich +15 kg bis +41 kgN/ha ermittelt. Das mineraldüngungsbetontere ROS-Verfahren hat etwas höhere Werte und die HE-Methode die niedrigsten Werte zur Folge. Die Verfahren ohne Koppelproduktabfuhr (wie sie heute meistens verbreitet sind) erreichen bzw. überschreiten ein Limit von 50 kg/ha bereits deutlich. Die ermittelten Unterschiede sollten nicht überinterpretiert werden. Zu bedenken ist ferner, dass wiederum die N-Deposition noch nicht eingerechnet ist.

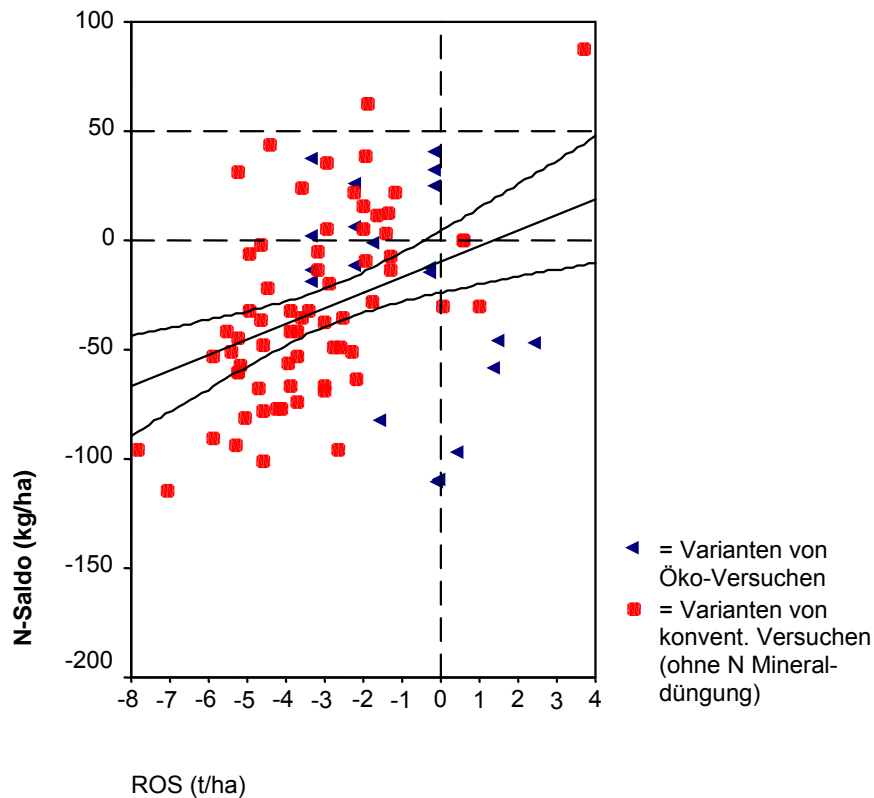


Abbildung 34: Beziehungen zwischen den in ökologischen und konventionellen Versuchen gefundenen N-Salden und den mit dem ÖKO-Verfahren berechneten Bedarf an organischer Substanz der Varianten ohne N-Mineraldüngung (0 t/ha = 100 % Bedarfsdeckung)

Abbildung 34 zeigt die Beziehung zwischen den in den Versuchen ermittelten N-Salden der Varianten ohne N-Mineraldüngung und den mit Hilfe der ÖKO-Methode ermittelten Bedarfswerten in der Zufuhr an organischer Substanz. Die hier untersuchten Öko-Versuche sind extra ausgewiesen worden. Wie aus dem Punkteverbund zu erkennen ist, können die Werte der Öko-Versuche in die Gruppe der konventionellen Standardvarianten ohne N-Mineraldüngung gut eingegliedert werden. Es besteht eine nur sehr geringe positive Beziehung zwischen der Zufuhr an organischen Materialien bzw. den Bedarfswerten und den erhaltenen N-Salden. Es ist allerdings zu erkennen, dass eine Überschreitung von 50 kg im N-Saldo bei Verzicht auf eine mineralische N-Düngung nur selten vorkommt. Daher kann das langfristig tolerierbare Zufuhrniveau an organischer Substanz im ökologischen Landbau wesentlich höher liegen als in Systemen mit (hoher) N-Düngung (vgl. vorhergehendes Kapitel). Die Grenzen der Versorgungsstufen können daher deutlich in Richtung höherer Versorgungswerte verschoben werden, ohne dass negative Umweltwirkungen zu erwarten sind.

## 6 Schlussfolgerungen

### 6.1 Anmerkungen

Standorttypische Humusgehalte sind von sehr vielen Einflussgrößen abhängig (Tab. 11). Wie aus diesen regressionsanalytischen Auswertungen einer großen Anzahl an Versuchsvarianten des deutschen Bereiches zu entnehmen ist, tragen sowohl Faktoren des Bodens, des Klimas und der Bewirtschaftung zu dieser Variabilität bei.

Tabelle 11: Ergebnisse der multivariaten Regressionsanalyse über den Einfluss von klimatischen, bodenbürtigen und bewirtschaftungsbedingten Faktoren auf die  $C_{org}$ -Gehalte von Dauerversuchen aus Deutschland (KOLBE 2003)

<b>Multivariate Regressionsanalyse <math>C_{org}</math></b>		
<b>Aufgenommene Merkmale:</b>		
	<b>Merkmale</b>	<b>Multipl. Bestimmtheitsmaß (%)</b>
1.	WW Feinanteil × Niederschlag	48,9
2.	Temperatur, Temperatur 2	12,3
3.	Feinanteil, Feinanteil 2	6,2
4.	Niederschlag, Niederschlag 2	5,2
5.	Getreideanteil 2	4,3
6.	N-Bilanz	1,5
7.	Bodenart, Bodenart 2	1,5
8.	Leguminosenanteil, Leguminosenanteil 2	0,7
9.	Gesamte TM-Zufuhr	0,3

**Nicht aufgenommene Merkmale:**  
 Hackfruchtanteil  
 N-Abfuhr  
 Gesamt-N-Zufuhr  
 pH-Wert

Aus diesem Grund war es erforderlich, die zu prüfenden Verfahren zur Humusbilanzierung an einer repräsentativen Variationsbreite von Standorttypen zu testen, damit sichere Anwendungshinweise erlangt werden können. Dieses Unterfangen musste daher scheitern, wenn lediglich Versuche z.B. des ökologischen Landbaus zur Testung verwendet worden wären, um Hinweise zum Einsatz in diesem Anbaubereich zu gewinnen. Daher wurde nachfolgende Vorgehensweise angestrebt.

Zunächst einmal stand fest, dass eine Überprüfung von Bilanzierungsverfahren nur mit Hilfe von Feld-Dauerversuchen erfolgen konnte. Die Verwendung von Ergebnissen aus Testflächen und Praxiserhebungen etc. war auf Grund vieler Ungenauigkeiten und auf Grund zeitlicher Mängel (Versuchsdauer) für diese Zwecke nicht geeignet.

Durch die zitierte hohe Variabilität der Standorte wurden Dauerversuche in einem möglichst breiten Standortrahmen (Deutschland) ausgesucht, damit regionalspezifische Besonderheiten mit hoher Sicherheit abgedeckt werden konnten. Dies ist damit zu begründen, dass allein z.B. für sächsische Bedingungen keine hohe Anzahl an Dauerversuchen für jeden Standorttyp zur Verfügung steht. Mit dieser Vorgehensweise konnten wertvolle Hinweise von Standortgruppen gewonnen werden, die außerhalb von Sachsen durch Versuche besser abgedeckt sind, was streng genommen ja für die meisten Standortbegebenheiten des Landes der Fall ist. Auf Grund der relativ hohen Anzahl von Versuchen aus verschiedenen Regionen Deutschlands konnten bestimmte Standorttypen mit sehr ähnlicher Reaktionsfolge herausgearbeitet und zusammengestellt werden. Hierdurch wurde eine hohe Aussagesicherheit für viele zu betrachtende Standorttyp gewonnen. Auf Grund dieser Vorgehensweise können nun auch regionalspezifische sichere Auskünfte getroffen werden, so auch über die Besonderheiten des Freistaates Sachsen.

Noch schwieriger war es, verlässliche Aussagen für den ökologischen Landbau zu gewinnen, da dessen Versuchsbasis sehr bescheiden ist (drei Versuche). Aus diesem Grund wurde folgende Vorgehensweise für richtig empfunden. Zunächst einmal wurde untersucht, ob die Öko-Versuche sich in die gefundenen Standorttypen der konventionellen Versuchsbasis eingliedern lassen. Hierbei wurde tatsächlich eine hohe Übereinstimmung vorgefunden, so dass die Öko-Versuche sich sehr gut in die jeweiligen Standortgruppen eingliedern lassen. Darüber hinaus ist jeder der drei Öko-Versuche aus einer Reihe konventioneller und ökologischer Varianten zusammengesetzt. Somit war es möglich, durch Zusammenfassung der konventionellen und der ökologischen Varianten nach Unterschieden in der Humuswirkung zu suchen, in dem mit den Bilanzierungsverfahren beide Variantengruppen getrennt von einander durchgerechnet wurden. Auch hierdurch konnte rel. eindeutig festgestellt werden, dass keine deutlichen Unterschiede in der Humusdynamik der beiden Anbauverfahren bestehen, die nicht bereits durch die in den Modellen abgebildeten Faktorwirkungen abgedeckt bzw. erklärt werden können. Es ist daher wichtig zu vermerken, dass aus dem Gesichtspunkt der Humusbilanzierung für den ökologischen Landbau keine Besonderheiten vorliegen und somit auch nach diesen Ergebnissen kaum besondere Modellansätze zu berücksichtigen sind.

Diese Feststellung hat entscheidende Vorteile. Hierdurch ist es nicht erforderlich, für die ökologische Landwirtschaft deutlich andere bzw. neu zu entwickelnde Bilanzierungsmethoden zu prüfen als die, die für die konventionelle Landwirtschaft geeignet erscheinen. Die überaus großen fachspezifischen Reserven der konventionellen Versuche sowie der Jahrzehnte langen konventionellen Forschung können somit auch für den ökologischen Landbau durch Anwendung ein und desselben Modellansatzes genutzt werden.

## **6.2 CCB-Verfahren**

### **6.2.1 Allgemeine Anwendbarkeit**

Für das Simulationsverfahren CCB ist ein etwas höherer Aufwand an Eingabemerkmale erforderlich. Hierzu zählen Angaben über den Ausgangsgehalt an  $C_{org}$ , den Feinanteil des Bodens, die Pflugtiefe, die Durchschnittstemperaturen und die Summe der Jahresniederschläge des Standortes sowie auch die Erntehöhe der Kulturarten. Dieser höhere Aufwand ist unter praktischen Gesichtspunkten und der heute üblichen Anwendung von PC-Modellen tragbar und zu verantworten. Der Aufwand ist nur unwesentlich höher als der, der ohnehin zur ordnungsgemäßen Führung einer Schlagkartei erforderlich ist.

Die erlangten Ergebnisse weisen zudem für die Standorte und Böden, auf denen das Verfahren bisher gut funktioniert, eine hohe Rechengenauigkeit auf. Es kann somit eine präzise Aussage über die Wirkung der Bewirtschaftung auf die zu erwartende Änderung der  $C_{org}$ -Gehalte dieser Standorte erlangt werden. Das Verfahren ist insbesondere dafür geeignet, die Veränderung des  $C_{org}$ -Gehaltes zu erfassen und in Abhängigkeit von verschiedenen nicht nur bewirtschaftungsbedingten, sondern auch bodenbürtigen und klimatischen Einflussgrößen genau zu berechnen.

Bei dem Vergleich zwischen experimentell ermittelten  $C_{org}$ -Endwerten und den entsprechenden simulierten  $C_{org}$ -Endwerten ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Ein Vergleich von Mess- und Simulationswert bei Versuchsvarianten, in denen die Entwicklung des Kohlenstoffgehaltes nur durch den Anfangs- und Endwert charakterisiert ist, kann prinzipiell statistisch nicht abgesichert werden. Die zeitliche Variabilität der Kohlenstoffgehalte im Boden und die der Messwerte wird hier nicht berücksichtigt. Dem Simulationswert wird nur ein Messwert gegenübergestellt ohne dass die Möglichkeit gegeben ist, zeitlich angrenzende Messwerte in die Einschätzung der Simulation mit einzubeziehen. Ein möglicher Streubereich wird somit nicht berücksichtigt.
- Dem simulierten  $C_{org}$ -Endwert liegen bestimmte Eingangsdaten zu Grunde. Nicht immer können diese Eingangsdaten als vollständig "wahr" angesehen werden. Ungenauigkeiten sind auch hier kaum vermeidbar. Diese ergaben sich bei einigen Versuchen aus verschiedenen Umrechnungen der Literaturangaben in die für die Simulation notwendigen Einheiten. Teilweise mussten Parameter auch abgeschätzt werden (z.B. Bearbeitungstiefe).
- Candy-Carbon Balance ist ein praktisch orientiertes Modell, als dessen Stärken seine Überschaubarkeit und einfache Handhabung zu nennen sind. Der im Vergleich zum Modell Candy geringe Umfang an Eingangsdaten und die Betrachtung des C-Umsatzes in Jahresschritten unter Annahme gleichbleibender Durchschnittswerte für das Klima, die Bewirtschaftung und die Erträge bedingen aber eine geringere Auflösung der Simulation des C-Umsatzes. Zeitliche Schwankungen des C-Umsatzes werden mit diesem Ansatz nicht erfasst. Der Anwender muss entscheiden, ob diese Genauigkeit seinen Anforderungen genügt.

### 6.2.2 Spezielle Hinweise

Aus den Berechnungsergebnissen ging eindeutig hervor, dass eine hohe Genauigkeit bei Verwendung auf den leichten und mittleren Böden des ostdeutschen Gebietes besteht. Diese hohe Genauigkeit gilt auch für Schwarzerden. Hieraus kann abgeleitet werden, dass für das Gebiet von Sachsen für die leichteren Böden der D-Standorte das CCB-Verfahren mit Erfolg eingesetzt werden kann. Dies sind allerdings nur ca. 20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Sachsen.

Für einen sinnvollen Einsatz auf anderen Standorten Sachsens ist das Verfahren bisher nicht geeignet, da hohe Abweichungen im Vergleich zu den Felddaten der Versuche berechnet werden und auch die Richtung der  $C_{org}$ -Veränderung oft nicht richtig erkannt wird. Hierzu zählen vor allen Dingen die Lehmböden, die in Sachsen in Form der Lößregion und der V-Standorte einen hohen Flächenumfang aufweisen und auch in anderen Regionen Deutschlands einen hohen Anteil der Böden umfassen. Auf Grund der verhältnismäßig niedrigen  $C_{org}$ -Gehalte dieser Böden erfolgt eine starke Überschätzung der Anbaureaktionen auf die Humusgehalte.

Auch für eine weitere Bodengruppe ist der Einsatz bisher nicht möglich. Hierzu zählen die rel. leichten Böden in den deutlicher humiden Einflussbereichen Westdeutschlands. Diese Böden weisen standorttypisch rel. hohe  $C_{org}$ -Gehalte auf und es erfolgt eine z.T. starke Unterbewertung der zu erwartenden Reaktion der  $C_{org}$ -Gehalte auf Anbauveränderungen. Diese Bodengruppe ist allerdings in Sachsen kaum vorhanden.

Auf Grund der sehr hohen Rechengenauigkeit, die bisher auf den leichteren Böden zu verzeichnen ist, sollte das CCB-Verfahren weiterhin für einen praktischen Einsatz in Erwägung gezogen werden. Es sollte zunächst über eine Fehlersuche die Ursachen der Ungenauigkeiten auf den anderen Bodengruppen herausgefunden werden, um anschließend Verbesserungsvorschläge vorzubereiten. Die verbesserten Versionen sollten dann wiederum an den Dauerversuchen durch Vergleichsberechnungen geprüft werden. Bei Überwindung dieser Schwierigkeiten wäre das CCB-Verfahren für den ökologischen Landbau geeignet.

Auch aus den Rechengenauigkeiten, die für einzelne Einflussfaktoren gewonnen worden sind, können Hinweise für Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden (leichte, mittlere Böden, Schwarzerden):

- Die Rechengenauigkeit war bei Anwendung von Stalldunggaben bis ca. 300 dt/ha und Jahr rel. gleich gut, erst bei Gaben darüber hinaus fand eine dann deutliche Überbewertung statt
- Die Wirkung verschiedener organischer Materialien als Zufuhrgrößen gelingt recht gut, Gründüngung wird etwas übertrieben wiedergegeben
- Trotz Verankerung im Modell wurde eine steigende N-Mineraldüngung ungenau abgebildet, in dem besonders eine sehr hohe N-Düngung zu einer zu geringen Humuswirkung führen würde als im Feldversuch gemessen worden ist
- Praxisrelevante Leguminosenanteile (Futterbau) in der Fruchtfolge werden recht gut abgebildet, sehr hohe Anteile würden allerdings zu einer zu hohen Humuswirkung führen
- Praxisrelevante Hackfruchtanteile (bzw. Getreideanteile) in der Fruchtfolge werden recht gut abgebildet, sehr hohe Hackfruchtanteile würden zu einer zu hohen Humuswirkung führen (Gemüsebau).

Unter Einschluss aller Versuchsstandorte können folgende Aussagen getroffen werden:

- Auf Böden mit sehr niedrigem Feinanteil wird die Humuswirkung deutlich zu niedrig berechnet, auf Böden mit hohen Feinanteilen dagegen erfolgte eine Überbewertung
- Auf Standorten, für die sehr niedrige Wirksame Mineralisierungszeiten (WMZ) berechnet wurden, erfolgt eine deutliche Überbewertung der Humusleistung, auf Standorten mit einer hohen WMZ erfolgt dagegen eine sehr deutliche Unterbewertung
- Auf Böden mit engen C/N-Verhältnissen erfolgt eine deutliche Überbewertung der Humusleistung, auf Standorten mit weiten C/N-Verhältnissen erfolgt eine sehr deutliche Unterbewertung der Humuswirkung.

### **6.3 VDLUFA-Verfahren**

#### **6.3.1 Allgemeine Anwendbarkeit**

Die Anwendung der ROS- und HE-Methode sowie auch des ÖKO-Verfahrens ist mit einem minimalen Einsatz an Eingabemerkmale verbunden. So sind Kalkulationen ohne Kenntnis der Anfangsgehalte an Humus sowie ohne Kenntnis der erlangten Erträge der Kulturarten in der Fruchtfolge möglich. Dieses ist ein großer Vorteil beim praktischen Einsatz. Einfache Angaben aus der Schlagkartei genügen für die Durchführung der Berechnungen, wozu nicht unbedingt auch ein PC erforderlich ist.

Die Ergebnissenauigkeit ist entsprechend der Einfachheit der Methoden ausreichend, sie erlangen aber nicht die hohe Genauigkeit des CCB-Verfahrens. Die Berechnungen haben ergeben, dass auch für diese Verfahren deutlich unterschiedlich genaue Ergebnisse erlangt werden, die wiederum in hohem Maße von bestimmten Standortgruppen abhängen.

Zunächst muss festgestellt werden, dass bei allen drei geprüften Verfahren die Erlangung „optimaler“ bis maximaler Erträge der Kulturarten als erstes Anwendungsziel angesehen werden muss. Dieses Ziel wird bei dem ROS-Verfahren am besten mit einer höheren und bei dem HE-Verfahren mit einer mittleren N-Düngung erreicht, während mit dem vergleichsweise höheren Bedarf an organischer Substanz bei Anwendung der ÖKO-Methode keine N-Düngung vorgesehen ist.

Zielvorstellungen zur Erreichung eines hohen Ertragsniveaus bei Anwendung dieser Verfahren werden heute generell als fraglich angesehen. In der konventionellen Landwirtschaft haben inzwischen verschiedene Verfahren der  $N_{\min}$ -Methode, bei der ebenfalls die organische Düngung mit eingerechnet wird, eine allgemeine Verbreitung und Anwendung gefunden. Daher bringen die geprüften Verfahren, zur Ertragsbemessung keine Vorteile zumal die Zielgenauigkeit im Vergleich zur  $N_{\min}$ -Methode auch wesentlich geringer anzusehen ist.

Auch für den ökologischen Landbau sind Verfahren, die einen annähernd maximalen Ertrag zum Ziel haben, ungeeignet. Bei dieser Anbauform können unter praktischen Bedingungen derart hohe Erträge gar nicht realisiert werden, da aus verschiedenen Gründen so hohe Nährstoffzufuhren nicht möglich sind.

Die Zufuhr an Stickstoff ist im ökologischen Landbau nach vielen Untersuchungen im Durchschnitt nur halb so hoch wie in der konventionellen Landwirtschaft und es werden auch z.T. deutlich niedrigere Erträge erzielt. Die Nährstoffverwertung liegt dagegen meistens auf höherem Niveau als in der konventionellen Produktion. Hierauf beruhen im Wesentlichen die geringeren Nährstoffverluste, die mit dem ökologischen Anbau im Durchschnitt verbunden sind (siehe KOLBE 2000). Würden in etwa gleich hohe Erträge im ökologischen Anbau angestrebt, wie sie auch im konventionellen Landbau üblich sind, so wären dann natürlich auch ähnlich hohe Nährstoffverluste vorzufinden. So wurden bei den Vergleichsberechnungen auch nur unbedeutend unterschiedlich hohe N-Salden bei Anwendung des ROS- bzw. HE-Verfahrens im Vergleich zur Anwendung des ÖKO-Verfahrens ermittelt. Hierdurch wird deutlich, dass bei Anwendung des ÖKO-Verfahrens ein so hohes Ertragsniveau bei 100 % Bedarfsdeckung mit organischer Substanz angezielt wird, so dass die N-Salden dann das Niveau der konventionellen Verfahren erreichen.

Ursache für die niedrigeren Verluste ist vor allen Dingen das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs (Abb. 35). Hierbei wird im ökologischen Landbau bei rel. störungsfreiem Anbau die Ansicht vertreten, dass bei nur halb so hoher Nährstoffzufuhr die realisierbaren Erträge auf der Ertragskurve sich noch auf einem steileren Abschnitt, bzw. im linearen Bereich befinden. Auf diesen Zusammenhang ist ein Teil der im ökologischen Anbau oft zu beobachtenden hohen Ertragschwankungen zurückzuführen, da entsprechend der jeweiligen unterschiedlichen Nährstoffssituation im Verlauf der Vegetationsperiode bei störungsfreiem Wachstum ein hoher Anteil der Nährstoffe in Ertrag umgesetzt werden kann und daher Nährstoffverluste entsprechend geringer ausfallen. Bei einem zu erstellenden Düngungsverfahren für den Öko-Anbau sind diese grundlegenden Zusammenhänge zu berücksichtigen. Für die Erstellung einer Humusbilanzierungsmethode ist die Erreichung optimaler bis maximaler Erträge daher praxisfremd und kann nicht als Zielmerkmal angesehen werden.

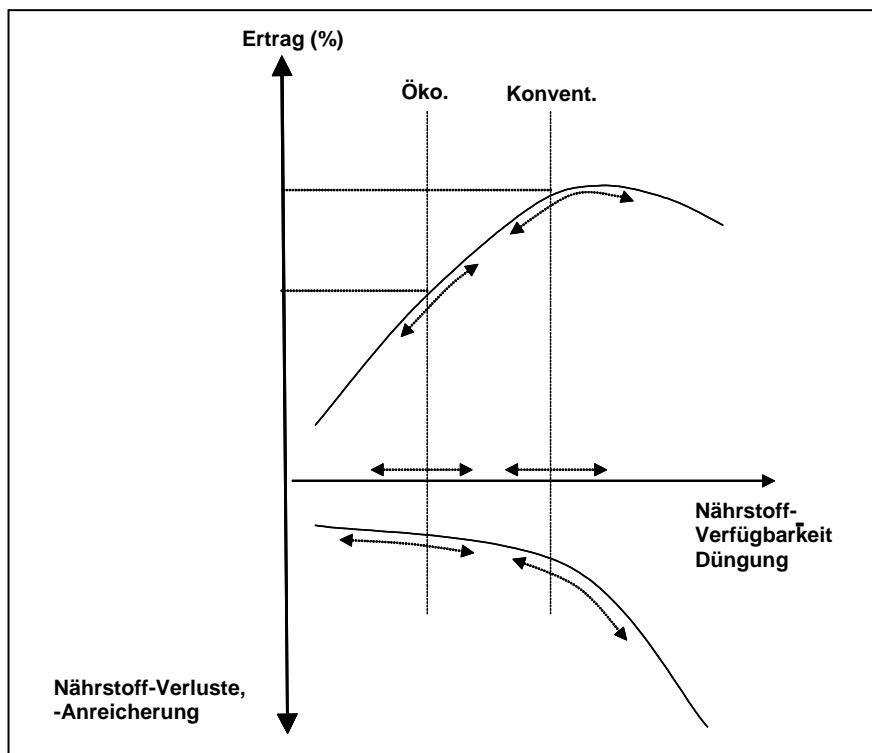


Abbildung 35: Schematische Darstellung über Unterschiede in der Düngungshöhe und deren Auswirkungen auf die durchschnittliche Ertragserwartung und die Nährstoffverluste im konventionellen und ökologischen Landbau (nach KOLBE, 1997)



Es ist darüber hinaus abzuwägen, in wie weit im ökologischen Landbau eine „erweiterte Humus-Reproduktion“, also eine möglichst hohe  $C_{org}$ -Anreicherung vertretbar bzw. anzustreben ist, und wie ein solches Ziel methodisch durch Beratung umgesetzt werden kann. Grundsätzlich ist eine Humusanreicherung in gewissen ökonomischen und ökologischen Grenzen natürliches Ziel des ökologischen Landbaus. Es ist an dieser Stelle nicht erforderlich auf die positiven Einflüsse speziell hinzuweisen.

Da der „optimale“ Ertrag aus den o.a. Gründen kein allgemein anzustrebendes Ziel ist, könnte diese Marke allerdings als eine Art obere Grenze der Anreicherung angesehen werden. Die Begrenzung würde dann durch die vom Betrieb durchzuführende N-Schlagbilanz vorgenommen werden können. Hiernach wäre eine Humusanreicherung möglich bzw. auch in dem Ausmaß erwünscht, bis ein bestimmter Wert in den langfristigen N-Salden erreicht wird. Für die Festsetzung der oberen Grenze einer Humusanreicherung (z.B. Beginn des E-Versorgungszustandes) können die eigenen Untersuchungen mit Hilfe der ÖKO-Methode dienlich sein.

Nach unten sollte dagegen eine für alle Anbauverfahren geltende Begrenzung einer „ordnungsgemäßen“ Versorgung mit organischer Substanz festgesetzt werden. Diese Begrenzung sollte sich in erster Linie an gesetzlichen Vorgaben orientieren. Hierbei könnte z.B. ein 100%-iger Versorgungsgrad derjenigen Bewirtschaftung und Zufuhr an organischer Substanz entsprechen, womit im Durchschnitt der Humusgehalt einer Standortgruppe sicher eingehalten werden kann. Es sollten dann wenigstens 75 % (besser ein noch höherer Anteil) der Werte einen Humusgehalt gewährleisten, der mindestens so hoch ist, wie der mittlere Ausgangsgehalt der Fläche bzw. der Standortgruppe. Dieser Versorgungsgrad sollte dann auch den Anforderungen der neuen VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung für die untere Grenze bzw. für die Saldengruppe C entsprechen.

Zwei extrem unterschiedliche Ausrichtungen in der Handlungsentscheidung sollten bei dieser Diskussion Berücksichtigung finden. Beide Wege sollten vom Landwirt frei wählbar sein und dem zu Folge auch einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung entsprechen. Durch diese beiden extremen Zielvorgaben sollte allerdings auch der Handlungsrahmen begrenzt werden. Auf der einen Seite sollte es die freie Entscheidung des Landwirts sein können, so viel wie möglich von der auf seiner Fläche erzeugten organischen Substanz abzuführen, um sie z.B. zur Energiegewinnung zu nutzen. In diesem Fall sollte dies bis zur unteren Belastungsgrenze auch zulässig sein. Diese untere Grenze von 100 % Bedarfsdeckung darf dann nicht unterschritten werden, da dann befürchtet werden muss, dass der standorttypische Humusgehalt durch die Bewirtschaftung abfällt. Darunter sollte daher der Versorgungsbereich B beginnen. Diese Grenze sollte für konventionelle und für ökologische Betriebe gleichermaßen gelten.

Im anderen Extrem könnten Landwirte bestrebt sein, die Humusgehalte ihrer Flächen so weit wie möglich zu erhöhen. Auch diese Situation könnte für ökologisch und konventionell wirtschaftende Betriebe zutreffen. Für diese Fälle könnten durch separat durchzuführende N-Flächenbilanzierungen Grenzen der Anreicherungen aufgezeigt werden (z.B. Beginn der Saldengruppe E). Diese Grenzen für die Zufuhr an organischer Substanz wären dann für Öko-Betriebe und für konventionelle Betriebe verschieden hoch anzusetzen, da die Höhe dann abhängig ist von dem jeweiligen N-Düngungsniveau des Betriebes.

### **6.3.2 Spezielle Hinweise**

Aus den dargelegten Ergebnissen zur Methodenüberprüfung ging hervor, dass besonders die mittleren Böden, im gewissen Ausmaß auch noch die leichten Böden mit der ROS-Methode bei Bemessung auf 100 % Bedarf gut erfasst werden können. Bei diesen Boden- bzw. Standortgruppen war die allgemein zu verzeichnende Überbewertung nur sehr gering ausgeprägt. Bei den mittleren Böden (SL, sL) des mehr kontinentalen Klimabereiches Ostdeutschlands betrug die Überbewertung nur 8 %, d.h. bei Bedarfsdeckung von 100 % wird der Humusgehalt im Durchschnitt der Standortgruppe nur geringfügig angehoben. Hierdurch kann die Einhaltung des standorttypischen Humusgehaltes im Durchschnitt der Standortgruppe gewährleistet werden.

Bei den sehr leichten Böden (S, Sl, IS) betrug die durchschnittliche Anhebung bereits 12 % im kontinentalen Klimabereich. Daher könnten die zu Grunde liegenden Humifizierungskoeffizienten des ROS-Verfahrens noch etwas abgesenkt werden, ohne dass zu befürchten ist, dass der standorttypische

Humusgehalt absinkt. Da aber die Humusgehalte auf diesen Standorten allgemein sehr niedrig liegen, sollte keine Korrektur der Koeffizienten vorgenommen werden. Bei Anwendung der HE-Methode werden die Humusgehalte demgegenüber auf diesen Standorten deutlich angehoben. Im Durchschnitt werden die Gehalte bei 100 % Versorgung um 20 – 25 % angehoben.

Leichte bis mittlere Böden werden in etwa auf 20 % der Ackerfläche von Sachsen vorgefunden. Auf diesen Böden können daher die ROS-Koeffizienten der VDLUFA-Methode zur Absicherung der Humusgehalte empfohlen werden. Für die Lehm Böden einen rel. großen Flächenanteil in Sachsen reichen diese Koeffizienten allerdings nicht aus, um den standorttypischen Humusgehalt aufrecht zu erhalten. Es würde bereits ein Abfall um durchschnittlich 9 % eintreten.

Wie die Auswertungen gezeigt haben, können Humusgehalte dieser Lehm Böden (Lö- und V-Standorte) demgegenüber ganz gut bei Verwendung der Koeffizienten der HE-Methode abgesichert werden. Im Durchschnitt dieser anscheinend sehr umsetzungsaktiven Standortgruppe wird mit +2 % eine noch ausreichende Sicherheit zur Einhaltung des Humusgehaltes gewährleistet. Zu dieser Gruppe könnten ebenfalls nach vorläufigen und rel. unsicheren Aussagen die leichten und mittleren Böden des mehr humiden Klimabereiches Nordwest- und Süddeutschlands gezählt werden. Diese Böden sind gekennzeichnet durch standorttypisch rel. hohe  $C_{org}$ -Gehalte. Zur Aufrechterhaltung dieser Humusgehalte bedarf es anscheinend einer höheren Zufuhr an organischer Substanz. Da für diese Bodengruppe bisher nur wenige Dauerversuche ausgewertet werden konnten, sollten zur Stabilisierung der Ergebnisse noch weitere Vergleichsrechnungen vorgenommen werden.

Auch für die sehr schweren Böden (T) liegen nur geringe Analysenwerte vor. Nach den bisherigen Ergebnissen werden die Humusgehalte dieser Böden bereits mit der ROS-Methode bei 100 % Bedarfsdeckung mit 7 – 23 % überschätzt. Auch die Schwarzerden werden bei Anwendung der ROS-Methode mit 6 – 15 % überschätzt. Auf beiden Bodengruppen erfolgt also bei Versorgung auf 100 % Bedarfsdeckung bereits eine z.T. deutliche Anhebung der Humusgehalte. Aus diesen Gründen können die Humifizierungskoeffizienten zur Anwendung auf sehr schweren Böden und den Schwarzerden noch etwas unter die der ROS-Methode abgesenkt werden. Diese Bodengruppen sind allerdings unter sächsischen Bedingungen kaum anzutreffen.

Auch in Bezug auf die Rechengenauigkeit der einzelnen Einflussfaktoren der Bewirtschaftung sowie bodenbürtiger und klimatischer Einflussgrößen wurden z.T. deutliche Unterschiede gefunden. Auf Grund dieser Ergebnisse sollte es möglich sein, die Koeffizientensätze der Verfahren noch zu verbessern. Im Wesentlichen wurde festgestellt, dass bei deutlichen Abweichungen von den Felddaten die ROS- wie auch die HE-Verfahren gleichzeitig davon betroffen waren. Daher kann davon ausgegangen werden, dass derartige Ungenauigkeiten meistens in beiden Verfahren vorzufinden sind.

Im Einzelnen kann auf folgende Unsicherheiten verwiesen werden:

- Eine Verrechnung von über 150 dt/ha an Stalldung wird ungenau vorgenommen
- Gründungsmaßnahmen werden eine zu hohe Humuswirkung zugeschrieben
- In Gebieten mit niedrigen Niederschlägen erfolgt eine Überbewertung und in Gebieten mit hohen Niederschlägen eine Unterbewertung der Humuswirkung
- Ein steigender Hackfruchtanteil (abnehmender Getreideanteil) wird zunehmend ungenau abgebildet
- Steigende C/N-Verhältnisse des Bodens kennzeichnen deutliche Unterschiede in der Berechnungsgenauigkeit beider Verfahren
- Es erfolgt allgemein eine Überbewertung der Humuswirkung in Situationen ohne Zufuhr von organischer Substanz.

Für folgende Einflussgrößen wurden dagegen recht gute bzw. gleich bleibende Berechnungssicherheiten gefunden:

- Stallungsmengen von 0 - 150 dt/ha u. Jahr
- Wirkungen von Stallung (im mittleren Bereich), Stroh und Gülle
- Der Einfluss steigender Leguminosenanteile in der Fruchtfolge.

## 7 Danksagung

Für die Bereitstellung sowie Hilfestellung bei der Anwendung der geprüften Bilanzierungsverfahren möchten wir folgenden Personen unseren Dank aussprechen:

Herrn Dr. U. Franko, Sektion Bodenforschung, UFZ, Halle

Herrn Prof. Dr. K.-J. Hülsbergen, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau, TU, München

Herrn Prof. Dr. M. Körschens, Bad Lauchstädt

Herrn Prof. Dr. G. Leithold, Professur für Ökologischen Landbau, Uni Gießen.

Für die Überlassung von Datenmaterial aus Dauerversuchen gilt unser Dank:

Herrn Dr. E. Albert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig

Herrn Dr. P. Capriel, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

Herrn Dr. A. Fliessbach, FIBL, Frick, Schweiz

Herrn Dr. J. Raupp, IBDF, Darmstadt

Herrn Dr. H.-J. Reents, TU, München

Frau Prof. Dr. J. Rogasik, FAL, Völkenrode

Herrn J. Zimmer, Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft, Güterfelde.

Die Arbeit wurde mit Mitteln des Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL, Dresden) durchgeführt.

## 8 Literaturverzeichnis

- ABELE, U. (1987): „Produktqualität und Düngung – mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch“. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Angewandte Wissenschaft Heft 345, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- ALBERT, E. (2001): Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalt, Netto-N-Mineralisierung und N-Bilanz. Arch. Acker- Pfl. Boden. Band 46, S. 1187 - 213
- ANONYM (1995): „DOK-Versuch: vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode“. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung, Sonderausgabe 1995, Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld, Schweiz
- ANSORGE, H. (1965): "Nährstoffaufnahme und Nährstoffbilanzen im Statischen Düngungsversuch Lauchstädt nach 60jähriger Versuchsdauer". Albrecht-Thaer-Archiv, 9. Band, Heft 3, S. 221-242
- AUTORENKOLLEKTIV (1977): „Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz“. Akad. d. Landw.-Wissensch. d. DDR, agrarbuch, Leipzig
- BACHINGER, J. (1996): „Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf die zeitliche Dynamik und räumliche Verteilung von bodenchemischen und –mikrobiologischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Winterroggen“. Schriftenreihe Band 7, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt
- BOGUSLAWSKI, E. VON, J. DEBRUCK (1976): „Ergebnisse aus einem langjährigen Stallmist-Schäpferchversuch in Rausch-Holzhausen“. Z. Acker- u. Pflanzenbau Band 143, S. 223 - 242
- DEBRUCK, J. (1976): „Untersuchungen über getreidereiche Fruchtfolgen unter besonderer Berücksichtigung der mineralischen und organischen Düngung“. Habilitation, Gießen
- DIEZ, T., M. KRAUSS: (1997): „Wirkung langjähriger Kompostdüngung auf Pflanzenertrag und Bodenfertbarkeit“. Agribiol. Res. Band 50, S. 78 – 84
- DIEZ, T., BECK, T., BRANDHUBER, R., CAPRIEL, P., KRAUSS, M. (1997): "Veränderungen der Bodenparameter im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Puch nach 12 Versuchsjahren". Arch. Acker- Pfl. Boden., Vol. 41, S. 113-121
- DHEIN, A., MERTENS, H. (1955): "Die chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften des Dikopshofer Dauerdüngungsversuches nach 45jähriger Versuchsdurchführung". Z. f. Ackerbau- und Pflanzenbau, Bd. 100, Heft 2, S. 10-162
- DREYHAUPT, J. (2002): "Die Bedeutung der Heterogenität von Boden, Klima und Landnutzung für die Regionalisierung von Modellzustandsgrößen". Dissertation, Universität Bayreuth
- DROEVEN, G., RIXHON, L., CROHAIN, A., RAIMOND, Y. (1982): „Long term effects of different systems of organic matter supply on the humus content and on the structural stability of soils regard to the crop yields in loamy soils“. Soil Degradation. Proceedings of the land use seminar on soil degradation, Wagenigen 1980, S. 203 – 222. A.A. Balkema, Rotterdam
- EICH, D., BAHN, E., BUHTZ, E. (1982): "Ertragsentwicklung und Entwicklung der Gehalte an organischer Substanz und Nährstoffen im Statischen Versuch Lauchstädt". Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin 205, S. 37-48
- ELLMER, F., BAUMECKER, M., SCHNIEDER, E. (1997): "Statischer Düngungs- und Beregnungsversuch". Ökologische Hefte 7, Humbolt-Universität zu Berlin, S. 127-134
- FRANKO, U. (1996): "Simulation der Kohlenstoff-Stickstoff-Dynamik in Agrarlandschaften". Landbau-forschung Völkenrode, Heft 3, S. 114-120
- FRANKO, U. (1997): "Modellierung des Umsatzes der organischen Bodensubstanz". Arch. Acker- Pfl. Boden., Vol. 41, S.527-547

- FRANKO, U., ÖLSCHLÄGEL, B. (1995): "Einfluss von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz". Arch. Acker- Pfl. Boden., Vol. 39, S. 155-163
- GROSS, E. (1983): "Die chemischen Bodeneigenschaften des Dikopshofer Dauerdüngungsversuches nach 25 Versuchsjahren". Dissertation, Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- HAAN, S. DE (1979): „Einfluß von organischer Düngung auf das maximal erreichbare Ertragsniveau in langjährigen niederländischen Feldversuchen“. Landwirtschaftliche Forschung SH 36, S. 389 - 404
- HOLTZ, J. (1983): "Zur Ertragsleistung, Ertragsentwicklung und Ertragssicherheit auf dem Dauerdüngungsversuch Dikopshof"., Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn
- KICK, H., POLETSCHNY, H. (1974): „Erfahrungen mit langjähriger, kontinuierlicher Strohdüngung“. Landwirtschaftliche Forschung Band 30, 146 - 152
- KÖHN, W., LIMBURG, P. (1996): "Der Internationale Organische Stickstoffdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem nach drei Rotationen". Arch. Acker- Pfl. Boden., Vol. 40, S. 75-95
- KÖHN, W., PESCHKE, H., LIMBURG, P. (1997): "Internationaler organischer Stickstoffdüngungsversuch (IOSDV)". Ökologische Hefte 7, Humboldt-Universität zu Berlin, S. 75-89
- KOLBE, H. (1997): „Qualitäten des Ökologischen Landbaus und Fördermöglichkeiten im Rahmen des agrar(umwelt)politischen Instrumentariums“. In: K.-H. KNICKEL & H. PRIEBE: Praktische Ansätze zur Verwirklichung einer umweltgerechten Landnutzung. Peter Lang, Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt, 219 - 235.
- KOLBE, H. (2000): „Landnutzung und Wasserschutz. Der Einfluss von Stickstoff-Bilanzierung,  $N_{min}$ -Untersuchung und Nitrat-Auswaschung sowie Rückschlüsse für die Bewirtschaftung von Wasserschutzgebieten in Deutschland. Land Use and Water Protection. Effects on nitrogen budget,  $N_{min}$ -values, nitrate content and leaching in Germany“. WLV Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig, 108 Seiten.
- KOLBE, H. (2003): „Aufnahme und Auswertung von Dauerfeldversuchen“. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- KOLBE, H., BECKMANN, U. (2003): „Einfluss extrem unterschiedlich hoher mineralischer und organischer Düngung und Beregnung auf Ertragsleistung der Kulturarten, Bodenfruchtbarkeit und Umweltverträglichkeit eines Sandbodens.“ Umweltwirkungen von Extensivierungsmaßnahmen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8, H6, S. 1-41
- KÖHNLEIN, J., H. VETTER (1963): „Ergebnisse zehnjähriger Feldversuche mit Strohdüngung auf Parabraunerde und Heidepodsol“. Z. Acker- u. Pflanzenbau Band 117, S. 379 - 394
- KÖRSCHENS, M. (1980): "Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz". Dissertation B, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
- KÖRSCHENS, M. (1998): "Der Statische Düngungsversuch und andere Feldversuche". Herausgeber: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 1998, S. 42-47
- KÖRSCHENS, M., EICH, D. (1990): "Der Statische Versuch Lauchstädt". In: Dauerfeldversuche. Hrsg. Körschens, 2. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 7-23
- KÖRSCHENS, M. & E. SCHULZ (1999): „Die Organische Bodensubstanz, Dynamik – Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte“. UFZ-Bericht Nr. 13, UFZ Leipzig-Halle GmbH, Halle
- KÖRSCHENS, M., EICH, D., WEBER, C. (1984): "Der Statische Versuch Lauchstädt". In: Dauerfeldversuche der DDR, Hrsg. Körschens, 1. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik Berlin, S. 5-24

- KÖRSCHENS, M. et al. (2004): „Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland“. VDLUFA-Entwurf, 12 Seiten, VDLUFA, Bonn
- KRAUS, M., HEGE, U. (1999): "Erträge und N-Verbleib im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Puch". Arch. Acker-Pfl. Boden., Vol. 44, S. 457-471
- KUNZMANN, R. (1972): "Quantifizierung der Wirkung ein- und mehrjähriger Leguminosen auf die Nachfruchterträge und den C- und N-Gehalt des Bodens anhand von Ergebnissen langjähriger Fruchtfolgedüngungsversuche auf Lehmstaugley". Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- KÜRTEIN, P.W., V. LANG (1980): „Wirkung eines fünfzehnjährigen unterschiedlichen Anbausystems auf Kornserträge, und Qualität des Getreides, sowie den Krankheits- und Schädlingsbefall und Bodenfruchtbarkeitsmerkmale“. Landwirtschaftliche Forschung Band 33, S. 189 - 206
- LEHNE, I. (1967): "Die Gesamtwirkung unterschiedlicher Düngungsmaßnahmen auf Pflanzenertrag und Bodenfruchtbarkeit am Beispiel eines Müncheberger Dauerversuches auf anlehmigen Sandboden". Dissertation B, Karl-Marx-Universität Leipzig
- LEHNE, I., SCHÖSSLER, H. (1966): "Die Wirkung von Stalldung und Gründüngung auf Ertrag und Humusgehalt eines anlehmigen Sandbodens". Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, Heft 1, S. 31-37
- LEITHOLD, G. (1992): "Zur Dynamik des Humus- und N-Haushaltes im Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen". Tagungsbericht zum Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik, Hrsg. UFZ, S. 78-82
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J. (1998): „Humusbilanzierung im ökologischen Landbau“. Ökologie & Landbau 105, 32 – 35
- LEITHOLD, G., K.J. HÜLSBERGEN, D. MICHEL & H. SCHÖNMEIER (1997): „Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator“. In: Initiativen zum Umweltschutz 5, 43 – 54, Zeller Verlag, Osnabrück
- MERBACH, W., SCHMIDT, L., WITTENMAYER, L. (1999) (Hrsg.): Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale). B. G. Teubner Stuttgart, Leipzig, S. 83-88
- NAWRATH, M. (1998): „Einfluß von organischer Düngung (Stroh- und Gründüngung, Stallmist) auf Humusgehalt, Humusqualität und Pflanzenertrag“. Dissertation, Gießen
- PESCHKE, H., MOLLENHAUER, S., KÖHN, W., LIMBERG, P. (1997): "Entwicklung von Bodenwerten im Internationalen organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch Berlin-Dahlem nach drei Fruchtfolgerotationen". Arch. Acker- Pfl. Boden., Vol 42, S. 3-10
- PETTERSSON, B.D. (1998): „Resultat fram K-försökets en 33-årig studie av gödslingens inverkan på mark och grödors egenskaper“. Biodynamic Research Institute, Rapport 1, Järna, Schweden
- PETTERSSON, B.D., H.J. REENTS, H.J., E.V. WISTINGHAUSEN (1992): Düngung und Bodeneigenschaften. Ergebnisse eines 32-jährigen Feldversuches in Järna, Schweden. Schriftenreihe Band 2, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt
- RAUHE, K., LEITHOLD, G., URBAN, G. (1984): "Bodenfruchtbarkeitsversuch Seehausen". In: Dauerfeldversuche der DDR, Hrsg. Körschens, 1. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik Berlin, S. 131-136
- RAUPP, J. (2001): Forschungsthemen und Ergebnisse eines Langzeitdüngungsversuchs in zwei Jahrzehnten; ein Beitrag zur Bewertung von pflanzenbaulichen Langzeitversuchen“. Berichte über Landwirtschaft Band 79, S. 71 - 93
- REHBEIN, G. (1982): "Untersuchungen zur Humusreproduktion und zum Ertrag in Abhängigkeit von langjähriger differenzierter Gülle- und Mineraldüngung auf einem sandigen Lehmboden". Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- REICHELT, H. (1993): „Dauerversuche zur Erarbeitung von Grundlagen eines ökologisch betriebenen Ackerbaues in den Höhenlagen des Sächsischen Erzgebirges“. Bericht im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten, Dresden

- ROGASIK, J. (2003): Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, FAL, Völkenrode: (persönliche Mitteilung)
- SAUERLANDT, W., TIETJEN, C. (1970): Humuswirtschaft des Ackerbaues. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- SCHNIEDER, E. (1984): "Die Dauerversuche in Thyrow". In: Dauerfeldversuche der DDR, Hrsg. Körschens, 1. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik Berlin, S. 147-167
- SCHNIEDER, E. (1990): "Die Dauerversuche in Thyrow". In: Dauerfeldversuche, Hrsg. Körschens, 2. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 205-229
- SCHNIEDER, E., BREUNIG, W. (1978): "Ergebnisse eines 15jährigen Dauerdüngungsversuches mit Stroh und Stallmist", Arch. Acker- Pfl. Boden., 22. Band, Heft 10, Berlin, S. 653-660
- SCHÖNMEIER, H., MATTHIES, H. (1990): "Güledauerversuch Seehausen". In: Dauerfeldversuche, Hrsg. Körschens, 2. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 185-193
- STUMPE, H., GARZ, J., HAGEDORN, E. (1990): "Die Dauerdüngungsversuche auf dem Versuchsfeld in Halle". In: Dauerfeldversuche, Hrsg. Körschens, 2. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 25-71
- TORNAU, O. (1959): „Der Dauerdüngungsversuch des Göttinger E-Feldes“. Ein Sammelbericht. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Göttingen
- WEGENER, H.-R. (1998): "Die Internationalen Organischen Stickstoff-Dauerdüngungsversuche (IOSDV)". VDLUFA-Schriftenreihe 49, Kongressband, S. 369-372
- WICKE, H.-J. (1970): "Ertrag und Ertragsstruktur des Getreides in Abhängigkeit von der Konzentration des Getreideanbaus". Albrecht-Thaer-Archiv, 14. band, Heft 4, S. 377-384
- WICKE, H.-J., MATTHIES, H. (1990): Konzentrationsversuch Seehausen". In: Dauerfeldversuche, Hrsg. Körschens, 2. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 155-167
- WICKE, H.-J., MICHEL, D., LEITHOLD, G., MATTHIES, H. (1990): "Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen". In: Dauerfeldversuche, Hrsg. Körschens, 2. Auflage, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 139-154
- WISSELINK, G.J. (1961): „A fifteen-year experiment with farmyard manure and secondary crops on humiferous sandy soil at Heino“. Intituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen. Pudoc, Wageningen
- ZIMMER, J. (2003) Landesamt für Verbraucherschutz u. Landwirtschaft, Güterfelde: (persönliche Mitteilung)