



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Landschaftsarchitektur

Fachgebiet Pflanzenbau & Grünlandlehre

Prof. Dr. Thome

Dipl.Ing.agr. Schulze

Bachelorarbeit

“Simulation der Humusentwicklung auf drei typisch Uckermärkischen Böden bei unterschiedlichen Öko Fruchtfolgen“

von

Tim Thiele

Tobias Möske

Urn:nbn:de:gbv:519-thesis2012-0331-7

Oktober 2012

Eidesstattliche Erklärung

Wir erklären hiermit Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Neubrandenburg, 15.10.2012

Tim Thiele

Tobias Möske

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einleitung.....	10
2 Humus.....	11
2.1 Organische N-Verbindungen	13
2.2 Humus als Kohlenstoffspeicher.....	13
2.3 Diskrepanz von Humus mit der heutigen Bewertungsmethodik.....	18
2.4 Geschichte der Ökologischen Landwirtschaft	23
2.5 Bedeutung des Humus in der Ökologischen Landwirtschaft	25
3 Fruchtfolge.....	26
3.1 Warum ist im Ökologischen Landbau die Fruchtfolge so wichtig?.....	27
3.2 Vorstellung der Fruchtfolgeversuche	29
3.2.1 Variante I: Standard Leguminose.....	30
3.2.2 Variante II: Misanbau mit organischer Düngung.....	33
3.2.3 Variante III: Fruchtfolge mit Tierkooperation	36
3.3 Was für Vorteile bringen Untersaaten, Zwischenfrüchte & Co?.....	39
3.3.1 Zwischenfrucht	40
3.3.2 Untersaat.....	42
3.3.3 Misanbau	44
3.3.4 Gemengeanbau.....	46
3.4 Wie erfolgt die Düngung in einem Ökologischen Betrieb?.....	48
4 Boden.....	52
4.1 Entstehung der Brandenburger Böden.....	52
4.2 Vorstellung der Drei Bodenvarianten	53
4.2.1 Vorstellung Paradenzina.....	53
4.2.2 Vorstellung Pseudogley	55
4.2.3 Vorstellung Kolluvisol.....	56
4.3 Was sind die Besonderheiten der Uckermärkischen Böden?.....	58

5	Vorstellung des Bilanzierungssystems CCB	65
5.1	Candy Carbon Balance – Modell (CCB).....	65
5.2	Vergleich des CCB mit anderen Modellen	68
6	Ergebnis der Simulation der Entwicklung des Humusgehaltes.....	70
6.1	Wetterentwicklung der letzten 20 Jahre am Standort Neuruppin.....	70
6.1	Ergebnisse der Simulation	71
6.1.1	Variante I (Klee-Klee-WW+ZF-Hafer+Roggen).....	72
6.1.2	Variante II (WW+KM-Ackerbohne/Hafer-WR+KM-Erbse/SG-Dinkel)	77
6.1.3	Variante III (WW+HTK+ZF-Hafer-Dinkel+HTK+ZW-SG-WR).....	81
6.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	85
6.3	Mögliche Auswirkungen des Klimawandels?.....	86
6.3.1	Konsequenzen für die Landwirtschaft in Brandenburg	88
6.3.2	Wetterentwicklung Neuruppin 1961 bis 2011	89
6.4	Ergebnisse Klimaextreme	91
6.4.1	Variante III (WW+HTK+ZF-Hafer-Dinkel+HTK+ZW-SG-WR).....	91
6.4.2	Zusammenfassung	96
6.5	Ökonomische Betrachtung der Fruchtfolgen	96
6.5.1	Auswirkungen der veränderten Corg Gehalte auf den Deckungsbeitrag nach Simulationsende	97
7	Zusammenfassung	101
8	Diskussion über alle Simulationen	103
9	Literaturverzeichnis.....	106
10	Anhang.....	111
10.1	Zu Gliederungspunkt Punkt 4	111
10.2	Zu Gliederungspunkt 6	112
10.3	Zu Gliederungspunkt 6.1.....	141
10.4	Zu Gliederungspunkt 6.5.....	146

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globaler Kohlenstoffkreislauf.....	13
Abbildung 2: Entwicklung C_{org} - Gehalts bei unterschiedlicher Bewirtschaftung, verändert..	14
Abbildung 3: Bilanz des von Pflanzen aufgenommenen, isotopisch markierten $CO_2(g C/m^2 a)$ während eines Jahres in Ökosystemen an der alpinen Waldgrenze	15
Abbildung 4: Gehalte an C_{org} in 4 verschiedenen Bodentiefen eines Schweizer Langzeitversuchs.....	16
Abbildung 5: Entwicklung C_{org} in einem Langzeitexperiment in Rothamsted, England.....	17
Abbildung 6: Prinzip der Humusbilanzierung.....	18
Abbildung 7: Ergebnisse der Ringuntersuchung 1999- C_{org} TS-%.....	18
Abbildung 8: C_{org} Gehalte in TS-Prozent in der Krume von 100 Ausschnittsparzellen mit je $0,25 m^2$ -Statischer Versuche Bad Lauchstädt, ungedüngte Variante	19
Abbildung 9: Humussaldengruppen	21
Abbildung 10: Verteilung Humussaldenklassen bei verschiedenen Bewertungsmethoden.	23
Abbildung 11: Beziehung zwischen Marktprodukterträgen und Humusgehalten in Dauerfeldversuchen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems	26
Abbildung 12: Kreislaufgedanke im Ökologischen Landbau.....	28
Abbildung 13: Fruchtfolge der Variante I.....	30
Abbildung 14: N-Quellen im viehlosen Ökolandbau	31
Abbildung 15: Spezifische Probleme viehloser Betriebe und Gründe für diese Probleme ..	31
Abbildung 16: Fruchtfolge der Variante II.....	33
Abbildung 17: Bewertung der Gründe für viehlose bzw. vieharme Wirtschaftsweise	34
Abbildung 18: N-verfügbarkeit organischer Dünger im Anwendungsjahr verändert.....	35
Abbildung 19: N-Flüsse in ausgewählten Fruchtfolgen des Dauerversuches der LfL. in Viehhausen. Durchschnittserträge (1998-2003) der ersten und zweiten Frucht nach der Leguminose.....	35
Abbildung 20: Fruchtfolge der Variante III.....	36
Abbildung 21: Entwicklung der Humusgehalte im Ökologischen Ackerbauversuch Gladbacherhof in Abhängig von Fruchtart bzw. Anbausystem	37
Abbildung 22: Beziehung zwischen Gesamt-Kohlenstoff (Ct)- und Gesamt-N- (Nt)-Gehalt in einem Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm	38
Abbildung 23: Fruchtfolgeanbauversuch Viehhausen von 1998 – 2003	39
Abbildung 24: Einfluss verschiedener Zwischenfruchtarten auf den Verlauf der Nmin-Gehalte.....	41
Abbildung 25: Gründüngungswirkung der Zwischenfrüchte auf die Folgefrucht Sommerhafer	42

Abbildung 26: Nachfruchtwirkung des Anbaus von Wintererbsen mit und ohne Weißklee-Untersaat auf den Weizenertrag	43
Abbildung 27: Vorfruchtwirkung verschiedener Leguminosenarten	44
Abbildung 28: Produktion von Sommergerstenmischungen in der ehemaligen DDR.....	45
Abbildung 29: Ertrag und Qualität der Einzelkomponenten im Vergleich zu Sortenmischungen	46
Abbildung 30: Kornertrag und Verkaufsleistung von Erbse in Rein- und Gemengesaat (Mittel der Jahre 2007).....	48
Abbildung 31: Jährliches Reproduktionspotential in der Deutschen Landwirtschaft.....	48
Abbildung 32: Schema der N-Versorgung einer Pflanze	49
Abbildung 33: N-qualität unterschiedlicher organischer Dünger	50
Abbildung 34: Mittlere-Gehalte im Boden von P, K, Mg, pH-Wert, Gülzow 1993-2003	51
Abbildung 35: Ausdehnung der Glazialgürtel mit charakteristischen Bodencatänen.....	52
Abbildung 36: Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg über das Vorkommen der Pararendzina	54
Abbildung 37: Bodenprofil der Pararendzina	54
Abbildung 38: Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg über das Vorkommen des Pseudogley.....	55
Abbildung 39: Bodenprofil des Pseudogleys	56
Abbildung 40: Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg über das Vorkommen der Kolluvisol	57
Abbildung 41: Bodenprofil des Kolluvisol	57
Abbildung 42: Bodengüteklassen landwirtschaftlich genutzter Flächen in Brandenburg.....	58
Abbildung 43: Bodenübersichtskarte.....	60
Abbildung 44: Bodenübersichtskarte von Landkries Uckermark	61
Abbildung 45: Bodenarten in der Uckermark.....	61
Abbildung 46: Landwirtschaftliche Ertragspotential der Uckermark	62
Abbildung 47: Humusgehaltsklassen des Oberbodens	63
Abbildung 48: Kohlenstoffvorräte in Uckermärkischen Böden	63
Abbildung 49: Sorptionsvermögen im effektiven Wurzelraum	64
Abbildung 50: Kennwerte zum Wasserhaltevermögen der Uckermärkischen Böden.....	64
Abbildung 51: Prinzip und Funktionsweise des Modells CCB.....	67
Abbildung 52: Vergleich von Mess-und Modellwerten der 40 simulierten Dauerversuche ..	68
Abbildung 53: Durchschnittstemperatur Wetterstation Neuruppin 1991-2011	70
Abbildung 54: Niederschlagssumme Wetterstation Neuruppin 1991 bis 2011.....	71
Abbildung 55: Niederschlagsverteilung 1991-2011	71
Abbildung 56: C _{org} Entwicklung Variante I leichter Boden 1991-2010	73

Abbildung 57: C _{org} Entwicklung Variante I mittlerem Boden 1991-2010.....	74
Abbildung 58: C _{org} Entwicklung Variante I schwerem Boden 1991-2010	75
Abbildung 59: N Salden Variante I verschiedene Böden 1991-2010	76
Abbildung 60: C:N Verhältnis Variante I 1991-2010	77
Abbildung 61: C _{org} Entwicklung Variante II leichter Boden 1991-2010.....	78
Abbildung 62: C _{org} Entwicklung Variante II mittlerer Boden 1991-2010	78
Abbildung 63: C _{org} Entwicklung Variante II schwerer Boden1991-2010.....	79
Abbildung 64: N-Salden Variante II verschiedene Böden 1991-2010	80
Abbildung 65: C:N Verhältnis Variante II verschiedene Böden 1991-2010.....	81
Abbildung 66: C _{org} Entwicklung Variante III leichter Boden 1991-2010.....	82
Abbildung 67: C _{org} Entwicklung Variante III mittlerer Boden 1990-2010.....	82
Abbildung 68: C _{org} Entwicklung Variante III schwerer Boden 1990-2010.....	83
Abbildung 69: N-Salden Variante III verschiedene Böden 1991-2010	84
Abbildung 70: C:N Verhältnis Variante III verschiedene Böden 1991-2010	84
Abbildung 71: Global energy budget of the Earth for the period March 2000- May 2004.....	87
Abbildung 72: CO ₂ Konzentration Messung der Wetterstation Mauna Loa Hawaii	88
Abbildung 73: Klimaveränderung Neuruppin 1961 bis 2011.....	89
Abbildung 74: C _{org} Entwicklung Variante III leichter Boden verschiedene Niederschlagsmengen 1991-2010	92
Abbildung 75: C _{org} Entwicklung Variante III mittlerer Boden verschiedene Niederschlagsmengen 1991-2010	93
Abbildung 76: C _{org} Entwicklung Variante III schwerer Boden verschiedene Niederschlagsmengen 1991-2010	93
Abbildung 77: C _{org} Entwicklung Variante III leichter Boden verschiedene Durchschnittstemperaturen 1991-2010	94
Abbildung 78: C _{org} Entwicklung Variante III mittlerer Boden verschiedene Durchschnittstemperaturen 1991-2010	95
Abbildung 79: C _{org} Entwicklung Variante III schwerer Boden verschiedene Durchschnittstemperaturen 1991-2010	95
Abbildung 80: Deckungsbeitrag der einzelnen Varianten	97
Abbildung 81: DB der einzelnen Varianten mit Einbeziehung des veränderten C _{org} - Gehaltes	98
Abbildung 82: Erlöse und Variable Kosten der einzelnen Varianten.....	99
Abbildung 83: Entwicklung der Varianten nach 20 Jahren durch Einbeziehung der C _{org} - Veränderung.....	100
Abbildung 84: Vergleich zwischen C _{org} und nFK nach 4 Rotationen.....	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Humusbilanzkoeffizienten für humuszehrend Fruchtkarten der verschiedenen Bilanzierungsmethoden gegenübergestellt, verändert.....	21
Tabelle 2: Humusersatzleistung von organischen Düngern bei verschiedenen Bilanzierungsmethoden, verändert.....	22
Tabelle 3: Nährstoffbilanzen im Ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme.....	32
Tabelle 4: Nährstoffzufuhr und –Entzug sowie Bilanzsalden im Mittel der Fruchtfolge und Jahre(1993-2003)	51
Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten (r) zwischen Ergebnissen von Humusbilanzmethoden und experimentellen Merkmalen des Bodens von Dauertestflächen und Dauerversuchen des Ackerlandes.....	69
Tabelle 6: Erträge nach KTBL	72
Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse C-Veränderung	85
Tabelle 8: Niederschlagsveränderung in mm Neuruppin 1961-2011	90
Tabelle 9: Temperaturveränderung in °C 1961-2011	90
Tabelle 10: Zusammenfassung der C _{org} Veränderungen	96
Tabelle 11: Bodengruppenübersicht.....	111
Tabelle 12: Umrechnung der Bodenhumusgehalte zum organischen Kohlenstoffgehalt ...	112
Tabelle 13: Daten Corg- Berechnung Var. I normaler Temperatur	113
Tabelle 14: Daten Corg- Berechnung Var. I Niederschlag gering	114
Tabelle 15: Daten Corg- Berechnung Var. I Niederschlag hoch	114
Tabelle 16: Daten Corg- Berechnung Var. I Temperatur gering	115
Tabelle 17: Daten Corg-Berechnung Var. I Temperatur hoch.....	116
Tabelle 18: Daten Corg-Berechnung Var. II Normale Temperatur.....	116
Tabelle 19: Daten Corg-Berechnung Var. II Niederschlag gering	117
Tabelle 20: Daten Corg-Berechnung Var. II Niederschlag hoch	117
Tabelle 21: Daten Corg-Berechnung Var. II Temperatur gering	118
Tabelle 22: Daten Corg-Berechnung Var. II Temperatur hoch.....	118
Tabelle 23: Daten Corg-Berechnung Var. II normale Temperatur	119
Tabelle 24: Daten Corg-Berechnung Var. III Niederschlag gering	119
Tabelle 25: Daten Corg-Berechnung Var. III Niederschlag hoch	120
Tabelle 26: Daten Corg-Berechnung Var. III Temperatur gering	120
Tabelle 27: Daten Corg-Berechnung Var. III Temperatur hoch.....	121
Tabelle 28: Entwicklung C im Boden bei Var. I.....	122
Tabelle 29: Entwicklung C im Boden bei Var. II.....	123

Tabelle 30: Entwicklung C im Boden bei Var. III.....	124
Tabelle 31: Daten N-Saldberechnung Var. I bei normaler Temperatur	125
Tabelle 32: Daten N-Saldberechnung Var. II bei normaler Temperatur	126
Tabelle 33: Daten N-Saldberechnung Var. II bei normaler Temperatur	127
Tabelle 34: Daten N-Saldberechnung Var. I bei hoher Temperatur	128
Tabelle 35: Daten N-Saldberechnung Var. II bei hoher Temperatur	129
Tabelle 36: Daten N-Saldberechnung Var. III bei hoher Temperatur	130
Tabelle 37: Daten N-Saldberechnung der Var. I bei geringer Temperatur	131
Tabelle 38: Daten N-Saldberechnung der Var. II bei geringer Temperatur	132
Tabelle 39: Daten N-Saldberechnung Var. III bei geringer Temperatur	133
Tabelle 40: Daten N-Saldberechnung Var. I bei hohen Niederschlägen	134
Tabelle 41: Daten N-Saldberechnung Var. II bei hohen Niederschlägen	135
Tabelle 42: Daten N-Saldberechnung Var. III bei hohen Niederschlägen	136
Tabelle 43: Daten N-Saldberechnung Var. I bei geringen Niederschlägen	137
Tabelle 44: Daten N-Saldberechnung Var. II bei geringen Niederschlägen	138
Tabelle 45: Daten N-Saldberechnung Var. III bei geringen Niederschlägen	139
Tabelle 46: Corg-Veränderung bei den einzelnen Fruchtwechseln.....	140
Tabelle 47: Jährliche Temperatur & Niederschlagsübersicht von 1991 bis 2011	141
Tabelle 48: Durchschnittsdaten von Temperatur und Niederschlag von 1961 bis 1990 sowie 1991 bis 2011	141
Tabelle 49: Durchschnittstemperatur- & -niederschlagssummen von 1961 bis 2011	142
Tabelle 50: Temperaturmonatesdaten von 1961 bis 1990.....	143
Tabelle 51: Niederschlagsmonatsdaten von 1961 bis 1990.....	144
Tabelle 52: Temperaturmonatsdaten von 1991 bis 2011.....	145
Tabelle 53: Niederschlagsdaten von 1991 bis 2011	145
Tabelle 54: Kosten und Leistungen der Var. I leichter Boden	146
Tabelle 55: Kosten und Leistung der Var. I mittlerer Boden	146
Tabelle 56: Kosten und Leistungen der Var. I schwerer Boden	147
Tabelle 57: Kosten und Leistungen der Var. II leichter Boden	147
Tabelle 58: Kosten und Leistungen der Var. II mittlerer Boden.....	148
Tabelle 59: Kosten und Leistungen der Var. II schwerer Boden	148
Tabelle 60: Kosten und Leistungen der Var. III leichter Boden	149
Tabelle 61: Kosten und Leistungen der Var. III mittlerer Boden.....	149
Tabelle 62: Kosten und Leistungen der Var. III schwerer Boden	150
Tabelle 63: Entwicklung des Corg-Gehaltes nach 4. Rotationen	150
Tabelle 64: Berechnung der Korrigierten DB sowie Erlöse	150
Tabelle 65: Entwicklung des Corg-Gehaltes und daraus entstandenen nFk Gewinn	150

Abkürzungsverzeichnis

AZ	Ackerzahl
BAT	Biologisch Aktive Zeit
BP	Bodenpunkte
C _{org}	organischer Kohlenstoffgehalt
DB	Deckungsbeitrag
MDA	Mineraldünger Äquivalente
N	Stickstoff
nFK	Nutzbare Feldkapazität
SG	Sommergerste
TRD	Trockenrohddichte
Var.	Variante
Var.K.	variable Kosten
WR	Winterroggen
WW	Winterweizen
ZF	Zwischenfrucht

1 Einleitung

Der bevorstehende bzw. laufende Klimawandel ist das Thema der klimapolitischen Diskussion der vergangenen Jahre. Der von der Menschheit verursachte Anstieg der CO₂ Emissionen sorgt laut IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dafür, dass sich die mittlere Jahrestemperatur bis spätestens Ende des Jahrhunderts um 2°C erhöht. Auf Brandenburg übertragen wird mit verschiedenen Klimamodellen prognostiziert (BRANDENBURG L. , mugv.brandenburg.de, 2010):

- die Tagesmitteltemperaturen des Jahresmittels werden sich bis Mitte des Jahrhunderts um mindestens ein Grad erhöhen
- zum Ende des Jahrhunderts werden diese Werte um ca. 3 Grad gegenüber dem Zeitraum 1971 - 2000 höher liegen
- die stärksten Temperaturänderungen sind im Winter zu erwarten (ca. 4 Grad)
- die Jahressumme an Niederschlägen wird sich nicht wesentlich ändern
- die Sommerniederschläge werden ab- und die Winterniederschläge zunehmen
- die Vegetationszeit wird sich um mindestens drei Wochen weiter ausdehnen
- die Zahl der Sommertage, heißen Tage, Tage mit Schwüle und tropische Nächten wird teilweise sehr deutlich zunehmen
- die Zahl der Eistage und Frosttage wird hingegen abnehmen

Was bedeuten diese Prognosen für die Landwirtschaft? Positiv kann gesehen werden, dass es durch die Verlängerung der Vegetationszeit zu höheren Erträgen kommen kann. Doch sind diese Erträge überhaupt realisierbar, wenn es regelmäßig zu Vorsommertrockenheit kommt? Ein Ansatz könnte sein, dass die Humuswirtschaft nach Jahren der Nichtbeachtung endlich wieder an Bedeutung gewinnt. Denn der Humusaufbau ist neben der Beregnung auf den leichten Standorten Brandenburgs die einzige Möglichkeit, die nutzbare Feldkapazität zu erhöhen und somit zur Ertragsstabilität beizutragen.

Kontrovers wird auch in der Öffentlichkeit diskutiert, ob man sich bei über sieben Milliarden Menschen auf der Erde eine Bewirtschaftungsform leisten kann, die auf 40 bis 50 % Ertrag verzichtet und somit doppelt so viel des knappsten und nicht vermehrbaren Produktionsfaktors Boden benötigt. Doch ist der Grundgedanke der ökologischen Landwirtschaft vom ausgeglichenen Kreislauf zwischen Tierhaltung und Ackerbau nicht die einzige Möglichkeit, die

Bodenfruchtbarkeit für kommende Generation zu erhalten? Das heißt, führt denn nicht der einseitige Anbau von Energiefruchtfolgen mittelfristig zur Verarmung der Bodenfruchtbarkeit? Der Inhalt dieser Arbeit soll sich mit den möglichen Entwicklungen des Humusgehalts von drei verschiedenen Fruchtfolgen auf jeweils drei verschiedenen Böden befassen und im Ergebnis eine ökonomische Auswertung beinhalten. Des Weiteren sollen aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich der Humusforschung (C-Sequestrierung, Bilanzierungsmodelle) und in Vergessenheit geratene Fruchtfolgegrundsätze mit dargestellt werden. Denn trotz der heutigen hochpräzisen Analysetechnik, ist die Bestimmung der Humusentwicklung von so vielen Parametern abhängig, dass sie mehr oder weniger auf Schätzungen beruhen. Abgesichert können diese Modelle nur mit der Auswertung von Exakt-Dauerversuchen werden, welche zum Teil seit mehreren Jahrzehnten laufen und so eine verlässliche Datenbasis liefern.

2 Humus

Als Humus wird in der Bodenkunde die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Masse tierisch wie pflanzlich bezeichnet (SCHEFFET & ULRICH, 1960, S. 1). Oftmals werden organische Bodensubstanz (OBS) und Humus als Synonym genutzt. Humus ist keine einheitliche bzw. stabile Substanz, sondern unterliegt ständigen Auf- und Abbauprozessen. Der Bodenumus kann nach verschiedenen Gesichtspunkten unterteilt werden (SCHEFFET & ULRICH, 1960, S. 3):

- Funktionell in zwei Humusarten, den **Nährhumus** und **Dauerhumus**
- Stofflich in die Humusbestandteile, **Nichthuminstoffe** und **Huminstoffe** (Fulvosäuren, Hymatomelansäuren, Huminsäuren, Humine, Humuskohle)
- Morphologisch-genetisch in die Humusformen **Terrestrisch** (Rohhumus, Moder, Mull), **Semiterrestrisch** (Torf) und **Unterwasserformen** (Gyttja, Dy)

Der Nährhumus dient dem Bodenleben (Edaphon) als Nahrungsquelle und umfasst alle biologisch leicht angreifbaren organischen Humusstoffe (z.B. Wurzel und Ernterückstände) des Bodens. Dabei erfolgt der Abbau bzw. Umbau der organischen Substanz durch das Edaphon in drei Schritten.

Als erstes findet eine hydrolytische Aufspaltung der Makromoleküle (Polysaccharide) vor allem durch Pilze statt. Daraufhin folgt als zweiter Schritt, die mechanische Zerkleinerungs- und Vermischungsphase durch die Makro- und Mikrofauna. In Böden mit einem regen Bodenleben können in dieser Phase schon große Mengen der organischen Substanz aus Wurzel und Ernterückständen abgebaut werden, und es erfolgt durch Mitnahme von Regenwür-

mern eine Verteilung im Boden. (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, Lehrbuch der Bodenkunde, 15.Auflage, 2002, S. 53)

Im dritten Schritt werden die zerkleinerten Pflanzen- und Tierreste durch heterotrophe und saprophytische Bodenorganismen in ihre Grundstruktur zerlegt. Der Übergang aller drei genannten Schritte ist fließend und nur schwer abgrenzbar.

Beim Dauerhumus handelt es sich um Substanzen die mikrobiell schwer zersetzbar sind. Die Hauptbestandteile des Dauerhumus lassen sich grob in Huminstoffe und Nichthuminstoffe unterteilen. Nichthuminstoffe gehören in der Regel zu den Stoffgruppen der Proteine, Polysaccharide, Lipide und Lignine. Sie dienen zwar dem Edaphon als Nahrungsquelle, doch sind sie nicht identisch mit Nährhumus, weil sie auch Bestandteile des Dauerhumus enthalten wie Wachse, Kutine, Harze und Lignine.

Bei den Huminstoffen handelt es um hochkomplexe stabile organische Verbindungen, welche aus vorherigen mikrobiellen Abbau reaktionsfähiger Spaltprodukte, wie z.B. Monosaccharide aus Kohlenhydraten, durch chemische und biochemische Reaktionen neu entstehen.

Chemisch betrachtet bestehen sie aus einem Kern, der über eine Brücke mit einer reaktiven Gruppe verbunden ist. Die Kerne sind iso- oder heterocyclische Sechs- oder Fünf-Ringe, wie z.B. Furan, Benzol, Pyridin, Chinolin, etc. Als reaktive Seitengruppen können u. a. als Hydroxyl, Amino-, Carboxyl-oder Carbonylgruppen vorkommen (SCHEFFET & ULRICH, 1960, S. 40-45). Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass es für Stabilität der Humifizierungsprodukte gegen weiteren mikrobiellen Abbau drei Mechanismen gibt:

- Rekalzitranz, d.h. strukturelle Eigenschaften, die den weiteren Umbau verhindern
- Chemische Bindung an Oberflächen von Tonmineralen und Eisenoxiden
- Einschluss der organischen Substanz in Bodenaggregate

Welcher der genannten Mechanismen die Hauptrolle spielt, hängt von den chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften und der jeweiligen Tiefe der Bodenhorizonte ab (MARSCHNER, 2009). Bei Bestimmung des Humusgehaltes wird der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) des Bodens gemessen. Unter der Annahme eines mittleren C-Gehaltes der organischen Substanz im Boden von 58 % lässt sich daraus durch Multiplikation des C_{org} -Gehaltes mit dem Faktor 1,724 der Humusgehalt errechnen.

2.1 Organische N-Verbindungen

Über den Gehalt an N im Boden kann indirekt auch auf Humusgehaltsveränderung des Bodens geschlossen werden. Der N-Gehalt des Bodens beträgt im Durchschnitt 0,1 - 0,3 % N, d.h. in 20 cm Ackerkrume sind 3000 - 9000 kg/N/ha und von diesem Gesamt N sind ca. 95 % in organischer Form gebunden. Von den Makronährstoffen und Mikronährstoffen ist der N in gelöster Form, also hauptsächlich nur in organischer Form, speicherbar und damit gegen Auswaschung geschützt. Ausnahmen bilden hier Böden, die reich an Tonmineralen besonders Illit sind, hier kann bis zu 50 % Gesamt-N in NH_4 Form vorliegen (LEITHOLD, 1984).

2.2 Humus als Kohlenstoffspeicher

Mit der Diskussion des Klimawandels, verursacht durch die steigende CO_2 Emissionen der Menschheit, ist die Speicherung des CO_2 im Boden vornehmlich im Humusanteil in den Vordergrund gerückt. Im globalen Kohlenstoffkreislauf (Abbildung 1) sind ca. 1600 GT (Gigatonnen) C in den globalen Böden enthalten. Diese Menge übertrifft die in der Atmosphäre enthaltene CO_2 Menge von ca. 750 GT (steigt jährlich um 3 GT) um das 2,1 fache, die im biotischen Pool gehaltene Menge von ca. 610 GT um das 2,6 fache.

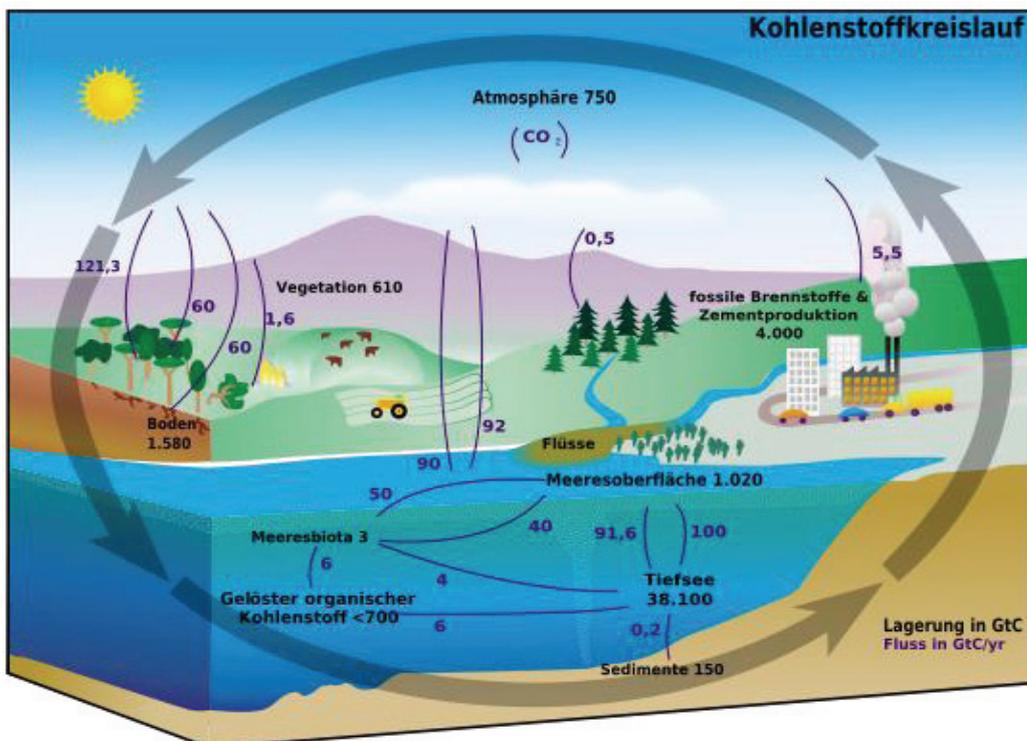


Abbildung 1: Globaler Kohlenstoffkreislauf (THOME, 2009)

Über die Photosynthese binden die Pflanzen das CO_2 aus der Luft, das dann in Form von Wurzeln und Ernterückständen in den Boden gelangt und dort über die genannten Prozesse aus Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. in den Humus eingebaut wird. Doch wie viel C kann so gespeichert werden? Nach allgemeiner Lehrmeinung enthält Humus rund 58 % C, d.h.

- 1 % C entspricht 1,72 % Humus
- 1% C entspricht $\sim 45 \text{ t C ha}^{-1} = 78 \text{ t Humus ha}^{-1}$

Weiterhin ist bekannt, dass bei landwirtschaftlich genutzten Mineralböden sich der C_{org} Gehalt je nach Bodenart zwischen einem oberen und unteren Niveau bewegt (Abbildung 2). Nach einer bestimmten Zeit stellt sich bei gleichbleibender Bewirtschaftung ein Fließgleichgewicht ein. Ändert sich die Bewirtschaftung, z.B. durch regelmäßige Zufuhr von organischem Material, steigt der C_{org} Gehalt und sinkt beispielsweise beim alleinigen Anbau von humuszehrenden Fruchtarten wie Mais. Dabei geht der Abbauprozess in der Regel schneller als der Aufbauprozess.

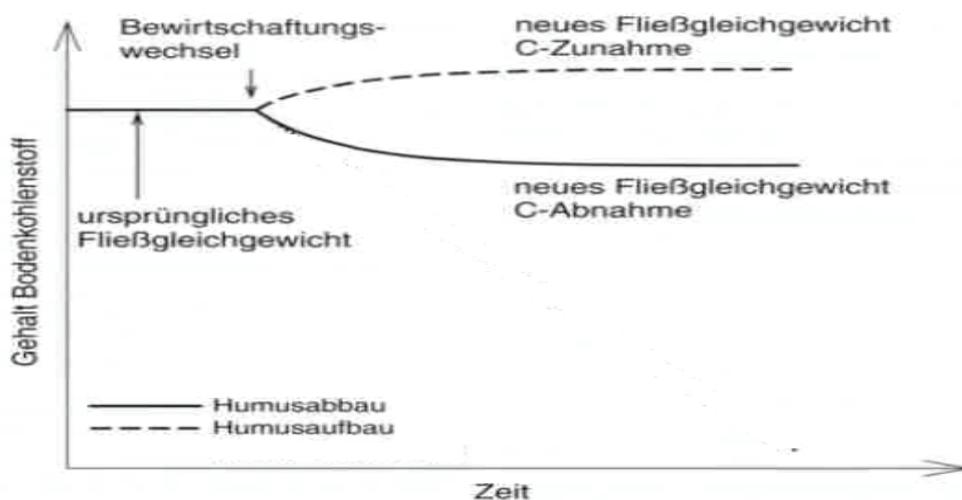


Abbildung 2: Entwicklung C_{org} - Gehalts bei unterschiedlicher Bewirtschaftung (LEITFELD, 2009), verändert

Durch diese Annahmen ist zwar die mögliche Speichergröße für C (C-Sequestrierung) bekannt, doch noch nicht die Größe der Senkwirkung, also wie lange wird der C im Boden gebunden ist. Dazu soll ein FACE-Versuch (Free Air Dioxide Enrichment Experiment) Aufschluss geben. In diesem Experiment wurden einem im Jahr 1975 mit unterschiedlichen Baumarten aufgeforsteten Waldökosystem an der alpinen Waldgrenze seit 2001 eine um 200ppm erhöhte CO_2 -Konzentration zugeführt. Diese Konzentration wird vom Intergovern-

mental Panel on Climate Change (IPCC) im Jahr 2070 erwartet. Um den Kohlenstofffluss nachvollziehbar zu machen, wurde das zusätzliche CO₂ mit C₁₃-Isotopen markiert.

Als Ergebnis (Abbildung 3) wurde beobachtet, dass von dem zusätzlich bereitgestellten CO₂ die Pflanzen etwa 300 g Kohlenstoff je m² und Jahr aufnahmen. Von diesen 300 g wurden etwa 110 g in die Pflanzen eingebaut, rund 120 - 150g aber wieder direkt über die Wurzeln veratmet. Nur etwa 40 g wurde im Boden in den Bodenumus eingebaut und ein kleiner Teil als organischer Kohlenstoff ausgewaschen. Das bedeutet, dass das Ökosystem an der alpinen Waldgrenze rund zwei Drittel ihres zusätzlich bereitgestellten Kohlenstoffs über die Wurzeln wieder abgeben. In vergleichbaren Versuchen in gemäßigten Klimazonen lag dieser Anteil bei einem Drittel. Also fungiert der Bodenumus zwar als großer Speicher für Kohlenstoff aber nur als kleine Senke (HAGEDORN, 2009, S. 49-54).

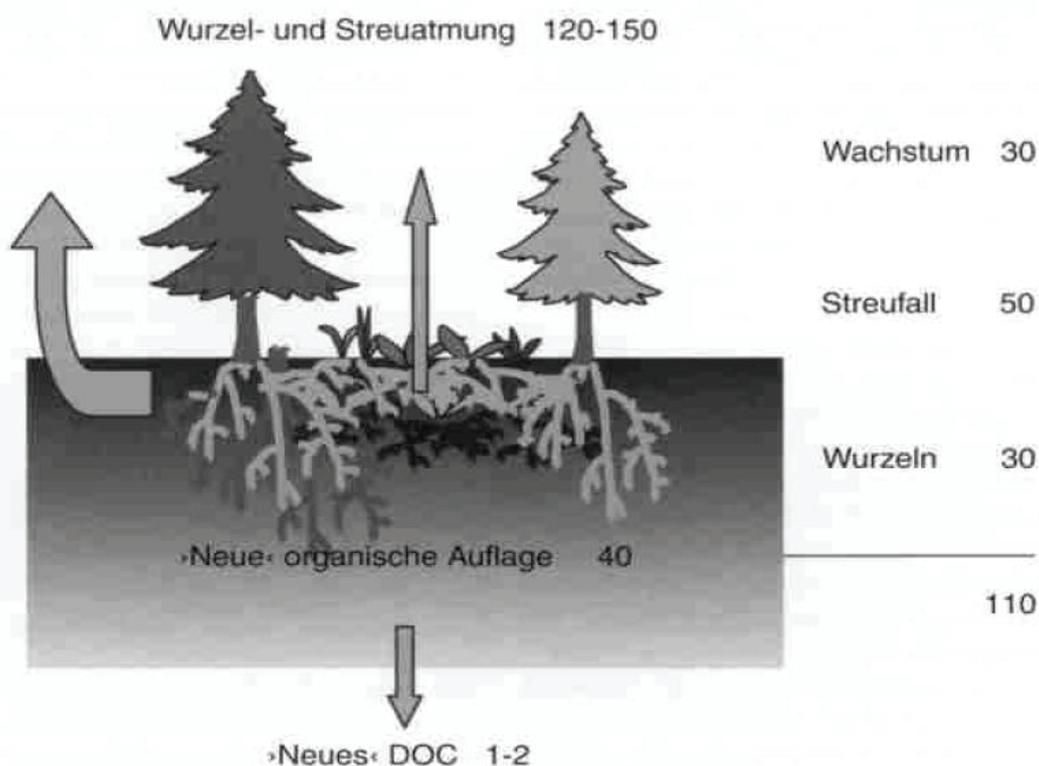


Abbildung 3: Bilanz des von Pflanzen aufgenommenen, isotopisch markierten CO₂ (g C/m² a) während eines Jahres in Ökosystemen an der alpinen Waldgrenze (HAGEDORN, 2009)

Der einzige vergleichbare mini FACE-Ackerfreilandversuch an der Uni Hohenheim, welcher seit 2002 durchgeführt wird, kommt zu ähnlichen Ergebnissen der C-Sequestrierung. Als weiterer Ansatz für die C-Sequestrierung gilt auch noch die Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsform des Ackerlandes. Es wird davon ausgegangen, dass intensiv genutzte Ackerflä-

chen eine geringere C-Sequestrierung aufweisen als Flächen, die z.B. im Direktsaatverfahren und mit organischer Düngung bewirtschaftet werden. In dem IPCC Bericht „GoodPractice Guidanceforlanduse“ aus dem Jahr 2006 ist das Direktsaatverfahren zur Erhöhung der C-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden mit aufgenommen.

Doch kann so eine pauschale Aussage getroffen werden? Dazu wurde ein 18 jähriger Langzeitversuch in der Schweiz (Abbildung 4) auf Unterschiede im C_{org} Gehalt bei differenzierter Bewirtschaftung untersucht.

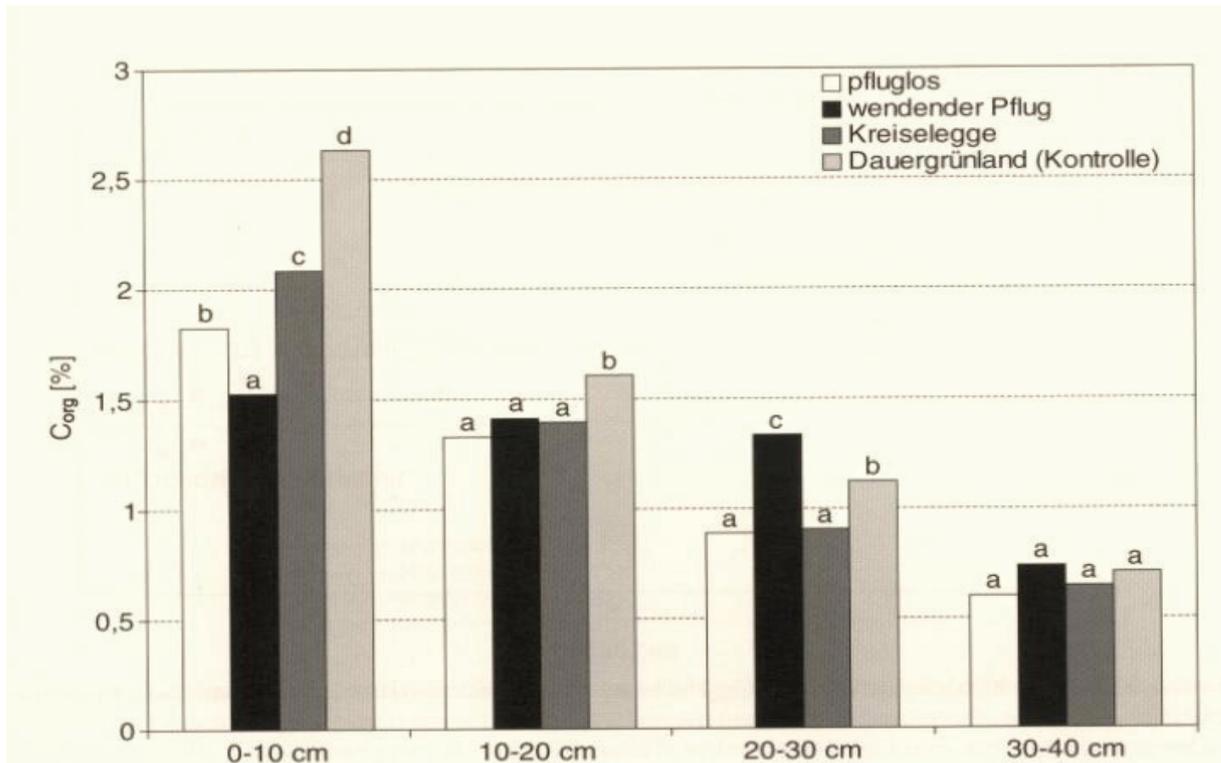


Abbildung 4: Gehalte an C_{org} in 4 verschiedenen Bodentiefen eines Schweizer Langzeitversuchs (LEITFELD, 2009)

Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede. Es zeigt sich, dass bei Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung, bei der nur flach eingearbeitet wurde, die C-Akkumulation im Oberboden von 0 - 10 cm signifikant am höchsten ist. Aber schon in der nächst tieferen Bodenschicht von 10 - 20 cm gleicht sich diese an und verdreht sich bei 20 - 30 cm ins Gegenteil. Nivelliert über die gesamte Bodentiefe ergab kein Bewirtschaftungsverfahren signifikante höhere C_{org} -Gehalte. Erklärbar ist dies, dass zwar durch den Verzicht auf das Pflügen es zu einer Anreicherung von organischem Material im Oberboden kommt, dieses aber zu Lasten der tieferen Bodenschichten geht. Es kommt also durch Direktsaatverfahren nicht zu einer Erhöhung der C-Sequestrierung, sondern nur zu einer anderen Verteilung innerhalb der Bodenschichten.

Eine andere Möglichkeit den C_{org} Gehalt des Bodens anzuheben ist die seit Jahrhunderten durchgeführte Praxis, die tierischen Nebenprodukte wie Dung und Harn vermischt mit Stroh dem Acker wieder zuzuführen. Durch die regelmäßige Stalldunggabe erhöht sich der C_{org} -Gehalt signifikant (Abbildung 5). Selbst nach Einstellung der organischen Düngung ist noch 100 Jahre später ein höherer C_{org} Gehalt messbar als in der unbehandelten Variante.

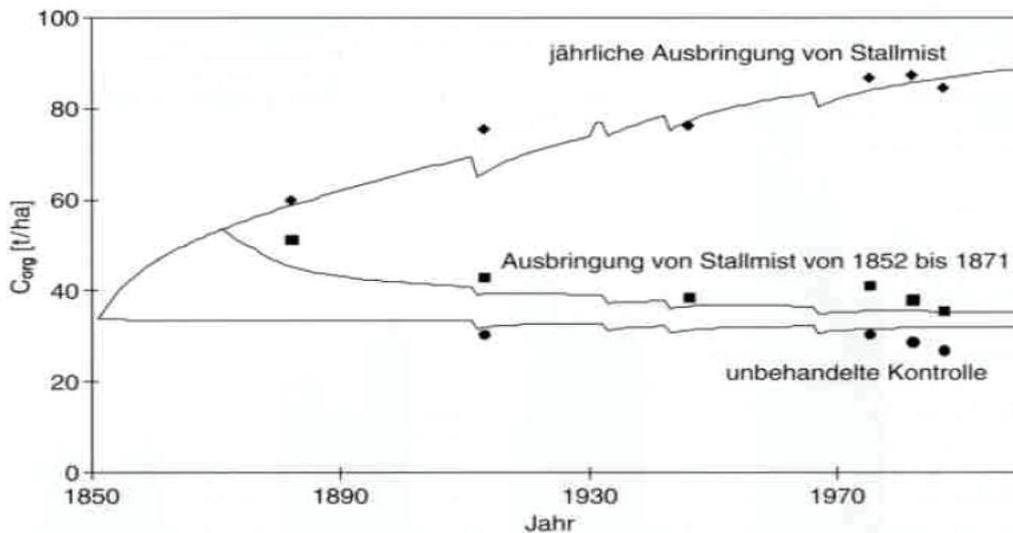


Abbildung 5: Entwicklung C_{org} in einem Langzeitexperiment in Rothamsted, England (LEITFELD, 2009)

Aus Sicht der CO_2 Gesamtbilanz kann aber die Frage gestellt werden, was günstiger ist, den Umweg über den Kuhmagen oder die Biomasse auf dem Feld zu belassen? In der Gesamtkohlenstoffbilanz einer Schweizer Milchkuh und ihrer erzeugten Produkte (Milch, Fleisch, CO_2 Veratmung, Methan) scheidet diese etwa 30 % wieder als Dung aus. Dieser Dung ist in seiner C-Zusammensetzung natürlich höherwertiger als die C-Zusammensetzung der auf dem Feld wachsenden Grünmasse. Doch es braucht trotzdem die dreifache C-Menge um eine C-Dungeinheit zu produzieren, als wenn die C-Menge auf dem Feld verbleiben würde. In dieser hypothetischen Fragestellung ist natürlich nicht der Zusatznutzen der erzeugten Tierprodukte (Milch, Fleisch) mit eingerechnet. Doch der Verzicht auf Fleisch kann, wie andere Studien zeigen, wirkungsvoll CO_2 vermeiden (Landesamt für Natur NRW, 2011; MINONZIO, 1998).

Eine Schlussfolgerung der vorgestellten Versuche ist, dass es noch erheblichen Forschungsbedarf im Bereich der C-Sequestrierung und Senkfunktion von landwirtschaftlich genutzten Flächen gibt und keine pauschalen Aussagen zu guten bzw. schlechten Bewirtschaftungsformen getroffen werden können.

2.3 Diskrepanz von Humus mit der heutigen Bewertungsmethodik

Nachdem in den Punkten **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** auf die egriffsbestimmung des Humus eingegangen wurde, soll sich in diesem Gliederungspunkt mit der in der heutigen Praxis anzutreffenden Bewertungs- bzw. Bilanzierungsmethoden auseinander gesetzt werden. Humus bilanzieren muss der Betrieb, der weniger als drei Kulturen mit jeweils mind. 15 % an der Ackerfläche anbaut Stilllegung gilt als Kultur. Die unteren Bedarfswerte aus der VDLUFA- Methode sind in die Cross Compliance (CC) Regelungen übernommen und damit Direkt-Zahlungs-Verpflichtungs-Verordnung relevant. Grundsätzlich ist sich die Wissenschaft über das in (Abbildung 6)dargestellte Bilanzierungsschema einig.

Humuszufuhr	—	Humusbedarf	=	Humussaldo
Reproduktionsleistung organischer Materialien (Erntereste, organische Dünger)		Anbauspezifisch: Wirkung der Fruchtarten (Wurzelmasse, Rhizodeposition) und der Anbauverfahren (z. B. Bodenbearbeitung)		Abschätzung der Veränderung der Humusvorräte des Bodens

Abbildung 6: Prinzip der Humusbilanzierung (KÖRSCHENS, et al., 2004)

Aber warum wird eigentlich bilanziert, also mehr oder wenig geschätzt, anstatt gemessen? In der landwirtschaftlichen Praxis können ja auch sämtliche Makro- wie Mikronährstoffe im Boden genau bestimmt werden. Die Antwort geben folgende (Abbildung 7 und Abbildung 8)

Herkunft der Probe	Labor 1	Labor 2	Labor 3	Labor 4	Labor 5	Mittel	Spannweite
Groß Kreuz	0,432	0,364	0,404	0,460	0,400	0,412	0,10
	0,624	0,597	0,610	0,640	0,700	0,634	0,10
Dikopshof	1,391	1,169	1,211	1,310	1,400	1,296	0,23
Bad Lauchstädt	1,756	1,587	1,674	1,630	1,900	1,709	0,31
	2,659	2,562	2,520	2,540	2,800	2,616	0,28
Müncheberg	0,315	0,262	0,366	0,360	0,300	0,321	0,10
Thyrow	0,622	0,754	0,803	0,820	0,800	0,760	0,20
Mittel	1,114	1,042	1,084	1,109	1,186	1,107	0,14

Legende: grün – höchster Messwert
gelb – niedrigster Messwert

Abbildung 7: Ergebnisse der Ringuntersuchung 1999- C_{org} TS-% (KÖRSCHENS M. , 2010)

Hier ist dargestellt was passiert, wenn man identische Bodenproben von fünf Versuchsstandorten an fünf verschiedene Labore zur Untersuchung des C_{org} Gehalts schickt. Es werden 25 verschiedene Werte ermittelt. Die durchschnittliche Spannweite von 0,14 TS-% ist viel zu groß, um daraus auf sich veränderte Humusgehalte des Bodens schließen zu können. Das Argument, dass die Proben dann immer an das gleiche Labor geschickt werden sollten um einen gleich bleibenden „Messfehler“ zu erhalten, widerlegt die (Abbildung 8).

5 m									
1,61	1,71	1,74	1,76	1,64	1,67	1,68	1,68	1,68	1,75
1,67	1,63	1,69	1,67	1,71	1,76	1,77	1,69	1,64	1,77
1,67	1,67	1,69	1,67	1,60	1,71	1,64	1,68	1,66	1,63
1,69	1,62	1,66	1,68	1,64	1,72	1,67	1,70	1,69	1,74
1,61	1,66	1,70	1,66	1,74	1,69	1,63	1,68	1,72	1,69
1,67	1,69	1,68	1,68	1,74	1,67	1,67	1,69	1,66	1,65
1,66	1,73	1,60	1,67	1,65	1,67	1,73	1,73	1,93	1,69
1,70	1,61	1,77	1,70	1,64	1,74	1,69	1,62	1,60	1,65
1,72	1,70	1,71	1,68	1,66	1,66	1,63	1,64	1,65	1,60
1,63	1,56	1,67	1,63	1,56	1,69	1,67	1,62	1,56	1,61
Mittelwert: 1,68					Spannweite: 0,37				

Legende: violett – höchster Messwert
 grün – niedrigster Messwert

Abbildung 8: C_{org} Gehalte in TS-Prozent in der Krume von 100 Ausschnittsparzellen mit je 0,25 m²-Statischer Versuche Bad Lauchstädt, ungedüngte Variante (KÖRSCHENS M. , 2010)

Am Versuchsstandort Bad Lauchstädt wurden 100 Proben von je 0,25 m² aus der ungedüngten Variante eines Dauerversuchs genommen. Die durchschnittliche Spannweite des C_{org} - Gehalts war mit 0,37TS-% noch höher. Das beweist, dass Veränderung des C_{org} - Gehalts großen räumlichen Differenzen unterliegen. Bekannt ist auch, dass die Jahreszeit, die angebaute Kultur, die Bewirtschaftungsform eine nicht unerhebliche Rolle spielen. Würde man jetzt in der landwirtschaftlichen Praxis Bodenproben zur Bestimmung des C_{org} bzw. des Humusgehalts vorschreiben, um von dem Wert Rückschlüsse auf die Bodenfruchtbarkeit zu schließen, wären wohl CC relevante Sanktionen an der Tagesordnung.

Die heute verbreitetste Bilanzierungsmethode ist der VDLUFA-Standpunkt (KÖRSCHENS, et al., 2004). Hier kam die Wissenschaft mit dem Ziel einer Harmonisierung der Humusbilanzierungsmethoden zusammen. Als Grundlage wurden die bis dahin zwei gebräuchlichsten Bilanzierungsmethoden genommen. Dies war zu einem die ROS-Methode (Reproduktionswirksame organische Substanz) nach (ASMUS & HERMANN, 1977) und die HE-Methode (Humuseinheiten) nach (LEITHOLD & HÜLSBERGEN, 1997).

Die ROS-Methode entstand in den 70er Jahren des vorherigen Jahrhunderts in der ehemaligen DDR. Damals wurde erkannt, dass es zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ein Gleichgewicht bei der Zu- und Abfuhr der organischen Substanzen auf dem Ackerland geben muss. Die ROS-Methode leitete sich aus der Auswertung von 30 Dauerfeldversuchen ab. In diesen Versuchen wurden die Varianten ausgewählt, welche einen hohen Ertrag bei gleichzeitig stabilen OBS-Gehalten (Organische Substanz des Bodens) auswiesen. Da zu dieser Zeit Fruchtfolgen mit einem Drittel Hackfruchtanteil bei regelmäßigen Rottemistgaben die Regel waren, leiteten die Autoren so den ROS-Bedarf der verschiedenen Kulturen, gestaffelt nach Bodengruppen, ab. Zur Umrechnung der Humusersatzleistung der verschiedenen organischen Dünger wurde der Rottemist als Äquivalent eingesetzt - 1 ROS-Einheit = 1 t organische TM-Stalldung.

Die HE-Methode nach (LEITHOLD & HÜLSBERGEN, 1997) leiten sich hauptsächlich aus dem Hallener und Seehausener Kombinationsversuch F1-70 mit Stalldung plus differenzierter N-Mineraldüngung ab. Die HE-Methode unterscheidet zwischen intrigierter und ökologischer Wirtschaftsweise, da durch den Verzicht auf mineralische N-Düngung und durch den höheren Anteil mechanischer Bodenbearbeitung höhere Humusbedarfswerte entstehen. Eine HE besteht aus 580 kg C und 50 kg N was ca. einem C:N Verhältnis 12:1 entspricht.

Da mit dem Ziel der Harmonisierung 2004 zwei unterschiedliche Bilanzierungsmodelle zusammen geführt wurden, musste eine neue Maßeinheit eingeführt werden. Diese drückt sich mit 1 Humusäquivalent aus, was 1 kg Humus C entspricht. Die drei Bilanzierungsmethoden lassen sich wie folgt umrechnen:

- 1 Humusäquivalent (Häq) = 1kg Humus C
- 1 ROS = 200 kg Humus C oder 0,35 HE
- 1 HE = 580 kg Humus C u.50 kg N oder 2,8 t ROS

Dass bei der Zusammenführung von zwei unterschiedlichen Systemen Kompromisse eingegangen werden müssen, die nicht immer unbedingt fachlich richtig sind, soll in einigen Beispielen dargestellt werden. Kontroversen entstehen bei der Bewertung der Humusersatzleistung des Stroh und durch die starke Vereinfachung bei den Entzügen der Kulturen. Nach VDLUFA (2004) wurde die Versorgung des Bodens mit Humus in verschiedene Saldengruppen eingeteilt dargestellt in Abbildung 9:

Humussaldo in kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹	Gruppe	Bewertung
< -200	A (sehr niedrig)	ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung
-200 bis -76	B (niedrig)	mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden
-76 bis 100	C (optimal)	optimal hinsichtlich Ertragsicherheit bei geringem Verlustrisiko
101 - 300	D (hoch)	mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E (sehr hoch)	Risiko für Stickstoffverluste, niedrige N-Effizienz

Abbildung 9: Humussaldengruppen (KÖRSCHENS, et al., 2004)

Die Saldengruppe C ist als optimal anzusehen und errechnet sich nach in Abbildung 6 dargestelltem Schema. Zur Vereinfachung der Bilanzierung wurde bei der Darstellung der Humusbilanzkoeffizienten für humuszehrende Fruchtarten die unteren Bedarfswerte aus der ROS-Methode und die oberen Bedarfswerte aus der HE-Methode übernommen. Es wurde aber nicht dargestellt, dass die ROS-Methode nach vier Bodengruppen unterscheidet und somit die unteren Bedarfswerte für die Bodengruppe Sand und lehmige Sande stehen. Das bedeutet, die unteren Bedarfswerte gelten für leichte bis mittlere Standorte, während die oberen Bedarfswerte für eher schwere Standorte gelten sollten.

Tabelle 1: Humusbilanzkoeffizienten für humuszehrend Fruchtarten der verschiedenen Bilanzierungsmethoden gegenübergestellt (ASMUS & HERMANN, 1977) (KÖRSCHENS, et al., 2004) (LEITHOLD & HÜLSBERGEN, 1997), verändert

Fruchtart	HE-Methode (HE 580 kg C/50kg N)	ROS-Methode ROS t /ha ⁻¹ Bodengruppe S/IS	VDLUFA(2004) Kg C/ha ⁻¹
Rüben	-2,3 (-1334 kg C)	-3,6 (-720 kg C)	-760 bis -1300
Kartoffel	-1,8 (-1044 kg C)	-3,6 (-720 kg C)	-760 bis -1000
Silomais	-1,35 (-783 kg C)	-2,7(-780 kg C)	-560 bis -800
Getreide	-0,70 (-406 kg C)	-1,4(-280 kg C)	-280 bis -400

Große Unterschiede offenbaren sich in der Bewertung der organischen Dünger vornehmlich des Stroh. Während bei der HE-Methode bei einer Tonne Stroh eine Humusersatzleistung von 70 kg C angegeben wird, kommt es bei der Anwendung der ROS-Methode zu einer Bewertung von 136 kg C und bei der VDLUFA-Methode von max. 110 kg C. In Prozent ausgerechnet heißt das, die VDLUFA-Methode bewertet Stroh 16 - 60 % höher als die HE-Methode, die ROS-Methode sogar 94% höher.

Ein umgedrehtes Bild zeigt sich bei der Bewertung des Kompostes. Hier bescheinigt ihm die HE-Methode eine 76 % höhere Humusersatzleistung als die VDLUFA-Methode. Bei der ROS-Methode kommt Kompost nur als Müllkompost (36 kg C) und Torfkompost (44 kg C) vor. Doch wie entstehen so unterschiedliche Bewertungszahlen? Ein Grund könnte sein, dass bei der Einführung der ROS-Methode die organische Düngung mit Stallmist die verbreitetste Form war. Durch die regelmäßige Düngung war wahrscheinlich der organische N-Anteil und somit das C:N Verhältnis enger, was einen schnelleren Abbau des Stroh bzw. dessen Humifizierung zur Folge hatte. Der Vergleich des Stallmist und der Rindergülle zeigt ein homogeneres Bild, hier liegen die Humusersatzleistungen nah beieinander.

Tabelle 2: Humusersatzleistung von organischen Düngern bei verschiedenen Bilanzierungsmethoden (ASMUS & HERMANN, 1977) (LEITHOLD & HÜLSBERGEN, 1997) (KÖRSCHENS, et al., 2004) verändert

Organische Dünger	HE-Methode (HE)¹ Faktor *FM in t	ROS-Methode ROS t /ha⁻¹ Faktor*FM in t	VDLUFA(2004) Kg C/ha⁻¹ Kg C * t FM
Stroh (86% TM) 1 t/ha	0,12 (70 kg C)	0,68 (136 kg C)	80 bis 110 kg C
Kompost (40% TM) 1 t/ha	0,14 (81 kg C)	0,18 (36kg C) 0,22 (44 kg C)	46 kg C
Stallmist verrottet (25%TM) 1 t/ha	0,07 (40kg C)	0,2 (40 kg C)	40 kg C
Gülle Rind (10% TM) 1 m ³ /ha	0,022 (13 kg C)	0,05 (10 kg C)	12 kg C

Mit dem Wissen der unterschiedlichen Bewertungen ist natürlich auch klar was passiert, wenn man die unterschiedlichen Bewertungsmethoden auf Deutschland überträgt (Abbildung 10). Hierzu nur der Vergleich zwischen den unteren und oberen VDLUFA Werten. Steigt die Anzahl der Landkreise mit negativen Humusbilanzen von 2 auf 31 sinkt gleichzeitig die Anzahl der Landkreise mit der höchsten Versorgungsstufe. Bilanziert man als Steigerung noch mit REPRO, welches ein dynamisches Modell der HE-Methode ist, steigt die Anzahl der Landkreise mit negativen Humusbilanzen auf rund 50. Bei REPRO fließen standorttypische Parameter wie Bodenart, Jahresniederschlag und TM-Ertrag in die Bilanzierung mit ein.

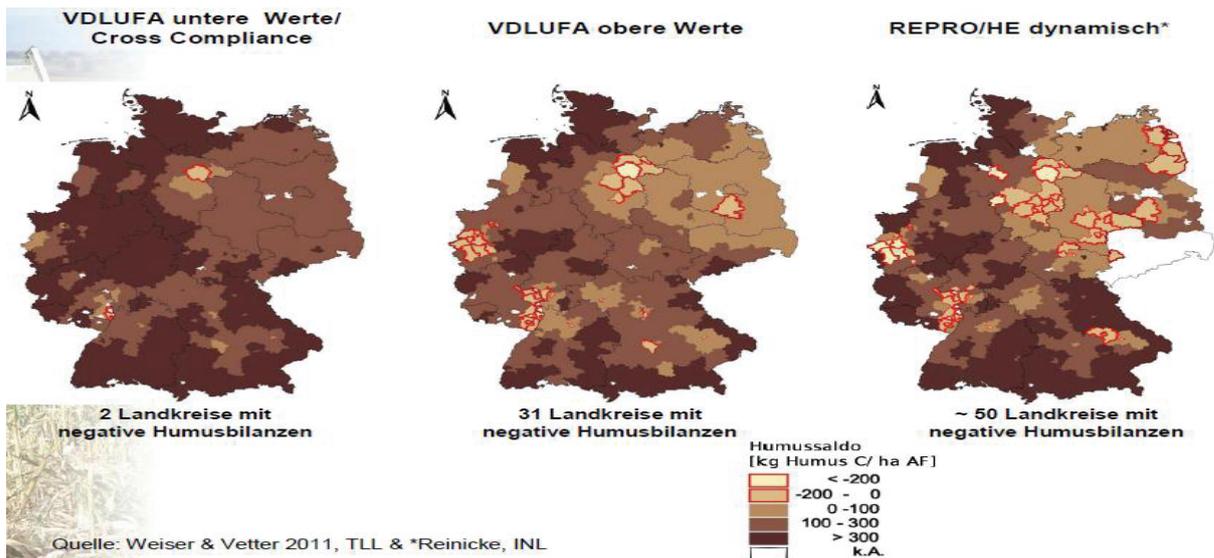


Abbildung 10: Verteilung Humussaldenklassen bei verschiedenen Bewertungsmethoden (VETTER & WEISER, 2011)

Mit dem Wissen, dass eine zu starke Vereinfachung der Humusbilanzierung für alle Standorte in Deutschland zu keinen aussagekräftigen bzw. falschen Ergebnissen führt, haben verschiedene Bundesländer die Bilanzierungsmodelle angepasst. Als Beispiel ist Sachsen zu nennen, das unter der Leitung von Dr. Kolbe, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, auf den Grundlagen der genannten Modelle das Bilanzierungsmodell STAND entwickelt hat. Bei diesem Modell fließen neben 6 unterschiedlichen Bodengruppen auch die unterschiedlichen Klimagebiete (Niederschlag, Temperatur) in Sachsen in die Berechnung mit ein. Leider sind solche Modelle immer nur für das jeweilige Bundesland sinnvoll nutzbar und eine Übertragung ist nur mit sehr viel Fachwissen möglich.

2.4 Geschichte der Ökologischen Landwirtschaft

Die Geschichte der Ökologischen Landwirtschaft geht auf drei Hauptbewegungen, die **Lebensreformbewegung**, den **biologisch dynamischen Landbau** und den **organisch biologischen Landbau**, zurück.

Die Lebensreformbewegung ist der Ursprung der zwei anderen Hauptbewegungen. Sie wurde etwa 1880 in der Schweiz begründet und stellte den Gegenentwurf zur aufkommenden Industrialisierung der Gesellschaft dar. Sie verfolgt den „Ganzheitlichen Ansatz“ mit der Rückbesinnung auf eine naturnahe Lebensweise, die einhergeht mit ökologischer Ernährung, Herstellung der Bekleidung aus Naturrohstoffen und der Gesunderhaltung des Körpers

durch Naturheilkunde. Die erste eingetragene Bewegung in Deutschland war die Obstbau-genossenschaft Eden in Oranienburg im Jahr 1893.

Der biologisch dynamische Landbau wurde durch Rudolf Steiner (1862 - 1925) begründet und verfolgt einen geisteswissenschaftlichen Ansatz. Dieser beruht auf den Lehren der Anthroposophie, welche auf den naturphilosophischen Einsichten Goethes basieren. Diese halten eine alleinige materialistische Betrachtungsweise für nicht ausreichend.

Der Demeter Verband ist ein heutiger Vertreter dieser Betrachtungsweise. Nach den Demeter Vorstellungen ist der Betrieb als Organismus zu sehen, der durch Viehhaltung und Ackerbau im Gleichgewicht gehalten wird (keine viehlosen Betriebe). Diese Form der Wirtschaftsweise erfordert es, auch die kosmischen Astralkräfte auf die erzeugten Produkte zu übertragen. Das kann auf drei Wegen erfolgen:

- Durch die Beachtung astrologischer Pflanzzeiten
- Durch die Anwendung von Hornpräparaten (Feldpräparate)
- Durch die Anwendung von Kompostpräparaten

Der organisch biologische Landbau entstand etwa 1930 in der Schweiz und war eine Basisbewegung der Bauern welche den Betrieben eine größere Unabhängigkeit und eine krisensichere Existenz sichern sollte. Im Mittelpunkt ihrer Gründer Hans Müller (1891-1988) und Maria Müller (1894-1969) stand der landwirtschaftliche Betrieb als Existenzgrundlage der Bauern und Gegenentwurf zur Urbanisierung bzw. Industrialisierung der Gesellschaft. Die wissenschaftliche Grundlage lieferte der deutsche Wissenschaftler Hans Peter Rusch mit seinem Buch Bodenfruchtbarkeit. Dort wird dem Boden mit seiner mikrobiellen Aktivität eine zentrale Rolle im Erhalt bzw. Steigerung der Bodenfruchtbarkeit zugeschrieben. Heutige Verbände nach der Lehre des organisch biologischen Landbaus sind z.B. Bioland, GÄA , Naturland u.v.m. .

Im Bereich der Europäischen Union trat erstmals 1991 eine einheitliche Regelung zu den Grundsätzen des Ökologischen Landbaus in Kraft, die EU-Öko-Verordnung (Nr. 2092/91). Diese ist angelehnt an die Verbandsrichtlinien des Öko-Landbaus. Sie definiert, wie landwirtschaftliche Erzeugnisse und Lebensmittel, die als Ökoprodukte gekennzeichnet sind, erzeugt und hergestellt werden müssen. Außerdem regelt sie, wie staatlich anerkannte Kontrollstellen diese Anforderungen überwachen.

Da sie nur für pflanzliche Erzeugnisse galt, wurde sie 1999 durch EU-VO 1804/99 um den Bereich der tierischen Erzeugung ergänzt. Die letzte Überarbeitung fand 2007 mit der EU-Öko-Basis VO 834/2007 statt. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Anforderungen nach

der EU-Öko-Basis VO 834/2007 als unterer Standard im Bereich des Ökologischen Landbaus gelten und die Anforderungen der einzelnen Verbände zum Teil sehr viel höher sind.

2.5 Bedeutung des Humus in der Ökologischen Landwirtschaft

Wer nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus wirtschaftet, egal ob nach EU-VO 834/2007 oder Verbandzugehörigkeit, darf keinen mineralischen N Düngern zukaufen. Das bedeutet, der ökologisch wirtschaftende Betrieb kann nur organische N-Dünger einsetzen und das je nach Zugehörigkeit auch nur bedingt. In den Richtlinien der Anbauverbände gibt es Abschnitte, welche die Grundregeln der Humuswirtschaft betreffen:

- „Wirtschaftsdünger müssen so aufbereitet und ausgebracht werden, dass das Bodenleben gefördert und der Humusgehalt erhalten bzw. erhöht wird“ (BIOLAND, 2010)
- „Die Humusbilanz muss im Rahmen einer vielseitigen Fruchtfolge mindestens ausgeglichen gestaltet sein“ (NATURLAND, naturland.de, 2011)

Grundsätzlich heißt düngen im Ökologischen Landbau, in erster Linie nicht die Pflanze, sondern den Boden zu versorgen. Die Ernährung der Pflanzen erfolgt dann über die Aktivität des Bodenlebens. Die Düngung erfolgt also indirekt und nicht direkt. Da im Ökologischen Landbau Boden und Pflanzen als System betrachtet werden, treten die direkten Düngungsmaßnahmen stark in den Hintergrund. Die indirekte Nährstoffversorgung über die Mobilisierung von Mineralstoffen aus dem Boden und die Assimilation der Pflanzen hat Vorrang und wird gefördert (HERMANN & PLAKOLM, Ökologischer Landbau, Grundwissen für die Praxis, 1993, S. 90). Die positiven Eigenschaften des Humus sind vielfach in der Wissenschaft beschrieben und lassen sich wie folgt zusammenfassen (SAUERBECK, 1992, S. 13-29):

- Als Speicher und Transformator von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff, Schwefel und Phosphor: Nährstoffnachlieferung und Verbesserung der Nährstoffausnutzung, wichtiger N-Pool im Stickstoffkreislauf mit 95-98 % des gesamten Boden-N
- Als Filter und Puffer: Immobilisierung und Entgiftung toxischer Substanzen
- Durch die Förderung der bodenbiologischen Aktivität: erhöhter mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch die Bodenfauna bei guter Humusversorgung, damit verbundene phytosanitäre Wirkungen

- Beim Aufbau eines günstigen Bodengefüges: erhöhte Aggregatstabilität, gute Bodendurchlüftung, verbesserte Wasserspeicherung und Durchwurzelbarkeit, verminderte Bodenerosion durch geringere Verschlämmungsneigung, höhere Infiltrationsrate und geringerer Oberflächenabfluss. Die Gefahr der Bodenschadverdichtung kann bei optimaler Humusversorgung vermindert werden.

Unter Bedingungen des Ökologischen Landbaus herrscht eine stärkere Korrelation zwischen Humusgehalt und Ertragsbildung als bei konventioneller Bewirtschaftung (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

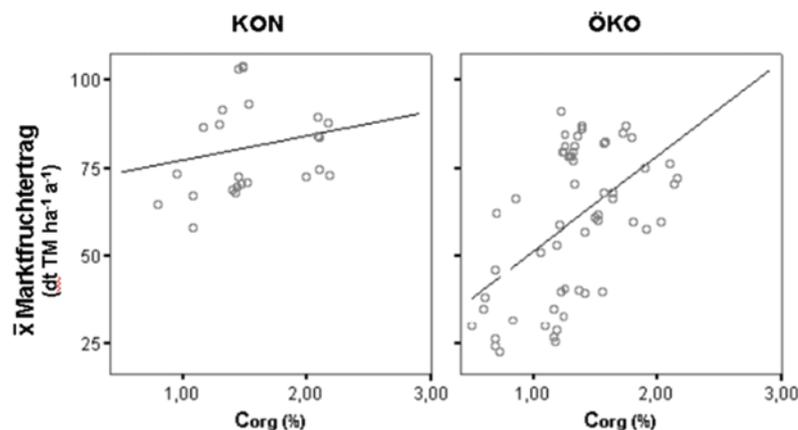


Abbildung 11: Beziehung zwischen Marktprodukterträgen und Humusgehalten in Dauerfeldversuchen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems (BROCK, HOYER, LEITHOLD, & HÜLSBERGEN, 08.2008)

Dies liegt daran, dass die positiven Effekte des Humus nicht durch den Einsatz von chemischen synthetisch hergestellten Düngern und Pflanzenschutzmitteln überlagert werden. Der Umkehrschluss ist dann aber auch, dass durch die höheren Kulturpflanzenerträge und größeren Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen der Humusaufbau positiv beeinflusst wird. Neben der positiven Korrelation zwischen C_{org} und Marktfruchtertrag besteht auch eine höhere Korrelation zwischen Gesamtsickstoffgehalt des Bodens (N_t) und Marktfruchtertrag beim Ökologischen Landbau als beim konventionellen Landbau (BROCK, HOYER, LEITHOLD, & HÜLSBERGEN, 08.2008, S. 93).

3 Fruchtfolge

Der Ökologische Landbau ist eine Bewirtschaftungsform mit ganzheitlicher Betrachtung des Betriebsorganismus und seiner Kreisläufe. Die nachhaltige Gesundheit und Fruchtbarkeit dieses Organismus wird anders als in der konventionellen Landwirtschaft durch ein vielseitiges System von sich gegenseitig ergänzenden und bedingenden umweltverträglichen Maß-

nahmen unter Mithilfe der regulierenden Wirkungen des Ökosystems sichergestellt (HERMANN & PLAKOLM, Ökologischer Landbau, Grundwissen für die Praxis, 1993, S. 27).

Dieser Grundgedanke wurde auch in der EU-VO 834/2007 dargelegt. Dabei sollte der Ökologische Landbau in erster Linie erneuerbare Ressourcen in lokal organisierten landwirtschaftlichen Systemen nutzen. Um so wenig wie möglich auf nicht erneuerbare Ressourcen zurückzugreifen, sollten Abfälle und Nebenerzeugnisse pflanzlichen und tierischen Ursprungs verwertet werden, um den Anbauflächen die Nährstoffe wieder zurückzuführen.

Außerdem sollte er dazu beitragen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten, zu verbessern und die Bodenerosion zu verhindern. Darüber hinaus sollten die Pflanzen ihre Nährstoffe vorzugsweise über das Ökosystem des Bodens und nicht aus auf den Boden ausgebrachten löslichen Düngemitteln beziehen. Zentrale Elemente im Bewirtschaftungssystem des ökologischen Pflanzenbaus sind die Pflege der Bodenfruchtbarkeit, die Wahl geeigneter Arten und Sorten, eine mehrjährige Fruchtfolge, die Wiederverwertung organischen Materials und Anbautechniken (EG-Öko-Basisverordnung, Stand 2009). Die Ziele bei einer weiten Fruchtfolge nach (KAHNT, 1983, S. 19) sind folgende positive ökologische Auswirkungen:

- Mechanisch-biologische Unkrautbekämpfung
- Biologische Krankheitsbekämpfung (Vermeidung von Fruchtfolgekrankheiten)
- Akkumulation des C:N Verhältnisses
- Förderung der Unterbodenlockerung durch Regenwürmer und Tiefwurzler
- Anbau standortangepasster Kulturen in Bezug auf Wassereffizienz

3.1 Warum ist im Ökologischen Landbau die Fruchtfolge so wichtig?

Der Ökologische Landbau betrachtet die Landwirtschaft als ein Kreislauf (Abbildung 12). Denn alle in der Natur vorkommenden für den Aufbau von Pflanzen- und Tiersubstanz benötigten Elemente, machen einen Kreislauf vom Anorganischen zum Organischen und wieder zurück zum Anorganischen durch (ROEMER & SCHEFFER, Lehrbuch des Ackerbaues, Fünfte Auflage, 1959). Daher wird im Ökologischen Landbau das Ökosystem als das höchste Gut angesehen und auf jegliche Art von chemischen Hilfsmitteln (Herbizide, Fungizide, usw.) sowie den Einsatz von Mineralischen Düngern (außer natürlichen Ursprungs, z.B.: Weicherdiges Rohphosphat, Magnesiumsulfat [Kieserit], usw.) verzichtet.

Aus diesem Grunde ist ein ökologisch wirtschaftender Landwirt auf eine klassische Fruchtfolge, bei der ein Kreislauf unterstellt wird, in der sich die sogenannten tragenden und abtragenden Eigenschaften der Fruchtarten ausgleichen und die Bodenfruchtbarkeit langfristig

erhalten bleibt, angewiesen. Dieses Prinzip berücksichtigt auch die innerartlichen und zwischenartlichen Unverträglichkeiten, d.h. die Selbst- und Fremduverträglichkeit der Arten (BRINKMANN 1942, RÖMER 1952). Darüber hinaus besteht eine Fruchtfolge aus mindestens 2 Fruchtfolgegliedern. Jedes Fruchtfolgeglied enthält mindestens eine (tragende) Blattfrucht gefolgt von mindestens einer (abtragenden) Halmfrucht (THOME, 2009).

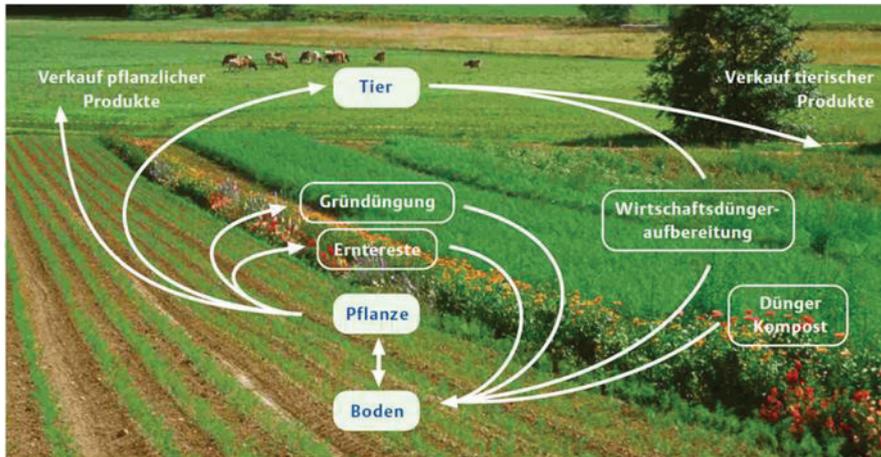


Abbildung 12: Kreislaufgedanke im Ökologischen Landbau (BÖLW, 2009)

Durch den Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel und synthetisch hergestellte Dünger muss die weitere Fruchtfolge den entstehenden Nachteilen, wie Krankheitsdruck und Unkrautproblematik, entgegenwirken. Dabei entstehen Pflanzenkrankheiten, wenn Licht, Luft, Wärme, Feuchtigkeit oder Nährstoffe fehlen oder eine dieser Wachstumsbedingungen nicht genügend vorhanden ist. Sie werden vielfach durch die Einflüsse der Witterung und durch die Bodenverhältnisse veranlasst und sind dann nicht immer zu heilen oder zu verhindern (SCHNEIDER et al, 1924).

Unkräuter leben in sehr enger Gesellschaft mit den Ackerfrüchten. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich in einem mehr oder weniger langen Zeitraum an den Wachstumsrhythmus der Kulturpflanzen angepasst haben. Ihr Überleben haben sie dadurch gesichert, dass sie sich den einen oder anderen Vorteil gegenüber den Kulturen geschaffen haben. Sie wachsen nicht in Monokulturen sondern in Gemeinschaften und können dadurch den Standort wesentlich besser ausnutzen. Außerdem sind sie nicht züchterisch bearbeitet und besitzen daher eine größere genetische Vielfalt, die eine rasche Anpassung an sich wechselnde Verhältnisse ermöglicht. Des Weiteren sind sie schnellwüchsig und bilden große Samen- bzw. Ausläufermengen. Sie sind im Vergleich zu den angebauten Kulturpflanzen weniger anfällig gegenüber Krankheiten und negativen Witterungseinflüssen. Daher ist eine genaue Kenntnis ihrer Eigenschaften und Ansprüche für eine erfolgreiche Unkrautregulierung von großem Nutzen (HERMANN & PLAKOLM, 1993, S. 226).

Eine Verminderung der Unkrautproblematik lässt sich nur durch eine Kombination von Bekämpfungsmaßnahmen erreichen. Man kann sich dabei die besonderen Keim- und Wuchsverhältnisse der Unkräuter und ihre Vergesellschaftung mit bestimmten Kulturpflanzen zunutze machen. Nur eine begrenzte Zahl von Unkräutern, wie z. B. Ackerkratzdiestel oder Quecke, gedeihen in allen Kulturen. Die Mehrzahl ist an bestimmte Früchte angepasst und wird sich umso mehr ausbreiten, je häufiger die betreffende Frucht auf dem Felde erscheint. Dabei erreicht man mit einer Fruchtwechselwirtschaft bei regelmäßigem Wechsel von Halm- und Blattfrucht die unkrautreinste Bestände (ROEMER & SCHEFFER, Lehrbuch des Ackerbaues, Fünfte Auflage, 1959, S. 514).

Aus den genannten Gründen ist eine weite Fruchtfolge im Ökologischen Landbau unumgänglich. Bei einer weiten Fruchtfolge geht es nicht darum, eine möglichst hohe Artenvielfalt zu haben, um den genannten Nachteilen des Ökologischen Landbaus entgegen zu wirken, sondern die ganze Fruchtfolge zielt zum größten Teil auf die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bei gleichzeitiger Schonung fossiler Ressourcen ab.

Im ökologischen Gedanken der Kreislaufwirtschaft (Abbildung 12: Kreislaufgedanke im Ökologischen Landbau), nimmt die Düngung mit organischen Düngemitteln (tierisch oder pflanzlich) einen hohen Stellenwert ein. Denn sie ist neben den natürlich vorkommenden mineralischen Düngern die einzige Düngeform, die im Ökologischen Landbau zugelassen ist. Dabei erfüllt die organische Düngung gleich mehrere wesentliche Aufgaben. Einerseits erhält die Pflanze Nährstoffe in mineralischer und organischer Form und andererseits fügt sie dem Boden humusbildenden Substanzen zu.

Dabei kann aber die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, die durch die Düngung mit organischem Material gefördert wird und somit eine höhere Pufferkapazität bringt, nicht die Vorteile einer mineralischen Düngung (die schnellen pflanzenverfügbaren Nährstoffe) ausgleichen.

3.2 Vorstellung der Fruchtfolgeversuche

Im Ökologischen Landbau hat die Kreislaufwirtschaft eine große Bedeutung, dazu zählt vor allem die Viehwirtschaft. Da es aber vermehrt ökologisch produzierende Landwirte ohne Viehwirtschaft gibt, die damit auch keinen Zugang zu wertvollen tierischen Düngern haben, mussten sich diese Landwirte Alternativen suchen.

Deshalb werden die drei Fruchtfolgevarianten so ausgesucht, dass sie zu einem hohen Prozentsatz die im Ökologischen Landbau üblichen Fruchtfolgen widerspiegeln, aber auch eine

Auswahl von Varianten, die in einer ökologischen Fruchtfolge von Bedeutung sind. Darunter fallen unter anderem:

- die Düngung mit tierischem Nebenprodukten als auch mit Grünmasse
- die Anwendung von Zwischenfrucht und Untersaaten
- die Kombination von Misch- oder Gemengesaaten
- die Einordnung, nach welchem Richtlinien man produziert EU-Richtlinie oder Verbände, d.h. ob es eine quantitative und qualitative Begrenzung der zukaufbaren Düngemittel gibt

Dabei widerspiegeln die drei Varianten drei verschiedene Szenarien, welche in der Ökologischen Landwirtschaft jeweils vertreten sein können.

3.2.1 Variante I: Standard Leguminose

Diese erste Variante (Abbildung 13) zielt speziell auf die ökologisch produzierenden Landwirte hin, die sowohl keine Viehwirtschaft betreiben als auch keine organischen Dünger zukaufen wollen oder können. Dies sind meist Betriebe, die in Verbänden organisiert sind und die nur aus anderen Verbandsbetrieben tierische Nebenprodukte zuzukaufen dürfen, auch ist die Menge meist niedriger als nach EU-Richtlinien.

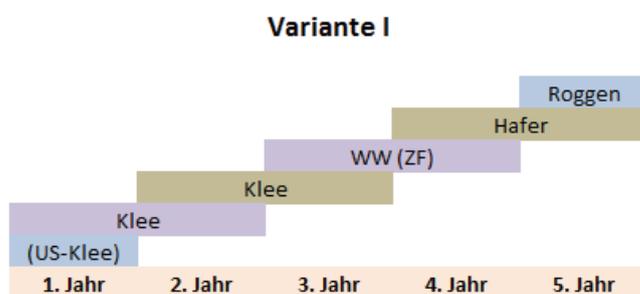


Abbildung 13: Fruchtfolge der Variante I

Bei ihnen nimmt (Abbildung 14) der ganze Bereich der pflanzlichen N-Fixierung einen hohen Stellenwert ein. Die „Variante I“, bezieht sich deshalb auf die im Ökologischen Landbau weit verbreitete „klassische Fruchtfolge“. Bei dieser handelt es sich um eine mehrjährige Gründüngung oder einen Grünfütteranbau gefolgt von marktorientiertem Kulturanbau. Dabei dient die mehrjährige Gründüngung sowohl als Nährstoffsammler / Humusförderer als auch zur Unkrautregulierung. Abbildung 12: Kreislaufgedanke im Ökologischen Landbau .

Abbildung 12: Kreislaufgedanke im Ökologischen Landbau

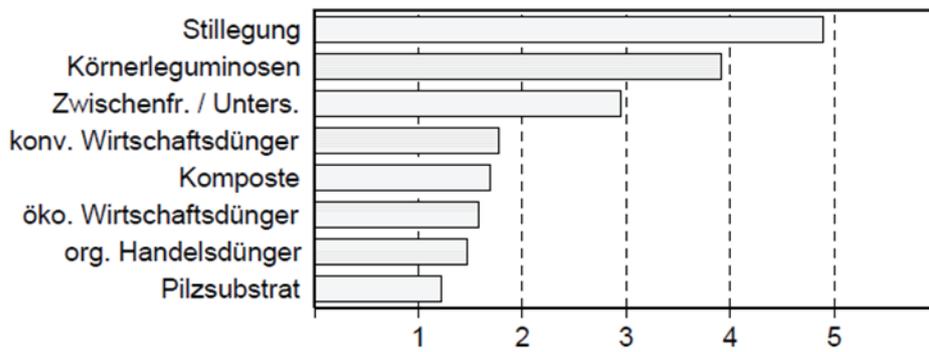


Abbildung 14: N-Quellen im viehlosen Ökolandbau (1: unwichtig; 5: wichtig) (SCHMIDT, 2003)

Die Unkrautregulierung ist für stark verunkrautete Felder zweckmäßig, weil durch den frühzeitigen Schnitt viele Unkräuter vor der Samenreife gemäht werden und dadurch das Ausreifen von Unkrautsamen verhindert wird. Somit führt eine mehrjährige Gründüngung oder Grünfütteranbau zu einer Reduzierung des Unkrautdrucks, der im Ökologischen Landbau immer als ein großes Problem angesehen wird. (Abbildung 15) (ROEMER & SCHEFFER, Lehrbuch des Ackerbaues, Fünfte Auflage, 1959).

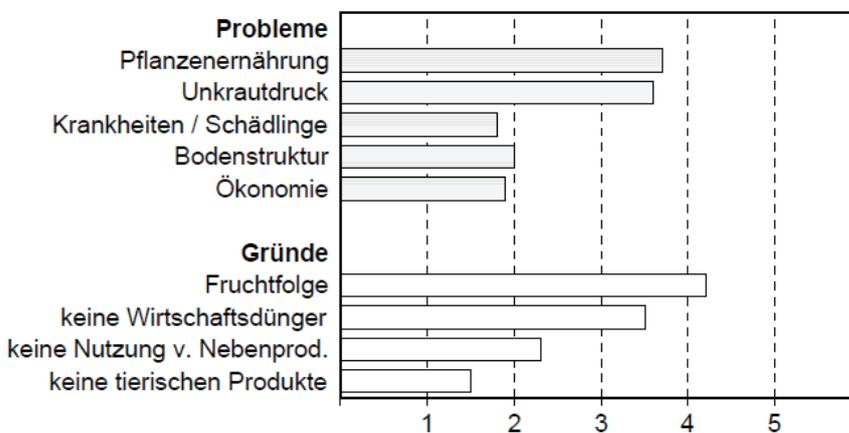


Abbildung 15: Spezifische Probleme viehloser Betriebe und Gründe für diese Probleme (1: unwichtig; 5: wichtig) (SCHMIDT, 2003)

Bei einer „klassischen Fruchtfolge“ geht es auch darum, die Pflanzenernährung zu sichern. (Abbildung 15). Die ohne eigene Tierhaltung ökologisch produzierenden Betriebe versuchen über den mehrjährigen Anbau von Gründüngung oder Grünfütteranbau ihren Bedarf an Nährstoffen zu decken (Abbildung 14). Denn eine gute Gründüngung führt dem Boden fast ebenso viel organische Masse wie eine Stallmistdüngung zu. Allerdings mit dem bedeutenden Unterschied, dass der Stallmist Dauerhumus und Nährhumus enthält, die Gründüngung hingegen zunächst nur leicht zersetzbaren Nährhumus. Dieser kann aber durch Bodenmik-

roorganismen in Dauerhumus umgewandelt werden, so dass es auch zu einer Humusanreicherung kommt (ROEMER & SCHEFFER, 1959, S. 367).

Tabelle 3: Nährstoffbilanzen im Ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme (ZIMMER & DITTMANN, 2003)

Bilanzgrößen	Bewirtschaftungssystem							
	viehhaltend				viehlos			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg

Bilanzzeitraum 1998-2000:

Nährstoffzufuhr gesamt	69	16	31	8	11	0	0	0
<i>dav. Stalldung</i>	54	16	31	8				
<i>N-Bindung Leguminosen</i>	15				11			
Nährstoffabfuhr gesamt	66	13	65	6	52	9	37	5
<i>dav. Hauptprodukt</i>	63	12	56	5	52	9	37	5
<i>Koppelprodukt</i>	3	1	9	1				
Nährstoffsaldo	3	3	-34	2	-41	-9	-37	-5

Bilanzjahr 2002:

Nährstoffzufuhr gesamt	108	10	29	11	56	0	60	17
<i>dav. Stalldung</i>	46	10	29	9				
<i>N-Bindung Leguminosen</i>	62				56			
<i>Patentkali</i>							60	15
<i>Granukal</i>				2				2
Nährstoffabfuhr gesamt	127	21	113	12	38	8	23	3
<i>dav. Hauptprodukt</i>	121	20	105	11	38	8	23	3
<i>Koppelprodukt</i>	6	1	8	1				
Nährstoffsaldo	-19	-11	-84	-1	18	-8	37	14

Ein Versuch aus Güterfelde zeigt, dass der viehlose Ökologische Landbau nicht das Optimalle und dazu sehr umstritten ist. Hierbei wurden Nährstoffbilanzen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme untersucht. Dabei ging es um Nachhaltigkeit von Ertragsniveau, Produktqualität und Nährstoffversorgung in einer nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus bewirtschafteten 7-feldrigen Demonstrations-Fruchtfolge. Als Fazit aus diesem Versuch kann man für den Ökologischen Landbau im Land Brandenburg ableiten, dass unter den typischen Brandenburger Standort- und Witterungsbedingungen auch beim Anbau von leguminöser Haupt- und Zwischenfrüchte mit hohen N-Unterbilanzen zu rechnen ist.

Einen großen Einfluss auf diese Bilanzsummenschwankungen hat das Wetter. Bei den vor-sommertrockenen Bilanzzeiträumen von 1998-2000 lagen bei allen Nährstoffen negative Sal-den vor. Im ungewöhnlich niederschlagsreichen Bilanzjahr 2002, wurde auf Grund der ext-rem hohen Klee-gras- und der sehr guten Lupinenerträge eine deutlich höhere Luft-N-Fixierung erreicht (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** (ZIMMER & ITTMANN, 2003).

3.2.2 Variante II: Misanbau mit organischer Düngung

Da die Variante I auf eine ökologische Produktion nach Verbandsrichtlinien ausgerichtet ist, spiegelt die Variante II (Abbildung 16) einen ökologisch produzierenden Landwirt wider, der nach EU-Öko-Rahmenrichtlinien produziert. Nach der EU-Öko-Rahmenrichtlinie ist es dem ökologisch produzierendem Landwirt erlaubt, organischen Dünger zu verwenden, sofern er die gesetzlichen Regeln der Düngeverordnung und der EU-Öko-Rahmenrichtlinie Anhang 1 Dünger einhält. Solange Ackerbau betrieben wird, zählt die Düngung mit organischem Dünger zu den ältesten und wertvollsten Kulturmaßnahmen der Landwirtschaft (ROEMER & SCHEFFER, 1959).

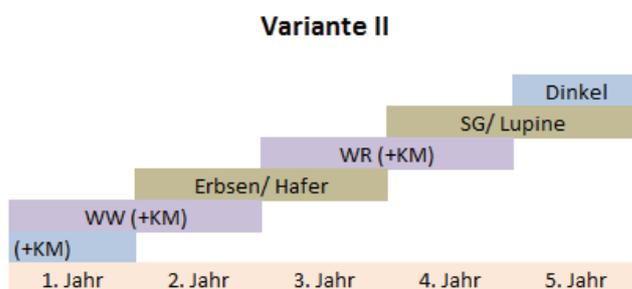


Abbildung 16: Fruchtfolge der Variante II

Es stellt sich die Frage, warum Landwirte, die auf ökologische Wirtschaftsweise umsteigen, nicht auch wirtschaftseigenen Dünger mit nutzen wollen. Den umstellenden Landwirt ist in der Regel bekannt, dass im Grundgedanken des Ökologischen Landbaus Viehhaltung und Ackerbau zusammen gehören, denn diese stellen eine ideale Ergänzung zur Fruchtfolgeplanung dar und verbessern somit die Wachstumsgrundlage der Kulturen (HERMANN & PLAKOLM, 1993, S. 93). Warum also wollen die umstellenden Landwirte nicht auch Viehwirtschaft betreiben? Der Grund hierfür ist in der Betriebsstruktur der umstellenden Betriebe zu suchen. (Abbildung 17). Die meisten Betriebe besaßen vor der Umstellung keine Tiere oder die Betriebsstruktur (Arbeitskräftemangel, zu hohes Investitionsvolumen) lässt eine

Umstellung einfach nicht zu. Das ist natürlich ein erheblicher Nachteil für den jeweiligen Betrieb.



Abbildung 17: Bewertung der Gründe für viehlose bzw. vieharme Wirtschaftsweise (1: unwichtig; 5: wichtig; gewichtet nach Zahl viehloser Betriebe) (SCHMIDT, 2003)

Natürlich könnten diese ökologisch produzierenden Landwirte organischen Dünger einkaufen, wie z.B.: Knochenmehl, Hühnertrockenkot, Schlempe etc. Diese haben sowohl Vor- als auch Nachteile. Ein Vorteil beim Zukauf von organischem Dünger ist die jeweilige N-Verfügbarkeit der einzelnen Dünger. (Abbildung 18). Mit diesen Parameter kann gezielt in die Bestandsführung der angebauten Kultur eingegriffen werden, d.h. für Kulturen, welche mit einer höheren Ertragssteigerung auf den pflanzenverfügbaren N-reagieren, wäre z.B. Hühnertrockenkot angebracht. Bei abtragenden Kulturen, die weniger stark auf pflanzenverfügbaren N reagieren, können N- Dünger eingesetzt werden, die einen höheren Anteil an organischen- und humusreproduktionswirksamen Material besitzen, wie z.B. Schlempe oder Gründüngung.

Zu Nachteilen einer organischen Düngung gehören einerseits die quantitative sowie qualitative Begrenzung des Einsatzes durch die Verbandsrichtlinie und andererseits die Erlösseite. In der Regel werden für Produkte, die nach Verbandsrichtlinien produziert werden, höhere Marktpreise erzielt. Als weiteren nicht zu vernachlässigen Punkt kann die jeweilige Verfügbarkeit an organischen Düngern in einer Region genannt werden, denn durch die steigende Anzahl von ökologisch wirtschaftenden Betrieben steigt auch die Marktnachfrage und damit der Preis für den jeweiligen Dünger.

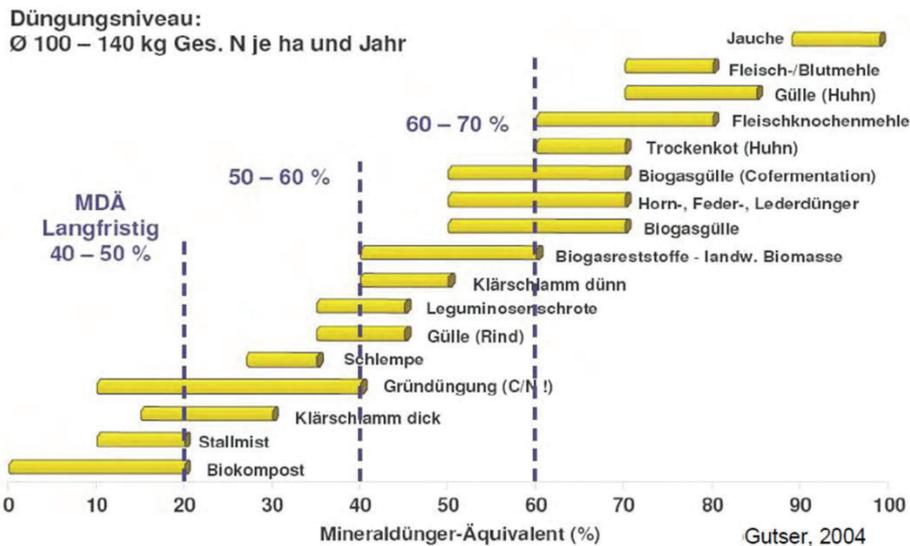


Abbildung 18: N-verfügbarkeit organischer Dünger im Anwendungsjahr verändert (MÜLLER T. , 2009)

Unbeachtet aller Vor- und Nachteile kann allgemein gesagt werden, dass eine organische Düngung, egal welcher Dünger eingesetzt wird, (wirtschaftseigener oder –fremder) immer zur Stabilisierung der Erträge führt. (Abbildung 19). Der Vergleich zwischen FF2 und FF3 zeigt zwar, dass der Ertrag der Kartoffel nach Klee gras nahezu gleich ist, die Folgefrucht Winterweizen aber positiv auf die organische Düngung reagiert. Des Weiteren ist er sichtbar, dass durch den Anbau von Klee gras FF5 eine bessere Vorfruchtwirkung erzielt wird als mit dem Anbau einer Körnerleguminose + Zwischenfrucht FF6, was wohl durch den Verbleib des Klee grasses auf dem Feld bedingt ist.

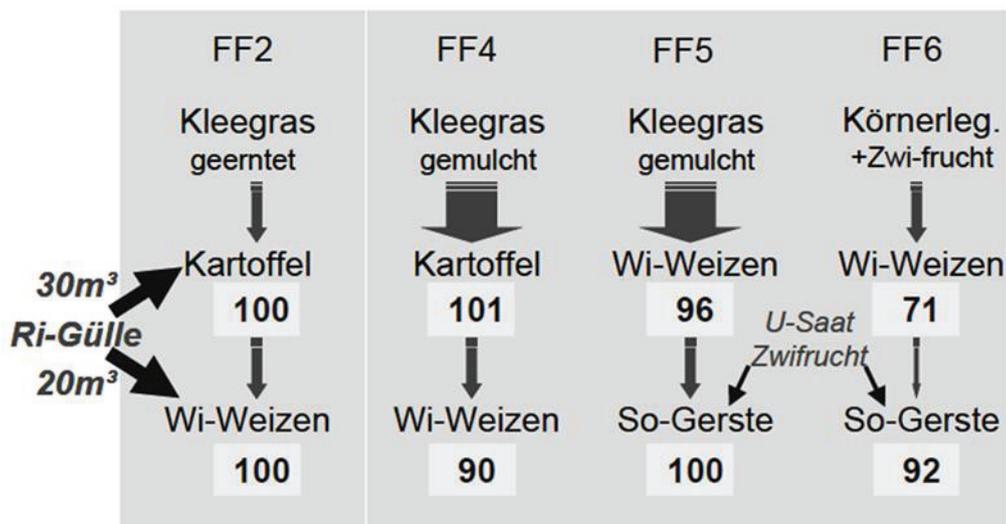


Abbildung 19: N-Flüsse (Pfeile) in ausgewählten Fruchtfolgen (FF) des Dauerversuches der LfL. in Viehhausen. Durchschnittserträge (1998-2003) der ersten und zweiten Frucht nach der Leguminose. (HEUWINKEL, GUSTER, & SCHMIDHALTER, 04.2005)

3.2.3 Variante III: Fruchtfolge mit Tierkooperation

Bei der Variante III (Abbildung 20) wird die Tierhaltung mit ihren wirtschaftseigenen organischen Düngern mit einbezogen. Diese Variante soll den klassischen Gedanken des Ökologischen Landbaus widerspiegeln, in dem Ackerbau und Viehhaltung miteinander verbunden sind. In dieser Variante wird völlig auf den Anbau leguminöser Früchte verzichtet, und es erfolgt eine alleinige Zuführung von Nährstoffen durch organische Düngung.

Zur Vereinfachung und späteren ökonomischen Auswertung der unterschiedlichen Varianten wird unterstellt, dass der Landwirt eine Kooperation mit einem Tierhalter eingeht. Dieser erhält im Gegenzug für die Bereitstellung des organischen Düngers vom Landwirt die Nachweisfläche für seinen anfallenden Dung und behält so den Status als Landwirtschaftsbetrieb. So eine Lösung ist für den ökologisch wirtschaftenden Landwirt, der selbst kein Vieh besitzen möchte oder kann, eine praktische Alternative um an organischen Dünger zu gelangen. Dabei können Landwirte relativ einfach, die Gründe für eine viehlose Wirtschaftsweise umgehen (Abbildung 17: Bewertung der Gründe für viehlose bzw. vieharme Wirtschaftsweise (1: unwichtig; 5: wichtig; gewichtet nach Zahl viehloser Betriebe)).

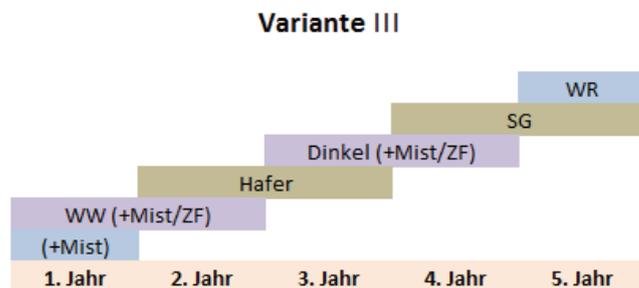


Abbildung 20: Fruchtfolge der Variante III

Denn nicht nur die natürlichen und wirtschaftlichen Produktionsbedingungen müssen bei einer ausgewogenen Fruchtfolge-Gestaltung berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss sowohl die Bodenfruchtbarkeit als auch die Viehwirtschaft miteinander in Beziehung gebracht werden. Denn der Boden muss in seinem Struktur- und Fruchtbarkeitszustand nicht nur erhalten, sondern weiterhin verbessert werden. Es sollte die Pflanze sowohl Standort- und Lebensbedingungen vorfinden, die ein möglichst ungehindertes Wachstum mit hohem und sicheren Erträgen ermöglichen, so dass in der Gesamtfuchtfolge die bestmöglichen Leistungen erreicht werden (HERMANN & PLAKOLM, 1993, S. 133) (ROEMER & SCHEFFER, 1959, S. 195).

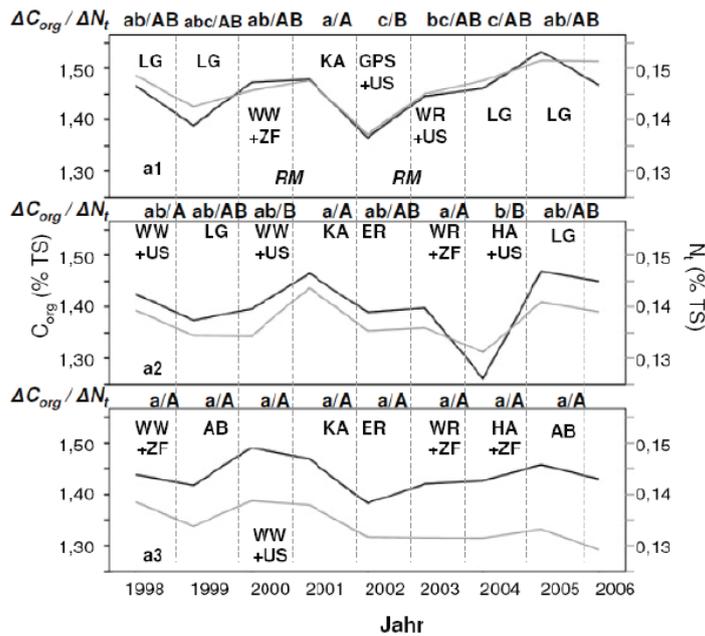


Abbildung 21: Entwicklung der Humusgehalte im Ökologischen Ackerbauversuch Gladbacherhof in Abhängig von Fruchtart bzw. Anbausystem (LG=Luzernegras, WW=Winterweizen, KA=Kartoffeln, GPS=Ganzpflanzensilage (Leg.-Nichtleg.-Gemenge), WR=Winterroggen, ER=Erbsen, HA=Hafer, AB=Ackerbohnen, US=Untersaat (LG), ZF=Zwischenfrucht (Leg.-Nichtleg.-Gemenge), RM=Rottemist) (BROCK, LEITHOLD, & SCHULZ, 2009)

Dass in einer ökologisch ausgewogenen Fruchtfolge sowohl der Pflanzenbau als auch die Viehwirtschaft eine entscheidende Rolle auf die Leistungsfähigkeit des Bodens haben, zeigt auch die Abbildung 21: Entwicklung der Humusgehalte im Ökologischen Ackerbauversuch Gladbacherhof in Abhängig von Fruchtart bzw. Anbausystem (LG=Luzernegras, WW=Winterweizen, KA=Kartoffeln, GPS=Ganzpflanzensilage (Leg.-Nichtleg.-Gemenge), WR=Winterroggen, ER=Erbsen, HA=Hafer, AB=Ackerbohnen, US=Untersaat (LG), ZF=Zwischenfrucht (Leg.-Nichtleg.-Gemenge), RM=Rottemist) . Hierbei wurde anhand von drei verschiedenen Fruchtfolgen (a1: mehrjähriger Feldfutterbau mit Stallmistdüngung; a2: Rotationsbrache für viehlose Betriebe; a3: ausschließlich Marktfutteranbau), die Humusdynamik anhand vom Kohlenstoff (C_{org}) als auch von N- (N_t), in einem Zeitraum von 1998 bis 2006 untersucht.

Dabei ist zu erkennen, dass die Veränderung der Humusgehalte von Jahr zu Jahr erheblichen Schwankungen unterlag. Er ist damit sowohl in ökologischer als auch in pflanzenbaulicher Hinsicht von größerer Bedeutung, als die langfristige Entwicklung der Humusgehalte. Die Düngung mit organischem Material ist im Gegensatz zu mehrjährigen Leguminosen, Körnerleguminosen und legume Zwischenfrüchte, welche zwar einen wichtigen Beitrag zum Humusaufbau leisten aber jedoch z.T. erst ab dem zweiten Hauptnutzungsjahr bzw. unter der Nachfrucht zum Wirken kommt, ein Hilfsmittel welches zu stabileren Erträgen führen

kann. Aus diesem Grund ist die Düngung mit organischem Dünger in einem Öko-Betrieb so unablässig (BROCK, LEITHOLD, & SCHULZ, 2009).

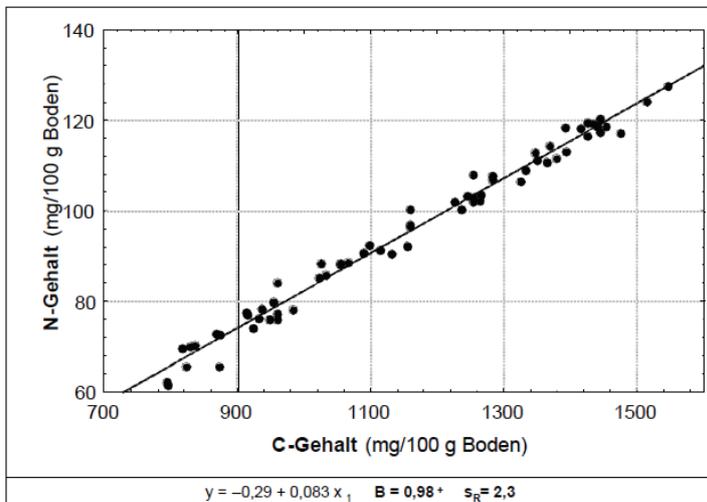


Abbildung 22: Beziehung zwischen Gesamt-Kohlenstoff (Ct)- und Gesamt-N- (Nt)-Gehalt in einem Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm (HÜLSBERGER, 2007)

Wie schon erwähnt, wird im Ökologischen Landbau der Humus als Grundlage der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragsbildung angesehen. Die organische Düngung nimmt deshalb einen hohen Stellenwert ein. Am Beispiel eines Dauerfeldversuches (Abbildung 22) wird die enge Beziehung zwischen C- und N-Gehalten verdeutlicht. Über einen Zeitraum von 30 Jahren wurden 64 Parzellen des Versuches unterschiedlich organisch gedüngt, wodurch die C- und N-Gehalte gleichermaßen beeinflusst wurden. Dabei wiesen die Versuchsflächen mit hohen C- und N-Gehalten zugleich die höchsten bodenbiologischen Aktivitäten und die günstigsten bodenphysikalischen Eigenschaften auf. Indirekt wirkt sich vor allem der Tierbesatz positiv aus, da hiervon die Menge und Qualität der zugeführten organischen Substanz abhängt. Dieses beschert den ökologisch produzierenden Betrieben, die einen Zugang zu organischen Viehdünger besitzen, einen immensen Vorteil. (HÜLSBERGER, 2007)

Frucht	Düngung	2003 N _{min} (Frühjahr)	2003 Ertrag dt/ha	mehrfährig 1998 – 2003 Ertrag dt/ha
Fruchtfolge 1				
Kleegras 1. Jahr		34,2	129,8	143,5
Kleegras 2. Jahr		34,4	104,1	140,2
Kartoffel	30 m ³ Rindergülle	33,4	436,0	346,8
Winterweizen/Sommer ¹	20 m ³ Rindergülle, Stroh	53,9	49,9	48,4
Winterroggen	20 m ³ Rindergülle, Stroh	27,9	48,5	47,6
Fruchtfolge 2				
Kleegras		28,5	105,1	134,9
Kartoffel	30 m ³ Rindergülle	34,0	440,2	334,2
Winterweizen/Sommer ¹	20 m ³ Rindergülle	57,2	49,3	45,9
Fruchtfolge 3				
Kleegras	200 dt/ha Stallmist im	28,5	102,2	137,3
Kartoffel	Herbst vor Kartoffel	32,0	434,4	329,0
Winterweizen/Sommer ¹		52,4	40,6	37,4
Fruchtfolge 4				
Kleegras (RB)	Kleegras-Aufwuchs	20,8	112,0	-
Kartoffel	-	52,9	454,6	336,7
Winterweizen/Sommer ¹	Stroh	71,7	45,2	41,4
Fruchtfolge 5				
Kleegras (RB)	Kleegras-Aufwuchs	29,4	117,9	-
Winterweizen/Sommer ¹	Stroh	49,2	40,5	44,0
Sommergerste	Zwischenfrucht, Stroh	49,3	47,9	41,5
Fruchtfolge 6				
Ackerbohnen ²	Zwischenfrucht, Stroh	37,9	23,1	37,0
Winterweizen/Sommer ¹	Zwischenfrucht, Stroh	38,3	32,6	32,6
Sommergerste	Zwischenfrucht, Stroh	29,9	46,3	38,3

1) Ernte 2001, 2003 Sommerweizen

2) 1999, 2000, 2001, 2003

Abbildung 23: Fruchtfolgeanbauversuch Viehhausen von 1998 – 2003 (POMMER & FUCHS, 2003)

Den Vorteil, den ökologisch wirtschaftende Betriebe durch ihren wirtschaftseigenen Dünger haben, beruht nicht nur auf einen höheren C-Gehalt und demzufolge auch einen höheren N-Gehalt, sondern den damit verbundenen höheren und stabileren Erträgen (Abbildung 23). In diesem Versuch, der vom LfL Bayern in Viehhausen durchgeführt wurde, wurden 6 verschiedene Öko-Fruchtfolgen miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass im Mittel der Jahre bei Weizen die Fruchtfolgen mit einer regelmäßigen organischen Düngung (Fruchtfolge 1 und 2) die höchsten Erträge einfahren konnten.

3.3 Was für Vorteile bringen Untersaaten, Zwischenfrüchte & Co?

Die Verwendung von Zwischenfrüchten, Untersaaten, Mischungsanbau, Gemengeanbau, usw. ist nicht die Erfindung des heutigen Ökologischen Landbaus. Sie ist aus der Historie hervorgegangen. Schon bevor man chemische Hilfsmittel oder Mineralischen Dünger besaß, machten sich die Landwirte Gedanken, wie sie ihre Erträge steigern und stabilisieren konnten.

Dieses bedeutet, sowohl die N-Zufuhr als auch den Krankheitsdruck, Humusabbau, Unkrautdruck zu berücksichtigen und in die Fruchtfolgeplanung mit einzubeziehen. Im Ökologischen Landbau ist die N-Versorgung in der Fruchtfolge eine der größten Herausforderungen. Die wichtigste N-Quelle neben organischen Düngern sind Leguminosen. Allerdings können Betriebe mit wenig oder keinem Vieh die Leguminosen nur begrenzt als Futter verwerten.

Für diese Betriebe können Leguminosen als Zwischenfrucht, Untersaat interessant sein. Für Betriebe mit hohem Krankheitsdruck oder hohem Wildschaden sind vielleicht die Sortenmischungen (z.B.: verschiedene krankheitstolerante Sorten) oder der Kombinationsanbau (z.B.: Hafer-Erbse Mischung) eine Alternative.

3.3.1 Zwischenfrucht

Ein weiterer wichtiger Faktor neben den Faktoren der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung ist der vielseitige Zwischenfruchtanbau. Dieser sorgt für die Sicherung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Mit dem Zwischenfruchtanbau wird vor allem eine hohe N-Fixierung in Verbindung mit einer Nährstoffkonservierung über den Winter sowie einer guten Unkrautunterdrückung angestrebt.

Der Anbau von Zwischenfrüchten trägt wesentlich zu einer artenreichen Fruchtfolgegestaltung und zur Umsetzung einer Anbauweise nach guter fachlicher Praxis bei. Hervorzuheben sind bei den Zwischenfrüchten nach (PETERS & GURGEL, 04.05.2012, S. 28-30) (HERMANN & PLAKOLM, 1993, S. 150) folgende positive ökologische Auswirkungen:

- Versorgung des Bodens mit organischer Substanz und Förderung der Bodengare
- Vermeidung von Wind- und Wassererosion
- Unkrautunterdrückung durch dichte Bestände
- Steigerung der bodenbiologischen Aktivität
- Vermeidung von Nährstoffauswaschungen

Als besonders wirkungsvoll erweist sich der Zwischenfruchtanbau auf sandigen Böden. Er führt aber auch auf besseren Böden, insbesondere in futterbetonten Fruchtfolgen, zu höheren Rotationsleistungen und geringeren Ertragsschwankungen, was auf die günstige Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit zurückzuführen ist. Etwas ungünstiger schneidet die Zwischenfrucht auf schwerem Boden in trockener Lage ab, wo infolge des stärkeren Wasserentzuges die Nachfrüchte häufig mit Mindererträgen reagieren. Die Gründe dafür sind die oft geringeren Niederschläge, die meist späteren Bestelltermine und das hohe Wasserbindungsvermögen der schweren Böden (KÖNECKE, 1961).

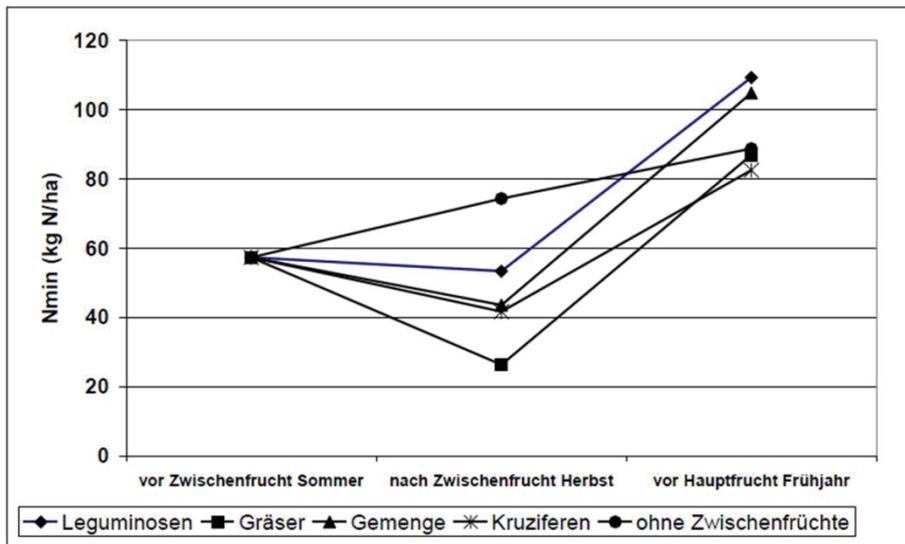


Abbildung 24: Einfluss verschiedener Zwischenfruchtarten auf den Verlauf der Nmin-Gehalte (KOLBE et al, 08.2004)

Der Status der Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau ist immens hoch. Denn mit dem Anbau von Zwischenfrüchten können viele positive Wirkungen erzielt werden, die aber nur schwer in einer Kosten/Nutzen-Rechnung auszudrücken sind. Zum Beispiel können die Zwischenfrüchte im Herbst dazu genutzt werden, den frei werdenden N-?? aufzunehmen. Dadurch ist eine Reduzierung der Nitratgehalte des Bodens in Abhängigkeit von der Trockenmassebildung möglich.

Bei Nichtleguminosen können das 75 % und bei Leguminosen bis zu 50 % des Bodenausgangsgehaltes an Nitrat betragen (Abbildung 24). Dies wurde von der LfL Sachsen in einem ökologischen Versuchsfeld in Roda ermittelt. Des Weiteren wurde auf die Wahl des Umbruchtermins der Zwischenfrucht hingewiesen. Er muss in Abhängigkeit von der Bodenart und den durchschnittlichen Witterungsbedingungen erfolgen. Auf schweren Böden kann der Umbruch im Herbst vorgenommen werden, um die Nährstofffreisetzung im nächsten Jahr zur Hauptkultur rechtzeitig zu gewährleisten. Auf leichteren Böden sollte möglichst erst im Frühjahr umgebrochen werden und ein Anbau von winterharten Arten ist empfehlenswert. Denn verbleiben abfrierende Pflanzen bis zum Frühjahr auf dem Feld, können in milden Wintern wasserlösliche N-Verbindungen aus dem Pflanzenmaterial ausgewaschen werden (KOLBE et al, 08.2004).

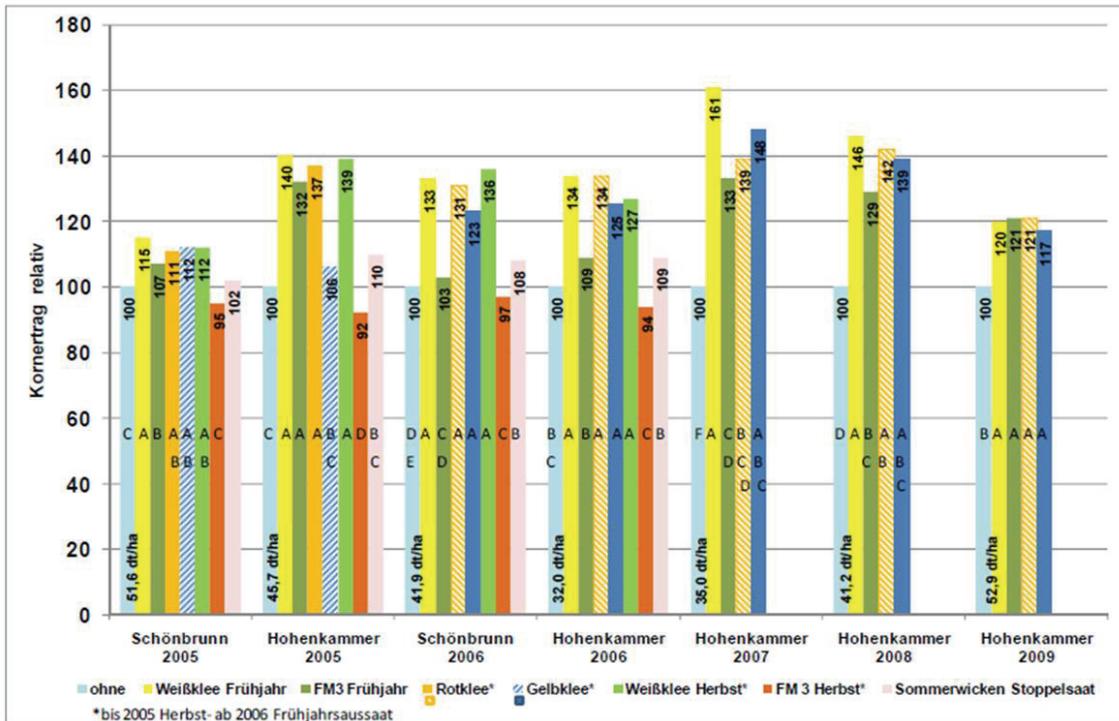


Abbildung 25: Gründungswirkung der Zwischenfrüchte auf die Folgefrucht Sommerhafer (URBATZKA & CAIS, 2009)

Generell kann festgehalten werden, dass ein Zwischenfruchtanbau im Ökologischen Landbau sehr erstrebenswert sein sollte. Dies verdeutlicht ein Versuch der LfL Bayern (Abbildung 25), in dem wurde die Auswirkung von verschiedenen Zwischenfrüchten auf die Folgefrucht Sommerhafer untersucht. Dabei zeigten die Zwischenfrüchte im Vergleich zur Variante „ohne“ in allen Umwelten meist eine tendenziell höhere Wirkung auf die Folgefrucht Sommerhafer. Über die ganzen Versuchsjahre erreichte die Variante „Weißklee Frühjahr“ die höchsten Relativwerte. Die Variante „FM 3 Herbst“ (Kleeegrasmischung für den mehrjährigen Anbau) erreichte die niedrigsten Werte gegenüber der Variante „ohne“.

3.3.2 Untersaat

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben tragen Untersaaten neben den Zwischenfrüchten und der Fruchtfolge zur Artenvielfalt und Vielseitigkeit des Anbaues bei. Sie sind eine wichtige Möglichkeit, die Einseitigkeit der „Monokulturen“ aufzulockern. Sie schaffen damit ein Bindeglied zwischen der Vielfalt der natürlichen Verunkrautung und der durch Menschen geschaffenen marktwirtschaftlich geprägten Getreide- oder Maismonokulturen. Folgt man diesem Gedanken, so ist es sinnvoll, dem Getreide eine oder mehrere Kleearten unterzusäen. Im umgekehrten Fall, wenn eine Leguminose (z.B. Erbse) die Hauptfrucht bildet, kann

eine Getreideart die entsprechende Ergänzung bieten (HERMANN & PLAKOLM, 1993, S. 160).

Hervorzuheben sind bei der Untersaat folgende positive ökologische Auswirkungen:

- Zusätzliche Beschattung des Bodens
- Bei Leguminosen zusätzliche N-Fixierung
- Unterdrückung der Verunkrautung durch Konkurrenzeffekte
- Indirekte Bekämpfung der Krankheiten, z.B. durch Verhinderung der Ausbreitung der Sporen
- Verbesserung der Bodentragfähigkeit im Herbst und im Frühjahr

Es können jedoch Schwierigkeiten in Trockenlagen für das Gelingen der Untersaaten und bei zu üppiger Entwicklung ihrer Deckfrüchte auftreten. Außerdem ist die Zahl der für Untersaat geeigneten Fruchtarten im Vergleich zu den Zwischenfrüchten nicht allzu groß. In erster Linie kommen Klee und kleeartige Futterpflanzen in Betracht, was aber bei zu hohen Leguminosen Anteilen in der Fruchtfolge zu Unverträglichkeitserscheinungen führen kann. Davon abgesehen, ist die Vorfruchtwirkung der Untersaat gegenüber anderen Zwischenfrüchten am besten.

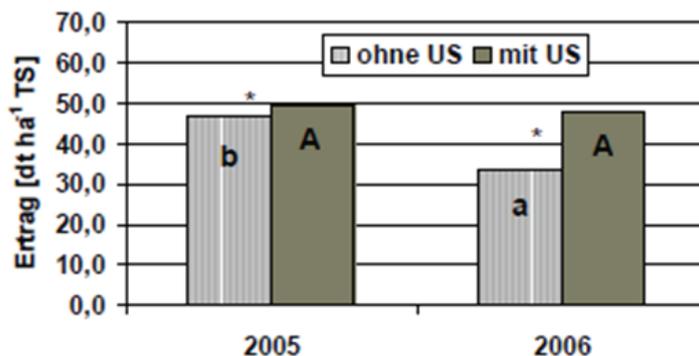


Abbildung 26: Nachfruchtwirkung des Anbaus von Winterweizen mit und ohne Weißklee-Untersaat auf den Weizenertrag (BÖHM, 2007)

Der LfL Bayern (Abbildung 27) verglich in mehreren Feldversuchen verschiedene kleinkörnige Leguminosen als Untersaaten und als Stoppelsaaten. Wobei durchweg ein positiverer Effekt der Untersaat auf den Ertrag der Folgekultur zu verzeichnen war. Ein Nachteil war aber, dass eine Untersaat im Herbst zu geringeren Kornerträgen der Deckfrucht führte. Dies wurde durch eine höhere Konkurrenzkraft der Untersaat bei der früheren Ansaat erklärt. Zu dem gleichen Ergebnis kam auch BÖHM 2007 (Abbildung 26). Er kontrollierte, wie sich der

Ertrag Weizen nach Raps mit und ohne eine Weißklee-Untersaat unterschied, wobei der Weißklee nach der Rapserte untergepflügt wurde. Die in beiden Versuchsjahren im Raps etablierte Untersaat führte zu einem signifikanten Mehrertrag.

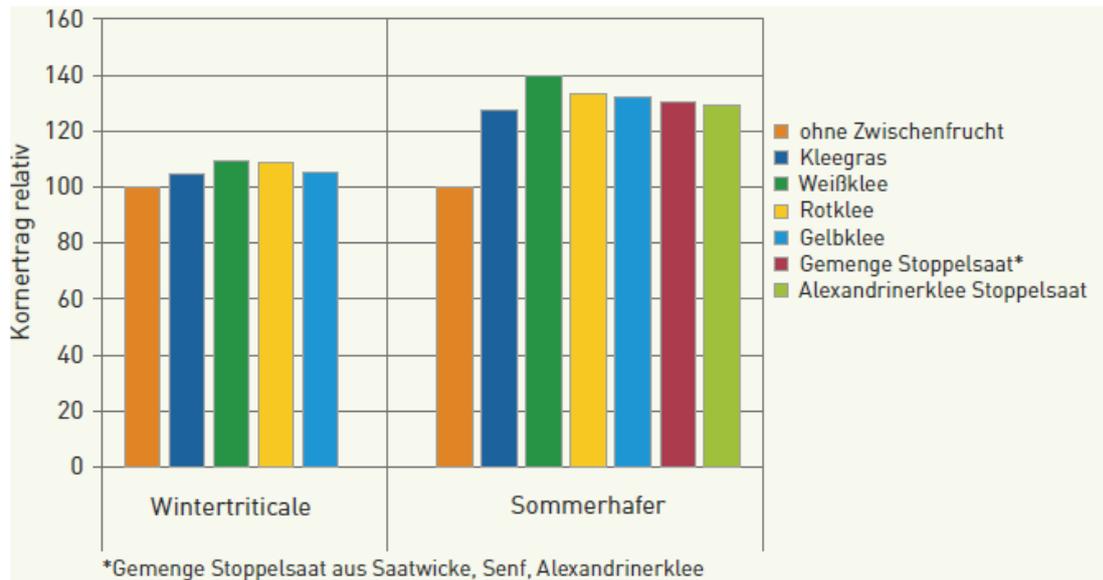


Abbildung 27: Vorrfruchtwirkung verschiedener Leguminosenarten (URBATZKA et al, 03.2011)

3.3.3 Mischanbau

Der Anbau von Mischkulturen zielt darauf ab, die genetische Basis der Resistenz innerhalb eines Bestandes zu erweitern. Der positive Effekt dabei beruht auf die hohe genetische Sortenvielfalt. Die Vielfalt der Sorten hat einen positiven Einfluss auf die Krankheitsanfälligkeit und auch auf die Ertragsstabilität gegenüber Schaderregern und Witterungseinflüssen. Dabei werden die Qualitätsparameter nur gering negativ beeinflusst.

Ertragsstabilität wird vor allem durch Kompensation weniger befallener Pflanzen in Mischungen und durch Nischendifferenzierung zwischen den Sorten erreicht. Erfahrungen in der ehemaligen DDR, USA, Polen und in der Schweiz stimmen überein, dass Sortenmischungen im Vergleich zu den jeweiligen Reinbeständen generell stabilere Erträge und über das langjährige Mittel 1-3 % höhere Ernten einbringen (MUNZERT et al, 2006, S. 386) (Prof. Dr. FINCKH, Sortenmischungen bei Getreide: Eine Chance für die ökologische Qualitätsproduktion, 2002)

In Bezug auf Krankheiten spielen andere Faktoren eine Rolle. Als Beispiel kann man in einer Sortenmischung Sorten derselben Qualität (Weizenklasse, etc.), die agronomisch zusammenpassen (Erntetermin, etc.) aber verschiedene Resistenzen auf die vor Ort wichtigen Krankheiten (und Schädlinge) besitzen, gemischt anbauen. In solch einer Mischung wird ein

Krankheitserreger, der eine der verwendeten Sorten befallen kann, an der schnellen Verbreitung gehindert. Die andere Sorte wirkt wie eine Barriere und viele Sporen fallen auf eine resistente Sorte. Sortenmischungen haben in der Praxis bereits bewiesen, dass sie massiv zur Reduktion des sonst notwendigen Fungizideinsatzes beitragen können. So wurde in der ehemaligen DDR zwischen 1984 und 1990 praktisch der gesamte Sommergerstenanbau (Malzgerste) auf Mischungsanbau umgestellt. Es konnten dabei 80 % der vorher benötigten Fungizide gegen Mehltau eingespart werden (Abbildung 28) (Prof. Dr. FINCKH, Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau, 2002).

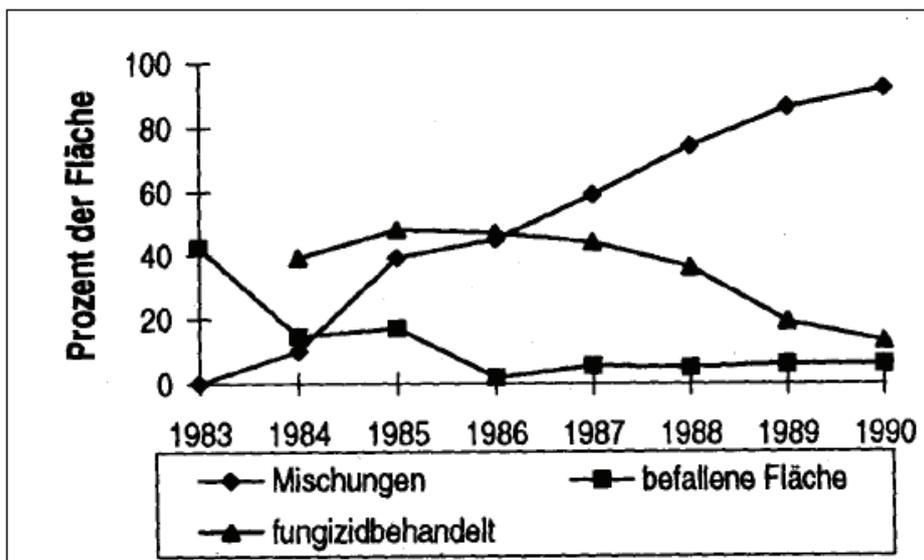


Abbildung 28: Produktion von Sommergerstenmischungen in der ehemaligen DDR (Prof. Dr. FINCKH, 2002)

Bei Versuchen in den Jahren 2006 bis 2008 wurden an fünf biologisch bewirtschafteten Standorten Österreichs Sortenmischversuche bei Winterweizen durchgeführt (Abbildung 29). Dabei zeigten die Ergebnisse, dass die meisten Parameter der Mischung nahe dem errechneten Mittel der Einzelsorten lagen. Dies wurde sowohl bei Blattkrankheiten als auch beim Kornertrag und den Qualitätsparametern festgestellt. Hingegen erhöhte sich die Ertragsstabilität durch den Mischanbau (FLAMM, 2009).

Varianten	Kornertrag		1000-Korn- Gew.	Hektoliter- gewicht	Roh- protein	Feucht- kleber	Sedi- wert	Fall- zahl	Quell- zahl Q0
	dt/ha	Rel.-%	g TS.	kg	%	%	ml	s.	ml
n=	15	15	13	15	15	11	14	15	11
Capo	62,3	105	38,1	83,2	12,3	29,8	47,58	338	18
Exklusiv	58,4	98	38,8	81,6	13,1	31,2	50,3	394	19
Erla Kolben	54,0	90	36,8	81,3	13,2	30,0	50,2	340	21
Capo + Exklusiv	61,8	104	38,2	82,4	12,7	31,0	49,3	358	17
Capo + Erla Kolben	58,4	98	37,1	82,4	12,8	30,2	49,2	328	19
Rechnerisches Mittel der Reinsaat	59,2	99,5	38,0	82,3	12,8	30,2	48,9	353	19
Mittel der Mischungen	60,1	101,0	37,7	82,4	12,8	30,6	49,3	343	18
Differenz*	+0,9	+1,5	-0,3	+0,1	±0,0	+0,4	+0,4	-10	-1

* Alle Differenzen sind nicht signifikant (T-Test, Alpha =0,05)

Abbildung 29: Ertrag und Qualität der Einzelkomponenten im Vergleich zu Sortenmischungen (FLAMM, 2009)

3.3.4 Gemengeanbau

Als Gemengeanbau bezeichnet man den gemeinsamen Anbau von Getreide mit Hülsenfrüchten. Dabei spielt das Verhalten der verschiedenen Arten von Kulturpflanzen untereinander eine besondere Rolle; wie z.B.: Gerste/Hafer/Erbsen, Lupine/Hafer/Sommerroggen/-gerste, Erbsen/Bohnen/Hafer oder Klee gras geben sichere Erträge, da je nach Gang der Jahreswitterung die eine oder andere Art bevorzugt wird, vielleicht sogar die Oberhand gewinnt.

In bestimmten Gebieten und für besondere Zwecke ergeben sich gegenüber der Reinsaat gewisse Vorteile. So dient beim Anbau von Erbsen oder Wicken mit Hafer dieser den Hülsenfrüchten als Stützfrucht und verringert die Lagergefahr. Durch den auf schweren Böden verbreiteten Anbau von Ackerbohnen mit Hafer will man die Ertragssicherheit erhöhen und den Futterwert des Hafers durch die Bohnen verbessern (KIEL, 1954, S. 216-217) (ROEMER & SCHEFFER, 1949, S. 152).

Die große Beliebtheit und weite Verbreitung des Gemengeanbaus begründet sich aus den vielen Vorteilen. Diese umfassen u.a. die N-Fixierung durch die Leguminosen (d.h. eine effizientere Nutzung der Ressourcen am Standort), die höhere Ertragssicherheit gegenüber der Reinsaat, die Erhöhung des Futterwertes und die bessere Unterdrückung der Unkräuter. Bei der Körnernutzung muss über die Arten- und Sortenwahl besonders auf die gleichzeitige Abreife geachtet werden. Obwohl sich in den ökologisch wirtschaftenden Betrieben immer wieder die Tendenz zeigt, dass sich im Gemenge die Abreife der Mischungspartner einander annähert. In dieser Hinsicht haben sich Gemenge aus Hafer-Ackerbohnen sowie Sommergerste und Erbsen bewährt, da deren Reifezeit eng beieinander liegen.

Anders sieht es da bei der Grün-GPS-Nutzung aus. Hier besteht die Möglichkeit, aufgrund des höheren Spielraumes eine artenreichere Zusammensetzung zu wählen. Dabei gewinnt das Verhalten der Kulturpflanzen im gemeinsamen Bestand der Futtersaaten an Bedeutung, wie z.B.: Luzerne – Knaulgras, Luzerne – Lischgras, Weide oder Wiesensaaten (HERMANN & PLAKOLM, 1993, S. 193-194) (DAHLMANN et al, 2007)/ (ROEMER & SCHEFFER, 1949, S. 152).

So wertvoll der Gemengeanbau für den Ökologischen Landbau auch ist, kann nicht automatisch davon ausgegangen werden, dass eine Leguminose in einem Getreidebestand auch gleichzeitig zu einer Erhöhung der Erträge führt. Es wurde zwar in vielen Untersuchungen nachgewiesen, dass die Pflanzen im Mischanbau die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe besser ausnutzen können und dadurch die Schwankungen im Gesamtertrag geringer ausfallen. Aber eine Erhöhung des Einzelfruchtertrages ist in einem Gemengeanbau nicht möglich. In einem Erbsen Feldversuch der LfL Bayern wurde nachgewiesen, dass im Gemenge häufig ein deutlich geringer Erbsenertrag als in Reinsaat erzielt wurde. Hier wurde eine halbblattlose Erbse einerseits in Reinsaat und andererseits mit den Gemengepartnern Gerste, Hafer und Leindotter ausgesät.

Versuchsort war das Schlossgut Hohenkammer im Landkreis Freising. Der Versuch lief über drei Jahre. Die Reinsaatstärke der Erbsen wurde im Gemenge beibehalten, da das Ziel ein möglichst hoher Erbsenertrag war. Ergänzt wurde das Gemenge durch Hafer, Gerste und durch Leindotter. Der höchste Erbsenertrag aller Varianten wurde immer von der Erbsenreinsaat erzielt (Abbildung 30). Dabei zeigten die Ergebnisse, dass der Mischanbau mit Leindotter den Ertrag am geringsten verminderte (minus 14 %). Die Getreidearten reduzierten dagegen den Erbsenertrag aufgrund ihrer höheren Konkurrenzkraftstärker (um 20 bis 30 %). Die höheren Gesamterträge wurden von den beiden Gemengen mit Hafer erreicht. Dagegen brachen die beiden Varianten mit Gerste und Hafer (geringe Saatstärke) einen vergleichbaren Getreideertrag, wobei der Erbsenertrag mit Hafer als Gemengepartner höher war. Dabei vielen die Ertragsschwankungen in allen Mischungsvarianten geringer als bei der Erbsenreinsaat aus (URBATZKA, REHM, SALZEDER, & WIESINGER, 12.2011).

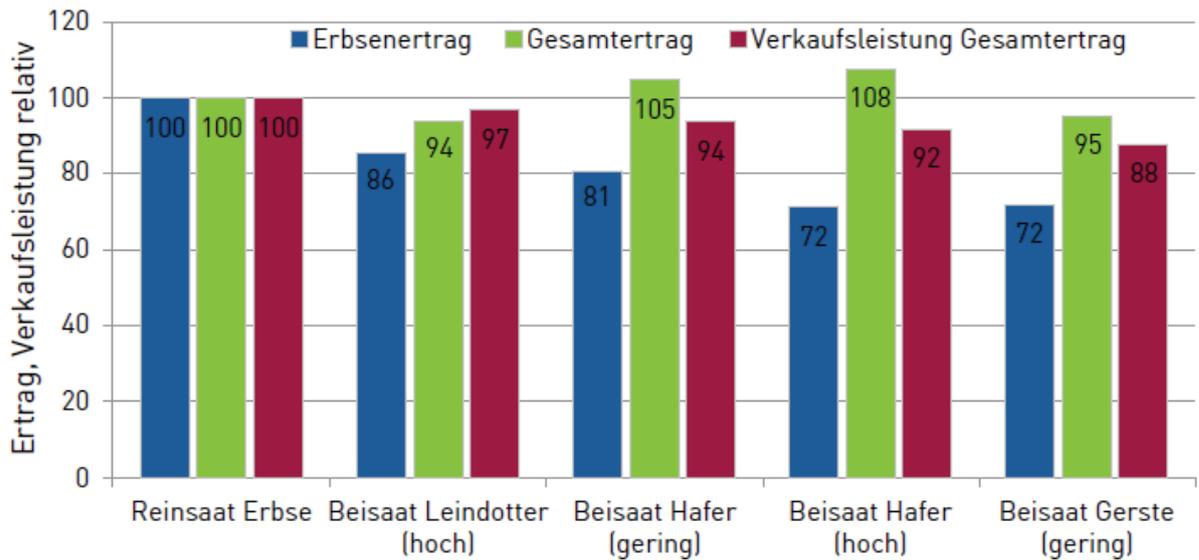


Abbildung 30:Kornertrag und Verkaufsleistung von Erbse in Rein- und Gemengesaat (Mittel der Jahre 2007) (URBATZKA, REHM, SALZEDER, & WIESINGER, 12.2011)

3.4 Wie erfolgt die Düngung in einem Ökologischen Betrieb?

Rund 7 % des in Deutschland zur Verfügung stehenden Humusreproduktionspotentials können Kompost- und Gärprodukte liefern (Abbildung 31). Über 90 % stammen aus wirtschaftseigenen Düngern und Stroh. Besonders für intensiv wirtschaftende Marktfruchtbetriebe haben überbetriebliche organische Dünger wie Kompost- oder Gärprodukte eine besondere Bedeutung (ROGASIK & REINHOLD, 06.2006, S. 4).

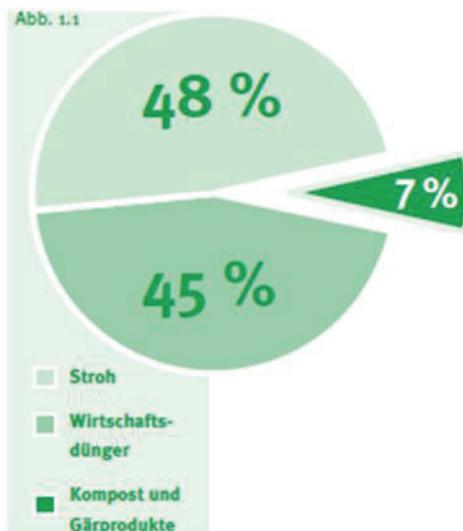


Abbildung 31:Jährliches Reproduktionspotential in der Deutschen Landwirtschaft (ROGASIK & REINHOLD, 06.2006)

Die Grundbasis des Ökologischen Landbaus ist die EU-Öko-Basis VO 834/2007, bei ihr wird der Kreislaufgedanke des Ökologischen Landbaus durch eine wirtschaftliche Betrachtungsweise ergänzt. Hierzu zählt unter anderem die Verwendung von einigen umstrittenen organischen Düngern (Knochenmehl usw.) sowie den uneingeschränkten Zukauf von organischen Düngern. Darüber hinaus gibt es die Verbände, die nach dem ganzheitlichen Systemgedanken produzieren (Abbildung 12). Dort besitzen sowohl die klassische Fruchtfolge als auch die Tierhaltung einen hohen Stellenwert.

Egal welchen Dünger man nun verwendet (Rindergülle, Knochenmehl, Hühnertrockenkot), die hervorgehobene Stellung des organischen Düngers in der Landwirtschaft stellte schon (ROEMER & SCHEFFER, Lehrbuch des Ackerbaues, Fünfte Auflage, 1959) dar. Organische Dünger können aber nicht als Grundlage oder Ersatz für die Fruchtfolge angesehen werden. Sie sind ausschließlich Ergänzungsdünger und dienen der Verbesserung des Wachstums. Die Hauptaufgabe der organischen Düngung ist die Zufuhr von Bodenhumus oder zu Bodenhumus umwandlungsfähiger Stoffe zur Erhaltung und Verbesserung der biologischen und physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften. Das Ziel ist, eine höhere Verwertung und Ausnutzung der zugeführten oder bodeneigenen Pflanzennährstoffe.

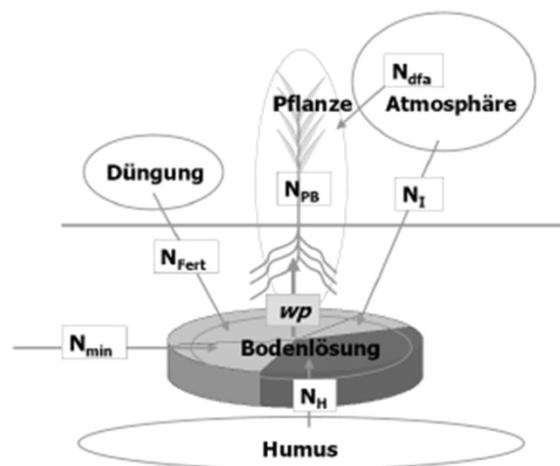


Abbildung 32: Schema der N-Versorgung einer Pflanze (BROCK C. , HOYER, LEITHOLD, & HÜLSBERGEN, 08.2008)

Nun ist aber der organische Dünger von seinen Eigenschaften her nicht vergleichbar mit dem mineralischen Dünger. Er hat keine zu 100 % pflanzenverfügbare Nährstoffform. Deshalb kann die organische Düngung nur zu einem bestimmten Teil für die Versorgung der Pflanzen zuständig sein (Abbildung 32). Der andere Teil wird aus dem Boden für die Pflanze bereitgestellt. Diese Abbildung verdeutlicht gut, welchen hohen Stellenwert die organische Düngung und daher auch die Kreislaufwirtschaft für den Ökologischen Landbau haben.

Organischer Dünger ist nicht gleich organischer Dünger (Abbildung 33) (SCHLEISS & FUCHS, 2009). **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**Es gibt zwischen ihnen einige düngertechnische Unterschiede. Diese verdeutlichen, dass N-Bindungsformen von organischem Dünger in unterschiedliche Fraktionen unterteilt sind, in mineralische, organische - leicht abbaubare und humusreproduktionswirksame Fraktionen. Diese Formen sind dann, je nachdem wie man sie einteilt, schnell oder eher langsam wirksam. Daher ist es für die Nährstoffversorgung wichtig, sowohl die Vor- als auch die Nachteile der einzelnen organischen Dünger zu kennen. Also, ob man eher Schweine Gülle nimmt, die einen hohen Anteil an mineralischen N- besitzt, oder ob man eher mit Stroh düngt, welches zwar einen hohen Anteil an humusreproduktionswirksamen Fraktion besitzt, aber als Nachteil ein weites C:N Verhältnis aufweist.

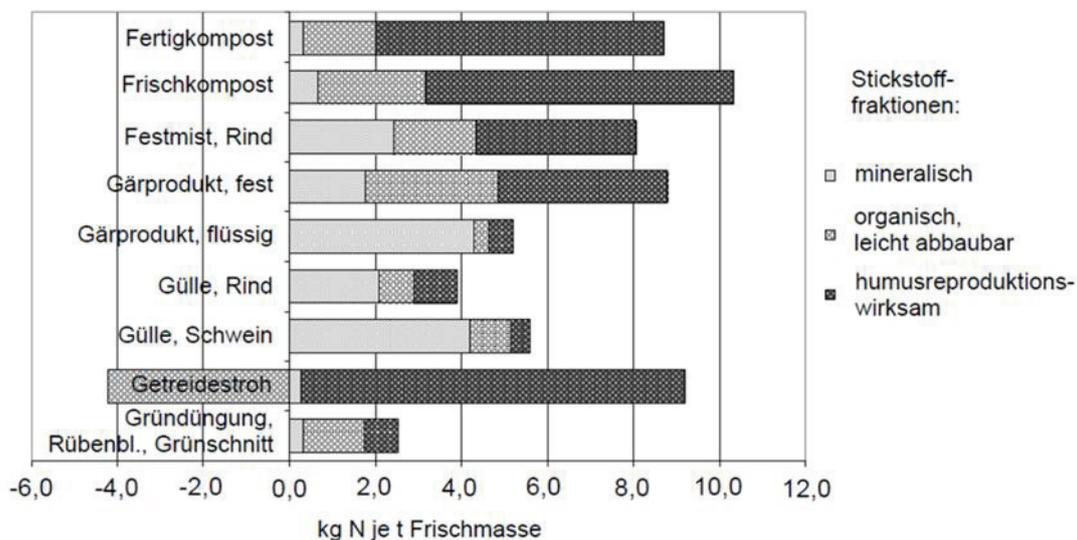


Abbildung 33: N-qualität unterschiedlicher organischer Dünger (SCHLEISS & FUCHS, 2009)

Deshalb ist die Nährstoffversorgung im Ökologischen Landbau in erster Linie auf den Boden ausgerichtet. Die direkte Versorgung der Pflanze tritt dadurch in den Hintergrund. Um den Nährstofftransfer vom Boden zur Pflanze zu gewährleisten, ist im Ökologischen Landbau die Verbesserung der Humusversorgung und die damit einhergehende Aktivierung des Bodenlebens ein vorrangiges Ziel.

Der gezielte Anbau verschiedener Kulturen kann diesen Umwandlungsprozess unterstützen. Aus diesem Grund wurde am Standort Gülzow auf einem nach den Richtlinien der EU Öko-VO 2092/91 ökologisch bewirtschaftenden Betrieb im Dauerversuch die Auswirkungen eines langjährigen ökologischen Anbaus untersucht. Ziel dieser Untersuchungen war es, Aussagen zur Entwicklung der Nährstoffgehalte im Boden unter Berücksichtigung der Zu- und Abfuhr bei den dort vorliegenden Standortbedingungen zu erhalten. In einer 6-feldrigen Fruchtfolge mit 33 % Leguminosen, 50 % Getreide und einem Hackfruchtschlag wurden neben einer

regelmäßigen Stalldunggabe auch zeitweise zugelassene mineralische Grundnährstoffe ausgebracht. (GRUBER & THAMM, 2004, S. 9)

Tabelle 4: Nährstoffzufuhr und –Entzug sowie Bilanzsalden im Mittel der Fruchtfolge und Jahre(1993-2003) (GRUBER & THAMM, 05.2005)

Nährstoffe	Stickstoff (N)	Phosphor (P)	Kalium(K)	Magnesium (Mg)
Zufuhr (kg/ha/a)	85	19	65	32
davon aus Stalldung/ Gülle	57	16	56	13
aus min. Düngung	-	3	9	19
Entzug (kg/ha/a)	78	14	73	9
Bilanzsaldo (kg/ha/a)	7	5	-8	23

Ein Fazit der Untersuchung war, dass die Nährstoffgehalte sowie pH-Wert im Boden in der Regel hoch waren. Außerdem kam es zu einer nahezu ausgeglichenen Bilanz (Tabelle 4) (Abbildung 34), die insbesondere durch Zufuhr von Stalldung erreicht wurde. Sie führte bisher nicht zu einer deutlichen Veränderung der Bodengehaltes. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass ein wesentlicher Teil der Nährstoffe aus Stalldung bereitgestellt wurde. Betriebe ohne Viehhaltung beanspruchen somit wesentlich stärker den Bodenvorrat.

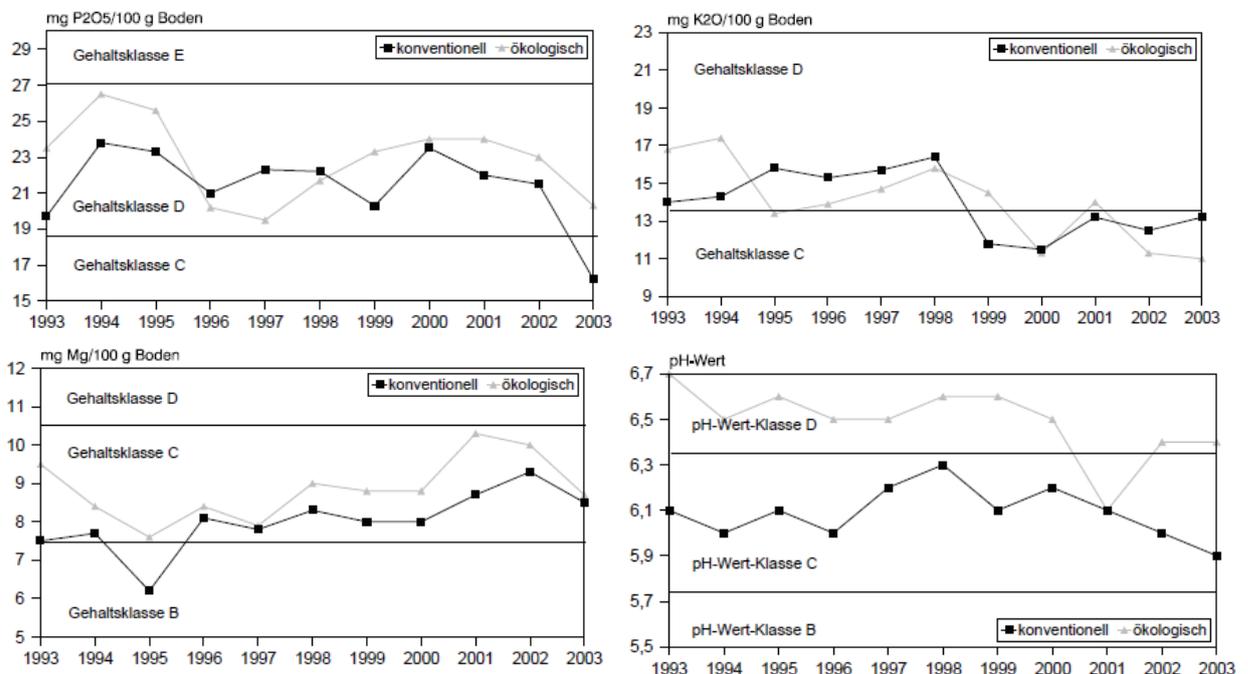


Abbildung 34: Mittlere-Gehalte im Boden von P, K, Mg, pH-Wert, Gülzow 1993-2003 (GRUBER & THAMM, 2004)

4 Boden

4.1 Entstehung der Brandenburger Böden

Das Bundesland Brandenburg liegt im norddeutschen Tiefland und gehört somit zum südlichen Teil des nordeuropäischen Vereisungsgebietes. Über 95% der Landesoberfläche Brandenburgs sind mit quartären Lockersedimenten bedeckt. In Abhängigkeit vom Alter der Ablagerungen, der Ausbildung der Sedimente und des Reliefs sowie der Verwitterungsdauer lassen sich drei glaziale geprägte Gürtel unterscheiden. Sie sind von Nord nach Süd angeordnet (Abbildung 46). (Ministerium für Ländliche Entwicklung, 2011).

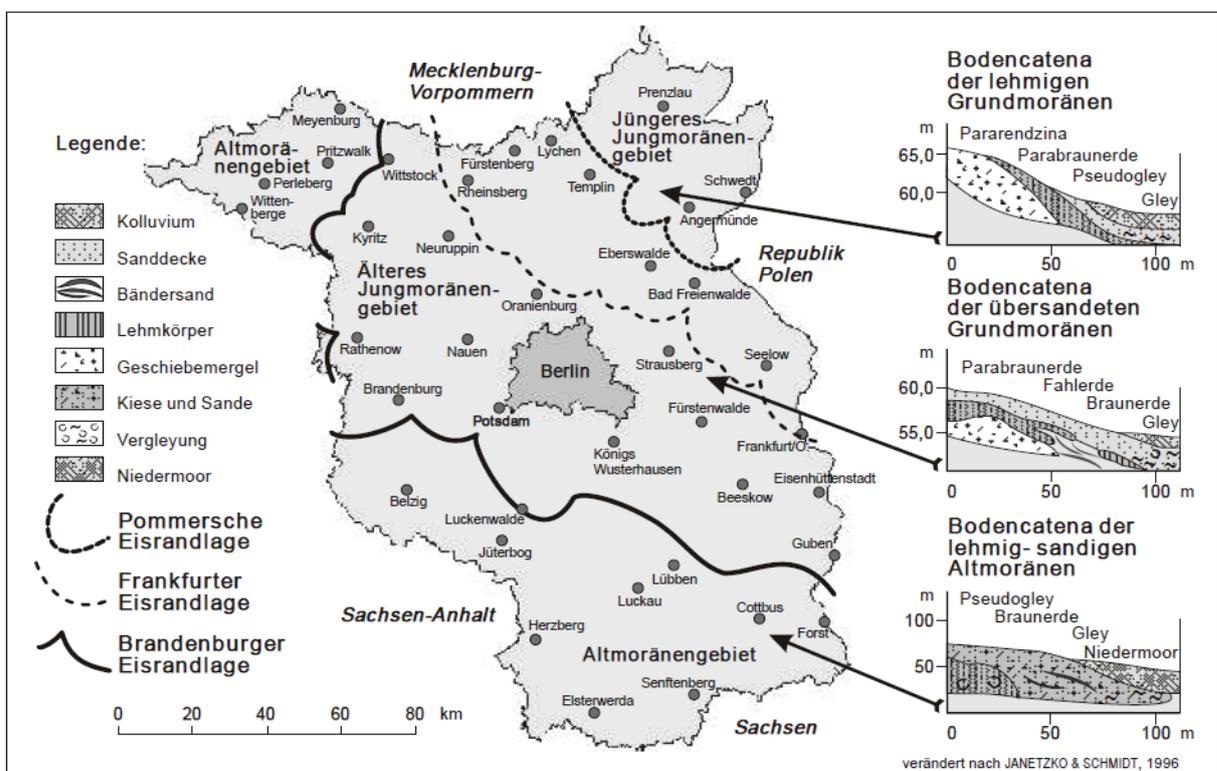


Abbildung 35: Ausdehnung der Glazialgürtel mit charakteristischen Bodencatänen (Ministerium für Ländliche Entwicklung, 2011)

Das jüngere Jungmoränengebiet umfasst den nordöstlichen Teil Brandenburgs und im Westen die Uckermark. Charakteristisch ist eine aus kuppigen bis flachwelligen Lehmplatten bestehende Grundmoränenlandschaft, die von vermoorten Niederungen und weiteren Endmoränenzügen durchsetzt ist. Es ist die jüngste durch Vereisung geprägte Landschaft in Brandenburg. Dieses drückt sich nicht nur in den Oberflächenformen sondern auch in der Bodenbildung aus. Bodenerosion ist in den kuppigen Bereichen weit verbreitet. Das Wasser hat Bodenmaterial teilweise bis auf den kalkhaltigen Geschiebemergel abgetragen und in den Senkenbereichen abgelagert. Geschiebemergel ist ein kalkhaltiges Gemisch aus Ton,

Schluff, Sand, Kies und Geschieben mit Tongehalten zwischen 6 bis 14 %. Deshalb beträgt auch die Entkalkungstiefe der lehmigen Böden auf den Grundmoränen häufig nur 0,9 bis 1,5 m und auch die Deckschichten sind auf Grund der kurzen Entwicklungsdauer weniger deutlich ausgeprägt als in den sich südlich anschließenden Gebieten (Ministerium für Ländliche Entwicklung, 2011)

4.2 Vorstellung der Drei Bodenvarianten

Die Auswahl dieser drei Böden erfolgte aus dem Grund, die Unterschiede exemplarisch an drei sich stark voneinander unterscheidenden Böden festzumachen. Die Böden spiegeln dabei die ganze Breite der in der Uckermark verbreiteten Bodenarten wieder. Die Auswahl der Böden erfolgte anhand ihrer jeweiligen Ackerschlagszahl:

- a) Pararendzina zwischen 26 - 34 BP
- b) Pseudogley zwischen 34 – 48 BP
- c) Kolluvisol zwischen 48 – 54 BP.

4.2.1 Vorstellung Pararendzina

Der Bodentyp Pararendzina gehört zu der Klasse Ah/C-Böden. Die Bodentypen, die in dieser Klasse zusammengefasst sind (Ranker, Rendzina, Pararendzina), besitzen einen voll ausgebildeten A-Horizont über einem C-Horizont (FIEDLER & REISSIG, 1964, S. 444).

Die Pararendzina aus Geschiebemergel ist in Brandenburg eine typische Erosionsform. Die aus Geschiebemergel entstandene Bodenform ist eine wellige, z.T. kuppige Grundmoräne, die aus der Erosion von Parabraunerde unter landwirtschaftlicher Nutzung hervorgegangen ist. Durch Wasser wird das fruchtbare Bodenmaterial abgetragen und an anderer Stelle abgelagert. Dabei sind besonders die sandigen Lehme, lehmigen Sande und Schluffe anfällig. Auch unter regionalen Bedingungen ist ein Teil der Böden soweit erodiert, dass das Ausgangsgestein der Bodenbildung, beispielweise der kalkhaltige Geschiebemergel, heute an der Oberfläche liegt. Der schleichende Prozess der Wassererosion verursacht Verluste von Humus und Pflanzennährstoffen, eine Verminderung des Wasserspeicher- Filter- und Puffervermögens und geht einher mit der Verminderung bzw. dem Verlust der Bodenfruchtbarkeit (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 2.2 Pararendzina, 2011).

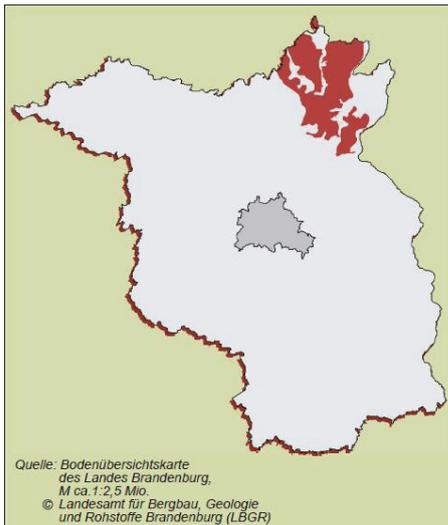


Abbildung 36: Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg über das Vorkommen der Pararendzina (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 2.2 Pararendzina, 2011)

Die Pararendzina ist ein kalkhaltiger und flachgründiger Boden (Abbildung 36), dessen Durchwurzelbarkeit wegen hoch anstehenden Ausgangsgesteins begrenzt ist. Durch den erodierten Unterboden kann nur wenig Wasser gespeichert werden. Deshalb neigt die Pararendzina stark zur Austrocknung und erwärmt sich schnell. Wassermangel und fehlende Tiefenentwicklung des Bodens beschränken die Verfügbarkeit der hohen Nährstoffvorräte des Geschiebemergels auf ein mittleres Maß. Des Weiteren zeichnet sie sich durch extreme Ertragsschwankungen zwischen feuchten und trockenen Jahren aus (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 2.2 Pararendzina, 2011):

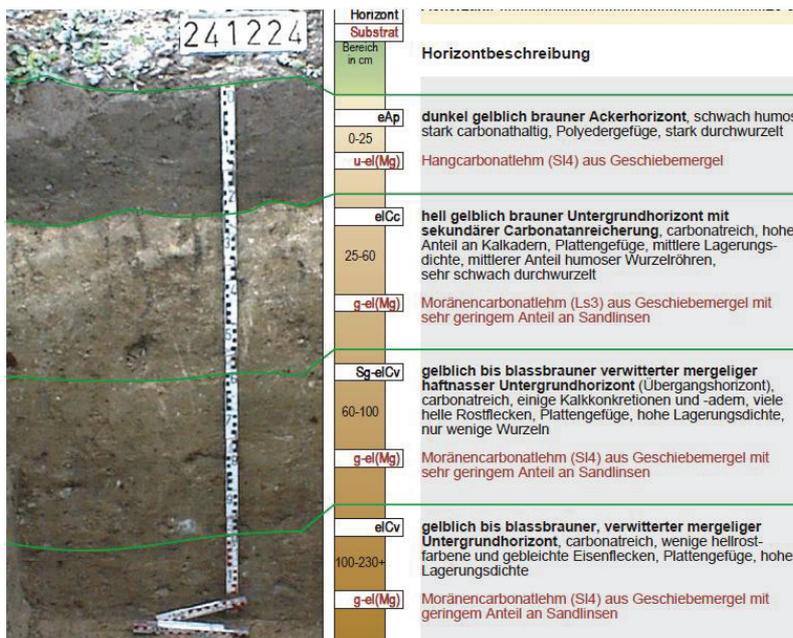


Abbildung 37: Bodenprofil der Pararendzina (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 2.2 Pararendzina, 2011)

4.2.2 Vorstellung Pseudogley

Die Bodentyp Pseudogley gehört zu der Klasse Staunässeböden. Die Böden dieser Klasse (Stagnogley, Pseudogley) weisen durch wechselnde Sauerstoffverhältnisse zustande kommende Merkmale auf, die durch oberflächennah gestauten Niederschlagswasser verursacht werden (AD-HOC-Arbeitsgruppe Boden, 2005, S. 226) (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002, S. 462).

Pseudogleye sind von Stauwasser geprägte Böden, die vor allem für Standorte mit dichtem Untergrund und Wechselfeuchte, d.h. winterlicher Vernässung und sommerlicher Austrocknung, typisch sind. Pseudogleye entwickeln sich beispielweise primär auf dicht gelagertem Geschiebelehm mit sandiger Deckschicht oder tonig-lehmigen Beckensedimenten. Sie kommen außerdem auf lehmig-tonigen Auensedimenten in Verbindung mit Grundwassereinfluss vor (Abbildung 38) (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 7.1 Pseudogley, 2011).

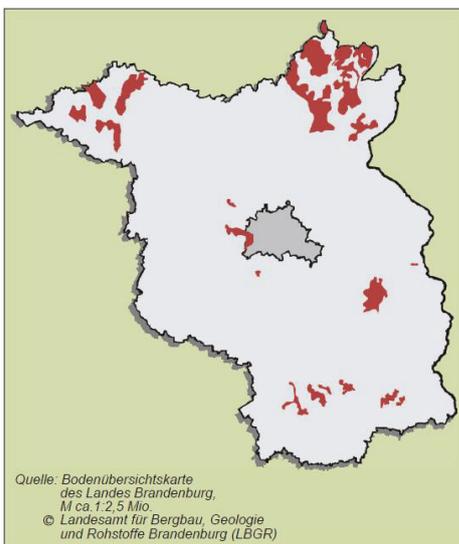


Abbildung 38: Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg über das Vorkommen des Pseudogley (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 7.1 Pseudogley, 2011)

Pseudogley sind mittel- bis tiefgründige Böden (Abbildung 39) mit unausgeglichem Lufthaushalt. Die Durchwurzelbarkeit sowie Nährstoffreserven und deren Verfügbarkeit können als mittel eingeschätzt werden. Besonders anfällig sind Pseudogleye in der staunassen Phase gegenüber sekundären Bodenverdichtungen durch Bodenbearbeitung, die zusätzlich den Lufthaushalt und damit die Ertrags- und Lebensraumfunktion beeinträchtigt. Mancherorts deuten Pseudogleymerkmale auf eine frühere Vernässung hin und sind somit reliktschen Charakters (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 7.1 Pseudogley, 2011).

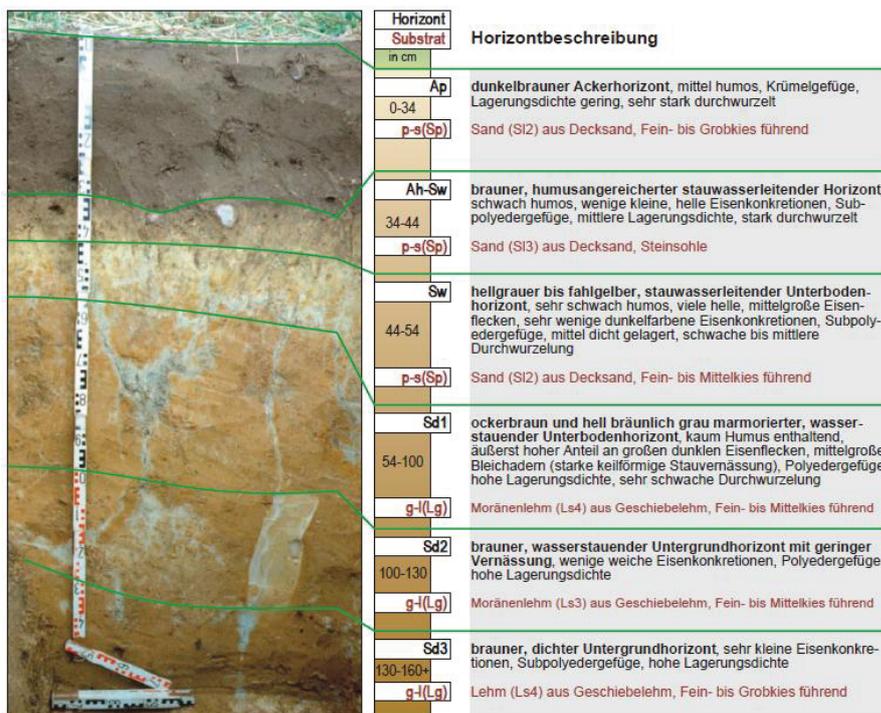


Abbildung 39: Bodenprofil des Pseudogleys (MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 7.1 Pseudogley, 2011)

4.2.3 Vorstellung Kolluvisol

Die Bodentyp Kolluvisol gehört zu der Klasse der terrestrischen anthropogenen Böden. In dieser Klasse werden Böden zusammengefasst, die durch die unmittelbare Arbeit des Menschen eine so starke Umgestaltung im Profilaufbau erfahren haben, dass die ursprüngliche Horizontabfolge weitgehend verloren ging (AD-HOC-Arbeitsgruppe Boden, 2005, S. 233). Kolluvisole sind Böden aus verlagertem humosem Bodenmaterial. Es sind durch starke Erosionsereignisse entstandene Schluchten und Schwemmfächer. Die Akkumulation des Bodenmaterials erfolgt an Hangfüßen, in Senken und kleinen Tälern oder an Hangkanten und Böschungen. In stark zerschnittenen Landschaften sind oft mehrere Meter mächtige Sedimentschichten anzutreffen, die von früheren starken Niederschlags- und Erosionsereignissen zeugen. Unter anderem verursacht die landwirtschaftliche Bodennutzung einen stetigen Verlust des humosen Oberbodens, der in tieferliegenden Geländedepositionen abgelagert und als Ausgangsmaterial für die Entwicklung des Bodentyps „Kolluvisol“ dient. Aus diesem Grunde ist die Kolluvisole auch überall im Land Brandenburg zu finden (Abbildung 40) (MULV Referat Boden und Umweltgeologie, 2011).

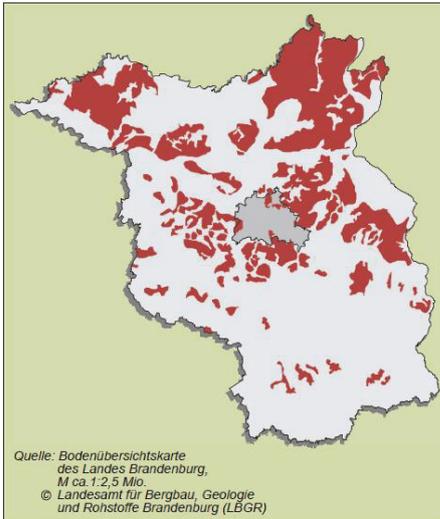


Abbildung 40: Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg über das Vorkommen der Kolluvisol (MULV Referat Boden und Umweltgeologie, 2011)

Der tiefgründige Boden (Abbildung 40) verfügt über ein gutes Wasserrückhaltevermögen. In länger anhaltenden Nassphasen führt die Staunässe allerdings zur Einschränkung ausreichender Durchlüftung. Dies kann zur Beeinträchtigung der biotischen Ertragsfähigkeit durch lang anhaltende Nässe und Verschlammung im Frühjahr und Herbst bzw. Verkrustung im Sommer führen. Darüber hinaus zeichnen sie sich auf Grund ihrer Humusanreicherung im gesamten Profil durch gutes Speicherungsvermögen im Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie hohe Pufferfunktion gegenüber stofflichen Einwirkungen aus (MULV Referat Boden und Umweltgeologie, 2011).

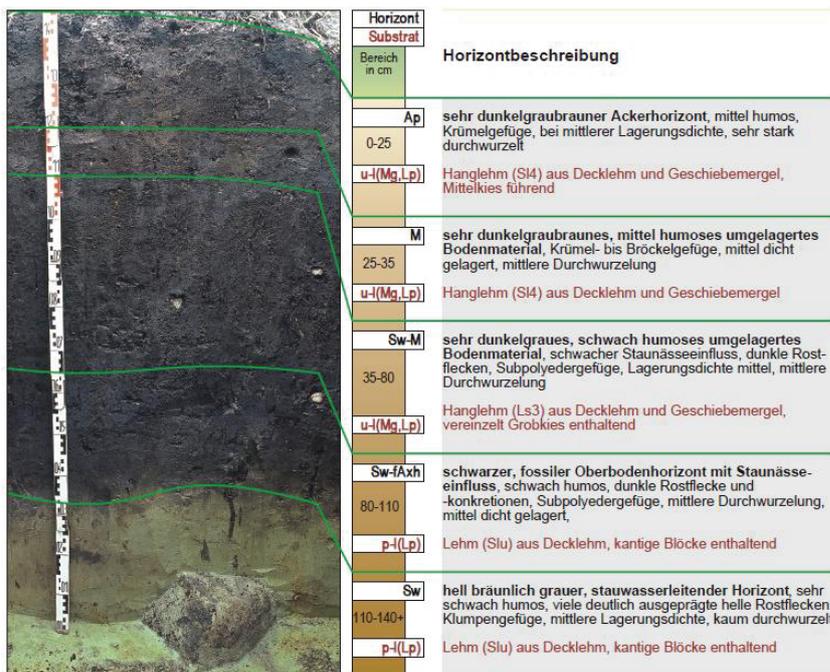


Abbildung 41: Bodenprofil des Kolluvisol (MULV Referat Boden und Umweltgeologie, 2011)

4.3 Was sind die Besonderheiten der Uckermärkischen Böden?

Die Uckermärkischen Böden sind sowohl durch ihre starke Heterogenität (Abbildung 43: Bodenübersichtskarte) als auch durch ihren relativ tiefgründigen humosen Oberboden geprägt. Dabei weist die Uckermark mittlere bis teilweise hohe Ertragsfähigkeiten auf. Das ist durch die kürzere Wirkungsdauer der Dauerfröste in der obersten Sedimentschicht zu erklären, es wurde dadurch weniger Sande und häufig sogar lehmig Sande ausgebildet (Abbildung 45). Bei der Betrachtung der Bodengüteklassen (Abbildung 42) ist ersichtlich, dass die Brandenburger Böden zum überwiegenden Teil mit geringen Ackerzahlen ausgestattet sind. Diese Verteilung ist aber nicht flächendeckend. Die Ausnahme macht dort die Region Uckermark (Abbildung 43) (JANETZKO & SCHMIDT, 1996) (LBGR Brandenbrug, 2010, S. 94).

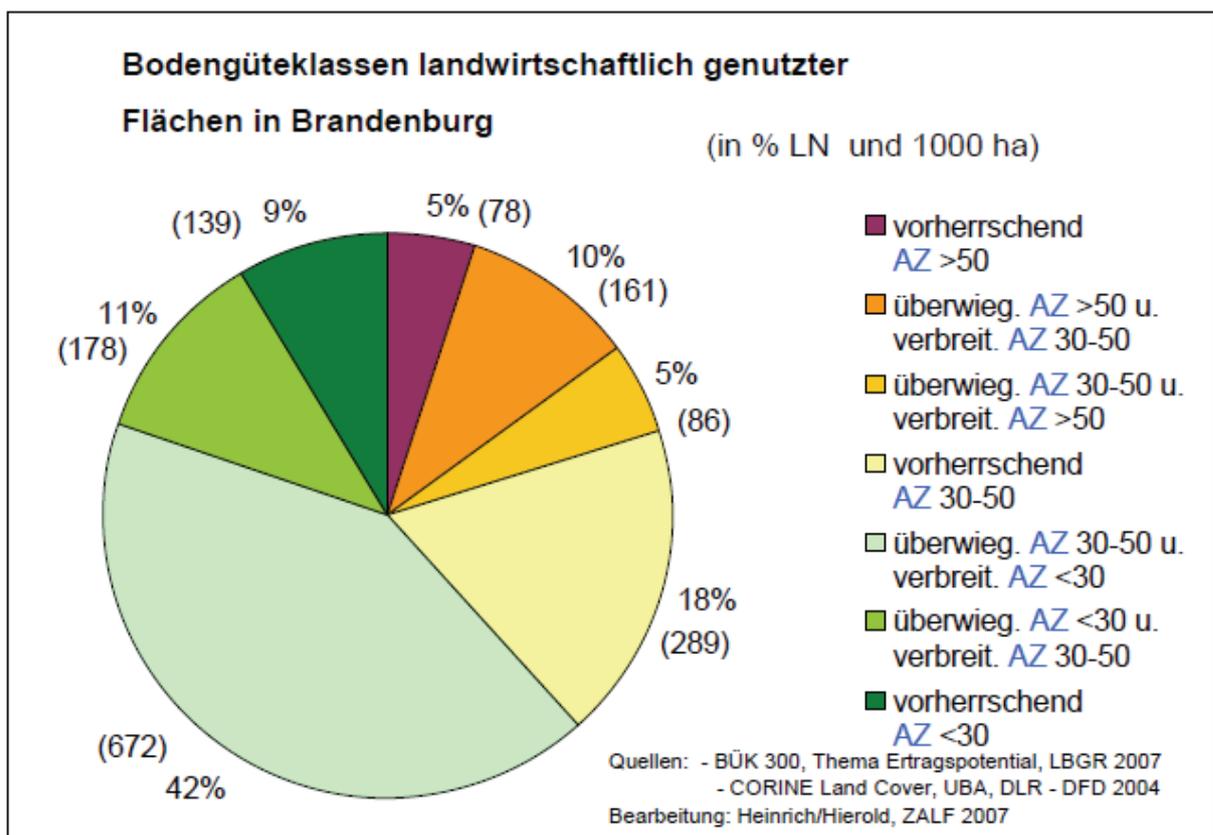
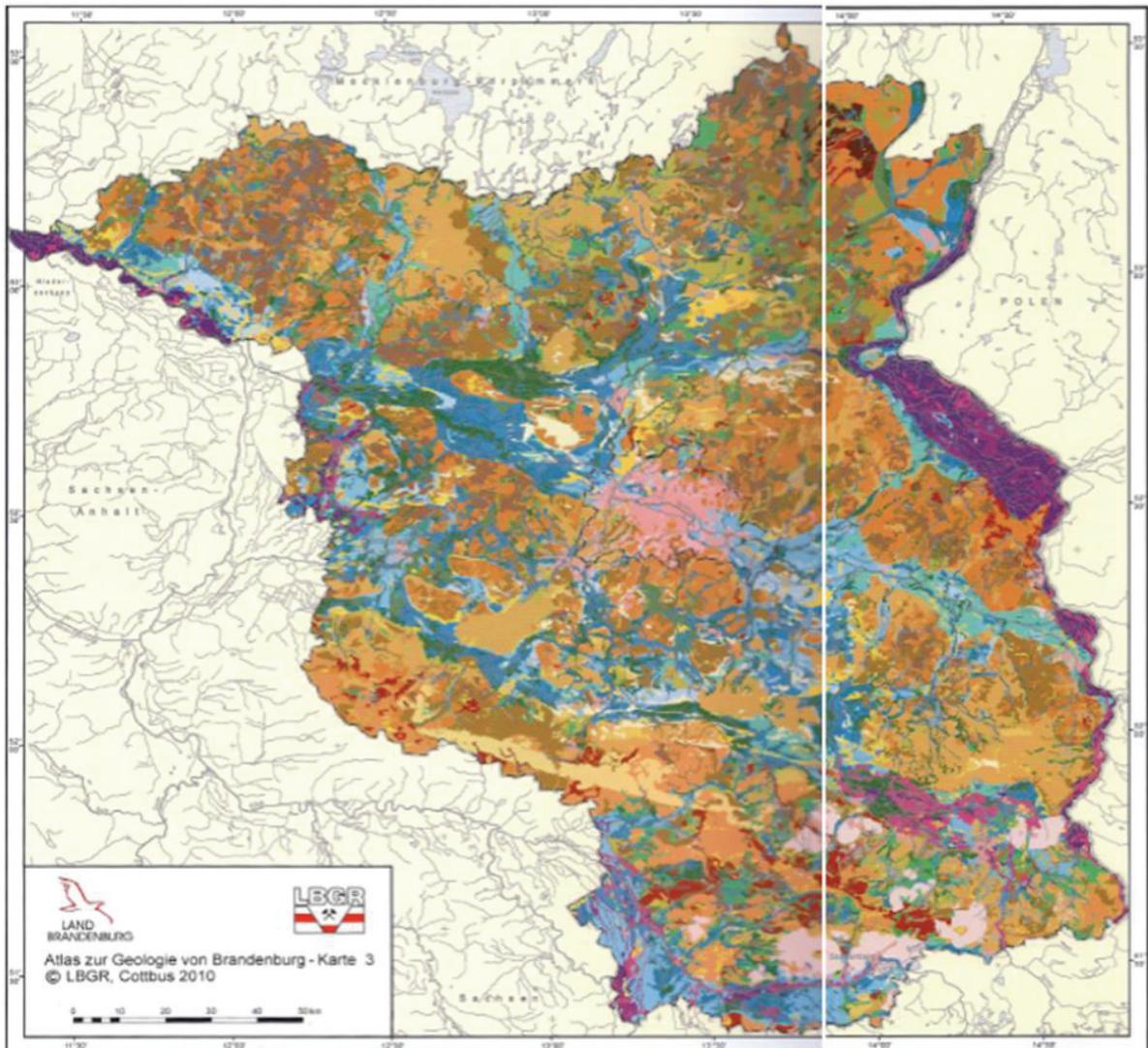


Abbildung 42: Bodengüteklassen landwirtschaftlich genutzter Flächen in Brandenburg (MLUV, 2009, S. 12)

Die Grundmoränenlehmflächen der Uckermark werden nur durch sandigere Endmoränenzüge, vermoorte Niederungen und Rinnen der Ücker und Randow unterbrochen. Auf den kaum entkalkten Moränenlehmen liegen geringmächtige Decksande bis Decklehme (Abbildung 45). Die auf diesen Substraten entwickelten Lessives sind in Senkenpositionen intensiver pseudovergleyt. Diese jüngsten Moränenflächen in Brandenburg haben höhere Reliefener-

gien, die bei großflächiger Ackernutzung Bodenabtrag und –auftrag zur Folge haben. Es entstehen einerseits Parabraunerden (gekappte Fahlerden) und Paradenzina (kalkhaltige Rohböden) auf dem unverwitterten Geschiebemergel und andererseits Akkumulationsböden (Kolluvisole) aus umgelagertem humosen Bodenmaterial. Auf schluffigen Substraten, die lokal ehemalige Becken füllen, und auf kalkreichen Moränenlehmen in bestimmten klimatischen und Reliefpositionen konnten sich Tschernoseme (Schwarzerden, Böden mit mächtigerer Humusakkumulation) entwickeln (LBGR Brandenbrug, 2010, S. 43).



Böden aus organogenen Sedimenten (Torfe)

- Niedermoore und Niedermoore über Flusssanden vergesellschaftet mit Gleyen aus Flusssanden
- Niedermoore und Niedermoore über Mudden und z.T. über Flusssanden

Böden aus anthropogen abgelagerten Sedimenten

- Lockersyroseme und Regosole teilweise vergesellschaftet mit Pseudogleyen und Gleyen aus natürlichen Kippsubstraten
- Lockersyroseme, Regosole und Hortisole teilweise vergesellschaftet mit Pararendzinen überwiegend aus natürlichen Kippsubstraten (niedriger Versiegelungsgrad)
- Lockersyroseme, Regosole und Hortisole teilweise vergesellschaftet mit Pararendzinen überwiegend aus technologischen Substraten (hoher Versiegelungsgrad)

Böden aus äolischen Sedimenten

- Regosole und Braunerden aus Flugsanden sowie Lösssand
- Podsole und Braunerden aus Flugsanden z. T. aus Lösssand
- Lessivés vergesellschaftet mit Braunerden aus Sandlössen über Schmelzwassersanden oder Moränenlehmen

Böden aus Fluss- und Seesedimenten

- Braunerden aus Urstromtalsanden vergesellschaftet mit Regosolen und Braunerden aus Flugsanden
- Braunerden aus Urstromtalsanden vergesellschaftet mit Gleyen aus Flusssanden u./o. mit Niedermooren
- Gleye aus Flusssanden vergesellschaftet mit Braunerden aus Urstromtalsanden
- Gleye vergesellschaftet mit Anmooren aus Flusssanden, z. T. über Flusslehmen u./o. mit Niedermooren
- podsolige Braunerden bis Podsol-Braunerden aus Urstromtalsanden

Böden aus Auensedimenten

- Gleye und Gley-Vegen vergesellschaftet mit Anmooren aus Auensedimenten sowie Auensedimenten über Auenlehmen
- Vega-Gleye z. T. pseudovergleyt aus Auenlehmen und -schluffen über Auensedimenten
- Vega-Pseudogleye bis Vega-Gleye aus Auenschluffen und -tonen meist über Auensedimenten, z. T. aus Auensedimenten über Auenschluffen und -tonen

Böden aus periglaziären und glaziären Sedimenten

- Braunerden vergesellschaftet mit Podsolen und Regosolen aus Kryosanden über Schmelzwassersanden; z. T. aus Flugsanden
- Braunerden und Podsol-Braunerden aus Kryosanden über Schmelzwassersanden
- podsolierte und lessivierte Braunerden aus Kryo- und Lösssand über Schmelzwassersanden
- Braunerden und Lessivés aus Kryosanden über Moränenlehmen oder aus Moränenlehmen
- Lessivés und Braunerden aus Kryosanden über Moränenlehmen und Schmelzwassersanden
- Braunerden aus Kryosanden über Schmelzwassersanden vergesellschaftet mit Gleyen aus Flusssanden u./o. Niedermooren
- Braunerden und Lessivés aus Kryosanden über Schmelzwassersanden und Moränenlehmen
- Lessivés vergesellschaftet mit Pararendzinen aus Moränenlehmen sowie mit Kolluvialsolen aus Kolluvialsand oder -lehm
- pseudovergleyte Lessivés vergesellschaftet mit Pseudogleyen aus Kryosanden bis -lehmen über Moränenlehmen
- Lessivés vergesellschaftet mit verbräunten u./o. lessivierten Tschernosemen aus Moränenlehmen und z.T. aus Beckenschluffen
- Pseudogleye und Lessivés aus Kryosanden bis -lehmen über Beckenschluffen bis -tonen oder über Moränenlehmen
- Lessivés vergesellschaftet mit Gleyen aus Kryosanden über Moränenlehmen und z. T. mit Gleyen aus Flusssanden u./o. mit Niedermooren
- Gleye vergesellschaftet mit Braunerden aus Kryosanden über Schmelzwassersanden oder z.T. über Moränenlehmen u./o. mit Niedermooren
- Gleye aus Beckensanden bis -tonen vergesellschaftet mit Niedermooren

Abbildung 43: Bodenübersichtskarte (LBGR Brandenburg, 2010)

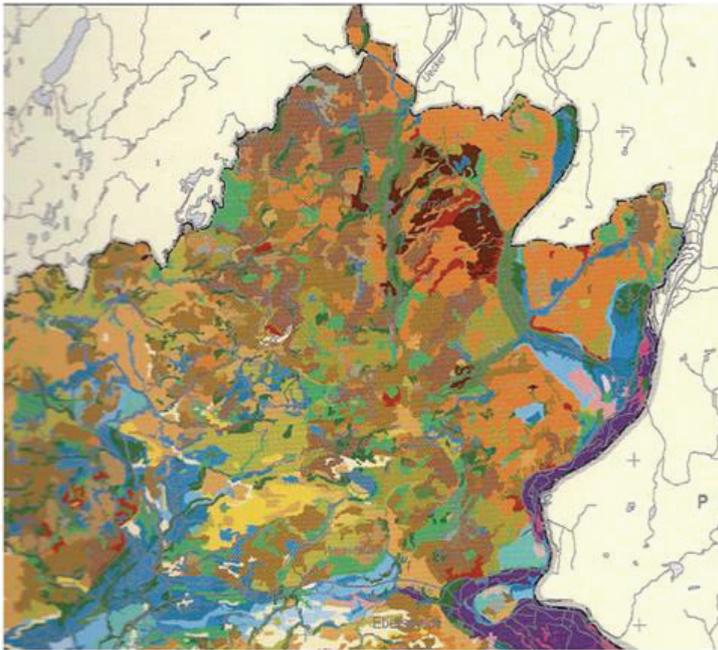


Abbildung 44: Bodenübersichtskarte von Landkries Uckermark (LBGR Brandenbrug, 2010)

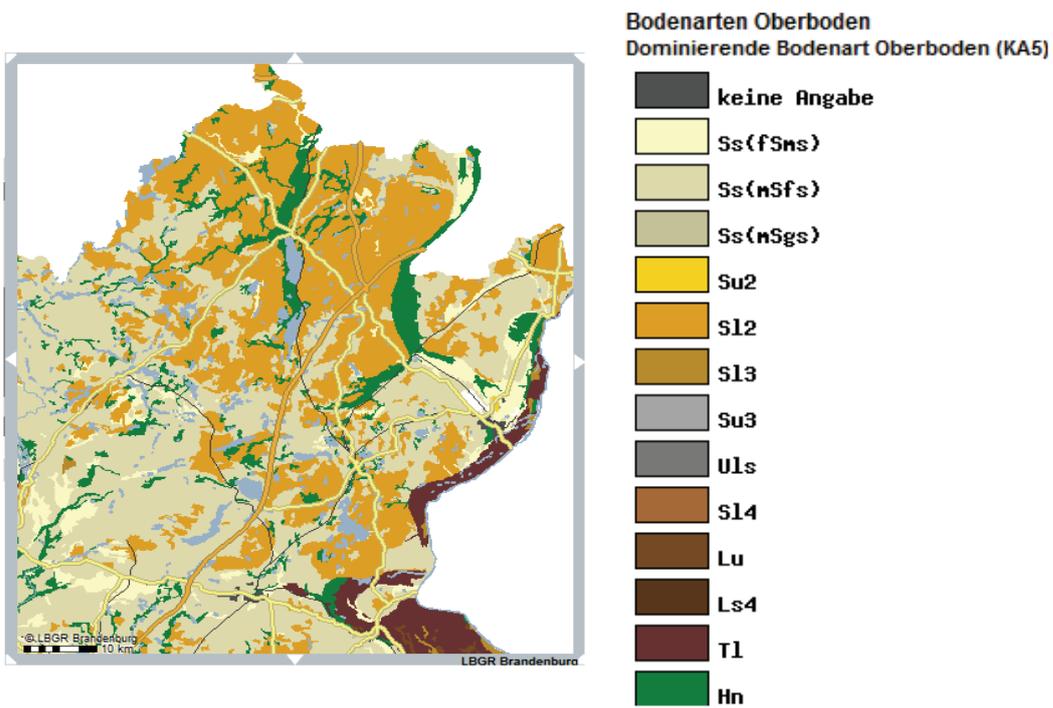


Abbildung 45: Bodenarten in der Uckermark (Landesamt für Bergbau G. u., 2001)

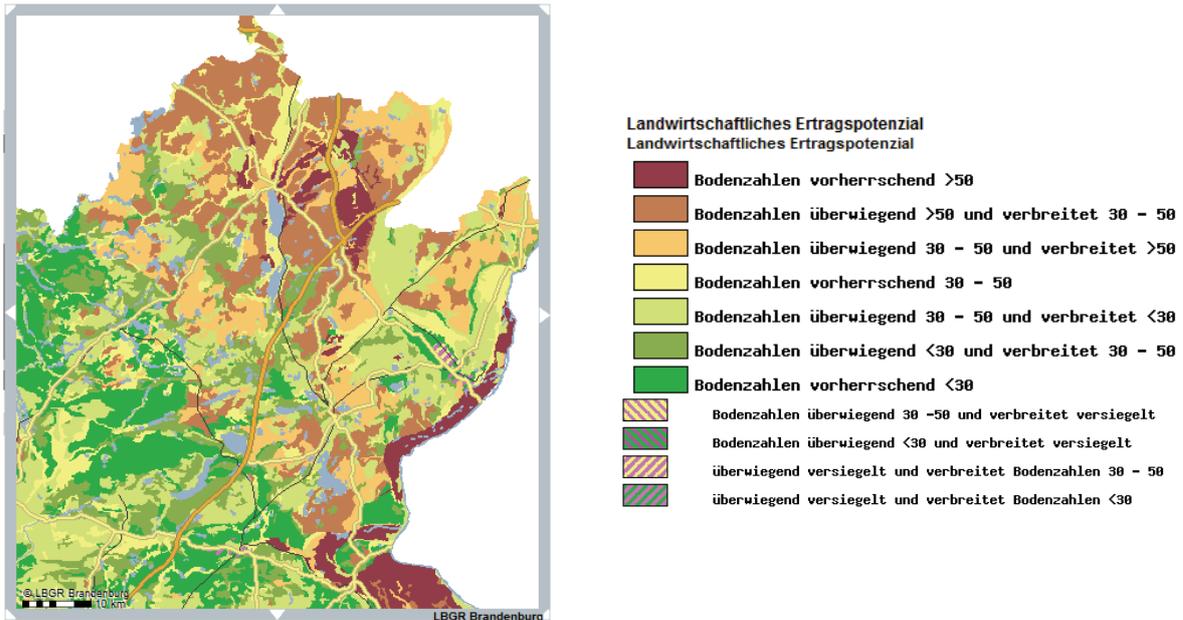


Abbildung 46: Landwirtschaftliche Ertragspotential der Uckermark (Landesamt für Bergbau G. u., 2001)

Die grünen Farbtöne der (Abbildung 46) zeigen die potenziellen ertragsarmen Sandgebiete. Dabei zählen die trockenen Sandgebiete zu den ertragsschwächsten Standorten. Anteilsmäßig sind sie in Brandenburg am häufigsten vertreten, bezogen auf die Uckermark fällt ihr Anteil aber geringer aus. Dabei zeichnen sich Flächen mit gelblichen Grüntönen meist durch einen Wechsel von reinen Sandflächen mit sandbedeckten Moränenflächen aus, wobei letztere untergeordnet auftreten. Häufig treten unter einer Sanddecke Lehmsande oder nur Reste von Moränenlehmen auf, die die Fruchtbarkeit gegenüber den tiefgründigen Sanden wesentlich erhöhen. Im südlichen Jungmoränengebiet wirkten Dauerfröste länger. Dadurch ist das oberste Sediment der jeweiligen Moräne meist als Sand ausgebildet. Diese Standorte zeichnen sich damit nur durch ein mittleres Ertragsniveau aus. Die Nutzung zeichnet dabei die wechselnden Standortverhältnisse mit schlechten und mittleren Ertragsfähigkeit nicht immer nach. Deshalb schwankt das Ertragspotential in Gebieten mit diesem Bodenwechseln relativ häufig. Die gelben Farbtöne zeigen Verbreitungsgebiete sandbedeckter Lehmsande und Sandlehme (Vergleich mit Abbildung 45) mit untergeordneten reinen Sandböden, welche durch ihre einheitlichen Standortbedingungen mittlere Ertragsfähigkeiten besitzen. Des Weiteren kommen in der Uckermark braune Farbtöne, schwarzerdeähnliche Böden und z.T. auch Tschernoseme auf schluffigen und lehmigen Böden mit hoher Fruchtbarkeit vor (LBGR Brandenburg, 2010, S. 94).

Die unterschiedlichen Uckermärkischen Bodenarten mit ihren jeweiligen Ertragspotenzialen lassen sich auch an Hand der nachfolgenden Abbildungen nachvollziehen. Die Abbildungen gehen dabei ein auf den Humusgehalt (Abbildung 47), den Kohlenstoffgehalt (Abbildung 48)

sowie das Sorptionsvermögen (Wasserhaltevermögen der jeweiligen Böden) (Abbildung 49) als auch Kennwerte über die nutzbare Feldkapazität (Abbildung 50).

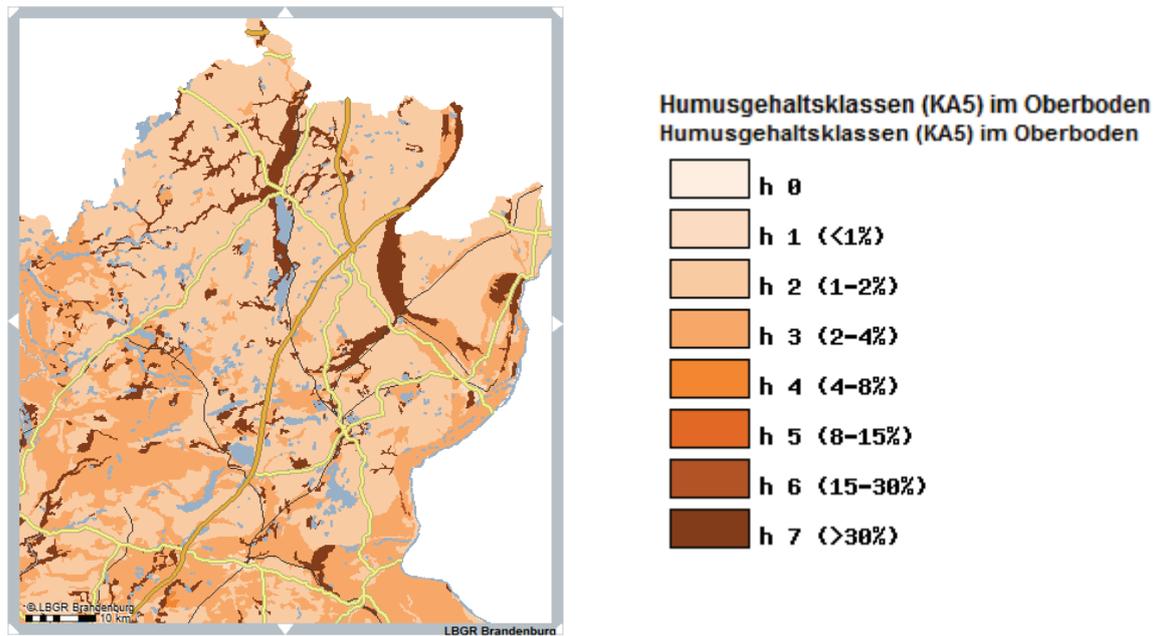


Abbildung 47: Humusgehaltsklassen des Oberbodens (Landesamt für Bergbau G. u., 2001)

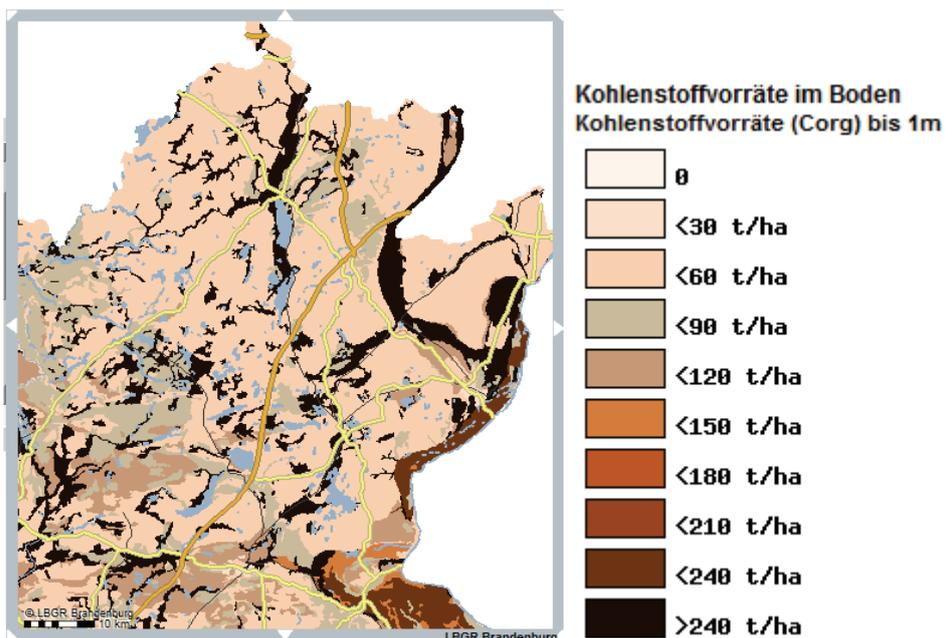
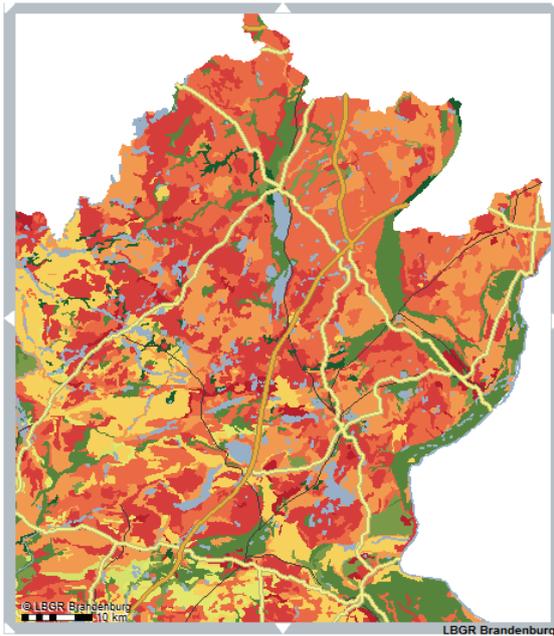


Abbildung 48: Kohlenstoffvorräte in Uckermärkischen Böden (Landesamt für Bergbau G. u., 2001)

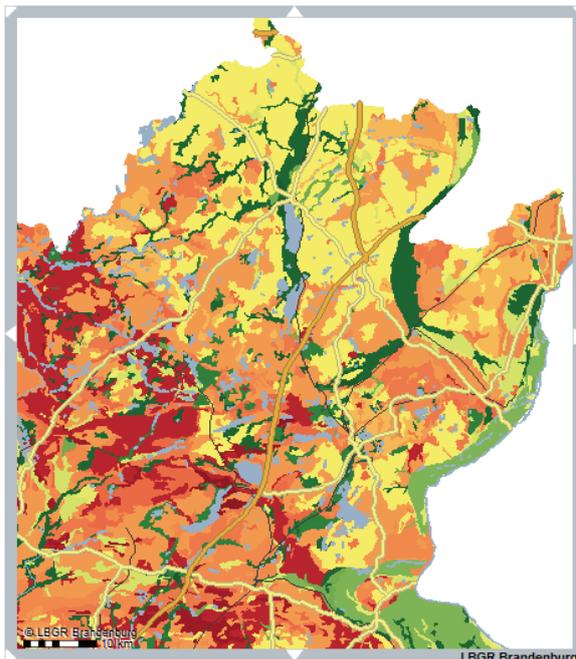


Sorptionsvermögen im effektiven Wurzelraum

Sorptionsvermögen im effektiven Wurzelraum (mit organischer Auflage)

- gering (<82mmol/z/100g) , z.T. keine Daten
- gering (<82mmol/z/100g)
- gering (<82mmol/z/100g), z.T. mittel (<164mmol/z/100g)
- gering (<82mmol/z/100g), z.T. hoch (>164mmol/z/100g)
- mittel (<164mmol/z/100g), z.T. keine Daten
- mittel (<164mmol/z/100g), z.T. gering (<82mmol/z/100g)
- mittel (<164mmol/z/100g)
- mittel (<164mmol/z/100g), z.T. hoch (>164mmol/z/100g)
- hoch (>164mmol/z/100g), z.T. keine Daten
- hoch (>164mmol/z/100g), z.T. gering (<82mmol/z/100g)
- hoch (>164mmol/z/100g), z.T. mittel (<164mmol/z/100g)
- hoch (>164mmol/z/100g)
- keine Daten

Abbildung 49: Sorptionsvermögen im effektiven Wurzelraum (Landesamt für Bergbau G. u., 2001)



Kennwerte Wasserbindung (FK, nFK, nFKWe) nutzbare Feldkapazität bis 1m

- sehr gering (<6 Vol.%) , z.T. keine Daten
- sehr gering (<6 Vol.%)
- sehr gering (<6 Vol.%) , z.T. gering (<14 Vol.%)
- sehr gering (<6 Vol.%) , z.T. mittel (<22 Vol.%)
- sehr gering (<6 Vol.%) , z.T. hoch (<30 Vol.%)
- sehr gering (<6 Vol.%) , z.T. sehr hoch (>30 Vol.%)
- gering (<14 Vol.%) , z.T. keine Daten
- gering, z.T. sehr gering (<6 Vol.%)
- gering (<14 Vol.%)
- gering (<14 Vol.%) , z.T. mittel (<22 Vol.%)
- gering (<14 Vol.%) , z.T. hoch (<30 Vol.%)
- gering (<14 Vol.%) , z.T. sehr hoch (>30 Vol.%)
- mittel (<22 Vol.%) , z.T. keine Daten
- mittel (<22 Vol.%) , z.T. sehr gering (<6 Vol.%)
- mittel (<22 Vol.%) , z.T. gering (<14 Vol.%)
- mittel (<22 Vol.%)
- mittel (<22 Vol.%) , z.T. hoch (<30 Vol.%)
- mittel (<22 Vol.%) , z.T. sehr hoch (>30 Vol.%)
- hoch (<30 Vol.%) , z.T. keine Daten
- hoch (<30 Vol.%) , z.T. sehr hoch (>30 Vol.%)
- sehr hoch (>30 Vol.%) , z.T. keine Daten
- sehr hoch (>30 Vol.%) , z.T. sehr gering (<6 Vol.%)
- sehr hoch (>30 Vol.%) , z.T. gering (<14 Vol.%)
- sehr hoch (>30 Vol.%) , z.T. mittel (<22 Vol.%)
- sehr hoch (>30 Vol.%) , z.T. hoch (<30 Vol.%)
- sehr hoch (>30 Vol.%)

Abbildung 50: Kennwerte zum Wasserhaltevermögen der Uckermärkischen Böden (Landesamt für Bergbau G. u., 2001)

Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass die geringe Ertragsfähigkeit nicht nur auf die klimatischen Bedingungen zurückzuführen ist. Wobei dabei die geringen unregelmäßig auftretenden Niederschläge nicht das größte Problem darstellen, sondern die aus der Entstehung hervorgegangenen Nachteile. Diese sind mit Ausnahme der Schwarzerde ähnlichen Böden durch den geringen Humusgehalt und als Folge daraus durch die geringen Kohlenstoffgehalte geprägt. Sie werden aber im Ökologischen Landbau als immens wichtig angesehen. Als Folge des zu geringen Humusgehaltes fallen sowohl die nutzbare Feldkapazität als auch die Sorptionsfähigkeit eher mäßig aus. Kommen dann noch die geringen Niederschläge hinzu, sind die geringen Ertragsfähigkeiten in der Uckermark verständlich.

5 Vorstellung des Bilanzierungssystems CCB

Im Bereich der Humusbilanzierung gibt es eine Vielzahl Bilanzierungsmethoden, die entweder sehr stark vereinfacht oder sehr komplex sind. Bei zu starker Vereinfachung kann es zu Über- oder Unterschätzung im Bereich der Humusentwicklung der Böden kommen. Bei den komplexen Modellen müssen oft zu viele Parameter erhoben werden, die in der Praxis nur schwer verfügbar sind. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Berechnungsgrundlagen der einzelnen Methoden einer Validierung in der Praxis nicht standhalten. Das bedeutet, dass zwischen berechneten Werten der Methoden eine zu große Streuung in der Wirklichkeit stattfindet. Als Schlussfolgerung sollten in Zukunft nur Methoden eingesetzt werden, die statistisch abgesichert eine hohe Korrelation mit der Wirklichkeit haben. Erreicht kann dies werden, durch die stärkere Überprüfung der berechneten Ergebnisse mit dem Vergleich der experimentell erhobenen Daten aus den Dauerversuchen. So lassen sich dann verlässliche Aussagen zu Entwicklung des Humusgehaltes auf verschiedenen Standorten treffen (KOLBE, 2012, S. 4-5).

5.1 Candy Carbon Balance – Modell (CCB)

Das CCB ist die Praxisversion des von Franko entwickelten CANDY-Modells, welches die Humusdynamik im Boden in Jahresschritten beschreibt. Diese werden abgebildet als C_{org} -gehalt in % und N_t in %. Durch die deutliche Vereinfachung im Bereich der Eingabeparameter ist das Modell leicht in Praxis anwendbar. Als Eingabeparameter sind notwendig (FRANKO, KOLBE, & THIEL, 2010, S. 1):

- **Klima**
 - Jahresmittelwert der Tagestemperatur

- Jahressumme Niederschlag

- **Bodendaten (Oberboden)**
 - Bodenart laut Reichsbodenschätzung
 - C_{org} Ausgangswert in %
 - Tongehalt in %
 - Skelettanteil %

- **Bewirtschaftungsdaten**
 - Fruchtart/-folge
 - Ertrag
 - Mineralischer N-Dünger in kg/ha
 - Art des Organischer Dünger in FM kg/ha

Ein wichtiger Parameter für die Standortbewertung ist die biologisch aktive Zeit (BAT) welche sich aus, Niederschlag, Jahresdurchschnittstemperatur und **Bodenart** errechnet. Diese kann sich erheblich von Standort zu Standort unterscheiden und ist entscheidend für die Berechnung der Humusdynamik.

Datengrundlage von CCB war die Validierung von 40 Dauerversuchen, davon 33 konventionell und 7 ökologisch, mit 391 Versuchsvarianten und insgesamt 4794 C_{org}-Messwerten. Die Funktionsweise ist schematisch (Abbildung 51) dargestellt. Die Klimabedingungen von den ausgewerteten Dauerversuche lagen im Mittel bei 8 - 10°C mittlerer Jahrestemperatur, 500 - 700 mm Jahresniederschlag sowie einem Tongehalt < 20% für Bodenschicht 0 - 30 cm. Statistisch überprüft wurde die Modellgüte mit den Fehlergrößen mittlerer quadratischer Fehler RMSE (Formel 1) und mittlerer Fehler ME (Formel 2).

Formel 1: Mittlerer quadratischer Fehler

Formel 2: Mittlerer Fehler

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n}$$

O= Messwerte

P= Modellwerte

n= Anzahl

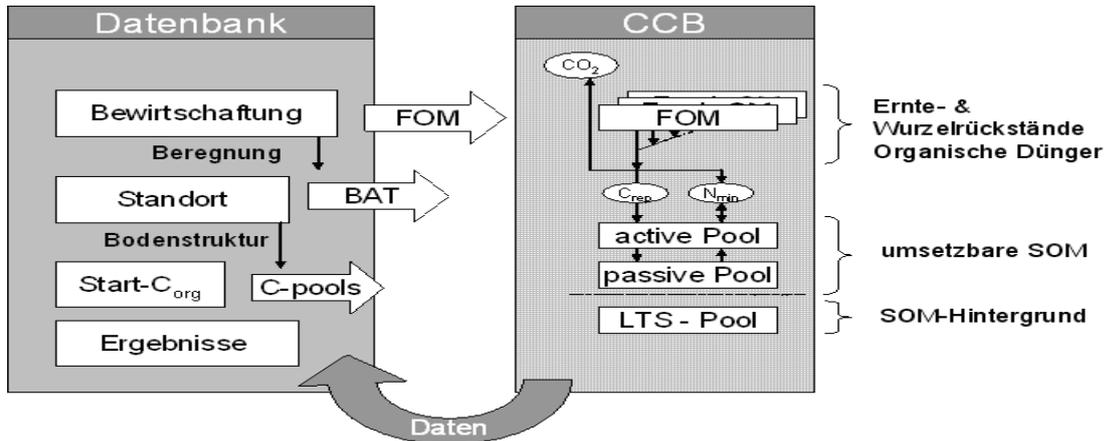


Abbildung 51: Prinzip und Funktionsweise des Modells CCB (FRANKO, KOLBE, & THIEL, 2010)

Bei dem Vergleich zwischen gemessenen C_{org} und modellierten Werten zeigte sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,948 und eine hohe Übereinstimmung (Abbildung 52). Die Fehlermaße RMSE und ME, welche idealerweise nahe an 0 liegen, weisen 0,119 bzw. 0,001 im Bezug auf den mittleren C_{org} auf ein gutes Modellverhalten hin (FRANKO, KOLBE, & THIEL, 2010, S. 3-4). Zurzeit arbeitet FRANKO et al. an einer weiteren Präzisierung des Modells, d.h. es werden weitere 25 Dauerversuche in das Modell mit eingearbeitet um noch eine höhere Datensicherheit zu bekommen. Leider sind diese Auswertungen noch nicht verfügbar und können in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.

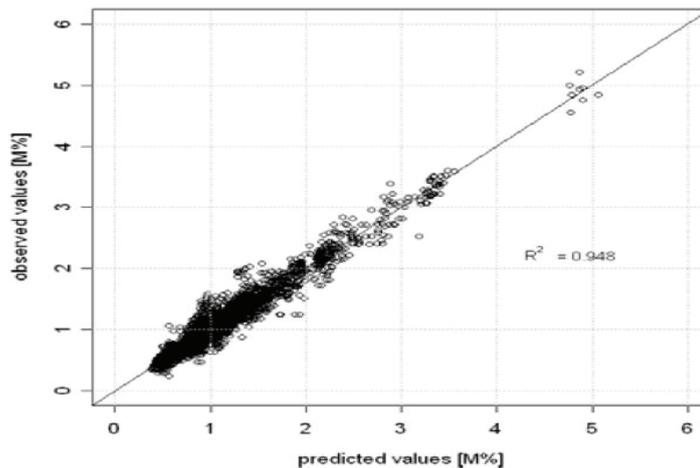


Abbildung 52: Vergleich von Mess- und Modellwerten der 40 simulierten Dauerversuche (FRANKO, KOLBE, & THIEL, 2010)

5.2 Vergleich des CCB mit anderen Modellen

Das Modell wurde ausgewählt, weil es zum einen kostenlos unter www.ufz.de/index.php?de=13999 heruntergeladen werden kann und wie in Punkt **Fehler! erweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben eine hohe Korrelation mit der Wirklichkeit besitzt. Diese Korrelation wurde von (KOLBE, 2012) bei den Vergleich von den in Deutschland eingesetzten Bilanzierungsverfahren annähernd bestätigt. Dazu verglich er Praxis- und Dauertestflächen und Dauerversuche. Bei der Datenqualität erreichten 92% der Dauerversuche eine Versuchslänge über 10 Jahre. Das CCB Modell erreichte bei den Korrelation nach REGRESS Modell den zweiten Platz. Das angesprochene REGRESS Modell verlangt aber eine viel größere Anzahl von Eingabeparametern und ist nicht frei verfügbar. Die anderen Methoden fielen in der Korrelation deutlich ab und hatten zum Teil negative Korrelationen.

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten (r) zwischen Ergebnissen von Humusbilanzmethoden und experimentellen Merkmalen des Bodens von Dauertestflächen und Dauerversuchen des Ackerlandes (KOLBE, 2012)

Methode Name	Literaturquelle	Merkmal ²⁾	BROCK et al. (2008) ⁴⁾	BROCK et al. (2008) ⁴⁾	BROCK (2008) ⁴⁾	KOLBE & PRUTZER (2004), FRANKO et al. (In Vorb.) ¹⁾
HUMOD	BROCK et al. (2008, 2012)	MW	-	0,210	0,400	-
		C _{org}		-0,01	0,02	
		N _t		0,16	0,51	
		C _{hot}		0,24	0,61	
		C _{mik}		0,46	0,64	
		EA		0,20	0,22	
REPRO-dyn	HÖLSBERGEN (2003)	MW	0,388	0,394	-	-
		C _{org}	0,24	0,14		
		N _t	0,29	0,44		
		C _{hot}	0,38	0,39		
		C _{mik}	0,64	0,61		
		EA	0,39	0,39		
REPRO-stat	LEIHHOLD et al. (1997)	MW	0,416	0,428	0,460	0,460***
		C _{org}	0,25	0,12	-0,03	0,542***
		N _t	0,29	0,43	0,54	0,378***
		C _{hot}	0,38	0,46	0,68	
		C _{mik}	0,70	0,66	0,76	
		EA	0,46	0,47	0,35	
LUFA obere Werte	KÖRSCHENS et al. (2004)	MW	0,458	0,438	0,454	0,533***
		C _{org}	0,33	0,17	-0,01	0,577***
		N _t	0,35	0,43	0,57	0,488***
		C _{hot}	0,40	0,45	0,72	
		C _{mik}	0,71	0,66	0,75	
		EA	0,50	0,48	0,24	
LUFA untere W., OC	KÖRSCHENS et al. (2004)	MW	0,488	0,442	0,462	0,554***
		C _{org}	0,36	0,18	0,02	0,594***
		N _t	0,39	0,44	0,57	0,513***
		C _{hot}	0,43	0,46	0,72	
		C _{mik}	0,73	0,67	0,74	
		EA	0,53	0,46	0,26	
CCB ³⁾	FRANKO et al. (In Vorbereitung)	MW	-	-	-	0,552***
		C _{org}				0,737***
		N _t				0,366***
		N _t ²⁾				0,395***
STAND	KOLBE (2007b, 2010a)	MW	-	-	-	0,642***
		C _{org}				0,744***
		N _t				0,539***
REGRESS	KOLBE (2009b)	MW ²⁾				0,836***
		C _{org} ²⁾				0,55 – 0,94***
		N _t ²⁾				0,71 – 0,85***
Datenquelle			Praxis- u. DT- Flächen	Praxis- u. DT- Flächen	10 Dauer- versuche	39 bzw. 65 ¹⁾ Dauerversuche
Datenqualität (u. a. Versuchsanteil über 10 Jahre in %)			Eignung fraglich (hohe Streuung, kurze Laufzeit)	Eignung fraglich (hohe Streuung, kurze Laufzeit)	20	97; 92 ¹⁾

¹⁾ FRANKO et al. (In Vorbereitung): Korrelationen ermittelt anhand von 65 Dauerversuchen mit einem Laufzeitanteil von über 10 Jahren von 92 %

²⁾ Korrelationen zwischen experimentell ermittelten und berechneten N_t- und C_{org}-Gehalten bzw. N_t- und C_{org}-Differenzen

³⁾ MW = Mittelwert; C_{org} = organ. gebundener Kohlenstoff (C); N_t = Gesamt-N; C_{hot} = C heißwasserlöslich; C_{mik} = mikrobielle Biomasse;

EA = Enzymaktivität (β-Glucosidase, Katalase)

⁴⁾ ohne Ausweisung des Signifikanzniveaus

6 Ergebnis der Simulation der Entwicklung des Humusgehaltes

6.1 Wetterentwicklung der letzten 20 Jahre am Standort Neuruppin

Neuruppin ist die Kreisstadt des Landkreises Ostprignitz-Ruppin und liegt etwa 60 km nordwestlich von Berlin. Die Stadtfläche beträgt zusammen mit den eingemeindeten Dörfern etwa 300 km² und liegt damit deutschlandweit auf Platz 16 der flächengrößten Städte. Die Wetterstation wurde wegen der durchgängig von 1961 an aufgezeichneten Wetterdaten ausgewählt, zumal diese auch kostenlos unter dwd.de heruntergeladen werden können. Sie liegt außerdem in der näheren Umgebung der Uckermark. Die Durchschnittstemperatur (Abbildung 53) lag von 1991 bis 2011 bei 9,42 °C, dabei waren 1996 mit 7,48°C das kälteste und 2000 mit 10,39°C das wärmste Jahr. Der Trend geht nach oben um durchschnittlich 1,17 % je Jahr.

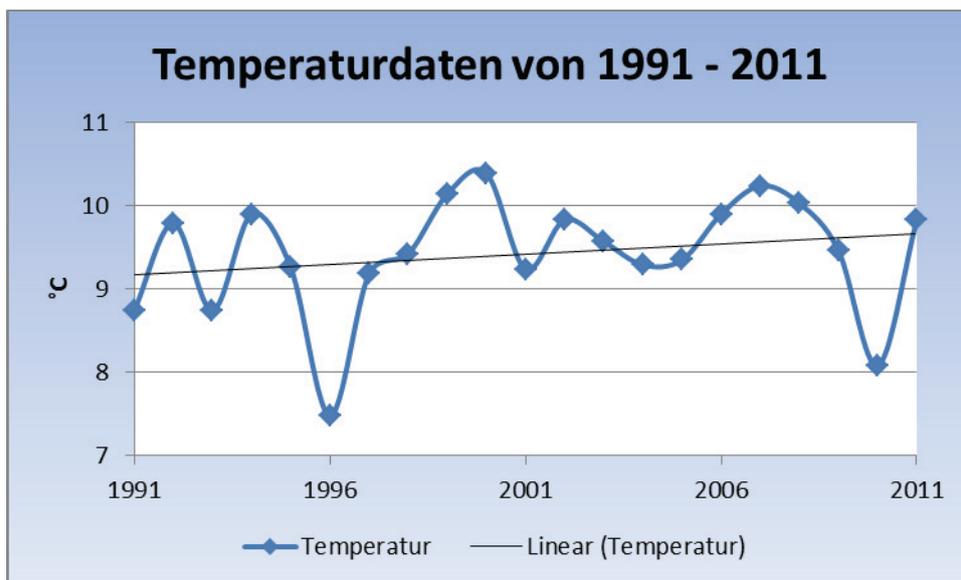


Abbildung 53: Durchschnittstemperatur Wetterstation Neuruppin 1991-2011

Deutlich ist auch der Trend bei den Niederschlägen. Es regnete hier in den letzten 20 Jahren durchschnittlich 555 mm, wobei die Spanne von 361 mm in den Trockenjahren 1996 und 2003 bis 760 mm im Jahr 2007 reicht. Die durchschnittliche Steigerung liegt hier bei 6,3% jährlich.

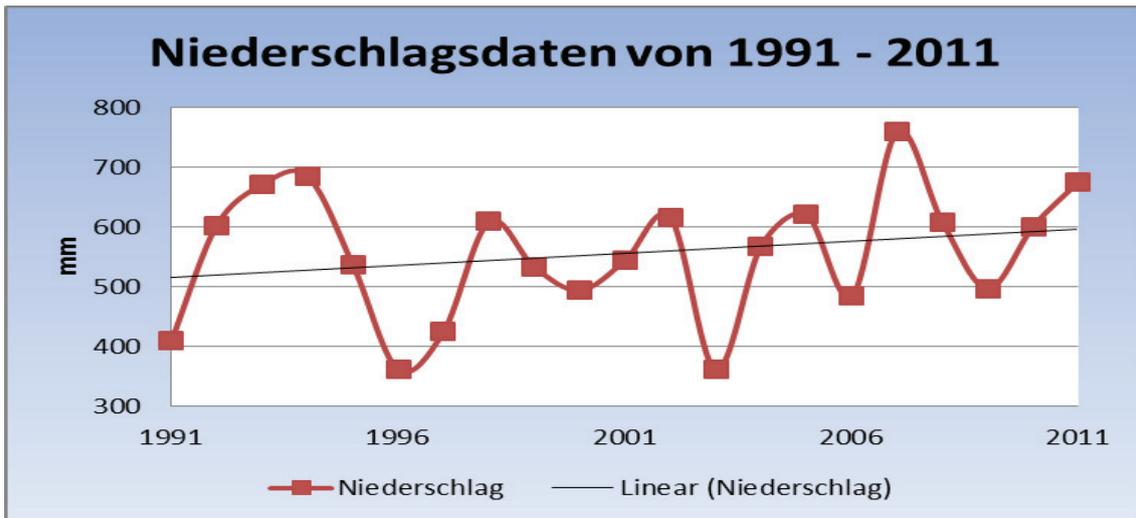


Abbildung 54: Niederschlagssumme Wetterstation Neuruppin 1991 bis 2011

Bei der durchschnittlichen Verteilung der Niederschläge fallen im langjährigen Durchschnitt in der Hauptvegetationszeit von März - Juni etwa 177 mm, von Juli - Oktober 212 mm und im Winter von November - Februar 212 mm Niederschlag. Die Verteilung entspricht etwa zu je einem Drittel der Gesamtniederschlagsmenge.

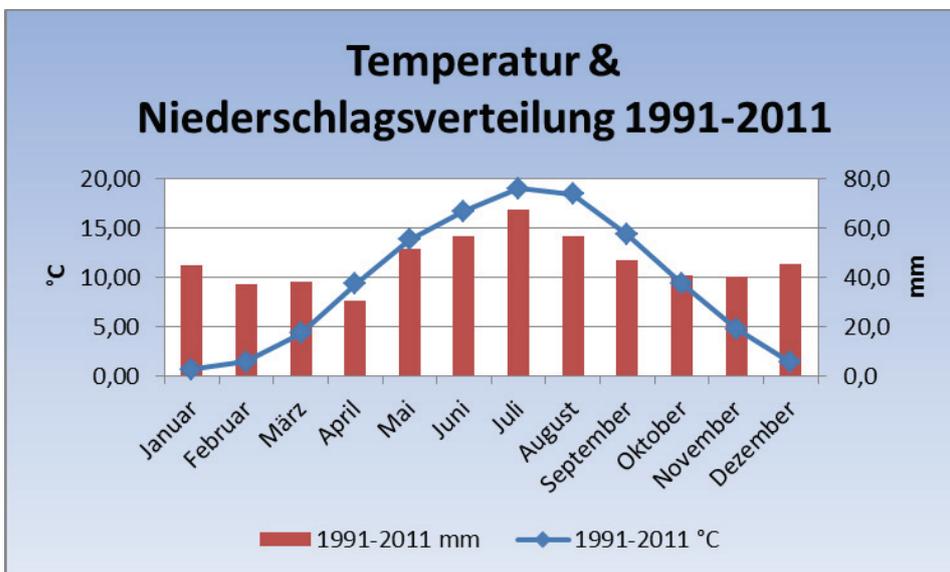


Abbildung 55: Niederschlagsverteilung 1991-2011

6.1 Ergebnisse der Simulation

Nach Eingabe sämtlicher Parameter, die in Kapitel 5 beschrieben werden, wurden insgesamt neun Simulationen für jede Fruchtfolge (Variante I-III) auf jeweils drei verschiedenen Böden durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationen wurden dann in Excel zur besseren grafi-

schen Darstellung und weiterführenden Berechnung importiert. In der Auswertung wird jeweils jede Variante einzeln auf den drei verschiedenen Böden dargestellt. Bei der Ertragshöhe der Ernteprodukte wurde auf die KTBL-Datenbank(Tabelle 6) zurückgegriffen und deren Unterteilung in leichte, mittlere und schwere Böden. Da bei der Simulation der Einfluss des Bodens, die unterschiedliche Fruchtfolgen und die Klimaentwicklung im Vordergrund stehen, wurden gleichbleibende Erträge unterstellt. Die Ausgangswerte für den C_{org} waren für den leichten Boden 0,83 %, für den mittleren Boden 1,65 % und den schweren Boden 1,46%. Alle Nebenernteprodukte wie Stroh, Zwischenfruchtaufwuchs und Gründüngungsaufwuchs verbleiben auf dem Feld. Sämtliche Berechnungen sind im Anhang unter den jeweiligen Gliederungspunkt aufgeführt.

Tabelle 6: Erträge nach KTBL

Ertrag pro ha nach KTBL				
(t/ha)		leichter Boden	mittlerer Boden	schwerer Boden
Variante I	Klee	23	29	29
	WW	2,96	3,94	6,9
	Hafer	2,47	2,96	2,96
	WR	2,96	3,94	5,42
Variante II	WW	2,96	3,94	6,9
	Ackerbohne/	1,97/	2,47/	2,47/
	Hafer	0,99	1,28	1,28
	WR	2,96	3,94	5,42
	Erbse/ SG	0,69/ 1,28	0,99/ 1,97	0,99/ 1,97
	Dinkel	1,97	2,96	2,96
Variante III	WW	2,96	3,94	6,9
	Hafer	2,47	2,96	2,96
	Dinkel	1,97	2,96	2,96
	SG	2,47	3,94	3,94
	WR	2,96	3,94	5,42

6.1.1 Variante I (Klee-Klee-WW+ZF-Hafer+Roggen)

Variante I ist die Fruchtfolgekombination mit dem zweimaligen Kleegrasanbau am Anfang jeder Rotation zur Bindung des nötigen N über eine N_2 Fixierung. Der Aufwuchs des Kleegrases verbleibt auf dem Feld und wird gemulcht. Danach erfolgt der dreimalige Anbau von Getreide, wobei nach Winterweizen nochmal ein leguminöser Zwischenfruchtanbau erfolgt um die Nährstoffe über Winter zu konservieren. Dadurch kommt es beim folgenden Hafer zu einer sehr hohen C-Akkumulation. Das kann nur mit dem kompletten Verbleib des

Aufwuchses der Zwischenfrucht auf dem Feld erklärt werden. Die Erträge wurden der KTBL Datenbank entnommen. Es erfolgt in dieser Variante außer mit Nebenprodukten keinerlei weitere organische Düngung. In der (Abbildung 56), (Abbildung 57) und (Abbildung 58) sind die C_{org} Entwicklung in Prozent und die einzelnen C-Salden in kg C/ha für die drei verschiedenen Böden dargestellt worden.

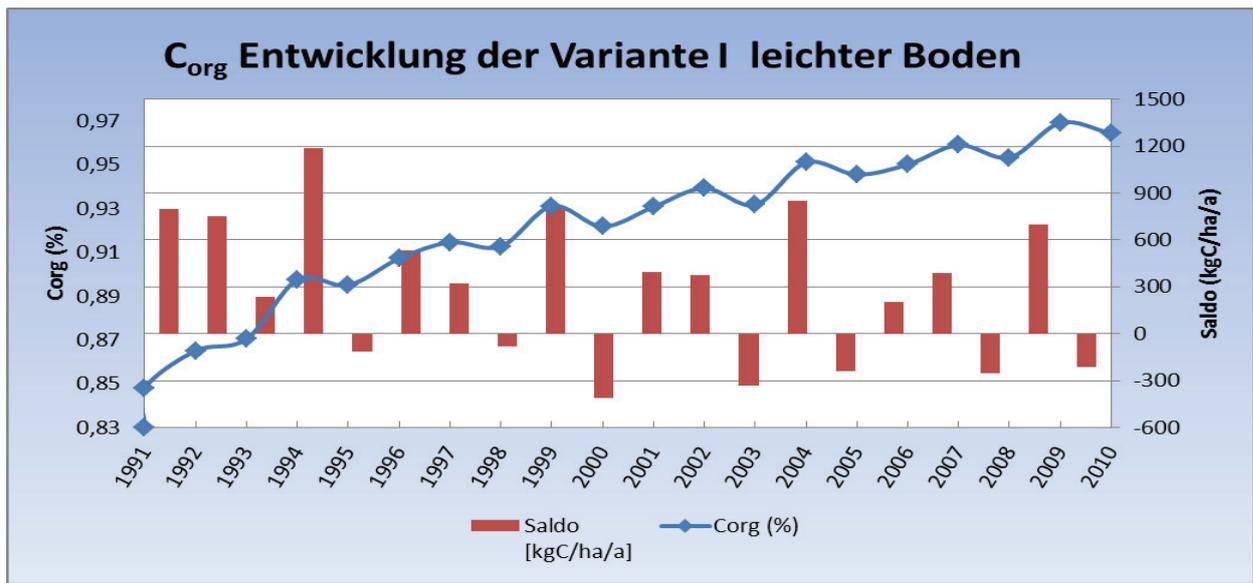


Abbildung 56: C_{org} Entwicklung Variante I leichter Boden 1991-2010

Ausgangswert für die C_{org} Entwicklung auf dem leichten Boden (Pararendzina) ist der C_{org} Gehalt von 0,83 %. Dieser steigt absolut um 0,13 % auf 0,96 % C_{org} im Simulationszeitraum an. In Summe werden je ha insgesamt 5,2 t C langfristig im Boden gebunden. Auffällig ist die starke Akkumulation von C in der ersten Rotation. Hier steigt der C_{org} um 7,27 %, in den folgenden Rotationen nur noch um 1,5 % bis 1,6 %. Dieses Phänomen, positiv wie negativ, ist in allen gemachten Simulationen erkennbar. Ursache könnte sein, dass sich durch die gleichbleibende Bewirtschaftung mit der Zeit das sogenannte Fließgleichgewicht einstellt und die Zuwächse langsamer werden. Bei Betrachtung der einzelnen Salden in den Jahren ist der Klee-grasanbau immer mit positiven C Salden ausgewiesen aber mit abnehmender Tendenz. Der nachfolgende Winterweizen hinterlässt nur in der ersten Rotation einen kleinen positiven Saldo. Dafür profitiert der nachfolgende Hafer stark von der angebauten Winterzwischenfrucht, was zu einem stark positiven Saldo für C führt. Beim Roggen, dem letzten Fruchtfolgeglied, ist erkennbar, dass der Bodenvorrat des N erschöpft ist und so keine C-Akkumulation mehr stattfindet.

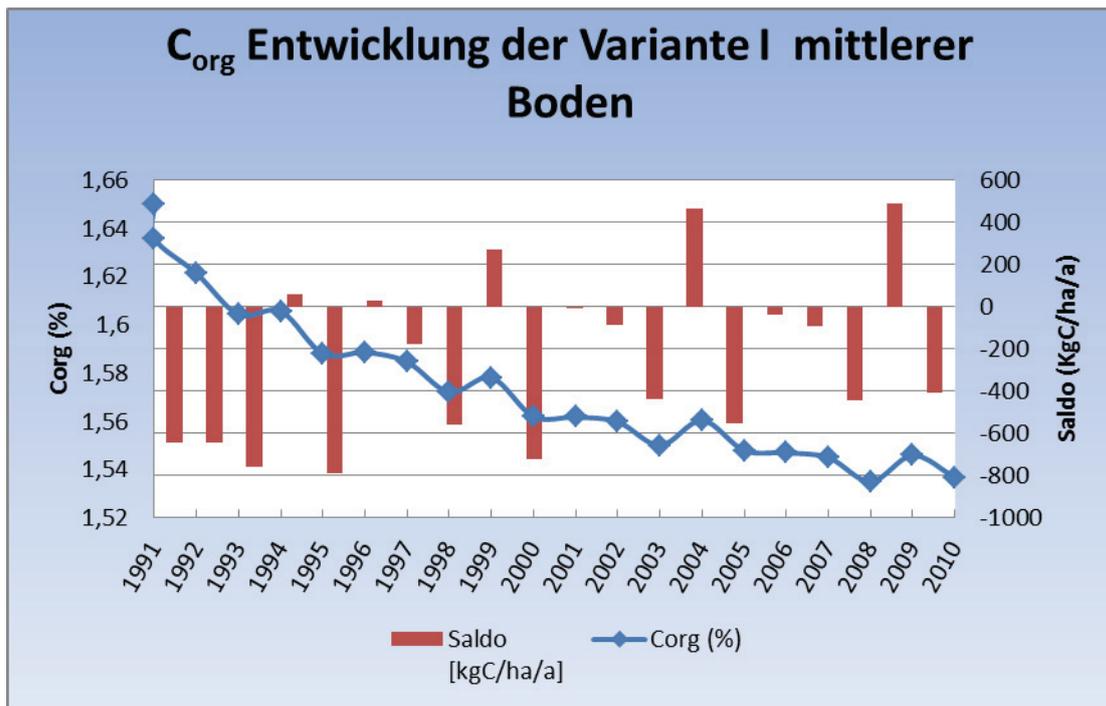


Abbildung 57: C_{org} Entwicklung Variante I mittlerem Boden 1991-2010

Bei der Simulation der Fruchtfolgevariante I auf dem mittleren Boden ergibt sich das völlig gegenteilige Bild. Vom C_{org} Ausgangsgehalt von 1,65 % erfolgt über 20 Jahre ein Abbau der organischen Substanz auf 1,54 %. Wie ist das möglich? Die Hauptursache ist in der Bodenzusammensetzung zu suchen. Hier weist der Pseudogley einen Sandanteil von 75 % im Vergleich zu Kolluvisol (53 % Sandanteil) und Pararendzina (55 % Sandanteil) auf ((MLUV Referat Boden und Umweltgeologie, 7.1 Pseudogley, 2011). Durch die Eingabe der Bodenparameter im Simulationsprogramm ergeben sich stark unterschiedliche Werte für die biologisch aktiven Tage (BAT) (Kapitel 5). Beim Pseudogley ergibt sich so mit 43,5 BAT eine sehr viel längere Zeit, in der das Bodenleben aktiv ist. Paraendzina mit 29,8 BAT und Kolluvisol mit 29,5 BAT sind hier sehr viel kürzer biologisch aktiv. Als einziges Fruchtfolgeglied weist der Hafer einen positiven Saldo auf. Er profitiert wieder von der angebaute Zwischenfrucht. Alle anderen Fruchtfolgeglieder „verbrennen“ C_{org} in Größnordnungen von bis zu – 762 kg C/ha je Jahr. Vom absoluten Gehalt 73 t C je ha gehen in 20 Jahren rund 3 t C verloren.

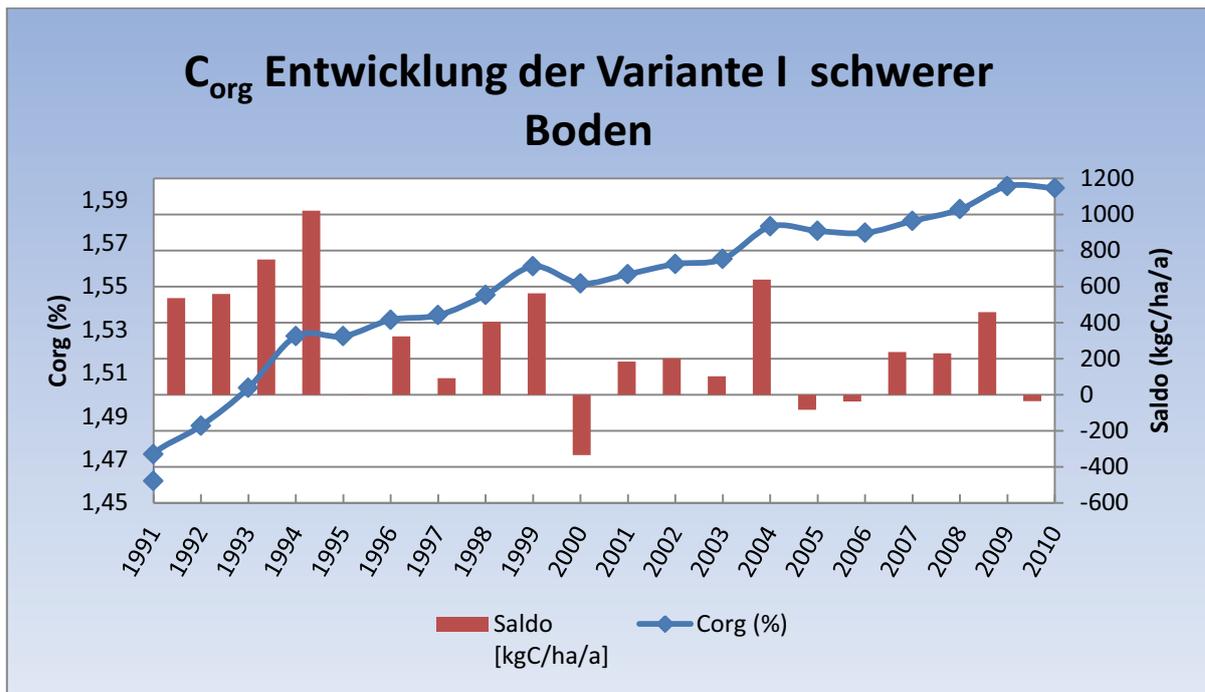


Abbildung 58: C_{org} Entwicklung Variante I schwerem Boden 1991-2010

Der schwere Boden (Kollivisol) hat von den drei Böden den höchsten C_{org} Ausgangsgehalt von 1,45 %. Er erhöht sich in 20 Jahren auf 1,59 %. Von den Fruchtfolgegliedern ist der Roggen die Frucht, die den negativsten Saldo aufweist. Dies geht soweit, dass in der vierten Rotation auch noch der nachfolgende Klee im ersten Jahr einen negativen Saldo aufweist und sich erst das zweite Jahr ins Positive umkehrt. Absolut werden etwa in 20 Jahren 6,3 t C je ha im Boden gebunden. Das ist etwa 1 t mehr als im leichten Boden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollen die folgenden Abbildungen helfen. Die (Abbildung 59) zeigt die N-Salden der Variante I auf allen drei Böden. Als erstes fällt auf, dass der mittlere Boden in sämtlichen Jahren die höchsten N-Salden aufweist. Selbst in Jahren, in denen die anderen Böden weit negative Salden aufweisen, ist dieser immer noch im leicht Positiven. Diese positiven Salden kommen hauptsächlich aus den hohen Mineralisationsraten, welche wohl auch ihre Ursache in den spezifischen BAT haben.

Eine weitere Konstante ist, dass der schwere Boden bei den Fruchtfolgegliedern Winterweizen und Winterroggen immer einen negativen N-Saldo aufweist. Bei Winterweizen ist dies erstaunlich, weil man ja eigentlich davon ausgehen könnte, dass die Vorfrucht Klee gras genügend N zur Verfügung stellen würde. Eine Möglichkeit könnte sein, dass N erst verzögert zu den Fruchtfolgegliedern Hafer einsetzt. Eine andere, dass durch die hohen C-Salden in diesen Jahren auch besonders viel N zum Einbau in den Humusananteil benötigt wird. Beim letzten Fruchtfolgeglied Roggen scheint der N-Pool dann erschöpft zu sein.

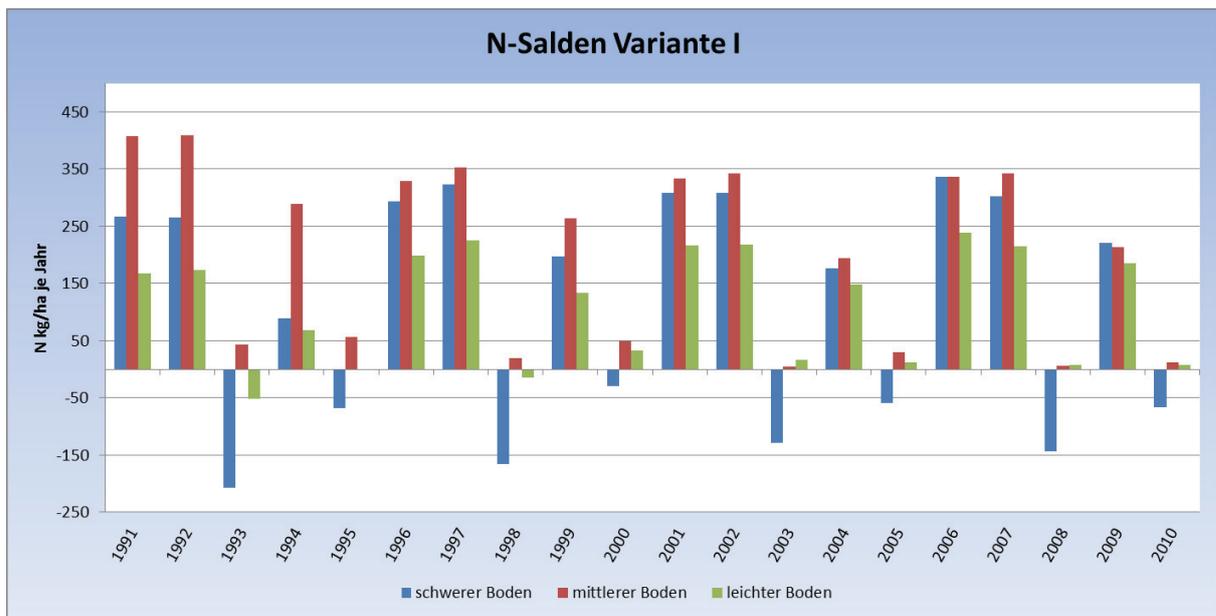


Abbildung 59: N Salden Variante I verschiedene Böden 1991-2010

Neben der reinen N-Salden Darstellung ist die Darstellung des C:N Verhältnisses (Abbildung 60) noch um einiges interessanter. Sie lässt direkte Aussagen darüber zu, wann C am idealsten eingebaut wird. Ein Makel dieser grafischen Darstellung ist leider ein Ausreiser im Jahr 1993 beim schweren Boden. Hier kommt es im Simulationsergebnis zu einer Ausweitung des C:N Verhältnisses auf 844:1. Die Ursache ist wohl in den Wetterdaten zu finden. In diesem Jahr lag die Jahresdurchschnittstemperatur bei 8,76° C, das ist um 1°C niedriger als sonst üblich. Das Jahr 1993 ist nach 1996 mit 7,47° C das zweitkälteste Jahr im Simulationszeitraum, steht aber gleichzeitig mit dem Niederschlag mit 671 mm nach 2007 mit 760 mm und 1994 mit 685 mm an dritthöchster Stelle.

Dadurch kam es bei diesem Boden zu einem negativen N-Saldo. Diese Tendenz ist auch bei den anderen Böden erkennbar, aber längst nicht so stark. Hier ist der mittlere Boden (Pseudogley) am wenigsten betroffen. Die Ursache könnte hier sein, dass dieser Bodentyp durch seine Neigung zu Staunässe nicht im gleichen Maße von N-Auswaschungen wie Pararendzina und Kolluvisol betroffen ist.

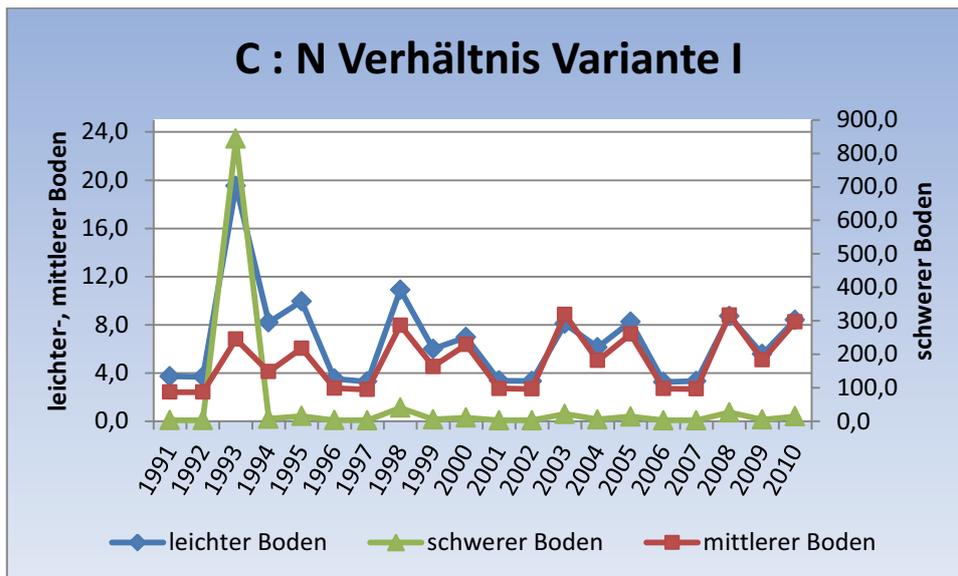


Abbildung 60: C:N Verhältnis Variante I 1991-2010

Beim Fruchtfolgeglied Klee gras liegt das C:N Verhältnis von 2,4:1 beim mittleren Boden bis 3,7:1 beim leichten Boden. Dieses weitet sich dann in der Folgefrucht Winterweizen aus. Ausnahmen sind die beschriebenen Ausreiser im Jahr 1993 auf bis zu 40:1 beim schweren Boden, etwa 11:1 beim leichten Boden sowie 9:1 beim mittleren Boden. Der Anbau von ZW + Hafer, der auf allen drei Böden zu den höchsten C-Akkumulationen führt, weist auch auf allen drei Böden ein enges Verhältnis von 4-8:1 auf.

Die letzte Rotationsfrucht Roggen kann trotz ihres ähnlichen C:N Verhältnisses von 7-10:1 beim leichten Boden, 6-8:1 beim mittleren Boden und 11-16:1 beim schweren Boden keinen positiven Beitrag zu C-Akkumulation leisten. Hier liegt der Grund in der absoluten Verfügbarkeit von kg C je ha und Jahr. Diese liegt rund 1000 kg niedriger als bei der Vorfrucht ZW + Hafer.

6.1.2 Variante II (WW+KM-Ackerbohne/Hafer-WR+KM-Erbse/SG-Dinkel)

In Variante II stehen deutlich der Einsatz von Körnerleguminose im Gemengeanbau mit Getreide sowie der Einsatz des organischen Düngers Knochenmehl (KM) als N Quelle für den Winterweizen und Winterroggen im Vordergrund. Für das KM war leider kein C-Gehalt verfügbar. So dient der Dünger als reine N-Quelle. Eine weitere Besonderheit bei Variante II ist der Gemengeanbau Getreide + Leguminose. Das KTBL liefert dazu Ertragsdaten unterteilt nach Fruchtarten. Das CCB leider nicht. So wurden die Kulturen einzeln eingegeben und für die Excel Berechnungen wieder zusammengeführt. Ob dadurch Nachteile in der C-Akkumulation entstehen, kann leider nicht beurteilt werden.

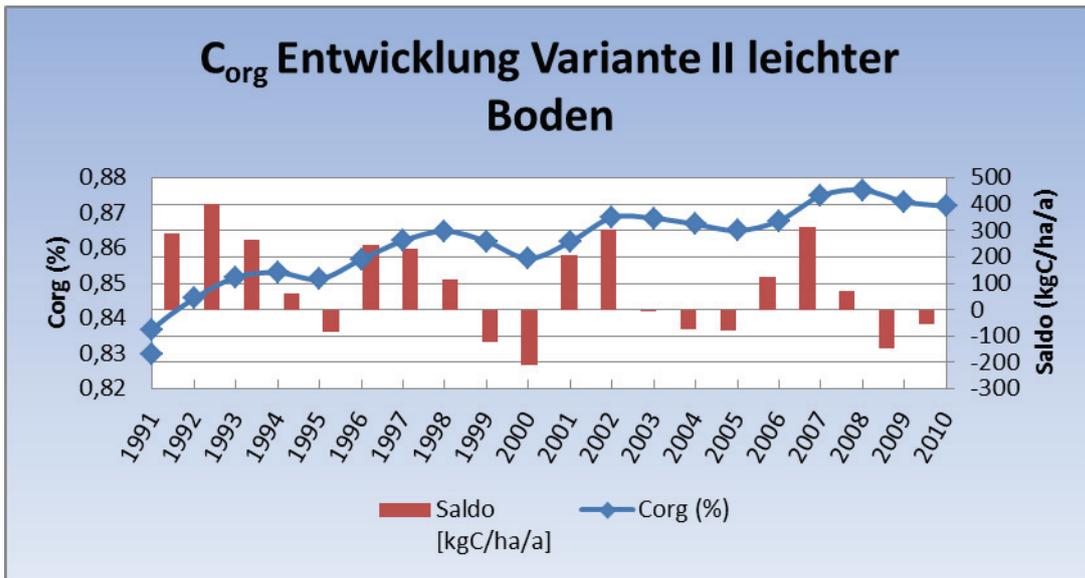


Abbildung 61: C_{org} Entwicklung Variante II leichter Boden 1991-2010

Diese Variante (Abbildung 61) verhält sich in der Simulation auf dem leichten Boden ähnlich wie Variante I. Deutlich ist der Unterschied aber in der absoluten Höhe der C-Akkumulation. Im Simulationszeitraum werden gerade einmal 1,6 t C je ha in 20 Jahren gespeichert. Der C_{org} Gehalt steigt 0,83 % auf 0,87 %. Die ersten drei Fruchtfolgeglieder haben einen positiven C-Saldo in der Bilanz. Er schwächt sich aber von Rotation zu Rotation ab. Das Ackerbohnen/Hafer Gemenge ist außer 1997 der Spitzenreiter mit den höchsten C-Salden. Am negativsten ist wieder das letzte Fruchtfolgeglied, hier der Dinkel gefolgt vom Erbsen/Sommergersten Gemengeanbau, welches ab der zweiten Rotation negative C-Salden aufweist.

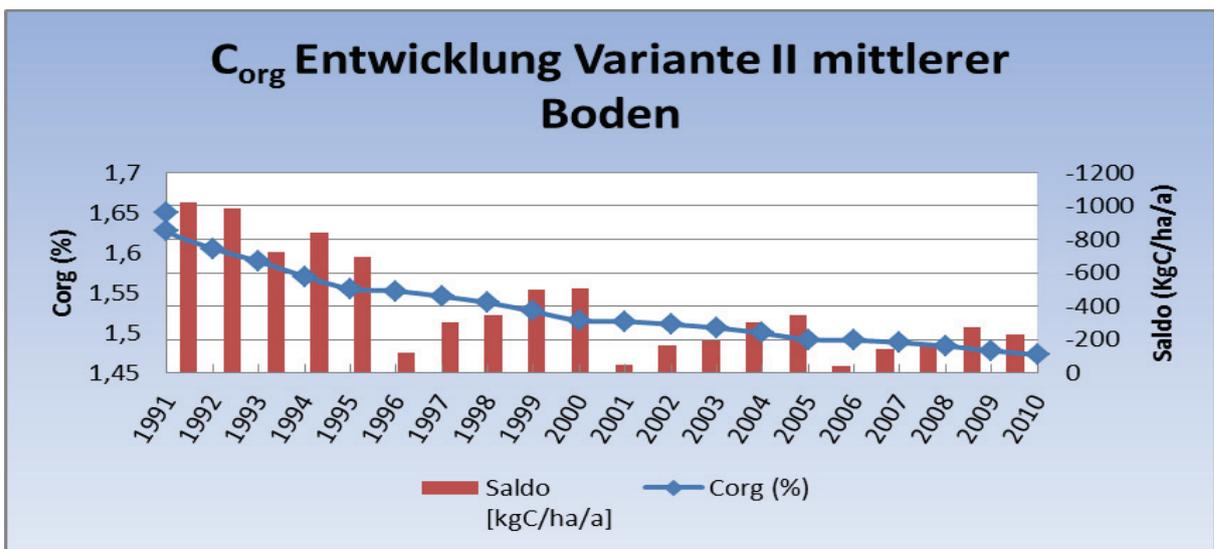


Abbildung 62: C_{org} Entwicklung Variante II mittlerer Boden 1991-2010

Noch deutlicher zeigt sich, dass diese Variante (Abbildung 62) weniger zur Speicherung von C im Boden auf dem mittleren Boden geeignet ist. Hier ist durchgängig ein negativer C-Saldo über alle Kulturen erkennbar. Dieser schwächt sich zwar auch ab, aber über die gesamte Simulation wird C „verbrannt“ - dies kann auch nur mit der hohen Anzahl von BAT erklärt werden. Der C_{org} Gehalt sinkt von 1,65 % auf 1,47 % oder umgerechnet -6,9 t C je ha werden in 20 Jahren verbraucht.

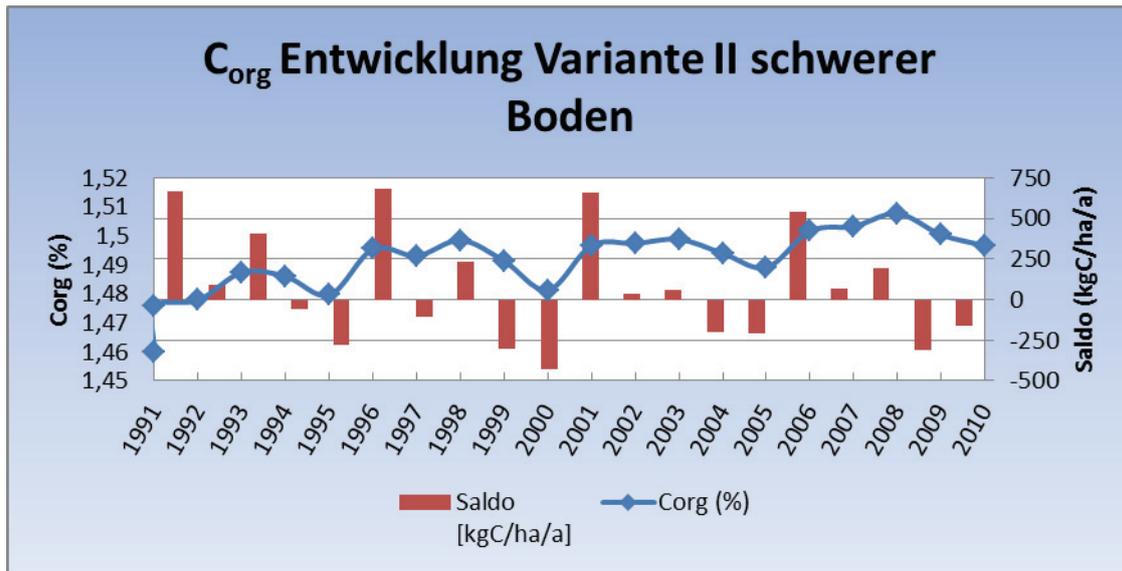


Abbildung 63: C_{org} Entwicklung Variante II schwerer Boden 1991-2010

Bei der Simulation auf dem schweren Boden (Abbildung 63) zeigt sich ein leicht steigender Trend. Es wird minimal C im Boden gebunden, etwa 0,9 t oder etwa 0,04 % in 20 Jahren. Doch weisen die verschiedenen Fruchtfolgeglieder ein differenziertes Bild auf. Der Winterweizen + Knochenmehldüngung fällt mit einem positiven C-Saldo 540 - 670 kg C/ha in den 4 Rotationen auf. Der Dinkel als Gegenspieler mit -162 kg bis -425 kg C/ha. Die anderen Kulturen, wie z.B. der Ackerbohne/Hafer Gemengeanbau, bauen in der ersten, dritten und vierten Rotation C auf und der zweiten Rotation C ab.

Ein Vergleich der N-Salden (Abbildung 64) der verschiedenen Böden zeigt die Zusammenhänge, wenn auch nicht so deutlich. Während in Variante I noch die N-Salden der mittleren Böden immer zumindest leicht positiv waren, trifft dies bei Variante II nicht zu. Hier ist bis auf das Jahr 1993 in allen Jahren, wo Winterweizen + Knochenmehldüngung eingesetzt werden, die N Menge des KM nicht ausreichend um einen positiven N-Saldo zu erreichen. Dieses Phänomen ist bei den anderen zwei Bodenarten noch deutlicher ausgeprägt. Das Fruchtfol-

geglied Erbse/Sommergerste weist die positivsten N-Salden auf. Hier kommt wohl noch die Wirkung des KM aus der Vorfrucht zur Geltung.

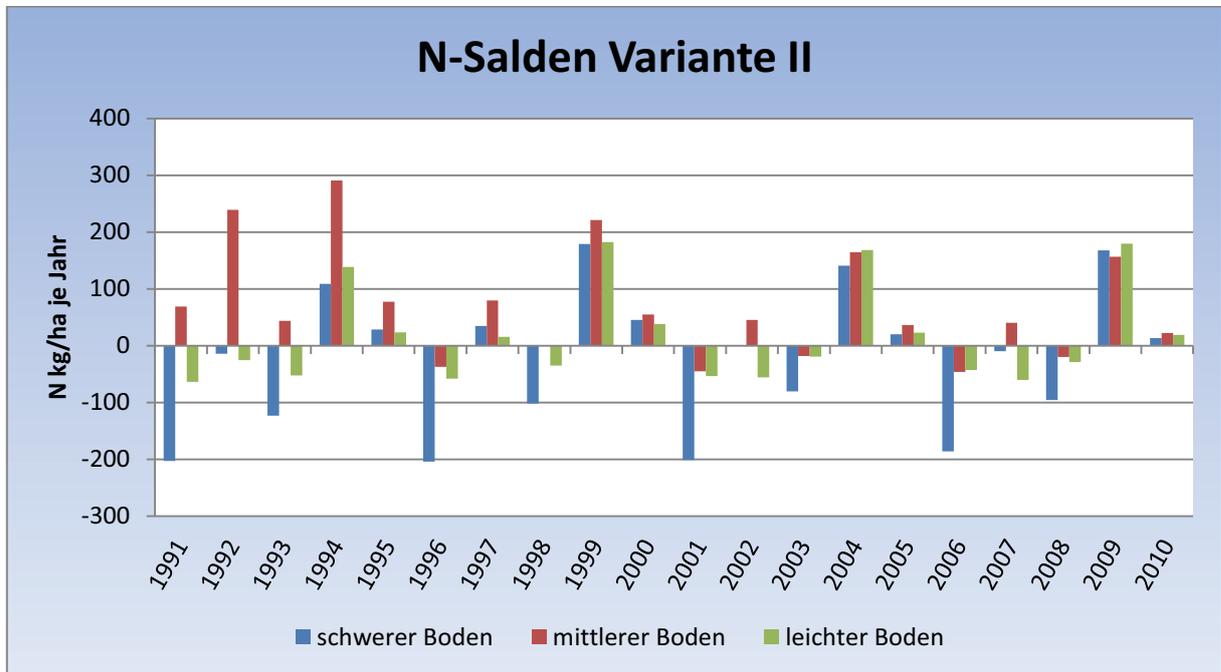


Abbildung 64: N-Salden Variante II verschiedene Böden 1991-2010

Bei den Verläufen C:N Umsätze (Abbildung 65) zeigt sich ein paralleles Bild der einzelnen Böden. Doch während der leichte Boden 0,04 % C_{org} oder 1,6 t C/ha mehr C einbindet, lagert der schwere Boden nur 0,03 % C_{org} bzw. 0,9 t C/ha mehr ein und der mittlere Boden verliert 0,25% C_{org} oder 6,9 t C/ha. Vergleicht man nun den leichten und schweren Boden miteinander, so weist der leichte Boden beim Fruchtfolgeglied Winterweizen + KM in den ersten zwei Rotationen die höchsten C-Salden aus. In der dritten und vierten Rotation ereignet sich dies beim Ackerbohnen/Hafer Gemengeanbau. Durchschnittlich über alle 20 Jahre kommt so ein C:N Verhältnis 5,1:1 zustande. In den Jahren 1991 und 1996 liegt das C:N Verhältnis zwischen 6,3-8,8:1, in den Jahren 2002 und 2007 zwischen 3,1-3,5:1.

Der schwere Boden weist durchgängig bei dem Fruchtfolgeglied Winterweizen + KM die höchsten C-Salden aus. Im Durchschnitt der Jahre ergibt dies ein C:N Verhältnis 7,3:1, aber bei sehr großen Schwankungen von 2,1:1 bis 22,9:1. In den Jahren 1991, 1996, 2001 und 2006 liegt das C:N Verhältnis hier zwischen 10-23:1. Der mittlere Boden mit seinen durchgängig negativen C-Salden hat von allen Böden das durchschnittlich engste C:N Verhältnis von 4:1. Es kann also keine pauschale Aussage getroffen werden, in welchem C:N Verhältnis C eingebaut wird. Dies hängt stark vom Boden sowie von den Witterungseinflüssen ab.

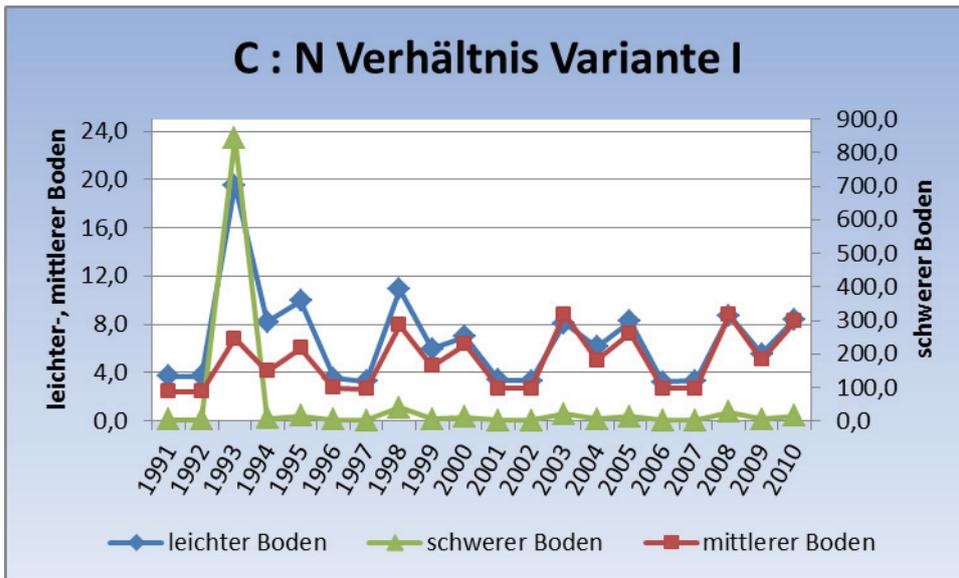


Abbildung 65: C:N Verhältnis Variante II verschiedene Böden 1991-2010

6.1.3 Variante III (WW+HTK+ZF-Hafer-Dinkel+HTK+ZW-SG-WR)

Variante III ist die Variante mit dem höchsten Mengeneinsatz von organischem Dünger in Form von Hühnertrockenkot (HTK). Dieser wird zweimal in der Rotation in Höhe von **3 t** zu Winterweizen und Dinkel ausgebracht. Anschließend erfolgt der Zwischenfruchtanbau um den mineralisierenden N über Winter zu binden und der anschließenden Sommerung zur Verfügung zu stellen. Als letztes Fruchtfolgeglied steht wieder der Winterroggen um den verbleibenden N noch möglichst effizient zu nutzen.

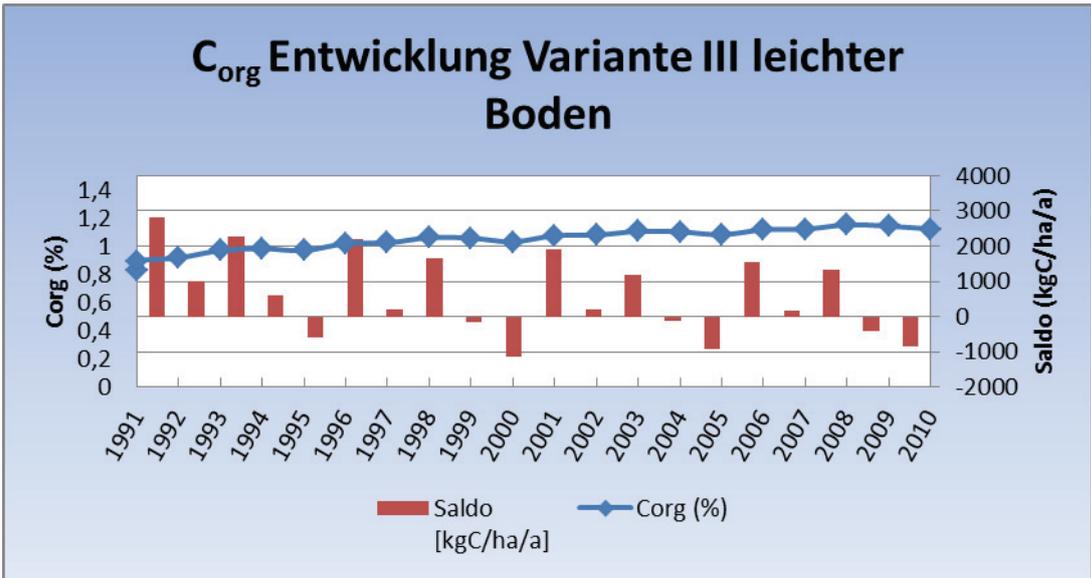


Abbildung 66: C_{org} Entwicklung Variante III leichter Boden 1991-2010

Bei der Auswertung des leichten Bodens (Abbildung 66) ist erkennbar, dass der Einsatz des HTK positive Wirkung besitzt. Der C_{org} Gehalt steigt von 0,83 % auf 1,12 %, was umgerechnet einer C-Einlagerung 10 t in 20 Jahren entspricht. Bei diesem Boden haben in der ersten Rotation alle Fruchtfolgeglieder positive C-Salden, Ausnahme ist der Winterroggen. Ab der zweiten Rotation kommt auch noch die Sommergerste mit negativen Salden hinzu. Im Jahr 1993 werden bei dieser Variante auf diesem Boden auch die höchsten C-Salden im Vergleich mit den anderen zwei Böden erreicht, was ungewöhnlich im Vergleich zum schweren Boden ist.

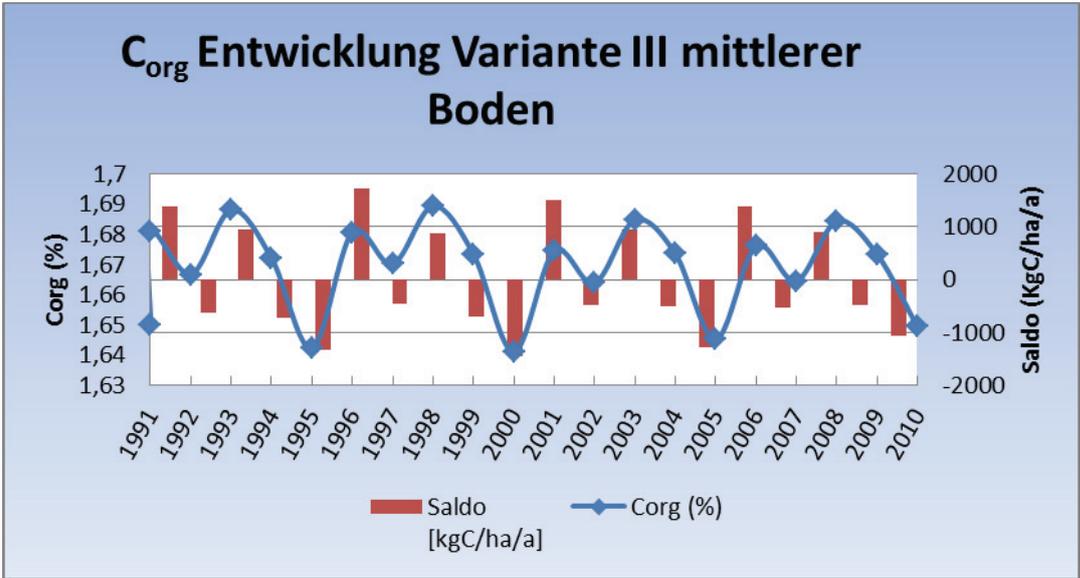


Abbildung 67: C_{org} Entwicklung Variante III mittlerer Boden 1990-2010

Auch bei der Analyse des mittleren Bodens (Abbildung 67) ist die positive Wirkung des HTK erkennbar. Dieser Boden hat zwar wie in allen Varianten eine negative Entwicklung. So sinkt der C_{org} Gehalt geringfügig um 0,1 % oder um 1,5 t in 20 Jahren. Dies ist der geringste Abbau von organischer Substanz in 20 Jahren. In der Rotation haben die Jahre mit dem HTK positive Salden. Es stellt sich die Frage, ob mit einer Erhöhung der Gaben die Bilanz ins positive verkehrt werden könnte.

Bei der Simulation der Variante auf dem schweren Boden (Abbildung 68) ergibt sich ein vergleichbarer Verlauf wie für den leichten Boden. Unterschiede sind das höhere Ausgangsniveau an C_{org} von 1,46 % und das Entstehen höherer C-Salden in den Jahren mit der Ausbringung des HTK. Diese werden aber durch niedrige C-Salden in dem darauf folgenden Jahr ausgeglichen. Im Ergebnis kommt es zu einer C-Speicherung von 10 t bzw. Anhebung des C_{org} um 0,3 % im Simulationszeitraum.

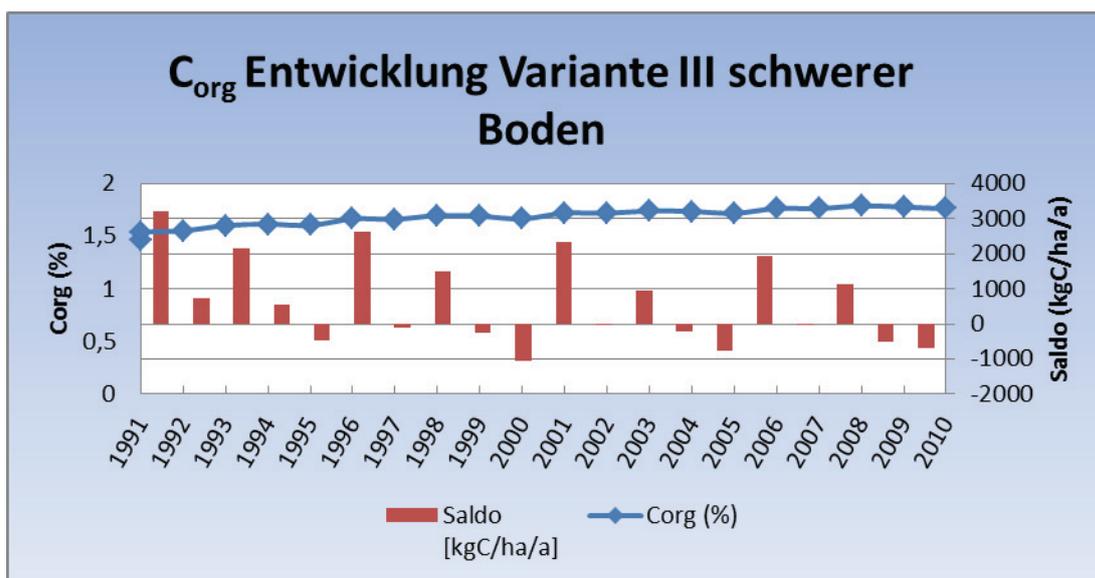


Abbildung 68: C_{org} Entwicklung Variante III schwerer Boden 1990-2010

Bei der Betrachtung der N-Salden (Abbildung 69) kann in dieser Variante bei den leichten und mittleren Böden beobachtet werden, dass in Jahren mit niedrigen N-Salden hohe C-Salden gegenüber stehen. Es ist, als würde der bereit gestellte N zur Bildung und zur Einlagerung von C genutzt werden. Der mittlere Boden hat dagegen wie in allen Varianten die höchsten N-Salden bei den gleichzeitig niedrigsten C-Salden.

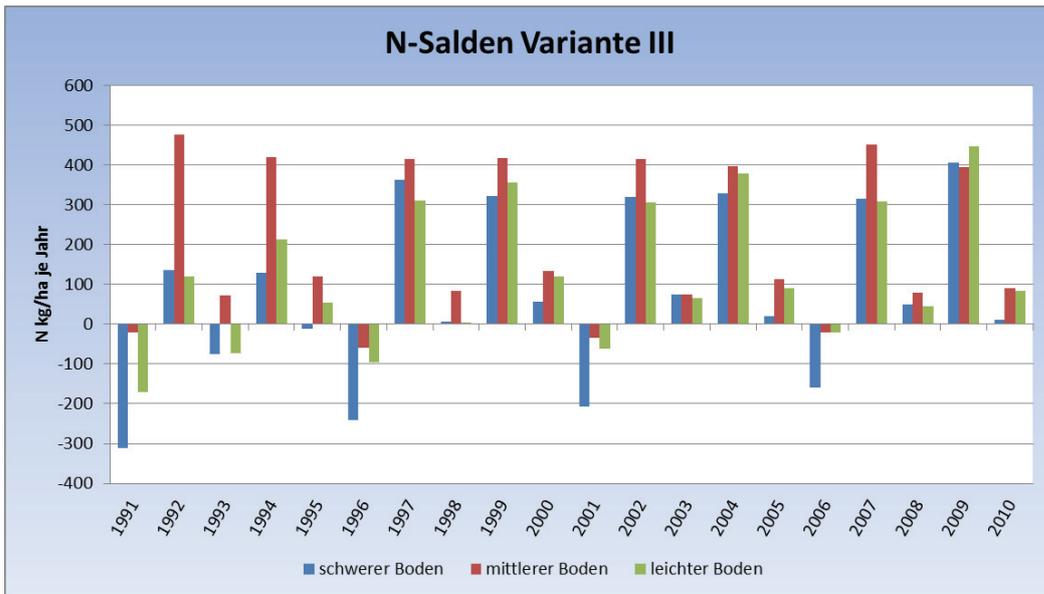


Abbildung 69: N-Salden Variante III verschiedene Böden 1991-2010

Bei der Betrachtung der C:N Grafik (Abbildung 70) ist leider das Jahr 1993 wieder dafür verantwortlich, dass es hier beim leichten und schweren Boden zu Ausreisern, diesmal ins Negative, kommt. Nur der mittlere Boden weist in diesem Jahr noch ein positives Verhältnis aus. Im Durchschnitt hat der leichte Boden im Simulationszeitraum ein C:N von -0,2:1, der mittlere Boden von 10,4:1 und der schwere Boden von -3026:1. Wie kommen negative C:N Salden zustande? in diesen Jahren weist das Programm einen negativen N-Saldo bedingt durch eine negative Mineralisation aus. Dadurch, dass dieser so groß ist, kommt es dann zu einem negativen Durchschnittswert. Ob die gemachte Simulation in der Realität dieselben Werte ergeben würde, kann nicht beurteilt werden.

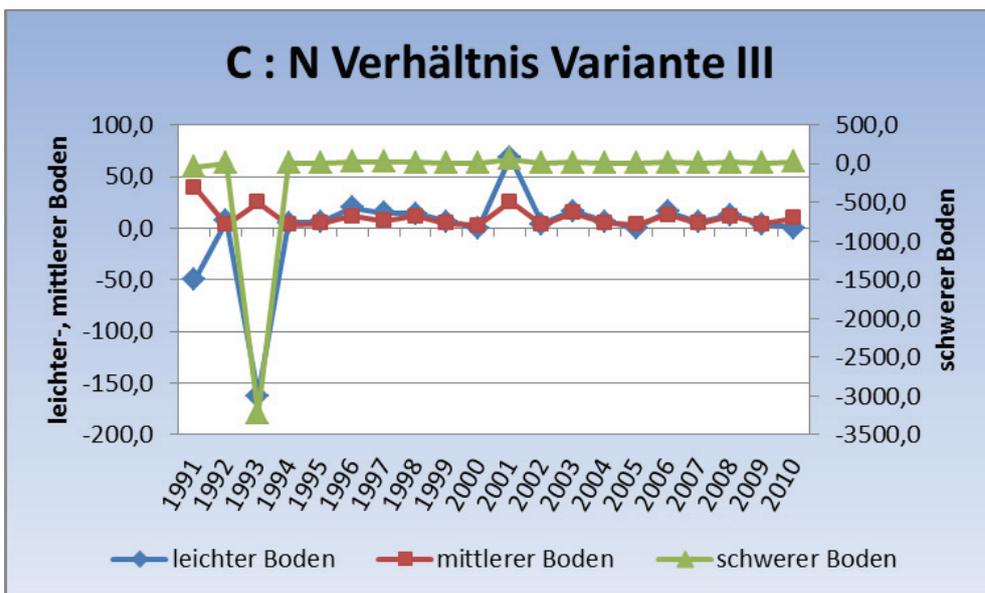


Abbildung 70: C:N Verhältnis Variante III verschiedene Böden 1991-2010

6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nach der Darstellung der einzelnen Ergebnisse der verschiedenen Varianten auf den verschiedenen Böden sollen nun noch einmal die wichtigsten Ergebnisse und Zahlen (Tabelle 7) zusammengefasst werden. Von den unterschiedlichen Fruchtfolgevarianten ist Variante III mit den Gaben an HTK welche die höchsten C-Akkumulationen. Es wird hier am meisten C in t je ha im Simulationszeitraum gespeichert. Die positive Wirkung ist am stärksten auf den leichten Standorten, die 10 t C je ha in 20 Jahren speichern. Das entspricht einer Erhöhung um 25 %. Die Variante II schneidet auf allen Böden am schlechtesten ab und auf dem mittleren Boden ist sie die Variante mit den höchsten Verlusten an C von allen Simulationen. Hier gehen -6,9t C je ha in 20 Jahren verloren.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse C-Veränderung

Parameter	VI	VI	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII
	leich. Boden	mitt. Boden	schw. Boden	leich. Boden	mitt. Boden	schw. Boden	leich. Boden	mitt. Boden	schw. Boden
Corg % Veränderung	0,13%	-0,11%	0,14%	0,04%	-0,18%	0,04%	0,29%	0,001%	0,30%
C-Veränderung in t/ha	5,2	-4,2	5,3	1,6	-6,9	0,9	10	-1,4	9,7
Veränderung % in Ct/ha	14%	-6%	8%	4%	-10%	1,4%	25%	-2%	15%

Der Anbau von Körnerleguminosen im Gemengeanbau reicht also nur auf dem leichten und schweren Boden aus um den C-Gehalt zu halten bzw. geringfügig zu erhöhen. Für den eingesetzten organischen Dünger Knochenmehl konnte leider kein C-Gehalt ermittelt werden. Es stellt sich die Frage, ob das Vorhandensein einen spürbaren Einfluss gehabt hätte. Die Variante I mit ihren zweimaligen Klee-grasanbau eignet sich, außer auf dem mittleren Boden, um zusätzlichen C zu binden und so zu einer Erhöhung des Humusgehalts beizutragen. Nachteil ist, dass man ohne innerbetriebliche Verwertung des Klee-grases auf zwei Jahre Marktleistung verzichten muss.

Eine Schlussfolgerung aller gemachten Simulationen ist außerdem, dass die C-Speicherung in landwirtschaftlich genutzten Böden von einer Vielzahl von Faktoren abhängt. So kann eine Fruchtfolgevariante auf unterschiedlichen Böden völlig unterschiedliche Wirkungen entfalten. Auch stark abweichende Witterungsverläufe in einzelnen Jahren haben einen nicht unerheblichen Einfluss auf die C-Speicherung. Das Vorhandensein von N zur Einengung des C:N Verhältnisses ist ein wichtiger Faktor zur C Speicherung. Eine Aussage über die genaue Hö-

he des absoluten C:N Verhältnisses kann nicht getroffen werden, weil sich dieses von Boden zu Boden und Jahr unterscheidet. Es liegt aber in der Regel bei $< 40:1$. Auch sind, z.B. in Variante III, in den Jahren mit niedrigen bzw. negativen N-Salden hohe C-Salden zu beobachten. In Variante I ist dies durch den Anbau von Klee gras nicht so deutlich zu beobachten. Hier kommt es im zweiten Jahr nach dem Klee gras mit dem Anbau einer Zwischenfrucht bei mittleren bis hohen N-Salden ebenfalls zu hohen C-Salden.

Mit der Anwendung des Simulationsmodell CCB kann bodenart- und witterungsspezifisch die C_{org} Entwicklung abgebildet werden laut Literaturangaben mit mittleren bis hohen Korrelationen zur Realität. Zur Verbesserung der Simulationsergebnisse wird aber von Seiten der Entwickler empfohlen, in gewissen Abständen, etwa 5 Jahre, das Programm mit gemessenen C_{org} zu versorgen.

6.3 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels?

Wie in der Einleitung geschrieben, verändert sich das Klima durch die steigende CO_2 Konzentration, welcher vom Menschen durch den ungebremsten Verbrauch fossiler Energieträger induziert ist. Durch die Erhöhung der CO_2 Konzentration in der Atmosphäre kommt es u.a. zum sogenannten anthropogenen (menschengemachten) Treibhauseffekt. Dieser hat die Auswirkung, dass die eingestrahlte Sonnenenergie zu einem immer größeren Anteil von der Erde nicht mehr ins Weltall zurück reflektiert wird, sondern in der Atmosphäre verbleibt (Abbildung 71).

Die Atmosphäre heizt sich auf und es kommt zu den genannten Problemen des Temperaturanstiegs. Er trägt dazu bei, dass gespeicherten CO_2 Vorräte, wie z.B. in den Permafrostböden oder Weltmeeren, freigesetzt werden. Das führt wiederum zu einer Erhöhung des CO_2 Gehalts. Den Anstieg der Konzentration zeigt die (Abbildung 72) hier ist CO_2 Verlaufsmessung des Mauna Loa Wetterstation auf Hawaii dargestellt. Es ist die längste Messreihe in diesem Bereich. Lag die CO_2 Konzentration im Jahr 1958 bei etwa 315 ppm, stieg sie bis Anfang 2012 auf etwa 397 ppm und der Trend ist ungebrochen.

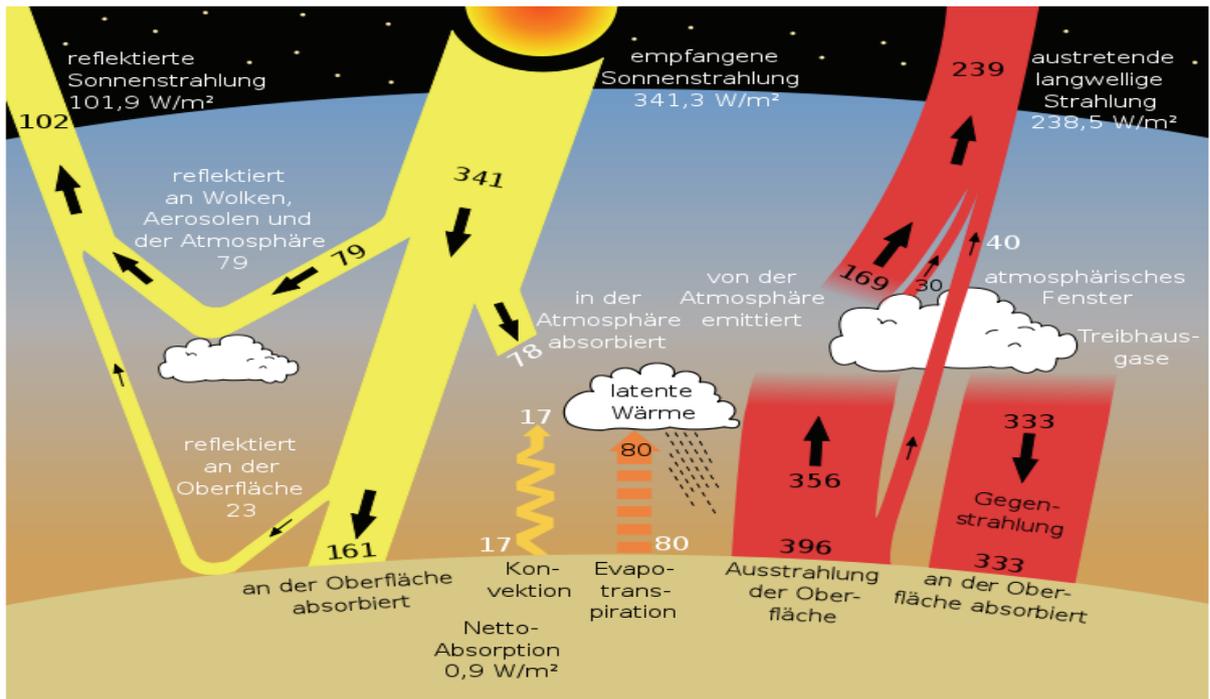


Abbildung71: Global energy budget of the Earth for the period March 2000- May 2004 (TRENBERTH, FASULLO, & KIEHLI, 2009)

Bisher konnten sich die Länder in den unzähligen Klimakonferenzen nicht auf verbindliche Reduktionsziele oder zumindest Beibehaltung von Grenzen einigen. Das IPCC geht seit dem Kopenhagener Gipfel 2009 davon aus, dass zur Einhaltung einer größer als 50 %igen Wahrscheinlichkeit zur Einhaltung der 2°C Obergrenze die CO₂ Emissionen bis zu Jahr 2050 um mindestens 50 % gegenüber 1990 reduziert werden müssten. Erschwerend hinzu gekommen ist, dass dazu der Höhepunkt (Peak) der CO₂ Emissionen vor 2020 eher bis 2015 stattfinden müsste. Von diesem Ziel ist man jedoch weit entfernt (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, 2011).

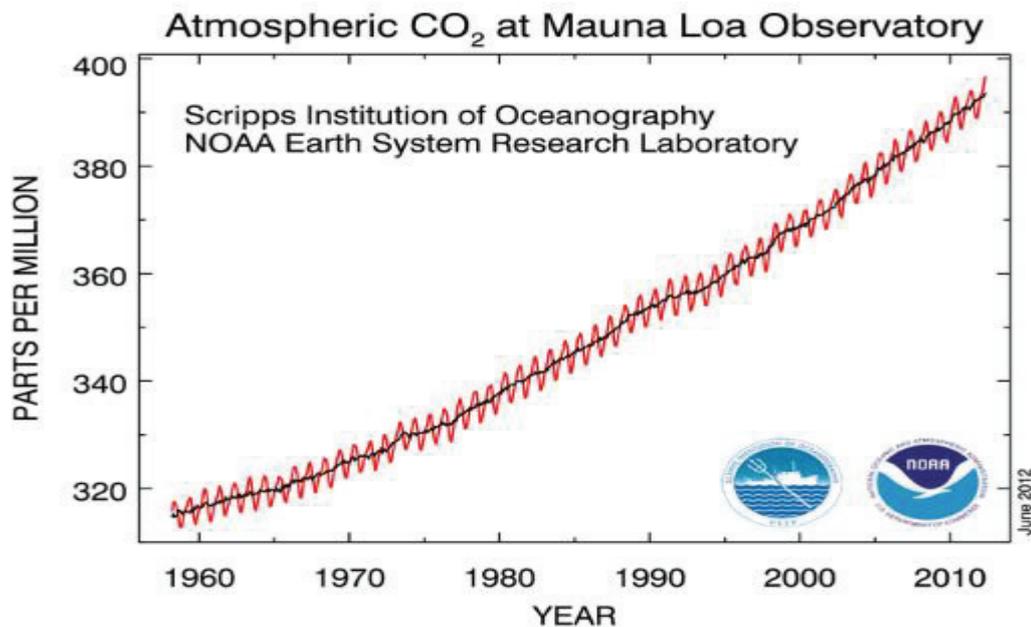


Abbildung 72: CO₂ Konzentration Messung der Wetterstation Mauna Loa Hawaii (NOAA, 2012)

6.3.1 Konsequenzen für die Landwirtschaft in Brandenburg

Die möglichen Konsequenzen für Brandenburg wurden auch schon in der Einleitung erwähnt. Im Auftrag der Landesregierung wurde das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) 2003 beauftragt, Szenarien über die Auswirkungen des bis 2055 zu erwartenden Klimawandel auf den Wasserhaushalt und die Forst- und Landwirtschaft in Brandenburg zu entwickeln und mögliche Anpassung Strategien. Um die wichtigsten Auswirkungen beurteilen zu können, wurde das Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. in Müncheberg (ZALF) ermächtigt, anhand des PIK-Szenariums einen repräsentativen Agrarlandschaftsraum für das Jahrzehnt 2046 bis 2055 zu simulieren. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Rückgang der Erträge 5 bis 14 %
- Verminderte Leistung in der Tierproduktion durch höhere Umgebungstemperaturen
- Anstieg der Verdunstung um 20 mm je Jahr
- Der Bodenwasservorrat sinkt um bis zu 25 %
- Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser um den Faktor 3

In den simulierten Auswirkungen sind keine Einflüsse von Extremwetterlagen (Trockenheit) enthalten, die schon heute das größte Produktionsrisiko der Brandenburger Landwirtschaft sind. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ungünstige Verteilung der Nie-

derschläge in der Vegetationsperiode und der damit einhergehende Wassermangel heute das größte Problem ist und zukünftig sein wird.

6.3.2 Wetterentwicklung Neuruppin 1961 bis 2011

Zur Überprüfung der beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels an der Wetterstation Neuruppin wurden in dieser Arbeit die Zeiträume 1961 - 1990 und 1991 - 2011 miteinander verglichen. Dazu wurden die Parameter Niederschlagshöhe, Niederschlagsverteilung, Temperaturentwicklung und Temperaturverteilung in (Abbildung 73) grafisch dargestellt:

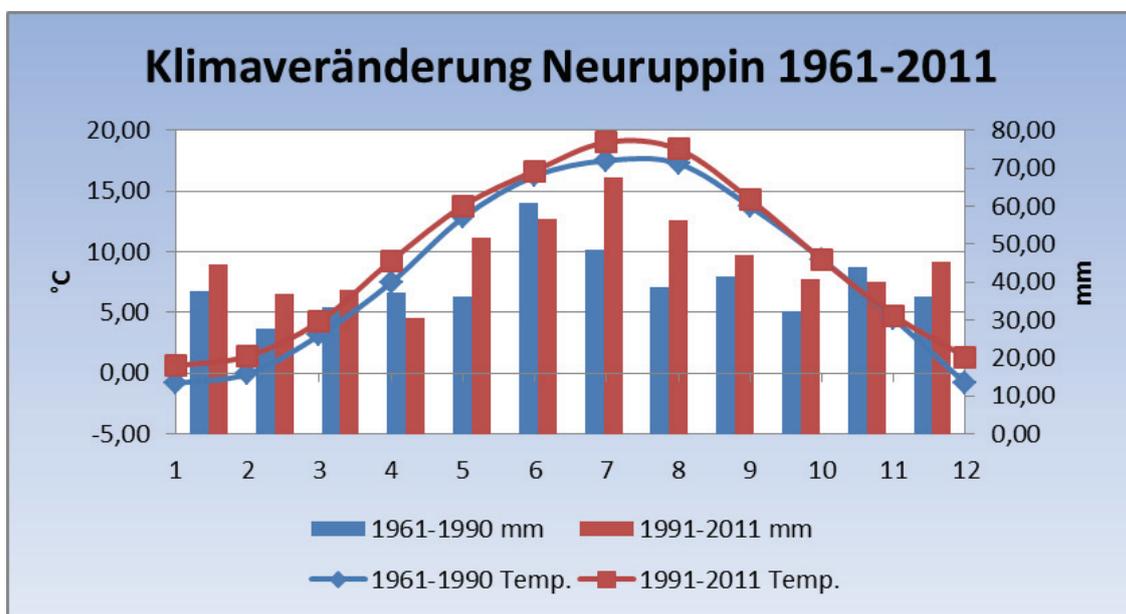


Abbildung 73: Klimaveränderung Neuruppin 1961 bis 2011

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge betragen im Zeitraum 1961 - 1990 rund 474 mm/a und sind um 82 mm auf 555 mm/a für den Zeitraum 1991 - 2011 gestiegen. Dabei änderte sich jedoch die Niederschlagsverteilung. In den Monaten April, Juni und November sank die die Niederschlagsmenge, um -7 % im Juni und bis zu -18 % im April. Die restlichen Monate erfuhren einen Niederschlagszuwachs von mindestens +13%; im September bis +39 % in dem Monat Juli gefolgt vom Februar +33% und Dezember +25%. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge je Monat stieg um 13% von 39mm auf 46mm. Alle Veränderungen sind nochmal in (Tabelle 8) dargestellt.

Tabelle 8: Niederschlagsveränderung in mm Neuruppin 1961-2011

Monat	1961-1990	1991-2011	Veränderung in %	Veränderung absolut
Januar	38	45	19	7
Februar	28	37	33	9
März	33	38	14	5
April	37	30	-18	-7
Mai	36	52	43	15
Juni	61	57	-7	7
Juli	48	67	39	19
August	39	56	46	18
September	41	47	13	6
Oktober	32	41	26	8
November	44	40	-9	-4
Dezember	36	45	25	9
Niederschlagssumme Ø Veränderung in %	474	555	19	82

Bei der Temperaturveränderung zeigt sich das gleiche Bild (Tabelle 9). Die durchschnittliche Jahrestemperatur stieg im Zeitraum 1961 - 1990 von 8,36°C um 1,07°C auf 9,43°C für den Zeitraum 1991 - 2011. In Prozent ausgedrückt ergibt das ein Plus von 12,83 %. Dabei ist auffällig, wie warm die Winter geworden sind. In den Monaten Dezember, Januar und Februar sind die Temperaturen vom Negativen ins Positive gewandert. Bis auf den Oktober, der im Durchschnitt um marginale -0,03°C kälter geworden ist, sind ansonsten alle Monate mit einem satten Plus ausgestattet. Spitzenreiter ist der April, der um 1,8°C wärmer geworden ist, gefolgt vom Juli mit 1,5°C.

Tabelle 9: Temperaturveränderung in °C 1961-2011

Monat	1961-1990	1991-2011	Veränderung absolut
Januar	-0,82	0,62	1,45
Februar	-0,04	1,41	1,45
März	3,14	4,25	1,12
April	7,47	9,26	1,80
Mai	12,81	13,77	0,96
Juni	16,22	16,65	0,43
Juli	17,50	19,01	1,51
August	17,26	18,42	1,16
September	13,73	14,30	0,58
Oktober	9,38	9,35	-0,03
November	4,49	4,75	0,26
Dezember	-0,83	1,35	2,18
Mittelwert	8,36	9,43	1,07

Was bedeuten die dargestellten Werte für die Landwirtschaft? Zum einen, dass der Monat April zum ertragsbegrenzenden Faktor wird. Er ist mit -18 % an Niederschlag und mit einer Temperaturerhöhung um +24 % ein Negativfaktor für die grundwasserfernen Standorte

Brandenburgs. Zum anderen wird durch die Zunahme der Sommerniederschläge die Ernte behindert. Wenn sich dieser Trend fortsetzt, ist der Humusanteil der Böden neben dem Einsatz von wassersparenden Anbausystemen die einzige Möglichkeit, pflanzenverfügbares Wasser zu speichern. Doch ist dies bei den höheren Temperaturen und steigenden Niederschlägen überhaupt möglich? Oder verhindert die längere Vegetation und damit einhergehende Mineralisation den Humusaufbau. Dieser Aspekt soll in den nächsten Kapiteln analysiert werden.

6.4 Ergebnisse Klimaextreme

Wie im Kapitel (6.3) beschrieben, kommt es zu einer Klimaerwärmung bei sich gleichzeitig ändernden Niederschlagsmengen bzw. Niederschlagsverteilung. Da bei der Simulation des C_{org} Gehalts Temperatureinflüsse und Niederschlagsmengen einen erheblichen Einfluss haben können, wurden sich vier Szenarien überlegt und simuliert.

Bei den Temperatur- und Niederschlagsszenarien wurden die Maximal- und Minimalwerte der letzten zwanzig Jahre genommen und jeweils simuliert, als seien diese der Durchschnitt der letzten 20 Jahre. Die jeweiligen Minimalwerte wurden verwandt um die Gegenüberstellung zu den prognostizierten Klimamodellen zu haben. Damit nachvollziehbar ist, wie sich der jeweilige Parameter auswirkt, wurde immer nur ein Parameter geändert, also entweder Temperatur oder Niederschlag. Da sich die Tendenzen in allen Varianten bzw. Böden ähneln, wurde auf die Darstellung aller Varianten verzichtet. Es erfolgt nur die Darstellung der Variante III auf den drei Böden. Sie hatte in der vorherigen Simulation die höchsten C-Akkumulationen. Die Ergebnisse der anderen Varianten befinden sich im Anhang. Aus Gründen der Vereinfachung erfolgt die Darstellung auf der gleichen Zeitachse wie die vorherigen Simulationen.

6.4.1 Variante III (WW+HTK+ZF-Hafer-Dinkel+HTK+ZW-SG-WR)

Die Ausgangsgehalte an C_{org} der Böden sind mit den ersten Simulationen identisch. Sie liegen beim leichten Boden bei 0,83 %, beim mittleren Boden bei 1,65 % und beim schweren Boden bei 1,46 %. Die blaue Linie stellt die C_{org} Entwicklung der normalen Simulation der Jahre 1991 - 2010 dar. Die grüne und rote Linie die angenommenen Klimaextreme. Vergleicht man nun die normale Entwicklung zuerst mit dem 361 mm Szenario (Abbildung 74) fällt auf, dass sich diese in den ersten beiden Jahren kaum unterscheiden.

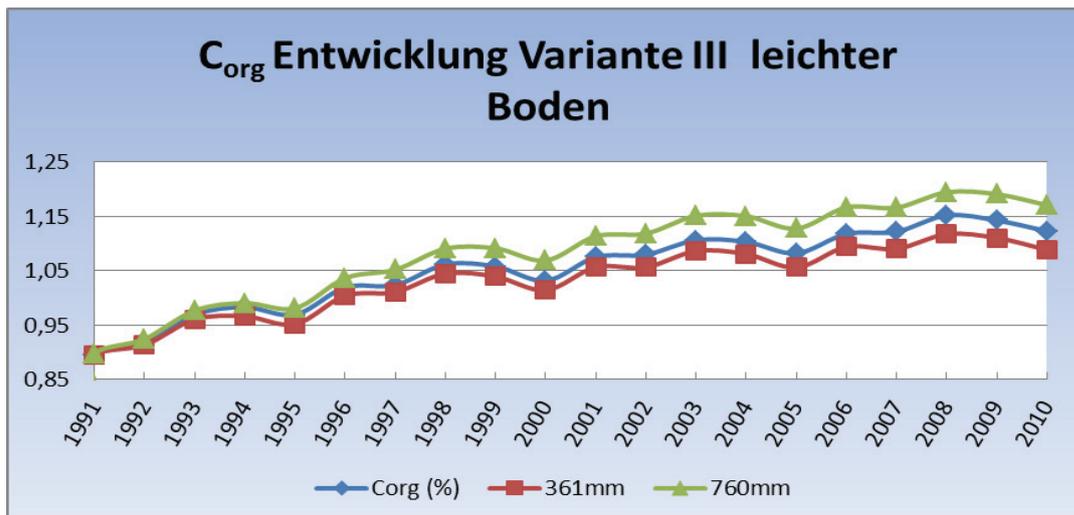


Abbildung 74: C_{org} Entwicklung Variante III leichter Boden verschiedene Niederschlagsmengen 1991-2010

Ab dem Jahr 1993 fällt das 361 mm Szenario aber ab, so dass am Ende der ersten Rotation ein C_{org} Unterschied von 0,01 % simuliert wird. Dieser Abstand setzt sich in der zweiten Rotation weiter fort. Ab der dritten Rotation vergrößert sich dieser Abstand, da die C_{org} Entwicklung bei dem 361 mm Szenario leicht um etwa 0,001 % ins Negative verkehrt wird. In der dritten Rotation um ca. 0,01 %. Ursache hierfür ist, dass nur noch in Jahren mit der Gabe von HTK positive C-Salden simuliert werden. In allen anderen Jahren sind es negative C-Salden. Ein Grund könnte sein, dass durch den Wassermangel der N in den darauf folgenden Jahren nicht mehr zu Verfügung steht. In Summe werden ca. 1,6 t C je ha weniger im Simulationszeitraum gespeichert.

Genau die gegenteilige Entwicklung findet bei dem Szenario 760 mm statt. Hier kommt es in 20 Jahren zu einer Erhöhung um 0,05 % des C_{org} Gehaltes gegenüber der normalen Simulation. In Summe bedeutet das, dass 2,1 t mehr C je ha im Simulationszeitraum gebunden werden. Der Grund ist, dass durch die höheren Niederschlagsmengen in den Jahren mit HTK Gaben die positiven C-Salden höher sind und in den folgenden Jahren weniger stark absinken.

Die C_{org} Entwicklung auf dem mittleren Boden (Abbildung 75) ist schnell erläutert. Sie ist bei beiden gemachten Niederschlagsszenarien identisch mit der realen Simulation. Anscheinend hat beim Bodentyp Pseudogley die Niederschlagsmenge keinen Einfluss im Simulationsprogramm. Da dies bei allen Varianten bei diesem Boden so ist, kann vermutet werden, dass es durch die Staunässe neigung zu keinen Auswaschungen und dadurch zu verminderter N-Verfügbarkeit kommt. Im Gegenzug kommt es aber auch bei Trockenheit durch die hohe Anzahl von BAT zu ausreichender Mineralisation.

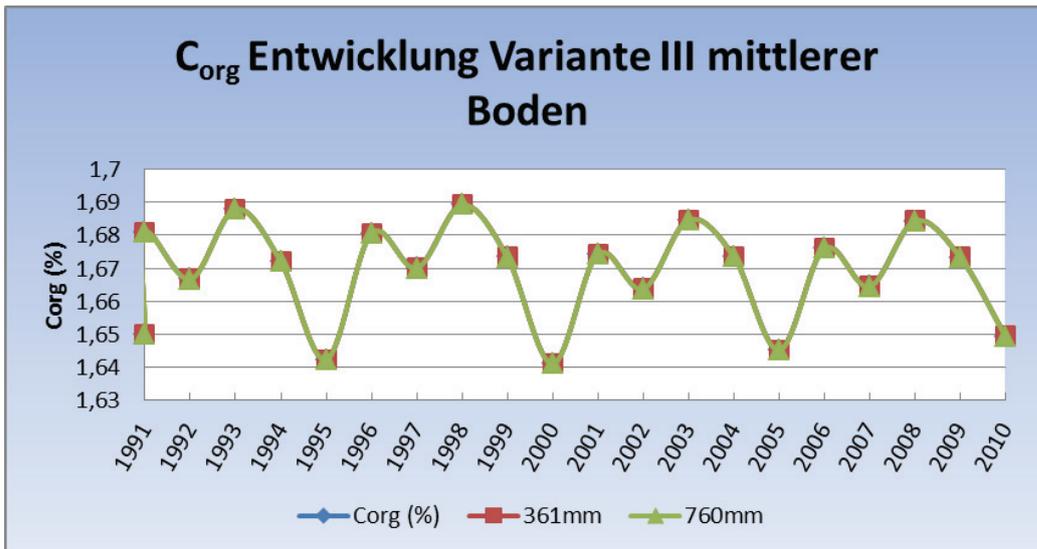


Abbildung 75: C_{org} Entwicklung Variante III mittlerer Boden verschiedene Niederschlagsmengen 1991-2010

Die C_{org} Entwicklung von Variante III auf dem schweren Boden (Abbildung 76) unterscheidet sich nicht in der Entwicklung wie auf dem leichten Boden. Beim Szenario 361 mm werden etwa 0,05 % weniger C_{org} gebunden, was etwa 2 t C je ha in 20 Jahren entspricht. Dabei sind hier in den Jahren mit HTK Gaben höhere C-Salden als in der realen Simulation zu beobachten, die aber durch niedrigere C-Salden in den übrigen Jahren aufgebraucht werden. Im Szenario 760 mm erfolgt eine höhere C-Akkumulation, die sich im Bereich von 0,16 % C_{org} bewegt oder umgerechnet 2,7 t C je ha im Simulationszeitraum. Im Durchschnitt aller Fruchtfolgeglieder werden gegenüber der realen Simulation etwa 140 kg C mehr je ha und Jahr eingebunden.

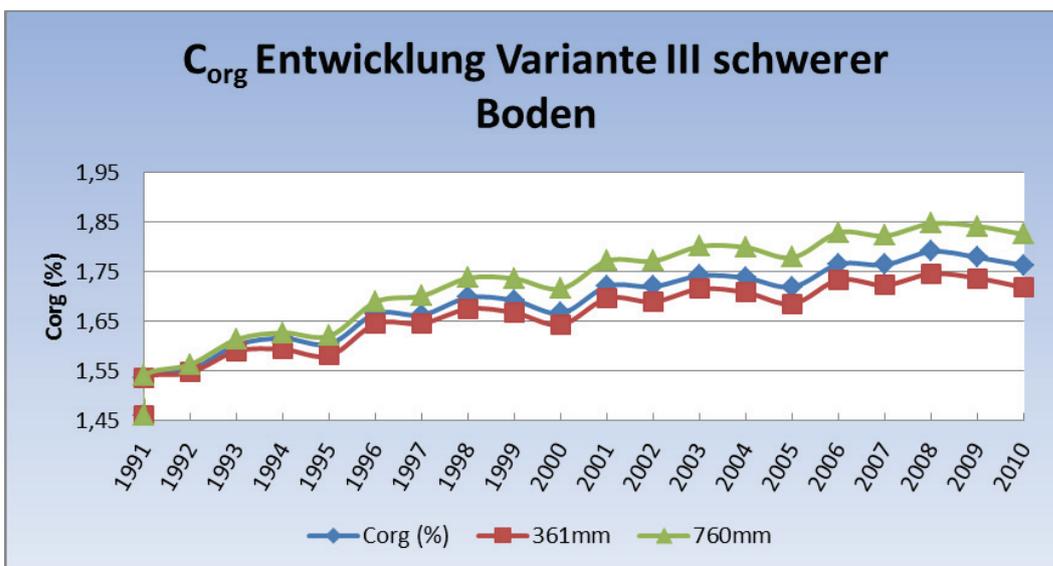


Abbildung 76: C_{org} Entwicklung Variante III schwerer Boden verschiedene Niederschlagsmengen 1991-2010

Während es bei der Simulation der Niederschlagszenarien bei einer höheren Niederschlagsmenge zu steigenden C-Akkumulationen kommt, tritt bei den gemachten Temperaturszenarien das Gegenteil ein. Bei dem höheren Temperaturszenario von 10,39°C kommt es zu verminderten C-Speicherungen in den Böden, beim Temperaturszenario 7,8°C zu höheren. Diese Ausprägung trifft für alle Varianten zu und soll nun kurz beschrieben werden.

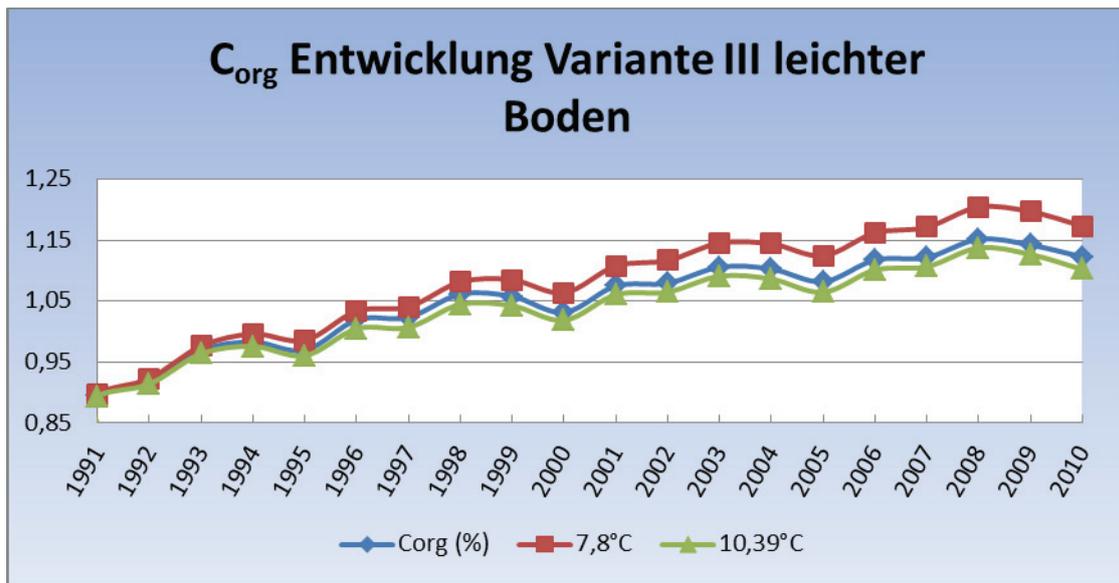


Abbildung 77: C_{org} Entwicklung Variante III leichter Boden verschiedene Durchschnittstemperaturen 1991-2010

In (Abbildung 77) ist das Temperaturszenario auf dem leichten Boden dargestellt. Im Jahr 1991 ist beim Szenario 7,8°C noch dieselbe Höhe des C-Saldos festzustellen, aber schon 1992 werden höhere C-Salden simuliert. Im Durchschnitt der Jahre werden 100 kg mehr C je ha eingelagert. Das sind in der Summe 0,05 % C_{org} oder 2,1 t gegenüber der Normal Simulation. Beim Szenario 10,39°C ist es das genaue Gegenteil. Hier werden im Durchschnitt der Jahre etwa -45 Kg C im Boden gebunden. Dadurch werden 1,1 t weniger C je ha gespeichert.

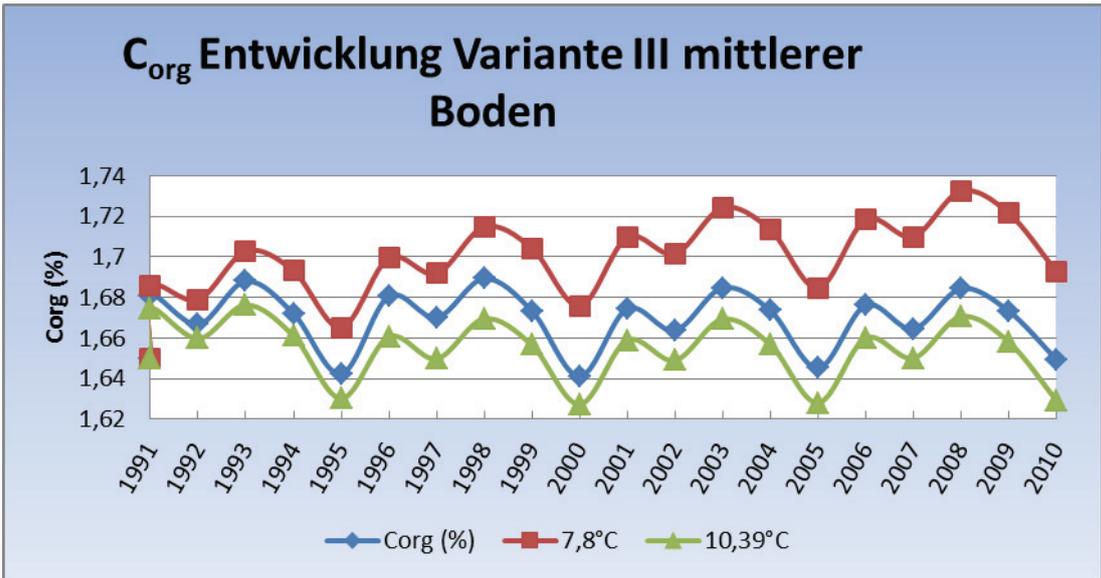


Abbildung 78: C_{org} Entwicklung Variante III mittlerer Boden verschiedene Durchschnittstemperaturen 1991-2010

Im Gegensatz zum Niederschlag, der ja gar keinen Einfluss auf den mittleren Boden hat, ist das bei der Temperatur nicht der Fall (Abbildung 78). Hier erfolgt beim Temperaturszenario 7,8°C im Vergleich zum Normal Szenario eine um 2 t höhere C-Einlagerung, das entspricht 0,05 % C_{org}. Bei niedrigeren Temperaturen können selbst Böden vom Typ Pseudogley minimal C einlagern. Bei Temperaturszenario 10,39°C verkehrt sich dies wieder ins Gegenteil. Jetzt werden 0,9 t C weniger gebunden oder -0,02 % C_{org}.

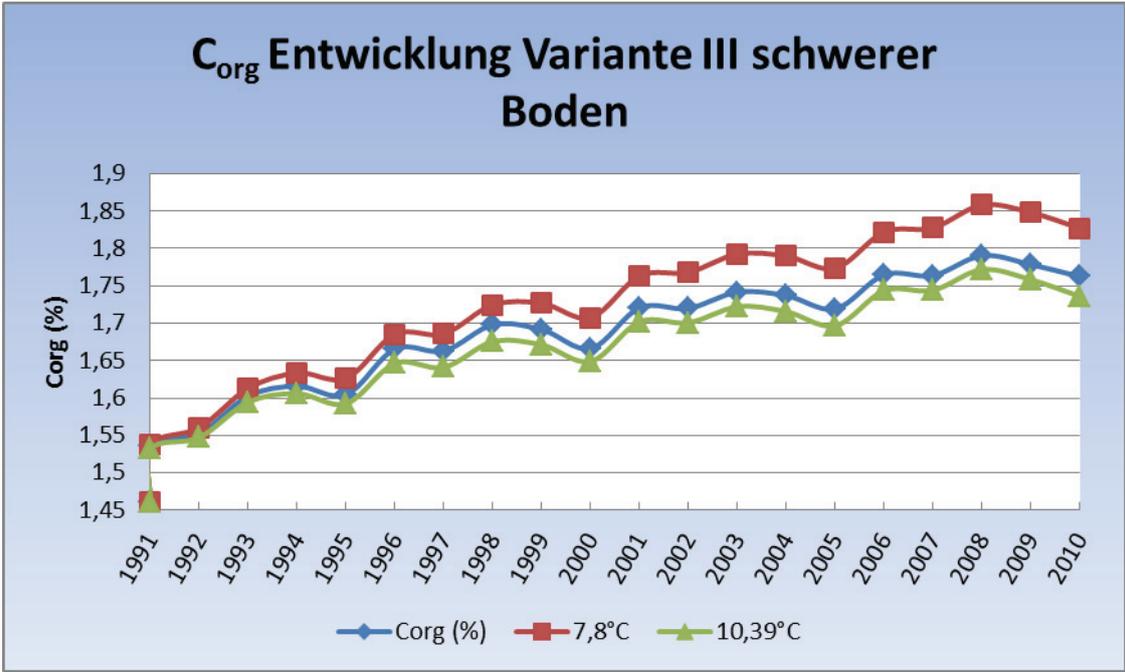


Abbildung 79: C_{org} Entwicklung Variante III schwerer Boden verschiedene Durchschnittstemperaturen 1991-2010

Die Simulation auf dem schweren Bodens ergibt dieselben Ergebnisse wie auf dem leichten Boden. Einzig der Abstand im Temperaturszenario 7,8°C ist etwas höher. Das ist aber durch den besseren Boden bedingt. Der C_{org} steigt um 0,07 % oder 0,3 t C mehr an.

6.4.2 Zusammenfassung

Alle gemachten Aussagen und Ergebnisse sind noch einmal in (Tabelle 10) zusammengefasst. Es wird ersichtlich, dass die Temperaturveränderungen auf die C_{org} Entwicklung einen etwas größeren Einfluss als die Niederschläge haben. Im Szenario Durchschnittstemperatur 7,8°C kommt es zu den höchsten Einlagerungen aller Simulationen. Es werden 12,4 t C in 20 Jahren eingelagert, was einer Erhöhung um 0,37% C_{org} entspricht.

Tabelle 10: Zusammenfassung der C_{org} Veränderungen

Parameter	V III leich. Boden normal	V III mitt. Boden normal	V III schw. Boden normal	V III leich. Boden 7,8°C	V III mitt. Boden 7,8°C	V III schw. Boden 7,8°C	V III leich. Boden 10,39°C	V III mitt. Boden 10,39°C	V III schw. Boden 10,39°C	V III leich. Boden 361mm	V III mitt. Boden 361mm	V III schw. Boden 361mm	V III leich. Boden 760mm	V III mitt. Boden 760mm	V III schw. Boden 760mm
C _{org} % Veränderung	0,29	0,001	0,3	0,34	0,04	0,37	0,27	-0,02	0,28	0,26	-0,01	0,26	0,34	-0,01	0,36
C-Veränderung in t/ha	10	-1,4	9,7	12,1	0,4	12,4	9,2	2	8,7	8,5	-1,4	7,7	11,8	-1,4	11,9

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass bei fortschreitender Klimaerwärmung mit gleichbleibenden oder zunehmenden Niederschlägen sich diese beiden Faktoren gegenseitig bestenfalls aufheben. Es könnte also Humus durch die Einhaltung der genannten Fruchtfolgen aufgebaut werden. Aber für verschiedene Regionen in Brandenburg wird eine Abnahme der Niederschläge bei gleichzeitig höheren Durchschnittstemperaturen prognostiziert. Es stellt sich deshalb die Frage, ist die Idee, zusätzlich atmosphärischen C im Boden zu speichern, nur ein Wunschgedanke? Sollten die gemachten Simulationen annähernd die Realität wiedergeben, geht es wohl in Zukunft vielmehr darum, den Humusgehalt im Boden zu stabilisieren. Denn durch die Erhöhung der Temperatur und damit der Verlängerung der Vegetation (BAT) wird um einiges mehr C verbraucht werden.

6.5 Ökonomische Betrachtung der Fruchtfolgen

Bei der Darstellung der Entwicklung des C_{org}-Gehaltes soll auch versucht werden, die Veränderung ökonomisch zu bewerten. Als Grundlage der ökonomischen Betrachtungsweise dient die Ökologische Datenbank des KTBL. Durch ihre hohe Auswahlmöglichkeit und Datenqualität des KTBL ist eine Vergleichbarkeit mit in der Praxis vorherrschenden Bedingungen gege-

ben. Daten, die das KTBL nicht zur Verfügung stellen konnte, wurden betriebsindividuell erhoben.

Um einerseits die Auswirkungen verschiedener Fruchtfolgen als auch andererseits den Stellenwert des Faktors Boden besser darstellen zu können, wurde bei der Betrachtung der C_{org} -Entwicklung speziell auf die ertragssteigernde Wirkung des C_{org} -Gehaltes innerhalb des Simulationszeitraums verzichtet. Durch eine gleichbleibende Ertragshöhe der einzelnen Kulturen in den vier Rotationen zeigen die unterschiedlichen Varianten mit ihren jeweiligen Düngungsausrichtungen stark unterschiedliche Ausprägungen in Bezug auf die C_{org} -Gehaltsentwicklung. Es kommt außerdem zu keiner inflationsbedingten Deckungsbeitragsanpassung innerhalb der 4 Rotationen. Auf eine Vollkostenbetrachtung wird verzichtet, da der Deckungsbeitrag (DB) eine ausreichende Vergleichbarkeit gewährleistet.

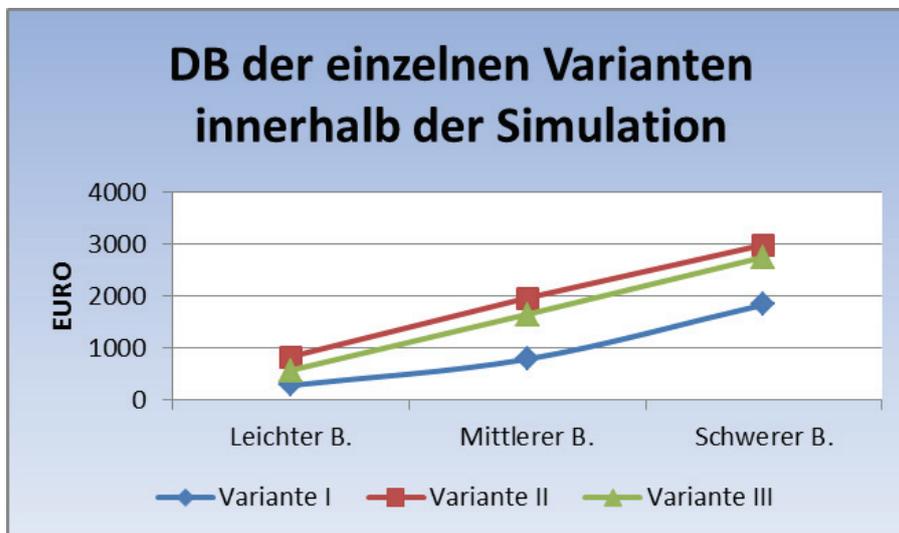


Abbildung 80: Deckungsbeitrag der einzelnen Varianten

Damit die einzelnen Böden mit ihren jeweiligen Ertragspotentialen ökonomisch bewertet werden konnten, wurden die einzelnen Kulturen anhand der Datenbank des KTBL nach ihrem Bodenpotential ausgewählt. Bei dieser Betrachtung wurde deutlich, dass mit steigenden Bodenpunkten der Deckungsbeitrag parallel ansteigt (Abbildung 80: Deckungsbeitrag der einzelnen Varianten). Bei dieser Betrachtungsweise des reinen Deckungsbeitrages kristallisiert sich die Variante II deutlich hervor. Dieses ist damit zu begründen, dass mit dem Sommer Gemengeanbau ein höherer Deckungsbeitrag zu erzielen ist als bei einem Soloanbau der Kulturen.

6.5.1 Auswirkungen der veränderten Corg Gehalte auf den Deckungsbeitrag nach Simulationseende

Nach vier Rotationen oder 20 Jahren hat sich der C_{org} deutlich in die eine oder andere Richtung verändert (siehe Kapitel 6.2). Geht man nun davon, dass er eine positive Korrelation mit dem Ertrag hat, (siehe Kapitel 2.5), kann man auch annehmen, dass dies beim DB genauso ist. Mittels einer *regula de tribus* Berechnung kann nun die DB-Veränderung dargestellt werden.

Unter dieser Annahme zeigt sich nach 4 Rotationen (Abbildung 81), dass bei der Variante III, ungeachtet des geringeren Erlöses der Sommerfrüchte, gegenüber der Variante II die Deckungsbeiträge langfristig auf allen Böden steigen. Die Variante I hingegen ist die Variante, die am meisten zulegen kann und fast gleichauf mit der Variante II liegt, trotz ihres im ersten Blick kostenintensiven zweijährigen Klee-grassanbaues. Die Variante II schneidet am schlechtesten im Vergleich der C_{org} -Akkumulationsfruchtfolgen ab. Bei ihr stimmt das Verhältnis Input zu Output nicht überein.

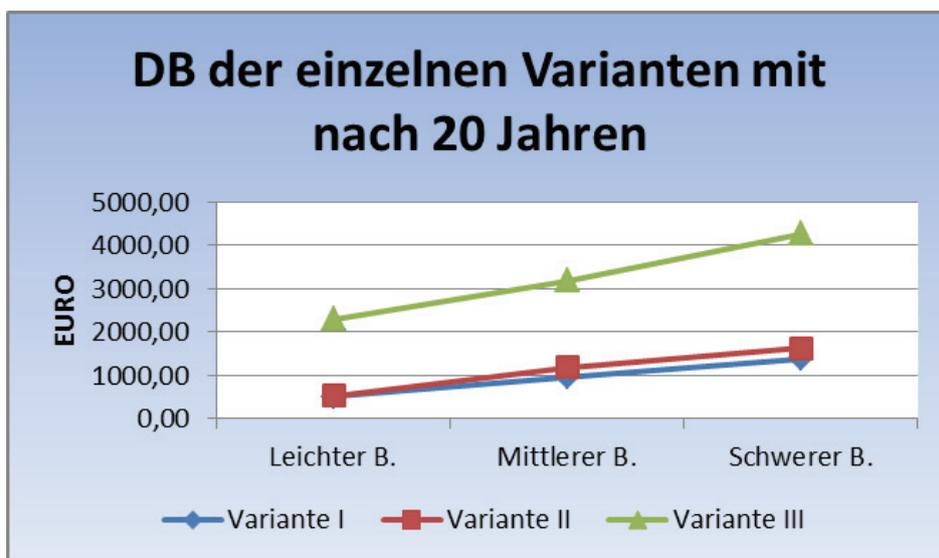


Abbildung 81: DB der einzelnen Varianten mit Einbeziehung des veränderten C_{org} -Gehaltes

Bei einer genaueren Betrachtung des Deckungsbeitrages durch die Erlöse und variablen Kosten (Abbildung 82) zeigt sich ein immenser Unterschied zwischen den Varianten I, II und III. Der auf der Grundlage beruht, dass in der Variante I ein zweijähriger Klee-grassanbau einbezogen wurde. Damit wurde bei dieser Variante angenommen, dass der Klee-grassauf-wuchs allein dem Zweck der Gründüngung dient. Das spiegelt sich gegenüber den anderen Varianten deutlich bei den geringeren variablen Kosten und auch bei den geringeren Erlösen wider. Bei dieser Variante müssen die anderen 3 Kulturen der Rotation die Erlöse für den Klee-grassanbau mit kompensieren. Solche Szenarien enthält die KTBL-Datenbank nicht. Zum besseren Vergleich der drei Varianten wurden für alle die gleichen Rohdaten verwandt. Es ist davon auszugehen, dass in der Realität die Erlöse und damit der Deckungsbeitrag mindes-

tens der ersten Folgekultur höher ausfallen würden. Die unterschiedlichen variablen Kosten bei den Varianten II und III sind im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass in Variante II sowohl der Gemengeanbau als auch das Knochenmehl höhere Kosten verursachen.

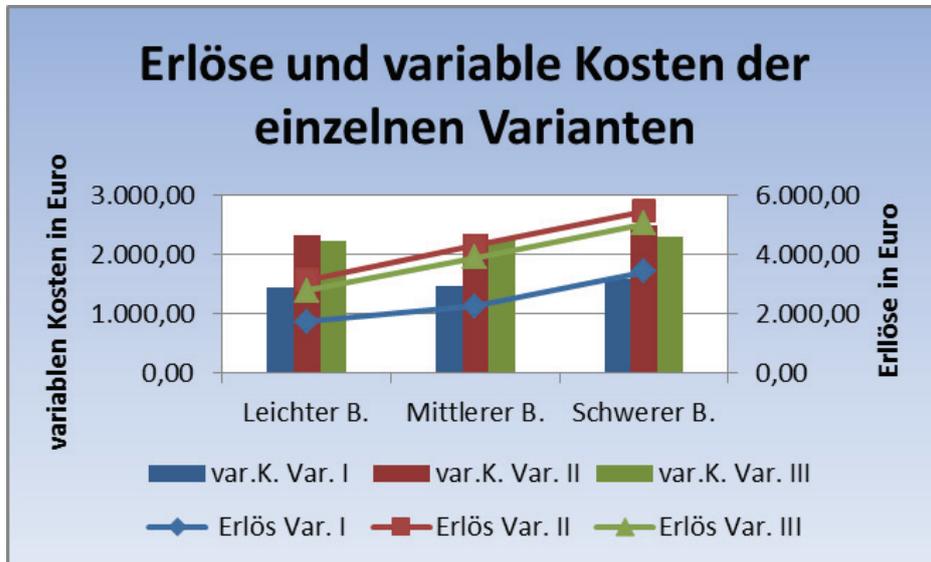


Abbildung 82: Erlöse und Variable Kosten der einzelnen Varianten

Um die Varianten ökonomisch nach den 20 Jahren miteinander zu vergleichen, wurde der Erlös mit der C_{org} -Entwicklung korrigiert und als prozentuale Veränderung zum Ausgangserlös berechnet (Abbildung 83). Diese Abbildung zeigt die Veränderung, die durch die verschiedenen Varianten hervorgerufenen C_{org} -Veränderungen entstanden ist. Daraus ist ersichtlich, dass die Variante II durch ihre geringere C_{org} -Akkumulation langfristig gegenüber den anderen beiden Varianten verlieren wird. Die Variante I hingegen kann zulegen, kommt aber nicht an die Variante III heran, da die Kleeegründung den tierischen Dünger nicht ersetzen kann. Wobei der Unterschied zwischen den beiden Varianten I und III mit Zunahme der Bodenpunkte geringer wird. Das kann die Variante I aus ökonomischer Sicht für Uckermärkische Standorte mit schwerem Boden zu einer Alternative machen.

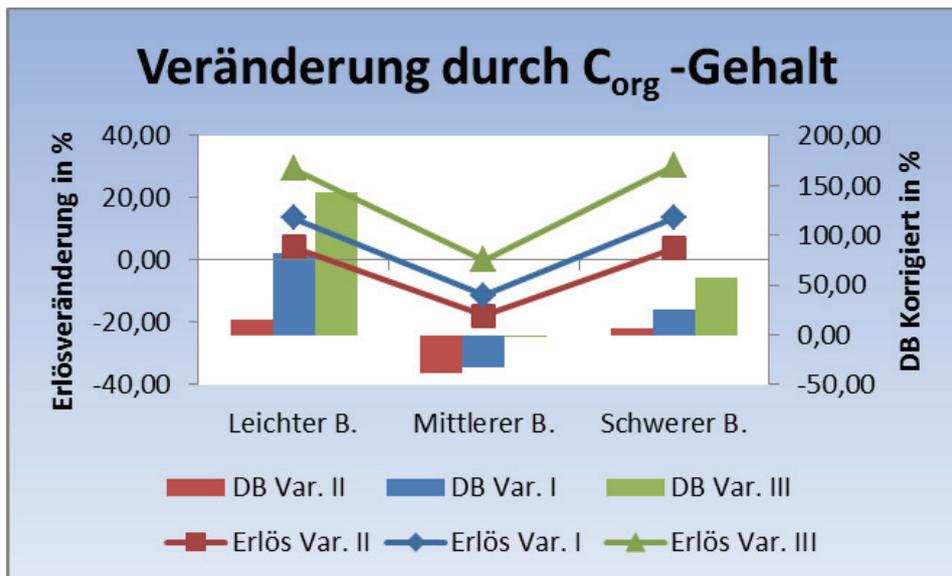


Abbildung 83: Entwicklung der Varianten nach 20 Jahren durch Einbeziehung der C_{org} -Veränderung

Warum eine ausgewogene Fruchtfolge so einen großen Einfluss auf die ökonomische Wirtschaftsweise eines Betriebes hat, wird beim Vergleich zwischen dem C_{org} -Gehalt und der Fruchtfolge sichtbar (Abbildung 84). Der begrenzende Faktor beim Ertrag ist das Wasser und die Uckermark zählt zu den niederschlagsarmen Regionen. Es ist deshalb umso wichtiger, das knappe Wasser im Boden zu speichern, um möglichst in jeder Phase der Vegetation den Kulturen genügend Wasser zur Verfügung zu stellen. Das ist die Voraussetzung für die Erwirtschaftung höherer Erträge und Erreichung des vollen Ertragspotentials. Mit diesem Hintergrund fällt die Variante II gegenüber den anderen beiden Varianten (I und III) deutlich ab. Bei dieser Variante wird zwar auch C_{org} akkumuliert, aber für die Bedingungen in der Uckermark wäre diese Variante nicht zu empfehlen.

Die nutzbare Feldkapazität wurde anhand des gewonnenen C_{org} -Gehaltes mittels Umrechnung auf den Humusprozentsatz ermittelt. Mit diesem gewonnenen oder verlorenen Humuswert kann die nutzbare Feldkapazität errechnet werden. Da die nFK sehr stark vom Humus beeinflusst wird, lässt es sich auch sehr gut nachzuvollziehen, warum ausgerechnet die Variante III mit ihrer Hühnertrockenkot-Düngung innerhalb von 20 Jahren so eine immense Steigerung der nFK erlebt. Es können bis 15 mm mehr pflanzenverfügbares Wasser gespeichert werden und selbst beim mittleren Boden bleibt sie zu mindestens gleich.

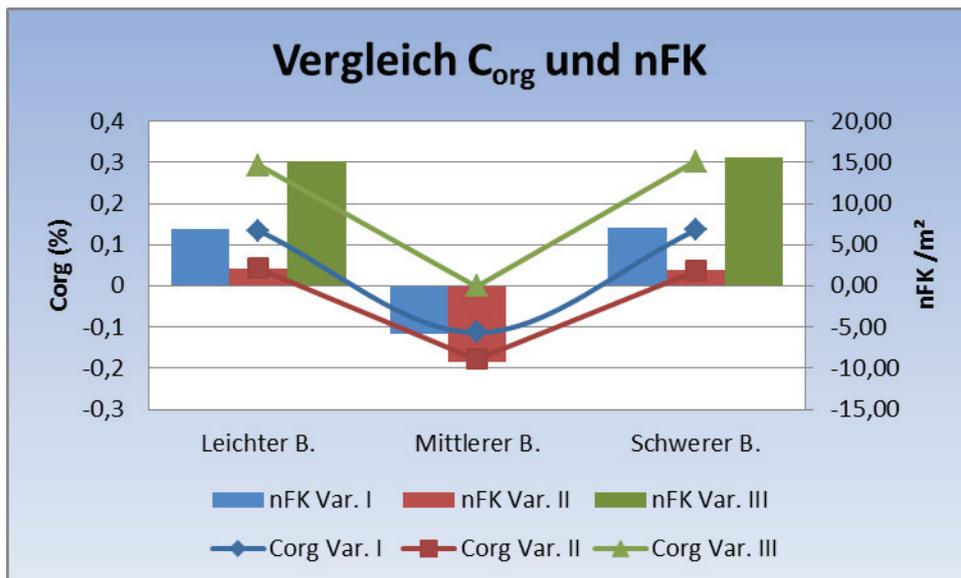


Abbildung 84: Vergleich zwischen C_{org} und nFK nach 4 Rotationen

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der möglichen Humusentwicklung auf drei typischen Uckermärkischen Böden mit drei verschiedenen ökologischen Fruchtfolgen für den Zeitraum 1991 - 2010.

Im ersten Teil der Arbeit wird auf die Grundlagen des Humus, den Grundgedanken der ökologischen Fruchtfolgegestaltung und die unterschiedlichen Bodentypen eingegangen. Im zweiten Teil werden die gemachten Simulationen dargestellt und beurteilt. Im dritten Teil kommt es zu einer Erweiterung der Simulationen mittels Auswirkungen von möglichen Klimaveränderungen. Abschließend erfolgt eine ökonomische Beurteilung der ersten gemachten Simulation unter Grundlage der veränderten C_{org} Gehalte.

Der Bodenumus ist ein komplexer Stoff, der sich nur schwer abgrenzenden lässt und seit über 60 Jahren wissenschaftlich erforscht wird. Sein Anteil in landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen beträgt ca. 1-5 %. Er ist das Medium, in welchem 95 % des organischen N gespeichert wird und so vor Auswaschungen geschützt ist. In der heutigen Zeit rückt der Humus wieder verstärkt in den Blickpunkt, weil in ihm ca. 58 % C enthalten sind. Das entspricht weltweit ca. 1600 Gigatonnen. Dadurch rückt er in den Fokus als möglicher C-Senker. Leider kommen bisher wissenschaftlich durchgeführte Experimente zu ernüchternden Ergebnissen.

Im Ökologischen Landbau spielt der Humus seit jeher eine große Rolle. Durch den Verzicht auf mineralische N Dünger ist er als indirekte N Quelle von großer Bedeutung. Die ökologische Fruchtfolgeplanung beinhaltet auch immer eine Planung der Humusbilanz, damit diese mindestens ausgeglichen ist. Da aber die ökologische Landwirtschaft auch auf allen anderen

chemischen Pflanzenschutz verzichtet, hat die Fruchtfolgegestaltung weitere Zwecke. Diese wären z.B. natürliche Unkrautunterdrückung, Konservierung der Nährstoffe, Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit usw.

Bei der Auswahl der geeigneten Fruchtfolgen für die Simulation wurden eine Standard Leguminosen Fruchtfolge (Variante I), der Mischanbau mit organischer Düngung (Variante II) und die Fruchtfolge mit Tierhaltungskooperation (Variante III) ausgewählt. Diese drei Fruchtfolgen sollten als Querschnitt Fruchtfolgespektrum des Ökologischen Landbaus dienen. Als Böden wurden drei unterschiedliche Typen ausgewählt. Kriterien waren hier unterschiedliche Ertragsfähigkeit und Vorkommen im Landkreis Uckermark, der Heimat einer der Autoren. Die Auswahl fiel für den leichten Boden auf den Typ Pararendzina, für den mittleren Boden auf den Typ Pseudogley und für den schweren Boden auf den Typ Kolluvisol.

Zur Durchführung der Simulation wurde das CCB Modell genommen, weil es zum einen frei verfügbar ist und zum anderen nach wissenschaftlichen Untersuchungen hohe Korrelationen mit der Realität aufweist. Es erfordert neben Klimadaten (Jahressumme Niederschlag, Durchschnittstemperatur) auch Boden- und Bewirtschaftungsdaten. Als Wetterstation wurde die Station in Neuruppin ausgewählt, da diese über durchgängig frei verfügbare Daten von 1961 an verfügt und in der näheren Umgebung der Uckermark liegt.

Im Ergebnis der ersten gemachten Simulation von 1991 - 2010 wies die Variante III die höchsten C-Akkumulationen auf, gefolgt von Variante I und Variante II. Bei den Unterschieden hinsichtlich der Bodentypen erwies sich der Pseudogley als Überraschung. Durch seinen hohen Sandanteil unterstellte das CCB Modell ihm eine sehr viel längere biologische aktive Zeit (BAT). Dies hatte zur Folge, dass er in fast keiner der gemachten Simulationen in der Lage war, ausgeglichene C-Salden zu bilden.

Im zweiten Teil der Simulation wurde dann ein Klimaszenario mit eingebaut um zu sehen, ob es in der Zukunft noch möglich ist, Humus aufzubauen. Hierzu wurden die Klimaparameter Niederschlag und Temperatur einzeln in zwei Richtungen verändert. Das Ergebnis war, es ist realisierbar, wenn auch auf niedrigerem Niveau.

Um die Fragen einer humusmehrenden Wirtschaftsweise besser ökonomisch beurteilen zu können, wurden unter Mithilfe der KTBL Datenbank Deckungsbeitragsberechnungen mit verschiedenen C_{org} Gehalten durchgeführt. Durch die Erhöhung der organischen Substanz ist es möglich, höhere und stabilere Markterträge zu erwirtschaften und damit langfristig erfolgreicher zu sein.

Der Grundgedanke von geschlossenen Stoffkreisläufen kann also vom Ökologischen Landbau auch auf konventionell wirtschaftende Betriebe übertragen werden. Denn nicht die kurzfristige Gewinnmaximierung, sondern der langfristige Erfolg sollte das Handeln bestimmen.

8 Diskussion über alle Simulationen

Der rote Faden dieser Arbeit soll auf die Probleme einer nicht nachhaltigen Wirtschaftsweise unter dem Einfluss des sich veränderten Klimas hinweisen und mögliche Alternativen aufzeigen. Die Autoren hegen zwar Sympathien für den Ökologischen Landbau, möchten aber nicht missverstanden werden, dass der Ökologische Landbau die Lösung aller Probleme ist. Es sollte vielmehr auf die Grundgedanken des Ökologischen Landbaus von Kreislaufwirtschaft und ausgeglichenen stofflichen Bilanzen hingewiesen werden, die für jeden nachhaltig wirtschaftenden Betrieb gelten sollten.

Doch leider ist das heutige Wirtschaften der Betriebe auf kurzfristige Gewinnmaximierung durch den Anbau von sehr eingegengten Fruchtfolgen, die diesen Namen kaum noch verdienen, ausgerichtet. Auch das Hinzukommen von neuen Einkommensquellen wie Biogas-erzeugung ist unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit kritisch zu beurteilen. Denn was nutzen 20 Jahre EEG Vergütung, wenn das Ackerland danach seine Fruchtbarkeit verloren hat und der nachfolgenden Generation die Produktionsgrundlage fehlt.

Mit Kenntnis dieser Probleme stellen die vorgestellten Fruchtfolgevarianten somit die Überlegungen dar, wie der Humusgehalt gesteigert werden könnte. Vor diesen Überlegungen stand die Frage, ob man durch den Verzicht auf Tierhaltung mit zwei alternativen Fruchtfolgen trotzdem den Humusgehalt steigern kann und wenn ja wie viel.

Dass Variante III mit der organischen Düngung in Form von HTK die höchsten C-Akkumulationen aufwies, war erwartet worden. Nicht erwartet worden war, dass die Bodentypen einen so enormen Einfluss auf die C-Akkumulation haben. Glücklicherweise besitzt der Pseudogley flächenmäßig eine nicht so starke Verbreitung in Brandenburg, denn sonst wäre ein Humusaufbau mit den vorgestellten Fruchtfolgen nicht möglich.

Da diese negative Entwicklung hauptsächlich auf die Bewertung der biologisch aktiven Zeit (BAT) von Seiten des Programms CCB zurückzuführen ist, kann die Frage gestellt werden, ob das bei diesen Bodentypen wirklich in der Ausprägung so ist. Ein Indiz könnte dafür die Simulation der N-Salden im Jahr 1993 sein, welche eine völlig andere Bewertung bei diesem Bodentyp als bei den anderen beiden simuliert. Natürlich ist ein Simulationsprogramm nur so gut wie die Daten mit denen es gefüttert wird. Während die Wetterdaten vom Deutschen

Wetterdienst eine hohe Güte aufweisen, musste bei bestimmten Daten, wie z.B. bei den nicht zur Verfügung stehenden N_{\min} Werten, Abstriche gemacht werden.

Das Ergebnis der ersten Simulationsrunde zum Thema Humusmehrung ist, es ist grundsätzlich mit allen Fruchtfolgen möglich, Humus aufzubauen. Dabei erfolgte in Variante III mit dem Einsatz des HTK die höchsten C-Akkumulationen, gefolgt von Variante I mit dem zweimaligen Kleegrasanbau. Variante II mit Getreide Leguminosen Gemengeanbau hatte auf allen Böden die niedrigsten C-Akkumulationen.

In der zweiten Simulationsrunde wurde dann versucht, die beschriebenen Klimaveränderungen in die Arbeit mit einfließen zu lassen. Dazu wurden die Wetterparameter Niederschlag und Temperatur in zwei Richtungen verschoben, um ihre Auswirkung besser beurteilen zu können.

Es wurde ersichtlich, dass durch die Erhöhung der Durchschnittstemperatur und Verringerung der Niederschläge sehr viel weniger C im Boden gespeichert werden kann. Die Entwicklung war zwar bei den simulierten Fruchtfolgen noch immer positiv, doch stellte sich die Frage, ob diese Entwicklung auf Dauer gehalten werden kann. Nach den Ergebnissen dieser Simulation kann die These, dass durch steigende CO_2 Gehalte in der Luft ja auch mehr C im Boden eingelagert werden könnte, klar widerlegt werden. Es wird in Zukunft für einen Großteil der Landwirtschaft nicht darum gehen, mehr Humus zu bilden, sondern vielmehr den vorhandenen Humus zu erhalten.

Im letzten Teil stand die ökonomische Bewertung der Humusmehrung im Mittelpunkt. Die Erträge wurden während der Simulation nicht verändert um die unterschiedlichen Bodentypen und Klimaeinflüsse besser beurteilen zu können. Für die Höhe der Deckungsbeiträge wurde auf die Einteilung der KTBL Datenbank in leichte, mittlere und schwere Böden zurückgegriffen. Die DB wurden dann mittels Berechnung an die veränderten C_{org} Gehalte angepasst. Diese Vorgehensweise ist natürlich eine starke Vereinfachung, weil die Bodentypen aus der KTBL Datenbank nicht unbedingt dieselben sind wie in der Simulation, doch können damit Tendenzen wiedergegeben werden.

Durch die Anpassung der DB kam es zu einer veränderten monetären Rangfolge innerhalb der Varianten. War während der Simulation Variante II die ökonomische rentabelste wird diese nach 20 Jahren durch die höheren Marktleistungen von Variante III überholt. Ein weiterer Parameter, der sich durch die Veränderung des C_{org} ändert, ist die nfK . Hier erfolgt eine Anhebung bei Variante III auf dem leichten und schweren Boden um 15 mm, was in trockenen Jahren durchaus ein Vorteil sein kann.

Andere Parameter, wie verbesserte Nährstoffverfügbarkeit, leichtere Bodenbearbeitung, Erhöhung der Qualität der Ernteprodukte, können leider nicht näher ökonomisch beurteilt werden, da dazu die Datenbasis fehlt. Trotzdem lässt sich die Grundaussage treffen, dass eine langfristig nachhaltig ausgelegte Fruchtfolgeplanung den ackerbaulichen Ertrag steigert bzw. die Stabilität der Erträge sichert.

9 Literaturverzeichnis

- AD-HOC-Arbeitsgruppe Boden. (2005). *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- ASMUS, F., & HERMANN, V. (1977). *Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft Band 15 Heft 11 Reproduktion der organischen Substanz des Bodens*. Berlin: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.
- BIOLAND. (15. 03 2010). <http://www.bioland.de>. Abgerufen am 25. 06 2012 von http://www.bioland.de/fileadmin/bioland/file/bioland/qualitaet_richtlinien/2010-03-15_Bioland_Richtlinien.pdf
- BÖHM, H. (2007). *Auswirkungen einer Weißklee-Untersaat in Winterraps auf den Ertrag der Folgekultur Weizen*. Abgerufen am 31. 05 2012 von <http://orgprints.org>: <http://orgprints.org/9689/>
- BÖLW. (2009). *28 Antworten zum Stand des Wissens rund um Öko-Landbau & Bio-Lebensmittel*. Berlin: BÖLW.
- BRANDENBURG, L. (2006). *Daten zum integrierten Klimaschutzmanagement im Land Brandenburg*. Potsdam: LUA, Ref. Umweltinformation/Öffentlichkeitsarbeit S5.
- BRANDENBURG, L. (02 2010). [mugv.brandenburg.de](http://www.mugv.brandenburg.de). Abgerufen am 26. 06 2012 von http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/i_fb113kurz.pdf
- BROCK, C., HOYER, U., LEITHOLD, G., & HÜLSBERGEN, K.-J. (08.2008). *Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im Ökologischen Landbau*. Berlin: Köster.
- Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G., & Hülsbergen, K.-J. (2008). *Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im Ökologischen Landbau*. Berlin: Köster.
- BROCK, C., LEITHOLD, G., & SCHULZ, F. (2009). *Entwicklung der Humusgehalte in Abhängigkeit von Fruchtart/Anbausystem in einem Dauerfeldversuch*. Abgerufen am 16. 04 2012 von http://orgprints.org/14564/1/Brock_14564.pdf
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, N. U. (08 2011). [bmu.de](http://www.bmu.de). Abgerufen am 01. 07 2012 von http://www.bmu.de/klimaschutz/klimaschutz_im_ueberblick/doc/print/2896.php
- DAHLMANN et al. (2007). *Einfluss unterschiedlicher Konkurrenzverhältnisse beim Mischanbau von Sommergerste und Erbse auf den Kornertrag, die Kornqualitäten und der symbiontischen N₂-Fixierung*. Hohenheim: 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
- EG-Öko-Basisverordnung. (Stand 2009). *VERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 27 Juni 2007*. Brüssel: Eu-Rat.

- FIEDLER, H. J., & REISSIG, H. (1964). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Jena: VEB GUSTAV Fischer Verlag.
- FLAMM, C. (2009). *Wirkung eines Mischanbaues von Weizensorten auf Anbaueigenschaften, Krankheiten, Ertrag und Qualität unter den Bedingungen des Biolandbaues*. Zürich: Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau.
- FRANKO, KOLBE, & THIEL. (2010). *Nutzung von Bodenschätzungsdaten zur Modellierung der Humusreproduktion mit dem Modell CCB*. Brandenburg: Berichte der DBG.
- GRUBER, H., & THAMM, U. (05.2005). *Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter*. Dummerdorf: Landesforschungsanstalt Meckelburg Vorpommern.
- GRUBER, H., & THAMM, U. (2004). *Entwicklung der Grundnährstoffgehalte und des pH-Wertes im Boden nach 10-jähriger Bewirtschaftung nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus*. Abgerufen am 04. 06 2012 von <http://www.orgprints.org/http://orgprints.org/5125/2/h33-03.pdf>
- HAGEDORN, F. (2009). Humus, ein großer Speicher, aber eine kleine Senke für atmosphärisches CO₂. In *Humus in Böden Garant der Fruchtbarkeit, Substrat für Mikroorganismen, Speicher von Kohlenstoff* (S. 49-54). Bayrische Akademie der Wissenschaften: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- HERMANN, G., & PLAKOLM, G. (1993). *Ökologischer Landbau, Grundwissen für die Praxis*. Wien: Österreichischer Agrarverlag.
- HEUWINKEL, H., GUSTER, R., & SCHMIDHALTER, U. (04.2005). Auswirkung einer Mulch statt Schnittnutzung von Klee gras auf die N-Flüsse in einer Fruchtfolge. In LfL.Bayern, *Tagungsband, Ökolandbautag am 16.02.2005 in Weihenstephan* (S. 71-79). Freising-Weihenstephan: LfL.Bayern.
- HÜLSBERGER. (2007). Der Humusgehalt – die wichtigste Kennzahl für die Kennzahl für die Bodenfruchtbarkeit. In BIO AUSTRIA, *Bauerntage 2007* (S. 27-30). WELS.
- JANETZKO, P., & SCHMIDT, R. (1996). Norddeutsche Jungmoränenlandschaft. In BLUME et al, *Handbuch der Bodenkunde* (S. Abschnitt 3.4.4.2, S.28). Landsberg/ Lech: ecomed verlagsgesellschaft.
- KAHNT, G. (1983). *Gründung*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag-GmbH.
- KIEL, W. (1954). *Acker- und Pflanzenbau*. Berlin: Deutscher Bauernverlag.
- KOLBE et al. (08.2004). *Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau*. Leipzig: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- KOLBE, H. (2012). *Bilanzierungsmethoden und Versorgungsniveau für Humus*. Sachsen: LfULG_Heft_19_2012.

- KÖNECKE. (1961). *Fruchtfolge*. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- KÖRSCHENS, M. (2010). *Wissenschaftliche, experimentelle und methodische Grundlagen der Humusbilanzierung*. anlässlich der Grünen Woche am 22. Januar 2010 im ICC Berlin: Fachvortragsreihe "Humuswirtschaft-eine Option für den Klimaschutz" des Förderverbandes Humus e.V.
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E., BÖNIG, H. D., ELLENBROCK, R., FRANKO, U., et al. (2004). *Humusbilanzierung Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt. VDLUFA*,. Bonn.
- Landesamt für Bergbau, G. u. (2001). *Fachinformationssystem Boden*. Abgerufen am 15. Mai 2012 von <http://www.geo.brandenburg.de/boden/>
- Landesamt für Bergbau, G. u. (2002). *Bodengeologie - Kartenwerke*. Abgerufen am 13. 06 2012 von <http://www.lbgr.brandenburg.de/sixcms/detail.php?id=lbm1.c.363750.de>
- Landesamt für Natur NRW, U. u.-W. (2011). *lanu.nrw.de*. Abgerufen am 25. 06 2012 von <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe29/fabe29.pdf>
- LBGR Brandenburg. (2010). *Atlas zur Geologie von Brandenburg, 4. Auflage*. Potsdam: LBGR Brandenburg.
- LEITFELD, J. (2009). Einfluss der Bewirtschaftung auf den Bodenkohlstoff in der Landwirtschaft. In *Humus in Böden Garant der Fruchtbarkeit, Substrat für Mikroorganismen, Speicher von Kohlenstoff* (S. 85-90). Bayrische Akademie der Wissenschaften: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- LEITHOLD, G. (1984). Untersuchung der Beziehung zwischen ackerbaulichen Maßnahmen, Ertrag und Humusreproduktion sowie Erarbeitung einer Methode zur Berechnung des bedarfs des Bodens an organischer Primärschubstanz. *Dissertation*. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- LEITHOLD, G., & HÜLSBERGEN, K.-J. (1997). *Humusbilanz-Methoden und anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator*. Initiative zum Umweltschutz Bd. 5.
- MARSCHNER, B. (2009). Humusabbau Stabilität und Labilität organischer Bodenschubstanz. In *Humus in Böden Garant der Fruchtbarkeit, Substrat für Mikroorganismen, Speicher von Kohlenstoff* (S. 41-47). Bayrische akademie der Wissenschaften: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Ministerium für Ländliche Entwicklung, U. u. (2011). Landschaftsgenese und Bodenentwicklung in Brandenburg. In *Sammelmappe "Steckbrief Brandenburger Böden"* (S. 3-6). Potsdam: MUGV.
- MINONZIO, G. (1998). *Methanemission der schweizerischen Landwirtschaft*. Bern: Schriftenreihe Umwelt, 298 FOEN/BUWAL.
- MLUV. (2009). *Dauerfeldversuche in Brandenbrug und Berlin*. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Land Brandenburg.

- MLUV Referat Boden und Umweltgeologie. (2011). 2.2 Pararendzina. In MULV, *Sammelmappe "Steckbrief Brandenbruger Böden"*. Potsdam: MULV & NaturSchutzFonds.
- MLUV Referat Boden und Umweltgeologie. (2011). 7.1 Pseudogley. In MLUV, *Sammelmappe "Steckbrief Brandenbruger Böden"*. Potsdam: MULV & NaturSchutzFonds.
- MÜLLER, G. (1965). *Bodenbiologie*. Institut für Bodenkund und Mikrobiologie Karl-Marx-Universität Leipzig: Gustav Fischer Verlag Jena.
- MÜLLER, T. (2009). N-Management im Ökologischen Landbau zwischen Nachhaltigkeit und Konventionalisierung. In Itz-Augustenber, & U. Hohenheim, 2. *Wintertagung Ökologischer Landbau Baden Württemberg* (S. 32-85). Abgerufen am 02.06.2012 von https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1246644_11/ltz_2.%20Wintertagung%20%C3%B6kologische%20Landbau%20-%20Veranstaltungsunterlagen.pdf.
- MULV Referat Boden und Umweltgeologie. (2011). 8.1 Kolluvisol. In MULV, *Sammelmappe "Steckbrief Brandenbruger Böden"*. Potsdam: MLUV & NaturSchutzFonds.
- MUNZERT et al, I. (2006). *Pflanzliche Erzeugung, 12.Auflage*. München: BLV Buchverlag GmH & Co.KG.
- NATURLAND. (05 2011). *naturland.de*. Abgerufen am 25. 06 2012 von http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Richtlinien_deutsch/Naturland-Richtlinien_Erzeugung.pdf
- NOAA, E. S. (2012). <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>. Abgerufen am 01. 07 2012 von <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#global>
- PETERS, J., & GURGEL, A. (04.05.2012). Kulturen fürs Intermezzo. *Bauern Zeitung*, 28-30.
- POMMER, G., & FUCHS, R. (2003). *Produktionstechnische Versuche zur Fruchtfolge*. Freising: LfL.Bayern.
- Prof. Dr. FINCKH. (20. 08 2002). *Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau*. Abgerufen am 29. 05 2012 von <http://www.wiz.uni-kassel.de>: http://www.wiz.uni-kassel.de/phytomed/oekologischer_pflanzenschutz.pdf
- Prof. Dr. FINCKH. (2002). *Sortenmischungen bei Getreide: Eine Chance für die ökologische Qualitätsproduktion*. Kassel: SÖL, Beraterrundbrief.
- REINHOLD, J. (05.03. 2009). *Humuswirtschaft und Kompost, Sächsische Interessengemeinschaft Ökologischer Landbau e.V.* Abgerufen am 5. 05 2012 von <http://www.bund-sachsen.de/doc/agrarwende/vortraege2/01.pdf>
- ROEMER, & SCHEFFER. (1949). *Lehrbuch des Ackerbaues, Dritte Auflage*. Berlin: Paul Parey.

- ROEMER, & SCHEFFER. (1959). *Lehrbuch des Ackerbaues, Fünfte Auflage*. Berlin: Paul Parey.
- ROGASIK, J., & REINHOLD, J. (06.2006). *Grundlagen der guten Fachlichen Praxis*. Köln: Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.(BGK).
- SAUERBECK, D. (1992). *Funktion und Bedeutung der organischen Substanz für die Bodenfruchtbarkeit-ein Überblick*. Bonn: Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 206, Band 4 .
- SCHEFFER, & SCHACHTSCHABEL. (2002). *Lehrbuch der Bodenkunde, 15.Auflage*. Berlin: Spektrum Akademischer verlag.
- Scheffer, F., & Ulrich, B. (1960). *Humus und Humusdüngung*. Göttingen: Ferdinand Verlag Stuttgart.
- SCHEFFER, F., & ULRICH, B. (1960). *Humus und Humusdüngung*. Göttingen: Ferdinand Verlag Stuttgart.
- SCHLEISS & FUCHS. (2009). *Ökologische Bewertung der organischen Substanz*. CH-Frick: FIBL.
- SCHMIDT. (2003). *Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau*. Giessen: Justus-Liebig-Universität Giessen.
- SCHNEIDER et al. (1924). *Praktisches Handbuch der Landwirtschaft*. Reutlingen: Enßlin & Laiblin.
- THOME. (2009). *Grundlagen Pflanzenbau "Fruchtfolge"*. Hochschule Neubrandenburg: Prof. Dr. Thome.
- TRENBERTH, FASULLO, & KIEHLI. (07. 02 2009). *wikipedia.org*. Abgerufen am 2012. 07 01 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>
- URBATZKA et al. (03.2011). Erfolg mit Untersaaten. *Bioland*, 9-10.
- URBATZKA, P., & CAIS, K. (2009). *Abschlussbericht Produktionstechnische Versuche zu Zwischenfrüchten 2002 - 2009*. Freising: LfL Bayern, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz.
- URBATZKA, REHM, SALZEDER, & WIESINGER. (12.2011). Sommererbse sucht Partner. *Bioland*, 8-9.
- VETTER, & WEISER. (2011). *Humusbilanzen in Deutschland - Ist Biokohle als Humusmehrer notwendig?* Berlin: TLL.
- ZIMMER, J., & DITTMANN, B. (2003). *Nährstoffbilanzen im ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme*. Abgerufen am 15. 04 2012 von <http://www.gruendungsnetz.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/N%C3%A4hrstoffbilanzen%20im%20%C3%B6kologischen%20Landbau.pdf>

10 Anhang

10.1 Zu Gliederungspunkt Punkt 4

Tabelle 11: Bodengruppenübersicht

Zuordnung von Bodenartengruppen (BG) der Düngung nach VDLUFA ¹⁾ zu den Bodenartenuntergruppen nach KA-5 ²⁾

VDLUFA			KA-5				
BG	Bezeichnung	Symbol	Bodenartenuntergruppe	Symbol	Ton %	Schluff %	Sand %
1	Sand	S	reiner Sand	Ss	0-5	0-10	85-100
			schwach schluffiger Sand	Su 2	0-5	Okt 25	70-90
2	schwach lehmiger Sand	l'S	mittel schluffiger Sand	Su 3	0-8	25-40	52-75
			Stark schluffiger Sand	Su 4	0-8	40-50	42-60
			schwach lehmiger Sand	Sl 2	5-8	10-25	67-85
			mittel lehmiger Sand	Sl 3	8-12	10-40	48-82
			schwach toniger Sand	St 2	5-17	0-10	73-95
3	stark lehmiger Sand	IS	schluffig-lehmiger Sand	Slu	8-17	40-50	33-52
			stark lehmiger Sand	Sl 4	12-17	10-40	43-78
			mittel toniger Sand	St 3	17-25	0-15	60-83
4	sandiger/ schluffiger Lehm	sL/ uL	schwach sandiger Lehm	Ls 2	17-25	40-50	25-43
			mittel sandiger Lehm	Ls 3	17-25	30-40	35-53
			stark sandiger Lehm	Ls 4	17-25	15-30	45-68
			stark sandiger Lehm	Ts 4	25-35	0-15	50-75
			reiner Schluff	Uu	0-8	80-100	0-20
			sandier Schluff	Us	0-8	50-80	12-50
			sandig-lehmiger Schluff	Uls	8-17	50-65	18-42
			schwach toniger Schluff	Ut 2	8-12	65-92	0-27
			mittel toniger Schluff	Ut 3	12-17	65-88	0-23
			stark toniger Schluff	Ut 4	17-25	65-83	0-18
			schluffiger Lehm	Lu	17-30	50-65	5-33
5	toniger Lehm bis Ton	tL/T	schwach toniger Lehm	Lt 2	25-35	30-50	15-45
			mittel toniger Lehm	Lt 3	35-45	30-50	5-35
			sandig-toniger Lehm	Lts	25-45	15-30	25-60
			mittel sandiger Lehm	Ts 3	35-45	0-15	40-65
			schwach sandiger Ton	Ts 2	45-65	0-15	20-55
			Lehmiger Ton	Tl	45-65	15-30	5-40
			schwach schluffiger Ton	Tu 2	45-65	30-55	0-25
			mittel schluffiger Ton	Tu 3	30-45	50-65	0-20
			stark schluffiger Ton	Tu 4	25-35	65-75	0-10
		T	reiner Ton	Tt	65-100	0-35	0-35
6	Anmoor	Mo	15-30 % org. Substanz				
	Niedermoore	Hn	> 30 % org. Substanz				

1) Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)-
LLFG Sachsen-Anhalt, LVLF Brandenburg und LFBMV Mecklenburg-Vorpommern 2008

2) AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover

10.2 Zu Gliederungspunkt 6

Tabelle 12: Umrechnung der Bodenhumusgehalte zum organischen Kohlenstoffgehalt

Bodenart	Humus	TRD		Humus	Corg	
	%	g/cm ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	%
Pseudogley	2,84	1,41	1410	40,04	23,23	1,65
Kolluvisol	2,51	1,59	1590	39,91	23,15	1,46
Paradenzina	1,43	1,55	1550	22,17	12,86	0,83

Tabelle 13: Daten Corg- Berechnung Var. I normaler Temperatur

Jahr	Fruchtfolge	leichter Boden						mittlerer Boden						schwerer Boden									
		Corg (%)	Corg Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	Cim Boden [t/ha]	Corg (%)	Corg Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	Cim Boden [t/ha]	Corg (%)	Corg Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	Cim Boden [t/ha]	
1991	0	0,83						1,65							1,46								
1991	Klee	0,8481	1481,9	687,2	794,7	3080,4	37,2	1,6356	1614,2	2256	-641,8	4894,7	73,3	1,4725	1605,9	1070,6	535,3	3694,1	62,9				
1992	Klee	0,8652	1485,7	736,4	749,3	3136,7	37,9	1,6212	1615,8	2263,4	-647,6	4905,1	72,6	1,4856	1610,8	1052,7	558,1	3685,3	63,4				
1993	WW+ZF	0,8705	870,3	636,5	233,8	1446	38,3	1,6042	1133	1895,6	-762,6	2943,4	71,9	1,5031	1687,8	937,3	750,5	2534,2	64,4				
1994	Hafer	0,8976	2024,7	834,8	1189,9	3160,1	39,4	1,6055	2139,1	2078,7	60,4	4520,5	71,9	1,527	2186	1165,2	1020,8	3644,1	65,3				
1995	Roggen	0,8951	846,3	956,8	-110,5	1742,6	39,3	1,5879	1022,5	1810,3	-787,8	2761,6	71,1	1,527	1342,6	1343	-0,4	2606,3	65,2				
1996	Klee	0,9073	1509,9	975,3	534,6	3389	39,8	1,5885	1619,4	1589,7	29,7	4231,9	71,2	1,5346	1648	1325,1	322,9	3981,1	65,5				
1997	Klee	0,9147	1495,1	1170,3	325,8	3587,3	40,1	1,5845	1616,5	1795,1	-178,6	4438	71	1,5367	1624,3	1533,7	90,6	4188	65,6				
1998	WW+ZF	0,9128	886,5	966,3	-79,8	1786,3	40,1	1,572	1134,9	1693,9	-559	2743,5	70,4	1,5461	1720,2	1315,2	405	2936,6	66,1				
1999	Hafer	0,9312	2031	1222,7	808,3	3556,7	40,9	1,578	2137,8	1867,3	270,5	4308,1	70,7	1,5593	2180,4	1617,8	562,6	4094,6	66,6				
2000	Roggen	0,9219	831,6	1239,9	-408,3	2009,3	40,4	1,5619	1023,9	1744,9	-721	2697,5	70	1,5514	1328,4	1663,1	-334,7	2910,2	66,3				
2001	Klee	0,9308	1500,1	1107,9	392,2	3514,5	40,8	1,5617	1618,7	1627,2	-8,5	4289,9	70	1,5557	1633	1449,7	183,3	4094	66,4				
2002	Klee	0,9394	1488,7	1111,8	376,9	3516,4	41,2	1,5597	1615,6	1703,9	-88,3	4345,2	69,9	1,5604	1614,8	1413,2	201,6	4051,4	66,6				
2003	WW+ZF	0,9318	910,9	1245,2	-334,3	2091,2	40,9	1,55	1134,9	1572,3	-437,4	2621,7	69,4	1,5627	1762	1660,8	101,2	3325,3	66,8				
2004	Hafer	0,9511	2000,4	1152,2	848,2	3457,8	41,8	1,5603	2136,2	1670,5	465,7	4109,8	69,9	1,5777	2132,6	1493,5	639,1	3926	67,4				
2005	Roggen	0,9456	821,4	1062,5	-241,1	1824,5	41,5	1,5479	1023,6	1580,1	-556,5	2532,5	69,3	1,5757	1308,2	1392,4	-84,2	2623	67,4				
2006	Klee	0,9502	1525	1321,6	203,4	3753,7	41,7	1,5469	1620,6	1661,6	-41	4306,1	69,3	1,5748	1670	1707,1	-37,1	4389	67,2				
2007	Klee	0,9591	1481,8	1090,6	391,2	3482,4	42,1	1,5449	1615,5	1707,1	-91,6	4348,1	69,2	1,5803	1605,9	1369,1	236,8	3950,8	67,5				
2008	WW+ZF	0,9534	901,1	1152,9	-251,8	1993,3	41,9	1,535	1135,7	1578,5	-442,8	2628,5	68,8	1,5857	1742,3	1513,4	228,9	3164,2	67,8				
2009	Hafer	0,9692	2023,8	1327,1	696,7	3654,8	42,5	1,5458	2135,6	1650,4	485,2	4089,2	69,3	1,5964	2168,3	1709,6	458,7	4175,4	68,2				
2010	Roggen	0,9644	800,3	1011,7	-211,4	1753,6	42,4	1,5367	1020,4	1427,3	-406,9	2376,9	68,9	1,5955	1279,6	1315,8	-36,2	2519,3	68,2				

Tabelle 14: Daten Corg- Berechnung Var. I Niederschlag gering

		leichter Boden (361mm)					mittlerer Boden (361mm)					schwerer Boden (361mm)							
		0,83				1,65					1,46								
1991	0																		
1991	Klee	0,8481	1481,9	687,2	794,7	3080,4	37,2	1,6356	1614,2	2256	-641,8	4894,7	73,3	1,4725	1605,9	1070,6	535,3	3694,1	62,9
1992	Klee	0,8525	1491,4	859	632,4	3269,4	37,8	1,6212	1615,8	2263,3	-646,5	4903,9	72,6	1,4816	1618,1	1230,4	387,7	3876,1	63,2
1993	WW + ZF	0,8647	899,2	801,9	97,3	1631,9	38	1,6042	1133	1894,4	-761,4	2942,2	71,9	1,4945	1744,1	1193,6	550,5	2835	63,9
1994	Hafer	0,8874	2023,7	1027,3	996,4	3355,6	38,9	1,6055	2139,1	2077,5	61,6	4519,4	71,9	1,5115	2162,9	1435	727,9	3896,6	64,5
1995	Roggen	0,8841	822,4	969,6	-147,2	1730,2	38,8	1,5879	1022,5	1810,4	-787,9	2761,8	71,1	1,5104	1316,4	1362,8	-46,4	2598,6	64,5
1996	Klee	0,8976	1500,8	908,6	592,2	3314,4	39,4	1,5885	1619,4	1590,3	29,1	4323,5	71,2	1,5199	1634,5	1230,6	403,9	3874,5	64,9
1997	Klee	0,9064	1495,6	1106,3	389,3	3522,9	39,7	1,5845	1616,5	1795,5	-179	4438,4	71	1,5241	1623,6	1442,8	180,8	4096,4	65,1
1998	WW + ZF	0,9024	905,1	1083,3	-178,2	1919,6	39,6	1,572	1134,9	1693,3	-558,4	2742,9	70,4	1,5305	1754	1480,5	273,5	3132	65,4
1999	Hafer	0,92	2020,6	1247,4	773,2	3573,1	40,4	1,578	2137,8	1867,2	270,6	4308	70,7	1,5424	2156,5	1646,3	510,2	4102,3	65,9
2000	Roggen	0,9112	826,7	1209,6	-382,9	1973,8	40	1,5619	1023,9	1745,1	-721,2	2697,7	70	1,5354	1323,2	1620,4	-297,2	2862,1	65,6
2001	Klee	0,9192	1500,9	1148,7	352,2	3559,4	40,3	1,5617	1618,7	1627	-8,3	4269,8	70	1,5385	1633,5	1500,6	132,9	4149,4	65,7
2002	Klee	0,9251	1491,1	1234,1	257	3643,3	40,6	1,5597	1615,6	1703,4	-87,8	4344,6	69,9	1,5397	1617,8	1566,8	51	4211	65,7
2003	WW + ZF	0,9195	904,7	1150,6	-245,9	1985,3	40,3	1,5499	1134,9	1572,7	-437,8	2622,1	69,4	1,5448	1763,9	1534,8	219,1	3184,8	66
2004	Hafer	0,9375	2014,5	1223,7	790,8	3543,5	41,1	1,5603	2136,2	1670,1	466,1	4109,4	69,9	1,5579	2149,1	1586,4	562,7	4035,3	66,5
2005	Roggen	0,9294	826,4	1180,2	-353,8	1944,8	40,8	1,5479	1023,6	1579,5	-555,9	2531,9	69,3	1,5525	1321,1	1554,2	-233,1	2794,6	66,3
2006	Klee	0,9351	1507,4	1254,6	252,8	3672,1	41	1,547	1620,6	1661,9	-41,3	4306,5	69,3	1,553	1642,8	1618,5	24,3	4277,2	66,3
2007	Klee	0,9394	1490,6	1304,9	185,7	3713,1	41,2	1,5449	1615,5	1706,1	-90,6	4347,2	69,2	1,5524	1617,2	1641,2	-24	4284,1	66,3
2008	WW + ZF	0,9324	906,6	1211,4	-304,8	2047,2	40,9	1,535	1135,7	1578,3	-442,6	2628,2	68,8	1,556	1757,7	1602,4	155,3	3254,9	66,5
2009	Hafer	0,9497	2013,1	1253,7	759,4	3572,4	41,7	1,5458	2135,6	1650,7	484,9	4089,5	69,3	1,5685	2145,9	1614,4	531,5	4060,5	67
2010	Roggen	0,9435	816,8	1090,1	-273,3	1846,1	41,4	1,5367	1020,4	1426,9	-406,5	2376,5	68,9	1,5657	1307	1425,4	-118,4	2653,2	66,9

Tabelle 15: Daten Corg- Berechnung Var. I Niederschlag hoch

		leichter Boden (760mm)					mittlerer Boden (760mm)					schwerer Boden (760mm)								
		0,83				1,65					1,46									
0	1991	0																		
1	1991	Klee	0,8517	1464,2	510,1	954,1	2871,9	37,4	1,6356	1614,2	2258	-643,8	4896,7	73,3	1,4785	1583,3	793,1	790,2	3376,3	63,2
2	1992	Klee	0,8704	1496,4	678,5	817,9	3097,7	38,2	1,6212	1615,8	2263,8	-648	4905,4	72,6	1,4938	1624,3	970,4	653,9	3627,1	63,8
3	1993	WW + ZF	0,8757	870,2	638,1	232,1	1453,6	38,5	1,6042	1133	1895,4	-762,4	2943,2	71,9	1,5112	1683,7	938,3	745,4	2539,2	64,7
4	1994	Hafer	0,9025	2028	847,7	1180,3	3175,7	39,7	1,6055	2139,1	2078,4	60,7	4520,2	71,9	1,5348	2194,4	1185,3	1009,1	3671,8	65,6
5	1995	Roggen	0,9027	824,9	816,8	8,1	1584,2	39,7	1,5879	1022,5	1811	-788,5	2762,4	71,1	1,5387	1308,3	1142,1	166,2	2375	65,8
6	1996	Klee	0,9202	1501,2	735,4	765,8	3117,1	40,4	1,5885	1619,4	1590,9	28,5	4233,1	71,2	1,5538	1643,2	996	647,2	3616,9	66,5
7	1997	Klee	0,9329	1513,2	955,8	557,4	3397,9	40,9	1,5845	1616,5	1796	-179,5	4438,8	71	1,5631	1646,6	1251,9	394,7	3938,4	66,8
8	1998	WW + ZF	0,9311	2,62	886,5	964,6	1798,6	40,9	1,572	1134,9	1693,6	-558,7	2743,2	70,4	1,5725	1709,9	1307	403,9	2937,7	67,3
9	1999	Hafer	0,9515	2021,6	1122,1	899,5	3445	41,8	1,578	2137,8	1867,6	270,2	4308,4	70,7	1,5888	2179,9	1484,3	695,6	3958,1	67,9
10	2000	Roggen	0,945	834,8	1122,8	-288	1898,4	41,5	1,5619	1023,9	1745,3	-721,4	2697,8	70	1,5847	1324,7	1498,4	-173,7	2745,7	67,7
11	2001	Klee	0,9556	1509,2	1043	466,2	3447,7	41,9	1,5617	1618,7	1627,4	-8,7	4270,1	70	1,5914	1649,8	1364,4	285,4	4011	68
12	2002	Klee	0,9636	1496,3	1142,9	353,4	3558,6	42,3	1,5597	1615,6	1703,7	-88,1	4344,9	69,9	1,5952	1624,9	1458,9	166	4111,7	68,1
13	2003	WW + ZF	0,9591	883,4	1073,2	-195,8	1906,2	42,1	1,5499	1135	1572,9	-437,9	2622,4	69,4	1,6018	1708,3	1426	282,3	3048,9	68,5
14	2004	Hafer	0,9792	2005,1	1124,2	880,9	3430	43,1	1,5603	2136,1	1670,5	465,6	4109,8	69,9	1,6182	2159	1458,6	700,4	3911,1	69,2
15	2005	Roggen	0,9729	835,3	1110,4	-275,1	1888,7	42,7	1,5478	1023,6	1579,8	-556,2	2532,2	69,3	1,6151	1320,5	1453,9	-133,4	2699,5	69,1
16	2006	Klee	0,9805	1526,7	1195	331,7	3619,2	43	1,5469	1620,6	1662,1	-41,5	4306,7	69,3	1,6182	1675,4	1542,6	132,8	4217,2	69,1
17	2007	Klee	0,9859	1494,8	1254,5	240,3	3667,2	43,3	1,5449	1615,5	1706,4	-90,9	4347,4	69,2	1,6191	1623,1	1585,6	37,5	4234,7	69,1
18	2008	WW + ZF	0,9793	887,3	1177,9	-290,6	2006,3	43	1,535	1135,7	1578,5	-442,8	2628,4	68,8	1,6231	1716,7	1542,1	174,6	3170	69,4
19	2009	Hafer	0,998	2002,4	1181,9	820,5	3485,7	43,9	1,5458	2135,6	1651,1	484,5	4089,9	69,3	1,6378	2152	1521,6	630,4	3968,1	70
20	2010	Roggen	0,9934	810,8	1010,9	-200,1	1766,7	43,7	1,5367	1020,4	1427,3	-406,9	2376,9	68,8	1,6372	1283,4	1311	-27,6	2522,5	70,1

Tabelle 16: Daten Corg- Berechnung Var. I Temperatur gering

		leichter Boden (7.8C)					mittlerer Boden (7.8°C)					schwerer Boden (7.8°C)								
1991	0	0,83					1,65					1,46								
1991	Klee	0,8494	1477,9	624,5	853,4	3010,5	37,3	1,6396	1613,3	2077,1	-463,8	4714,2	73,5	1,4747	1600,9	973,8	627,1	3588,3	63	
1992	Klee	0,8692	1476	608,2	867,8	2991,5	38,2	1,6313	1615,4	1989,6	-374,2	4630,5	73,1	1,4917	1598,6	870,3	728,3	3481,2	63,7	
1993	WW+ZF	0,8756	8,35	859,8	579,9	1391,5	38,5	1,6157	1130,2	1826,3	-696,1	2873	72,4	1,5107	1660,2	849,9	810,3	2435,9	64,8	
1994	Hafer	0,9055	1992,9	679,7	1313,2	2968,4	39,9	1,6216	2137,5	1872,2	265,3	4312,4	72,7	1,5391	2163,4	949,9	1213,5	3400,7	65,9	
1995	Reggen	0,9056	881,2	877,1	4,1	1703	39,8	1,6057	1023,4	1738,2	-714,8	2690,7	71,9	1,5426	1378,6	1229,1	149,5	2534,1	66	
1996	Klee	0,9167	1529,8	1040,4	489,4	3471,9	40,2	1,6034	1624	1723	-99	4369,1	71,8	1,5487	1677,7	1416	261,7	4098,7	66,1	
1997	Klee	0,9259	1492,1	1090,2	401,9	3498,9	40,6	1,6012	1615,5	1711,5	-96	4352,5	71,7	1,5531	1619,4	1433,3	186,1	4077,3	66,3	
1998	WW+ZF	0,9257	2,65	864,6	869,8	-5,2	1674,8	40,7	1,5906	1130,2	1608,9	-478,7	2655,6	71,3	1,5647	1677,1	1179	498,1	2766,8	67
1999	Hafer	0,9477	2026,3	1063,1	963,2	3389,2	41,7	1,6003	2137,5	1701	436,5	4141,1	71,7	1,5831	2192,3	1409,2	783,1	3893,3	67,7	
2000	Reggen	0,9417	840	1099,9	-259,9	1880,8	41,4	1,5873	1023,5	1604,5	-581	2557	71,1	1,5797	1331,2	1471,6	-140,4	2725,2	67,5	
2001	Klee	0,9519	1512,9	1067,4	445,5	3478	41,8	1,5873	1624	1618,6	5,4	4264,8	71,1	1,5857	1654,2	1398,5	255,7	4052,6	67,7	
2002	Klee	0,9627	1484	1008,2	475,8	3402,5	42,3	1,587	1615,6	1629,7	-14,1	4270,7	71,1	1,5993	1609,2	1285,1	324,1	3910,7	68,1	
2003	WW+ZF	0,9558	2,01	909,5	1211,2	-301,7	2069,1	42	1,5778	1130,2	1542,2	-412	2588,8	70,7	1,5966	1751,7	1608	143,7	3279,7	68,3
2004	Hafer	0,9758	1990,2	1110,7	879,5	3403,6	42,9	1,5886	2137,5	1649,3	488,2	4089,5	71,2	1,6128	2130,8	1441,2	689,6	3868,3	69	
2005	Reggen	0,9714	821,4	1018,1	-196,7	1783,9	42,7	1,5766	1023,5	1564	-540,5	2516,5	70,6	1,612	1298,9	1330	-31,1	2555,9	69	
2006	Klee	0,9779	1541,5	1251,8	289,7	3691,9	42,9	1,5774	1624	1585,1	38,9	4231,3	70,7	1,6138	1697,3	1618,1	79,2	4316,4	68,9	
2007	Klee	0,9896	1466,2	951,9	514,3	3314,4	43,5	1,5777	1615,6	1603,6	12	4244,6	70,7	1,623	1586,8	1196,5	390,3	3781,7	69,4	
2008	WW+ZF	0,9855	1,72	893,2	1075,7	-182,5	1930,2	43,3	1,5689	1130,2	1521,6	-391,4	2568,3	70,3	1,6303	1713,3	1401	312,3	3051,9	69,8
2009	Hafer	1,0018	2034,7	1316,5	718,2	3652,1	44	1,5802	2137,5	1631,1	506,4	4071,3	70,8	1,6421	2202,3	1696	506,3	4191,4	70,2	
2010	Reggen	0,995	813	1113,9	-300,9	1869,7	43,7	1,5685	1023,5	1549,3	-525,8	2501,9	70,3	1,6385	1291,8	1445,2	-153,4	2662,1	70,1	

Tabelle 17: Daten Corg-Berechnung Var. I Temperatur hoch

		leichter Boden (10,39C)										mittlerer Boden (10,39C)										schwerer Boden (10,39C)									
N	Jahr	Fruchtfolge	Corg (%)	Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	C im Boden [t/ha]	Corg (%)	Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	C im Boden [t/ha]	Corg (%)	Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	C im Boden [t/ha]								
0	1991	0	0,83																												
1	1991	WW + KM	0,8463	1485	768	717	3166,9	37,1	1,6305	1614,8	2485	-870,2	5124,8	73	1,4697	1609,9	1195,4	414,5	3826,1	62,7	1,46	1609,9	1195,4	414,5	3826,1	62,7					
2	1992	Klee	0,8628	1484,7	759,4	725,3	3157,8	37,8	1,6155	1615,4	2291,1	-675,7	4932	72,4	1,482	1609,4	1084,7	524,7	3714,8	63,3	3,86	1609,4	1084,7	524,7	3714,8	63,3					
3	1993	WW + ZF	0,8667	889,8	721,1	168,7	1546,1	38,1	1,5954	1136,3	2035,7	-899,4	3086,1	71,5	1,4974	1724,8	1066	658,8	2694,1	64		1724,8	1066	658,8	2694,1	64					
4	1994	Hafer	0,8932	2011,3	846,8	1164,5	3161,1	39,2	1,5972	2136,4	2056,2	80,2	4495,8	71,6	1,5202	2156,8	1180,3	976,5	3633,4	65		2156,8	1180,3	976,5	3633,4	65					
5	1995	Roggen	0,8895	846,4	1006,7	-160,3	1791,6	39	1,5785	1023,6	1859,8	-836,2	2812,1	70,7	1,5186	1344,6	1413	-68,4	2677,1	64,9		1344,6	1413	-68,4	2677,1	64,9					
6	1996	Klee	0,8976	1510	1153,7	356,3	3574	39,3	1,5788	1619,1	1825,9	-206,8	4469,3	70,5	1,5205	1646,5	1564,8	81,7	4227,5	64,9		1646,5	1564,8	81,7	4227,5	64,9					
7	1997	Klee	0,9044	1490	1194,9	295,1	3602,1	39,6	1,5697	1615,4	1800,4	-185	4441,3	70,3	1,5217	1616,5	1561,8	54,7	4203,5	64,9		1616,5	1561,8	54,7	4203,5	64,9					
8	1998	WW + ZF	0,9024	893,6	976,9	-83,3	1801,2	39,6	1,5577	1136,3	1670,9	-534,6	2721,3	69,8	1,5311	1734,2	1333	401,2	2964,3	65,4		1734,2	1333	401,2	2964,3	65,4					
9	1999	Hafer	0,9218	2023,8	1174,7	849,1	3502,6	40,4	1,5656	2136,4	1783,7	352,7	4223,3	70,1	1,5455	2166,3	1552,3	614	4016,4	66		2166,3	1552,3	614	4016,4	66					
10	2000	Roggen	0,9139	829,5	1176,7	-347,2	1944	40,1	1,5514	1023,6	1656,8	-633,2	2609,1	69,5	1,5396	1325,7	1577,3	-251,6	2821,9	65,7		1325,7	1577,3	-251,6	2821,9	65,7					
11	2001	Klee	0,9218	1503,5	1153,2	350,3	3565,7	40,4	1,5502	1619,1	1674,4	-55,3	4317,8	69,4	1,5426	1637,3	1507,1	130,2	4158,9	65,8		1637,3	1507,1	130,2	4158,9	65,8					
12	2002	Klee	0,9305	1487,3	1107,6	379,7	3509,9	40,8	1,5486	1615,4	1686,7	-71,3	4327,5	69,4	1,5474	1613	1405	208	4040,3	66,1		1613	1405	208	4040,3	66,1					
13	2003	WW + ZF	0,9227	913,4	1252	-338,6	2098,3	40,5	1,5386	1136,2	1583,1	-446,9	2633,5	68,9	1,5497	1767,3	1671,8	95,5	3338,7	66,2		1767,3	1671,8	95,5	3338,7	66,2					
14	2004	Hafer	0,9412	2006,2	1196,8	809,4	3508,9	41,3	1,5479	2136,4	1717,7	418,7	4157,3	69,3	1,5634	2136,7	1550	586,7	3987,4	66,8		2136,7	1550	586,7	3987,4	66,8					
15	2005	Roggen	0,9349	821	1094,8	-273,8	1855,1	41	1,5249	1023,6	1606,5	-582,9	2558,7	68,8	1,5604	1311,3	1436,6	-125,3	2668,7	66,7		1311,3	1436,6	-125,3	2668,7	66,7					
16	2006	Klee	0,94	1516,4	1294,7	221,7	3720,1	41,2	1,5346	1619,1	1634,3	-15,2	4277,7	68,7	1,56	1656,8	1671,2	-14,4	4342,3	66,6		1656,8	1671,2	-14,4	4342,3	66,6					
17	2007	Klee	0,9497	1481,2	1051,9	429,3	3443	41,7	1,5336	1615,4	1655,8	-40,4	4296,7	68,7	1,5667	1605,1	1318,2	286,9	3939	66,9		1605,1	1318,2	286,9	3939	66,9					
18	2008	WW + ZF	0,9445	903,5	1132,9	-229,4	1974,6	41,5	1,5242	1136,3	1558,7	-422,4	2609,1	68,3	1,5728	1747	1488,3	258,7	3142,6	67,2		1747	1488,3	258,7	3142,6	67,2					
19	2009	Hafer	0,9597	2027,1	1361,1	666	3692,4	42,1	1,534	2136,4	1696,6	439,8	4136,2	68,7	1,5825	2170,1	1752,1	418	4220,2	67,6		2170,1	1752,1	418	4220,2	67,6					
20	2010	Roggen	0,9517	817,1	1165,4	-348,3	1921,5	41,8	1,5214	1023,6	1589,3	-565,7	2541,6	68,2	1,5775	1307,8	1520,5	-212,7	2748,7	67,4		1307,8	1520,5	-212,7	2748,7	67,4					

Tabelle 18: Daten Corg-Berechnung Var. II Normale Temperatur

		leichter Boden										mittlerer Boden										schwerer Boden									
N	Jahr	Fruchtfolge	Corg (%)	Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	C im Boden [t/ha]	Corg (%)	Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	C im Boden [t/ha]	Corg (%)	Veränd. (%)	Hum.aufb. [kgC/ha/a]	Hum.abb. [kgC/ha/a]	Saldo [kgC/ha/a]	CO2-Prod. [kgC/ha/a]	C im Boden [t/ha]								
0	1991	0	0,83																												
1	1991	WW + KM	0,8366	894	604,8	289,2	1425,3	36,7	1,6272	1132,3	2154,5	-1022,2	3200,9	72,9	1,4757	1737,4	1068,4	669	2697,5	63,1	1,46	1737,4	1068,4	669	2697,5	63,1					
2	1992	AB/ Hafer	0,8457	1008,1	607,8	400,3	1469,5	37,1	1,6052	1087,8	2070,9	-983,1	3008	71,9	1,4778	1097	1004,5	92,5	1950,9	63,1		1097	1004,5	92,5	1950,9	63,1					
3	1993	WR + KM	0,8517	800,5	537,8	262,7	1276,5	37,4	1,5891	1020,8	1741,4	-720,6	2691,1	71,2	1,4874	1276,9	868	408,9	2065,4	63,6		1276,9	868	408,9	2065,4	63,6					
4	1994	Erbsen/ SG	0,8531	670,9	607,6	63,3	1261,6	37,4	1,5704	862,8	1703,4	-840,6	2558,3	70,3	1,486	909,6	964,7	-55,1	1862	63,5		909,6	964,7	-55,1	1862	63,5					
5	1995	Dinkel	0,8512	589,7	673	-83,3	1206,7	37,3	1,5549	769,1	1463	-693,9	2168,8	69,7	1,4796	775,9	1052,8	-276,9	1764,6	63,2		775,9	1052,8	-276,9	1764,6	63,2					
6	1996	WW + KM	0,8568	904,4	662,7	241,7	1495,2	37,6	1,5522	1133,4	1252,4	-119	2299,7	69,6	1,4955	1749,7	1067,2	682,5	2706,2	63,2		1749,7	1067,2	682,5	2706,2	63,2					
7	1997	AB/ Hafer	0,8621	1031,7	798,7	233	1680,5	37,8	1,5454	1091	1395,2	-304,2	2335,1	69,2	1,4931	1130,9	1236,2	-105,3	2212,2	63,8		1130,9	1236,2	-105,3	2212,2	63,8					
8	1998	WR + KM	0,8648	808,5	691,9	116,6	1438,1	38	1,5377	1023,1	1366,4	-343,3	2318,1	68,9	1,4985	1293,9	1060,8	233,1	2274,1	64		1293,9	1060,8	233,1	2274,1	64					
9	1999	Erbsen/ SG	0,8619	665,3	789,9	-124,6	1438,6	37,8	1,5266	861,7	1356,6	-494,9	2210,5	68,4	1,4913	897,9	1203,4	-305,5	2089,8	63,7		897,9	1203,4	-305,5	2089,8	63,7					
10	2000	Dinkel	0,8571	585,7	793,8	-208,1	1324	37,6	1,5153	770,4	1276,7	-506,3	1983,7	67,9	1,4813	770,2	1196	-425,8	1902,7	63,2		770,2	1196	-425,8	1902,7	63,2					
11	2001	WW + KM	0,8618	903,9	698,8	205,1	1527,6	37,8	1,5142	1137,2	1188,1	-50,9	2238,6	67,8	1,4967	1745,8	1090	655,8	2725,8	64		1745,8	1090	655,8	2725,8	64					
12	2002	AB/ Hafer	0,8687	1004,1	712,6	301,5	1579,4	38,1	1,5105	1086,7	1248	-161,3	2184,1	67,7	1,4974	1108,3	1073,8	34,5	2030,3	64		1108,3	1073,8	34,5	2030,3	64					
13	2003	WR + KM	0,8668	838,1	845,5	-7,4	1617,3	38,1	1,5062	1022,4	1214,5	-192,1	2165,6	67,5	1,4988	1334,7	1274,9	59,8	2524	64		1334,7	1274,9	59,8	2524	64					
14	2004	Erbsen/ SG	0,8668	643,3	715,2	-71,9	1344,6	38	1,4994	860,6	1164,5	-303,9	2017,5	67,2	1,494	865,3	1069,1	-203,8	1926,5	63,8		865,3	1069,1	-203,8	1926,5	63,8					
15	2005	Dinkel	0,865	574,3	654,1	-79,8	1174,4	38	1,4917	769,9	1115,5	-345,6	1822	66,8	1,4891	753,3	967	-211,7	1660,7	63,6		753,3	967	-211,7	1660,7	63,6					
16	2006	WW + KM	0,8678	931,3	809,2	122,1	1661,8	38,1	1,4908	1139,9	1180,7	-40,8	2233,6	66,8	1,5017	1756,8	1247,4	539,4	2919,4	64,2		1756,8	1247,4	539,4	2919,4	64,2					
17	2007	AB/ Hafer	0,8749	995,8	680,6	315,2	1531,6	38,4	1,4877	1085,9	1224,6	-138,7	2160	66,6	1,5033	1080,3	1012,3	68	1944,1	64,2		1080,3	1012,3	68	1944,1	64,2					
18	2008	WR + KM	0,8765	833,3	762,4	70,9	1529,7	38,5	1,4837	1022,6	1200,9	-178,3	2152,2	66,5	1,5077	1324,2	1134,2	190	2373,6	64,4		1324,2	1134,2	190	2373,6	64,4					
19	2009	Erbsen/ SG	0,8732	600,1	808,8	-148,7	1452,9	38,3	1,4775	860	1133	-273	1985,5	66,2	1,5004	889,8	1200,8	-311	2079,9	64,1		889,8	1200,8	-311	2079,9	64,1					
20	2010	Dinkel	0,8719	561,3	613,9	-52,6	1122,9	38,3	1,4725	767,3	993,8	-226,5	1698	66	1,4966	738,7	900,9	-162,2	1580	64		738,7	900,9	-162,2	1580	64					

Tabelle 19: Daten Corg-Berechnung Var. II Niederschlag gering

		leichter Boden (361mm)					mittlerer Boden (361mm)					schwerer Boden (361mm)									
0	1991	0	0,83			1,65					1,46										
1	1991	WW + KM	0,8366	894	604,8	289,2	1425,3	36,7	1,6272	1132,3	2154,5	-1022,2	3200,9	72,9	1737,4	1068,4	669	2697,5	63,1	63,1	
2	1992	AB/ Hafer	0,8437	1023	710,3	312,7	1584,4	37	1,6052	1087,8	2069,9	-982,1	3006,9	71,9	1114	1174,3	-60,3	2135,1	62,9	62,9	
3	1993	WR + KM	0,8469	817,1	679,4	137,7	1433,3	37,2	1,5891	1020,8	1740,2	-719,4	2690	71,2	1308,7	1102,3	206,4	2329,1	63,2	63,2	
4	1994	Erbsen/SG	0,845	656,3	737,2	-90,9	1377,9	37	1,5704	862,8	1702,5	-839,7	2557,5	70,3	883,1	1174,3	-291,2	2047,3	62,8	62,8	
5	1995	Dinkel	0,8428	580,2	678,4	-98,2	1203,8	37	1,5549	769,1	1463,1	-694	2168,9	69,7	763	1059,9	-296,9	1790,4	62,6	62,6	
6	1996	WW + KM	0,8493	901,5	613,4	288,1	1440,1	37,3	1,5522	1133,4	1252,9	-119,5	2300,1	69,5	1740,8	988,1	752,7	2619,5	63,4	63,4	
7	1997	AB/ Hafer	0,8557	1031,3	751,3	280	1632,8	37,5	1,5453	1091	1395,6	-304,6	2335,5	69,2	1130,4	1160,2	-29,8	2137,5	63,3	63,3	
8	1998	WR + KM	0,8568	825	775,9	49,1	1536,6	37,6	1,5377	1023,1	1365,9	-342,8	2210,6	68,9	1319,3	1191,5	127,8	2427,5	63,4	63,4	
9	1999	Erbsen/SG	0,8535	653,2	798,7	-145,5	1436,6	37,4	1,5266	861,7	1356,5	-494,8	2210,5	68,4	1477,2	1215,2	-337	2083,8	63,1	63,1	
10	2000	Dinkel	0,8492	583,8	769,7	-185,9	1298,3	37,2	1,5153	770,4	1276,9	-506,5	1983,8	67,9	767,6	1156,6	-389	1861,1	62,7	62,7	
11	2001	WW + KM	0,8536	911,9	721,7	190,2	1557,5	37,5	1,5142	1137,2	1187,9	-50,7	2238,5	67,8	1761,5	1128,9	632,6	2778,8	63,4	63,4	
12	2002	AB/ Hafer	0,8588	1020,5	791,5	229	1663,5	37,7	1,5105	1086,7	1247,6	-160,9	2183,7	67,7	1481	1109,1	1191,3	-82,2	2147,8	63,2	63,2
13	2003	WR + KM	0,8596	821,7	783,4	38,3	1541,4	37,7	1,5062	1022,4	1214,8	-192,4	2165,9	67,5	1315,7	1178,5	137,2	2411,5	63,4	63,4	
14	2004	Erbsen/SG	0,8572	649,7	754,4	-104,7	1389,3	37,6	1,4994	860,6	1164,3	-303,7	2017,3	67,2	1478,2	1127,7	-254,1	1992,3	63,1	63,1	
15	2005	Dinkel	0,8539	582,2	725,3	-143,1	1252,5	37,5	1,4917	769,9	1115,1	-345,2	1821,6	66,8	765,6	1072,8	-307,2	1775,6	62,8	62,8	
16	2006	WW + KM	0,8574	920	767,1	152,9	1609,9	37,6	1,4908	1139,9	1180,9	-41	2233,8	66,8	1773,6	1185,2	588,4	2845,7	63,4	63,4	
17	2007	AB/ Hafer	0,862	1018,7	818,7	200	1689	37,8	1,4877	1085,8	1223,8	-138	2159,2	66,6	1104,6	1219,1	-114,5	2171,4	63,3	63,3	
18	2008	WR + KM	0,8623	822	808,8	13,2	1567	37,8	1,4837	1022,6	1200,6	-178	2151,9	66,5	1316,8	1206,5	110,3	2440,6	63,4	63,4	
19	2009	Erbsen/SG	0,8597	647,9	760,6	-112,7	1394	37,7	1,4776	860	1133,3	-273,3	1985,8	66,2	870,9	1128,7	-257,8	1990,9	63,1	63,1	
20	2010	Dinkel	0,8578	575,1	660,1	-85	1181,2	37,6	1,4725	767,3	993,5	-226,2	1697,7	66	756,5	969,9	-213,4	1664,8	62,9	62,9	

Tabelle 20: Daten Corg-Berechnung Var. II Niederschlag hoch

		leichter Boden (760mm)					mittlerer Boden (760mm)					schwerer Boden (760mm)										
0	1991	0	0,83			1,65					1,46											
1	1991	WW + KM	0,8392	853	448,8	404,2	1233,2	36,9	1,6271	1132,3	2156,4	-1024,1	3202,8	72,9	1661,4	786,1	875,3	2346,8	63,4	63,4		
2	1992	AB/ Hafer	0,85	1031,2	559	472,2	1441,6	37,3	1,6052	1087,8	2071,2	-983,4	3008,2	71,9	1150,7	925,9	224,8	1921,7	63,5	63,5		
3	1993	WR + KM	0,8562	810,7	538,8	271,9	1285,9	37,6	1,5891	1020,8	1741,2	-720,4	2690,9	71,2	1287,6	871,7	415,9	2077,7	64	64		
4	1994	Erbsen/SG	0,8574	676,6	620,9	55,7	1279,8	37,6	1,5704	862,8	1703,1	-840,3	2558	70,3	1493,8	918,5	988,8	-70,3	1894,2	63,8	63,8	
5	1995	Dinkel	0,8573	572,6	577,8	-5,2	1096,6	37,7	1,5549	769,1	1463,5	-694,4	2169,4	69,7	1490,2	753,7	903,9	-150,2	1596,2	63,7	63,7	
6	1996	WW + KM	0,8656	866,9	500,6	366,3	1296,3	38,1	1,5522	1133,4	1253,3	-119,9	2300,6	69,6	1663,4	798,4	865	2359	64,8	64,8		
7	1997	AB/ Hafer	0,8748	1051,6	649,9	401,7	1550,8	38,5	1,5454	1091	1395,9	-304,9	2335,8	69,2	1514,8	1192,3	1007,6	184,7	2041,6	64,8	64,8	
8	1998	WR + KM	0,878	831,9	687,5	144,4	1452,8	38,6	1,5377	1023,1	1366,2	-343,1	2317,9	68,9	1520,9	-0,15	1317,3	1056,1	261,2	2288,3	65,1	65,1
9	1999	Erbsen/SG	0,8766	669,6	733,5	-63,9	1386,1	38,5	1,5266	861,7	1356,7	-495	2210,7	68,4	1515,9	907	1118,8	-211,8	2013,7	64,7	64,7	
10	2000	Dinkel	0,8733	581,1	723	-141,9	1249,2	38,3	1,5153	770,4	1277	-506,6	1983,9	67,9	1508,3	764,6	1091,1	-326,5	1793	64,4	64,4	
11	2001	WW + KM	0,8786	893,1	660,3	232,8	1479,4	38,6	1,5142	1137,2	1188,2	-51	2238,8	67,8	1524,5	1024	693,3	2633,7	65,3	65,3		
12	2002	AB/ Hafer	0,8853	1027,2	732,8	294,4	1611,5	38,9	1,5105	1086,7	1247,8	-161,1	2183,9	67,7	1525,2	1140,8	1107,9	32,9	2094,5	65,2	65,2	
13	2003	WR + KM	0,8875	822,1	727,2	94,9	1484,4	39	1,5062	1022,4	1215,1	-192,7	2166,2	67,5	1530,2	-0,28	1305,3	1094,1	211,2	2316,1	65,4	65,4
14	2004	Erbsen/SG	0,8864	660,4	705,2	-44,8	1349,9	38,9	1,4994	860,6	1164,6	-304	2017,5	67,2	1526,4	894,5	1055,8	-161,3	1939,5	65,2	65,2	
15	2005	Dinkel	0,8839	577,2	688,2	-111	1211	38,8	1,4917	769,9	1115,3	-345,4	1821,8	66,8	1520,2	759,6	1021,4	-261,8	1718,9	65	65	
16	2006	WW + KM	0,8888	912,4	733,6	178,8	1569,6	39	1,4907	1139,9	1181,2	-41,3	2234,1	66,8	1534,9	1747,4	1122,6	624,8	2759,2	65,7	65,7	
17	2007	AB/ Hafer	0,8934	1023,9	783,8	240,1	1659,5	39,2	1,4877	1085,8	1224,1	-138,3	2159,5	66,6	1533,9	1131	1171,4	-40,4	2148,6	65,5	65,5	
18	2008	WR + KM	0,8945	822,4	774,5	47,9	1532,1	39,3	1,4837	1022,6	1200,9	-178,3	2152,2	66,5	1537,5	-0,39	1307,5	1154,4	153,1	2378,7	65,7	65,7
19	2009	Erbsen/SG	0,8929	656,2	726,8	-70,6	1367,7	39,2	1,4775	860	1133,5	-273,5	1986	66,2	1532,9	887,7	1079	-191,3	1956,7	65,5	65,5	
20	2010	Dinkel	0,8916	559,7	615,2	-55,5	1122,7	39,2	0	767,3	993,8	-226,5	1698,1	66	1529	736,7	905,1	-168,4	1582,3	65,4	65,4	

Tabelle 27: Daten Corg-Berechnung Var. III Temperatur hoch

		leichter Boden (10,39)					mittlerer Boden (10,39°C)					schwerer Boden (10,39)						
0	1991	0,83					1,65					1,46						
1	1991	0,8924	3788,9	1048,7	2740,2	2891,6	39,2	4044,9	2935,8	1109,1	5007,3	75	4638,8	1564,4	3074,4	4222,4	65,5	
2	1992	0,9138	2029,2	1090,3	938,9	3407,6	40,1	2139,8	2811,6	-671,8	5252,4	74,4	2160,1	1498	662,1	3940,4	66,1	
3	1993	0,9635	3430,6	1252,5	2178,1	2787,5	42,4	3680,8	2936	744,8	4666,2	75,1	3608,3	1594,7	2013,6	3302,4	68,2	
4	1994	0,9756	1890,2	1355,8	534,4	3513,3	42,8	2109,8	2793,3	-683,5	5206,1	74,4	2167,3	1680	487,3	4101	68,6	
5	1995	0,9605	840,5	1504	-663,5	2282,5	42,1	1023,5	2406,4	-1382,9	3358,6	73	1343,4	1909,2	-565,8	3171,2	68	
6	1996	1,0046	3813,6	1878,6	1935	3742,7	44,1	4049,3	2683,4	1365,9	4758,5	74,4	4675,3	2379	2296,3	5068,8	70,4	
7	1997	1,0069	2044,8	1940,9	103,9	4273,5	44,2	2139,8	2624,1	-484,3	5064,9	73,9	2178,5	2405,6	-227,1	4865,7	70,1	
8	1998	1,0443	3439,2	1797,1	1642,1	3329,1	45,9	3680,8	2798,1	882,7	4528,3	74,8	3617,3	2148,3	1469	3852,7	71,6	
9	1999	1,0421	1885,5	1983,1	-97,6	4147,4	45,7	2109,8	2690,8	-581	5103,6	74,2	2165,7	2352,2	-186,5	4783,5	71,4	
10	2000	1,0184	825,8	1864,6	-1038,8	2628,2	44,7	1023,5	2331,9	-1308,4	3284	72,9	1324,7	2265	-940,3	3508,3	70,4	
11	2001	1,0604	3788,1	1944,4	1843,7	3793,5	46,6	4049,3	2629,6	1419,7	4704,7	74,3	4640,9	2377	2263,9	5044,1	72,8	
12	2002	1,0647	2049,3	1857,7	191,6	4185,2	46,7	2139,8	2585,1	-445,3	5025,9	73,9	2186,8	2238,2	-51,4	4696,2	72,7	
13	2003	1,0909	3493,5	2345,7	1147,8	3912,5	47,9	3680,8	2766,9	913,9	4497	74,8	3678,9	2764,4	914,5	4509,4	73,6	
14	2004	1,0861	1846,1	2064	-207,9	4197,7	47,7	2109,8	2669,6	-559,8	5082,4	74,2	2121,1	2402,5	-281,4	4809,2	73,3	
15	2005	1,0644	816,6	1768,6	-95,2	2524,8	46,7	1023,5	2317	-1293,5	3269,2	72,9	1310,2	2112,1	-801,9	3343,1	72,5	
16	2006	1,1009	3814	2210,1	1603,9	4076,9	48,3	4049,3	2617,5	1431,8	4692,6	74,4	4677,6	2676,4	2001,2	5370,8	74,5	
17	2007	1,1064	2021,7	1779,9	241,8	4086,3	48,6	2139,8	2577,6	-437,8	5018,4	73,9	2152,6	2122,2	30,4	4553,3	74,5	
18	2008	1,1372	3468,6	2118,9	1349,7	3680,3	50	3680,8	2762,3	918,5	4492,4	74,8	3651,7	2476,6	1175,1	4215,1	75,7	
19	2009	1,1266	1889,1	2351,6	-462,5	4519,5	49,4	2109,8	2664,5	-554,7	5077,3	74,3	2170,4	2742,1	-571,7	5178,1	75,1	
20	2010	1,1018	813,8	1902,2	-1088,4	2655	48,4	1023,5	2313,9	-1290,4	3266,1	73	1307	2261,1	-954,1	3488,3	74,2	

Tabelle 28: Entwicklung C im Boden bei Var. I

C im Boden [t/ha]		Normal			361mm			760mm			7,48°C			10,39°C			
N Jahr	Fruchtfolge	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	
1	1991	Klee	37,2	73,3	62,9	37,2	73,3	62,9	37,4	73,3	63,2	37,3	73,5	63	37,1	73	62,7
2	1992	Klee	37,9	72,6	63,4	37,8	72,6	63,2	38,2	72,6	63,8	38,2	73,1	63,7	37,8	72,4	63,3
3	1993	WW + ZF	38,3	71,9	64,4	38	71,9	63,9	38,5	71,9	64,7	38,5	72,4	64,8	38,1	71,5	64
4	1994	Hafer	39,4	71,9	65,3	38,9	71,9	64,5	39,7	71,9	65,6	39,9	72,7	65,9	39,2	71,6	65
5	1995	Roggen	39,3	71,1	65,2	38,8	71,1	64,5	39,7	71,1	65,8	39,8	71,9	66	39	70,7	64,9
6	1996	Klee	39,8	71,2	65,5	39,4	71,2	64,9	40,4	71,2	66,5	40,2	71,8	66,1	39,3	70,5	64,9
7	1997	Klee	40,1	71	65,6	39,7	71	65,1	40,9	71	66,8	40,6	71,7	66,3	39,6	70,3	64,9
8	1998	WW + ZF	40,1	70,4	66,1	39,6	70,4	65,4	40,9	70,4	67,3	40,7	71,3	67	39,6	69,8	65,4
9	1999	Hafer	40,9	70,7	66,6	40,4	70,7	65,9	41,8	70,7	67,9	41,7	71,7	67,7	40,4	70,1	66
10	2000	Roggen	40,4	70	66,3	40	70	65,6	41,5	70	67,7	41,4	71,1	67,5	40,1	69,5	65,7
11	2001	Klee	40,8	70	66,4	40,3	70	65,7	41,9	70	68	41,8	71,1	67,7	40,4	69,4	65,8
12	2002	Klee	41,2	69,9	66,6	40,6	69,9	65,7	42,3	69,9	68,1	42,3	71,1	68,1	40,8	69,4	66,1
13	2003	WW + ZF	40,9	69,4	66,8	40,3	69,4	66	42,1	69,4	68,5	42	70,7	68,3	40,5	68,9	66,2
14	2004	Hafer	41,8	69,9	67,4	41,1	69,9	66,5	43,1	69,9	69,2	42,9	71,2	69	41,3	69,3	66,8
15	2005	Roggen	41,5	69,3	67,4	40,8	69,3	66,3	42,7	69,3	69,1	42,7	70,6	69	41	68,8	66,7
16	2006	Klee	41,7	69,3	67,2	41	69,3	66,3	43	69,3	69,1	42,9	70,7	68,9	41,2	68,7	66,6
17	2007	Klee	42,1	69,2	67,5	41,2	69,2	66,3	43,3	69,2	69,1	43,5	70,7	69,4	41,7	68,7	66,9
18	2008	WW + ZF	41,9	68,8	67,8	40,9	68,8	66,5	43	68,8	69,4	43,3	70,3	69,8	41,5	68,3	67,2
19	2009	Hafer	42,5	69,3	68,2	41,7	69,3	67	43,9	69,3	70	44	70,8	70,2	42,1	68,7	67,6
20	2010	Roggen	42,4	68,9	68,2	41,4	68,9	66,9	43,7	68,8	70,1	43,7	70,3	70,1	41,8	68,2	67,4

Variante I

Tabelle 29: Entwicklung C im Boden bei Var. II

C im Boden [t/ha]		Normal			361mm			760mm			7,48°C			10,39°C			
N Jahr	Fruchtfolge	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	
1	1991	WW + KM	36,7	72,9	63,1	36,7	72,9	63,1	36,9	72,9	63,4	36,8	73,1	63,2	36,6	72,7	62,9
2	1992	AB/ Hafer	37,1	71,9	63,1	37	71,9	62,9	37,3	71,9	63,5	37,3	72,3	63,4	37	71,7	63
3	1993	WR + KM	37,4	71,2	63,6	37,2	71,2	63,2	37,6	71,2	64	37,7	71,7	64	37,2	70,8	63,3
4	1994	Erbse/ SG	37,4	70,3	63,5	37	70,3	62,8	37,6	70,3	63,8	37,8	71	64	37,3	70	63,2
5	1995	Dinkel	37,3	69,7	63,2	37	69,7	62,6	37,7	69,7	63,7	37,7	70,4	63,8	37,1	69,3	62,9
6	1996	WW + KM	37,6	69,6	63,9	37,3	69,5	63,4	38,1	69,6	64,8	37,9	70,1	64,5	37,3	69	63,4
7	1997	AB/ Hafer	37,8	69,2	63,8	37,5	69,2	63,3	38,5	69,2	64,8	38,2	69,9	64,4	37,5	68,7	63,2
8	1998	WR + KM	38	68,9	64	37,6	68,9	63,4	38,6	68,9	65,1	38,4	69,6	64,8	37,6	68,3	63,5
9	1999	Erbse/ SG	37,8	68,4	63,7	37,4	68,4	63,1	38,5	68,4	64,7	38,4	69,2	64,5	37,5	67,9	63,2
10	2000	Dinkel	37,6	67,9	63,2	37,2	67,9	62,7	38,3	67,9	64,4	38,2	68,8	64,2	37,3	67,5	62,8
11	2001	WW + KM	37,8	67,8	64	37,5	67,8	63,4	38,6	67,8	65,3	38,5	68,8	65	37,5	67,4	63,5
12	2002	AB/ Hafer	38,1	67,7	64	37,7	67,7	63,2	38,9	67,7	65,2	38,9	68,7	65,1	37,8	67,2	63,5
13	2003	WR + KM	38,1	67,5	64	37,7	67,5	63,4	39	67,5	65,4	38,9	68,5	65,2	37,8	67	63,5
14	2004	Erbse/ SG	38	67,2	63,8	37,6	67,2	63,1	38,9	67,2	65,2	38,8	68,2	65	37,7	66,7	63,3
15	2005	Dinkel	38	66,8	63,6	37,5	66,8	62,8	38,8	66,8	65	38,8	67,9	64,9	37,6	66,3	63,1
16	2006	WW + KM	38,1	66,8	64,2	37,6	66,8	63,4	39	66,8	65,7	38,9	67,9	65,5	37,8	66,3	63,6
17	2007	AB/ Hafer	38,4	66,6	64,2	37,8	66,6	63,3	39,2	66,6	65,5	39,4	67,8	65,7	38,1	66,2	63,8
18	2008	WR + KM	38,5	66,5	64,4	37,8	66,5	63,4	39,3	66,5	65,7	39,5	67,7	66	38,2	66	64
19	2009	Erbse/ SG	38,3	66,2	64,1	37,7	66,2	63,1	39,2	66,2	65,5	39,3	67,5	65,6	38	65,7	63,6
20	2010	Dinkel	38,3	66	64	37,6	66	62,9	39,2	66	65,4	39,2	67,2	65,4	37,9	65,4	63,3

Variante II

Tabelle 30: Entwicklung C im Boden bei Var. III

C im Boden [t/ha]		Normal			361mm			760mm			7,48°C			10,39°C			
N	Jahr	Fruchtfolge	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.	leichter B.	Mittel B.	schwerer B.
1	1991	WW +Mist+ZF	39,3	75,3	65,7	39,3	75,3	65,7	39,6	75,3	66,2	39,4	75,5	65,8	39,2	75	65,5
2	1992	Hafer	40,3	74,7	66,3	40,1	74,7	66,1	40,6	74,7	66,9	40,6	75,2	66,8	40,1	74,4	66,1
3	1993	Dinkel+Mist+ZF	42,7	75,6	68,7	42,2	75,6	68	43,1	75,6	69,2	43,1	76,3	69,2	42,4	75,1	68,2
4	1994	SG	43,2	74,9	69,1	42,4	74,9	68	43,5	74,9	69,6	43,9	75,9	70	42,8	74,4	68,6
5	1995	WR	42,5	73,6	68,6	41,8	73,6	67,5	43,1	73,6	69,3	43,3	74,6	69,6	42,1	73	68
6	1996	WW +Mist+ZF	44,8	75,3	71,3	44,2	75,3	70,4	45,9	75,3	72,7	45,5	76,2	72,2	44,1	74,4	70,4
7	1997	Hafer	44,9	74,8	71	44,3	74,8	70,3	46,3	74,8	72,8	45,7	75,8	72	44,2	73,9	70,1
8	1998	Dinkel+Mist+ZF	46,7	75,7	72,6	45,9	75,7	71,6	48	75,7	74,4	47,7	76,8	73,9	45,9	74,8	71,6
9	1999	SG	46,4	75	72,2	45,6	75	71,2	47,9	75	74,2	47,7	76,4	73,8	45,7	74,2	71,4
10	2000	WR	45,2	73,5	71,2	44,5	73,5	70,2	46,9	73,5	73,3	46,7	75,1	73	44,7	72,9	70,4
11	2001	WW +Mist+ZF	47,3	75	73,6	46,4	75	72,5	49,1	75	76	48,8	76,6	75,6	46,6	74,3	72,8
12	2002	Hafer	47,4	74,5	73,5	46,3	74,5	72,1	49,1	74,5	75,7	49,1	76,2	75,7	46,7	73,9	72,7
13	2003	Dinkel+Mist+ZF	48,5	75,5	74,4	47,7	75,5	73,3	50,7	75,5	77,1	50,3	77,3	76,7	47,9	74,8	73,6
14	2004	SG	48,4	75	74,2	47,4	75	72,9	50,5	75	76,9	50,3	76,8	76,5	47,7	74,2	73,3
15	2005	WR	47,5	73,7	73,5	46,3	73,7	72	49,5	73,7	76,1	49,4	75,5	75,9	46,7	72,9	72,5
16	2006	WW +Mist+ZF	49,1	75,1	75,5	48	75,1	74,1	51,3	75,1	78,4	51,1	77	78	48,3	74,4	74,5
17	2007	Hafer	49,3	74,6	75,4	47,8	74,6	73,6	51,2	74,6	77,9	51,6	76,6	78,3	48,6	73,9	74,5
18	2008	Dinkel+Mist+ZF	50,6	75,5	76,6	49	75,5	74,6	52,5	75,5	79	53,1	77,6	79,6	50	74,8	75,7
19	2009	SG	50,1	75	76	48,7	75	74,2	52,3	75	78,7	52,6	77,1	79	49,4	74,3	75,1
20	2010	WR	49,3	73,9	75,4	47,7	73,9	73,4	51,4	73,9	78,1	51,5	75,9	78,2	48,4	73	74,2

Variante III

Tabelle 31: Daten N-Saldoberechnung Var. I bei normaler Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden											
		Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierter Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierter Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierter Deposition	Saldo						
1 1991	Klee gras	229	0	127,2	35	235	168,2	261	0	327,4	35	306	407,4	261	0	187,3	35	306	267,3
2 1992	Klee gras	229	0	133,3	35	235	174,3	261	0	328,4	35	306	408,4	261	0	185,6	35	306	265,6
3 1993	Winterweizen	96	0	-3,4	35	13	-51,4	123	0	118,5	35	13	43,5	209	0	-46	35	209	-207
4 1994	legume Zwischenfrucht	89	0	-8,5	35	97	34,5	115	0	127,8	35	97	144,8	103	0	15,4	35	97	44,4
5 1994	Hafer	89	0	-8,5	35	97	34,5	115	0	127,8	35	97	144,8	103	0	15,4	35	97	44,4
5 1995	Winterroggen	87	0	38,1	35	12	-1,9	112	0	121,7	35	12	56,7	153	0	38,3	35	12	-67,7
6 1996	Klee gras	229	0	158,1	35	235	199,1	261	0	248,4	35	306	328,4	261	0	212,9	35	306	292,9
7 1997	Klee gras	229	0	184,7	35	235	225,7	261	0	273,3	35	306	353,3	261	0	242,7	35	306	322,7
8 1998	Winterweizen	96	0	33,3	35	13	-14,7	123	0	94,6	35	13	19,6	209	0	-5,3	35	13	-166,3
8 1999	legume Zwischenfrucht	102	0	37	35	97	67	103	0	103	35	97	132	103	0	69,6	35	97	98,6
9 1999	Hafer	102	0	37	35	97	67	103	0	103	35	97	132	103	0	69,6	35	97	98,6
10 2000	Winterroggen	87	0	72,4	35	12	32,4	112	0	113,9	35	12	48,9	153	0	76,8	35	12	-29,2
11 2001	Klee gras	229	0	174,8	35	235	215,8	261	0	253,1	35	306	333,1	261	0	229,1	35	306	309,1
12 2002	Klee gras	229	0	177,5	35	235	218,5	261	0	262,5	35	306	342,5	261	0	228	35	306	308
13 2003	Winterweizen	96	0	64,8	35	13	16,8	123	0	80,3	35	13	5,3	209	0	32,6	35	13	-128,4
14 2004	legume Zwischenfrucht	89	0	31,1	35	97	74,1	115	0	80	35	97	97	103	0	59	35	97	88
14 2004	Hafer	89	0	31,1	35	97	74,1	115	0	80	35	97	97	103	0	59	35	97	88
15 2005	Winterroggen	87	0	52,5	35	12	12,5	112	0	94,6	35	12	29,6	153	0	46,8	35	12	-59,2
16 2006	Klee gras	229	0	198,4	35	235	239,4	261	0	257	35	306	337	261	0	257	35	306	337
17 2007	Klee gras	229	0	174,5	35	235	215,5	261	0	262,9	35	306	342,9	261	0	222,2	35	306	302,2
18 2008	Winterweizen	96	0	55,3	35	13	7,3	123	0	80,9	35	13	5,9	209	0	17,7	35	13	-143,3
2009	Hafer	89	0	49,9	35	97	92,9	103	0	77,7	35	97	106,7	103	0	81,5	35	97	110,5
2009	legume Zwischenfrucht	89	0	49,9	35	97	92,9	103	0	77,7	35	97	106,7	103	0	81,5	35	97	110,5
20 2010	Winterroggen	87	0	48,2	35	12	8,2	112	0	76,9	35	12	11,9	153	0	40,1	35	12	-65,9

Tabelle 32: Daten N-Saldoberechnung Var. II bei normaler Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden				mittlerer Boden				schwerer Boden									
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	sonstiges Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	sonstiges Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	sonstiges Saldo						
1	1991	96	70	-10,9	35	8	-63,9	123	70	148,9	35	8	68,9	209	70	-37,2	35	8	-203,2
2	1992	145	0	3,3	35	94	-25,4	180	0	168,5	35	96	239	180	0	41,8	35	96	-14,4
3	1993	145	0	3,3	35	94	-25,4	180	0	168,5	35	96	239	180	0	41,8	35	96	-14,4
4	1994	87	70	-7,4	35	7	-52,4	112	70	113,8	35	7	43,8	153	70	-12,2	35	7	-123,2
5	1995	74	0	22,3	35	86	138,6	114	0	137,3	35	87	290,6	114	0	46,4	35	87	108,8
6	1996	74	0	22,3	35	86	138,6	114	0	137,3	35	87	290,6	114	0	46,4	35	87	108,8
7	1997	51	0	27,5	35	12	23,5	74	0	104,1	35	12	77,1	74	0	55,2	35	12	28,2
8	1998	96	70	-5,2	35	8	-58,2	123	70	42,7	35	8	-37,3	209	70	-38,3	35	8	-204,3
9	1999	145	0	23,9	35	94	15,8	180	0	88,7	35	96	79,4	180	0	66,2	35	96	34,4
10	2000	145	0	23,9	35	94	15,8	180	0	88,7	35	96	79,4	180	0	66,2	35	96	34,4
11	2001	87	70	9,9	35	7	-35,1	112	70	69,5	35	7	-0,5	153	70	8,9	35	7	-102,1
12	2002	74	0	44,2	35	86	182,4	108	0	96,6	35	87	221,2	108	0	75,5	35	87	179
13	2003	74	0	44,2	35	86	182,4	108	0	96,6	35	87	221,2	108	0	75,5	35	87	179
14	2004	51	0	42,1	35	12	38,1	74	0	82,1	35	12	55,1	74	0	72,6	35	12	45,6
15	2005	96	70	-0,6	35	8	-53,6	123	70	34,8	35	8	-45,2	209	70	-35,3	35	8	-201,3
16	2006	172	0	15,1	35	94	-55,8	180	0	71,8	35	96	45,6	180	0	48,9	35	96	-0,2
17	2007	172	0	15,1	35	94	-55,8	180	0	71,8	35	96	45,6	180	0	48,9	35	96	-0,2
18	2008	87	70	25,6	35	7	-19,4	112	70	51,7	35	7	-18,3	153	70	30,7	35	7	-80,3
19	2009	74	0	37,3	35	86	168,6	114	0	74,1	35	87	164,2	114	0	62,5	35	87	141
20	2010	74	0	37,3	35	86	168,6	114	0	74,1	35	87	164,2	114	0	62,5	35	87	141
21	2011	51	0	26,6	35	12	22,6	74	0	63,2	35	12	36,2	74	0	46,9	35	12	19,9
22	2012	96	70	10	35	8	-43	123	70	33,7	35	8	-46,3	209	70	-20,4	35	8	-186,4
23	2013	172	0	12,8	35	94	-60,4	180	0	69,1	35	96	40,2	180	0	44	35	96	-10
24	2014	172	0	12,8	35	94	-60,4	180	0	69,1	35	96	40,2	180	0	44	35	96	-10
25	2015	87	70	16,3	35	7	-28,7	112	70	50	35	7	-20	153	70	15,2	35	7	-95,8
26	2016	78	0	46,8	35	86	179,6	114	0	70,4	35	87	156,8	114	0	75,9	35	87	167,8
27	2017	78	0	46,8	35	86	179,6	114	0	70,4	35	87	156,8	114	0	75,9	35	87	167,8
28	2018	51	0	23	35	12	19	74	0	49,1	35	12	22,1	74	0	40,5	35	12	13,5
29	2019	51	0	23	35	12	19	74	0	49,1	35	12	22,1	74	0	40,5	35	12	13,5

Tabelle 33: Daten N-Saldberechnung Var. II bei normaler Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden											
		Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierter Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierter Deposition	sonstiges	Saldo								
1 1991	Winterweizen	96	0	-123,4	35	13	-171,4	123	70	148,9	35	8	68,9	209	70	-37,2	35	8	-203,2
2 1992	legume Zwischenfrucht	89	0	16,6	35	97	59,6	180	0	168,5	35	96	119,5	180	0	41,8	35	96	-7,2
3 1993	Hafer	89	0	16,6	35	97	59,6	180	0	168,5	35	96	119,5	180	0	41,8	35	96	-7,2
4 1994	Wintergerste	51	0	-67,8	35	12	-71,8	112	70	113,8	35	7	43,8	153	70	-12,2	35	7	-123,2
5 1995	legume Zwischenfrucht	85	0	60,1	35	97	107,1	114	0	137,3	35	87	145,3	114	0	46,4	35	87	54,4
6 1996	Sommergerste	85	0	60,1	35	97	107,1	114	0	137,3	35	87	145,3	114	0	46,4	35	87	54,4
7 1997	Winterroggen	87	0	95	35	12	55	74	0	104,1	35	12	77,1	74	0	55,2	35	12	28,2
8 1998	Winterweizen	96	0	-47,8	35	13	-95,8	123	70	42,7	35	8	-37,3	209	70	-38,3	35	8	-204,3
9 1999	legume Zwischenfrucht	89	0	112,8	35	97	155,8	180	0	88,7	35	96	39,7	180	0	66,2	35	96	17,2
10 2000	Hafer	89	0	112,8	35	97	155,8	180	0	88,7	35	96	39,7	180	0	66,2	35	96	17,2
11 2001	Wintergerste	51	0	7,7	35	12	3,7	112	70	69,5	35	7	-0,5	153	70	8,9	35	7	-102,1
12 2002	legume Zwischenfrucht	102	0	148	35	97	178	108	0	96,6	35	87	110,6	108	0	75,5	35	87	89,5
13 2003	Sommergerste	102	0	148	35	97	178	108	0	96,6	35	87	110,6	108	0	75,5	35	87	89,5
14 2004	Winterroggen	87	0	159	35	12	119	74	0	82,1	35	12	55,1	74	0	72,6	35	12	45,6
15 2005	Winterweizen	96	0	-13,7	35	13	-61,7	123	70	34,8	35	8	-45,2	209	70	-35,3	35	8	-201,3
16 2006	legume Zwischenfrucht	89	0	110,7	35	97	153,7	180	0	71,8	35	96	22,8	180	0	48,9	35	96	-0,1
17 2007	Hafer	89	0	110,7	35	97	153,7	180	0	71,8	35	96	22,8	180	0	48,9	35	96	-0,1
18 2008	Wintergerste	51	0	68,8	35	12	64,8	112	70	51,7	35	7	-18,3	153	70	30,7	35	7	-80,3
19 2009	legume Zwischenfrucht	85	0	142,5	35	97	189,5	114	0	74,1	35	87	82,1	114	0	62,5	35	87	70,5
20 2010	Sommergerste	85	0	142,5	35	97	189,5	114	0	74,1	35	87	82,1	114	0	62,5	35	87	70,5
21 2011	Winterroggen	87	0	131	35	12	91	74	0	63,2	35	12	36,2	74	0	46,9	35	12	19,9
22 2012	Winterweizen	96	0	28,2	35	13	-19,8	123	70	33,7	35	8	-46,3	209	70	-20,4	35	8	-186,4
23 2013	legume Zwischenfrucht	89	0	111,3	35	97	154,3	180	0	69,1	35	96	20,1	180	0	44	35	96	-5
24 2014	Hafer	89	0	111,3	35	97	154,3	180	0	69,1	35	96	20,1	180	0	44	35	96	-5
25 2015	Wintergerste	51	0	50,1	35	12	46,1	112	70	50	35	7	-20	153	70	15,2	35	7	-95,8
26 2016	legume Zwischenfrucht	85	0	176,2	35	97	223,2	114	0	70,4	35	87	78,4	114	0	75,9	35	87	83,9
27 2017	Sommergerste	85	0	176,2	35	97	223,2	114	0	70,4	35	87	78,4	114	0	75,9	35	87	83,9
28 2018	Winterroggen	87	0	124,8	35	12	84,8	74	0	49,1	35	12	22,1	74	0	40,5	35	12	13,5

Variente III

Tabelle 34: Daten N-Saldoberechnung Var. I bei hoher Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden											
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	Saldo						
1	1991	229	0	136,9	35	235	177,9	261	0	354,4	35	306	434,4	261	0	202,3	35	306	282,3
2	1992	229	0	135,9	35	235	176,9	261	0	331,6	35	306	411,6	261	0	189,3	35	306	269,3
3	1993	96	0	4,6	35	13	-43,4	123	0	134,6	35	13	59,6	209	0	-34,6	35	13	-195,6
4	1994	89	0	-5,8	35	97	37,2	115	0	125,4	35	97	142,4	103	0	19,9	35	97	48,9
5	1995	89	0	-5,8	35	97	37,2	115	0	125,4	35	97	142,4	103	0	19,9	35	97	48,9
6	1996	87	0	43,9	35	12	3,9	112	0	127,5	35	12	62,5	153	0	46,2	35	12	-59,8
7	1997	229	0	180,2	35	235	221,2	261	0	276,5	35	306	356,5	261	0	242,6	35	306	322,6
8	1998	229	0	187,4	35	235	228,4	261	0	273,9	35	306	353,9	261	0	245,7	35	306	325,7
9	1999	96	0	33,6	35	13	-14,4	123	0	91,7	35	13	16,7	209	0	-4,9	35	13	-165,9
10	2000	102	0	32	35	97	62	103	0	93,3	35	97	122,3	103	0	63,2	35	97	92,2
11	2001	102	0	32	35	97	62	103	0	93,3	35	97	122,3	103	0	63,2	35	97	92,2
12	2002	87	0	65,1	35	12	25,1	112	0	103,6	35	12	38,6	153	0	66,9	35	12	-39,1
13	2003	229	0	180,3	35	235	221,3	261	0	258,6	35	306	338,6	261	0	236,1	35	306	316,1
14	2004	229	0	176,9	35	235	217,9	261	0	260,5	35	306	340,5	261	0	227	35	306	307
15	2005	96	0	65,1	35	13	17,1	123	0	81,4	35	13	6,4	209	0	33,1	35	13	-127,9
16	2006	89	0	36	35	97	79	115	0	85,6	35	97	102,6	103	0	65,5	35	97	94,5
17	2007	89	0	36	35	97	79	115	0	85,6	35	97	102,6	103	0	65,5	35	97	94,5
18	2008	87	0	56,2	35	12	16,2	112	0	97,7	35	12	32,7	153	0	51,6	35	12	-54,4
19	2009	229	0	196,1	35	235	237,1	261	0	253,9	35	306	333,9	261	0	254,1	35	306	334,1
20	2010	229	0	169,9	35	235	210,9	261	0	256,8	35	306	336,8	261	0	216,2	35	306	296,2
		96	0	52,6	35	13	4,6	123	0	78,5	35	13	3,5	209	0	14,2	35	13	-146,8
		89	0	53,7	35	97	96,7	103	0	83,1	35	97	112,1	103	0	86,4	35	97	115,4
		89	0	53,7	35	97	96,7	103	0	83,1	35	97	112,1	103	0	86,4	35	97	115,4
		87	0	64,8	35	12	24,8	112	0	95,6	35	12	30,6	153	0	61,7	35	12	-44,3

Tabelle 35: Daten N-Saldoberechnung Var. II bei hoher Temperatur

		leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden				
N Jahr	Fruchtart	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	sonstiges	Saldo	
1 1991	Winterweizen	96	70	-3,3	35	-56,3	123	70	174,4	35	8	94,4
2 1992	Ackerbohne	145	0	6	35	-10	180	0	171,6	35	96	122,6
3 1993	Hafer	145	0	6	35	-10	180	0	171,6	35	96	122,6
4 1994	Winterroggen	87	70	-0,3	35	-45,3	112	70	128,6	35	7	58,6
5 1995	Futtererbse	74	0	24,2	35	71,2	114	0	134,3	35	87	142,3
6 1996	Sommergerste	74	0	24,2	35	71,2	114	0	134,3	35	87	142,3
7 1997	Dinkel	51	0	31,1	35	27,1	74	0	108,1	35	12	81,1
8 1998	Winterweizen	96	70	7,6	35	-45,4	123	70	63,9	35	8	-16,1
9 1999	Ackerbohne	145	0	27,2	35	11,2	180	0	89,5	35	96	40,5
10 2000	Hafer	145	0	27,2	35	11,2	180	0	89,5	35	96	40,5
11 2001	Winterroggen	87	70	10,7	35	-34,3	112	70	67,6	35	7	-2,4
12 2002	Sommergerste	74	0	40,6	35	86	108	0	88,7	35	87	102,7
13 2003	Futtererbse	74	0	40,6	35	86	108	0	88,7	35	87	102,7
14 2004	Dinkel	51	0	36,9	35	12	74	0	74	35	12	47
15 2005	Winterweizen	96	70	1,7	35	-51,3	123	70	38,4	35	8	-41,6
16 2006	Hafer	172	0	15,1	35	-27,9	180	0	70,3	35	96	21,3
17 2007	Ackerbohne	172	0	15,1	35	-27,9	180	0	70,3	35	96	21,3
18 2008	Winterroggen	87	70	26,3	35	-18,7	112	70	52,9	35	7	-17,1
19 2009	Futtererbse	74	0	40	35	87	114	0	77,5	35	87	85,5
20 2010	Sommergerste	74	0	40	35	87	114	0	77,5	35	87	85,5
21 2011	Dinkel	51	0	28,5	35	12	74	0	65,4	35	12	38,4
22 2012	Winterweizen	96	70	8,3	35	-44,7	123	70	31,7	35	8	-48,3
23 2013	Ackerbohne	172	0	10,1	35	-32,9	180	0	65	35	96	16
24 2014	Hafer	172	0	10,1	35	-32,9	180	0	65	35	96	16
25 2015	Winterroggen	87	70	14,8	35	-30,2	112	70	48,6	35	7	-21,4
26 2016	Sommergerste	78	0	48,9	35	86	114	0	74	35	87	82
27 2017	Futtererbse	78	0	48,9	35	86	114	0	74	35	87	82
28 2018	Dinkel	51	0	32,7	35	12	74	0	62,5	35	12	35,5
29 2019	Winterweizen	96	70	-23,8	35	8	209	70	-17,8	35	8	-183,8
30 2020	Ackerbohne	145	0	46,4	35	96	180	0	71,5	35	96	22,5
31 2021	Hafer	145	0	46,4	35	96	180	0	71,5	35	96	22,5
32 2022	Winterroggen	87	70	-0,6	35	-111,6	153	70	9,8	35	7	-101,2
33 2023	Futtererbse	74	0	49,3	35	87	108	0	69,8	35	87	83,8
34 2024	Sommergerste	74	0	49,3	35	87	108	0	69,8	35	87	83,8
35 2025	Dinkel	51	0	60,7	35	12	74	0	64,4	35	12	37,4
36 2026	Winterweizen	96	70	-31,9	35	-197,9	209	70	-31,9	35	8	-183,8
37 2027	Hafer	172	0	48,9	35	96	180	0	48,9	35	96	0
38 2028	Ackerbohne	172	0	48,9	35	96	180	0	48,9	35	96	0
39 2029	Winterroggen	87	70	31,4	35	-79,6	153	70	31,4	35	7	-79,6
40 2030	Futtererbse	74	0	66,4	35	87	114	0	66,4	35	87	74,4
41 2031	Sommergerste	74	0	66,4	35	87	114	0	66,4	35	87	74,4
42 2032	Dinkel	51	0	49,6	35	12	74	0	49,6	35	12	22,6
43 2033	Winterweizen	96	70	-23,1	35	-189,1	209	70	-23,1	35	8	-189,1
44 2034	Ackerbohne	172	0	39,9	35	96	180	0	39,9	35	96	9,1
45 2035	Hafer	172	0	39,9	35	96	180	0	39,9	35	96	9,1
46 2036	Winterroggen	87	70	12,8	35	-98,2	153	70	12,8	35	7	-98,2
47 2037	Sommergerste	78	0	79	35	87	114	0	79	35	87	87
48 2038	Futtererbse	78	0	79	35	87	114	0	79	35	87	87
49 2039	Dinkel	51	0	55,1	35	12	74	0	55,1	35	12	28,1

Tabelle 36: Daten N-Saldoberechnung Var. III bei hoher Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden					
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	Saldo
1 1991	Winterweizen	96	0	-111,5	35	13	-159,5	123	0	87	35	13	12
2 1992	legume Zwischenfrucht	89	0	22,1	35	97	65,1	103	0	214	35	97	243
3 1993	Hafer	89	0	22,1	35	97	65,1	103	0	214	35	97	243
4 1994	Wintergerste	51	0	-53,1	35	12	-57,1	74	0	123,7	35	12	96,7
5 1995	legume Zwischenfrucht	85	0	65,6	35	97	112,6	139	0	212,5	35	97	205,5
6 1996	Sommergerste	87	0	65,6	35	97	112,6	139	0	212,5	35	97	205,5
7 1997	Winterroggen	87	0	102,8	35	12	62,8	112	0	191,8	35	12	126,8
8 1998	Winterweizen	96	0	-15,9	35	13	-63,9	123	0	56,9	35	13	-18,1
9 1999	legume Zwischenfrucht	89	0	121	35	97	164	115	0	192	35	97	209
10 2000	Hafer	89	0	121	35	97	164	115	0	192	35	97	209
11 2001	Wintergerste	51	0	10,4	35	12	6,4	74	0	107,5	35	12	80,5
12 2002	legume Zwischenfrucht	102	0	139,6	35	97	169,6	139	0	200,5	35	97	193,5
13 2003	Sommergerste	102	0	139,6	35	97	169,6	139	0	200,5	35	97	193,5
14 2004	Winterroggen	87	0	146,3	35	12	106,3	112	0	183	35	12	118
15 2005	Winterweizen	96	0	-6,3	35	13	-54,3	123	0	50,6	35	13	-24,4
16 2006	legume Zwischenfrucht	89	0	110,9	35	97	153,9	115	0	187,4	35	97	204,4
17 2007	Hafer	89	0	110,9	35	97	153,9	115	0	187,4	35	97	204,4
18 2008	Wintergerste	51	0	71,2	35	12	67,2	74	0	103,8	35	12	76,8
19 2009	legume Zwischenfrucht	85	0	150,7	35	97	197,7	124	0	198	35	97	206
20 2010	Sommergerste	85	0	150,7	35	97	197,7	124	0	198	35	97	206
21 2011	Winterroggen	87	0	135,8	35	12	95,8	112	0	181,3	35	12	116,3
22 2012	Winterweizen	96	0	23	35	13	-25	123	0	49,2	35	13	-25,8
23 2013	legume Zwischenfrucht	89	0	103,7	35	97	146,7	103	0	186,5	35	97	215,5
24 2014	Hafer	89	0	103,7	35	97	146,7	103	0	186,5	35	97	215,5
25 2015	Wintergerste	51	0	46,2	35	12	42,2	74	0	103,3	35	12	76,3
26 2016	legume Zwischenfrucht	85	0	182,7	35	97	229,7	124	0	197,4	35	97	205,4
27 2017	Sommergerste	85	0	182,7	35	97	229,7	124	0	197,4	35	97	205,4
28 2018	Winterroggen	87	0	151,7	35	12	111,7	112	0	180,9	35	12	115,9
29 2019	Winterweizen	96	0	-132,3	35	13	-293,3	209	0	-39,6	35	13	-200,6
30 2020	legume Zwischenfrucht	89	0	57,9	35	97	74,9	103	0	163,3	35	97	192,3
31 2021	Hafer	89	0	57,9	35	97	74,9	103	0	163,3	35	97	192,3
32 2022	Wintergerste	51	0	-29,1	35	12	-56,1	74	0	35,4	35	12	8,4
33 2023	legume Zwischenfrucht	85	0	77,9	35	97	70,9	139	0	156,9	35	97	149,9
34 2024	Sommergerste	85	0	77,9	35	97	70,9	139	0	156,9	35	97	149,9
35 2025	Winterroggen	87	0	104,6	35	12	-1,4	153	0	147,8	35	12	41,8
36 2026	Winterweizen	96	0	-37,2	35	13	-198,2	209	0	-37,2	35	13	-198,2
37 2027	legume Zwischenfrucht	89	0	143	35	97	160	115	0	143	35	97	160
38 2028	Hafer	89	0	143	35	97	160	115	0	143	35	97	160
39 2029	Wintergerste	51	0	103,5	35	12	76,5	74	0	103,5	35	12	76,5
40 2030	legume Zwischenfrucht	85	0	166	35	97	174	124	0	166	35	97	174
41 2031	Sommergerste	85	0	166	35	97	174	124	0	166	35	97	174
42 2032	Winterroggen	87	0	131,1	35	12	25,1	153	0	131,1	35	12	25,1
43 2033	Winterweizen	96	0	-4,9	35	13	-165,9	209	0	-4,9	35	13	-165,9
44 2034	legume Zwischenfrucht	89	0	131,9	35	97	148,9	115	0	131,9	35	97	148,9
45 2035	Hafer	89	0	131,9	35	97	148,9	115	0	131,9	35	97	148,9
46 2036	Wintergerste	51	0	71,6	35	12	44,6	74	0	71,6	35	12	44,6
47 2037	legume Zwischenfrucht	85	0	202,4	35	97	210,4	124	0	202,4	35	97	210,4
48 2038	Sommergerste	85	0	202,4	35	97	210,4	124	0	202,4	35	97	210,4
49 2039	Winterroggen	87	0	148,8	35	12	42,8	153	0	148,8	35	12	42,8

Tabelle 37: Daten N-Saldberechnung der Var. I bei geringer Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden										
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	sonstiges	Saldo							
1 1991	Kleegras	229	0	119,5	35	235	261	0	306,3	35	306	386,3	261	0	175,6	35	306	255,6
2 1992	Kleegras	229	0	117,6	35	235	261	0	296,1	35	306	376,1	261	0	163,4	35	306	243,4
3 1993	Winterweizen	96	0	-7,2	35	13	123	0	110,8	35	13	35,8	209	0	-51,4	35	13	-212,4
4 1994	legume Zwischenfrucht	89	0	-24,9	35	97	115	0	103,6	35	97	120,6	103	0	0	-9	35	97
5 1995	Hafer	89	0	-24,9	35	97	115	0	103,6	35	97	120,6	103	0	-9	35	97	20
6 1996	Winterroggen	87	0	26,7	35	12	112	0	113,2	35	12	48,2	153	0	22,7	35	12	-83,3
7 1997	Kleegras	229	0	164,1	35	235	261	0	263,7	35	306	343,7	261	0	221	35	306	301
8 1998	Kleegras	229	0	174,8	35	235	261	0	263,4	35	306	343,4	261	0	230,3	35	306	310,3
9 1999	Winterweizen	96	0	24,6	35	13	123	0	85,2	35	13	10,2	209	0	-16,5	35	13	-177,5
10 2000	legume Zwischenfrucht	102	0	18,1	35	97	102	0	83,5	35	97	112,5	103	0	43,5	35	97	72,5
11 2001	Hafer	102	0	18,1	35	97	102	0	83,5	35	97	112,5	103	0	43,5	35	97	72,5
12 2002	Winterroggen	87	0	55,6	35	12	112	0	97,5	35	12	32,5	153	0	54,4	35	12	-51,6
13 2003	Kleegras	229	0	167,7	35	235	261	0	251,4	35	306	331,4	261	0	219,7	35	306	299,7
14 2004	Kleegras	229	0	164,7	35	235	261	0	253,8	35	306	333,8	261	0	212,2	35	306	292,2
15 2005	Winterweizen	96	0	63	35	13	123	0	77,3	35	13	2,3	209	0	30,1	35	13	-130,9
16 2006	legume Zwischenfrucht	89	0	26,8	35	97	89	0	77,4	35	97	94,4	103	0	52,6	35	97	81,6
17 2007	Hafer	89	0	26,8	35	97	89	0	77,4	35	97	94,4	103	0	52,6	35	97	81,6
18 2008	Winterroggen	87	0	47,7	35	12	112	0	92,7	35	12	27,7	153	0	40,7	35	12	-65,3
19 2009	Kleegras	229	0	187,6	35	235	261	0	247,5	35	306	327,5	261	0	242,7	35	306	322,7
20 2010	Kleegras	229	0	157,1	35	235	261	0	250,7	35	306	330,7	261	0	200,4	35	306	280,4
	Winterweizen	96	0	50,3	35	13	123	0	74,9	35	13	-0,1	209	0	11,5	35	13	-149,5
	Hafer	89	0	47,5	35	97	103	0	75,2	35	97	104,2	103	0	76,7	35	97	105,7
	legume Zwischenfrucht	89	0	47,5	35	97	103	0	75,2	35	97	104,2	103	0	76,7	35	97	105,7
	Winterroggen	87	0	59,4	35	12	112	0	91	35	12	26	153	0	54,6	35	12	-51,4

Tabelle 38: Daten N-Saldberechnung der Var. II bei geringer Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden											
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier-Deposition	Saldo						
1 1991	Winterweizen	96	70	-16,4	35	8	-69,4	123	70	129	35	8	49	209	70	-47,1	35	8	-213,1
2 1992	Ackerbohne	145	0	-8	35	94	-24	180	0	139,1	35	96	90,1	180	0	22,1	35	96	-26,9
3 1993	Hafer	145	0	-8	35	94	-24	180	0	139,1	35	96	90,1	180	0	22,1	35	96	-26,9
4 1994	Winterroggen	87	70	-13,3	35	7	-58,3	112	70	106,2	35	7	36,2	153	70	-20,8	35	7	-131,8
5 1995	Futtererbse	74	0	10	35	86	57	114	0	118,8	35	87	126,8	114	0	26,4	35	87	34,4
6 1996	Sommergerste	74	0	10	35	86	57	114	0	118,8	35	87	126,8	114	0	26,4	35	87	34,4
7 1997	Dinkel	51	0	20,3	35	12	16,3	74	0	97,9	35	12	70,9	74	0	44,3	35	12	17,3
8 1998	Winterweizen	96	70	-0,8	35	8	-53,8	123	70	55,4	35	8	-24,6	209	70	-30,9	35	8	-196,9
9 1999	Ackerbohne	145	0	18,5	35	94	2,5	180	0	81,8	35	96	32,8	180	0	57,9	35	96	8,9
10 2000	Hafer	145	0	18,5	35	94	2,5	180	0	81,8	35	96	32,8	180	0	57,9	35	96	8,9
11 2001	Winterroggen	87	70	2,8	35	7	-42,2	112	70	61,4	35	7	-8,6	153	70	-1,6	35	7	-112,6
12 2002	Sommergerste	74	0	32,2	35	86	79,2	108	0	83,5	35	87	97,5	108	0	57	35	87	71
13 2003	Futtererbse	74	0	32,2	35	86	79,2	108	0	83,5	35	87	97,5	108	0	57	35	87	71
14 2004	Dinkel	51	0	32	35	12	28	74	0	70,2	35	12	43,2	74	0	57,6	35	12	30,6
15 2005	Winterweizen	96	70	-3	35	8	-56	123	70	33,7	35	8	-46,3	209	70	-38,8	35	8	-204,8
16 2006	Hafer	172	0	7,6	35	94	-35,4	180	0	64,7	35	96	15,7	180	0	36,5	35	96	-12,5
17 2007	Ackerbohne	172	0	7,6	35	94	-35,4	180	0	64,7	35	96	15,7	180	0	36,5	35	96	-12,5
18 2008	Winterroggen	87	70	21,1	35	7	-23,9	112	70	47,7	35	7	-22,3	153	70	24,8	35	7	-86,2
19 2009	Futtererbse	74	0	34,7	35	86	81,7	114	0	72,7	35	87	80,7	114	0	58,6	35	87	66,6
20 2010	Sommergerste	74	0	34,7	35	86	81,7	114	0	72,7	35	87	80,7	114	0	58,6	35	87	66,6
21 2011	Dinkel	51	0	24,3	35	12	20,3	74	0	61,7	35	12	34,7	74	0	43,5	35	12	16,5
22 2012	Winterweizen	96	70	5,4	35	8	-47,6	123	70	26,7	35	8	-53,3	209	70	-27,4	35	8	-193,4
23 2013	Ackerbohne	172	0	3,9	35	94	-39,1	180	0	59,2	35	96	10,2	180	0	29,3	35	96	-19,7
24 2014	Hafer	172	0	3,9	35	94	-39,1	180	0	59,2	35	96	10,2	180	0	29,3	35	96	-19,7
25 2015	Winterroggen	87	70	8,6	35	7	-36,4	112	70	43,2	35	7	-26,8	153	70	4,8	35	7	-106,2
26 2016	Sommergerste	78	0	44,9	35	86	87,9	114	0	69	35	87	77	114	0	72,9	35	87	80,9
27 2017	Futtererbse	78	0	44,9	35	86	87,9	114	0	69	35	87	77	114	0	72,9	35	87	80,9
28 2018	Dinkel	51	0	30,2	35	12	26,2	74	0	58,6	35	12	31,6	74	0	51,4	35	12	24,4

Tabelle 39: Daten N-Saldberechnung Var. III bei geringer Temperatur

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden											
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	sonstiges	Saldo								
1 1991	Winterweizen	96	0	-132	35	13	-180	123	0	29,5	35	13	-45,5	209	0	-162,9	35	13	-323,9
2 1992	legume Zwischenfrucht	89	0	-4,8	35	97	38,2	103	0	170	35	97	199	115	0	20,8	35	97	37,8
3 1993	Hafer	89	0	-4,8	35	97	38,2	103	0	170	35	97	199	115	0	20,8	35	97	37,8
4 1994	Wintergerste	51	0	-7,8	35	12	-82	74	0	85	35	12	58	74	0	-61,3	35	12	-88,3
5 1995	legume Zwischenfrucht	85	0	30,1	35	97	77,1	139	0	183,9	35	97	176,9	139	0	35,7	35	97	28,7
6 1996	Sommergerste	85	0	30,1	35	97	77,1	139	0	183,9	35	97	176,9	139	0	35,7	35	97	28,7
7 1997	Winterroggen	87	0	80,2	35	12	40,2	112	0	175,9	35	12	110,9	153	0	75,6	35	12	-30,4
8 1998	Winterweizen	96	0	-37,2	35	13	-85,2	123	0	36,1	35	13	-38,9	209	0	-66,9	35	13	-227,9
9 1999	legume Zwischenfrucht	89	0	98,3	35	97	141,3	115	0	175,8	35	97	192,8	103	0	135	35	97	164
10 2000	Hafer	89	0	98,3	35	97	141,3	115	0	175,8	35	97	192,8	103	0	135	35	97	164
11 2001	Wintergerste	51	0	-11,1	35	12	-15,1	74	0	89,7	35	12	62,7	74	0	10,2	35	12	-16,8
12 2002	legume Zwischenfrucht	102	0	113,9	35	97	143,9	139	0	187,6	35	97	180,6	139	0	128,1	35	97	121,1
13 2003	Sommergerste	102	0	113,9	35	97	143,9	139	0	187,6	35	97	180,6	139	0	128,1	35	97	121,1
14 2004	Winterroggen	87	0	134,5	35	12	94,5	112	0	179	35	12	114	153	0	133,3	35	12	27,3
15 2005	Winterweizen	96	0	-20,1	35	13	-68,1	123	0	38,8	35	13	-36,2	209	0	-54,5	35	13	-215,5
16 2006	legume Zwischenfrucht	89	0	88,7	35	97	131,7	115	0	178,1	35	97	195,1	115	0	114,9	35	97	131,9
17 2007	Hafer	89	0	88,7	35	97	131,7	115	0	178,1	35	97	195,1	115	0	114,9	35	97	131,9
18 2008	Wintergerste	51	0	57,7	35	12	53,7	74	0	91,2	35	12	64,2	74	0	88,6	35	12	61,6
19 2009	legume Zwischenfrucht	85	0	133,7	35	97	180,7	124	0	189,1	35	97	197,1	124	0	147,3	35	97	155,3
20 2010	Sommergerste	85	0	133,7	35	97	180,7	124	0	189,1	35	97	197,1	124	0	147,3	35	97	155,3
21 2011	Winterroggen	87	0	125,2	35	12	85,2	112	0	180,4	35	12	115,4	153	0	118,2	35	12	12,2
22 2012	Winterweizen	96	0	15,7	35	13	-32,3	123	0	39,8	35	13	-35,2	209	0	-15,2	35	13	-176,2
23 2013	legume Zwischenfrucht	89	0	84,2	35	97	127,2	103	0	179,1	35	97	208,1	115	0	107	35	97	124
24 2014	Hafer	89	0	84,2	35	97	127,2	103	0	179,1	35	97	208,1	115	0	107	35	97	124
25 2015	Wintergerste	51	0	32	35	12	28	74	0	92,2	35	12	65,2	74	0	55	35	12	28
26 2016	legume Zwischenfrucht	85	0	170,4	35	97	217,4	124	0	189,7	35	97	197,7	124	0	189,3	35	97	197,3
27 2017	Sommergerste	85	0	170,4	35	97	217,4	124	0	189,7	35	97	197,7	124	0	189,3	35	97	197,3
28 2018	Winterroggen	87	0	146,4	35	12	106,4	112	0	181	35	12	116	153	0	142,1	35	12	36,1

Tabelle 40: Daten N-Saldoberechnung Var. I bei hohen Niederschlägen

		leichter Boden				mittlerer Boden				schwerer Boden			
N Jahr	Fruchtart	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierun	Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierun	Deposition	sonstiges	Saldo
1 1991	Kleegras	229	0	105,3	35	235	146,3	261	0	327,6	35	306	407,6
2 1992	Kleegras	229	0	127,1	35	235	168,1	261	0	328,4	35	306	408,4
3 1993	Winterweizen	96	0	-2,2	35	13	-50,2	123	0	118,4	35	13	43,4
4 1994	legume Zwischenfrucht	89	0	-7,3	35	97	35,7	115	0	127,8	35	97	144,8
5 1994	Hafer	89	0	-7,3	35	97	35,7	115	0	127,8	35	97	144,8
5 1995	Winterroggen	87	0	23,6	35	12	-16,4	112	0	121,8	35	12	56,8
6 1996	Kleegras	229	0	126,7	35	235	167,7	261	0	248,6	35	306	328,6
7 1997	Kleegras	229	0	159,6	35	235	200,6	261	0	273,4	35	306	353,4
8 1998	Winterweizen	96	0	35,5	35	13	-12,5	123	0	94,6	35	13	19,6
8 1999	legume Zwischenfrucht	102	0	25,6	35	97	55,6	103	0	103,1	35	97	132,1
9 1999	Hafer	102	0	25,6	35	97	55,6	103	0	103,1	35	97	132,1
10 2000	Winterroggen	87	0	58,7	35	12	18,7	112	0	114	35	12	49
11 2001	Kleegras	229	0	164,8	35	235	205,8	261	0	253,1	35	306	333,1
12 2002	Kleegras	229	0	181,2	35	235	222,2	261	0	262,5	35	306	342,5
13 2003	Winterweizen	96	0	48,5	35	13	0,5	123	0	80,3	35	13	5,3
14 2004	legume Zwischenfrucht	89	0	27	35	97	70	115	0	80	35	97	97
14 2004	Hafer	89	0	27	35	97	70	115	0	80	35	97	97
15 2005	Winterroggen	87	0	57,4	35	12	17,4	112	0	94,5	35	12	29,5
16 2006	Kleegras	229	0	181,8	35	235	222,8	261	0	257	35	306	337
17 2007	Kleegras	229	0	194,2	35	235	235,2	261	0	262,8	35	306	342,8
18 2008	Winterweizen	96	0	59,4	35	13	11,4	123	0	80,9	35	13	5,9
19 2009	Hafer	89	0	34,1	35	97	77,1	103	0	77,8	35	97	106,8
19 2009	legume Zwischenfrucht	89	0	34,1	35	97	77,1	103	0	77,8	35	97	106,8
20 2010	Winterroggen	87	0	47,7	35	12	7,7	112	0	76,9	35	12	11,9

Variante I

Tabelle 41: Daten N-Saldoberechnung Var. II bei hohen Niederschlägen

		leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden									
N Jahr	Fruchtart	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier Deposition	sonstiges	Saldo	
1 1991	Winterweizen	96	70	-25,6	35	-78,6	123	70	149,1	35	8	209	70	-63,6	35	8	-229,6
2 1992	Ackerbohne	145	0	-4,7	35	-20,7	180	0	168,5	35	96	180	0	27,4	35	96	-21,6
3 1993	Hafer	145	0	-4,7	35	-20,7	180	0	168,5	35	96	180	0	27,4	35	96	-21,6
4 1994	Winterroggen	87	70	-8	35	-5,7	112	70	113,8	35	7	153	70	-12,4	35	7	-123,4
5 1995	Futtererbse	74	0	23,4	35	86	114	0	137,2	35	87	114	0	48,5	35	87	56,5
6 1996	Sommergerste	74	0	23,4	35	86	114	0	137,2	35	87	114	0	48,5	35	87	56,5
7 1997	Dinkel	51	0	17,7	35	12	74	0	104,2	35	12	74	0	39,6	35	12	12,6
8 1998	Winterweizen	96	70	-20,6	35	-73,6	123	70	42,8	35	8	209	70	-62,1	35	8	-228,1
9 1999	Ackerbohne	145	0	4	35	94	180	0	88,8	35	96	180	0	33	35	96	-16
10 2000	Hafer	145	0	4	35	94	180	0	88,8	35	96	180	0	33	35	96	-16
11 2001	Winterroggen	87	70	7,8	35	-37,2	112	70	69,5	35	7	153	70	6,8	35	7	-104,2
12 2002	Sommergerste	74	0	37,2	35	86	108	0	96,6	35	87	108	0	64,8	35	87	78,8
13 2003	Futtererbse	74	0	37,2	35	86	108	0	96,6	35	87	108	0	64,8	35	87	78,8
14 2004	Dinkel	51	0	34,1	35	12	74	0	82,1	35	12	74	0	60,7	35	12	33,7
15 2005	Winterweizen	96	70	-4,2	35	-57,2	123	70	34,8	35	8	209	70	-40,5	35	8	-206,5
16 2006	Hafer	172	0	16,1	35	94	180	0	71,8	35	96	180	0	49,7	35	96	0,7
17 2007	Ackerbohne	172	0	16,1	35	94	180	0	71,8	35	96	180	0	49,7	35	96	0,7
18 2008	Winterroggen	87	70	13,2	35	-31,8	112	70	51,7	35	7	153	70	12,2	35	7	-98,8
19 2009	Futtererbse	74	0	34,7	35	86	114	0	74,1	35	87	114	0	58,5	35	87	66,5
20 2010	Sommergerste	74	0	34,7	35	86	114	0	74,1	35	87	114	0	58,5	35	87	66,5
21 2011	Dinkel	51	0	30,3	35	12	74	0	63,2	35	12	74	0	52,9	35	12	25,9
22 2012	Winterweizen	96	70	2,8	35	-50,2	123	70	33,7	35	8	209	70	-31,5	35	8	-197,5
23 2013	Ackerbohne	172	0	22,5	35	94	180	0	69,1	35	96	180	0	58,2	35	96	9,2
24 2014	Hafer	172	0	22,5	35	94	180	0	69,1	35	96	180	0	58,2	35	96	9,2
25 2015	Winterroggen	87	70	18,7	35	-26,3	112	70	50	35	7	153	70	19	35	7	-92
26 2016	Sommergerste	78	0	37,6	35	86	114	0	70,5	35	87	114	0	61,8	35	87	69,8
27 2017	Futtererbse	78	0	37,6	35	86	114	0	70,5	35	87	114	0	61,8	35	87	69,8
28 2018	Dinkel	51	0	23,2	35	12	74	0	49,1	35	12	74	0	41,2	35	12	14,2

Tabelle 42: Daten N-Saldberechnung Var. III bei hohen Niederschlägen

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden				mittlerer Boden				schwerer Boden									
		Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierun	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierun	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	linearisierun	Saldo						
1 1991	Winterweizen	96	0	-144,7	35	13	-192,7	123	0	54,8	35	13	-20,2	209	0	-182,8	35	13	-343,8
2 1992	legume Zwischenfrucht	89	0	-0,9	35	97	42,1	103	0	209,8	35	97	238,8	115	0	26,2	35	97	43,2
3 1992	Hafer	89	0	-0,9	35	97	42,1	103	0	209,8	35	97	238,8	115	0	26,2	35	97	43,2
3 1993	Wintergerste	51	0	-68,6	35	12	-72,6	74	0	98,7	35	12	71,7	74	0	-48,6	35	12	-75,6
4 1994	legume Zwischenfrucht	85	0	61,1	35	97	108,1	139	0	216,4	35	97	209,4	139	0	74,1	35	97	67,1
4 1994	Sommergerste	85	0	61,1	35	97	108,1	139	0	216,4	35	97	209,4	139	0	74,1	35	97	67,1
5 1995	Winterroggen	87	0	72,8	35	12	32,8	112	0	185,6	35	12	120,6	153	0	66,6	35	12	-39,4
6 1996	Winterweizen	96	0	-84	35	13	-132	123	0	15,2	35	13	-59,8	209	0	-125,7	35	13	-286,7
7 1997	legume Zwischenfrucht	89	0	61,5	35	97	104,5	115	0	191	35	97	208	103	0	86,7	35	97	115,7
7 1997	Hafer	89	0	61,5	35	97	104,5	115	0	191	35	97	208	103	0	86,7	35	97	115,7
8 1998	Wintergerste	51	0	4,2	35	12	0,2	74	0	109,8	35	12	82,8	74	0	28,9	35	12	1,9
9 1999	legume Zwischenfrucht	102	0	127,1	35	97	157,1	139	0	216,1	35	97	209,1	139	0	143,7	35	97	136,7
9 1999	Sommergerste	102	0	127,1	35	97	157,1	139	0	216,1	35	97	209,1	139	0	143,7	35	97	136,7
10 2000	Winterroggen	87	0	139,3	35	12	99,3	112	0	199,3	35	12	134,3	153	0	139,1	35	12	33,1
11 2001	Winterweizen	96	0	-23,7	35	13	-71,7	123	0	41,7	35	13	-33,3	209	0	-58,7	35	13	-219,7
12 2002	legume Zwischenfrucht	89	0	112,1	35	97	155,1	115	0	191	35	97	208	115	0	143,4	35	97	160,4
12 2002	Hafer	89	0	112,1	35	97	155,1	115	0	191	35	97	208	115	0	143,4	35	97	160,4
13 2003	Wintergerste	51	0	33,3	35	12	29,3	74	0	100,8	35	12	73,8	74	0	59,1	35	12	32,1
14 2004	legume Zwischenfrucht	85	0	133,7	35	97	180,7	124	0	190,8	35	97	198,8	124	0	147,5	35	97	155,5
14 2004	Sommergerste	85	0	133,7	35	97	180,7	124	0	190,8	35	97	198,8	124	0	147,5	35	97	155,5
15 2005	Winterroggen	87	0	142,2	35	12	102,2	112	0	178,8	35	12	113,8	153	0	138,6	35	12	32,6
16 2006	Winterweizen	96	0	7	35	13	-41	123	0	54,4	35	13	-20,6	209	0	-25,5	35	13	-186,5
17 2007	legume Zwischenfrucht	89	0	138,9	35	97	181,9	103	0	196,3	35	97	225,3	115	0	173,2	35	97	190,2
17 2007	Hafer	89	0	138,9	35	97	181,9	103	0	196,3	35	97	225,3	115	0	173,2	35	97	190,2
18 2008	Wintergerste	51	0	55,7	35	12	51,7	74	0	106,5	35	12	79,5	74	0	83,6	35	12	56,6
19 2009	legume Zwischenfrucht	85	0	148,1	35	97	195,1	124	0	189,9	35	97	197,9	124	0	162,7	35	97	170,7
19 2009	Sommergerste	85	0	148,1	35	97	195,1	124	0	189,9	35	97	197,9	124	0	162,7	35	97	170,7
20 2010	Winterroggen	87	0	126,8	35	12	86,8	112	0	155	35	12	90	153	0	119,1	35	12	13,1

Variante III

Tabelle 43: Daten N-Saldoberechnung Var. I bei geringen Niederschlägen

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden											
		Aufnahme	min.Zufuhr	MineralisierDeposition	Aufnahme	min.Zufuhr	MineralisierDeposition	Aufnahme	min.Zufuhr	MineralisierDeposition	Saldo								
1	1991 Klee gras	229	0	127,2	35	235	168,2	261	0	327,4	35	306	407,4	261	0	187,3	35	306	267,3
2	1992 Klee gras	229	0	148,1	35	235	189,1	261	0	328,2	35	306	408,2	261	0	207	35	306	287
3	1993 Winterweizen	96	0	12,7	35	13	-35,3	123	0	118,3	35	13	43,3	209	0	-22	35	13	-183
4	1994 legume Zwischenfrucht	89	0	14,7	35	97	57,7	115	0	127,7	35	97	144,7	103	0	49,8	35	97	78,8
5	1994 Hafer	89	0	14,7	35	97	57,7	115	0	127,7	35	97	144,7	103	0	49,8	35	97	78,8
5	1995 Winterroggen	87	0	41,3	35	12	1,3	112	0	121,8	35	12	56,8	153	0	42,4	35	12	-63,6
6	1996 Klee gras	229	0	151	35	235	192	261	0	248,5	35	306	328,5	261	0	202,9	35	306	282,9
7	1997 Klee gras	229	0	177,2	35	235	218,2	261	0	273,4	35	306	353,4	261	0	232	35	306	312
8	1998 Winterweizen	96	0	45,5	35	13	-2,5	123	0	94,5	35	13	19,5	209	0	11,1	35	13	-149,9
9	1999 legume Zwischenfrucht	102	0	40,9	35	97	70,9	103	0	103	35	97	132	103	0	75,2	35	97	104,2
9	1999 Hafer	102	0	40,9	35	97	70,9	103	0	103	35	97	132	103	0	75,2	35	97	104,2
10	2000 Winterroggen	87	0	69,1	35	12	29,1	112	0	113,9	35	12	48,9	153	0	72,1	35	12	-33,9
11	2001 Klee gras	229	0	180,1	35	235	221,1	261	0	253	35	306	333	261	0	235,8	35	306	315,8
12	2002 Klee gras	229	0	192,1	35	235	233,1	261	0	262,5	35	306	342,5	261	0	246,4	35	306	326,4
13	2003 Winterweizen	96	0	53,2	35	13	5,2	123	0	80,3	35	13	5,3	209	0	17,3	35	13	-143,7
14	2004 legume Zwischenfrucht	89	0	38,5	35	97	81,5	115	0	80	35	97	97	103	0	68,7	35	97	97,7
14	2004 Hafer	89	0	38,5	35	97	81,5	115	0	80	35	97	97	103	0	68,7	35	97	97,7
15	2005 Winterroggen	87	0	65,8	35	12	25,8	112	0	94,5	35	12	29,5	153	0	64,5	35	12	-41,5
16	2006 Klee gras	229	0	192,2	35	235	233,2	261	0	257	35	306	337	261	0	249,1	35	306	329,1
17	2007 Klee gras	229	0	200,3	35	235	241,3	261	0	262,8	35	306	342,8	261	0	255,1	35	306	335,1
18	2008 Winterweizen	96	0	60,1	35	13	12,1	123	0	80,9	35	13	5,9	209	0	24,7	35	13	-136,3
19	2009 Hafer	89	0	42,2	35	97	85,2	103	0	77,7	35	97	106,7	103	0	72,3	35	97	101,3
19	2009 legume Zwischenfrucht	89	0	42,2	35	97	85,2	103	0	77,7	35	97	106,7	103	0	72,3	35	97	101,3
20	2010 Winterroggen	87	0	56	35	12	16	112	0	76,8	35	12	11,8	153	0	50,6	35	12	-55,4

Tabelle 44: Daten N-Saldoberechnung Var. II bei geringen Niederschlägen

N Jahr	Fruchtart	leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden		
		Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisierungs-Deposition	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisierungs-Deposition	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisierungs-Deposition
1	1991 Winterweizen	96	70	-10,9	123	70	148,9	209	70	-37,2
2	1992 Ackerbohne	145	0	14,3	180	0	168,4	180	0	60,5
3	1993 Winterroggen	87	70	7,6	112	70	113,6	153	70	12,4
4	1994 Futtererbse	74	0	38,7	114	0	137,2	114	0	73,3
5	1995 Sommergerste	74	0	38,7	114	0	137,2	114	0	73,3
6	1996 Dinkel	51	0	29	74	0	104,1	74	0	57,2
7	1997 Winterweizen	96	70	-10,4	123	70	142,7	209	70	-46,9
8	1998 Ackerbohne	145	0	18,4	180	0	88,8	180	0	57,3
9	1999 Winterroggen	87	70	18,3	112	70	69,4	153	70	22
10	2000 Sommergerste	74	0	46,2	108	0	96,6	108	0	78,6
11	2001 Futtererbse	74	0	46,2	108	0	96,6	108	0	78,6
12	2002 Dinkel	51	0	39,4	74	0	82,1	74	0	68,2
13	2003 Winterweizen	96	70	1,4	123	70	34,7	209	70	-32,2
14	2004 Hafer	172	0	24,1	180	0	71,7	180	0	62,9
15	2005 Ackerbohne	172	0	24,1	180	0	71,7	180	0	62,9
16	2006 Winterroggen	87	70	19,4	112	70	51,7	153	70	20,8
17	2007 Futtererbse	74	0	41,3	114	0	74	114	0	68,7
18	2008 Sommergerste	74	0	41,3	114	0	74	114	0	68,7
19	2009 Dinkel	51	0	34,3	74	0	63,1	74	0	58,5
20	2010 Winterweizen	96	70	6	123	70	33,7	209	70	-26,6
21	2011 Ackerbohne	172	0	27,5	180	0	69	180	0	66,6
22	2012 Hafer	172	0	27,5	180	0	69	180	0	66,6
23	2013 Winterroggen	87	70	22,4	112	70	50	153	70	23,9
24	2014 Sommergerste	78	0	42,2	114	0	70,4	114	0	69
25	2015 Futtererbse	78	0	42,2	114	0	70,4	114	0	69
26	2016 Dinkel	51	0	27,2	74	0	49,1	74	0	47,1
27	2017 Winterweizen	96	70	-63,9	123	70	148,9	209	70	-37,2
28	2018 Ackerbohne	145	0	-1,7	180	0	168,4	180	0	60,5
29	2019 Hafer	145	0	-1,7	180	0	168,4	180	0	60,5
30	2020 Winterroggen	87	70	-37,4	112	70	113,6	153	70	12,4
31	2021 Futtererbse	74	0	85,7	114	0	145,2	114	0	73,3
32	2022 Sommergerste	74	0	85,7	114	0	145,2	114	0	73,3
33	2023 Dinkel	51	0	25	74	0	77,1	74	0	57,2
34	2024 Winterweizen	96	70	-63,4	123	70	142,7	209	70	-46,9
35	2025 Ackerbohne	145	0	2,4	180	0	89,8	180	0	57,3
36	2026 Hafer	145	0	2,4	180	0	89,8	180	0	57,3
37	2027 Winterroggen	87	70	-26,7	112	70	69,4	153	70	22
38	2028 Sommergerste	74	0	93,2	108	0	96,6	108	0	78,6
39	2029 Futtererbse	74	0	93,2	108	0	96,6	108	0	78,6
40	2030 Dinkel	51	0	35,4	74	0	82,1	74	0	68,2
41	2031 Winterweizen	96	70	-51,6	123	70	34,7	209	70	-32,2
42	2032 Hafer	172	0	-18,9	180	0	71,7	180	0	62,9
43	2033 Ackerbohne	172	0	-18,9	180	0	71,7	180	0	62,9
44	2034 Winterroggen	87	70	-25,6	112	70	51,7	153	70	20,8
45	2035 Futtererbse	74	0	88,3	114	0	74	114	0	68,7
46	2036 Sommergerste	74	0	88,3	114	0	74	114	0	68,7
47	2037 Dinkel	51	0	30,3	74	0	63,1	74	0	58,5
48	2038 Winterweizen	96	70	-47	123	70	33,7	209	70	-26,6
49	2039 Ackerbohne	172	0	-15,5	180	0	69	180	0	66,6
50	2040 Hafer	172	0	-15,5	180	0	69	180	0	66,6
51	2041 Winterroggen	87	70	-22,6	112	70	50	153	70	23,9
52	2042 Sommergerste	78	0	85,2	114	0	70,4	114	0	69
53	2043 Futtererbse	78	0	85,2	114	0	70,4	114	0	69
54	2044 Dinkel	51	0	23,2	74	0	49,1	74	0	47,1
55	2045 Winterweizen	96	70	-212,9	123	70	148,9	209	70	-37,2
56	2046 Ackerbohne	145	0	96	180	0	168,4	180	0	60,5
57	2047 Hafer	145	0	96	180	0	168,4	180	0	60,5
58	2048 Winterroggen	87	70	-98,6	112	70	113,6	153	70	12,4
59	2049 Futtererbse	74	0	81,3	114	0	145,2	114	0	73,3
60	2050 Sommergerste	74	0	81,3	114	0	145,2	114	0	73,3
61	2051 Dinkel	51	0	30,2	74	0	77,1	74	0	57,2
62	2052 Winterweizen	96	70	-212,9	123	70	142,7	209	70	-46,9
63	2053 Ackerbohne	145	0	8,3	180	0	89,8	180	0	57,3
64	2054 Hafer	145	0	8,3	180	0	89,8	180	0	57,3
65	2055 Winterroggen	87	70	-89	112	70	69,4	153	70	22
66	2056 Sommergerste	74	0	92,6	108	0	96,6	108	0	78,6
67	2057 Futtererbse	74	0	92,6	108	0	96,6	108	0	78,6
68	2058 Dinkel	51	0	41,2	74	0	82,1	74	0	68,2
69	2059 Winterweizen	96	70	-198,2	123	70	34,7	209	70	-32,2
70	2060 Hafer	172	0	96	180	0	71,7	180	0	62,9
71	2061 Ackerbohne	172	0	96	180	0	71,7	180	0	62,9
72	2062 Winterroggen	87	70	-90,2	112	70	51,7	153	70	20,8
73	2063 Futtererbse	74	0	82,7	114	0	74	114	0	68,7
74	2064 Sommergerste	74	0	82,7	114	0	74	114	0	68,7
75	2065 Dinkel	51	0	31,5	74	0	63,1	74	0	58,5
76	2066 Winterweizen	96	70	-192,6	123	70	33,7	209	70	-26,6
77	2067 Ackerbohne	172	0	20	180	0	69	180	0	66,6
78	2068 Hafer	172	0	20	180	0	69	180	0	66,6
79	2069 Winterroggen	87	70	-87,1	112	70	50	153	70	23,9
80	2070 Sommergerste	78	0	77	114	0	70,4	114	0	69
81	2071 Futtererbse	78	0	77	114	0	70,4	114	0	69
82	2072 Dinkel	51	0	20,1	74	0	49,1	74	0	47,1

Tabelle 45: Daten N-Saldoberechnung Var. III bei geringen Niederschlägen

		leichter Boden			mittlerer Boden			schwerer Boden				
N Jahr	Fruchtart	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	sonstiges	Saldo	Aufnahme	min.Zufuhr	Mineralisier/Deposition	sonstiges	Saldo	
1 1991	Winterweizen	96	0	-123,4	35	13	123	0	54,6	35	13	-20,4
2 1992	legume Zwischenfrucht	89	0	36,2	35	97	103	0	209,6	35	97	238,6
3 1993	Hafer	89	0	36,2	35	97	103	0	209,6	35	97	238,6
4 1994	Wintergerste	51	0	-37,3	35	12	74	0	98,5	35	12	71,5
5 1995	legume Zwischenfrucht	85	0	98,8	35	97	139	0	216,3	35	97	209,3
6 1996	Sommergerste	85	0	98,8	35	97	139	0	216,3	35	97	209,3
7 1997	Winterroggen	87	0	96,9	35	12	112	0	185,5	35	12	120,5
8 1998	Winterweizen	96	0	-60	35	13	123	0	15,1	35	13	-59,9
9 1999	legume Zwischenfrucht	89	0	100,5	35	97	115	0	190,9	35	97	207,9
10 2000	Hafer	89	0	100,5	35	97	115	0	190,9	35	97	207,9
11 2001	Wintergerste	51	0	31,8	35	12	74	0	109,7	35	12	82,7
12 2002	legume Zwischenfrucht	102	0	154,7	35	97	139	0	216,1	35	97	209,1
13 2003	Sommergerste	102	0	154,7	35	97	139	0	216,1	35	97	209,1
14 2004	Winterroggen	87	0	152,1	35	12	112	0	199,3	35	12	134,3
15 2005	Winterweizen	96	0	-7,2	35	13	123	0	41,6	35	13	-33,4
16 2006	legume Zwischenfrucht	89	0	134,9	35	97	115	0	190,9	35	97	207,9
17 2007	Hafer	89	0	134,9	35	97	115	0	190,9	35	97	207,9
18 2008	Wintergerste	51	0	50,9	35	12	74	0	100,7	35	12	73,7
19 2009	legume Zwischenfrucht	85	0	155,2	35	97	124	0	190,7	35	97	198,7
20 2010	Sommergerste	85	0	155,2	35	97	124	0	190,7	35	97	198,7
21 2011	Winterroggen	87	0	151,1	35	12	112	0	178,7	35	12	113,7
22 2012	Winterweizen	96	0	16	35	13	123	0	54,3	35	13	-20,7
23 2013	legume Zwischenfrucht	89	0	152	35	97	103	0	196,2	35	97	225,2
24 2014	Hafer	89	0	152	35	97	103	0	196,2	35	97	225,2
25 2015	Wintergerste	51	0	65,7	35	12	74	0	106,5	35	12	79,5
26 2016	legume Zwischenfrucht	85	0	163	35	97	124	0	189,8	35	97	197,8
27 2017	Sommergerste	85	0	163	35	97	124	0	189,8	35	97	197,8
28 2018	Winterroggen	87	0	136,3	35	12	112	0	155	35	12	90
29 2019	Winterweizen	96	0	-13	35	13	123	0	-13	35	13	-174
30 2020	legume Zwischenfrucht	89	0	190,9	35	97	115	0	190,9	35	97	207,9
31 2021	Hafer	89	0	190,9	35	97	115	0	190,9	35	97	207,9
32 2022	Wintergerste	51	0	94,8	35	12	74	0	94,8	35	12	67,8
33 2023	legume Zwischenfrucht	85	0	179,8	35	97	124	0	179,8	35	97	187
34 2024	Sommergerste	85	0	179,8	35	97	124	0	179,8	35	97	187
35 2025	Winterroggen	87	0	130,9	35	12	112	0	130,9	35	12	24,9

Tabelle 46: Corg-Veränderung bei den einzelnen Fruchtwechslern

	Variante I			Variante II			Variante III		
	leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
	Normal								
1. FW	7,27	0,00	4,39	2,49	-6,12	1,32	14,36	-0,47	9,01
2. FW	1,58	-1,70	1,08	0,04	-2,44	-0,96	1,20	-2,41	0,04
3. FW	1,57	-0,89	1,27	0,37	-1,51	-0,51	0,67	-1,77	-0,09
4. FW	1,47	-0,66	1,30	0,47	-1,24	-0,34	0,45	-1,62	-0,15
	360mm								
1. FW	6,12	-3,91	3,34	1,52	-6,12	0,36	12,80	-0,47	7,66
2. FW	1,49	-1,70	1,01	-0,01	-2,44	-1,01	1,01	-2,41	-0,12
3. FW	1,10	-0,89	0,90	0,04	-1,51	-0,81	-0,05	-1,77	-0,66
4. FW	0,89	-0,67	0,81	0,05	-1,24	-0,76	-0,50	-1,61	-0,92
	760mm								
1. FW	8,05	-3,91	5,11	3,18	-6,12	2,03	15,38	-0,47	9,93
2. FW	2,62	-1,70	1,95	0,88	-2,44	-0,15	3,03	-2,41	1,52
3. FW	1,78	-0,90	1,47	0,60	-1,51	-0,28	1,25	-1,77	0,38
4. FW	1,30	-0,66	1,16	0,40	-1,24	-0,39	0,37	-1,61	-0,21
	7,8°C								
1. FW	8,35	-2,76	5,35	3,41	-5,08	2,22	15,79	0,91	10,24
2. FW	2,65	-1,01	1,96	0,79	-1,91	-0,26	2,83	-1,41	1,31
3. FW	2,01	-0,68	1,63	0,74	-1,31	-0,16	1,49	-1,48	0,58
4. FW	1,72	-0,57	1,51	0,73	-1,11	-0,10	0,96	-1,51	0,28
	10,39°C								
1. FW	6,69	-4,53	3,86	1,98	-6,69	0,82	13,59	-1,21	8,33
2. FW	1,78	-1,44	1,24	0,13	-2,24	-0,88	1,36	-2,05	0,16
3. FW	1,40	-1,00	1,14	0,26	-1,59	-0,62	0,38	-1,90	-0,31
4. FW	1,23	-0,87	1,11	0,32	-1,40	-0,49	0,08	-1,88	-0,44

10.3 Zu Gliederungspunkt 6.1

Tabelle 47: Jährliche Temperatur & Niederschlagsübersicht von 1991 bis 2011

Jahr	Temp (°C)	Niederschlag (mm)	
1991	8,74	410	
1992	9,79	603	
1993	8,74	671	
1994	9,90	685	
1995	9,26	537	
1996	7,48	361	
1997	9,18	425	
1998	9,42	609	
1999	10,14	533	
2000	10,39	494	
2001	9,24	544	
2002	9,83	616	
2003	9,57	361	
2004	9,29	568	
2005	9,35	621	
2006	9,9	484	
2007	10,24	760	
2008	10,03	608	
2009	9,46	497	
2010	8,08	601	
2011	9,83	676	
max. temp.	10,39	760	max. mm
min. temp.	7,48	361	min. mm
Ø°C	9,42	1,17	Ø %

Tabelle 48: Durchschnittsdaten von Temperatur und Niederschlag von 1961 bis 1990 sowie 1991 bis 2011

1961-1990	mm	°C	1991-2011	mm	°C
Januar	37,52	-0,82	Januar	44,6	0,6
Februar	27,62	-0,04	Februar	36,8	1,4
März	33,44	3,14	März	38,0	4,3
April	37,16	7,47	April	30,4	9,3
Mai	36,24	12,81	Mai	51,6	13,8
Juni	60,74	16,22	Juni	56,6	16,7
Juli	48,48	17,50	Juli	67,4	19,0
August	38,61	17,26	August	56,4	18,4
September	41,36	13,73	September	46,9	14,3
Oktober	32,47	9,38	Oktober	40,9	9,4
November	44,04	4,49	November	40,2	4,8
Dezember	36,24	-0,83	Dezember	45,5	1,3

Tabelle 49: Durchschnittstemperatur- & -niederschlagssummen von 1961 bis 2011

Jahr	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	
mm $\bar{\phi}$	682,9	486,4	439,6	444,8	501,6	558,9	573,7	531,3	450,9	552,5	390,9	532,5	463,2	628,8	377,3	
Temp. $\bar{\phi}$	9,13	7,50	7,46	8,29	7,82	8,70	9,49	8,59	7,65	7,83	8,94	8,16	8,68	9,20	9,45	
Σ																
Jahr	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
mm $\bar{\phi}$	410,9	616,2	524,5	505,7	592,2	683,4	361,4	483,3	560,2	488,8	599,7	513,7	448,4	361,5	549,7	
Temp. $\bar{\phi}$	8,36	8,87	8,30	7,81	7,60	8,49	9,23	9,75	8,34	7,87	8,26	7,59	9,47	10,30	10,14	
Σ																
Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
mm $\bar{\phi}$	409,4	602,9	670,7	684,8	537,1	361,1	424,6	608,9	533,3	494,2	544,4	615,5	361,4	568	621,4	
Temp. $\bar{\phi}$	8,82	9,83	8,84	10,03	9,32	7,57	9,26	9,44	10,28	10,46	9,32	9,90	9,67	9,33	9,46	
Σ																
Jahr	2006	2007	2008	2009	2010	2011										
mm $\bar{\phi}$	484,3	759,6	608	497,3	601,1	676,2										
Temp. $\bar{\phi}$	9,96	10,28	10,07	9,53	8,14	9,94										
Σ																

Tabelle 50: Temperaturmonatesdaten von 1961 bis 1990

Jahr	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Januar	-1,15	2,05	-8,00	-2,71	1,38	-2,86	0,31	-1,34	-1,60	-4,94	-1,74	-3,95	-0,26	2,85	4,94
Februar	3,98	0,77	-6,47	-0,24	-1,49	0,09	2,78	0,52	-3,10	-2,73	1,99	0,66	2,29	3,34	0,87
März	6,03	0,31	1,29	-0,46	1,19	3,49	5,74	4,40	-1,14	0,57	1,17	4,92	4,60	4,85	3,65
April	10,43	8,75	7,79	8,64	6,86	7,88	6,65	9,34	6,79	5,25	7,36	7,54	5,63	7,96	6,52
Mai	10,87	10,12	13,33	13,61	11,54	13,62	13,69	11,13	13,07	12,11	14,53	11,83	12,45	11,49	12,23
Juni	17,50	14,54	17,12	18,07	16,42	18,36	15,55	17,42	16,13	18,07	14,80	15,71	16,86	14,61	15,64
Juli	15,65	15,02	18,71	18,44	15,26	17,03	19,20	16,66	19,04	16,80	18,61	18,79	18,56	15,55	19,34
August	15,79	15,44	17,18	16,16	15,47	16,68	17,29	17,91	17,61	17,97	19,29	16,52	17,80	17,85	19,91
September	16,04	12,18	14,18	13,62	14,13	12,80	15,23	14,35	14,45	13,09	12,47	11,57	13,98	14,11	16,06
Oktober	11,25	9,48	8,78	7,66	8,44	11,18	11,32	10,20	10,08	9,37	9,43	7,16	7,74	6,75	8,09
November	4,23	3,69	7,48	5,14	0,42	2,91	4,53	4,43	5,57	5,70	4,13	4,99	3,31	5,32	2,86
Dezember	-1,50	2,05	-8,00	-2,71	1,38	-2,86	0,31	-1,34	-1,60	-4,94	-1,74	-3,95	-0,26	2,85	4,94

Jahr	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Januar	0,46	-0,32	1,25	-4,76	-4,38	-1,27	-3,33	4,70	1,37	-5,56	-0,07	-6,63	3,54	3,45	3,87
Februar	-0,86	1,74	-1,59	-3,87	0,24	0,55	-0,84	-1,13	-0,07	-3,06	-7,21	-1,28	2,80	4,16	5,94
März	0,61	5,66	4,95	2,34	1,41	5,72	4,40	5,12	2,13	2,87	2,41	-0,44	2,53	6,66	7,20
April	6,89	5,63	6,54	7,00	6,33	7,28	6,90	8,74	7,48	7,79	6,48	8,90	7,79	8,24	8,60
Mai	12,57	12,33	13,03	13,24	10,87	14,63	12,98	12,89	12,63	14,28	14,80	10,41	14,78	14,44	14,67
Juni	17,23	16,68	15,84	17,79	15,65	16,32	16,43	16,68	13,83	14,32	16,36	14,48	15,49	16,64	16,20
Juli	19,54	16,49	15,99	15,12	16,07	17,35	19,39	20,61	15,63	17,57	17,79	17,25	17,94	18,36	17,11
August	16,80	16,62	16,07	16,98	16,64	16,92	18,42	19,11	18,00	17,16	16,75	15,58	17,52	17,62	18,60
September	12,99	12,24	12,00	13,75	13,69	14,24	15,99	14,52	12,71	13,53	11,59	13,88	14,11	15,95	12,33
Oktober	8,97	9,85	9,92	7,95	8,61	8,19	10,48	9,61	10,71	9,56	9,73	9,61	9,80	11,09	10,47
November	5,02	5,85	5,58	3,78	4,00	4,94	6,20	4,36	4,18	1,50	6,64	6,01	3,25	3,52	5,25
Dezember	0,46	-0,32	1,25	-4,76	-4,38	-1,27	-3,33	4,70	1,37	-5,56	-0,07	-6,63	3,54	3,45	3,87

Tabelle 51: Niederschlagsmonatsdaten von 1961 bis 1990

Jahr	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
mm															
Januar	38,4	42,4	6,9	19,5	45,2	38,5	49,2	33,6	29,6	19,1	18,6	13,8	25,1	46,1	34,8
Februar	44,4	54,3	8,5	19	20,1	57,7	55,2	6,8	33,1	45	16,9	3,4	15,5	21,9	11,1
März	30,3	22,7	17,9	24,9	22	24	54,2	33,5	18,2	52,4	18,7	31,5	12,8	10	25,8
April	39,9	40,2	51,2	47,1	77,2	42,3	14,9	7,7	46,2	76,4	16,2	39,3	60,7	14,5	39,1
Mai	0	42,4	6,9	19,5	45,2	38,5	49,2	33,6	29,6	19,1	18,6	13,8	25,1	46,1	34,8
Juni	73	33,5	74,4	59,4	19,6	76,6	61,4	42	82,7	69,6	91,6	106,9	18,5	68,2	37,2
Juli	71,3	93,1	30	13,1	84,2	70,1	81,9	56,6	9,5	52	15,3	70,3	72,9	52,9	47,9
August	71	42,4	6,9	19,5	45,2	38,5	49,2	33,6	29,6	19,1	18,6	13,8	25,1	46,1	34,8
September	44,1	40,5	41,7	24,6	38,2	21,8	50,1	108,3	4,6	40,1	44,2	24,7	26,2	42,6	35,3
Oktober	48,2	7,7	23,3	25,2	20,1	19,4	42,3	53	15,7	53,6	16,8	18,8	41,4	85,1	23,2
November	63,4	16	74,7	55,4	38,3	37,9	45,3	61,1	60,2	59,8	29,9	43,8	47,9	43,4	26,4
Dezember	0	42,4	6,9	19,5	45,2	38,5	49,2	33,6	29,6	19,1	18,6	13,8	25,1	46,1	34,8

Jahr	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
mm															
Januar	127,7	37,4	28,1	27,4	24	45,6	49,3	65,1	64,5	41,1	48,6	31,3	37,2	8,8	28,7
Februar	15,9	36,8	20,4	16,7	26,9	21,2	10,1	20,8	31,3	15,3	14,6	32,7	73,4	29,6	50,1
März	12,9	38	53,2	58,7	23	110,3	48,2	30,4	10,1	25,3	50,7	25,5	63,6	31,3	23,2
April	6,7	62,8	8,7	28,7	79,5	14,4	21,7	60,5	26,9	71	46,7	27,7	1,6	22,8	22,3
Mai	127,7	37,4	28,1	27,4	24	45,6	49,3	65,1	64,5	41,1	48,6	31,3	37,2	8,8	28,7
Juni	12,9	64,4	48,2	42,1	85,1	87,9	34,8	18,5	72	76	86,9	52,8	74,2	38,8	113
Juli	26,4	67,4	42,1	64,8	85,1	67,6	16,3	1	44,7	22,7	25,8	47,3	58,6	37,6	25,9
August	127,7	37,4	28,1	27,4	24	45,6	49,3	65,1	64,5	41,1	48,6	31,3	37,2	8,8	28,7
September	52,9	40,8	109,1	18,1	37,9	71,3	12,9	15,2	45,5	45,1	38	74,3	15,6	10,7	66,5
Oktober	25,7	28,4	22,8	11,3	44	85,3	37,4	47,3	34,4	21,1	37,7	15	14,5	38,1	17,2
November	40	54,4	12,1	67,7	39,5	45,9	19,4	42,1	39,3	43,6	25,7	61,5	29,6	44,6	52,4
Dezember	127,7	37,4	28,1	27,4	24	45,6	49,3	65,1	64,5	41,1	48,6	31,3	37,2	8,8	28,7

Tabelle 52: Temperaturmonatsdaten von 1991 bis 2011

Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Januar	2,01	1,58	2,22	3,19	0,71	-3,77	-2,90	2,52	2,86	1,67	1,00	2,07	-0,48	-1,11	2,69	-3,63	4,97	3,58	-2,27	-4,84	1,04
Februar	-3,00	3,40	0,31	-1,03	4,53	-3,33	3,96	5,56	1,23	4,34	1,46	4,98	-1,92	2,78	-0,16	-0,35	3,11	4,28	0,41	-0,87	-0,10
März	5,58	4,90	3,83	5,48	3,73	0,50	5,04	4,72	4,94	5,18	2,95	5,13	4,26	4,84	3,28	0,54	6,97	4,45	4,86	4,21	3,95
April	7,78	8,41	10,38	9,05	8,38	8,82	6,52	9,83	9,79	10,96	7,60	8,38	8,65	9,64	9,35	8,24	11,13	8,19	12,60	8,74	12,08
Mai	10,19	14,98	15,80	13,33	12,98	12,04	12,78	14,82	13,93	15,70	14,58	15,03	14,99	12,61	13,14	13,52	15,00	14,94	13,79	10,95	14,09
Juni	14,19	19,42	15,43	15,99	15,48	16,05	17,01	17,15	16,16	17,41	14,57	17,37	19,13	15,41	16,09	17,49	18,11	17,65	15,15	17,03	17,47
Juli	19,81	19,71	16,20	22,78	20,74	16,30	18,75	16,74	20,41	16,18	19,51	18,61	19,93	17,10	18,62	23,01	17,72	18,81	19,05	21,84	17,28
August	18,00	19,16	15,72	18,39	19,66	18,83	21,28	16,55	18,01	17,53	18,97	20,75	20,10	19,28	16,45	17,07	17,79	17,88	19,35	18,08	17,98
September	14,90	13,77	12,57	13,83	13,56	11,73	14,10	14,18	17,58	14,13	12,84	14,70	14,70	14,27	15,57	17,64	13,24	13,55	15,14	13,15	15,20
Oktober	9,02	6,01	8,54	7,48	11,98	9,61	8,33	8,74	9,77	11,85	12,73	8,12	6,38	9,90	11,28	12,57	8,51	9,46	7,91	8,22	9,98
November	4,67	4,91	0,73	6,79	2,67	5,32	3,76	1,63	4,48	6,78	4,39	4,33	6,64	4,43	4,65	7,36	3,89	5,65	7,38	4,77	4,62
Dezember	1,78	1,32	3,35	3,71	-3,12	-2,48	1,92	0,59	2,84	3,12	0,31	-1,55	2,75	2,40	1,31	5,43	2,41	1,95	0,22	-4,35	4,44

Tabelle 53: Niederschlagsdaten von 1991 bis 2011

Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Januar	21,5	31,5	49,9	105,7	67,2	0	4	62	35,8	45,4	32	44,2	43,9	66,7	55,1	17,3	78,1	95	15,9	28,8	37,1
Februar	22,9	39	33	6,3	60,5	16,7	47,3	13	49,7	42,3	36,8	82,7	5,2	43	36,6	43,6	59,9	29,4	35,7	30,4	38,3
März	31,8	61,9	7	71,9	45,3	8	20,9	51,9	55	55,8	32,3	42,8	19,6	22	16	44,8	42,9	80,1	35,1	38,5	15
April	39,1	52,2	19,9	47,8	34,8	8,3	25,1	47,9	36,4	29,8	37	51,2	12,6	24,8	14,8	46,6	0,8	70,3	2,5	9,4	27
Mai	33,9	27,3	52,2	35,6	21,7	77,2	76,7	31,5	63,3	14,5	18	47,5	31,9	41,2	84,4	50,2	146,8	20	49,1	128,5	33,1
Juni	63,5	31,8	161,4	90,3	84,5	19,7	21,5	48,8	64	52,3	65,1	36,1	27	61,4	33	32,5	107,4	35,8	43,1	19,7	90
Juli	34,7	65,5	80,5	24,2	49	64,8	85,2	40,2	18,3	66,4	50,7	47,3	38,1	109,1	184,2	28,5	111,9	40,9	49,7	9,4	217,6
August	23	144	70	83,8	34,3	25,4	18,5	63	30	52,2	45,2	67,7	21,6	54,6	38,8	87,8	52,7	70,9	20,9	113,1	67
September	32,3	17,8	76,3	66,6	62,3	34,5	16,6	51,6	43,3	39,6	118,5	27,7	50,1	35,7	35,9	13,1	74,2	37,6	29,1	73,6	49,1
Oktober	20	27,1	13,8	43	12,5	49,9	36,4	114,4	25,8	34,7	31,6	95	48,3	28,3	37,5	34	8,2	64,1	84,6	21	28,3
November	43,8	62,4	21,9	39,7	37,7	44	15,4	35,2	21,4	29,1	31,1	65	25,7	55,1	32,1	50,6	43,6	24,1	90,8	73,7	2,3
Dezember	42,9	42,4	84,8	69,9	27,3	12,6	57	49,4	90,3	32,1	46,1	8,3	37,4	26,1	53	35,3	33,1	39,8	40,8	55	71,4

10.4 Zu Gliederungspunkt 6.5

Tabelle 54: Kosten und Leistungen der Var. I leichter Boden

Variante I Leichter Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	Klee (€/ha)	WW (€/ha)	Hafer (€/ha)	WR (€/ha)	Klee (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	0,0	917,6	345,8	473,6	0,0	1.737,00
Summe Leistung	0,0	917,6	345,8	473,6	0,0	1.737,00
Z-Saatgut	41,3	120,6	95,2	91,2	41,3	389,60
Z-Saatgut zwischenfrucht	0,0	82,8	0,0	0,0	0,0	82,80
Kalk	0,0	59,0	59,0	59,0	0,0	177,00
Hagelversicherung	0,0	8,6	3,3	4,4	0,0	16,25
Zinsansatz (3 Monate)	0,4	2,7	2,4	2,4	0,4	8,31
Summe Direktkosten	41,7	273,7	159,9	157,0	41,7	673,96
Direktkostenfreie Leistung	-41,7	643,9	185,9	316,6	-41,7	1.063,04
Variable Maschinenkosten	42,6	174,6	182,5	168,1	42,6	610,38
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	84,3	448,3	425,1	407,9	84,3	1.449,93
Deckungsbeitrag	-84,3	469,3	-79,3	65,7	-84,3	287,07
Fixe Maschinenkosten	33,2	194,5	205,2	191,7	33,2	657,85
Fixe Lohnkosten	47,3	173,6	180,8	165,8	47,3	614,55
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	164,8	816,4	811,1	765,4	164,8	2.722,33
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	-164,8	101,2	-465,3	-291,8	-164,8	-985,33
Arbeiterledigungskosten	123,1	542,7	568,4	525,6	123,1	1.882,82

Tabelle 55: Kosten und Leistung der Var. I mittlerer Boden

Variante I Mittlerer Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	Klee (€/ha)	WW (€/ha)	Hafer (€/ha)	WR (€/ha)	Klee (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	0,0	1221,4	414,4	630,4	0,0	2.266,20
Summe Leistung	0,0	1221,4	414,4	630,4	0,0	2.266,20
Z-Saatgut	41,3	120,6	95,2	91,2	41,3	389,60
Z-Saatgut zwischenfrucht	0,0	82,8	0,0	0,0	0,0	82,80
Kalk	0,0	82,8	0,0	0,0	0,0	82,80
Hagelversicherung	0,0	59,0	59,0	59,0	0,0	177,00
Zinsansatz (3 Monate)	0,0	11,4	3,8	5,9	0,0	21,11
Summe Direktkosten	0,4	2,7	2,4	2,4	0,4	8,36
Direktkostenfreie Leistung	41,7	276,5	160,4	158,5	41,7	678,87
Variable Maschinenkosten	-41,7	944,9	254,0	471,9	-41,7	1.587,33
Variable Lohnkosten	46,9	178,5	185,4	172,3	46,9	630,09
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	88,6	455,1	428,7	413,6	88,6	1.474,55
Deckungsbeitrag	-88,6	766,3	-14,3	216,9	-88,6	791,65
Fixe Maschinenkosten	35,8	204,1	213,1	201,8	35,8	690,52
Fixe Lohnkosten	47,3	175,4	182,6	165,8	47,3	618,15
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	171,6	834,5	824,3	781,1	171,6	2.783,22
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	-171,6	386,9	-409,9	-150,7	-171,6	-517,02
Arbeiterledigungskosten	129,9	558,0	581,1	541,8	129,9	1.940,71

Tabelle 56: Kosten und Leistungen der Var.I schwerer Boden

Variante I Schwerer Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	Klee (€/ha)	WW (€/ha)	Hafer (€/ha)	WR (€/ha)	Klee (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	0,0	2139,0	414,4	867,2	0,0	3.420,60
Summe Leistung	0,0	2139,0	414,4	867,2	0,0	3.420,60
Z-Saatgut	41,3	120,6	95,2	91,2	41,3	389,60
Z-Saatgut zwischenfrucht	0,0	82,8	0,0	0,0	0,0	82,80
Kalk	0,0	59,0	59,0	59,0	0,0	177,00
Hagelversicherung	0,0	20,0	3,8	8,1	0,0	31,94
Zinsansatz (3 Monate)	0,4	2,8	2,4	2,4	0,4	8,47
Summe Direktkosten	41,7	285,2	160,4	160,7	41,7	689,81
Direktkostenfreie Leistung	-41,7	1853,8	254,0	706,5	-41,7	2.730,79
Variable Maschinenkosten	56,2	209,6	207,0	197,5	56,2	726,43
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	97,9	494,8	450,3	441,0	97,9	1.581,84
Deckungsbeitrag	-97,9	1644,2	-35,9	426,2	-97,9	1.838,76
Fixe Maschinenkosten	48,5	242,5	224,5	226,8	48,5	790,79
Fixe Lohnkosten	47,3	181,7	182,6	165,8	47,3	624,45
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	193,7	919,0	857,3	833,5	193,7	2.997,08
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	-193,7	1220,0	-442,9	33,7	-193,7	423,52
Arbeiterledigungskosten	152,0	633,7	614,0	595,4	152,0	2.147,07

Tabelle 57: Kosten und Leistungen der Var. II leichter Boden

Variante II Leichter Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	WW (€/ha)	A/H (€/ha)	WR (€/ha)	E/G (€/ha)	Dinkel (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	917,6	610,7	473,6	207,0	541,8	2.750,65
Erntegut, roh, ökologisch	0,0	138,6	0,0	262,4	0,0	401,00
Summe Leistung	917,6	749,3	473,6	469,4	541,8	3.151,65
Z-Saatgut	120,6	113,4	91,2	62,0	288,2	675,40
Z-Saatgut	0,0	40,8	0,0	65,6	0,0	106,40
organische Düngung	160,0	0,0	160,0	0,0	0,0	320,00
Kalk	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	295,00
Hagelversicherung	8,6	7,0	4,4	4,4	5,0	29,42
Zinsansatz (3 Monate)	2,7	2,2	2,4	1,9	4,4	13,55
Summe Direktkosten	350,9	222,4	317,0	192,9	356,6	1.439,77
Direktkostenfreie Leistung	566,7	526,9	156,6	276,5	185,2	1.711,88
Variable Maschinenkosten	194,6	165,1	188,1	160,0	173,6	881,40
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	545,5	387,5	505,1	352,9	530,2	2.321,17
Deckungsbeitrag	372,1	361,8	-31,5	116,5	11,6	830,48
Fixe Maschinenkosten	194,5	197,4	191,7	199,3	194,4	977,35
Fixe Lohnkosten	173,6	174,3	165,8	162,0	173,9	849,45
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	913,6	759,2	862,6	714,2	898,4	4.147,97
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	4,0	-9,9	-389,0	-244,8	-356,7	-996,32
Arbeiterledigungskosten	542,7	536,8	525,6	521,4	541,8	2.668,20

Tabelle 58: Kosten und Leistungen der Var. II mittlerer Boden

Variante II Mittlerer Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	WW (€/ha)	A/H (€/ha)	WR (€/ha)	E/G (€/ha)	Dinkel (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	1221,4	765,7	630,4	297,0	814,0	3.728,50
Erntegut, roh, ökologisch	0,0	179,2	0,0	403,9	0,0	583,05
Summe Leistung	1221,4	944,9	630,4	700,9	814,0	4.311,55
Z-Saatgut	120,6	113,4	91,2	62,0	288,2	675,40
Z-Saatgut	0,0	40,8	0,0	65,6	0,0	106,40
organische Düngung	160,0	0,0	160,0	0,0	0,0	320,00
Kalk	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	295,00
Hagelversicherung	11,4	8,8	5,9	6,5	7,6	40,16
Zinsansatz (3 Monate)	2,7	2,2	2,4	1,9	4,4	13,65
Summe Direktkosten	353,7	224,2	318,5	195,1	359,1	1.450,62
Direktkostenfreie Leistung	867,7	720,7	311,9	505,8	454,9	2.860,93
Variable Maschinenkosten	198,5	169,8	192,3	166,1	179,3	905,98
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	552,3	393,9	510,8	361,1	538,5	2.356,60
Deckungsbeitrag	669,1	551,0	119,6	339,7	275,5	1.954,95
Fixe Maschinenkosten	204,1	208,9	201,8	213,1	209,5	1.037,30
Fixe Lohnkosten	175,4	182,1	167,7	172,1	173,9	871,05
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	931,7	784,9	880,3	746,2	921,8	4.264,95
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	289,7	160,0	-249,9	-45,4	-107,8	46,60
Arbeiterledigungskosten	558,0	560,7	541,8	551,3	566,1	2.777,86

Tabelle 59: Kosten und Leistungen der Var. II schwerer Boden

Variante II Schwerer Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	WW (€/ha)	A/H (€/ha)	WR (€/ha)	E/G (€/ha)	Dinkel (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	2139,0	765,7	867,2	297,0	814,0	4.882,90
Erntegut, roh, ökologisch	0,0	179,2	0,0	403,9	0,0	583,05
Summe Leistung	2139,0	944,9	867,2	700,9	814,0	5.465,95
Z-Saatgut	120,6	113,4	91,2	62,0	288,2	675,40
Z-Saatgut	0,0	40,8	0,0	65,6	0,0	106,40
organische Düngung	160,0	0,0	160,0	0,0	0,0	320,00
Kalk	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	295,00
Hagelversicherung	20,0	8,8	8,1	6,5	7,6	51,00
Zinsansatz (3 Monate)	2,8	2,2	2,4	1,9	4,4	13,76
Summe Direktkosten	362,4	224,2	320,7	195,1	359,1	1.461,56
Direktkostenfreie Leistung	1776,6	720,7	546,5	505,8	454,9	4.004,39
Variable Maschinenkosten	229,6	191,0	217,5	186,8	198,6	1.023,29
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	592,0	415,1	538,2	381,8	557,7	2.484,85
Deckungsbeitrag	1547,0	529,8	329,0	319,0	256,3	2.981,10
Fixe Maschinenkosten	242,5	219,7	226,8	223,7	219,2	1.131,90
Fixe Lohnkosten	181,7	182,1	171,2	172,1	177,3	884,25
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	1016,2	817,0	936,1	777,5	954,2	4.501,00
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	1122,8	127,9	-68,9	-76,7	-140,2	964,95
Arbeiterledigungskosten	633,7	592,8	595,4	582,5	595,1	2.999,44

Tabelle 60: Kosten und Leistungen der Var. III leichter Boden

Variante III Leichter Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	WW (€/ha)	Hafer (€/ha)	Dinkel (€/ha)	SG (€/ha)	WR (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	917,6	345,8	541,8	506,4	473,6	2.785,10
Summe Leistung	917,6	345,8	541,8	506,4	473,6	2.785,10
Z-Saatgut	120,6	95,2	288,2	86,8	91,2	682,00
Z-Saatgut	82,8	0,0	82,8	0,0	0,0	165,60
HTK	0,0	75,0	0,0	75,0	0,0	150,00
Kalk	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	295,00
Hagelversicherung	8,6	3,3	5,0	4,8	4,4	26,06
Zinsansatz (3 Monate)	2,7	2,4	4,4	2,3	2,4	14,17
Summe Direktkosten	273,7	234,9	439,4	227,9	157,0	1.332,83
Direktkostenfreie Leistung	643,9	110,9	102,4	278,5	316,6	1.452,27
Variable Maschinenkosten	174,6	182,5	173,6	185,2	168,1	883,97
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	448,3	417,3	613,0	413,1	325,1	2.216,80
Deckungsbeitrag	469,3	-71,5	-71,2	93,2	148,5	568,30
Fixe Maschinenkosten	194,5	205,2	194,4	199,5	191,7	985,38
Fixe Lohnkosten	173,6	180,8	173,9	186,5	165,8	880,35
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	816,4	803,3	981,2	799,1	682,6	4.082,53
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	101,2	-457,5	-439,5	-292,7	-209,0	-1.297,43
Arbeitserledigungskosten	542,7	568,4	541,8	571,2	525,6	2.749,70

Tabelle 61: Kosten und Leistungen der Var. III mittlerer Boden

Variante III Mittlerer Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	WW (€/ha)	Hafer (€/ha)	Dinkel (€/ha)	SG (€/ha)	WR (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	1221,4	414,4	814,0	807,7	630,4	3.887,90
Summe Leistung	1221,4	414,4	814,0	807,7	630,4	3.887,90
Z-Saatgut	120,6	95,2	288,2	86,8	91,2	682,00
Z-Saatgut	82,8	0,0	82,8	0,0	0,0	165,60
HTK	75,0	0,0	75,0	0,0	0,0	150,00
Kalk	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	295,00
Hagelversicherung	11,4	3,8	7,6	7,6	5,9	36,24
Zinsansatz (3 Monate)	2,7	2,4	3,5	2,4	2,4	13,44
Summe Direktkosten	351,5	160,4	516,1	155,7	158,5	1.342,28
Direktkostenfreie Leistung	869,9	254,0	297,9	652,0	471,9	2.545,62
Variable Maschinenkosten	178,5	185,4	179,3	191,8	172,3	907,38
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	530,1	345,9	695,5	347,5	330,8	2.249,66
Deckungsbeitrag	691,3	68,5	118,5	460,2	299,6	1.638,24
Fixe Maschinenkosten	204,1	213,1	209,5	217,3	201,8	1.045,75
Fixe Lohnkosten	175,4	182,6	177,3	190,2	167,7	893,10
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	909,5	741,5	1082,2	755,0	700,3	4.188,51
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	311,9	-327,1	-268,2	52,7	-69,9	-300,61
Arbeitserledigungskosten	558,0	581,1	566,1	599,3	541,8	2.846,23

Tabelle 62: Kosten und Leistungen der Var. III schwerer Boden

Variante III Schwerer Boden						
Leistungen und Kosten Leistungs-/Kostenart	je 1ha					
	WW (€/ha)	Hafer (€/ha)	Dinkel (€/ha)	SG (€/ha)	WR (€/ha)	Σ (€/ha)
Erntegut, roh, ökologisch	2139,0	414,4	814,0	807,7	867,2	5.042,30
Summe Leistung	2139,0	414,4	814,0	807,7	867,2	5.042,30
Z-Saatgut	120,6	95,2	288,2	86,8	91,2	682,00
Z-Saatgut	12,1	0,0	82,8	0,0	0,0	94,86
HTK	75,0	0,0	75,0	0,0	0,0	150,00
Kalk	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	295,00
Hagelversicherung	20,0	3,8	7,6	7,6	5,9	44,83
Zinsansatz (3 Monate)	2,8	2,4	4,4	2,4	2,4	14,36
Summe Direktkosten	289,5	160,4	516,9	155,7	158,5	1.281,05
Direktkostenfreie Leistung	1849,5	254,0	297,1	652,0	708,7	3.761,25
Variable Maschinenkosten	209,6	207,0	198,6	213,6	191,2	1.020,00
Variable Lohnkosten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Dienstleistungen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Variable Kosten	499,0	367,4	715,5	369,4	349,7	2.301,05
Deckungsbeitrag	1640,0	47,0	98,5	438,3	517,5	2.741,25
Fixe Maschinenkosten	242,5	224,5	219,2	228,6	211,6	1.126,41
Fixe Lohnkosten	181,7	182,6	177,3	190,2	167,7	899,40
Direkt- und Arbeiterledigungskosten	923,2	774,5	1112,0	788,2	729,0	4.326,86
Direkt- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung	1215,8	-360,1	-298,0	19,5	138,2	715,44
Arbeiterledigungskosten	633,7	614,0	595,1	632,5	570,5	3.045,81

Tabelle 63: Entwicklung des Corg-Gehaltes nach 4. Rotationen

Corg Entwicklung der 20 Jahre			
Corg (%)	Variante I	Variante II	Variante III
Leichter B.	0,1344	0,0419	0,2923
Mittlerer B.	-0,1133	-0,1775	-0,0006
Schwerer B.	0,1355	0,0366	0,3024

Tabelle 64: Berechnung der Korrigierten DB sowie Erlöse

DB	Leichter B.	Mittlerer B.	Schwerer B.	Erlös	Leichter B.	Mittlerer B.	Schwerer B.
Variante I	287,07	791,65	1.838,76	Variante I	1.737,00	2.266,20	3.420,60
Variante II	830,48	1.954,95	2.981,10	Variante II	3.151,65	4.311,55	5.465,95
Variante III	568,30	1.638,24	2.741,25	Variante III	2785,10	3.887,90	5.042,30
DB Korrigiert	Korrigiert durch Corg Entwicklung			Erlös Korr.	Korrigiert durch Corg Entwicklung		
Variante I	520,52	534,89	2302,25	Variante I	1970,45	2009,44	3884,09
Variante II	962,53	1189,65	3181,15	Variante II	3283,70	3546,25	5666,00
Variante III	1382,38	1635,91	4266,04	Variante III	3599,18	3885,57	6567,09
DB Korr. %				Erlös Korr. %			
Variante I	81,32	-32,43	25,21	Variante I	13,44	-11,33	13,55
Variante II	15,90	-39,15	6,71	Variante II	4,19	-17,75	3,66
Variante III	143,25	-0,14	55,62	Variante III	29,23	-0,06	30,24

Tabelle 65: Entwicklung des Corg-Gehaltes und daraus entstandenen nFK Gewinn

	Corg (%)			nFK (l/m ²)		
	Variante I	Variante II	Variante III	Variante I	Variante II	Variante III
Leichter B.	0,1344	0,0419	0,2923	6,95	2,17	15,12
Mittlerer B.	-0,1133	-0,1775	-0,0006	-5,86	-9,18	-0,03
Schwerer B.	0,1355	0,0366	0,3024	7,01	1,89	15,64