

Thema



**Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes in Ackerböden auf der
Grundlage bodenstrukturabhängiger Umsatzprozesse**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. rer. nat.

vorgelegt der

Mathematisch–Naturwissenschaftlichen-Technischen Fakultät
(mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich)
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von

Katrin Kuka

geb. am: 02.06.1973 in: Halle/Saale

Gutachter:

1. Prof. Dr. Manfred Frühauf, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
2. Prof. Dr. Jörg Bachmann, Universität Hannover

Die Verteidigung der Dissertation erfolgte am 17.11.2005.

urn:nbn:de:gbv:3-000010027

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000010027>]

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-------------|
| Inhaltsverzeichnis..... | I |
| Abbildungsverzeichnis..... | III |
| Tabellenverzeichnis..... | VI |
| Symbolverzeichnis..... | VIII |
| | |
| 0 Vorwort | 1 |
| 1 Einleitung | 2 |
| 1.1 Problemstellung..... | 2 |
| 1.2 Zielsetzung | 4 |
| 1.3 Lösungsweg..... | 4 |
| 2 Grundlagen | 6 |
| 2.1 Kohlenstoffkreislauf..... | 6 |
| 2.2 Bodengefüge und -wasser | 8 |
| 2.3 Bodenprozessmodell CANDY | 10 |
| 3 Material und Methoden | 17 |
| 3.1 Inkubationsexperimente | 17 |
| 3.1.1 Inkubationsexperiment mit gelöster organischer Substanz..... | 17 |
| 3.1.2 Inkubationsexperiment mit ¹⁴ C-markiertem Weizenstroh | 17 |
| 3.2 Charakterisierung der Versuchsstandorte..... | 18 |
| 3.2.1 „Statischer Düngungsversuch“ Bad Lauchstädt..... | 20 |
| 3.2.2 „Ewiger Roggenbau“ Halle..... | 22 |
| 3.2.3 „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag | 24 |
| 3.2.4 „Grakov Versuchsfeld“ Grakov | 26 |
| 3.2.5 „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely | 27 |
| 3.3 Bodenphysikalische Untersuchungen | 29 |
| 3.3.1 Scannermessungen | 29 |
| 3.3.2 Bestimmung der Trockenrohddichte..... | 30 |
| 3.3.3 Bestimmung des Eindringwiderstandes | 32 |
| 3.4 C-Input Berechnungen | 33 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4 | Modellentwicklung von CIPS | 35 |
| 4.1 | Poolkonzept..... | 35 |
| 4.2 | Modelstruktur..... | 36 |
| 4.3 | Initialisierung des Modells..... | 39 |
| 4.4 | Parametrisierung von CIPS..... | 40 |
| 5 | Modellvalidierung | 53 |
| 5.1 | Präprozessing..... | 55 |
| 5.2 | Simulationsergebnisse „Statischer Dauerdüngungsversuch“ in Bad Lauchstädt..... | 57 |
| 5.3 | Simulationsergebnisse „Ewiger Roggenbau“ in Halle..... | 59 |
| 5.4 | Simulationsergebnisse „Versuchsfeld B“ in Prag-Ruzyně..... | 61 |
| 5.5 | Simulationsergebnisse „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov..... | 63 |
| 5.6 | Simulationsergebnisse „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely..... | 65 |
| 6 | Dichtedynamik | 67 |
| 6.1 | Dichtebestimmung mittels Stechzylindern..... | 67 |
| 6.2 | Dichtebestimmung aus Höhendifferenzen und deren Verteilung im A _p -Horizont .. | 71 |
| 6.2.1 | Dichtebestimmung aus Höhendifferenzen..... | 72 |
| 6.2.2 | Verteilung der Trockenrohddichte aus Höhendifferenzen im Bodenprofil | 79 |
| 6.3 | Sensitivität der Dichte auf das Umsatzverhalten der organischen Substanz..... | 84 |
| 7 | Diskussion | 89 |
| 8 | Ausblick | 99 |
| 9 | Zusammenfassung | 100 |
| 10 | Literatur | 102 |
| | Danksagung | 110 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abb. 2.1: Der globale Kohlenstoffkreislauf (UNEP, 2003)..... | 6 |
| Abb. 2.2: Schema des Kohlenstoffkreislaufs im Ackerbausystem | 7 |
| Abb. 2.3: Aufbau des CANDY-Modells (FRANKO, 1995 b)..... | 10 |
| Abb. 3.1: Durchschnittliche Jahrestemperaturen und Niederschläge der Versuchsstandorte.. | 18 |
| Abb. 3.2: Textur der Dauerversuchsböden (* Texturumrechnung von russ. in dt. System s. Anhang C) | 19 |
| Abb. 3.3: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Bad Lauchstädt (1956-2003, Klimastation Bad Lauchstädt) | 20 |
| Abb. 3.4: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Halle (1951-2001, Klimastationen Halle-Zöberitz und Halle-Kröllwitz) | 23 |
| Abb. 3.5: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Prag (1961-2002, Klimastation Prag)..... | 25 |
| Abb. 3.6: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Grakov (1967- 1999, Klimastation Grakov)..... | 26 |
| Abb. 3.7: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Keszthely (1961- 2003, Klimastation Keszthely)..... | 27 |
| Abb. 3.8: Versuchsaufbau der Scannermessung | 29 |
| Abb. 4.1: Modellstruktur von CIPS | 36 |
| Abb. 4.2: Umsatz der organischen Substanz in einer Pore (Bezeichnungen s. Tabelle 4.2) ... | 37 |
| Abb. 4.3: DOM-Versuchsmodell | 41 |
| Abb. 4.6: ^{14}C -DOM-Dynamik beim Abbau von markiertem Weizenstroh im Boden der Volldüngungsparzelle des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt | 45 |
| Abb. 4.7: Scatterplot zwischen gemessenen (DOM-Mess) und simulierten (DOM-Sim) ^{14}C -DOM Werten | 45 |
| Abb. 4.8: ^{14}C -Biomasse-Dynamik beim Abbau von markiertem Weizenstroh im Boden der Volldüngungsparzelle des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt | 46 |
| Abb. 4.9: Scatterplot zwischen gemessenen (Bio-Mess) und simulierten (Bio-Sim) ^{14}C -Biomasse Werten..... | 46 |
| Abb. 4.10: ^{14}C - CO_2 -Dynamik beim Abbau von markiertem Weizenstroh im Boden der Volldüngungsparzelle des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt | 47 |
| Abb. 4.11: Scatterplot zwischen gemessenen (CO_2 -Mess) und simulierten (CO_2 -Sim) ^{14}C - CO_2 -Werten | 47 |

| | |
|--|----|
| Abb. 4.12: Simulationsergebnis des Schwarzbracheversuches (SB) Bad Lauchstädt nach Parameteroptimierung von k_{ROM} von $0,0012 \text{ d}^{-1}$ auf $0,0011 \text{ d}^{-1}$ | 51 |
| Abb. 4.13: Simulationsergebnisse nach Einführung unterschiedlicher η_L und η_R für Anbaufrucht und Organische Dünger | 51 |
| Abb. 5.1: Schema zur Anwendung des CIPS-Modells | 53 |
| Abb. 5.2: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Statischen Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt | 57 |
| Abb. 5.3: Simulationsergebnisse der Kontroll- und Volldüngungspartzeile (STM300+NPK) des „Statischen Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt..... | 58 |
| Abb. 5.4: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Ewigen Roggenbau“ Halle | 59 |
| Abb. 5.5: Simulationsergebnisse der Kontroll- und Stallmistpartzeile (STM) des „Ewigen Roggenbaus“ Halle..... | 60 |
| Abb. 5.6: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag | 61 |
| Abb. 5.7: Simulation der Volldüngungs- (STM+NPK) und Kontrollvariante des „Prag- Ruzyně Feldes B“ Prag | 62 |
| Abb. 5.8: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Grakov Versuchsfeld“ Grakov..... | 63 |
| Abb. 5.9: Simulation der Kontrollvariante des „Grakov Versuchsfeld“ Grakov..... | 64 |
| Abb. 5.10: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely..... | 66 |
| Abb. 5.11: Simulation der Stallmist- (STM) und Kontrollvariante in im „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely..... | 66 |
| Abb. 6.1: Methode zur Bestimmung der TRD_{HD} und Verteilung im Bodenprofil mittels Eindringwiderstandsmessungen..... | 72 |
| Abb. 6.2: Prozentuale Häufigkeiten der TRD_{HD} -Klassen an den verschiedenen Messterminen | 76 |
| Abb. 6.3: Graphische Darstellung der Verteilungstatistik der TRD_{HD} | 77 |
| Abb. 6.4: Eindringwiderstandsmessungen dargestellt mit angepasster Tiefe nach Tabelle 6.7 | 79 |
| Abb. 6.5: Angenommener linearer Zusammenhang zwischen TRD_{HD} und R_E | 80 |
| Abb. 6.6: Verteilung der mittleren TRD_{HD} im Bodenprofil mittels R_E | 82 |
| Abb. 6.7: Gegenüberstellung der TRD_{HD} -Verteilung im Bodenprofil mit der Verteilung der TRD_{StZ} nach linearer Regression | 83 |

| | |
|---|----|
| Abb. 6.8: Gegenüberstellung der TRD_{HD} -Verteilung im Bodenprofil mit der Verteilung der TRD_{StZ} nach exponentieller Regression..... | 83 |
| Abb. 6.9: Änderung des Gesamtkohlenstoffgehaltes im Volldüngungsplot des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt nach 100 a bei Annahme unterschiedlicher TRD bei einem Anfangskohlenstoffgehalt von 1,8% | 88 |
| Abb. 7.1: Langzeitsimulationen vom “Statischen Dauerdüngungsversuch” Bad Lauchstädt . | 95 |
| Abb. 7.2: Langzeitsimulationen vom „Ewigen Roggenbau“ Halle | 95 |
| Abb. 7.3: Langzeitsimulationen vom „Versuchsfeld B“ Prag | 96 |
| Abb. 7.4: Langzeitsimulationen vom „Grakov Versuchsfeld” Grakov | 96 |
| Abb. 7.5: Langzeitsimulationen vom „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely..... | 97 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Tabelle 2.1: Landnutzung und Maßnahmen, welche das Gleichgewicht des Kohlenstoffhaushaltes im Boden beeinflussen (nach NIEDER et al., 2003) | 8 |
| Tabelle 2.2: Einteilung der Porengrößenbereiche nach dem Porendurchmesser und der Wasserspannung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992) | 8 |
| Tabelle 2.3: Benötigte Wetterdaten für CANDY-Simulationen | 15 |
| Tabelle 2.4: Benötigte Bodenkennwerte für CANDY-Simulationen..... | 15 |
| Tabelle 2.5: Benötigte Bewirtschaftungsdaten für CANDY-Simulationen | 16 |
| Tabelle 3.1: Auflistung der Untersuchungsstandorte für Modellanwendung | 18 |
| Tabelle 3.2: Ausgewählte Standorteigenschaften in Bad Lauchstädt | 21 |
| Tabelle 3.3: Rekonstruierte Aufgang- und Erntetermine vom „Statischen Düngungsversuch“ Bad Lauchstädt..... | 22 |
| Tabelle 3.4: Ausgewählte Standorteigenschaften in Halle (SCHLIEPHAKE et al., 2000) | 23 |
| Tabelle 3.5: Termine für fehlende Managementdaten | 24 |
| Tabelle 3.6: Ausgewählte Standorteigenschaften in Prag (KUBAT et al., 2003) | 25 |
| Tabelle 3.7: Ausgewählte Standorteigenschaften in Grakov (GUREVICH und BORONIN, 1969) | 27 |
| Tabelle 3.8: Ausgewählte Standorteigenschaften von Keszthely (NEMETH, 1982)..... | 28 |
| Tabelle 3.9: Messtermine der bodenphysikalischen Untersuchungen mit Zuordnung zu Managementterminen des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt Schlaghälfte 1 Parzelle STM+NPK..... | 30 |
| Tabelle 3.10: Fruchtartenparameter zur ertragsabhängigen Berechnung des Kohlenstoffinputs | 33 |
| Tabelle 3.11: Parameter zur Berechnung des Kohlenstoffinputs organischer Dünger | 34 |
| Tabelle 4.1: Pools des CIPS-Modells..... | 35 |
| Tabelle 4.2: Modellparameter | 38 |
| Tabelle 4.3: Startparameter | 41 |
| Tabelle 4.4: BAT-Verteilung für Stroh-Inkubationsexperiment..... | 44 |
| Tabelle 4.5: Parameterwerte von CIPS nach erster Parametrisierung | 48 |
| Tabelle 4.6: Sensitivitätsanalyse der Modellparameter – Berechnung als prozentuale Abweichung vom Gesamtkohlenstoffgehalt nach 100 a Simulation des Kontrollplots des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt gegenüber der Simulation mit Originalparametersatz (s. Tabelle 4.5) | 49 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 4.7: Parameterwerte von CIPS | 52 |
| Tabelle 5.1: Vorgehensweise zur Modellanwendung von CIPS..... | 54 |
| Tabelle 5.2: Kalkulation der BAT und Verteilung auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac) mit dem CANDY-Modell nach Kap. 2.3 | 55 |
| Tabelle 5.3: Berechnung der porenoberflächenabhängigen C-Verteilung zu Simulationsbeginn | 56 |
| Tabelle 5.4: C-Input aus Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) und Stallmist (STM) | 56 |
| Tabelle 6.1: Die Messergebnisse der Trockenrohddichte mit Stechzylindern (TRD_{StZ}) | 68 |
| Tabelle 6.2: Mittlere TRD_{StZ} berechnet mit linearem Ansatz nach Gleichung (6.1) mit den Koeffizienten p_1 und p_2 | 69 |
| Tabelle 6.3: Mittlere TRD_{StZ} berechnet mit exponentialem Ansatz nach Gleichung (6.4) mit den Koeffizienten a, b und c..... | 70 |
| Tabelle 6.4: Die aus der Änderung der TRD_{StZ} (s. Tabelle 6.2 und Tabelle 6.3) ermittelten Schichtdicken | 71 |
| Tabelle 6.5: Maximal auftretende Höhendifferenzen (Δh) bei der Rastersubtraktion..... | 74 |
| Tabelle 6.6: Datentabelle der prozentualen Häufigkeiten der TRD_{HD} -Klassen..... | 76 |
| Tabelle 6.7: Aus Scannermessungen ermittelte mittlere Schichtdicken und TRD_{HD} mit der zugehörigen Standardabweichung..... | 77 |
| Tabelle 6.8: Alle TRD im Vergleich..... | 78 |
| Tabelle 6.9: Alle mittlere Schichtdicken im Vergleich..... | 78 |
| Tabelle 6.10: Nach Gleichung (6.4) berechnete TRD_{StZ} zwischen 0-5 cm | 82 |
| Tabelle 6.11: Texturklassenumrechnung vom deutschen in das USDA7 System für den Boden des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt | 85 |
| Tabelle 6.12: Mittels Pedotransferfunktionen ermittelte PWP, FK und Porenvolumina (PV) bei experimentell bestimmter unterschiedlicher Trockenrohddichte (TRD_{HD})..... | 86 |
| Tabelle 6.13: Verteilung des Gesamtkohlenstoffs zu Simulationsbeginn ($C_{org}=1,8\%$) auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac) nach der Porenoberfläche.. | 86 |
| Tabelle 6.14: Verteilung der mit dem CANDY-Modell simulierten BAT_{glob} auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac)..... | 87 |
| Tabelle 7.1: Vergleich der Verteilung des C_{org} -Gehaltes auf die Porenklassen zwischen Simulation mit dem CIPS-Modell und Berechnung mit dem POF-Programm Beispiel des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt | 93 |

SYMBOLVERZEICHNIS

| Symbol | Bedeutung |
|----------------------|---|
| A | Oberfläche einer Porenraumklasse |
| A _{ha} | Fläche mit einer Größe von einem Hektar |
| A _{n,i} | Oberfläche einer Porenraumklasse |
| AOM | Aktive organische Substanz (Active Organic Matter) |
| AT | Abschlämbbare Teilchen (Ton+Fein-+Mittelschluff; Partikel ≤ 20 µm) |
| BAT | Biologisch aktive Zeit (Biological Active Time) |
| BAT _{glob} | globale BAT |
| BAT _{mac} | BAT in Makroporen |
| BAT _{mes} | BAT in Mesoporen |
| BAT _{mic} | BAT in Mikroporen |
| BM | Kohlenstoff in mikrobieller Biomasse |
| BT | Bodentemperatur |
| C | Kohlenstoff (Carbon) |
| C _{FOM} | Kohlenstoffinput in den Boden - Frische organische Substanz |
| C/N | Kohlenstoff- und Stickstoffverhältnis |
| C _{EWR} | Kohlenstoffmenge der EWR |
| C _i | inertter Kohlenstoff |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| C _{OD} | Kohlenstoffmenge organischer Dünger |
| C _{org_ges} | Gesamtkohlenstoffgehalt (Simulationsbeginn) |
| C _{org_n} | C _{org} -Gehalt in einer Porenraumklasse |
| DOM | Gelöste organische Substanz (Dissolved Organic Matter) |
| Ertrag _{ha} | Ertrag pro Hektar |
| EWR | Ernte- und Wurzelrückstände |
| FAT | Feinanteil (Ton+Feinschluff; Partikel ≤ 6,3µm) |
| F _{EWR} | Faktor zur Kalkulation des ertragsabhängigen Anteils von C _{EWR} |
| FK | Feldkapazität |
| FM _{OD} | Frischmasse der organischen Dünger |

| | |
|--------------------|---|
| FOM | FrISChe organISChe SubStanz (Fresh Organic Matter) |
| FOM _L | Labiler Anteil an FOM (Labile FOM) |
| FOM _R | Stabiler Anteil an FOM (Resistant FOM) |
| FOM _S | Lösliche Anteil an FOM (Soluble FOM) |
| G _{Bf} | Bruttofrischgewicht - Einwaage frISChe Stechzylinderprobe [g] |
| G _{Btro} | Bruttotrockengewicht - Einwaage trockene Stechzylinderprobe [g] |
| G _f | Nettogewicht des naturfeuchten Bodens |
| G _{St} | Einwaage Stechzylinder [g] |
| G _{TM} | Kohlenstoffgehalt der Trockenmasse |
| G _{tro} | Nettogewicht des trockenen Bodens [g] |
| GW | Gravitationswasser |
| h | Bodentiefe |
| HD | Höhendifferenz |
| <i>k</i> | Reaktionsgeschwindigkeitskonstante |
| k _{EW} | ertragsunabhängige Konstante |
| mac | Makroporen (Macro pores) |
| m _{Boden} | Bodenmasse |
| mes | Mesoporen (Meso pores) |
| mic | Mikroporen (Micro pores) |
| N | Stickstoff (Nitrogen) |
| nFK | nutzbare Feldkapazität |
| NPK | Stickstoff, Phosphor, Kalium |
| pF | Wasserspannung |
| POF | Porenoberfläche |
| PV | Porenvolumen |
| PWP | Permanenter Welkepunkt |
| Q | VANT'T HOFF-Konstante |
| R | Äquivalentporenradius |
| R _A | Einfluss der Durchlüftung (engl. aeration) |
| R _{BF} | Einfluss der Bodenfeuchte |

| | |
|--------------------|--|
| R_E | Eindringwiderstand |
| ROM | Refraktäre organische Substanz (Refractory Organic Matter) |
| SOM | Organische Bodensubstanz (Soil Organic Matter) |
| STM | Stallmist |
| t | Zeit (time) |
| T | Ton |
| TKG | Texturklassengröße |
| TM | Trockenmasseanteil |
| TRD | Trockenrohddichte |
| TRD _{HD} | Trockenrohddichte aus Höhendifferenzen bestimmt |
| TRD _{ref} | TRD zu Versuchsbeginn [g/cm ³] |
| TRD _{StZ} | Trockenrohddichte mit Stechzylindern bestimmt |
| TSD | Trockensubstanzdichte |
| V | Volumen der Porenraumklasse |
| V _A | Luftvolumen der jeweils kleineren Porenklasse |
| V _{St} | Volumen des Stechzylinders [cm ³] |
| V _w | Wassersättigungsvolumen der jeweils kleineren Porenklasse |
| x | Partikelgrößendurchmesser der zu interpolieren ist (obere Grenze) |
| α | Dekompositionskoeffizient |
| Δh | Höhendifferenz [cm] |
| Δp | Parameteränderung |
| Δt | Zeitabschnitt der Standardzeit |
| ε_L | relatives Luftvolumen |
| ε_p | relatives „pocket“ Volumen (Konstante) |
| η | Synthesekoeffizient |
| Θ | Bodenfeuchte |
| σ | Standardabweichung |
| $\varphi(FAT)$ | Texturindikator (abhängig vom FAT - Partikel $\leq 6,3\mu\text{m}$) |

0 Vorwort

Die Entwicklung eines neuen Modells zur Beschreibung der Kohlenstoffdynamik im Ackerboden erfolgte im Rahmen der Bearbeitung des Teilprojektes „Quantifizierung und Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes in Ackerböden auf der Grundlage bodenstrukturabhängiger Umsatzprozesse“, welches im Schwerpunktprogramm (SPP 1090) der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Böden als Quelle und Senke für CO₂-Mechanismen und Regulation der Stabilisierung organischer Substanz in Böden“ integriert ist. Ziel dieses Schwerpunktprogramms ist es, ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Bildung und Abbau stabiler organischer Substanz zu erarbeiten.

Die Forschungsergebnisse, die im Rahmen des Forschungsverbundes SPP 1090 erzielt worden, dienten als Basis zur Entwicklung der Modellvorstellung für ein neues Kohlenstoffumsatzmodell für die Anwendung auf Ackerböden.

Die Parametrisierung des Modells erfolgte anhand von Messwerten die in den Teilprojekten von Dr. Rainer Martens mit dem Thema „Verteilung und Stabilität des Kohlenstoffs beim Abbau von ¹⁴C-markiertem Weizenstroh in den verschiedenen Kompartimenten eines Bodens mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftung“ und von Dr. Karsten Kalbitz und Prof. Dr. Egbert Matzner mit dem Thema „Indikation der Stabilisierung von gelöster organischer Substanz (DOM) im Mineralboden anhand spektroskopischer Eigenschaften und der Al-Sättigung“ gewonnen worden.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Seit dem Übereinkommen der Vereinten Nationen zur nachhaltigen Entwicklung, welches im Kyoto-Protokoll niedergeschrieben ist (UNFCCC, 1992), steht der Boden besonders im Fokus der Forschung, um diesen als Kohlenstoffdioxidsenke ausweisen zu können. Kohlenstoffdioxid hat mit 65% (IPCC et al., 1996) den größten Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt. Der anthropogen bedingte Treibhauseffekt führt zu einer Erhöhung der mittleren Temperatur auf der Erde, welche vom IPCC et al. (1990) bis zum Jahre 2050 auf einen Anstieg um 1,8 K geschätzt wird. Das kann gravierende Auswirkungen z.B. die Verschiebung der Klimazonen, das Schmelzen der Poleiskappen und einen Anstieg des Meeresspiegels zur Folge haben (WALKER, 2001; MORTARI, 2004; LANGEMATZ et al., 2005). Die Kohlenstoffdynamik und –speicherung in Böden haben als Landschaftsfunktion wesentliche Bedeutung für den globalen Kohlenstoffhaushalt und das Klimasystem der Erde. Ziel zahlreicher Forschungsarbeiten ist es, Mechanismen zu identifizieren, die zur Stabilisierung des Kohlenstoffs im Boden führen. Zu den nachgewiesenen Stabilisierungsmechanismen gehören u. a. der physikalische Schutz vor mikrobiellem Abbau des Kohlenstoffs in Aggregaten (MILLER und DICK, 1995; BACHMANN et al., 2000; BALESSENT et al., 2000) und die DOC-Retention an Mineralclustern (GUGGENBERGER und KAISER, 2003; KLEBER et al., 2004).

Die Umstellung der Ackerbewirtschaftung auf konservierende Bodenbearbeitung stellt aufgrund der Aggregatstabilisierung einen effektiven Prozess zur Speicherung von Kohlenstoff in Ackerböden dar (RASMUSSEN und COLLINS, 1991; REEVES, 1997; LAL, 1997; PAUSTIAN et al., 1998). Dabei hängt die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs von der Textur des Bodens ab (NEEDELMAN et al., 1999). SMITH et al. (1997) postulieren, dass europäische Böden mit verbessertem Management und alternativer Landnutzung zur Landwirtschaft als Nettosenke von 0,8% des momentan weltweit aus fossiler Verbrennung stammenden Kohlenstoffdioxids dienen könnten.

Mit Hilfe von Computermodellen können Prognosen über die Kohlenstoffdynamik und –akkumulation in Böden erstellen werden. Bei der Entwicklung dieser Modelle fließen Forschungsergebnisse von Experimentalexperimenten ein.

Modellvorstellungen über den Kohlenstoffhaushalt (SOM-Modelle) von Böden wurden schon seit den 50er Jahren publiziert (JENNY, 1941; HENIN und DUPUIS, 1945; NEWTON et al., 1945; WOODRUFF, 1949). In den letzten 50 Jahren wurden weitere SOM-Modelle entwickelt, die

sich nach PAUSTIAN (1994) in die Kategorien der prozessorientierten Modelle (JENKINSON und RAYNER, 1977; MOLINA et al., 1983; PARTON et al., 1987) und der organismenorientierten Modelle (HUNT et al., 1987; HASSINK et al., 1994; MOORE et al., 1996; DE RUITER et al., 1998) untergliedern lassen.

In den Modellen sind verschiedene Pools integriert, die sich in Bezug auf die Qualität des Kohlenstoffs und der Umsatzzeit unterscheiden. Die verschiedenen Umsatzzeiten der Pools ermöglichen eine gute Abbildung der Dynamik des Kohlenstoffs im Boden. Jedoch nicht alle der Pools lassen sich experimentell quantifizieren. Darunter zählt der Pool, der den rekalcitranten Kohlenstoff umfasst. Die Beschreibung des Kohlenstoffspeichervermögens im Boden erfolgt bisher unter Nutzung verschiedener konzeptioneller Ansätze, die eine Korrelation zwischen den Mineralbestandteilen des Bodens und dem minimalen Kohlenstoffgehalt zum Inhalt haben (FREYTAG, 1980; KÖRSCHENS, 1980; HASSINK, 1997; HASSINK and WHITMORE, 1997; HASSINK et al., 1997; RÜHLMANN, 1999). Empirisch entwickelte Pedotransferfunktionen (KÖRSCHENS, 1980; FALLOON et al., 1998; RÜHLMANN, 1999) dienen zur Berechnung des als inert angenommenen Kohlenstoffanteils (C_i -Pool) im Boden. Diese Pedotransferfunktionen sind in verschiedenen SOM-Modellen wie z.B. CANDY (FRANKO und OEHLISCHLÄGEL, 1993), RothC (COLEMAN und JENKINSON, 1995) und HSB-C (FU et al., 2000) implementiert. Der errechnete C_i -Pool wird getrennt vom Umsatz betrachtet. Die Größe des C_i -Pools ist nur von der Mineralogie des Bodens abhängig und unterliegt keiner Veränderung aufgrund verändertem Management, Kohlenstoffinput oder Klimaeinflüssen. Experimentelle Untersuchungen zeigen allerdings, dass die Rekalzitran des Kohlenstoffs vorwiegend in der ersten Abbauphase nach Eintrag in den Boden relevant ist (KÖGEL-KNABNER, 2002). Die Bodenmikroorganismen besitzen die Fähigkeit auch Kohlenstoff zu verarbeiten, der aufgrund seiner molekularen Struktur als schwer abbaubar bezeichnet wird (SKJEMSTAD, 2001, GLEIXNER et al., 2002 und BRODOWSKI et al., 2003). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, in einem neuen Modell die organische Substanz nicht nur in Pools zu unterteilen, die sich nach ihrer Abbaubarkeit klassifizieren, sondern verschiedene Stabilisierungsmechanismen zu implementieren.

Keines der bekannten Modelle bezieht die Struktur des Bodens in die Modellphilosophie mit ein. Gerade bei Ackerböden verursacht die häufige Strukturänderung infolge von Bearbeitungsmaßnahmen eine veränderte Kohlenstoffdynamik (ELLIOTT, 1986; GOLCHIN et al., 1994). Dabei spielt die Aufteilung des Porenraums und das Verhältnis zwischen Luft- und Wasserfüllung eine wichtige Rolle (SMITH et al., 1998; ROVER und KAISER, 1999; D'ODORICO et al., 2004).

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines prozessorientierten Simulationsmodells zur Beschreibung des Kohlenstoffhaushaltes in Ackerböden auf der Grundlage bodenstrukturabhängiger Umsatzprozesse. Unter Bodenstruktur versteht man nach LIEBERROTH (1982) die Lagerungsverhältnisse der Bodenmasse und den Wandel des Bodengefüges im Bearbeitungshorizont von Ackerböden.

Im Gegensatz zu bisherigen Modellansätzen, die überwiegend auf der Grundlage von konzeptionellen Pools basieren, sollen in diesem Modell messbare Pools behandelt werden und der Umsatz der organischen Substanz auf die Reaktionsräume der Mikro-, Meso- und Makroporen bezogen werden.

Für die Parametrisierung des Modells werden Ergebnisse aus Laborinkubationsversuchen und von einem Dauerfreilandversuch genutzt.

Die Anwendungsmöglichkeit des SOM-Modells soll an einem breiten Spektrum von Böden verschiedener Dauerversuchsstandorte, die sich in der Bodentextur und den klimatischen Bedingungen unterscheiden, getestet werden.

Dichtemessungen dienen dazu, den Einfluss der Trockenrohddichte auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden zu untersuchen.

1.3 Lösungsweg

Ausgehend von der Hypothese, dass alle sich im Boden befindliche organische Substanz am Umsatz beteiligt ist, aber zeitweise aufgrund der Lokalisierung im Porenraum geschützt ist, wurde ein SOM-Modell, welches unter dem Namen CIPS (Carbon turnover In Pore Space) geführt wird, als mathematisches Modell in ModelMaker© realisiert.

Die Aufteilung der organischen Substanz erfolgt nach qualitativen Stufen in die Pools der frischen organischen Substanz (FOM = Fresh Organic Matter), der aktiven organischen Substanz (AOM = Active Organic Matter), der stabilisierten organischen Substanz (ROM = Refractory Organic Matter), der gelösten organischen Substanz (DOM = Dissolved Organic Matter) und des Kohlenstoffdioxides (CO₂). Bei der Klassifizierung der organischen Substanz ist die Übereinstimmung von Poolgrößen zu experimentell bestimmungsfähigen Parametern sehr wichtig.

Der Boden als Reaktionsraum, in dem sich die organische Substanz umsetzt, wird in Kompartimente mit unterschiedlichen Reaktionsbedingungen untergliedert. Die Einteilung erfolgt anhand der Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt (pF-Kurve) in die Klasse der Mikro-, Meso- und Makroporen. Um die Reaktionsbedingungen in den einzelnen Porenklassen zu ermitteln, wird das Wasserhaushalt-Modul (Kapazitätsmodell) aus dem CANDY-Modell (FRANKO et al., 1995 b) verwendet.

Die Verteilung des Kohlenstoffs innerhalb des Reaktionsraumes erfolgt in Abhängigkeit des Anteils der Porenoberfläche einer Porenklasse an der Gesamtporenoberfläche, die mittels Porenvolumina und Äquivalentporendurchmesser berechnet wird.

Die Parameter des CIPS-Modells resultieren aus der Anpassung der Simulationsergebnisse an die Experimentaldaten eines Laborinkubationsversuches mit ^{14}C -markiertem Weizenstroh (MARTENS und VOGT, 2001), einem DOC-Inkubationsexperiment (KALBITZ et al., 2003 a und b), unter Verwendung von Parametern aus der Literatur (FRANKO, 1989; JENSEN et al., 1997) als Startparameter sowie aus der Anpassung an Messergebnisse des Freilandversuches „Statischer Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt (KÖRSCHENS et al., 2002). Für die Durchführung der Inkubationsversuche wurden die Bodenproben aus dem Freilandversuch „Statischer Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt entnommen.

Eine Sensitivitätsanalyse dient zur quantitativen Abschätzung, welche Parameter des Modells die numerische Änderung der Outputdaten besonders beeinflussen.

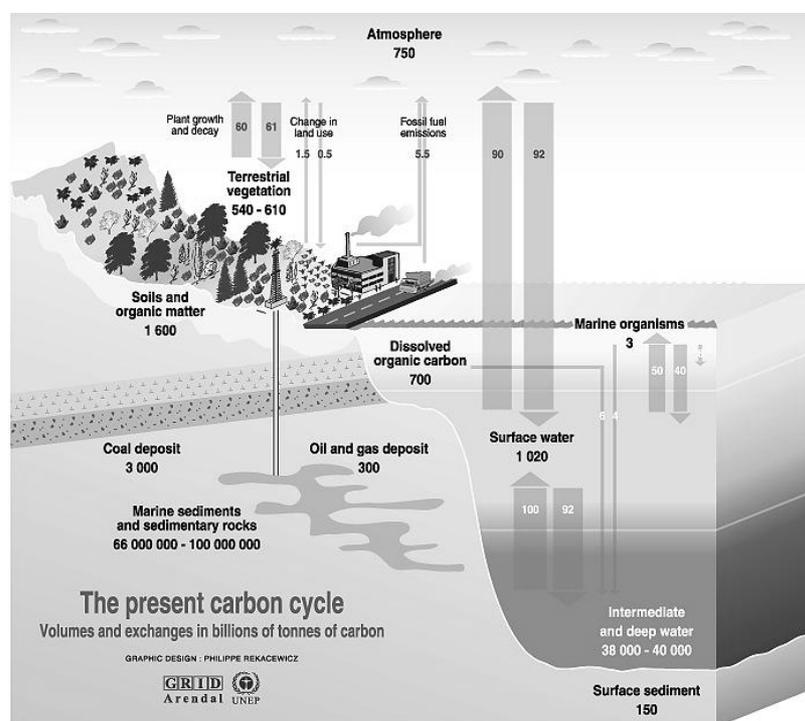
Die Porenraumverteilung ist eine entscheidende Komponente, welche den Umsatz der organischen Substanz im Boden bestimmt. Die Änderung der Trockenrohddichte innerhalb eines Bewirtschaftungsjahres bewirkt eine Neuaufteilung der Porenräume, was zu einem veränderten Kohlenstoffhaushalt führt. Die Dynamik der Trockenrohddichte innerhalb eines Bewirtschaftungsjahres und die Heterogenität auf dem Feld werden anhand von Scannermessungen ermittelt. Die Ergebnisse sollen als Grundlage für eine spätere Modellerweiterung dienen, in denen die Porenräume unter dem Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen im Verlauf eines Versuchsjahres dynamisch betrachtet werden.

Die Validierung des Modells erfolgt an Dauerversuchsstandorten, die sich klimatisch, pedogenetisch und in ihrer Bewirtschaftung unterscheiden. Dazu werden der „Statische Dauerdüngungsversuch“ in Bad Lauchstädt (Deutschland), der „Ewige Roggenbau“ in Halle (Deutschland), das „Prag-Ruzyně Feld B“ in Prag (Tschechien), das „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov (Ukraine) und der „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely (Ungarn) herangezogen.

2 Grundlagen

2.1 Kohlenstoffkreislauf

Der Kohlenstoffkreislauf verbindet die Ökosysteme der Erde. Der natürliche Kohlenstoffkreislauf wird durch den Menschen beeinflusst (s. Abb. 2.1), indem große Mengen (5,5 GtC) an fossilem Kohlenstoff durch Verbrennung in die Atmosphäre emittiert werden. Zudem wird infolge von Landnutzungswechseln mehr Kohlenstoff aus dem Boden freigesetzt (1,5 GtC) als wieder gebunden (0,5 GtC) wird. Der vermehrte Kohlenstoffgehalt in Form von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre führt neben anderen Gasen zum Treibhauseffekt und damit zur Erwärmung der Erde. Der Treibhauseffekt ist Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten (u.a. IDSO, 1974; WILLIAMS, 1978; SARMIENTO et al., 1998; MITROVICA et al., 2001, DICKENS, 2004). Auf der Suche nach Kohlenstoffspeichern, die den erhöhten Gehalt an Kohlenstoff in der Atmosphäre kompensieren sollen, stehen vor allem die Ozeane, die Biosphäre und die Pedosphäre im Mittelpunkt der Forschung. Der Fokus dieser Arbeit ist auf die Pedosphäre und dabei auf Ackerbausysteme gerichtet. In der Pedosphäre wird fast dreimal mehr Kohlenstoff gespeichert (1600 GtC) als Kohlenstoff in der terrestrischen Vegetation (540-610 GtC) vorhanden ist (s. Abb. 2.1).



Sources: Center for climatic research, Institute for environmental studies, university of Wisconsin at Madison; Okanagan university college in Canada, Department of geography; World Watch, November-December 1996; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

Abb. 2.1: Der globale Kohlenstoffkreislauf (UNEP, 2003)

In Abb. 2.2 ist das Schema des Kohlenstoffkreislaufs zwischen Pedo-, Bio- und Atmosphäre im Ackerbausystem dargestellt. Die Dynamik des Kohlenstoffhaushaltes im Boden wird durch den Eintrag an Biomasse und den Abbau der organischen Substanz durch Bodenmikroorganismen bestimmt. In stabilen Systemen herrscht ein Gleichgewicht zwischen dem Eintrag an frischer organischer Substanz und der Zersetzung von organischer Bodensubstanz, so dass sich für die vorliegenden Standortbedingungen ein charakteristischer Kohlenstoffgehalt im Boden einstellt.

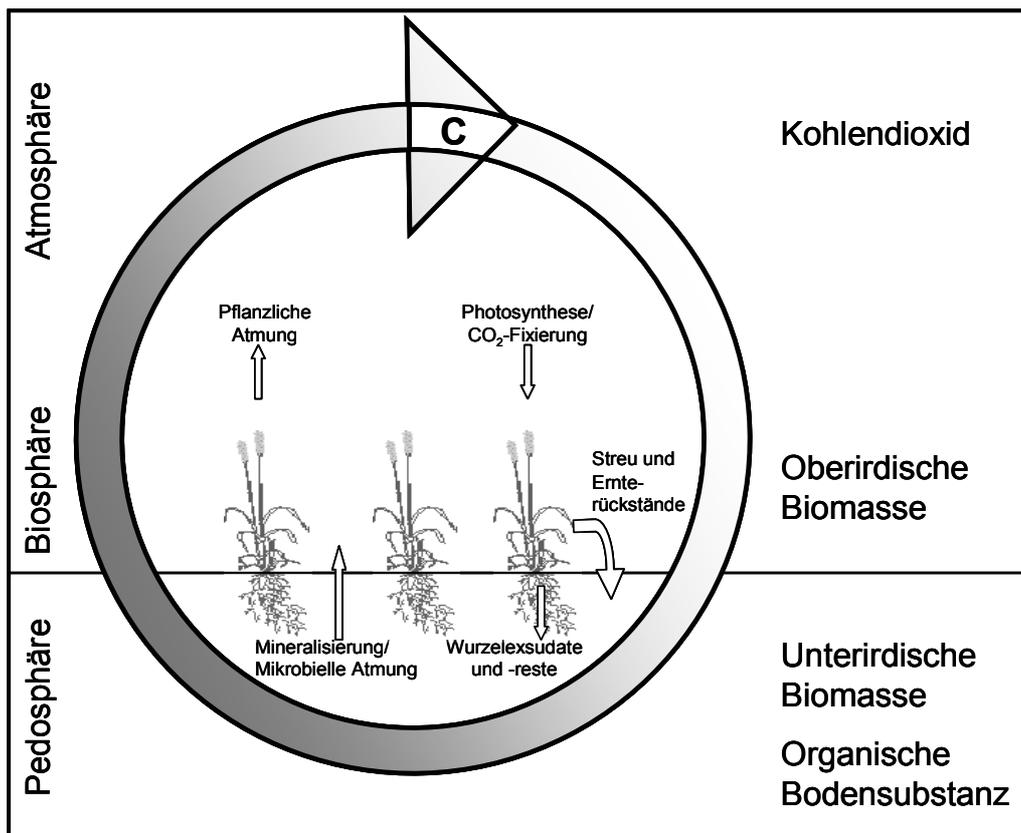


Abb. 2.2: Schema des Kohlenstoffkreislaufs im Ackerbausystem
(nach AOE/FAL, 2004)

Der Gehalt an organischer Substanz in Ackerböden ist neben den Standortfaktoren von der Art der Landnutzung abhängig. Maßnahmen, die den Eintrag an organischer Substanz in den Boden reduzieren oder den Abbau von organischer Bodensubstanz beschleunigen, führen zu einer Abnahme des Kohlenstoffgehaltes im Boden. Umgekehrt führt eine erhöhte Zufuhr an organischer Substanz oder ein verlangsamter Abbau zu einer Anreicherung von Humus im Boden. Praktiken, die zu einer Zu- oder Abnahme der organischen Bodensubstanz führen, sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt.

Tabelle 2.1: Landnutzung und Maßnahmen, welche das Gleichgewicht des Kohlenstoffhaushaltes im Boden beeinflussen (nach NIEDER et al., 2003)

| Steigerung der Kohlenstoffgehaltes | Senkung des Kohlenstoffgehaltes |
|---|---|
| Verbleib der Koppelprodukte auf dem Feld | Abfuhr der Koppelprodukte |
| organische und mineralische Düngung | keine Düngung |
| Anbau von Zwischenfrucht | Biomasseverbrennung |
| konservierende Bodenbearbeitung | Erhöhung Pflugfrequenz |
| gemischte Betriebssysteme | humuszehrende Monokulturen |
| Sanierung degradiertter Böden | Kultivierung von nativen Böden bzw. Degradierung von Böden |
| kontrollierte Beweidung | Überweidung |
| keine Brandrodung | Brandrodung |
| Aufforstung | Drainage von Feuchtgebieten |
| Umwandlung zu naturnahem Ökosystem | Intensivbewirtschaftung |

2.2 Bodengefüge und -wasser

Neben den festen Bodenbestandteilen, dem Mineralkörper und dem Humus besteht der Boden aus einem Hohlraumsystem, das mit Wasser und Luft gefüllt ist. Das Hohlraumsystem entspricht dem Gesamtporenvolumen, welches sich in die Porengrößenbereiche der Fein-, Mittel- und Grobporen untergliedert (s. Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Einteilung der Porengrößenbereiche nach dem Porendurchmesser und der Wasserspannung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992)

| Porengrößenbereiche | Porendurchmesser [μm] | Wassersäule [cm] | pF |
|----------------------------|--|-------------------------|-----------|
| Grobporen, weite | > 50 | 1-60 | 0-1,8 |
| Grobporen, enge | 50-10 | 60-300 | 1,8-2,5 |
| Mittelporen | 10-0,2 | 300-15 000 | 2,5-4,2 |
| Feinporen | < 0,2 | > 15 000 | > 4,2 |

Die Klassifizierung des Porenraums erfolgt anhand charakteristischer Kennwerte des Wasserhaushaltes. Das Wasser in den Feinporen gilt als nicht pflanzenverfügbar und entspricht der Entwässerungsgrenze beim permanenten Welkepunkt (PWP) bei einer Wasserspannung von $\text{pF} \approx 4,2$. Das pflanzenverfügbare Wasser befindet sich im Bereich der

Mittelporen bis engen Grobporen. Das Porenvolumen in diesem Bereich wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet und ergibt sich aus dem Volumen der Feldkapazität (FK) [$pF \approx 1,8$ (grundwassernahe Böden) bis $pF \approx 2,5$ (grundwasserferne Böden)] (s. Kap. XVI in SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992) abzüglich des Volumens beim PWP. Das Gesamtporenvolumen abzüglich der FK umfasst den Porenraum der Grobporen, der infolge der Gravitation schnell entwässert und als Gravitationswasser (GW) bezeichnet wird.

Die Porengrößenverteilung ist von der Körnung, Kornform und dem Bodengefüge abhängig. Daher können beim Fehlen von Messwerten zum PWP oder der FK Pedotransferfunktionen angewendet werden, die auf einer Korrelation zwischen der Körnung und dem PWP bzw. der FK basieren. In Gleichung (2.1) ist ein Beispiel für die Berechnung des PWP und in Gleichung (2.2) ein Beispiel zur Berechnung der FK von LIEBEROTH (1982) angegeben.

$$PWP[\text{Vol}\%] = 1,23 + 0,74 \cdot T \quad (2.1)$$

mit

T Ton ($d < 2 \mu\text{m}$) [Vol%]

$$FK[\text{Vol}\%] = 3,4 + 0,85 \cdot AT \quad \text{bei } AT < 22\% \quad (2.2)$$

$$FK[\text{Vol}\%] = 11 + 0,52 \cdot AT \quad \text{bei } AT = 22 - 60\%$$

AT Abschlämbbare Teilchen ($d < 20 \mu\text{m}$) [Vol%] = T + Feinschluff + Mittelschluff

Das Gesamtporenvolumen (PV) lässt sich mit der allgemein bekannten Gleichung (2.3) berechnen (u.a. LIEBEROTH, 1982).

$$PV[\text{Vol}\%] = \left(1 - \frac{TRD}{TSD} \right) \cdot 100 \quad (2.3)$$

mit

TRD Trockenrohichte [g/cm^3]

TSD Trockensubstanzdichte [g/cm^3]

Im CIPS-Modell wird das Volumen des GW den Makroporen (mac), das Volumen der nFK den Mesoporen (mes) und das Volumen bis zum PWP den Mikroporen (mic) zugeordnet.

Bodenwasser und -luft haben großen Einfluss auf nahezu alle Prozesse im Boden. Die Menge an gespeichertem Wasser im Boden ist von den mineralischen und organischen Bestandteilen abhängig.

2.3 Bodenprozessmodell CANDY

CANDY (Carbon and Nitrogen Dynamics) (FRANKO, 1989; FRANKO und OELSCHLÄGEL, 1993; FRANKO et al., 1995 a und b, 1997) ist ein mathematisches Modell, welches die C- und N-Dynamik, die Bodentemperatur und den Bodenwasserhaushalt als eindimensionale Prozesse in einem Bodenprofil in der ungesättigten Zone agrarisch genutzter Systeme simuliert (FRANKO et al., 1995 b). In Abb. 2.3 ist der Aufbau des Simulationsmodells dargestellt. Das Simulationssystem besteht aus verschiedenen Modulen, die nicht unabhängig voneinander lauffähig sind. Eine detaillierte Beschreibung des CANDY-Modells ist in FRANKO et al. (1995 b) zu finden.

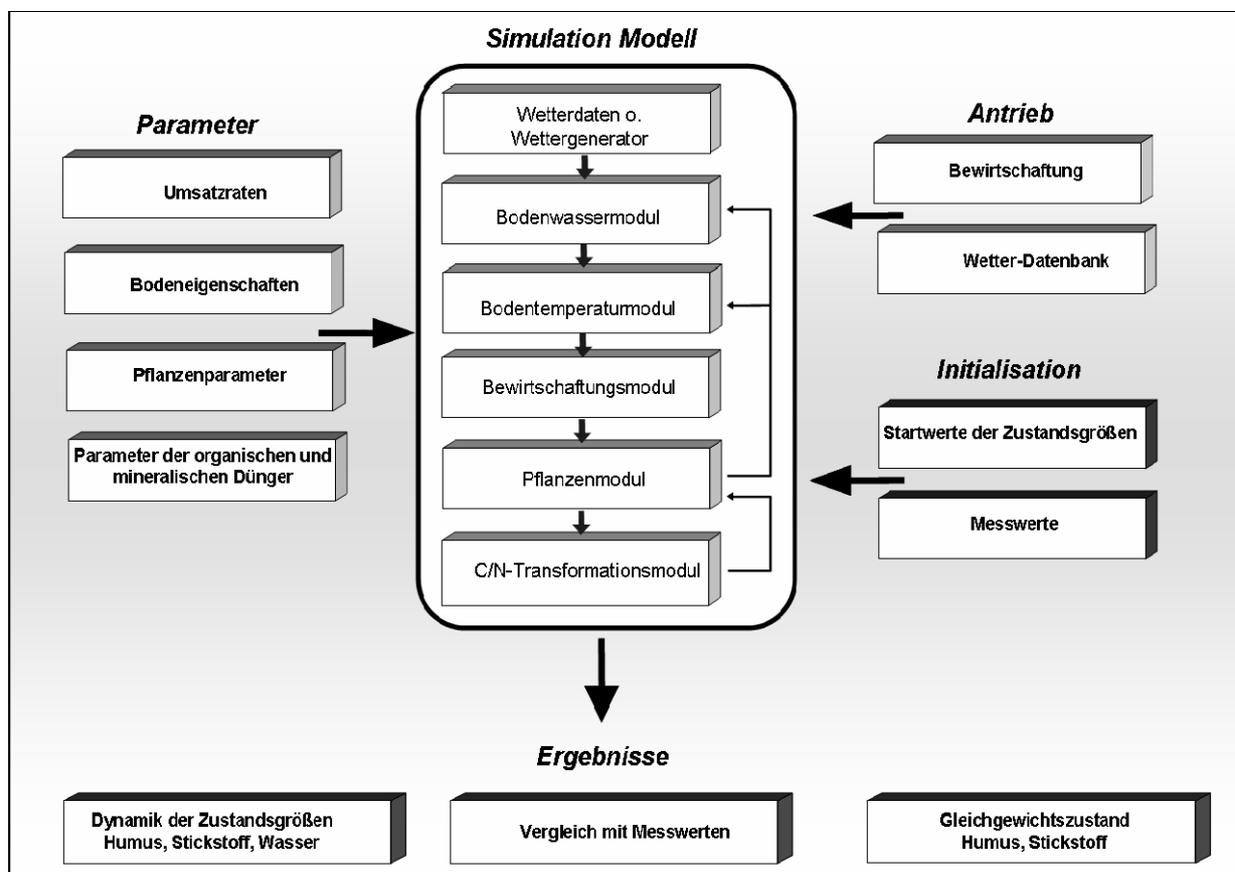


Abb. 2.3: Aufbau des CANDY-Modells (FRANKO, 1995 b)

An dieser Stelle soll nur auf das Wasser- und Temperatur-Modul vertiefend eingegangen werden, da diese Module für das Präprozessing der CIPS-Simulationen genutzt werden.

Das Wassermodul basiert nach KOITZSCH (1990) auf einem Kapazitätskonzept. Das Bodenprofil ist in homogene Schichten aufgeteilt. Ein Wasseraufstieg erfolgt nur bei einer Bodenwasserfüllung oberhalb des schichtspezifischen PWP durch die Prozesse von Evaporation und Transpiration. Bei Überschreitung des schichtspezifischen

Feldkapazitätswertes, ist aufgrund der Wasserfüllung der Makroporen eine abwärtsgerichtete Wasserbewegung möglich. Das Wasser-Modul berücksichtigt dabei die Teilprozesse:

- Versickerung von Bodenwasser durch Gravitationskräfte nach GLUGLA (1969)
- Interzeption von Niederschlagswasser nach KOITZSCH und GÜNTHER (1990)
- Berechnung der potentiellen und aktuellen Evaporation nach KOITZSCH (1990)
- Schneeakkumulation und Tauen nach KOITZSCH und GÜNTHER (1990)
- Einfluss des Pflanzenbestandes bezüglich Transpirations- und Interzeptionsfähigkeit nach KOITZSCH (1990)

Die Berechnung der Bodentemperatur erfolgt 10 cm-schichtweise bis zu einer Tiefe von 2 m aus den Eingangsparametern der Lufttemperatur und dem simulierten Bodenfeuchtegehalt aus dem Wassermodul unter Verwendung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung nach einem Konzept von SUCKOW (1986), abgewandelt durch FRANKO (1995 b).

Die Reaktionskoeffizienten der Modelle CANDY und CIPS sind von Umwelteinflüssen wie Temperatur und Bodenfeuchte abhängig. Mittels Reduktionsfunktionen wird die Kalenderzeit in eine biologisch aktive Zeit (BAT–Biological Active Time; dt.: wirksame Mineralisierungszeit nach KARTSCHALL, 1986 und FRANKO, 1989) umgerechnet. Man geht davon aus, dass die Umweltparameter einen optimalen Wert aufweisen, die zu maximalen Aktivitäten führen. Bei Unter- und Überschreitung des optimalen Bereichs wird die Aktivität eingeschränkt. Für die Umweltparameter Bodentemperatur (BT), Bodenfeuchte (Θ), Bodentextur (FAT), relatives Luftvolumen (ε_L) und Bodentiefe (h) werden Reduktionsfunktionen angewendet, die mit dem Zeitabschnitt der Standardzeit Δt^* multipliziert werden, bei dem der Zeitabschnitt Δt der BAT ermittelt wird (Franko, 1995 b) [s. Gleichung (2.4)]

$$BAT(\Delta t^*) = \Delta t = R(BT, \Theta, FAT, \varepsilon_L, h) \cdot \Delta t^* \quad (2.4)$$

Der Bodentemperatureinfluss (R_{BT}) lässt sich nach FRANKO (1989) mit der Gleichung (2.5) berechnen.

$$R_T(BT) = \begin{cases} Q^{(BT-35)/10} & \text{für } BT \leq 35 \\ 1 & \text{für } BT > 35 \end{cases} \quad (2.5)$$

mit

BT Bodentemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

$Q=2,1$ VANT'T HOFF-Konstante

In Gleichung (2.6) ist der Einfluss der Bodenfeuchte (R_{BF}) auf die Reaktionskoeffizienten nach FREITAG und LÜTTICH (1985) beschrieben.

$$R_{BF}(\Theta) = \begin{cases} 4 \frac{\Theta}{PV} \left(1 - \frac{\Theta}{PV}\right) & \text{für } \frac{\Theta}{PV} \leq 0,5 \\ 1 & \text{für } \frac{\Theta}{PV} > 0,5 \end{cases} \quad (2.6)$$

mit

Θ volumetrische Bodenfeuchte [Vol%]

PV Porenvolumen [Vol%]

Die Umsatzaktivität in tieferen Bodenschichten ist durch den eingeschränkten Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre reduziert. Der Einfluss der Durchlüftung (engl. aeration) (R_A) auf die Umsatzprozesse im Boden lässt sich nach FRANKO (1989) mit der Gleichung (2.7) bestimmen.

$$R_A(FAT, \varepsilon_L, h) = \exp\left(-h \cdot \sqrt{\frac{\varphi(FAT) \cdot R_{BT}(BT) \cdot R_{BF}(\Theta)}{\varepsilon_L \cdot (\varepsilon_L - \varepsilon_p)}}\right) \quad (2.7)$$

mit

h Bodentiefe [cm]

$\varphi(FAT)$ Texturindikator (abhängig vom FAT - Partikel $\leq 6,3\mu\text{m}$)

ε_L relatives Luftvolumen [Vol%]

ε_p relatives „pocket“ Volumen (Konstante)

Die mit dem CANDY-Modell errechnete BAT entspricht der Zeit, die unter optimalen Bedingungen im Labor benötigt werden würde. Unter Freilandbedingungen wird unter unseren Klimabedingungen bspw. für den „Statischen Dauerdüngungsversuch“ in Bad Lauchstädt eine BAT von 29 d/a, für den „Ewigen Roggenbau“ in Halle 27 d/a und „Prag-Ruzyně Feld B“ in Prag 26 d/a ermittelt.

Im CIPS-Modell wird der Zeitabschnitt der mit Gleichung (2.4) ermittelten globalen BAT (BAT_{glob}) in Abhängigkeit des Status der Wassersättigung auf die einzelnen Porenklassen aufgeteilt. Dabei geht man von der Hypothese aus, dass bei einem Bodenfeuchtegehalt oberhalb der Feldkapazität nur ein Umsatz in den Makroporen möglich ist. Das heißt, unter

diesen Umständen wäre die gesamte BAT auf die Makroporen konzentriert. Mit Reduktion des Wassergehaltes unterhalb der Feldkapazität wird die BAT auf zwei Porenklassen aufgeteilt. Sinkt der Wassergehalt dabei auf ein Niveau zwischen Feldkapazität und permanenten Welkepunkt, teilt sich die BAT auf die Meso- und Makroporen auf. Bei Unterschreitung des permanenten Welkepunktes erfolgt die Aufteilung der BAT auf die Mikro- und Mesoporen.

Das Prinzip wie in (2.8) und (2.9) dargestellt, folgt der Hypothese, dass die Aktivität in Abhängigkeit zu verfügbarem Sauerstoff und wasserbenetzten Oberflächen steht, da diese die Umsatzaktivität beeinflussen.

Ist eine Porenraumklasse vollständig dräniert, wird die Aktivität in dieser Klasse durch den Teil der Oberfläche gesteuert, der durch die Feuchtigkeit der nächst kleineren Porenraumklasse benetzt wird.

$$BAT_{größer} = \frac{V_W}{V_W + V_A} \cdot BAT_{glob} \quad (2.8)$$

$$BAT_{kleiner} = \frac{V_A}{V_W + V_A} \cdot BAT_{glob} \quad (2.9)$$

mit

V_W Wassersättigungsvolumen der jeweils kleineren Porenklasse

V_A Luftvolumen der jeweils kleineren Porenklasse

BAT_{glob} globale BAT

Ein Beispiel zur Berechnung der Verteilung der BAT_{glob} bei drei verschiedenen Bodenfeuchtegehalten:

Gegeben sind folgende Bodenkennwerte:

$$BAT_{glob} = 30 \text{ d}$$

$$PV = 40 \text{ Vol\%}$$

$$FK = 32 \text{ Vol\%}$$

$$PWP = 10 \text{ Vol\%}$$

daraus folgt:

$$\text{Volumen Makroporen} = 8 \text{ Vol\%}$$

$$\text{Volumen Mesoporen} = 22 \text{ Vol\%}$$

$$\text{Volumen Mikroporen} = 10 \text{ Vol\%}$$

und folgende Bodenfeuchtegehalte:

- a) $\Theta = 33 \text{ Vol}\%$
- b) $\Theta = 25 \text{ Vol}\%$
- c) $\Theta = 6 \text{ Vol}\%$

Gesucht wird:

$$BAT_{\text{größer}}, BAT_{\text{kleiner}}$$

Lösung:

a) Da der Bodenfeuchtegehalt mit 33 Vol% größer als die FK ist, beträgt die BAT für die Makroporen 30 d und für die Meso- und Mikroporen jeweils 0 d. Der Umsatz der organischen Substanz findet ausschließlich in den Makroporen statt.

b) Bei einem Bodenfeuchtegehalt von 25 Vol% sind die Mikroporen vollständig mit Wasser gefüllt. Damit beträgt die BAT_{mic} 0 d. Das V_W der Mesoporen ergibt sich aus dem Bodenfeuchtegehalt abzüglich des PWP und beträgt 15 Vol%. Das V_A berechnet sich aus dem Volumen der Mesoporen abzüglich des V_W und beträgt 7 Vol%. Die Berechnung der $BAT_{\text{mac}}=BAT_{\text{größer}}$ nach Gleichung (2.8) und $BAT_{\text{mes}}=BAT_{\text{kleiner}}$ nach Gleichung (2.9) (s. unten) ergibt eine Aufteilung der BAT von 20,5 d auf die Makroporen und 9,5 d auf die Mesoporen.

$$BAT_{\text{mac}} = \frac{15}{15+7} \cdot 30 = 20,5$$

$$BAT_{\text{mes}} = \frac{8}{15+7} \cdot 30 = 9,5$$

c) Bei einem Bodenfeuchtegehalt von 6 Vol% sind nur die Mikroporen mit Wasser gefüllt. Für die luftgefüllten Makroporen wird die BAT gleich 0 d gesetzt. Die BAT teilt sich nach Gleichung (2.8) und (2.9) bei einem V_W von 6 Vol% und einem V_A von 4 Vol% (s. unten) mit 18 d auf die Mesoporen und 12 d auf die Mikroporen auf.

$$BAT_{\text{mes}} = \frac{6}{6+4} \cdot 30 = 18$$

$$BAT_{\text{mic}} = \frac{4}{6+4} \cdot 30 = 12$$

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das CANDY-Modell benutzt, um die BAT_{glob} und deren Verteilung auf die Porenklassen als zusammengefassten Ausdruck der Standortbedingungen zu ermitteln.

Um das CANDY-Modell anwenden zu können, müssen meteorologische Daten, Bodenkennwerte in Form eines Bodenprofils und Bewirtschaftungsdaten als Eingangsparameter bereitgestellt werden.

Die benötigten Wetterdaten, wie in Tabelle 2.3 aufgeführt, müssen als Tageswerte oder als Monatsmittelwerte vorliegen.

Tabelle 2.3: Benötigte Wetterdaten für CANDY-Simulationen

| Wetterdaten | Einheit |
|--|-------------------|
| Mittelwert der Tagestemperatur in 2m Höhe | °C |
| Niederschlagssumme wahlweise: | mm |
| Summe der Globalstrahlung | J/cm ² |
| Summe der Sonnenscheindauer und geographische Breite | h |

Jeder homogene Horizont eines Bodenprofils wird durch die in Tabelle 2.4 aufgeführten Parameter beschrieben.

Tabelle 2.4: Benötigte Bodenkennwerte für CANDY-Simulationen

| Bodenparameter | Bezeichnung in CANDY | Einheit |
|---|-----------------------------|-------------------|
| Endtiefe Horizont | depth | dm |
| un-/gepflügt | ploughed | ja/nein |
| hydromorph | hydromorph | ja/nein |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn | C _{org} | % |
| Trockenrohddichte | BD | g/cm ³ |
| Trockensubstanzdichte | SD | g/cm ³ |
| Feldkapazität | FCAP | Vol% |
| Permanenter Welkepunkt | PWP | Vol% |
| FAT oder Ton- und Schluffgehalt | FPA; Clay, Silt | % |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn | NIN0 | kg/ha |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit | Ks | mm/d |

In Tabelle 2.5 sind die für die CANDY-Simulationen benötigten Bewirtschaftungsdaten zusammengestellt.

Tabelle 2.5: Benötigte Bewirtschaftungsdaten für CANDY-Simulationen

| Bewirtschaftung | Maßnahme | Wert |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Fruchtart/-folge | Aufgang der Frucht | Datum |
| | Ernte der Frucht | Datum |
| | | Ertrag [dt/ha] |
| | | Stickstoffentzug [kg/ha] |
| Düngung | Mineralischer Stickstoffdünger | Datum |
| | | Aufwandmenge [kg/ha] |
| | | Düngerart |
| | Organische Dünger | Datum |
| | | Düngerart |
| | | Frischmasse [kg/ha] |
| | C-Gehalt | |
| Bodenbearbeitung | | Datum |
| | | Art |
| | | Bearbeitungstiefe [cm] |

3 Material und Methoden

3.1 Inkubationsexperimente

3.1.1 Inkubationsexperiment mit gelöster organischer Substanz

Für das Inkubationsexperiment mit gelöster organischer Substanz (DOM-Dissolved Organic Matter) (KALBITZ et al., 2003 a und b) wurden im Mai 2000 unter anderem Bodenproben vom Statischen Dauerdüngungsversuch Bad Lauchstädt aus einer Parzelle mit einer Gabe von 30 t/ha Stallmist, die in zweijährigem Rhythmus ausgebracht wird, entnommen. Aus den Proben wurden sichtbare Wurzeln und Bodentiere entfernt. Der Boden wurde auf 5 mm gesiebt und schockgefroren. Nach dem Auftauen wurden durch Zugabe von Reinstwasser Suspensionen hergestellt, die anschließend mehrfach gefiltert wurden. Die gewonnene DOM-Lösung wurde für 90 Tage bei 20°C in der Dunkelheit inkubiert und eine Messwertreihe vom DOM-Abbau aufgezeichnet (s. Anhang A Tabelle 1).

3.1.2 Inkubationsexperiment mit ¹⁴C-markiertem Weizenstroh

Für das Inkubationsexperiment mit ¹⁴C-markiertem Weizenstroh (MARTENS und VOGT, 2001) wurden im Oktober 2000 Bodenproben aus der Parzelle mit einer Gabe von 30 t/ha Stallmist, der aller zwei Jahre ausgebracht wird und jährlicher Mineraldüngung (NPK) des Statischen Dauerdüngungsversuch Bad Lauchstädt entnommen. Der Boden wurde auf 2 mm gesiebt und schockgefroren. Nach dem Auftauen wurde der Boden mit 167 mg gemahlenem ¹⁴C-markiertem Weizenstroh mit einem Kohlenstoffgehalt von 42,7% gemischt. Dieses Gemisch wurde als Mehrfachansatz bei 20°C ein Jahr inkubiert. Über den Versuchszeitraum wurden zu verschiedenen Zeitpunkten die mikrobielle Biomasse, der DOM-Gehalt des Kaltwasserextraktes und das emittierte Kohlenstoffdioxid bestimmt. Eine detaillierte Beschreibung des Experimentaldesigns ist in MARTENS und VOGT (2001) zu finden. Die Messergebnisse sind im Anhang A Tabelle 2 zusammengestellt.

3.2 Charakterisierung der Versuchsstandorte

Zur Validierung des CIPS Modells wurden Untersuchungsstandorte ausgewählt, die ein breites Spektrum an pedologischen und klimatischen Bedingungen umfassen.

In Tabelle 3.1 sind alle Untersuchungsstandorte aufgeführt, deren Datensätze zu Simulationsrechnungen herangezogen wurden. Im Anhang B (Tabelle 1 bis 5) befinden sich für alle Versuchstandorte die für die Simulationsrechnungen benötigten Bodenparameter.

Tabelle 3.1: Auflistung der Untersuchungsstandorte für Modellanwendung

| Land | Ort | Experiment |
|-------------|----------------|--|
| Deutschland | Bad Lauchstädt | Statischer Dauerdüngungsversuch |
| Deutschland | Halle | Ewiger Roggenbau |
| Tschechien | Prag | Prag-Ruzyně Feld B |
| Ukraine | Grakov | Grakov Versuchsfeld |
| Ungarn | Keszthely | Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz (Szervesanyaggyártó tartamkísérlet) |

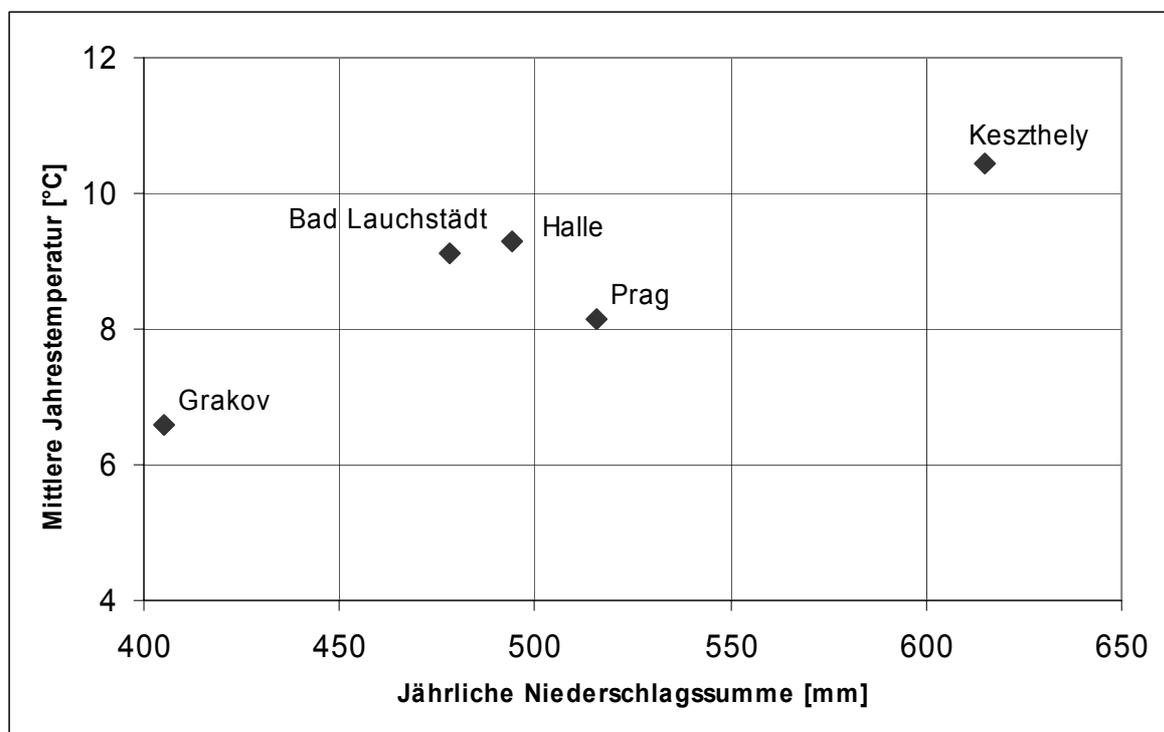


Abb. 3.1: Durchschnittliche Jahrestemperaturen und Niederschläge der Versuchsstandorte

In Abb. 3.1 sind die durchschnittlichen Jahrestemperaturen und Niederschläge der Untersuchungsstandorte angegeben. Diese Abbildung repräsentiert die Spannweite der klimatischen Bedingungen, die zum Test des Modells herangezogen wurden. Der kälteste und zugleich trockenste Standort ist Grakov und der wärmste und zugleich feuchteste Standort ist Keszthely.

Bei den verwendeten Böden handelt es sich um zwei Schwarzerden bzw. Tschernoseme (Bad Lauchstädt und Grakov), einen Parabraunerden-Tschernosem (Halle), eine Parabraunerde (Prag), und eine Ramann-Braunerde (Keszthely). In Abb. 3.2 ist die Textur der Dauerversuchsböden dargestellt. Der tonreichste Standort ist Grakov und der tonärmste Standort ist Halle. Da der FAT-Gehalt (Ton+Feinschluff) zur Ermittlung der BAT (s. Gleichung (2.7) herangezogen wird, erfolgte die Darstellung der Versuchsstandorte in der Reihenfolge mit zunehmenden FAT-Gehalt. Lässt man den Temperatur- und Bodenfeuchteeinfluss außer Betracht, dann ergibt sich mit zunehmendem FAT-Gehalt aufgrund der schlechteren Durchlüftung des Bodens eine abnehmende BAT. Den höchsten Sandgehalt weist der Versuchsstandort Halle und den niedrigsten Sandgehalt der Versuchsstandort Grakov auf. Aufgrund des größeren Durchmessers des Sandes gegenüber dem Ton ergibt sich bei erhöhtem Sandgehalt eine bessere Durchlüftung des Bodens und wird somit durch eine höhere BAT abgebildet.

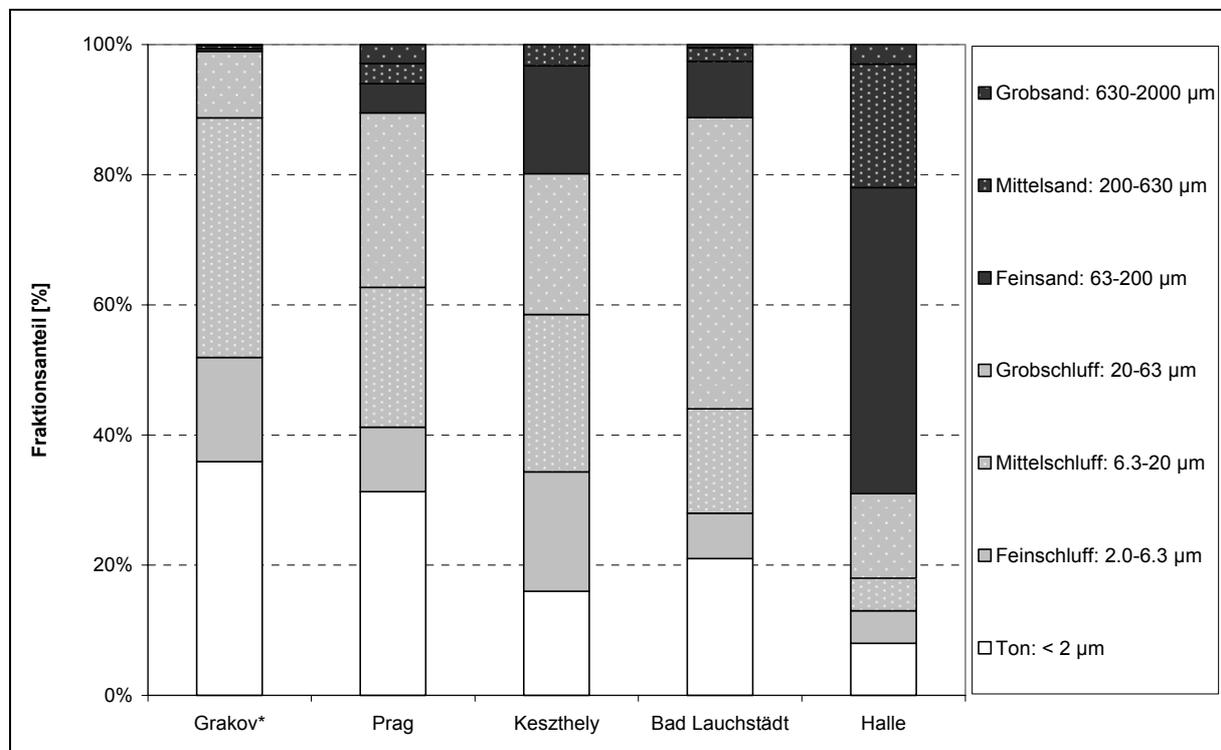


Abb. 3.2: Textur der Dauerversuchsböden (* Texturumrechnung von russ. in dt. System s. Anhang C)

3.2.1 „Statischer Düngungsversuch“ Bad Lauchstädt

Der „Statische Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt wurde im Jahre 1902 von SCHNEIDEWIND und GRÖBLER angelegt, um die Wirkung organischer und mineralischer Düngung auf den Ertrag und die Qualität der Ernten sowie auf fruchtbarkeitsbestimmende Bodeneigenschaften zu untersuchen (KÖRSCHENS et al., 2002).

Das Versuchsfeld in Bad Lauchstädt liegt im Schwarzerdegebiet Sachsen-Anhalts, welches sich auf dem südöstlich des Harzes vorgelagerten Lößgürtel entwickelt hat (KÖRSCHENS et al., 2002).

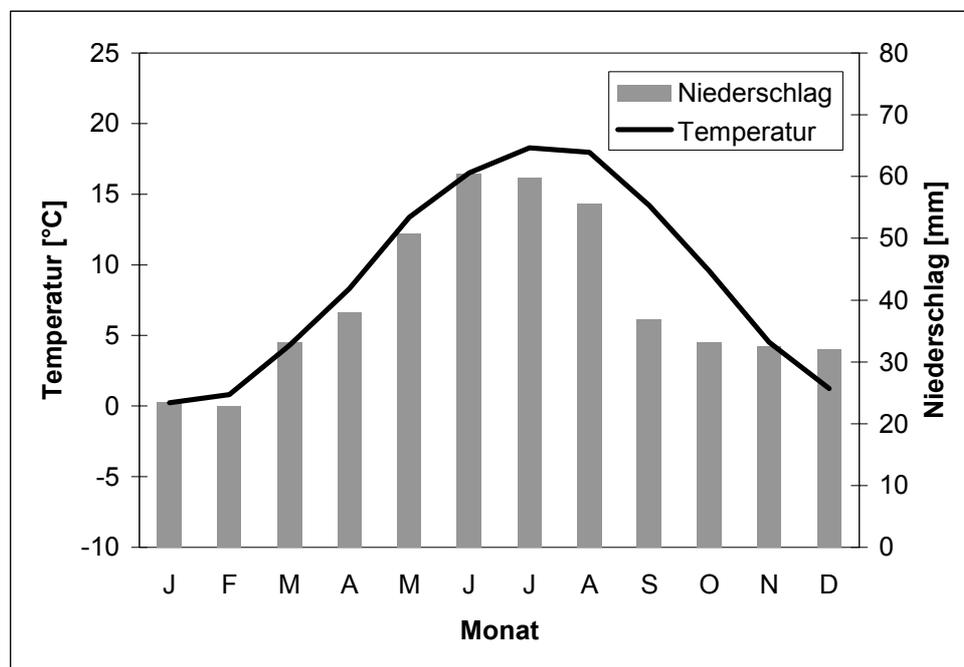


Abb. 3.3: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Bad Lauchstädt (1956-2003, Klimastation Bad Lauchstädt)

Die klimatischen Verhältnisse sind durch eine mittlere Jahrestemperatur von 9,1 °C und einer jährlichen Niederschlagssumme von 478 mm (1956-2003) gekennzeichnet, was die Zugehörigkeit zum mitteldeutschen Trockengebiet widerspiegelt. Wie aus Abb. 3.3 ersichtlich ist, weist die Verteilung der Jahresniederschläge ein deutliches Maximum in den Monaten Juni bis August auf. Der niederschlagsreichste Monat ist mit einem mittleren Niederschlag von 60 mm der Juni und der niederschlagsärmste Monat ist mit durchschnittlich 23 mm Niederschlag der Februar. Die durchschnittlichen Lufttemperaturen sind in den Monaten Juli mit 18,3°C und August mit 18°C am höchsten und im Januar mit 0,2°C am niedrigsten.

Von 1902 bis 1955 lagen die Wetterdaten nur als Pentadenmittel für Lufttemperatur und Niederschlag vor. Mit Hilfe des im CANDY integrierten Wettergenerators wurden auf der Grundlage der meteorologisch-statistischen Daten für Bad Lauchstädt Tageswerte für Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung erzeugt, die den Pentadenwerten entsprechen. Ab 1956 liegen vollständige Aufzeichnungen der Wetterdaten vom Standort Bad Lauchstädt vor.

Ausgewählte Standorteigenschaften für den Dauerversuch in Bad Lauchstädt sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt.

Tabelle 3.2: Ausgewählte Standorteigenschaften in Bad Lauchstädt
(KÖRSCHENS und PFEFFERKORN, 1998)

| | |
|---|--|
| Geographische Lage | 51°24' nördliche Breite 11°53' östliche Länge |
| Höhenlage | 113 m über NN |
| mittlere Jahrestemperatur (1956-2003) | 9,1°C |
| mittlere Jahresniederschlagssumme (1956-2003) | 478 mm |
| Bodenart | Lehm |
| Substrattyp | Löß |
| Bodenform | Haplic Chernozem (FAO) Löss-Schwarzerde (deutsche Systematik) |

Die Fruchtfolge des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ beinhaltet Zuckerrübe, Sommergerste, Kartoffel und Winterweizen. Das Modell wurde anhand der Volldüngungsvariante mit der höchsten Düngerapplikation, auf der sowohl mineralischer Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdünger als auch in zweijährigem Rhythmus 30 t/ha Stallmist ausgebracht wird und einer langjährigen Schwarzbrache parametrisiert. Der Boden der Schwarzbrache wurde im Jahre 1956 aus dem „Statischen Dauerdüngungsversuch“ entnommen, in Brunnenringgefäße eingebracht und erhielt seit 1956 keine Kohlenstoffzufuhr mehr in Form von organischen Düngern, Ernte- und Wurzelrückständen. Ferner wurde das CIPS-Modell anhand der Kontrollvariante ohne Düngerapplikation getestet.

Da die Managementdaten für den „Statischen Dauerdüngungsversuch“ nicht vollständig vorlagen, wurden aus den vorhandenen Daten Termine für Aufgang, Ernte und Düngergaben fruchtartenspezifisch durch Bildung langjähriger Mittel rekonstruiert (s. Tabelle 3.3 und Anhang D).

Tabelle 3.3: Rekonstruierte Aufgang- und Erntetermine vom „Statischen Düngungsversuch“ Bad Lauchstädt

| Fruchtart | Aufgang der Saat | Ernte der Frucht |
|------------------|-------------------------|-------------------------|
| Zuckerrübe | 01.05. | 01.11. |
| Sommergerste | 15.04. | 01.08. |
| Kartoffel | 25.05. | 30.09. |
| Winterweizen | 31.10. | 05.08. |

Die Termine zur Bodenbearbeitung wurden in Jahren der Stallmistgabe (zu Kartoffel und Zuckerrübe) auf den Tag nach Ausbringung festgelegt. In den Jahren, in denen kein Stallmist auf den Schlag kam, wurde vor Aussaat des Winterweizens der 1. Oktober und vor Aussaat der Sommergerste der 15. November als Termin zur Bodenbearbeitung angenommen. Offen ist bisher noch die Entwicklung der Bearbeitungstiefe. Diese wurde bei den bisherigen Simulationsrechnungen mit einer einheitlichen Tiefe von 30 cm angesetzt, da dieses Maß ca. der jetzigen Pflugtiefe entspricht. Es ist aber davon auszugehen, dass Anfang des 20. Jh. mit Pferdepflügen nur eine Bearbeitungstiefe von ca. 20 cm erreicht wurde.

3.2.2 „Ewiger Roggenbau“ Halle

Die Einrichtung des Versuchsfeldes „Ewiger Roggenbau“ Halle erfolgte im Jahr 1878 durch KÜHN, mit dem Versuchsziel, die von LIEBIG propagierte Minereraldüngung zu erproben. Der Versuchsstandort Halle liegt im Schwarzerdegebiet Sachsen-Anhalts, welches sich im östlichen Harzvorland erstreckt (SCHLIEPHAKE et al., 2000).

Das Versuchsfeld befindet sich im mitteldeutschen Trockengebiet. Im Mittel der Jahre zwischen 1951 und 2001 betrug der jährliche Niederschlag 494 mm, wobei die Niederschlagsverteilung ein Sommermaximum aufweist, welches im Juli mit durchschnittlich 64 mm Niederschlag den Höchstwert erreicht (s. Abb. 3.4). Der trockenste Monat ist mit durchschnittlich 25 mm Niederschlag der Februar. Die Temperaturen sind in den Monaten Juli mit 18,5°C und August mit 18,2°C am höchsten und im Januar mit 0,3°C am niedrigsten. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,3°C.

Da für den gesamten Versuchszeitraum keine vollständige Wetteraufzeichnung von einer Klimastation vorlag, musste eine virtuelle Klimastation erstellt werden. Von 1878 – 1900 wurden aus Monatsmitteln aus den Klimatischen Normalwerten (1961) mit dem CANDY-

Wettergenerator Tageswerte erzeugt. Von 1901- 1965 lagen Daten von der Wetterstation Halle-Stadt, von 1966 -1980 Daten von der Wetterstation Halle-Kröllwitz und von 1981 – 2001 Daten der Zöberitz/Seebener Messreihe vor.

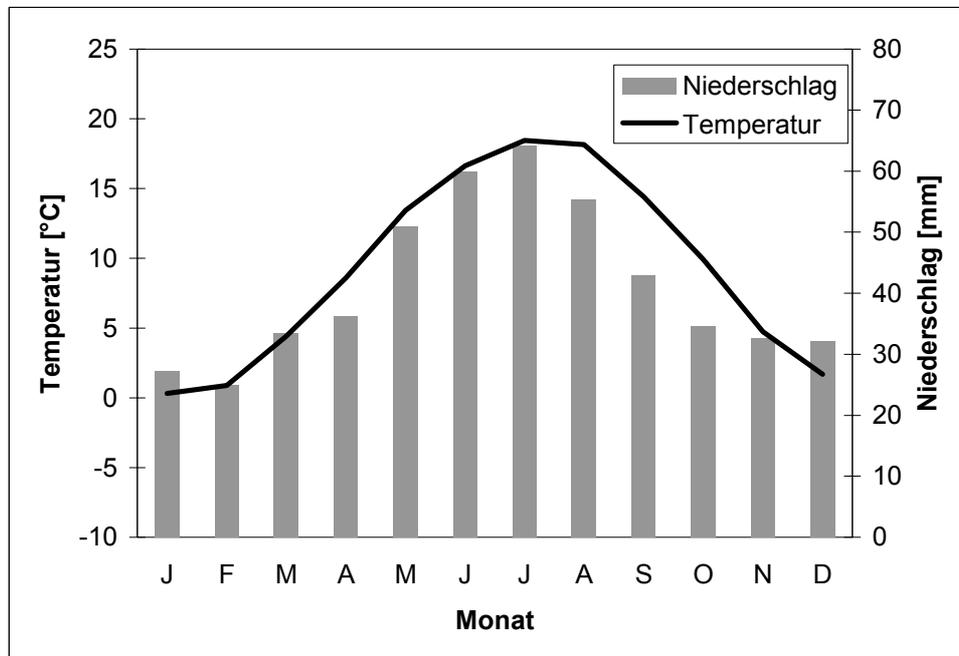


Abb. 3.4: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Halle (1951-2001, Klimastationen Halle-Zöberitz und Halle-Kröllwitz)

Der „Ewige Roggenbau“ wurde als reine Roggenmonokultur angelegt. Ausgewählte Standorteigenschaften sind in Tabelle 3.4 zusammengestellt.

Tabelle 3.4: Ausgewählte Standorteigenschaften in Halle (SCHLIEPHAKE et al., 2000)

| | |
|---|---|
| Geographische Lage | 51° 30' nördliche Breite 12° 00' östliche Länge |
| Höhenlage | 110 m über NN |
| mittlere Jahrestemperatur (1951-2001) | 9,3°C |
| mittlere Jahresniederschlagssumme (1878-1995) | 494 mm |
| Bodenart | lehmiger Sand |
| Substrattyp | Sandlöß |
| Bodenform | Haplic Phaeozem (FAO) Parabraunerde-Tschernosem (deutsche Systematik) |

Das Modell wurde anhand der Kontroll- und Stallmistvariante der Roggenmonokultur getestet.

Die fehlenden Managementdaten in der Zeit vor 1952 und von 1969-1973 wurden für den Halleschen Versuch aus den vorhandenen Daten rekonstruiert und sind in Tabelle 3.5 aufgeführt.

Tabelle 3.5: Termine für fehlende Managementdaten

| Maßnahme | Termin |
|---------------------|--------|
| Aufgang | 13.10. |
| Ernte | 29.07. |
| Stallmist | 15.09. |
| N-Düngung _Herbst | 02.10. |
| N-Düngung _Frühjahr | 09.03. |
| Bodenbearbeitung | 15.09. |

Der größte Unterschied zwischen den räumlich nah beieinander liegenden Dauerversuchen in Halle und Bad Lauchstädt betrifft die Textur (s. Abb. 3.2). In Bad Lauchstädt beträgt der Tonanteil 21 %, der Schluffanteil 67,8 % und der Sandanteil 11,2 % (KÖRSCHENS, 1998) und in Halle ist das Verhältnis von zu Ton, zu Schluff und zu Sand 8 %, 23 % zu 69 % (GARZ et al., 1999).

3.2.3 „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag

Die Dauerfeldversuche in Prag-Ruzyně (Tschechien) wurden 1955 von NOVÁK, ŠKOPIK und ŠKARDA mit dem Ziel gegründet, die Effekte verschiedener Düngungsstufen auf den Ertrag, die Nährstoffaufnahme und die Bodenqualität zu untersuchen (KUBAT et al., 2003). Die Verteilung der Niederschläge (s. Abb. 3.5) ist durch ein Sommermaximum von Mai bis August und einer deutlich trockeneren Periode von September bis April gekennzeichnet.

Bei einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 516 mm, werden mit 72 mm im Juli die Maximalwerte und mit 22 mm im Januar die niedrigsten Niederschläge verzeichnet. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt im Durchschnitt 8,2°C. Der wärmste Monat ist mit 17,4°C der August und der kälteste Monat mit -1,8°C der Januar.

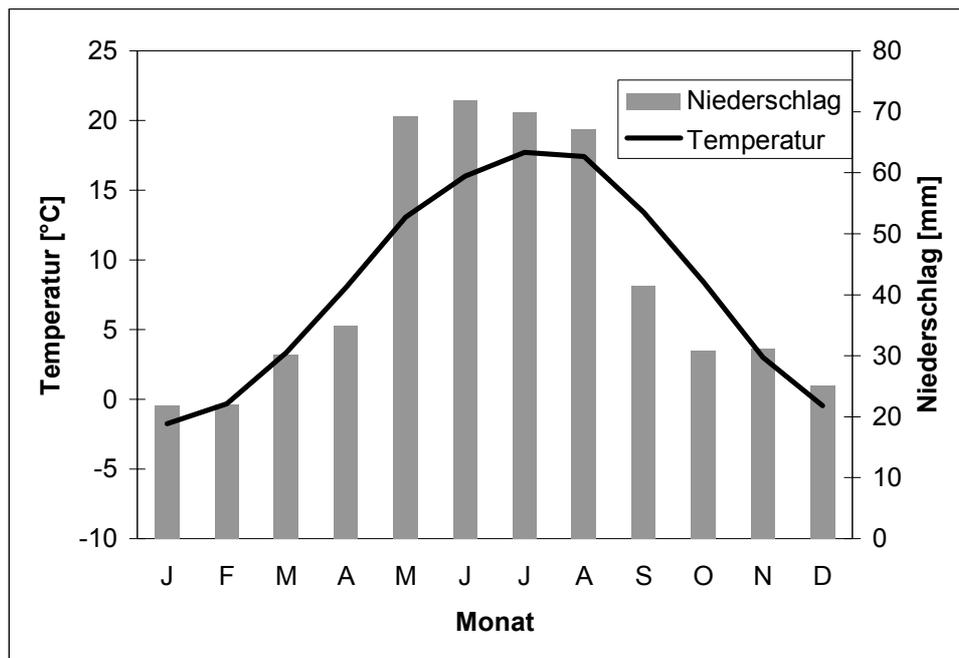


Abb. 3.5: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Prag (1961-2002, Klimastation Prag)

Der Versuchsstandort Prag ist durch die in Tabelle 3.6 aufgeführten ausgewählten Standorteigenschaften charakterisiert.

Tabelle 3.6: Ausgewählte Standorteigenschaften in Prag (KUBAT et al., 2003)

| | |
|---|---|
| Geographische Lage | 50° 05' nördliche Breite 14° 20' östliche Länge |
| Höhenlage | 352 m über NN |
| mittlere Jahrestemperatur (1961-2002) | 8,1°C |
| mittlere Jahresniederschlagssumme (1961-2002) | 450 mm |
| Bodenart | toniger Lehm |
| Substrattyp | Tonschiefer mit eingemischtem Löss |
| Bodenform | Orthic Luvisol (nach FAO-Klassifikation) Parabraunerde (Deutsche Systematik) |

Das Modell wurde anhand der Kontroll- und Volldüngungsvarianten mit der Fruchtfolge Zuckerrübe und Durum-Weizen bzw. Sommergerste getestet.

3.2.4 „Grakov Versuchsfeld“ Grakov

Der Dauerfeldversuch in Grakov wurde 1967 mit der Absicht angelegt, die Effizienz von Düngern und die Auswirkung unterschiedlicher Düngestufen auf agrochemische Parameter zu studieren (GUREVICH und BORONIN, 1969). Der Versuchsstandort befindet sich in der Waldsteppe der Kharkov Region in der Ukraine.

Der Versuchsstandort Grakov ist gegenüber den anderen gewählten Versuchsstandorten durch niedrigere Temperaturen und geringere Niederschlagsmengen gekennzeichnet (s. Abb. 3.6). Die mittlere Jahrestemperatur (1967-1999) beträgt 6,6°C, wobei der Juli mit 19,4°C der wärmste und mit durchschnittlich 56 mm Niederschlag zugleich der regenreichste Monat ist. Im März sind mit mittleren 16 mm die geringsten Niederschläge zu verzeichnen. Der durchschnittliche Niederschlag eines Jahres beträgt 405 mm.

Auf dem Versuchsfeld wurden Mais, Zuckerrübe, Winterweizen, Sommergerste und Luzerne in wechselnder Folge angebaut.

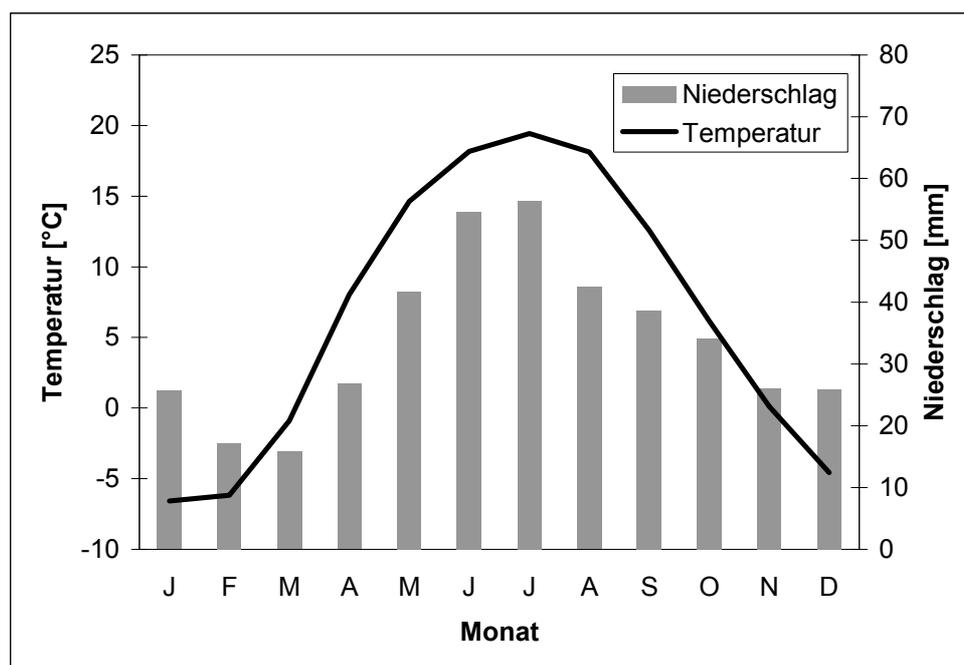


Abb. 3.6: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Grakov (1967-1999, Klimastation Grakov)

In der Tabelle 3.7 sind ausgewählte Standorteigenschaften des „Grakov Versuchsfeldes“ zusammengestellt. Die Simulationsrechnungen wurden nur mit der Kontrollvariante durchgeführt.

Tabelle 3.7: Ausgewählte Standorteigenschaften in Grakov (GUREVICH und BORONIN, 1969)

| | |
|---|---|
| Geographische Lage | 46° 49' nördliche Breite 36° 40' östliche Länge |
| Höhenlage | 152,5 m über NN |
| mittlere Jahrestemperatur (1967-1999) | 6,6°C |
| mittlere Jahresniederschlagssumme (1967-1999) | 405 mm |
| Bodenart | lehmiger Sand |
| Substrattyp | kalkhaltiger Löß |
| Bodenform | Haplic Chernozem (FAO) Tschernosem (deutsche Systematik) |

3.2.5 „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely

Der Versuch wurde 1963 durch LÄNG angelegt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Dünger auf den Ertrag sowie auf chemische, physikalische und biologische Bodeneigenschaften zu untersuchen (NEMETH, 1982).

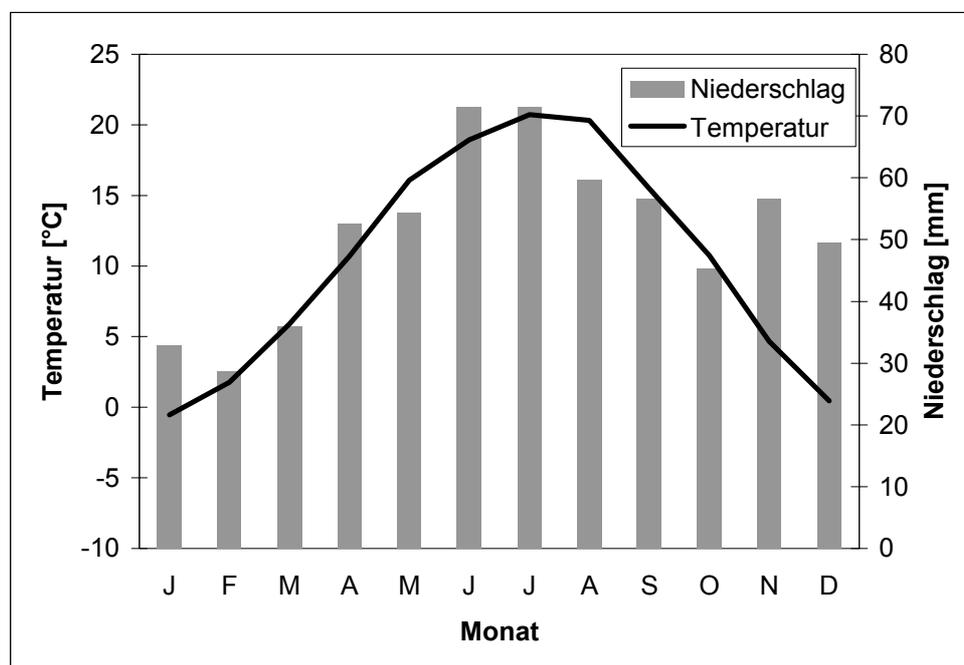


Abb. 3.7: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Keszthely (1961-2003, Klimastation Keszthely)

Der Versuchsstandort ist durch ein mildes Klima charakterisiert (s. Abb. 3.7). Die höchsten Niederschläge sind mit 71 mm im Juli zu verzeichnen, wo mit durchschnittlich 20,7°C auch die höchsten Temperaturen herrschen. Der kälteste Monat ist mit durchschnittlich -0,5°C der

Januar und der trockenste Monat ist mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 29 mm der Februar.

In Tabelle 3.8 sind ausgewählte Standorteigenschaften zusammengestellt.

Tabelle 3.8: Ausgewählte Standorteigenschaften von Keszthely (NEMETH, 1982)

| | |
|---|--|
| Geographische Lage | 46°47' nördliche Breite 17°15' östliche Länge |
| Höhenlage | 112 m über NN |
| mittlere Jahrestemperatur (1961-2003) | 10,4°C |
| mittlere Jahresniederschlagssumme (1961-2003) | 615 mm |
| Bodenart | sandiger Lehm |
| Substrattyp | Alluvium und Löß |
| Bodenform | Eutric Cambisol (FAO-Klassifikation) Ramann-Braunerde (deutsche Systematik) |

3.3 Bodenphysikalische Untersuchungen

3.3.1 Scannermessungen

Für die Scanneraufnahmen mit dem CALLIDUS® 3D-Laser-Mess-System musste eine Betonfläche als feste Bezugsgröße neben dem zu untersuchendem Feld fest installiert werden. In Abb. 3.8 ist der Versuchsaufbau dargestellt.

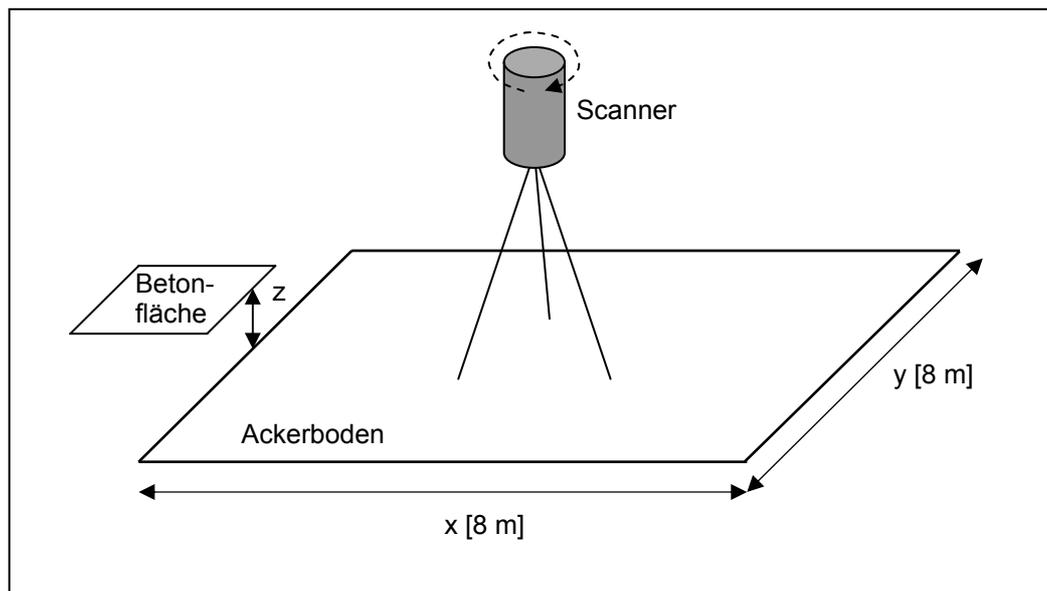


Abb. 3.8: Versuchsaufbau der Scannermessung

Aufgrund der infrastrukturellen Gegebenheiten wurde als Untersuchungsvariante die Voldüngungsparzelle auf der Schlaghälfte 1 des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt gewählt. Wegen des höchsten C_{org} -Gehaltes und der höchsten Düngerapplikation wurde auf dieser Fläche der größte Effekt bei der TRD-Änderung durch Wurzelwachstum erwartet. Die Scannermessungen liefern von einer Fläche von $8 \times 8 \text{ m}$ für Punkte mit den Koordinaten x und y die zugehörige Höhe (z), die den Abstand zur Höhe der Betonfläche darstellt. Mit einer Zeitreihe der Scannermessung lässt sich die Höhendifferenz der Bodenoberfläche zwischen verschiedenen Terminen bestimmen. Das heißt, es können durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen oder Setzungen des Bodenkörpers verursachte Schwankungen der Bodenoberfläche kleinräumig hoch aufgelöst dargestellt und berechnet werden. Die Messungen wurden an den in Tabelle 3.9 aufgeführten Terminen durchgeführt.

Tabelle 3.9: Messtermine der bodenphysikalischen Untersuchungen mit Zuordnung zu Managementterminen des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt Schlaghälfte 1 Parzelle STM+NPK

| Messtermin | Maßnahme | Zeitpunkt |
|-------------------|-------------------|---|
| 06.08.2002 | Parzellenernte | |
| 24.09.2002 | Messtermin | <ul style="list-style-type: none"> • nach Winterweizenernte • vor Pflugtermin • Brache |
| 26.10.2002 | Bodenbearbeitung | |
| 21.11.2002 | Messtermin | <ul style="list-style-type: none"> • nach Pflugtermin • Brache |
| 06.03.2003 | Messtermin | <ul style="list-style-type: none"> • nach Winterperiode • Brache |
| 03.04.2003 | Aussaat | |
| 23.04.2003 | Aufgang | |
| 20.05.2003 | Messtermin | <ul style="list-style-type: none"> • nach Aufgang von Zuckerrübe • Pflanzen in Reihen (ca. 10 cm Höhe) |
| 06.10.2003 | Haupternte Kraut | |
| 06.10.2003 | Messtermin | <ul style="list-style-type: none"> • 1 Tag vor Ernte der Zuckerrübe • Blatt geköpft • Rüben in Reihe (ca. 5 cm Höhe) |
| 07.10.2003 | Haupternte Körper | |

3.3.2 Bestimmung der Trockenrohddichte

Die Trockenrohddichte (TRD) ist das Verhältnis der Masse des Bodens zu seinem beanspruchten Volumen in natürlicher Lagerung. Zur Bestimmung der TRD und Bodenfeuchte wurden gemäß DIN 1185 mittels 100 cm³-Stechzylindern aus den Bodentiefen (h) 5 cm, 15 cm und 25 cm ungestörte Bodenproben mit fünffacher Wiederholung entnommen. Dazu wurde eine stufenförmige Schürfgrube angelegt, um eine Verdichtung des noch zu beprobenden Unterbodens durch die Hammerschläge zu vermeiden.

Die Stechzylinder, deren Eigengewicht (G_{St}) vor den Probenahmen bestimmt wurde, sind verschlossen ins Labor transportiert worden. Unmittelbar im Anschluss an die Probenahme wurde das Nettogewicht des naturfeuchten Bodens (G_f) nach Gleichung (3.1) bestimmt.

$$G_f = G_{Bf} - G_{St} \quad (3.1)$$

mit

G_f Nettogewicht des naturfeuchten Bodens [g]

G_{Bf} Bruttofrischgewicht - Einwaage frische Stechzylinderprobe [g]

G_{St} Einwaage Stechzylinder [g]

Nach DIN 19683 Teil 12 wurden die Bodenmonolithe im Trockenschrank bei 110°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Abkühlung der Proben vor der Bestimmung des Bruttogewichtes des trockenen Bodens (G_{Btro}) erfolgte im Exsikator. Das Nettogewicht (G_{tro}) errechnet sich nach Gleichung (3.2).

$$G_{tro} = G_{Btro} - G_{st} \quad (3.2)$$

mit

G_{tro} Nettogewicht des trockenen Bodens [g]

G_{Btro} Bruttotrockengewicht - Einwaage trockene Stechzylinderprobe [g]

Die TRD errechnet sich nach Gleichung (3.3).

$$TRD = \frac{G_{tro}}{V_{St}} \quad (3.3)$$

mit

TRD Trockenrohddichte [g/cm³]

V_{St} Volumen des Stechzylinders [cm³]

3.3.3 *Bestimmung des Eindringwiderstandes*

Der Eindringwiderstand des Bodens gibt an, wie viel Gegenwirkung von der Bodenmatrix gegen mechanische Verformung geleistet wird. Der Eindringwiderstand ist nach KRETZSCHMAR (1996) abhängig von:

- der Trockenroh- und Trockensubstanzdichte
- Bodenfeuchte bzw. Trockenheitsgrad
- der mechanischen Auflast der Bodendeckenschichten
- der Gefügeform
- Reibungswiderständen zwischen Bodenaggregaten
- der biologischen und chemischen Verklebung
- Druckkräften aus der Aggregatumgebung
- der Rauigkeit und Deformierbarkeit
- dem herrschenden Strömungsdruck der Bodenluft und des –wassers
- Ko- und Adhäsionskräften zwischen Bodenpartikeln

Die Messungen des Eindringwiderstandes wurden mit einem Penetrologger Typ Eijkelkamp 06.15.01 durchgeführt. Dabei wurde ein Konus manuell mit gleich bleibender Geschwindigkeit bis zu einer Tiefe von 35 cm in den Boden gedrückt. Der beim Einführen in den Boden ermittelte Eindringwiderstand wird in MPascal angegeben.

3.4 C-Input Berechnungen

Um das CIPS-Modell anwenden zu können, muss die Größe des FOM-Pools als Konzentration berechnet werden. Dazu benötigt man die durchschnittlichen jährlichen Ertragsdaten der Anbaufrüchte und die Menge ausgebrachten organischen Düngers. Die Berechnung der Kohlenstoffmenge der Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) erfolgt mit fruchtartenabhängigen Parametern (s. Tabelle 3.10) mittels Gleichung (3.4) (FRANKO, 1997).

$$C_{EWR} = k_{EWR} + F_{EWR} \cdot Ertrag_{ha} \quad (3.4)$$

mit

| | |
|---------------|---|
| C_{EWR} | Kohlenstoffmenge der EWR [dt/ha] |
| k_{EWR} | ertragsunabhängige Konstante [dt/ha] |
| F_{EWR} | Faktor zur Kalkulation des ertragsabhängigen Anteils von C_{EWR} [dtC/dtErtrag] |
| $Ertrag_{ha}$ | Ertrag pro Hektar [dt/ha] |

Tabelle 3.10: Fruchtartenparameter zur ertragsabhängigen Berechnung des Kohlenstoffinputs (FRANKO, 1997)

| Fruchtart | k_{EWR} [dt/ha] | F_{EWR} [dt C/dt Ertrag] |
|----------------|-------------------|----------------------------|
| Zuckerrübe | 1,6 | 0,008 |
| Kartoffel | 0,8 | 0,016 |
| Sommergerste | 3,1 | 0,078 |
| Wintergetreide | 4,0 | 0,080 |
| Sonnenblume | 12,0 | 0,168 |
| Silomais | 10,4 | 0,005 |
| Körnermais | 13,5 | 0,060 |
| Luzerne | 20,0 | 0,014 |
| Erbsen | 17,5 | 0,100 |
| Futterroggen | 4,5 | 0,004 |

Die Kalkulation des Kohlenstoffanteils der organischen Dünger erfolgt mittels düngerspezifischen Parametern (s. Tabelle 3.11) mit Gleichung (3.5) (FRANKO, 1997).

$$C_{OD} = FM_{OD} \cdot TM \cdot G_{TM} \quad (3.5)$$

mit

C_{OD} Kohlenstoffmenge organischer Dünger [dt/ha]

FM_{OD} Frischmasse der organischen Dünger [dt/ha]

TM Trockenmasseanteil

G_{TM} Kohlenstoffgehalt der Trockenmasse

Tabelle 3.11: Parameter zur Berechnung des Kohlenstoffinputs organischer Dünger (FRANKO, 1997)

| Organische Dünger | Trockenmasseanteil | C-Gehalt der Trockenmasse |
|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Stallmist | 0,25 | 0,36 |
| Rindergülle | 0,10 | 0,35 |
| Schweinegülle | 0,07 | 0,35 |
| Rübenblatt | 0,16 | 0,24 |
| Getreidestroh | 0,86 | 0,40 |
| Gründüngung | 0,14 | 0,43 |

Der Kohlenstoffinput in den Boden [s. Gleichung (3.7)] ergibt sich aus dem Quotienten der Summe des Kohlenstoffs der EWR [s. Gleichung (3.4)] und organischer Dünger [s. Gleichung (3.5)] sowie der Masse des Bodens [s. Gleichung (3.6)].

$$m_{Boden} = A_{ha} \cdot h \cdot TRD \quad (3.6)$$

mit

m_{Boden} Bodenmasse [t]

A_{ha} Hektar-Fläche [m²]

h Tiefe des Pflughorizontes [m]

TRD Trockenrohichte des Bodens [t/m³]

$$C_{FOM} = \frac{(C_{EWR} + C_{OD})}{m_{Boden}} \quad (3.7)$$

mit

C_{FOM} Kohlenstoffinput in den Boden - Frische organische Substanz

4 Modellentwicklung von CIPS

4.1 Poolkonzept

Das CIPS-Modell ist angelehnt an das Poolkonzept des CANDY-Modells (FRANKO, 1989; FRANKO und OELSCHLÄGEL, 1993; FRANKO et al., 1995 a und b, 1997). Alle organische Substanz des Bodens ist in die in der Tabelle 4.1 aufgeführten Pools aufgeteilt, die durch die Herkunft der organischen Substanz bzw. deren Funktion charakterisiert sind. Neben dem im CANDY-Modell verwendeten FOM-, AOM-, ROM- und CO₂-Pool wird im CIPS-Modell ein DOM-Pool berücksichtigt. Im CIPS-Modell wird prinzipiell die gesamte organische Bodensubstanz als umsetzbar betrachtet. Die organische Substanz ist aber teilweise aufgrund der Lokalisierung im Porenraum gegen Mineralisierung geschützt.

Tabelle 4.1: Pools des CIPS-Modells

| Pools | Interpretation |
|------------------|---|
| FOM | Frische organische Substanz (F resh O rganic M atter) |
| FOM _S | Lösliche Anteil an FOM (S oluble FOM) |
| FOM _L | Labiler Anteil an FOM (L abile FOM) |
| FOM _R | Stabiler Anteil an FOM (R esistant FOM) |
| AOM | Aktive organische Substanz (A ctive O rganic M atter) |
| ROM | Refraktäre organische Substanz (R efractory O rganic M atter) |
| DOM | Gelöste organische Substanz (D issolved O rganic M atter) |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |

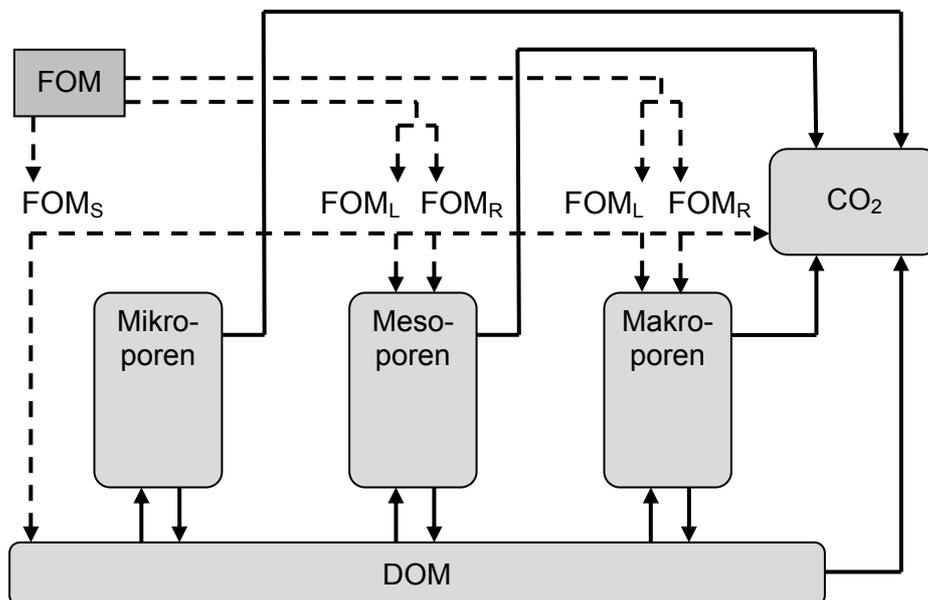
Der FOM-Pool baut sich aus dem Kohlenstoffinput auf, der aus Ernte- und Wurzelrückständen der angebauten Früchte und aus den auf den Boden ausgebrachten organischen Düngern stammt. Die Poolgröße des FOM-Pools berechnet sich aus dem jährlichen Ertrag der Anbaufrucht und der Menge organischen Düngers, die in Korrelation zu fruchtarten- und düngerspezifischen Kohlenstoffgehalten stehen (s. Kap. 3.4). Der FOM-Pool wird in einen löslichen (FOM_S), labilen (FOM_L) und stabilen (FOM_R) Anteil untergliedert, die durch unterschiedliche Mineralisierbarkeiten gekennzeichnet sind.

Der AOM-Pool wird im CIPS-Modell als mikrobielle Biomasse betrachtet, die mit der Chloroform-Fumigation-Extraktion-Methode (CFE) (VANCE et al., 1987) gemessen werden kann, bei der die stoffwechselaktive und ruhende mikrobielle Biomasse insgesamt bestimmt wird. Die Größen des DOM- und des CO₂-Pools lassen sich ebenfalls experimentell

bestimmen. Der ROM-Pool ergibt sich aus der Differenz des Gesamtkohlenstoffgehaltes und der Summe des AOM- und DOM-Pools, wenn man Rückstände frischer organischer Substanz ausschließen kann. Somit sind bis auf den empirisch ermittelten FOM-Pool alle Pools des Modells experimentell ermittelbar, was für die Parametrisierung und Anwendung des Modells einen Vorteil darstellt.

4.2 Modelstruktur

Im Modell erfolgt die Aufteilung des Bodenkörpers in die drei Reaktionsräume der Mikro-Meso- und Makroporen (s. Abb. 4.1), die durch die Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt (pF-Kurve) des Bodens definiert werden. Räume mit schlechten Umsatzbedingungen stellen, aufgrund einer Limitierung des Sauerstoffs, relative Kohlenstoffsenken dar. Dagegen wird aus Räumen, in denen eine erhöhte biologische Aktivität erwartet wird, durch Respiration Kohlenstoff als Kohlenstoffdioxid emittiert.



FOM: Frische organische Substanz (**F**resh **O**rganic **M**atter)
 FOM_S: Löslicher (**S**oluble) Anteil an FOM
 FOM_L: Labiler (**L**abile) Anteil an FOM
 FOM_R: Stabiler (**R**esistant) Anteil an FOM

DOM: Gelöste organische Substanz
 (**D**issolved **O**rganic **M**atter)
 CO₂: Kohlenstoffdioxid

Abb. 4.1: Modellstruktur von CIPS

Der Porenraum der Mikroporen entspricht dem Volumen bis zum PWP, der Mesoporenraum dem der nFK und das Volumen der Makroporen dem des GW, welches sich aus der Differenz des PV und der FK errechnet. Die Lokalisierung der organischen Substanz erfolgt im Porenraum, wobei der Umsatz der organischen Substanz in den einzelnen Porenklassen in Abhängigkeit der vorherrschenden Umsatzbedingungen stattfindet. Unter der Annahme, dass die Mikroporen aufgrund ihres geringen Porendurchmessers organische Substanz nur in gelöster Form akkumulieren können, wurden im Modell Stoffflüsse vom FOM-Pool ausschließlich zu den Meso- bzw. Makroporen und in den DOM-Pool berücksichtigt. Der FOM-Pool unterteilt sich in einen löslichen (FOM_S), labilen (FOM_L) und stabilen (FOM_R) Anteil, wobei FOM_S direkt in den DOM-Pool fließt. FOM_L und FOM_R werden in den Meso- und Makroporen umgesetzt. Der Stoffaustausch zwischen den einzelnen Porenklassen erfolgt über den DOM-Pool (s. Abb. 4.1). In jeder Porenraumklasse liegt die organische Substanz als AOM und ROM vor (s. Abb. 4.2).

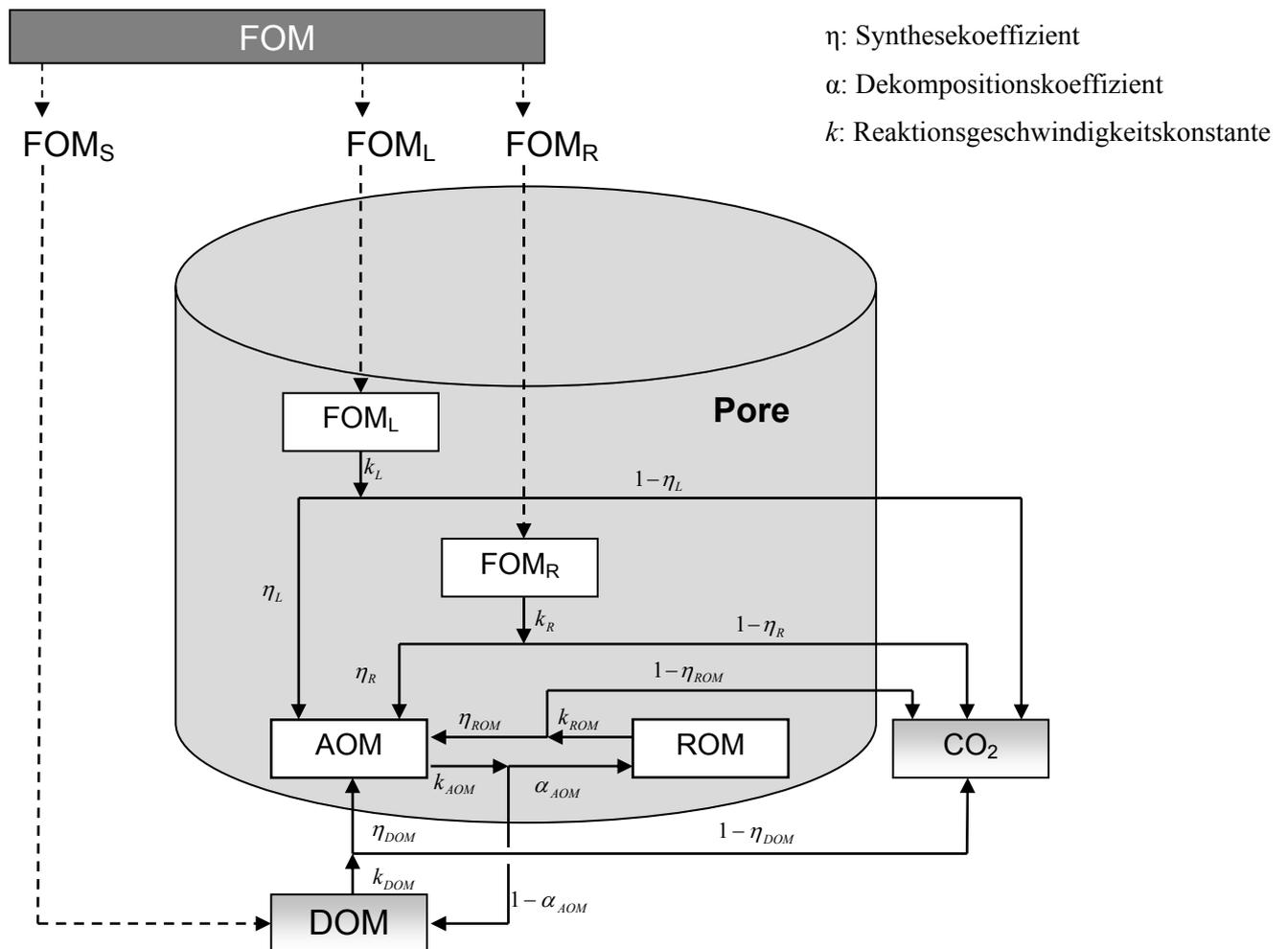


Abb. 4.2: Umsatz der organischen Substanz in einer Pore (Bezeichnungen s. Tabelle 4.2)

Tabelle 4.2: Modellparameter

| Parameter | Parameterbeschreibung |
|----------------|---|
| α_{AOM} | Dekompositionskoeffizient von AOM |
| η_{DOM} | Synthesekoeffizient von DOM |
| η_{ROM} | Synthesekoeffizient von ROM |
| η_L | Synthesekoeffizient von FOM _L |
| η_R | Synthesekoeffizient von FOM _R |
| k_{AOM} | Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von AOM |
| k_{DOM} | Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von DOM |
| k_{ROM} | Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von ROM |
| k_L | Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von FOM _L |
| k_R | Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von FOM _R |

Der AOM-Pool nimmt zu, indem die organische Substanz aus den FOM_L-, FOM_R-, DOM- und ROM-Pools in Biomasse umgewandelt wird, wobei ein Teil der organischen Substanz durch die Dissimilation als CO₂ entweicht. Beim Abbau des AOM-Pools zerfällt dieser zu ROM und DOM.

Der in Tabelle 4.2 aufgeführte Parametersatz kommt in allen Porenraumklassen in gleicher Weise zur Anwendung.

Der Umsatz der Pools, wie in Gleichungen (4.1) bis (4.4) formuliert, wird ebenso wie im CANDY-Modell in der biologisch aktiven Zeit (BAT- Biological Active Time) angegeben. Die BAT beschreibt die Zeit, die bei optimalen Umweltbedingungen zum Umsatz benötigt werden würde (s. Kap. 2.3).

Der AOM-Pool, der mit der Biomasse assoziiert ist, wird durch die Gleichung (4.1) beschrieben. Dieser wird durch Stoffflüsse aus dem labilen und stabilen Anteil des FOM-Pools (η_L, η_R) und durch den Input aus dem DOM- und ROM-Pool aufgebaut. Außerdem wird ein autolytischer Zerfall der Biomasse mit Stoffflüssen in den ROM-Pool (α_{AOM}) und in den DOM-Pool ($1-\alpha_{AOM}$) angenommen.

$$\frac{dAOM}{dt} = k_L \eta_L FOM_L + k_R \eta_R FOM_R + k_{ROM} \eta_{ROM} ROM + k_{DOM} \eta_{DOM} DOM - k_{AOM} AOM \quad (4.1)$$

Wie in der Gleichung (4.2) formuliert, baut sich der ROM-Pool aus Zerfallsprodukten des AOM-Pools (α_{AOM}) auf. Aus dem Abbau des ROM-Pools resultiert ein Stofffluss, der sich zwischen dem AOM-Pool (η_{ROM}) und CO₂-Pool ($1-\eta_{ROM}$) aufteilt.

$$\frac{dROM}{dt} = k_{AOM} \alpha_{AOM} AOM - k_{ROM} ROM \quad (4.2)$$

Der DOM-Pool [s. Gleichung (4.3)] fungiert als Vehikel für den Stoffaustausch zwischen den einzelnen Porenklassen und hat somit im Modell eine Schlüsselstellung. In allen Porenraumklassen kann die mikrobielle Biomasse auf dieser Kohlenstoffquelle wachsen (η_{DOM}), wobei partiell CO₂ ($1-\eta_{DOM}$) entsteht. Während der Autolyse produziert die Biomasse DOM ($1-\alpha_{AOM}$).

$$\frac{dDOM}{dt} = FOM_S + k_{AOM} (1 - \alpha_{AOM}) AOM - k_{DOM} DOM \quad (4.3)$$

Der erste Term der Gleichung (4.3) repräsentiert den direkten Input aus der löslichen Fraktion des FOM-Pools in den DOM-Pool.

In Gleichung (4.4) sind alle Mineralisationsflüsse während des Biomassewachstums dargestellt, bei denen CO₂ produziert wird.

$$\frac{dCO_2}{dt} = k_{DOM} (1 - \eta_{DOM}) DOM + k_{ROM} (1 - \eta_{ROM}) ROM + k_L (1 - \eta_L) FOM_L + k_R (1 - \eta_R) FOM_R \quad (4.4)$$

4.3 Initialisierung des Modells

Erster Schritt bei der Modellanwendung ist die Definition der initialen Bedingungen.

Im CIPS-Modell wird der Kohlenstoff des Bodens auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac) in Abhängigkeit des Anteils der Porenoberfläche einer Porenklasse an der Gesamtporenoberfläche aufgeteilt. Es wird angenommen, dass die Oberflächengröße der Poren eine entscheidende Größe bei der Kohlenstoffanlagerung ist.

Soll ein Versuch simuliert werden, wird die Aufteilung des Kohlenstoffgehaltes (C_{org_ges}), der zu Beginn des Simulationszeitraumes gemessen wurde, auf die Porenklassen nach Gleichung (4.5) berechnet.

$$C_{org_n} = C_{org_ges} \cdot \frac{A_n}{\sum A_i} \quad i, n \in \{mic; mes; mac\} \quad (4.5)$$

mit

- C_{org_n} C_{org} -Gehalt in einer Porenraumklasse
 C_{org_ges} Gesamtkohlenstoffgehalt (Simulationsbeginn)
 $A_{n,i}$ Oberfläche einer Porenraumklasse

Die Oberfläche einer Porenraumklasse ($A_{n,i}$) kann aus dem Volumen der jeweiligen Porenraumklasse (V_n) und dem der Porenraumklasse entsprechenden Äquivalentporenradius (R_n) berechnet werden [s. Gleichung (4.6)].

$$A_n = 2 \cdot \frac{V_n}{R_n} \quad n \in \{mic; mes; mac\} \quad (4.6)$$

Als R_n für die Mikro-, Meso- und Makroporen werden 5×10^{-8} , 10×10^{-8} bzw. 500×10^{-8} m verwendet, die den unteren Grenzen der in SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992) angegebenen Spannweiten für die Mittel- und Grobporen entsprechen. Für die Mikroporen entspricht der R_n dem Mittelwert der Feinporen.

Zur Berechnung der Kohlenstoffverteilung in Abhängigkeit der Porenoberfläche einer Porenklasse wurde ein Programm in DELPHI© geschrieben, welches unter dem Namen POF (Porenoberfläche) geführt wird (s. Anhang E).

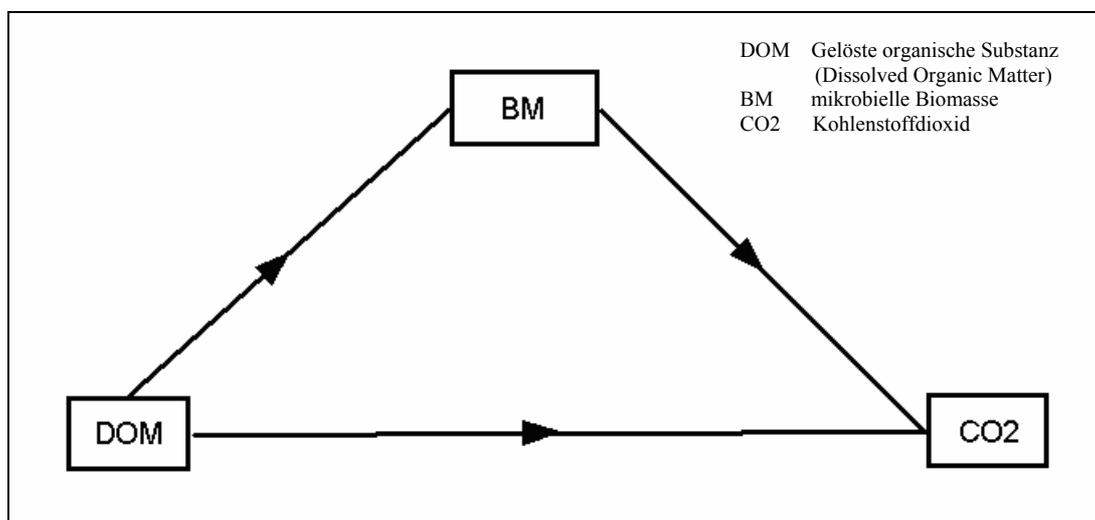
4.4 Parametrisierung von CIPS

Im Anschluss an die Modellentwicklung erfolgte die Parametrisierung des Modells. Die Ermittlung der Modellparameter (s. Tabelle 4.2) resultiert aus der Anpassung der Simulationsergebnisse an Messwerten aus Labor- und Freilandexperimenten. Ausgehend von plausiblen Parameterwerten, die der Literatur (s. Tabelle 4.3) entnommen sind oder sich auf eine mittlere Verteilung stützen, wurde durch schrittweise Änderung der Parameter eine Anpassung an die Zielgrößen erreicht. Das Programm ModelMaker© unterstützt die Optimierungsmethoden Marquardt und Simplex (u.a. in PRESS et al., 1989), die für die Parametrisierung des Versuchsmodells (Abb. 4.3) eingesetzt werden konnten. Aufgrund der Komplexität des Gesamtmodells war eine automatische Optimierung nicht möglich, so dass eine manuelle Anpassung vorgenommen werden musste.

Tabelle 4.3: Startparameter

| Parameter | Parameterwert | Modell | Autor | Parameter in CIPS |
|------------|---------------|--------|----------------------|-------------------|
| k_{SOM} | 0,00032 | CANDY | FRANKO (2003) | k_{ROM} |
| k_{AOM2} | 0,07 | DAISY | JENSEN et al. (1997) | k_{AOM} |
| k_{AOM1} | 0,007 | DAISY | JENSEN et al. (1997) | k_R |

Die Startparameter für den Synthesekoeffizienten (η_{DOM}) und der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante (k_{DOM}) des DOM-Pools konnten unter Verwendung der Ergebnisse des in Kap. 3.1.1 beschriebenen DOM - Inkubationsexperimentes (KALBITZ, 2003 a und b) ermittelt werden. Diese Messwertreihe, die im Anhang A in der Tabelle 1 aufgeführt ist, wurde zur Parameterbestimmung herangezogen. Das dazu entwickelte Versuchsmodell ist in Abb. 4.3 dargestellt. Die Modellentwicklung folgte der Vorstellung, dass DOM bei der Mineralisierung zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) gleichzeitig den Pool der mikrobiellen Biomasse (BM) aufbaut, der wiederum CO_2 produziert. Da keine Messwerte zur BM vorlagen, wurde deren Autolyse nicht betrachtet und der k-Wert (k_{BM}) nicht für die Parametrisierung des CIPS-Modells übernommen.

**Abb. 4.3:** DOM-Versuchsmodell

Das Versuchsmodell lässt sich durch die Gleichungen (4.7) bis (4.9) beschreiben.

$$\frac{dDOM}{dt} = -k_{DOM} \cdot DOM \quad (4.7)$$

mit

DOM Gelöster organischer Kohlenstoff
 k_{DOM} Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von DOM

Der Abbau des DOM-Pools ist in Gleichung (4.7) formuliert.

$$\frac{dBM}{dt} = k_{DOM} \cdot \eta_{DOM} \cdot DOM - k_{BM} \cdot BM \quad (4.8)$$

mit

BM Kohlenstoff in mikrobieller Biomasse
 k_{BM} Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von BM
 η_{DOM} Synthesekoeffizient von DOM

Der erste Term in Gleichung (4.8) beschreibt den Aufbau des BM-Pools mit Zufluss aus dem DOM-Pool und der zweite Term steht für das emittierte CO_2 .

$$\frac{dCO_2}{dt} = k_{BM} \cdot BM + k_{DOM} \cdot (1 - \eta_{DOM}) \cdot DOM \quad (4.9)$$

mit

CO_2 Kohlenstoffdioxid

In Gleichung (4.9) sind die Mineralisierungsflüsse aus dem BM-Pool und aus dem DOM-Pool wiedergegeben.

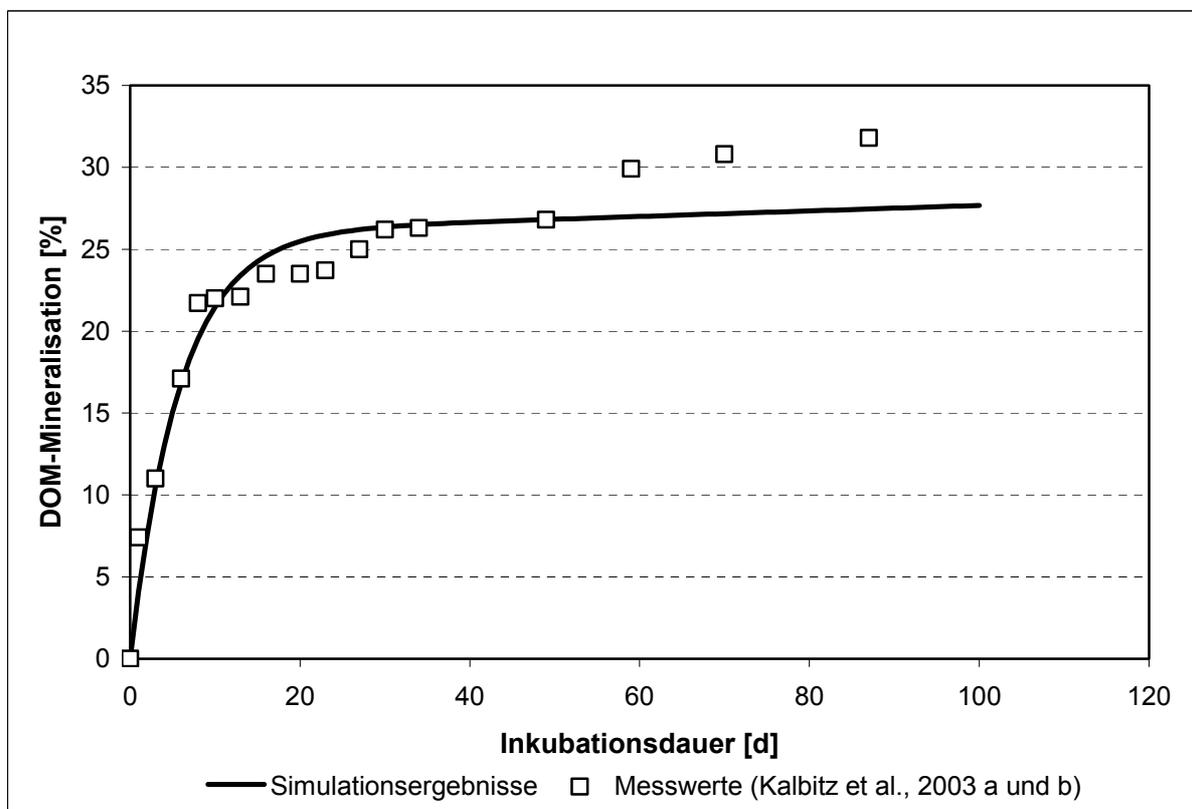


Abb. 4.4: Abbau von DOM gewonnen aus Boden der STM-Parzelle (30 t/ha/2a) des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt

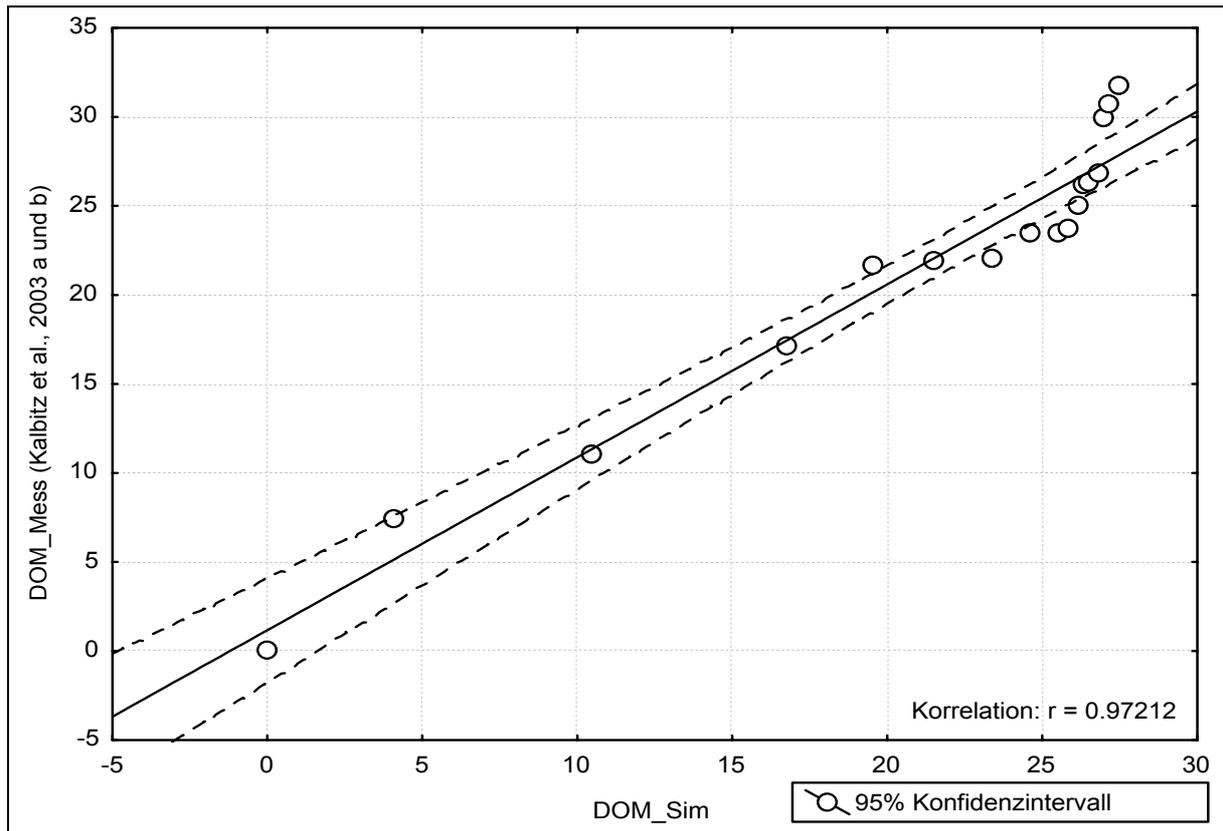


Abb. 4.5: Scatterplot zwischen gemessenen (DOM-Mess) und simulierten (DOM-Sim) DOM-Werten

Durch Optimierung der Simulationsergebnisse an die beim DOM-Abbau ermittelten CO_2 -Messwerte (KALBITZ, 2003 a und b) (s. Abb. 4.4), wurden k_{DOM} ($0,17 \text{ d}^{-1}$), k_{BM} ($0,0002 \text{ d}^{-1}$) und η_{DOM} ($0,74$) bestimmt. Die Parameterwerte für k_{DOM} , und η_{DOM} aus dem Versuchsmodell dienten im weiteren Verlauf der Parametrisierung des CIPS-Modells als Startparameterwerte.

Bei Überprüfung der Kovarianz zwischen den Messwerten des DOM-Abbaus und den Simulationsergebnissen wurde ein Korrelationskoeffizient von $r=0,97$ ermittelt (s. Abb. 4.5), der schlussfolgern lässt, dass eine gute Parameterschätzung vorliegt. Bei Betrachtung der Simulationskurve in Abb. 4.4 erkennt man allerdings eine höhere Abweichung der Messwerte am Ende der Inkubationszeit. Da dieser Versuch nur einen Teilausschnitt der Modellvorstellung von CIPS widerspiegelt und mit diesem nur die Größenordnungen von k_{DOM} , und η_{DOM} ermittelt wurden, erfolgte die Übernahme der Parameter als Startwerte für weitere Anpassungen ohne weitere Überprüfung.

Um eine möglichst exakte Parametrisierung des CIPS-Modells durchführen zu können, müssen viele Poolgrößen als Messwerte vorliegen, die zeitgleich experimentell bestimmt werden. Zur Parameterbestimmung wurde ein Inkubationsexperiment von MARTENS und VOGT (2001) ausgewählt, bei dem die Verteilung des Kohlenstoffs beim

Abbau von ^{14}C -markiertem Weizenstroh im Boden des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt untersucht wurde (s. Kap. 3.1.2).

Durch die ^{14}C -Markierung des Kohlenstoffinputs konnte der Umsatz der frischen organischen Substanz von der des Bodens getrennt betrachtet werden. Mit Messwerten für die mikrobielle Biomasse, die der Poolgröße des AOM-Pools entspricht, für DOM und CO_2 sowie der bekannten Menge an Kohlenstoffinput konnte eine Optimierung durchgeführt werden, die zu einer passenden Lösung führte.

Zunächst erfolgte die Kalkulation des Kohlenstoffinputs in den Boden, die der Poolgröße von FOM entspricht, die sich aus der eingesetzten TM an Stroh (167 mg) und dessen Kohlenstoffgehalt (42,7%) in Bezug zur Bodenmenge (100 g/TM) ergibt. Die FOM-Poolgröße beträgt demnach $713 \mu\text{g C/g Boden}$ ($167 \times 1000 \times 0.427 / 100$).

Da die vorherrschenden Umsatzbedingungen während der Durchführung des Laborexperimentes nicht genau rekonstruiert werden konnten, wurde mit einer maximalen BAT (s. Kap. 2.3) gerechnet. Das bedeutet, dass über den gesamten Versuchszeitraum optimale Umsatzbedingungen angenommen wurden. Der Anteil der BAT in den Mikroporen wurde anhand von Langzeitsimulationsergebnissen des Statischen Dauerdüngungsversuches Bad Lauchstädt mit dem CANDY-Modell ermittelt (s. Tabelle 5.2). In den Mikroporen findet 2% des Kohlestoffumsatzes statt. Die Verteilung der übrigen BAT erfolgte zu gleichen Anteilen von 49% auf die Meso- und Makroporen (s. Tabelle 4.4). Da es sich bei dem Laborexperiment um gesiebten Boden handelt, bei welchem im wesentlichen die natürliche Makrostruktur des Bodens zerstört wurde, konnte keine eindeutige Verteilung der BAT ermittelt werden. Eigene Tests, bei dem die Verteilung der BAT zwischen den Meso- und Makroporen variiert wurden, ergaben nur einen geringen Einfluss auf das Simulationsergebnis.

Tabelle 4.4: BAT-Verteilung für Stroh-Inkubationsexperiment

| Parameterbezeichnung | Parameter | Wert |
|---------------------------|---------------------------|------|
| Anteil BAT der Makroporen | BAT_{mac} | 0,49 |
| Anteil BAT der Mesoporen | BAT_{mes} | 0,49 |
| Anteil BAT der Mikroporen | BAT_{mic} | 0,02 |

Die Ermittlung der Modellparameter (s. Tabelle 4.5) von CIPS erfolgte, indem die Simulationsergebnisse alle gleichzeitig an die Messergebnisse von ^{14}C -DOM (s. Abb. 4.6), ^{14}C -Biomasse (s. Abb. 4.8) und ^{14}C - CO_2 (s. Abb. 4.10) angepasst wurden.

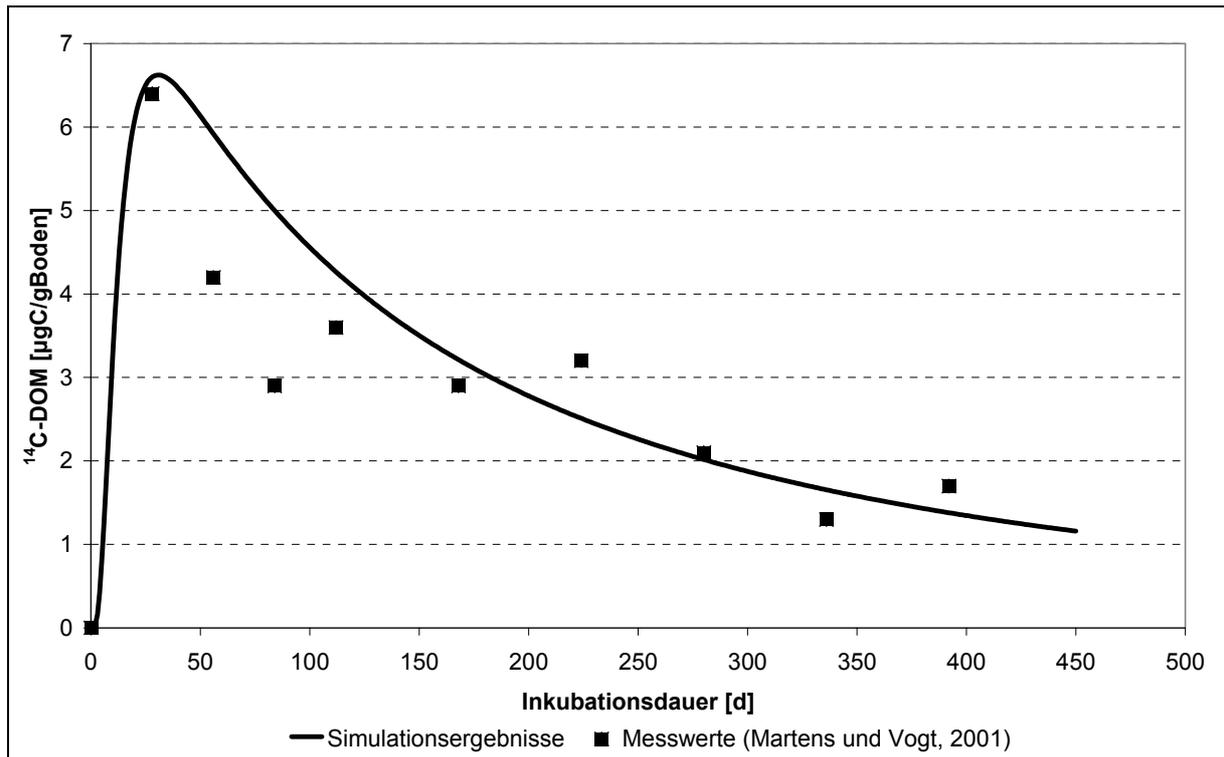


Abb. 4.6: ¹⁴C-DOM-Dynamik beim Abbau von markiertem Weizenstroh im Boden der Volldüngungspartelle des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt

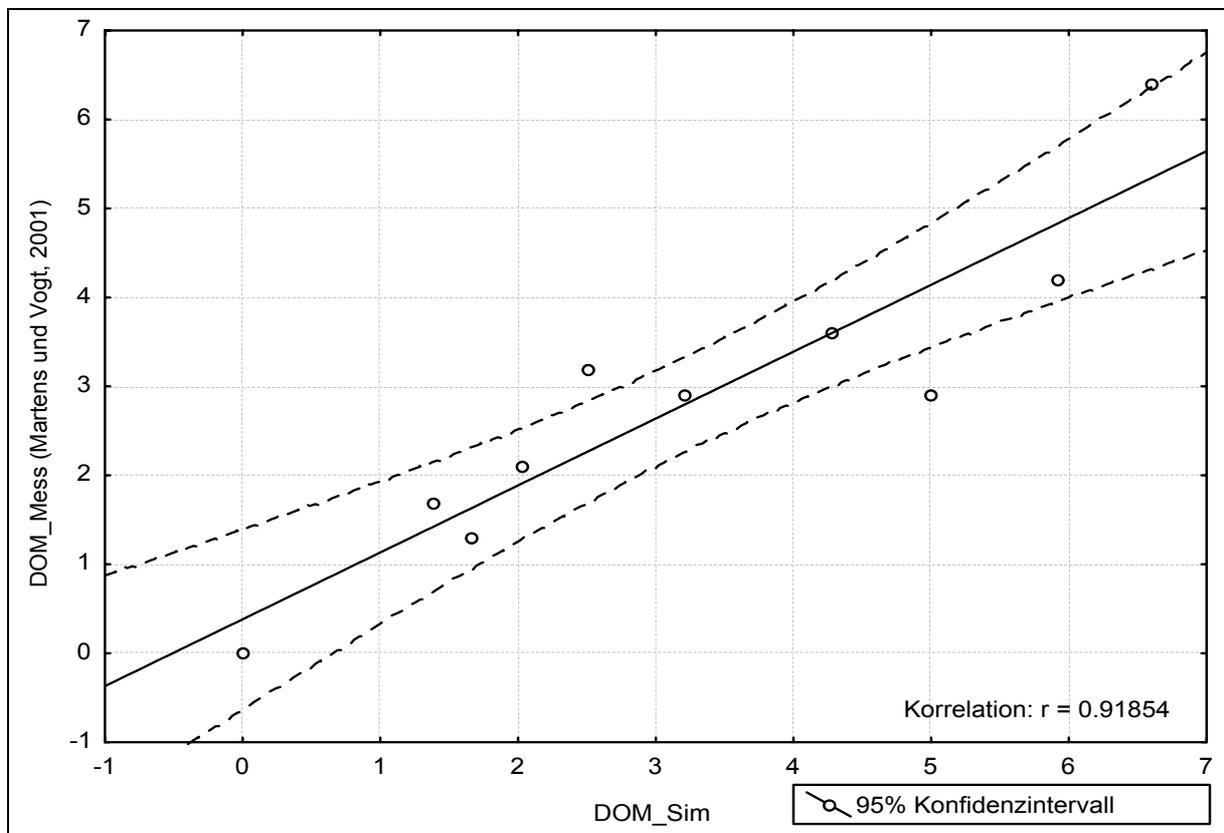


Abb. 4.7: Scatterplot zwischen gemessenen (DOM-Mess) und simulierten (DOM-Sim) ¹⁴C-DOM Werten

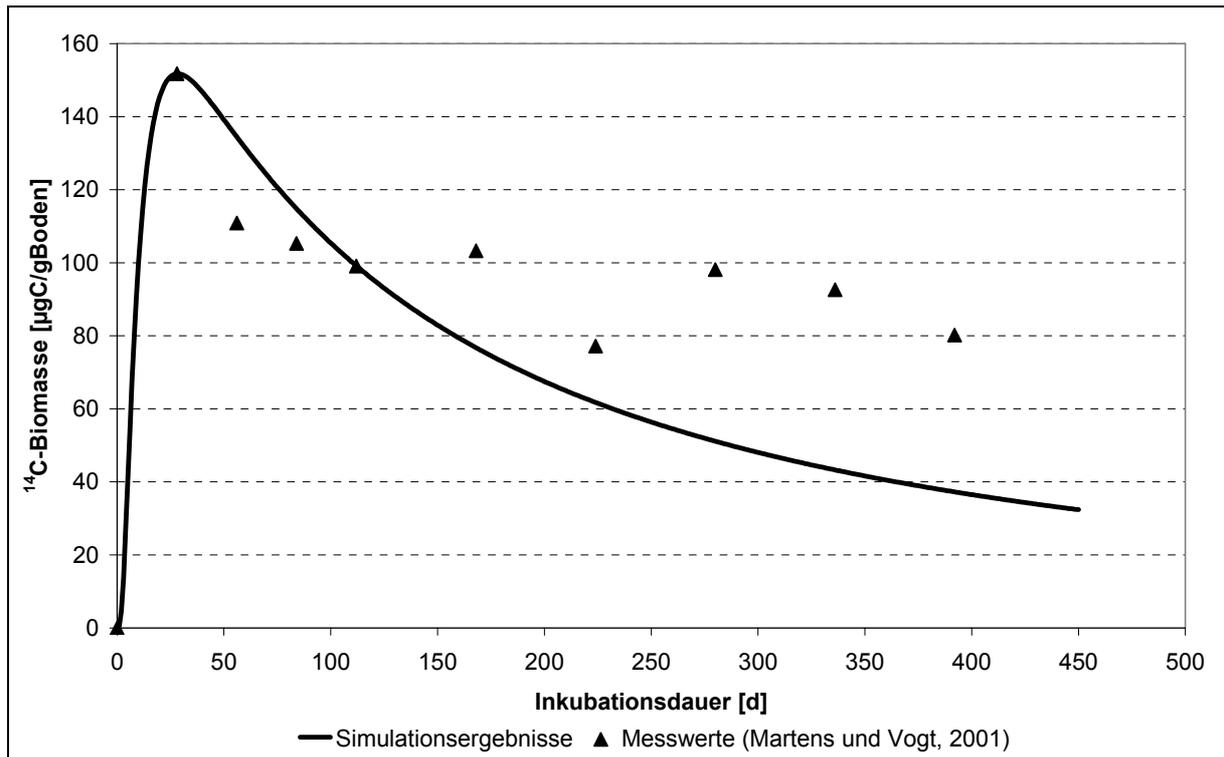


Abb. 4.8: ¹⁴C-Biomasse-Dynamik beim Abbau von markiertem Weizenstroh im Boden der Volldüngungsparzelle des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt

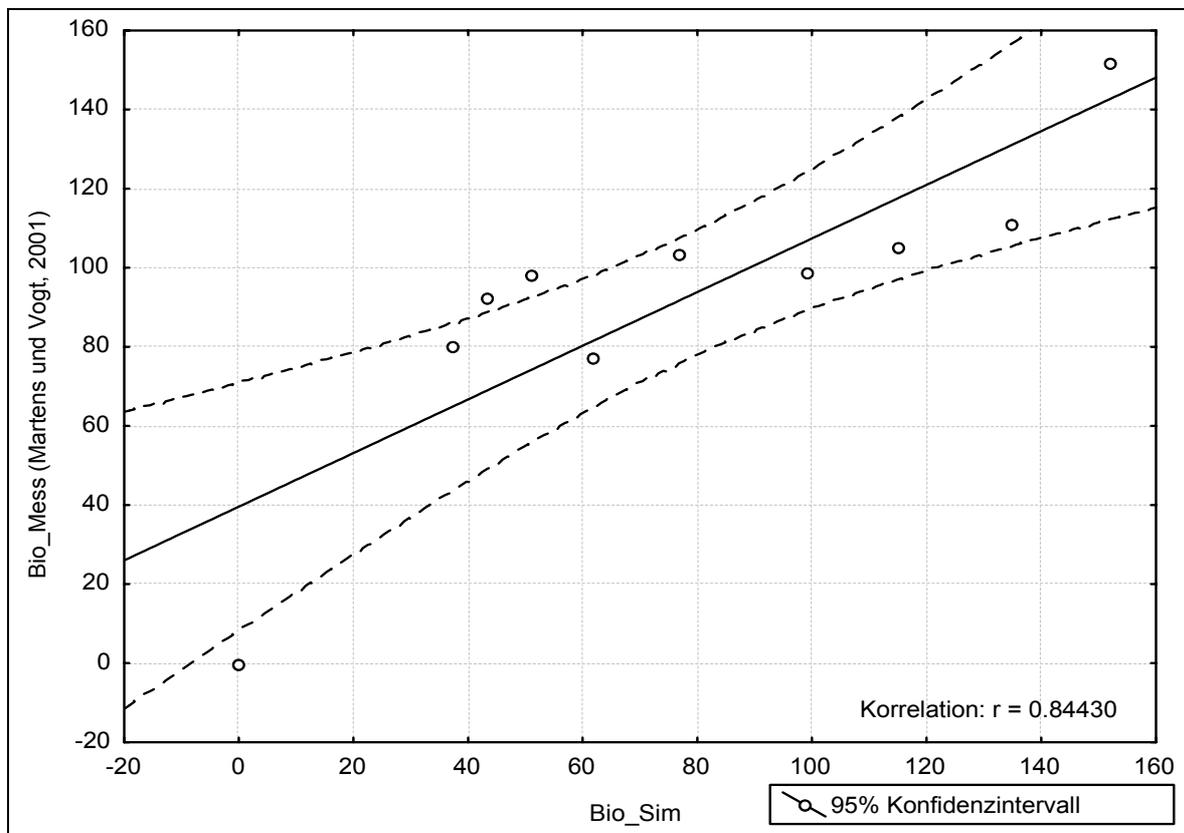


Abb. 4.9: Scatterplot zwischen gemessenen (Bio-Mess) und simulierten (Bio-Sim) ¹⁴C-Biomasse Werten

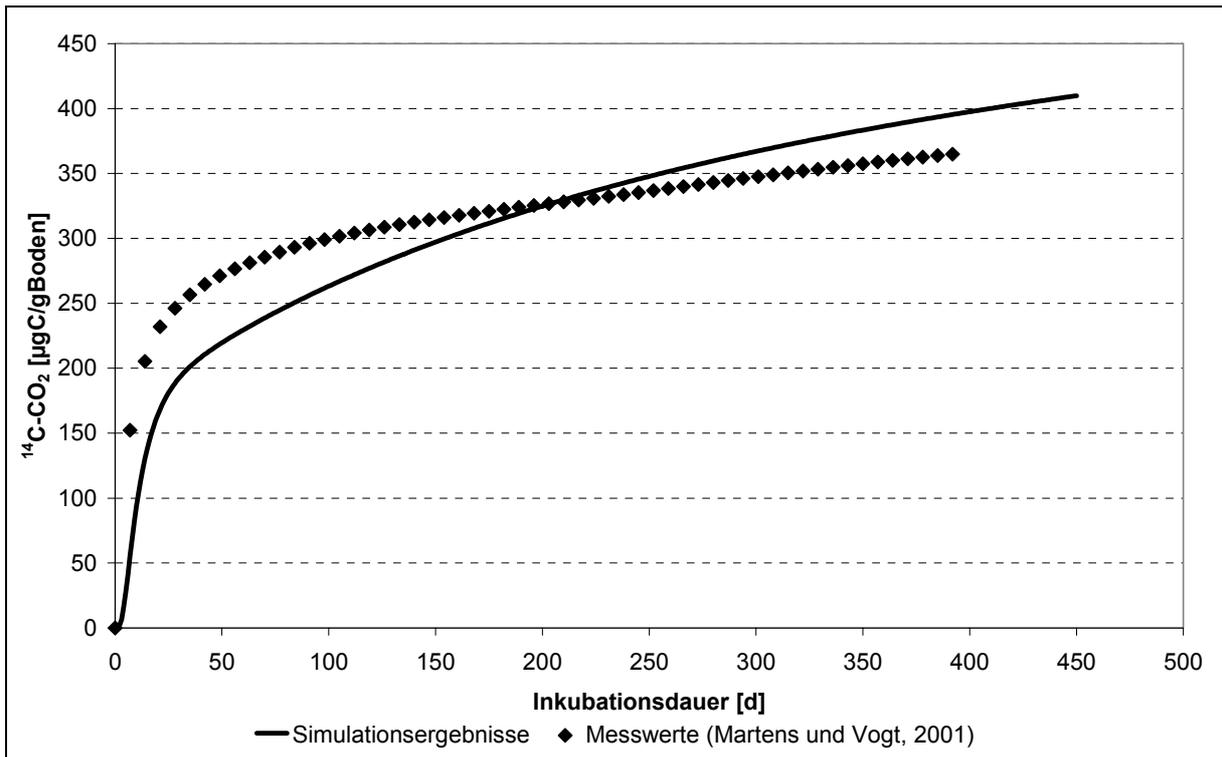


Abb. 4.10: $^{14}\text{C-CO}_2$ -Dynamik beim Abbau von markiertem Weizenstroh im Boden der Volldüngungspartelle des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt

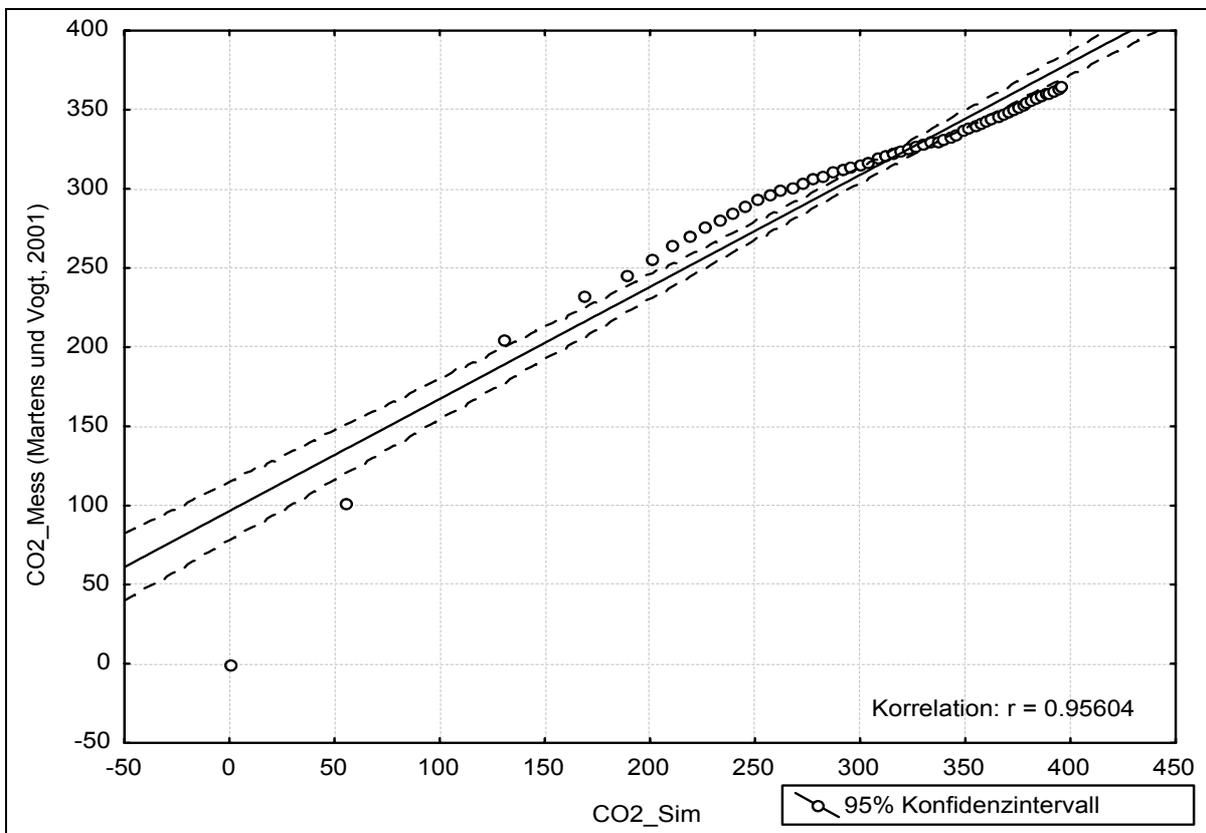


Abb. 4.11: Scatterplot zwischen gemessenen (CO_2 -Mess) und simulierten (CO_2 -Sim) $^{14}\text{C-CO}_2$ -Werten

Das Ziel der Parameteroptimierung ist es, mit den Simulationsergebnissen sowohl das C-Niveau der Messergebnisse zu treffen als auch deren Dynamik abzubilden. In Abb. 4.6, Abb. 4.8 und Abb. 4.10 sind die Simulationsergebnisse zusammengestellt. Die Poolgröße des CO₂-Pools ist ca. doppelt so groß wie der Biomasse-Pool, der wiederum ca. um das Zwanzigfache größer ist als der DOM-Pool. Diese Unterschiede können sehr gut abgebildet werden. Die DOM- und Biomasse-Messwerte weisen in der Anfangsphase einen Peak auf, der nach 30 d Versuchsdauer wieder abfällt. Die qualitative Beschreibung der Dynamik dieser beiden Pools kommt der Realität sehr nahe, lässt sich für die Simulation der Biomasse aber noch präzisieren. Nach 120 d Versuchsdauer erfolgt die Dekomposition der Biomasse in Wirklichkeit nicht so schnell, wie es mit dem CIPS-Modell simuliert wird. Der Abb. 4.10 ist zu entnehmen, dass die simulierten C-CO₂ Gehalte in der Anfangsphase zu niedrig und in der Endphase der Versuchsdauer zu hoch sind. Im Mittel wird eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Messwerten erreicht.

Die Güte der einzelnen Anpassungen ist in den Abb. 4.7, Abb. 4.9 und Abb. 4.11 dargestellt. Der niedrigste Korrelationskoeffizient wurde mit $r = 0,84$ zwischen den Simulationen und den Messwerten der mikrobiellen Biomasse (s. Abb. 4.9) erzielt. Die Biomassebestimmung beruht auf einer indirekten Methode, wobei es auch auf Seiten der experimentellen Messung zu Fehlbestimmungen gekommen sein kann. Der Korrelationskoeffizient zwischen simuliertem und gemessenem CO₂ beträgt $r=0,96$ und zwischen simuliertem und gemessenem DOM $r=0,92$. Die in Abb. 4.6, Abb. 4.8 und Abb. 4.10 dargestellten Simulationsergebnisse stellen das beste Resultat der Anpassung an die Messergebnisse dar. In Tabelle 4.5 ist das Ergebnis der Parametrisierung zusammengestellt.

Tabelle 4.5: Parameterwerte von CIPS nach erster Parametrisierung

| Parameterbezeichnung | Parameter | Wert |
|---|----------------|-------------------------|
| Dekompositionskoeffizient der AOM | α_{AOM} | 0,3 |
| Synthesekoeffizient der ROM | η_{ROM} | 0,65 |
| Synthesekoeffizient des DOM | η_{DOC} | 0,77 |
| Synthesekoeffizient des labilen Anteils von FOM | η_L | 0,5 |
| Synthesekoeffizient des stabilen Anteils von FOM | η_R | 0,7 |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von AOM | k_{AOM} | $0,055 \text{ d}^{-1}$ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von ROM | k_{ROM} | $0,0012 \text{ d}^{-1}$ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von DOM | k_{DOM} | $0,429 \text{ d}^{-1}$ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante des labilen Anteils von FOM | k_L | $0,25 \text{ d}^{-1}$ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante des stabilen Anteils von FOM | k_R | $0,008 \text{ d}^{-1}$ |

Aufgrund der unbekanntenen Umsatzverhältnisse während der Durchführung der Laborexperimente besteht die Notwendigkeit, eine weitere Parametrisierung des CIPS-Modells mit einem Freilandexperiment vorzunehmen. Dazu wurde zunächst eine Sensitivitätsanalyse mit dem CIPS-Modell durchgeführt, um die Sensitivität bzw. Robustheit der Modellparameter zu testen.

Ausgehend vom Standardwert (s. Tabelle 4.5) wurde jeweils ein Parameterwert um $\pm 10\%$ verändert, während alle anderen Parameter ihre Standardeinstellung behielten. Mit allen möglichen Parametereinstellungen wurde die Kontrollvariante des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt mit einem mittleren jährlichen Kohlenstoffinput von $102 \mu\text{gC/gBoden}$ über einen Versuchszeitraum von 100 a simuliert. Die Initialisierung des Modells erfolgte nach Kap. 4.3. Die Verteilung der globalen BAT von 29 d, welche anhand von Langzeitsimulationsergebnissen des Statischen Dauerdüngungsversuches Bad Lauchstädt mit dem CANDY-Modell ermittelt wurde, erfolgte mit 2% auf die Mikroporen, mit 56% auf die Mesoporen und 42% auf die Makroporen (s. Tabelle 5.2). Die sich ergebende Abweichung zur Simulationsrechnung mit Standardeinstellung ist in Tabelle 4.6 zusammengestellt.

Tabelle 4.6: Sensitivitätsanalyse der Modellparameter – Berechnung als prozentuale Abweichung vom Gesamtkohlenstoffgehalt nach 100 a Simulation des Kontrollplots des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt gegenüber der Simulation mit Originalparametersatz (s. Tabelle 4.5)

| Modellparameter | Abweichung der Simulationsergebnisse in [%] vom C_{org} -Gehalt bei Parameteränderung Δp | |
|-----------------------|--|--------------------|
| | $\Delta p = -10\%$ | $\Delta p = +10\%$ |
| α_{AOM} | -1,60 | 1,49 |
| η_{ROM} | -1,94 | 2,06 |
| η_{DOM} | -3,66 | 4,89 |
| η_{L} | -0,73 | 0,73 |
| η_{R} | -0,97 | 0,97 |
| k_{AOM} | 0,24 | -0,20 |
| k_{ROM} | 2,47 | -2,27 |
| k_{DOM} | 0,01 | -0,01 |
| k_{L} | < 0,001 | < -0,001 |
| k_{R} | -0,07 | 0,06 |

Aus der Tabelle 4.6 ist ersichtlich, dass die Modellparameter η_{DOM} , k_{ROM} , η_{ROM} und η_{AOM} am sensitivsten sind. Eine Änderung dieser Parameter hat einen signifikanten Einfluss auf die simulierten Gesamtkohlenstoffgehalte.

Der durch Änderung der Parameterwerte verursachte Effekt ist bei den meisten Parametern in beiden Richtungen ungefähr gleich stark. Mit Änderung des η_{DOM} -Parameters tritt jedoch eine deutliche Divergenz zwischen beiden Richtungen auf. Der stärkere Einfluss des erhöhten η_{DOM} lässt sich dadurch erklären, dass aus dem resultierenden größeren DOM-Pool ein erhöhter DOM-Fluss unter anderem in die Mikroporen zu verzeichnen ist. Aufgrund der in den Mikroporen vorherrschenden schlechten Umsatzbedingungen findet eine langfristige Festlegung der organischen Substanz statt. Umgekehrt werden bei Erniedrigung des η_{DOM} Umsatzprozesse beeinflusst, die einen geringeren Einfluss auf den Gesamtkohlenstoffgehalt im Boden ausüben.

Da der sensitivste Modellparameter η_{DOM} mit DOM-Messwerten aus den Inkubationsversuchen von KALBITZ et al. (2003 a und b) und MARTENS und VOGT (2001) parametrisiert wurde, sollte bei der weiteren Parametrisierung der zweitsensitivste Modellparameter k_{ROM} optimiert werden.

Um das CIPS-Modell für Freilandversuche anwenden zu können, erfolgte die Optimierung des k_{ROM} unter Verwendung von Messwerten zum C_{org} -Gehalt vom Schwarzbracheversuch des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt (s. Kap. 3.2.1), bei dem der Einfluss frischer organischer Substanz ausgeschlossen werden konnte. In Abb. 4.12 ist ersichtlich, dass nach Änderung von k_{ROM} von $0,0012 \text{ d}^{-1}$ auf $0,0011 \text{ d}^{-1}$ eine Verbesserung des Simulationsergebnisses (– Sim_Anpassung) erreicht wurde. Der Korrelationskoeffizient zwischen Messwerten und Simulationsergebnissen hat sich nach der Parameteroptimierung von $r=0,939$ auf $r=0,941$ erhöht.

Um die verschiedene Zersetzbarkeit von organischer Substanz aus organischen Düngern und aus Ernte- und Wurzelrückständen zu berücksichtigen, wurden unterschiedliche η -Parameter für den FOM-Pool eingeführt. Zur Ermittlung der η_{L} - und η_{R} -Parameter erfolgte die Anpassung der Simulationsergebnisse an die Messergebnisse der Volldüngungsvariante des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt. Die Abb. 4.13 zeigt das Simulationsergebnis nach Einführung unterschiedlicher η -Werte für organische Dünger $\eta_{\text{LOM}}=0,4$ und $\eta_{\text{ROM}}=0,55$ bzw. Ernte- und Wurzelrückstände $\eta_{\text{LCrop}}=0,5$ und $\eta_{\text{RCrop}}=0,7$.

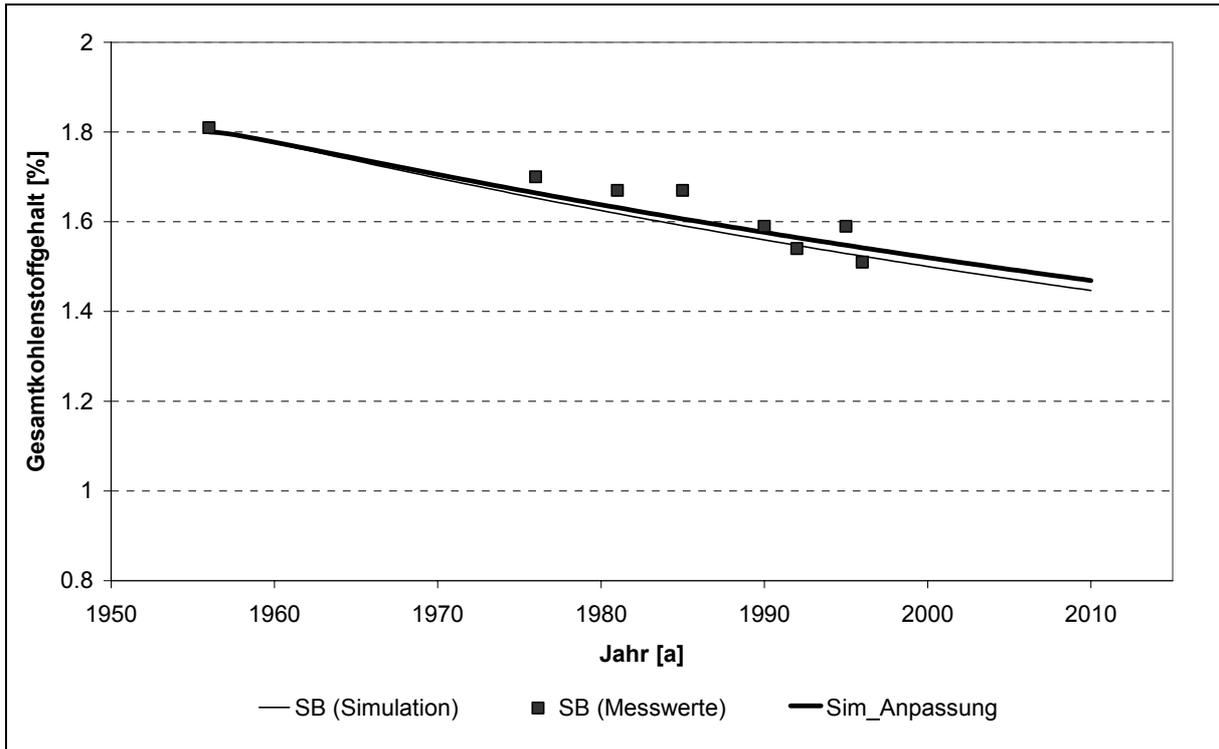


Abb. 4.12: Simulationsergebnis des Schwarzbracheversuches (SB) Bad Lauchstädt nach Parameteroptimierung von k_{ROM} von $0,0012 \text{ d}^{-1}$ auf $0,0011 \text{ d}^{-1}$

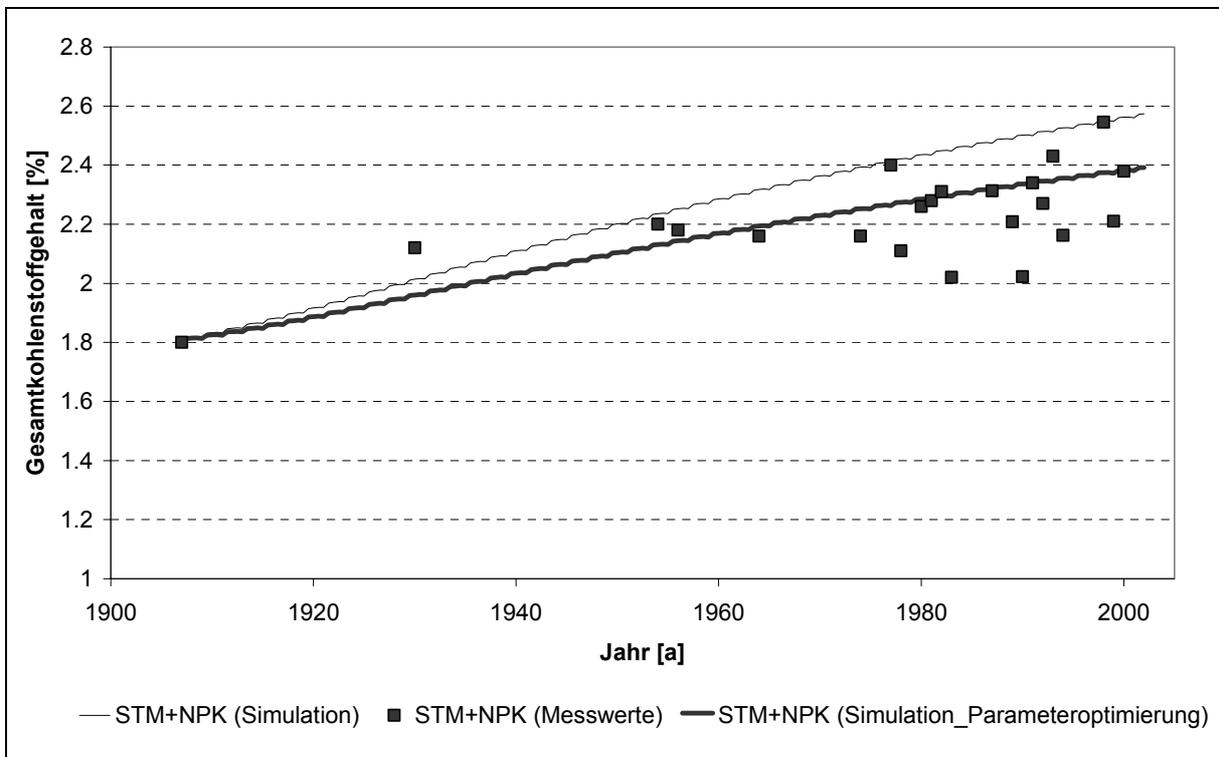


Abb. 4.13: Simulationsergebnisse nach Einführung unterschiedlicher η_L und η_R für Anbaufrucht und Organische Dünger

Die Tabelle 4.7 beinhaltet die endgültigen Parameterwerte für das CIPS-Modell, um Simulationsrechnungen für Freilandversuche durchführen zu können. Dieser Parametersatz gilt für alle Porenklassen und kommt für alle Simulationsrechnungen zur Anwendung. Der Kohlenstoffumsatz unterscheidet sich infolge der für den Standort bzw. Versuch gültigen BAT und der BAT-Verteilung (s. Kap 2.3) auf die Porenklassen.

Tabelle 4.7: Parameterwerte von CIPS

| Parameterbezeichnung | Parameter | Wert |
|--|----------------|------------------------|
| Dekompositionskoeffizient der AOM | α_{AOM} | 0,3 |
| Synthesekoeffizient der ROM | η_{ROM} | 0,65 |
| Synthesekoeffizient des DOM | η_{DOC} | 0,77 |
| Synthesekoeffizient des labilen Anteils von der Anbaufrucht ¹ | η_{LCrop} | 0,5 |
| Synthesekoeffizient des stabilen Anteils von der Anbaufrucht ¹ | η_{RCrop} | 0,7 |
| Synthesekoeffizient des labilen Anteils von Organischen Düngern ² | η_{LOM} | 0,4 |
| Synthesekoeffizient des stabilen Anteils von Organischen Düngern ² | η_{ROM} | 0,55 |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von AOM | k_{AOM} | 0,055 d ⁻¹ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von ROM | k_{ROM} | 0,0011 d ⁻¹ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante von DOM | k_{DOM} | 0,429 d ⁻¹ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante des labilen Anteils von FOM ⁽¹⁺²⁾ | k_L | 0,25 d ⁻¹ |
| Reaktionsgeschwindigkeitskonstante des stabilen Anteils von FOM ⁽¹⁺²⁾ | k_R | 0,008 d ⁻¹ |

5 Modellvalidierung

Das CIPS-Modell liegt als Laborversion vor und arbeitet in Jahresschritten mit aggregierten Modellinputdaten, so dass eine Langzeitdynamik des Kohlenstoffs im Boden abgebildet werden kann. Die Simulationsrechnungen mit dem CIPS-Modell werden nach dem in Abb. 5.1 dargestellten Schema und der in Tabelle 5.1 aufgelisteten Abfolge durchgeführt. Nach der Zusammenstellung der Antriebsdaten läuft ein Präprozessing ab. Bei diesem erfolgt die Berechnung des in den Boden gelangenden Kohlenstoffs (C-Input) aus organischen Düngern, Ernte- und Wurzelrückständen nach Kap. 3.4. Das CANDY-Modell (s. Kap. 2.3) wird benutzt, um die BAT_{glob} und deren Aufteilung auf die Porenklassen als zusammengefassten Ausdruck der Standorteigenschaften eines Versuches zu berechnen. Das CANDY-Modell arbeitet in Tagesschritten. Dazu müssen die Management- und Wetterdaten taggenau vorliegen. Die BAT_{glob} und die Aufteilung auf die Porenklassen werden für jedes Jahr berechnet. Im CIPS-Modell werden die Mittelwerte der BAT über die Simulationsdauer verwendet. Die Aufteilung des Kohlenstoffgehaltes zu Versuchsbeginn auf die Mikro-, Meso- und Makroporen erfolgt nach dem Anteil der Porenoberfläche einer Klasse an der Gesamtoberfläche und wird mit dem POF-Programm (s. Kap. 4.3) berechnet. Mit der Datenübernahme aus dem Präprozessing wird die Anwendung des CIPS-Modells ermöglicht.

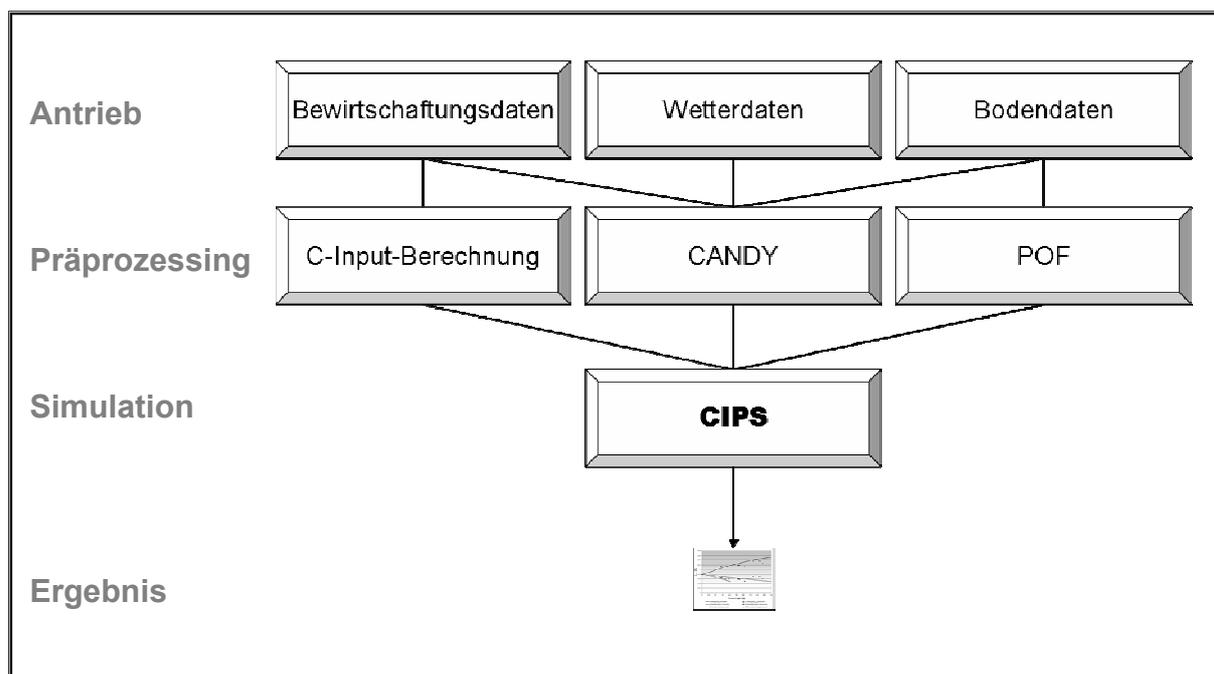


Abb. 5.1: Schema zur Anwendung des CIPS-Modells

Tabelle 5.1: Vorgehensweise zur Modellanwendung von CIPS

| Arbeitsschritt | Spezifischer Arbeitsschritt | Benötigte Daten |
|--|---|--|
| 1. Datenzusammenstellung (s. Kap. 2.3) | Managementdaten zusammenstellen | Fruchtfolge Aufgang- und Erntetermin Ertrag Düngungstermin Menge Dünger Pflugtermin und -tiefe |
| | Wetterdaten zusammenstellen | Lufttemperatur Niederschlag Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer |
| | Bodenprofil zusammenstellen | Pflughorizonttiefe C _{org} zu Versuchsbeginn Feldkapazität Permanenter Welkepunkt Trockenrohddichte Trockensubstanzdichte Gesättigte Leitfähigkeit Mineralischer N-Gehalt zu Versuchsbeginn |
| 2. Anwendung CANDY-Modell (s. Kap. 2.3) | Kalkulation von BAT (Biological Active Time – wirksame Mineralisierungszeit) | BAT für Mikroporen BAT für Mesoporen BAT für Makroporen globale BAT |
| 3. Initialisierung von CIPS (s. Kap. 4.3) | Berechnung der Porenoberfläche (POF) | POF der Mikroporen POF der Mesoporen POF der Makroporen |
| | Aufteilung des Kohlenstoffs (C) auf Porenklassen nach Anteil an Gesamt-POF | C in Mikroporen C in Mesoporen C in Makroporen |
| 4. Kohlenstoffinputberechnung (s. Kap. 3.4) | FOM-Poolberechnung der Ernte- und Wurzelrückstände | Fruchtartenspezifische Mittelwertbildung über alle Jahre Mittelwertbildung über alle Fruchtarten der Fruchtfolge |
| | FOM-Poolberechnung der organischen Dünger | |
| 5. Modellrechnung | | |

Die Validierung des CIPS-Modells erfolgt anhand verschiedener Dauerfreilandversuche, die sich sowohl pedologisch als auch klimatisch unterscheiden. Dazu wurde die Kohlenstoffdynamik im Boden der Parzellen mit den höchsten und niedrigsten Kohlenstoffgehalten simuliert und den gemessenen Kohlenstoffgehalten gegenübergestellt. Die Beschreibungen der Versuchsstandorte „Statischer Dauerdüngungsversuch“ in Bad Lauchstädt, „Ewiger Roggenbau“ in Halle, „Versuchsfeld B“ in Prag-Ruzyně, „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely (Ungarn) und „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov (Ukraine) sind im Kap. 3.2 zu finden.

5.1 Präprozessing

Die verschiedenen klimatischen und pedologischen Bedingungen der einzelnen Versuchsstandorte bedingen eine unterschiedliche BAT, die mit dem CANDY-Modell ermittelt wurde. Aus der Tabelle 5.2 ist ersichtlich, dass für den Standort Grakov die höchste und für den Standort Prag die niedrigste BAT_{glob} berechnet wurde.

Tabelle 5.2: Kalkulation der BAT_{glob} und Verteilung auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac) mit dem CANDY-Modell nach Kap. 2.3 (Werte alle gerundet)

| Versuchs- standort | BAT_{glob} [d/a] | BAT_{mic} [d/a] | BAT_{mic} Anteil [%] | BAT_{mes} [d/a] | BAT_{mes} Anteil [%] | BAT_{mac} [d/a] | BAT_{mac} Anteil [%] |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| Bad Lauchstädt | 29 | 1 | 2 | 16 | 56 | 12 | 42 |
| Halle | 27 | 1 | 2 | 17 | 62 | 9 | 36 |
| Prag | 26 | <0,5 | 1 | 15 | 56 | 11 | 43 |
| Grakov | 38 | 1 | 2 | 18 | 47 | 19 | 51 |
| Keszthely | 36 | 1 | 2 | 19 | 52 | 16 | 46 |

Bei allen Standorten ist in den Mikroporen (mic) die geringste BAT zu verzeichnen. Mit Ausnahme des Versuches in Grakov, bei dem die höchste BAT in den Makroporen (mac) auftritt, ist die höchste BAT in den Mesoporen (mes) ermittelt worden. Dies bedeutet, dass der Umsatz des Kohlenstoffs in den mes bzw. mac am intensivsten ist. Aufgrund der niedrigen BAT wird der Kohlenstoff in den mic vor mikrobiellen Abbau geschützt und reichert sich somit an. Die für einen Standort berechnete BAT_{glob} ist die Zeit optimaler Umsatzbedingungen eines Versuchsjahres. Das bedeutet, bei einem C-Inputintervall von

einem Jahr erfolgt im CIPS-Modell nach Ablauf der Anzahl an Tagen der berechneten BAT_{glob} für den jeweiligen Versuch die Zufuhr des kalkulierten C-Inputs.

Die mit dem POF-Programm (s. Kap. 4.3) berechnete Kohlenstoffverteilung auf die einzelnen Porenklassen zu Simulationsbeginn ist in Tabelle 5.3 und der nach Kap. 3.4 berechnete C-Input in das System ist in Tabelle 5.4 für die verschiedenen Varianten zusammengestellt.

Tabelle 5.3: Berechnung der porenoberflächenabhängigen C-Verteilung zu Simulationsbeginn

| Versuchs-standort | Corg_Start [%] | Corg_Start [$\mu\text{gC/gBoden}$] | C_{ROM_mik} [$\mu\text{gC/gBoden}$] | C_{ROM_mes} [$\mu\text{gC/gBoden}$] | C_{ROM_mak} [$\mu\text{gC/gBoden}$] |
|-------------------|----------------|--------------------------------------|--|--|--|
| Bad Lauchstädt | 1.8 | 18000 | 10209 | 7657 | 134 |
| Halle | 1.24 | 12400 | 5830 | 6474 | 96 |
| Prag | 1.21 | 12100 | 6731 | 5289 | 80 |
| Grakov | 3.4 | 34000 | 20827 | 12728 | 445 |
| Keszthely | | | | | |
| Kontrolle | 0.92 | 9200 | 5485 | 3652 | 63 |
| STM | 0.97 | 9700 | 5783 | 3851 | 66 |

Tabelle 5.4: C-Input aus Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) und Stallmist (STM)

| Versuchs-standort | Variante | jährlicher EWR C-Input [$\mu\text{gC/gBoden}$] | STM C-Input [$\mu\text{gC/gBoden}$] | Rhythmus STM |
|-------------------|-----------|--|---------------------------------------|--------------------|
| Bad Lauchstädt | STM+NPK | 155 | 667 | alle 2 Jahre |
| | Kontrolle | 102 | 0 | |
| | SB | 0 | 0 | |
| Halle | STM | 159 | 305 | jährlich |
| | Kontrolle | 132 | 0 | |
| Prag | STM+NPK | 175 | 534 | alle 2 Jahre |
| | Kontrolle | 128 | 0 | |
| Grakov | Kontrolle | 257 | 0 | |
| Keszthely | STM | 195 | 638 | alle 2 bzw.3 Jahre |
| | Kontrolle | 177 | 0 | |

5.2 Simulationsergebnisse „Statischer Dauerdüngungsversuch“ in Bad Lauchstädt

In Abb. 5.2 ist die mit dem CANDY-Modell berechnete jährliche BAT_{glob} und ihre Aufteilung auf die Porenklassen für den „Statischen Dauerdüngungsversuch“ in Bad Lauchstädt aufgetragen. Das Trendverhalten der BAT wird bei der Anwendung des CIPS-Modells durch die Mittelwertbildung der BAT zwar nicht berücksichtigt, spielt aber bei der Interpretation der Simulationsergebnisse eine Rolle und lässt Prognosen zu, welche Veränderungen die softwaretechnische Integration des CIPS-Modells in das CANDY-System und damit taggenaue Berücksichtigung der BAT in Bezug auf die Ergebnisse bewirken könnte. Die Abb. 5.2 zeigt, dass die BAT erheblichen Schwankungen zwischen 20 und 38 d/a unterliegt, die zu verschiedenen Umsatzraten des Kohlenstoffs im Boden führen. Über die Versuchsdauer lässt sich ein leichter positiver Anstieg der BAT_{glob} verzeichnen, was einen erhöhten Kohlenstoffumsatz im Boden zur Folge hat. Die BAT der Mesoporen ist im Durchschnitt höher als die der Makroporen, aber in einzelnen Jahren liegt die BAT in den Makroporen über der in den Mesoporen. Die Höhe der BAT verschiebt sich im Verlauf der Versuchszeit im Mittel weiter zugunsten der Mesoporen. Der Trend für die BAT in den Mikroporen ist gleich bleibend und in den Makroporen ist der Trend negativ.

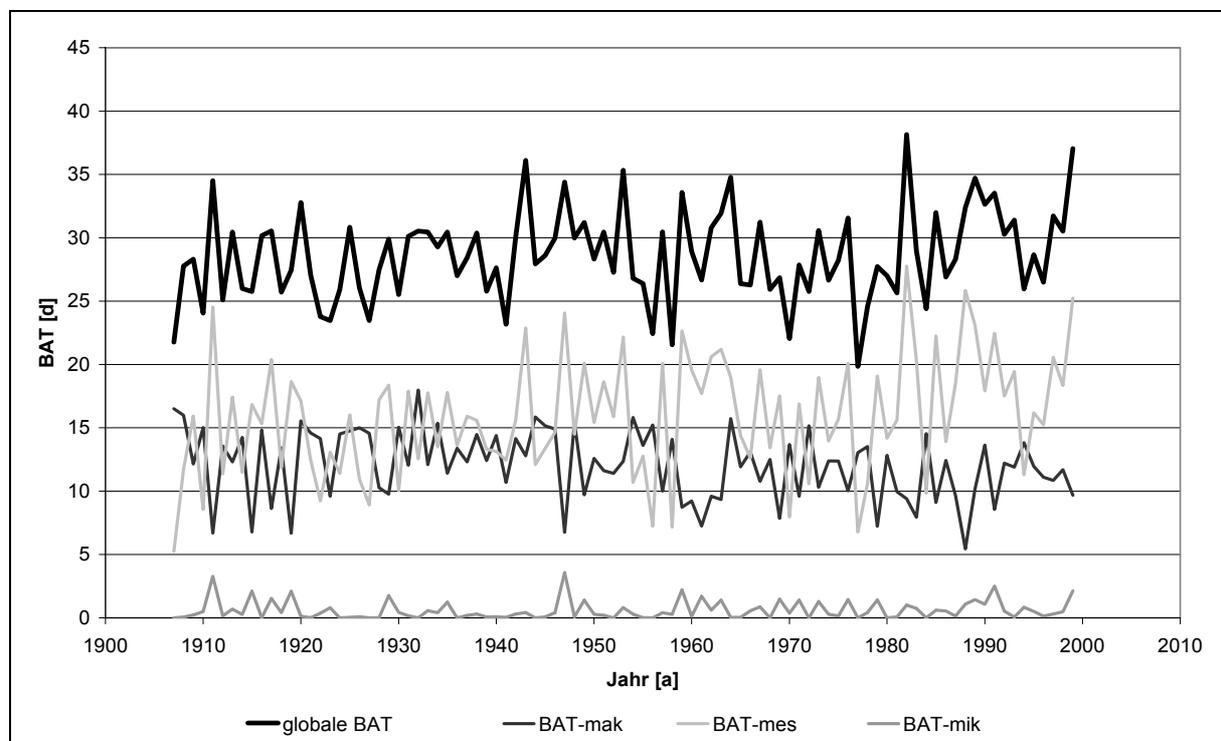


Abb. 5.2: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Statischen Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt

Das CIPS-Modell wurde anhand der Volldüngungsparzelle des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt und einer Schwarzbrache aus dem Brunnenringversuch (s. Kap. 3.2.1 und 4.4) parametrisiert, um das Modell für Freilandversuche anwenden zu können. Weitere Simulationen wurden mit der Kontrollvariante, die keine Düngergaben erhält, durchgeführt. Die verwendeten Managementdaten sind im Anhang F in Tabelle 1 zu finden.

Bei Betrachtung der Simulationsergebnisse des Gesamtkohlenstoffgehaltes im Boden der Kontrollvariante in Abb. 5.3, die zusammen mit der Volldüngungsvariante dargestellt werden, lässt sich eine gute Übereinstimmung zu den Messergebnissen feststellen. Das Niveau der C-Versorgungsstufe wird gut getroffen. Mit dem Hintergrundwissen, dass im Verlauf der Zeit die BAT_{glob} zunimmt, was einen erhöhten Kohlenstoffumsatz und damit geringere Kohlenstoffgehalte im Boden zur Folge hat, würden die etwas geringeren Kohlenstoffgehalte am Ende des Simulationszeitraumes zu einem noch besseren Simulationsergebnis führen. Auch die Erhöhung der BAT in den Mesoporen zugunsten der Makroporen führt zu einem verstärkten Kohlenstoffabbau, da aufgrund der größeren Porenoberfläche mehr Kohlenstoff in den Mesoporen vorhanden ist.

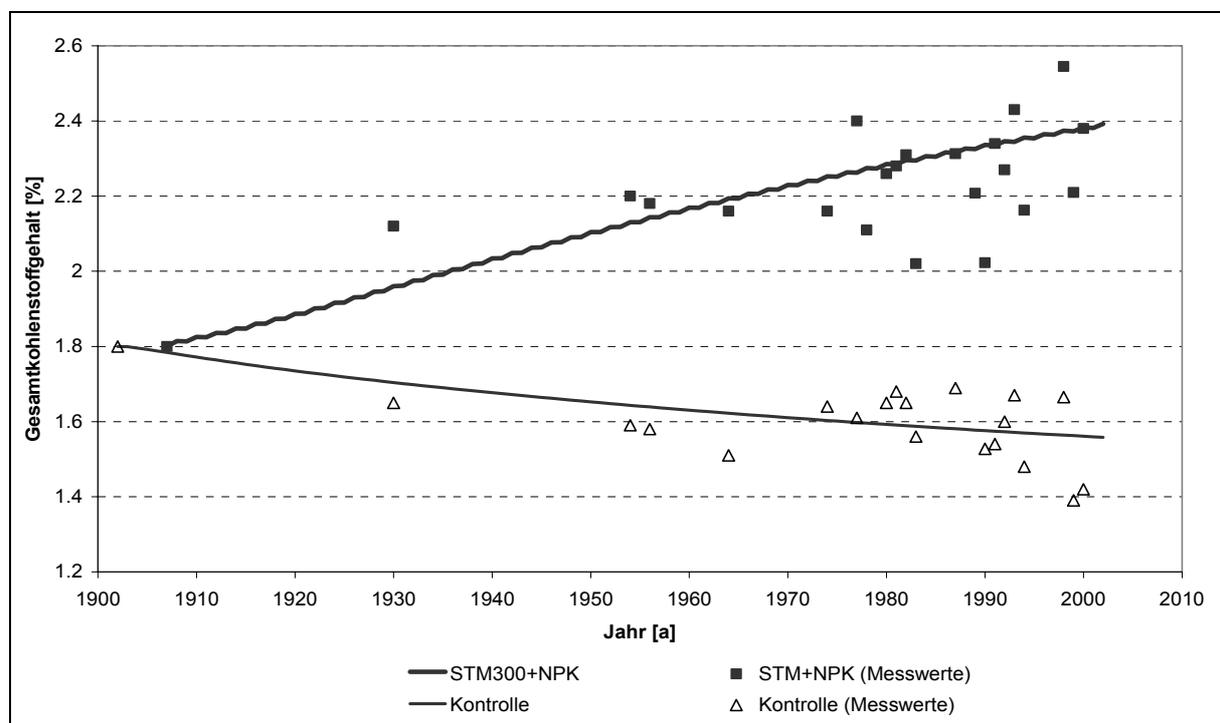


Abb. 5.3: Simulationsergebnisse der Kontroll- und Volldüngungsparzelle (STM300+NPK) des „Statischen Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt

5.3 Simulationsergebnisse „Ewiger Roggenbau“ in Halle

Die mit dem CANDY-Modell ermittelte jährliche BAT_{glob} für den „Ewigen Roggenbau“ in Halle beträgt in Abhängigkeit der Jahreswitterung zwischen 18 und 39 d/a (s. Abb. 5.4). Über den Versuchszeitraum ist ein leichter positiver Trend der BAT_{glob} festzustellen. Bei der Aufteilung der BAT_{glob} ist die höchste jährliche BAT fast immer in den Mesoporen zu verzeichnen. Bei Betrachtung des Trendverhaltens der BAT zwischen den einzelnen Porenklassen ist festzustellen, dass in den Mesoporen die BAT im Verlauf der Jahre zunimmt und in den Mikro- und Makroporen leicht abfällt. Das bedeutet, dass der Kohlenstoff im Boden bei einer Abnahme der BAT in den Mikroporen stärker im Boden festgelegt wird, was durch die Mittelwertbildung der BAT im CIPS-Modell nivelliert wird.

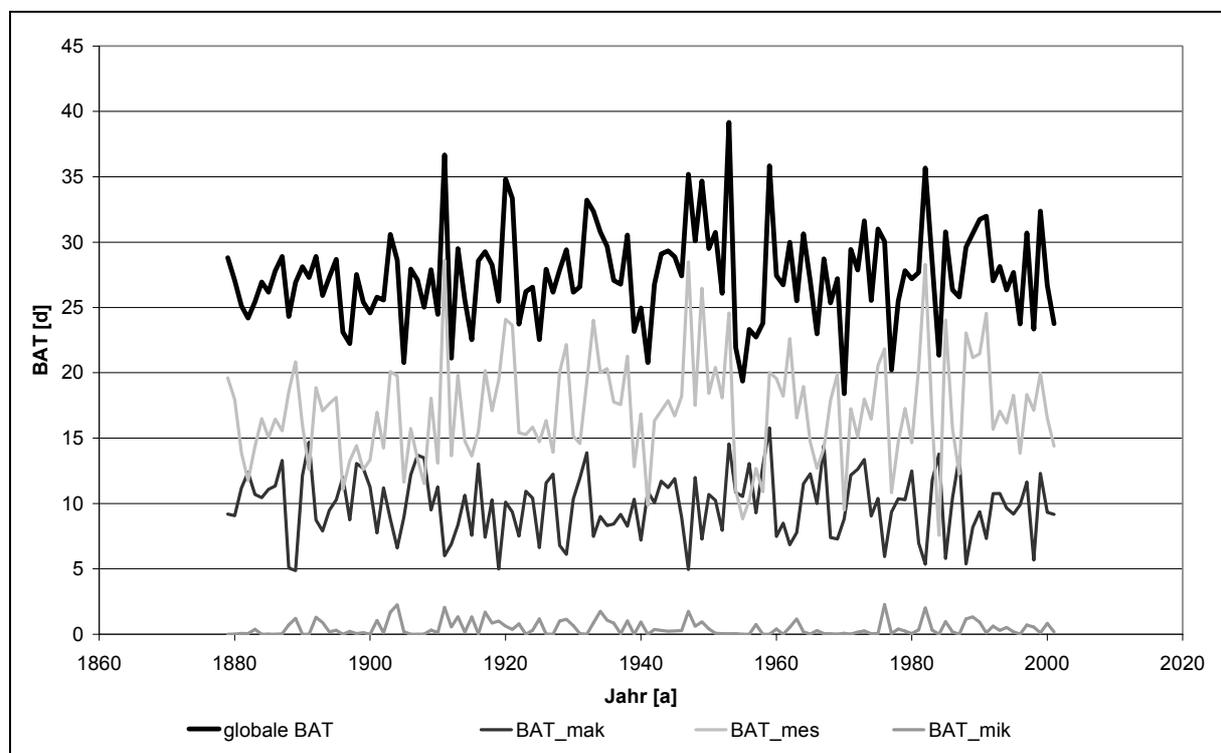


Abb. 5.4: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Ewigen Roggenbau“ Halle

Vom Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ in Halle wurden die Stallmistparzelle mit einer jährlichen Düngerapplikation von 12 t/ha Stallmist und die Kontrollparzelle ohne Düngerapplikation simuliert. Diese Varianten wurden ausgesucht, da die Differenzen in den Kohlenstoffgehalten zwischen diesen beiden Varianten am größten sind. Die für die Simulation verwendeten Managementdaten, sind im Anhang F in Tabelle 3 und 4 zu finden.

Die Simulationskurven in Abb. 5.5 weisen auf den ersten Blick eine gute Übereinstimmung zu den Feldmessungen auf. Bei Betrachtung der einzelnen Zeitabschnitte existieren jedoch signifikante Unterschiede zwischen Messungen und Simulation. Der starke Abfall der Kohlenstoffgehalte von 1963 bis 1996 mit Ausnahme der Messungen der Kontrollvariante zwischen 1984 und 1987 ist auf die schrittweise Krumenvertiefung von 20 cm auf 30 cm zurückzuführen, die zu einer Verdünnung des Kohlenstoffs im Oberboden durch Beimischung von Unterboden geführt hat. Diese Krumenvertiefung wird im Modell nicht abgebildet, da nur mit einer konstanten Pflugtiefe gerechnet werden kann. Diese wurde auf 25 cm festgelegt. Vor 1960 würde bei einer Pflugtiefe von 20 cm eine höhere C_{org} -Konzentration im Oberboden vorliegen, da sich die eingepflügten Ernterückstände und organischen Dünger in einer geringeren Menge an Boden verteilen. Mit der Integration des CIPS-Modells in das CANDY-Modell sollen diese modelltechnischen Probleme behoben werden.

Die Übereinstimmung der C-Niveaus der Messwerte und Simulationsergebnisse lässt schlussfolgern, dass gute Resultate mit dem CIPS-Modell für den Standort Halle erzielt werden können.

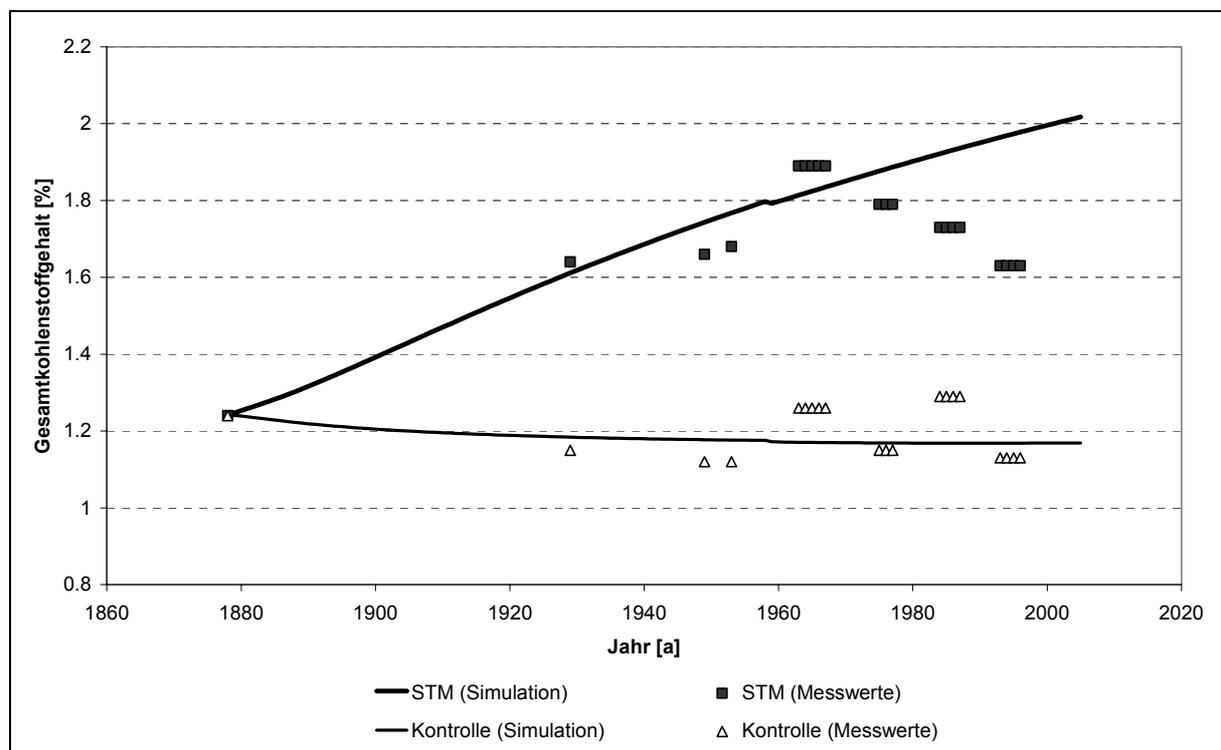


Abb. 5.5: Simulationsergebnisse der Kontroll- und Stallmistparzelle (STM) des „Ewigen Roggenbaus“ Halle

5.4 Simulationsergebnisse „Versuchsfeld B“ in Prag-Ruzyně

Die für das „Versuchsfeld B“ in Prag-Ruzyně simulierte BAT_{glob} liegt zwischen 14 d und 32 d (s. Abb. 5.6), wobei ein positiver Trend im Verlauf der Versuchsdauer zu verzeichnen ist. In den Mesoporen hat die BAT eine steigende Tendenz und in den Makroporen nimmt die BAT im Lauf der Zeit leicht ab. Für die Mikroporen wurde eine im Gegensatz zu den anderen Versuchsstandorten geringe mittlere BAT_{glob} ermittelt. Der Trend im Versuchszeitverlauf ist jedoch positiv, so dass insgesamt am Ende des Versuchszeitraumes von einem stärkeren Kohlenstoffabbau ausgegangen werden kann.

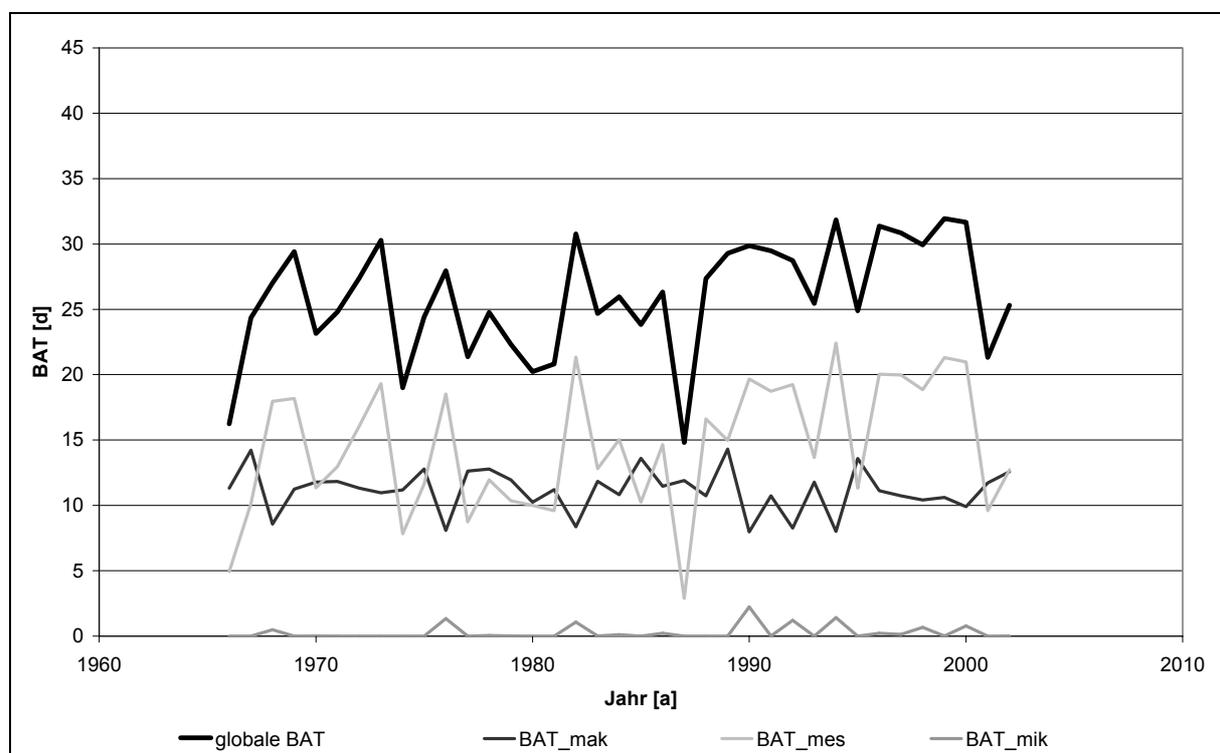


Abb. 5.6: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag

Das CIPS Modell wurde anhand der Volldüngungsvariante mit einer Düngerapplikation von 210 dt/ha Stallmist alle 2 Jahre und mineralischen Düngern und anhand der Kontrollvariante ohne Düngergabe des Dauerversuches „Versuchsfeld B Prag-Ruzyně“ getestet. Im Anhang F in Tabelle 5 und 6 sind die verwendeten Managementdaten aufgelistet, die durch KUBAT (2004, pers. Mitteilung) zusammengestellt wurden.

Langjährige Messreihen von Kohlenstoff zeigen oft große Schwankungen, die durch die Heterogenität des Bodens hervorgerufen werden, obwohl sich der Kohlenstoffgehalt im Boden nur sehr langsam ändert. Daneben spielen Labor-, Personal- und Methodenwechsel eine Rolle. Durch Expertenwissen werden solche Messreihen meist geglättet, was bei den

Messwerten des Gesamtkohlenstoffgehaltes in Abb. 5.7 nicht zutrifft. Diese Punktwolken der Messwerte der zwei Varianten lassen kaum Rückschlüsse über die Qualität der Simulation mit dem CIPS-Modell zu. Die Simulationskurven für beide Varianten bilden aber das Trendverhalten der Messwerte ab. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass der Kurvenverlauf der Simulationen plausibel erscheint.

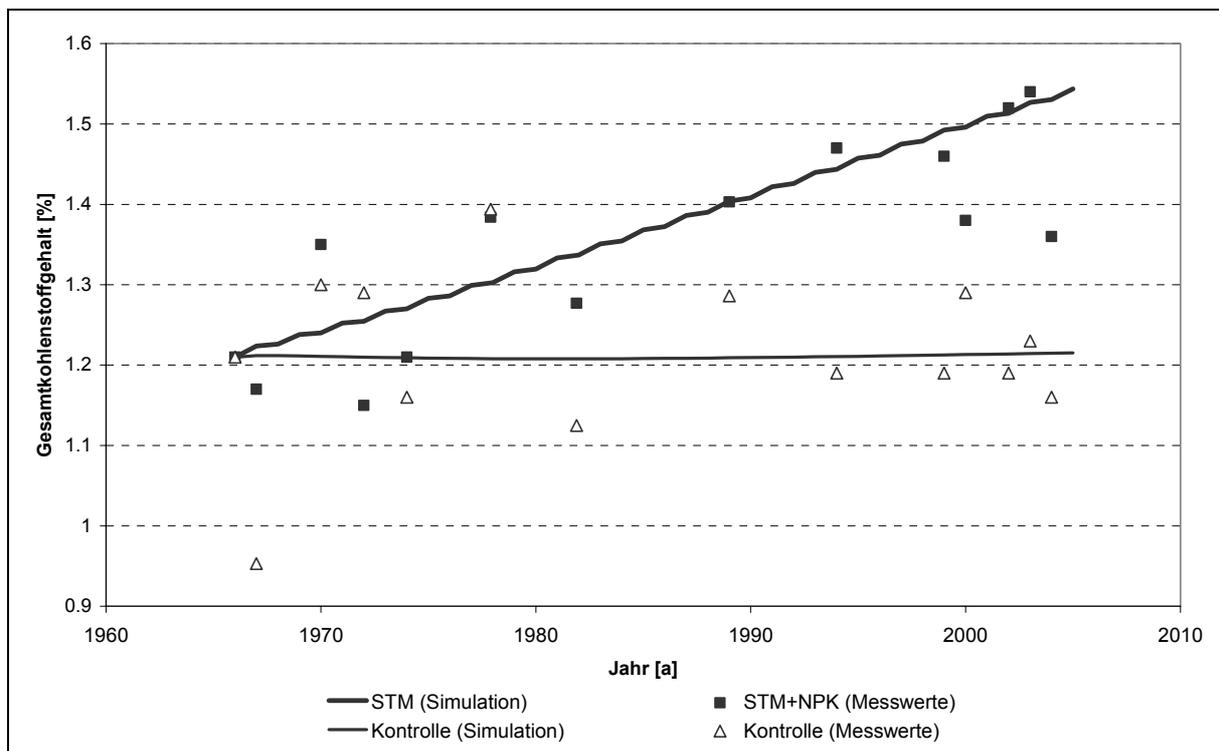


Abb. 5.7: Simulation der Volldüngungs- (STM+NPk) und Kontrollvariante des „Prag-Ruzyně Feldes B“ Prag

5.5 Simulationsergebnisse „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov

Der Versuch in der Kharkov Region weist die höchste durchschnittliche BAT_{glob} (s. Abb. 5.8) aller simulierten Freilandversuche auf. Die Schwankungsbreite der BAT_{glob} , die zwischen 31 d und 44 d liegt, ist deutlich geringer als bei den Versuchen in Bad Lauchstädt, Halle und Prag. Im Gegensatz zu allen anderen Versuchen ist die höchste durchschnittliche BAT in den Makroporen zu verzeichnen. Der Abb. 5.8 ist zu entnehmen, dass in einzelnen Jahren eine Umkehr zugunsten der Makroporen zu verzeichnen ist. Der Trend der BAT ist in allen Bereichen der Bodenmatrix im Verlauf des Versuchszeitraumes negativ. Das bedeutet, dass der Umsatz der organischen Substanz im Boden im Verlauf der Zeit rückläufig ist.

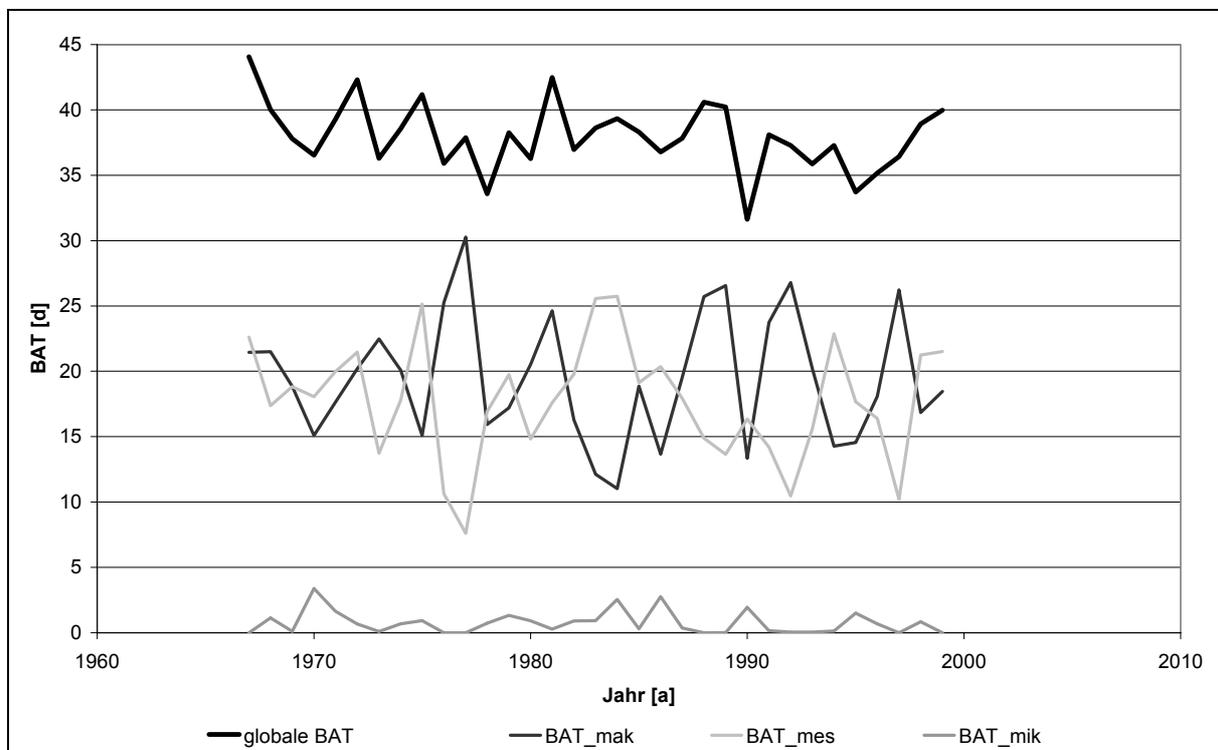


Abb. 5.8: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Grakov Versuchsfeld“ Grakov

Vom „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov wurde nur die Kontrollvariante gegen das CIPS-Modell getestet. Zum einen bereitete die regellose Fruchtfolge des Versuches Schwierigkeiten bei der Ermittlung des mittleren Kohlenstoffinputs aus Ernte- und Wurzelrückständen. Außerdem wurde der Stallmistinput auf der Stallmistvariante im Versuchszeitraum unregelmäßig gesteigert. Für die vorkommenden Fruchtarten erfolgte je nach Häufigkeit die Bildung eines gewogenen Mittelwertes. Dabei kann es für den gesamten Versuchszeitraum

zur Unter- oder Überschätzung des Kohlenstoffinputs gekommen sein. Die Zusammenstellung der Managementdaten, die im Anhang F in Tabelle 7 zu finden sind, erfolgte durch RODIONOVA (2004, pers. Mitteilung).

Bei den mit dem CIPS-Modell simulierten Werten des Gesamtkohlenstoffs, welche in Abb. 5.9 dargestellt sind, wird eine zu geringe Abbaugeschwindigkeit durch die Simulationsergebnisse erreicht. Die Übereinstimmung von Messwerten und Simulationsergebnissen besteht nur darin, dass beide eine Abnahme des organischen Kohlenstoffgehaltes anzeigen.

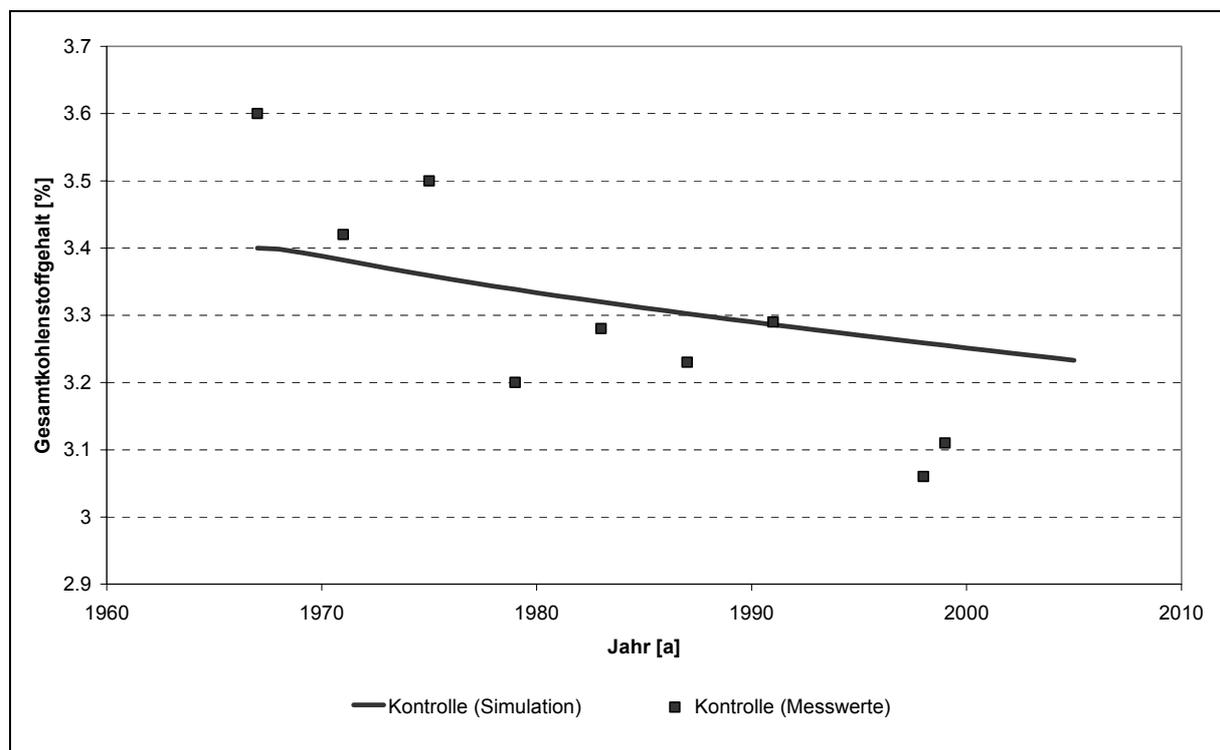


Abb. 5.9: Simulation der Kontrollvariante des „Grakov Versuchsfeld“ Grakov

Die zu geringe Abnahme der simulierten Gesamtkohlenstoffgehalte könnte verschiedene Ursachen haben. Zum einen könnte ein zu hoch kalkulierter Kohlenstoffinput vorliegen. Was sich als alleiniger Grund ausschließen lässt, da dieser um die Hälfte reduziert werden müsste, um den Trend der Messwerte abbilden zu können. Der Fehler könnte aber auch bei der Initialisierung des Modells eingetreten sein. Bei Veränderung der Äquivalentradien für die einzelnen Porenklassen käme es zu einer abweichenden Verteilung des Anfangskohlenstoffgehaltes. Bei dem Grakover Versuch liegt im Gegensatz zu den anderen Versuchen mit 3.5% Gesamtkohlenstoffgehalt ein sehr kohlenstoffreicher Boden vor. Durch den sehr hohen Anfangskohlenstoffgehalt wurde prozentual zu den Porenoberflächen der

einzelnen Porenklassen ein hoher Anteil des Kohlenstoffs den Mikroporen zugeteilt, in denen der Umsatzprozess aufgrund einer niedrigen BAT_{mic} nur selten stattfindet. An dieser Stelle sollte nachgeprüft werden, ob eine Veränderung der Äquivalentradien vorgenommen werden muss oder eine Begrenzung des Belegungsgrades der Porenoberfläche in den Mikroporen in das Modell eingefügt werden muss. Als weitere Ursache können aber auch ungenaue Daten zu PV, FK, PWP und TRD gelten, die das Simulationsergebnis sehr beeinflussen.

5.6 Simulationsergebnisse „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely

Die berechnete jährliche BAT_{glob} (s. Abb. 5.10) ist am Standort Keszthely ähnlich wie in Grakov, nicht so großen Schwankungen wie an den anderen Versuchsstandorten unterlegen. Somit hat die im CIPS-Modell verwendete Mittelwertbildung keinen so großen Einfluss auf die Änderung des Simulationsergebnisses, als wenn mit taggenauer BAT-Kalkulation gearbeitet werden würde. Am Standort Keszthely wechselt sich das jährliche Maximum der BAT zwischen Meso- und Makroporen ab, wobei im Durchschnitt eine höhere BAT in den Mesoporen zu verzeichnen ist. Aus der Abb. 5.10 ist ersichtlich, dass die BAT in den Mikroporen zwar gering ist, aber doch häufiger als bei den anderen Standorten Bedingungen vorherrschen, die den Kohlenstoffumsatz in diesen ermöglichen. Dies könnte das niedrige Kohlenstoffniveau des Versuches in Keszthely erklären, was selbst bei der Variante mit relativ hohen Stallmistgaben gleich bleibend ist.

Das CIPS-Modell wurde anhand der Volldüngungspartzele mit einer Düngerapplikation von 680 dt/ha mit zweimaliger Gabe innerhalb von 5 Jahren und der Kontrollpartzele ohne Düngerapplikation getestet. Die Managementdaten sind im Anhang F in Tabelle 8 und 9 zu finden. Aus persönlicher Mitteilung von NÉMETH und HOFFMANN (2003) lagen für jede Frucht der Fruchtfolge nur für ein Jahr zwischen 1999 und 2002 Ertragsdaten vor. Die Rekonstruktion der Managementdaten erfolgte durch BÖHME (2004, pers. Mitteilung).

Neben den fehlenden Ertragsdaten, lagen für beide Varianten nur zwei sichere Kohlenstoffmessungen (s. Abb. 5.11) aus den Jahren 1980 (NÉMETH, 1982) und 2001 (BÖHME, 2004) vor, so dass die Simulation erst 1980 gestartet wurde. Trotz der unsicheren Kohlenstoffinputkalkulation aufgrund der fehlenden Ertragsdaten stimmen die Simulationsergebnisse des Gesamtkohlenstoffgehaltes (s. Abb. 5.11) mit den gemessenen Werten gut überein.

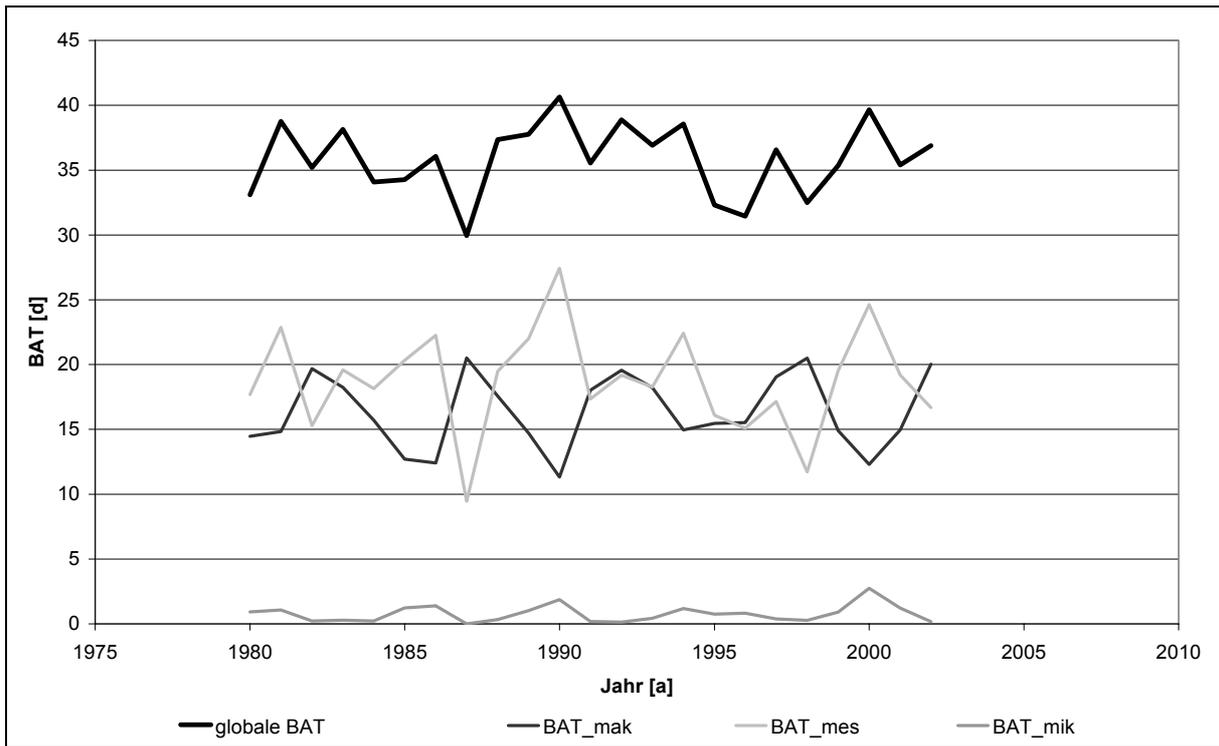


Abb. 5.10: BAT-Dynamik und Verteilung auf die Porenklassen im „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely

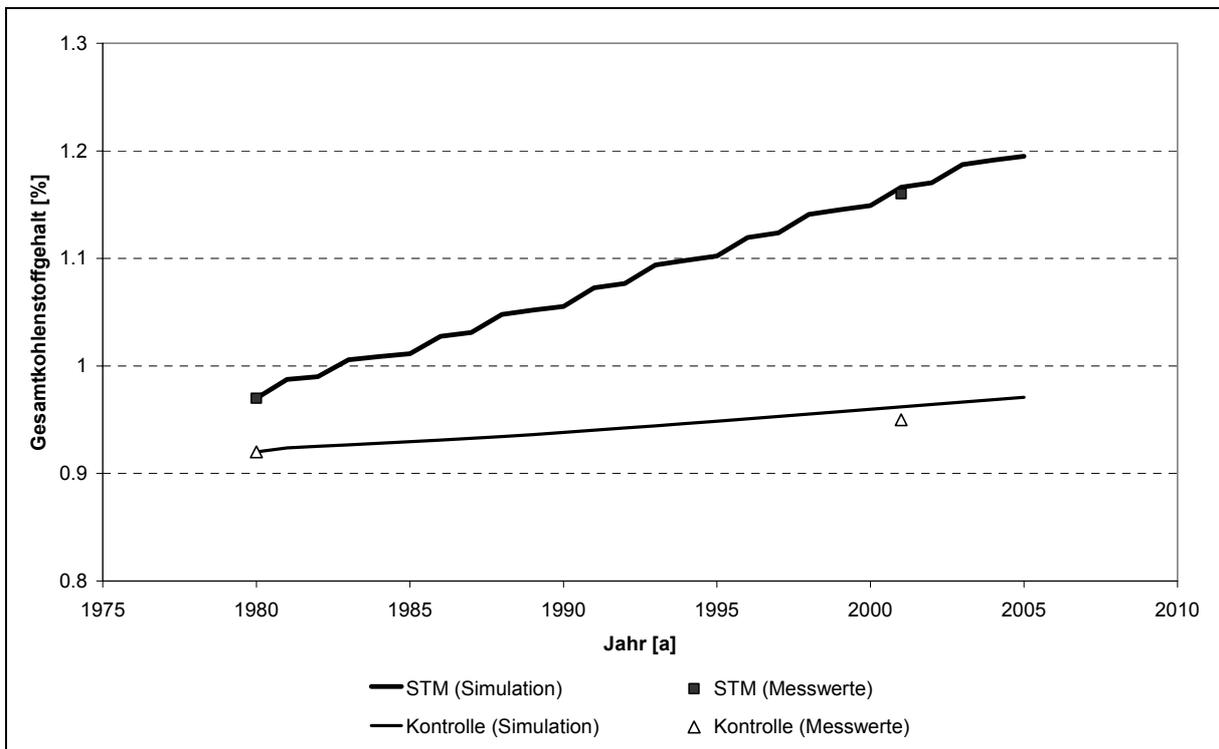


Abb. 5.11: Simulation der Stallmist- (STM) und Kontrollvariante in im „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely

6 Dichtedynamik

Zeitreihen zur C-Dynamik weisen im Allgemeinen eine hohe Variabilität auf. Da der Kohlenstoffumsatz in engem Bezug zu bodenphysikalischen Parametern steht, wurden im Verlauf eines Anbaujahres die räumliche Heterogenität und die dynamische Veränderung der Trockenrohichte (TRD) in dem Ap-Horizont der Volldüngungsvariante des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt untersucht. Am ersten Messtermin erfolgte die Bestimmung der TRD mit der konventionellen Stechzylindermethode zeitgleich zur Aufnahme eines Höhenprofils mittels Scanneraufnahmen (s. Kap 3.3.1), um die punktuelle TRD Messung im weiteren Versuchszeitraum räumlich auflösen zu können. An den folgenden Messterminen dienten die Scannermessungen zur Ermittlung von Höhendifferenzen, aus denen sich eine veränderte TRD ableiten lässt, die flächenhaft dargestellt werden kann. Die aus Höhendifferenzen (HD) bestimmte TRD wird im folgendem als TRD_{HD} bezeichnet. Die Verteilung der mittleren TRD_{HD} im Bodenprofil erfolgt über Eindringwiderstandsmessungen (s. Kap. 3.3.3), um neben der Heterogenität auf dem Feld die Variabilität der TRD im Bodenprofil abbilden zu können. Zur Überprüfung der TRD_{HD} wurde die TRD parallel an allen Messterminen konventionell mit Stechzylindern (s. Kap.3.3.2) in drei Tiefenstufen bestimmt und daraus ein Mittelwert gebildet. Die mit Stechzylindern (StZ) bestimmte TRD wird als TRD_{StZ} bezeichnet.

Das CIPS-Modell wurde dazu benutzt, um die Auswirkung extremer Änderungen der TRD_{HD} auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden abzuschätzen.

6.1 Dichtebestimmung mittels Stechzylindern

Da sich die Dichte am ersten Messtermin noch nicht aus Höhendifferenzen bestimmen ließ, wurde diese mit Stechzylindern (s. Kap. 3.3.2) gemessen. An den folgenden Messterminen erfolgte die Bestimmung TRD_{StZ} parallel zur Bestimmung der TRD_{HD} , um die Dichtebestimmung aus Höhendifferenzen auf Plausibilität überprüfen zu können. Um den Dichteverlauf im Profil des A_p -Horizontes ausreichend abzubilden, wurden die Stechzylinder in drei Tiefenstufen entnommen.

In Tabelle 6.1 sind die Ergebnisse der TRD_{StZ} aller Messtermine und Entnahmetiefen zusammengestellt und im Anhang G in Abb.1 dargestellt.

Tabelle 6.1: Die Messergebnisse der Trockenrohdichte mit Stechzylindern (TRD_{StZ})

| Schicht [cm] | Mittlere | TRD_{StZ} | TRD_{StZ} | TRD_{StZ} | TRD_{StZ} | TRD_{StZ} |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entnahme- tiefe [cm] | 24.09.2002 [g/cm ³] | 21.11.2002 [g/cm ³] | 06.03.2003 [g/cm ³] | 20.05.2003 [g/cm ³] | 01.10.2003 [g/cm ³] |
| 0-10 | 5 | 1,35 | 1,28 | 1,25 | 1,51 | 1,48 |
| 10-20 | 15 | 1,44 | 1,35 | 1,40 | 1,53 | 1,52 |
| 20-30 | 25 | 1,50 | 1,36 | 1,45 | 1,57 | 1,53 |

Am ersten Messtermin am 24.09.2002 wurden im Bezug zu den anderen Messterminen mittlere Werte der TRD_{StZ} gemessen. Die geringen TRD_{StZ} -Werte am zweiten Messtermin am 21.11.2002 sind auf die Auflockerung des Bodens durch das Pflügen am 26.10.2002 zurückzuführen. Dabei lässt sich an den Messwerten ablesen, dass in den unteren Bodenschichten des Pflughorizontes bereits ein Absetzungsprozess des Bodens eingesetzt hat. Die weitere Verdichtung des Bodens erfolgte im Verlauf der Winterperiode bis zum dritten Messtermin am 06.03.2003. Neben der Verdichtung des Bodens erfolgte im oberen Bereich eine Auflockerung durch Kryoturbation. Am vierten Messtermin am 20.05.2003 wurden die höchsten TRD_{StZ} gemessen. Diese ist auf die Bearbeitung des Ackerbodens mit Walzen zurückzuführen. Am fünften Messtermin am 06.10.2003 war der Boden gegenüber dem 20.05.2003 aufgrund von Bioturbation gelockert.

Zum Vergleich der Dichtebestimmungsmethode über Höhendifferenzen mit der konventionellen Stechzylindermethode muss die TRD_{StZ} über das Tiefenprofil gemittelt werden. Dazu wurde sowohl a) ein linearer Ansatz als auch b) ein exponentieller Ansatz geprüft. Der Vorteil des linearen Ansatzes besteht bezüglich der Parameteranzahl. Bei zwei Parametern und drei Messwerten existiert ein Freiheitsgrad für die Fehlerkorrektur der Messwerte. Der Nachteil ist im unrealistischen Kurvenverlauf der linearen Regression begründet. Beim exponentiellen Ansatz lassen drei Parameter und drei Messwerte keine Freiheitsgrade für eine Fehlerkorrektur zu. Die exponentielle Regression liefert aber einen realistischen Kurvenverlauf. In der Abb. 1 im Anhang G sind die gemessenen TRD_{StZ} zusammen mit den linearen und exponentiellen Regressionen abgebildet.

a) Die lineare Regression liefert die Gleichung (6.1) in Abhängigkeit der Tiefe x . Dabei läuft x von 0 bis zur Endtiefe $h = 30$ cm, die der festgelegten Schichtdicke zu Versuchsbeginn entspricht.

$$\overline{TRD}_{StZ}(x) = p_1 x + p_2 \quad (6.1)$$

Gesucht ist die in der Schicht 0 bis 30 cm vorherrschende mittlere Dichte (\overline{TRD}_{StZ}), die sich aus Gleichung (6.2) ergibt.

$$\overline{TRD}_{StZ} = \overline{TRD}_{StZ}\left(\frac{h}{2}\right) = \overline{TRD}_{StZ}(15) \quad (6.2)$$

Die für die verschiedenen Messtermine ermittelten Koeffizienten p_1 und p_2 sind in Tabelle 6.2 aufgeführt, mit denen die mittlere \overline{TRD}_{StZ} berechnet wurde.

Tabelle 6.2: Mittlere \overline{TRD}_{StZ} berechnet mit linearem Ansatz nach Gleichung (6.1) mit den Koeffizienten p_1 und p_2

| Termin | Koeffizienten | | \overline{TRD}_{StZ} 0-30cm [g/cm ³] |
|------------|---------------|---------|--|
| | p_1 | p_2 | |
| 24.09.2002 | 0,0075 | 1,3175 | 1,43 |
| 22.11.2002 | 0,004 | 1,27 | 1,33 |
| 06.03.2003 | 0,01 | 1,21667 | 1,37 |
| 20.05.2003 | 0,003 | 1,49167 | 1,54 |
| 01.10.2003 | 0,0025 | 1,4725 | 1,51 |

b) Die exponentiale Regression erster Ordnung liefert die Dichtefunktion (6.3) in Abhängigkeit der Tiefe x . Dabei läuft x von 0 bis zur Endtiefe $h = 30$ cm, die der festgelegten Schichtdicke zu Versuchsbeginn entspricht.

$$\overline{TRD}_{StZ}(x) = c - a \cdot e^{-bx} \quad (6.3)$$

Durch Integration der Gleichung (6.3) geteilt durch die Schichtdicke (h) ergibt sich die Gleichung (6.4), mit der sich durch Einsetzen der Koeffizienten a , b und c die mittlere TRD_{StZ} ermitteln lässt.

$$\overline{TRD}_{StZ}(h) = \frac{\int_0^h TRD_{StZ}(x) dx}{h} = \frac{\int_0^h (c - a \cdot e^{bx}) dx}{h} = \frac{\left[cx - \frac{a}{b} \cdot e^{bx} \right]_0^h}{h}$$

$$\overline{TRD}_{StZ}(h) = c + \frac{a}{b \cdot h} (1 - e^{bh}) \quad (6.4)$$

In Tabelle 6.3 sind die bei der exponentialen Regression ermittelten Koeffizienten und die mit der Gleichung (6.4) berechneten mittleren TRD_{StZ} mit $h = 30$ cm von allen Messterminen zusammengestellt.

Tabelle 6.3: Mittlere TRD_{StZ} berechnet mit exponentialem Ansatz nach Gleichung (6.4) mit den Koeffizienten a , b und c

| Termin | Koeffizienten | | | \overline{TRD}_{StZ} 0-30cm |
|------------|---------------|---------|-------------|-------------------------------|
| | a | b | c | [g/cm ³] |
| 24.09.2002 | 1,62 | 0,33068 | -0,04054652 | 1,43 |
| 22.11.2002 | 1,36167 | 0,21807 | -0,19459114 | 1,32 |
| 06.03.2003 | 1,475 | 0,38971 | -0,10986126 | 1,36 |
| 20.05.2003 | 1,54497 | 0,05472 | -0,083925 | 1,52 |
| 01.10.2003 | 1,53333 | 0,10667 | -0,13862934 | 1,51 |

Die mit dem linearen bzw. exponentialen Ansatz berechneten TRD_{StZ} , bei denen über das Tiefenprofil Mittelwerte gebildet wurden, können im folgenden Kapitel den über die Fläche gemittelten TRD_{HD} gegenübergestellt werden.

Gleichzeitig kann aus der mittleren TRD_{StZ} von einem Messtermin eine im Bezug zur festgelegten Referenzschichtdicke (h_1) veränderten Schichtdicke (h) berechnet werden und mit den mittleren Höhendifferenzen aus den Scannermessungen verglichen werden. Die Schichtdicken lassen sich für die verschiedenen Messtermine nach Gleichung (6.5) mit den mittleren TRD_{StZ} berechnen.

$$h = \frac{h_1 \cdot TRD_1}{\overline{TRD}_{StZ}} \quad (6.5)$$

mit

h_1 festgelegte Schichtdicke bei Versuchsbeginn

TRD_1 Trockenrohddichte zu Versuchsbeginn

\overline{TRD}_{StZ} Mittlere Trockenrohddichte am betrachteten Termin

In Tabelle 6.4 sind die ermittelten Schichtdicken für die mittleren \overline{TRD}_{StZ} aus Tabelle 6.2 und Tabelle 6.3 zusammengestellt. Diese können im folgenden Kapitel den Schichtdicken, die sich aus der mittleren Höhendifferenz aus den Scannermessungen ergeben, gegenübergestellt werden.

Tabelle 6.4: Die aus der Änderung der \overline{TRD}_{StZ} (s. Tabelle 6.2 und Tabelle 6.3) ermittelten Schichtdicken

| Termin | Schichtdicke [mm] (Lineare Regression) | TRD [g/cm ³] (Lineare Regression) | Schichtdicke [mm] (Exponentiale Regression) | TRD [g/cm ³] (Exponentiale Regression) |
|------------|---|--|--|---|
| 24.09.2002 | 300* | 1,43 | 300* | 1,43 |
| 22.11.2002 | 323 | 1,33 | 325 | 1,32 |
| 06.03.2003 | 313 | 1,37 | 315 | 1,36 |
| 20.05.2003 | 279 | 1,54 | 282 | 1,52 |
| 01.10.2003 | 284 | 1,51 | 284 | 1,51 |

* festgelegte Referenzschichtdicke

6.2 Dichtebestimmung aus Höhendifferenzen und deren Verteilung im A_p -Horizont

Bei der Dichtebestimmung mittels Scanneraufnahmen (s. Kap. 3.3.1) erfolgt die Bestimmung der Dichte unter der Annahme, dass Änderungen der Dichte in erster Näherung einem Anheben oder Absenken der Bodenoberfläche entsprechen. In Abb. 6.1 ist die Methode zur Bestimmung der TRD_{HD} dargestellt. Ausgehend von einem Höhenprofil zu Versuchsbeginn und einer bekannten mittleren \overline{TRD}_{StZ} , die mittels Stechzylinderproben für den A_p -Horizont ermittelt wurde, erfolgt die Bestimmung der TRD zu späteren Zeitpunkten aus Höhendifferenzen. Da die Höhendifferenz für beliebige Teilflächen bestimmt werden kann, erhält man eine flächenhafte Verteilung der TRD_{HD} . Durch Mittelwertbildung über alle

TRD_{HD} der Teilflächen ergibt sich für den A_p -Horizont eine mittlere TRD_{HD} . Eine mögliche Verteilung der mittleren TRD_{HD} im A_p -Horizont kann mittels Eindringwiderstandsmessungen (s. Kap. 3.3.3) vorgenommen werden, unter der Voraussetzung, dass die TRD von 0-5cm bekannt ist bzw. aus Stechzylinderproben ermittelt wurde.

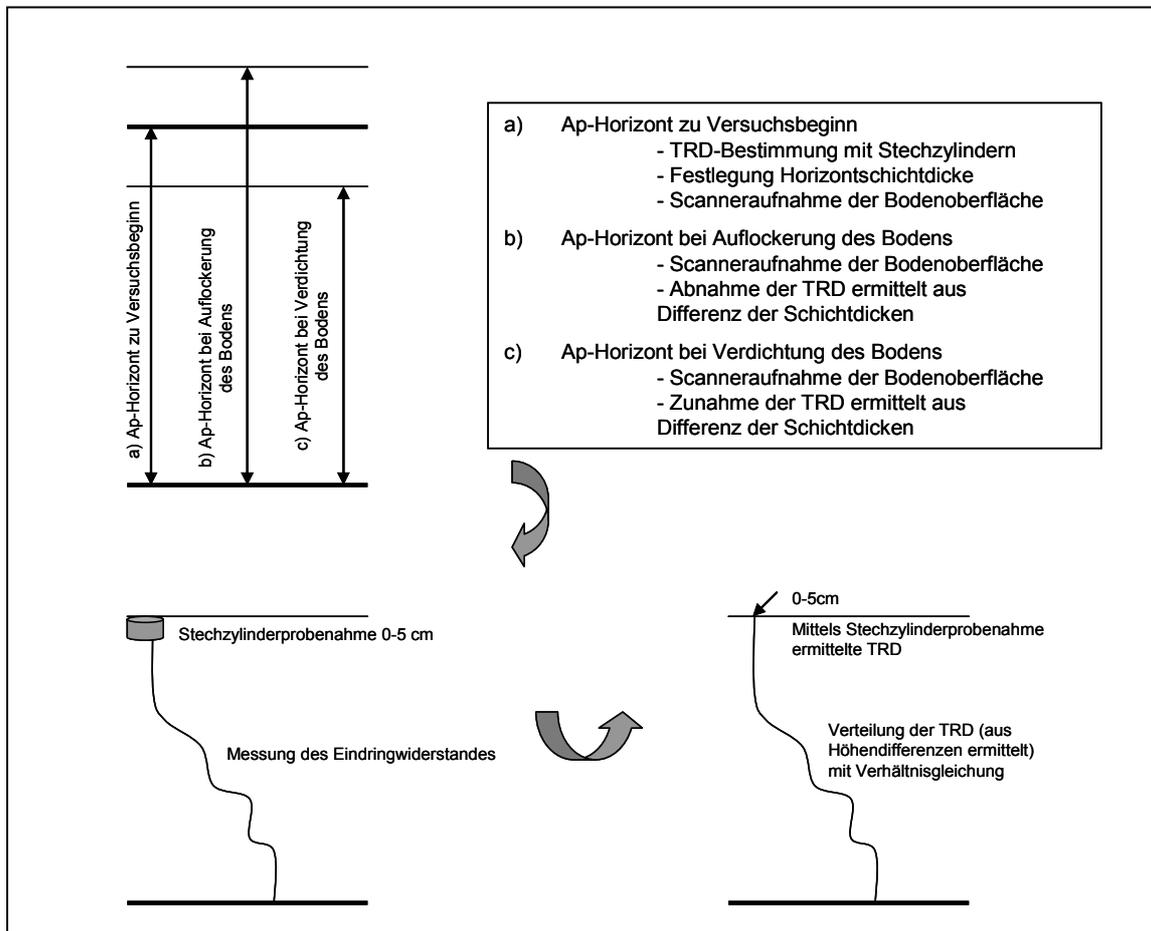


Abb. 6.1: Methode zur Bestimmung der TRD_{HD} und Verteilung im Bodenprofil mittels Eindringwiderstandsmessungen

6.2.1 Dichtebestimmung aus Höhendifferenzen

Aus den Scannermessungen (s. Kap. 3.3.1) wurden mit dem Programm Surfer© Höhenprofile erstellt, die im Anhang H in den Abb. 1 bis Abb. 5 dargestellt sind. Die Höhenprofile dienen zur Visualisierung der dynamischen Veränderung der Bodenoberfläche. Die Verschiebung der am häufigsten vorkommenden Höhenklassen zwischen den fünf Terminen ist am Farbwechsel und damit der Höhenklassenwechsel deutlich erkennbar. Die Dynamik der Bodenoberfläche, welche durch die veränderte TRD gesteuert wird, entspricht der in Kap. 6.1 dargestellten Dynamik der TRD_{StZ} . Der erste Messtermin am 24.09.2002 lag nach dem Erntetermin von

Weizen und vor dem Pflugtermin. Zu diesem Zeitpunkt war der Boden aufgrund der Setzung und Auflast von Landmaschinen stark verdichtet. Der ermittelte relative Abstand zur oberhalb der Bodenoberfläche liegenden Betonfläche, die als Bezugsfläche mit der Höhe $h = 0$ mm diente, war groß. Die Abb. 1 in dem Anhang H zeigt dies durch vorherrschende Grün- und Gelbtöne, welche den niederen bis mittleren Höhenklassen entsprechen. Am 26.10.2002 wurde der Boden gepflügt. Der zweite Messtermin wurde am 21.11.2003 durchgeführt. Durch die Lockerung des Bodens beim Pflügen wurde die Bodenoberfläche relativ zum ersten Messtermin angehoben. Der gemessene Abstand zur Betonfläche verringerte sich, was in der Abb. 2 im Anhang H an der überwiegenden Gelb- bis Braunfärbung zu erkennen ist. Nach der Winterperiode wurde am 06.03.2003 der dritte Messtermin durchgeführt. Durch das Absetzen des Bodenkörpers vergrößerte sich der Abstand der Bodenoberfläche im Bezug zur Betonfläche wieder. Aber es wurde nicht der Abstand vom Messtermin am 24.09.2002 erreicht. In Abb. 3 in dem Anhang H ist die Absetzung des Bodenkörpers, an der verstärkten Gelb- und Grünfärbung zu erkennen. Vor der Aussaat der Zuckerrüben wurde das Saatbett gewalzt. Der vierte Messtermin wurde am Beginn der Wachstumsperiode der Zuckerrüben durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Pflanzhöhe ca. 10 cm. Für die spätere numerische Auswertung wurden die Pflanzenreihen herausgelöscht, die auf der Abb. 4 im Anhang H deutlich als Erhebung zu erkennen sind. Insgesamt ist der Boden zu diesem Zeitpunkt stark verdichtet, was an der Grünfärbung in Abb. 4 in dem Anhang H zu erkennen ist. Der Zeitpunkt des fünften Messtermins lag kurz vor der Ernte der Zuckerrüben. Die geköpften Zuckerrüben ragten ca. 5 cm aus dem Boden. Für die numerische Auswertung der Daten wurden diese Reihen ebenfalls gelöscht. In der Abb. 5 im Anhang H ist ersichtlich, dass der Boden immer noch stark verdichtet ist, aber die Bodendecke gegenüber dem vierten Messtermin angehoben wurde. Dies lässt sich auf das Wurzelwachstum der Zuckerrübe und deren Bioturbation zurückführen. Um die Höhendifferenzen zwischen den Messterminen differenziert zu ermitteln, wurde die Fläche in ein Raster mit einer Rastergröße von 10 x 10 cm aufgeteilt. So konnten die nicht deckungsgleichen xy-Koordinaten in einem Rasterquadrat durch Mittelwertbildung der Höhe zusammengefasst und rasterweise Höhendifferenzen zwischen den Messterminen berechnet werden. In einem Rasterquadrat sind jeweils ca. 10 Messpunkte zusammengefasst. Die Größe des Rasters von 10x10 cm wurde gewählt, damit die Bodenoberfläche zwischen den Pflanzenreihen in den Abbildungen sichtbar gemacht werden konnte.

Die Rasterkarten der relativen Höhe, die den Abstand zur Bezugsfläche darstellen, sind im Anhang I in den Abb. 1 bis 5 zusammengestellt. Für die Rasterkarten sind ebenfalls die

Aussagen zutreffend, welche zu den Höhenprofilen im Anhang H für die Abb. 1 bis 5 getroffen wurden (s.o.). Da in den Rasterkarten für die Messtermine mit Bewuchs die Reihen mit Pflanzenbestand gelöscht wurden, ist hier deutlicher die Anhebung der Bodenoberfläche am 06.10.2003 (s. Anhang I Abb. 5) gegenüber dem Messtermin am 20.05.2003 (s. Anhang I Abb. 4) zu erkennen.

Ausgehend von der rasterweisen relativen Höhe aller Termine wurden die Differenzen zur Bodenoberfläche zu Versuchsbeginn am 24.09.2002 gebildet, die in dem Anhang I Abb. 6 bis 9 dargestellt sind. Dabei treten an einem Messtermin sowohl negative als auch positive Höhenänderungen auf, da neben der horizontalen Bewegung vertikale Bodenverlagerungen z.B. aufgrund der Pflugscharte stattfinden. Im Durchschnitt überwiegen jedoch bei Verdichtung des Bodens gegenüber dem Messtermin zu Versuchsbeginn negative Werte, wie bei den Messterminen am 20.05.2003 (s. Anhang I Abb. 8) und am 06.10.2003 (s. Anhang I Abb. 9). Bei Auflockerung des Bodens dominieren positive Höhendifferenzen, die an den Messterminen am 21.11.2002 (s. Anhang I Abb. 6) und 06.03.2003 (s. Anhang I Abb. 7) ermittelt wurden. Die maximal auftretenden Höhendifferenzen an den einzelnen Messterminen sind in Tabelle 6.5 zusammengestellt. Aus dieser Tabelle ist zu entnehmen, dass einzelne Rasterflächen während des Versuchszeitraumes maximal 14 cm gehoben bzw. 11 cm gesenkt wurden.

Tabelle 6.5: Maximal auftretende Höhendifferenzen (Δh) bei der Rastersubtraktion

| Datum | Höhendifferenz [mm] | |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Maximal negative Δh | Maximal positive Δh |
| 21.11.2002 | -72 | 141 |
| 06.03.2003 | -91 | 129 |
| 20.05.2003 | -113 | 87 |
| 06.10.2003 | -114 | 130 |

Die TRD_{HD} für jedes Raster ergibt sich aus der jeweiligen Höhendifferenz und der Referenzdichte zu Versuchsbeginn nach Gleichung (6.6). Für den Messtermin zu Versuchsbeginn am 24.09.2002 kann für alle Raster nur eine einheitliche Referenzdichte ($TRD_{ref}=1,43 \text{ g/cm}^3$) angenommen werden, die mittels Stechzylinderproben bestimmt wurde.

$$TRD_{HD} = \frac{TRD_{ref} \cdot h_{ref}}{h_{ref} + \Delta h} \quad (6.6)$$

mit

TRD_{ref} TRD zu Versuchsbeginn [g/cm^3]

h_{ref} festgelegte Schichtdicke zu Versuchsbeginn [cm]

Δh Höhendifferenz [cm]

Die Ergebnisse der rasterweisen TRD_{HD} -Berechnung sind im Anhang I in den Abb. 10 bis 13 dargestellt. TRD_{HD} , die vorwiegend unterhalb der TRD_{ref} von $1,43 \text{ g}/\text{cm}^3$ lagen, wurden an den Messterminen am 21.11.2002 (s. Anhang I Abb. 10) und am 06.03.2003 (s. Anhang I Abb. 11) ermittelt. Höhere TRD_{HD} traten an den Messterminen am 20.05.2003 (s. Anhang I Abb. 12) und 06.10.2003 (s. Anhang I Abb. 13) auf.

Die in Abb. 6.2 dargestellten und in Tabelle 6.6 aufgeführten prozentualen Häufigkeiten der TRD_{HD} -Klassen an den verschiedenen Messterminen entsprechen plausiblen Werten. Die Klassen mit unrealistischen Werten für die TRD_{HD} von unter $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ und über $2 \text{ g}/\text{cm}^3$ treten mit einer Größenordnung von unter 1,5% auf. Diese Ausreißer sind wahrscheinlich messtechnisch bedingt, da zu Versuchsbeginn eine einheitliche Dichte für alle Raster angesetzt wird. Wenn auch einzelne Werte als Ausreißer identifiziert werden müssen, bietet die Klassifizierung eine gute Möglichkeit, die Variabilität der TRD_{HD} darzustellen. Am 21.11.2002 ist die Klasse mit einer TRD_{HD} von $>1,2$ bis $1,4 \text{ g}/\text{cm}^3$ am größten. Diese Klasse ist auch am 06.03.2003 am häufigsten vertreten, wird aber kleiner gegenüber dem 21.11.2002. Dagegen steigt die prozentuale Häufigkeit der Klasse mit einer TRD_{HD} von $>1,4$ bis $1,6$ an. Am 20.05.2003 und 06.10.2003 ist die Klasse mit einer TRD_{HD} von $>1,4$ bis $1,6$ am größten. Der Unterschied zwischen diesen beiden Terminen sind häufigere TRD_{HD} zwischen $>1,6$ bis $1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ am 20.05.2003 gegenüber dem 06.10.2003. Die Auflockerung des Bodens am Endtermin ist zudem an dem Anstieg der prozentualen Häufigkeit der Klasse mit einer TRD_{HD} von $>1,2$ bis $1,4 \text{ g}/\text{cm}^3$ ersichtlich. Die Auflockerung bzw. Verdichtung des Bodens lässt sich auch an der Zu- bzw. Abnahme der Größe der Klassen mit einer TRD_{HD} von $>1,0$ bis $1,2 \text{ g}/\text{cm}^3$ bzw. $>1,8$ bis $2,0 \text{ g}/\text{cm}^3$ ablesen. Mit 20% ist die Klasse mit einer TRD_{HD} von $>1,0$ bis $1,2 \text{ g}/\text{cm}^3$ am 21.11.2002 sehr groß, an dem der Boden nach dem Pflügen aufgelockert war. An dem Tag, als der Boden am stärksten verdichtet war, ist die Klasse $>1,8$ bis $2,0 \text{ g}/\text{cm}^3$ gegenüber den anderen Terminen am größten.

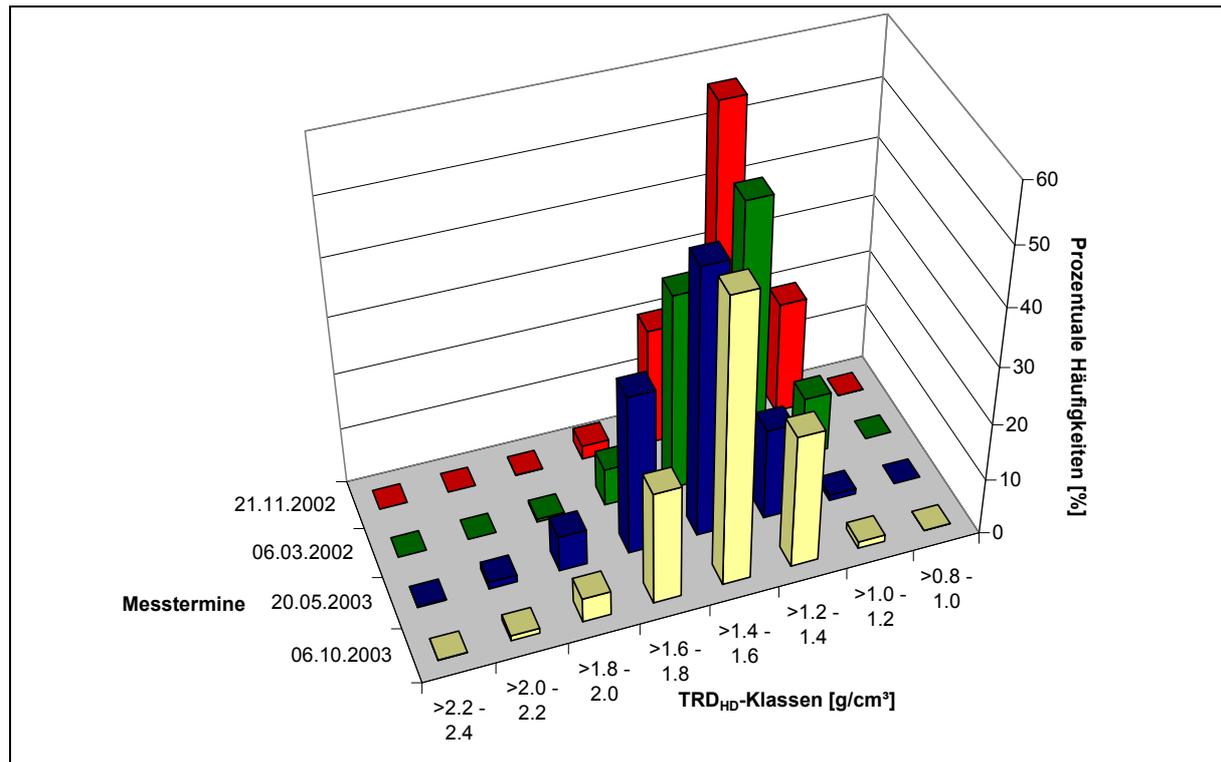


Abb. 6.2: Prozentuale Häufigkeiten der TRD_{HD}-Klassen an den verschiedenen Messterminen

Tabelle 6.6: Datentabelle der prozentualen Häufigkeiten der TRD_{HD}-Klassen

| Messtermin | TRD _{HD} -Klassen [g/cm ³] | | | | | | | |
|------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | >0,8 - 1,0 | >1,0 - 1,2 | >1,2 - 1,4 | >1,4 - 1,6 | >1,6 - 1,8 | >1,8 - 2,0 | >2,0 - 2,2 | >2,2 - 2,4 |
| 21.11.2002 | 0,05 | 19,91 | 56,79 | 20,76 | 2,42 | 0,07 | 0,00 | 0,00 |
| 06.03.2002 | 0,02 | 10,55 | 47,66 | 34,66 | 6,61 | 0,49 | 0,02 | 0,00 |
| 20.05.2003 | 0,00 | 0,97 | 16,12 | 46,96 | 28,21 | 6,30 | 1,27 | 0,16 |
| 06.10.2003 | 0,03 | 1,20 | 23,56 | 49,94 | 19,97 | 4,29 | 0,95 | 0,06 |

Um die Dichtebestimmung aus Höhendifferenzen mit der über das Profil gemittelten konventionellen Stechzylindermethode vergleichen zu können, müssen eine über die Fläche gemittelte TRD_{HD} und die mittlere Schichtdicke aller Raster gebildet werden. Dazu wurde die Grundgesamtheit der TRD_{HD} und Schichtdicken eines Messtermins mit dem *Kolmogorov-Smirnov*-Test auf Normalverteilung getestet mit dem Ergebnis für alle Messtermine $p < 0,01$. Für alle Messtermine konnte aufgrund der Normalverteilung ein arithmetisches Mittel für die TRD_{HD} und Schichtdicken gebildet werden, die in Tabelle 6.7 zusammengestellt sind.

Daneben wurde die Standardabweichung (σ) von der TRD_{HD} für alle Messtermine berechnet. Mit dem Ergebnis, dass die σ umso größer ist, je größer die mittlere TRD_{HD} ist.

Tabelle 6.7: Aus Scannermessungen ermittelte mittlere Schichtdicken und TRD_{HD} mit der zugehörigen Standardabweichung

| Messtermin | Mittlere Schichtdicke [mm] | Mittlere TRD_{HD} [g/cm ³] | σ [g/cm ³] |
|------------|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 24.09.2002 | 300 ⁺ | 1,43* | |
| 21.11.2002 | 330 | 1,31** | 0,13 |
| 06.03.2003 | 315 | 1,38** | 0,14 |
| 20.05.2003 | 279 | 1,55** | 0,17 |
| 01.10.2003 | 287 | 1,51** | 0,16 |

⁺ Referenzschichtdicke

* Messung mit Stechzylinderproben (s. Kap. 3.3.2)

** Ermittlung aus Höhendifferenzen (s. Gleichung (6.6))

In Abb. 6.3 ist die Verteilungsstatistik der TRD_{HD} mit den Mittelwerten, den σ und den Quantilen 5/95% graphisch dargestellt.

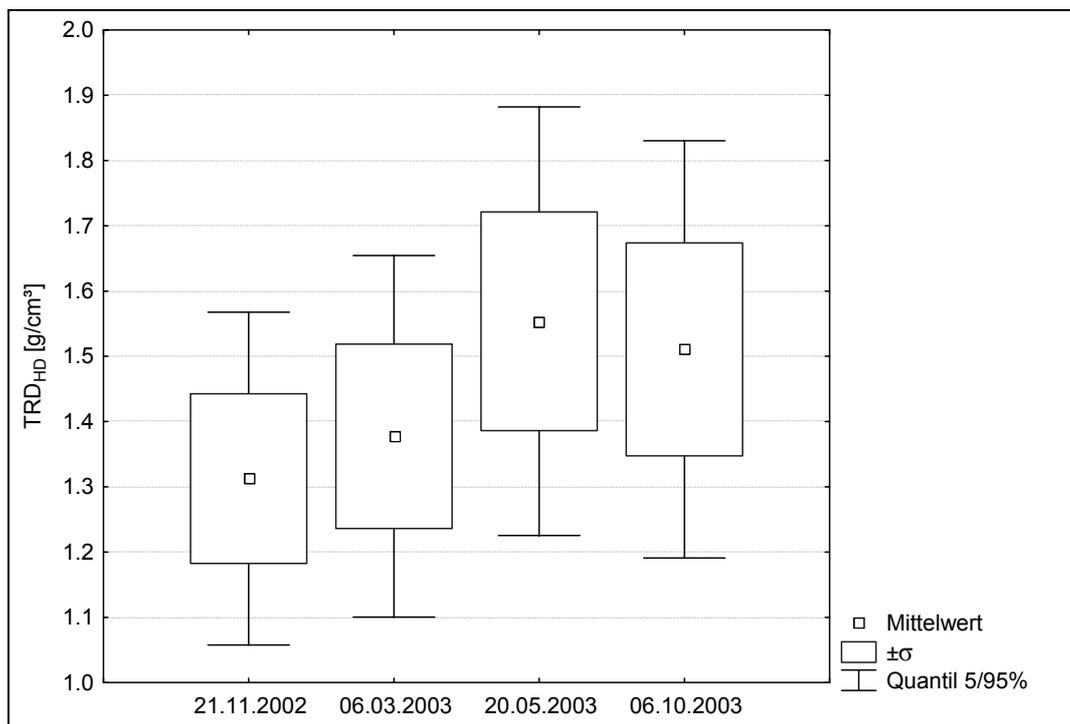


Abb. 6.3: Graphische Darstellung der Verteilungsstatistik der TRD_{HD}

In Tabelle 6.8 sind die über die Fläche gemittelten TRD_{HD} den über die Tiefe gemittelten TRD_{Stz} gegenübergestellt. Beim Vergleich der Werte lässt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Methoden feststellen. Der Korrelationskoeffizient zwischen

den mittleren TRD_{HD} ist mit $r = 0,995$ zu der linearen Regression der mittleren TRD_{Stz} etwas besser als zu der exponentialen Regression der mittleren TRD_{Stz} mit $r = 0,989$. Trotzdem kommt die exponentiale Regressionskurve der Realität näher, da mit zunehmender Tiefe die TRD nicht grenzenlos ansteigt und an der Oberfläche niedrige TRD vorherrschen.

Tabelle 6.8: Alle TRD im Vergleich

| Termin | Scannermethode | Konventionelle Stechzylindermethode | |
|------------|---|---|--|
| | \overline{TRD}_{HD} [g/cm ³] Höhendifferenz ⁺ | \overline{TRD}_{Stz} [g/cm ³] Lineare Regression ⁺⁺ | \overline{TRD}_{Stz} [g/cm ³] Exponentiale Regression ⁺⁺ |
| 24.09.2002 | | 1,43 | 1,43 |
| 21.11.2002 | 1,31 | 1,33 | 1,32 |
| 06.03.2003 | 1,38 | 1,37 | 1,36 |
| 20.05.2003 | 1,55 | 1,54 | 1,52 |
| 06.10.2003 | 1,51 | 1,51 | 1,51 |

⁺ Mittelwertbildung über die Gesamtfläche

⁺⁺ Mittelwertbildung über die Tiefe

In Tabelle 6.9 sind die berechneten Schichtdicken aller Methoden gegenübergestellt. Die Abweichungen zwischen den Methoden betragen nie mehr als 7 mm. Die nach einem Jahr ermittelte Schichtdicke am 01.10.2003 unterscheidet sich von der Ausgangsschichtdicke von 300 mm am 24.09.2002 aufgrund der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu den verschiedenen Fruchtarten und zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Im Jahr 2002 wurde Winterweizen angebaut und im Jahr 2003 Zuckerrüben. Im Gegensatz zum Winterweizen wurde bei der Aussaat der Zuckerrüben das Feld gewalzt, was zu einer zusätzlichen Verdichtung des Bodens führte.

Tabelle 6.9: Alle mittlere Schichtdicken im Vergleich

| Termin | Mittlere Schichtdicke Höhendifferenz [mm] | Mittlere Schichtdicke Lineare Regression [mm] | Mittlere Schichtdicke Exponentiale Regression [mm] |
|------------|---|---|--|
| 24.09.2002 | 300 ⁺ | 300 ⁺ | 300 ⁺ |
| 21.11.2002 | 330 | 323 | 325 |
| 06.03.2003 | 315 | 313 | 315 |
| 20.05.2003 | 279 | 279 | 282 |
| 06.10.2003 | 287 | 284 | 284 |

⁺ Referenzschichtdicke

6.2.2 Verteilung der Trockenrohdichte aus Höhendifferenzen im Bodenprofil

Da bei der Dichtebestimmungsmethode über Höhendifferenzen keine Verteilung der TRD_{HD} im Bodenprofil angegeben werden kann, sollen Messungen des Eindringwiderstandes (R_E) (s. Kap. 3.3.3) im Bodenprofil von 0 bis 35 cm dazu dienen, eine Verteilung abzuleiten. Die Messungen des R_E wurden parallel zu den Scanneraufnahmen durchgeführt. Die Messergebnisse sind in Abb. 6.4 dargestellt.

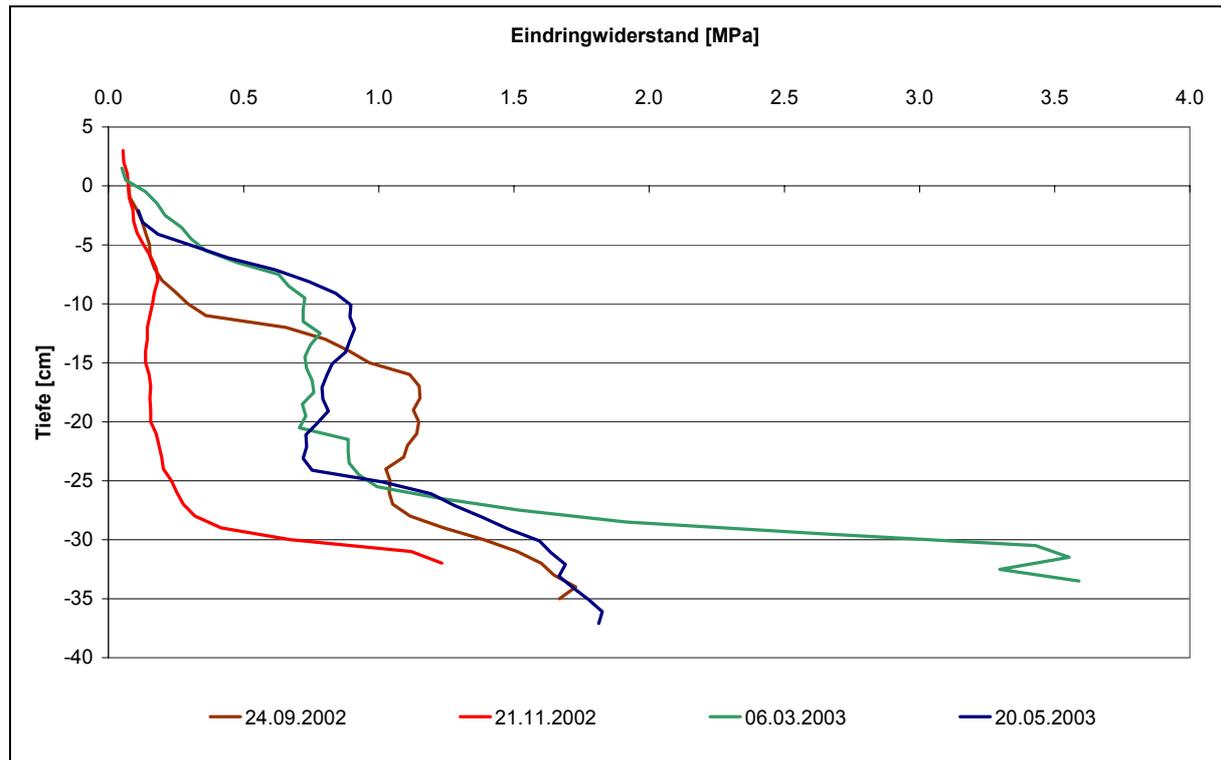


Abb. 6.4: Eindringwiderstandsmessungen dargestellt mit angepasster Tiefe nach Tabelle 6.7

Die Anfangswerte des R_E wurden je nach Verschiebung der Bodenoberfläche in Bezug zum Ausgangstermin am 24.09.2002 durch Differenzbildung der Schichtdicken, die aus den Höhendifferenzen mittels Scannermessungen ermittelt wurden, nach Tabelle 6.9 versetzt. Das bedeutet, am 21.11.2002 wurde der Anfangswert um 30 mm nach oben, am 06.03.2003 um 15 mm nach oben und am 20.05.2003 um 21 mm nach unten verschoben. Am 06.10.2003 konnte wegen Batterieausfall keine Messung durchgeführt werden. Der Abb. 6.4 ist zu entnehmen, dass am 24.09.2002 eine starke Bodenverdichtung unterhalb von -10 cm auftrat. Im oberen Bereich wurde ein relativ geringer R_E gemessen, was auf die Auflockerung des Bodens durch Bioturbation der Anbaufrucht vor der Ernte zurückzuführen ist.

Am 21.11.2002, dem Messtermin nach der Pflugbearbeitung, wurde von 5 bis -28 cm ein geringer R_E gemessen. Nach der Winterperiode wurden am 06.03.2003 deutlich höhere R_E gemessen. Der Boden hat sich besonders im unteren Bereich gesetzt. Die Messung vom 20.05.2003 zeigt eine Erhöhung des R_E im Bereich zwischen -10 und -20cm gegenüber dem 06.03.2003.

Die Messungen des R_E wurden benutzt, um eine Formel zur Verteilung der mittleren TRD_{HD} aus Tabelle 6.7 im Bodenprofil zu entwickeln. Unter der Hypothese, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der TRD_{HD} und dem R_E besteht und unter Annahme einer konstanten Θ in der Bodenschicht, kann man die Gleichung (6.7) aufstellen.

$$TRD_{HD}(h) = a + b \cdot R_E(h) \quad (6.7)$$

Der Anstieg b der linearen Gleichung (6.7) ergibt sich (s. Abb. 6.5) aus der Differenz der Änderung der TRD_{HD} und der Änderung des R_E . Daraus folgt die Gleichung (6.8).

$$b = \frac{\overline{TRD_{HD}}(30) - \overline{TRD_{HD}}(5)}{\overline{R_E}(30) - \overline{R_E}(5)} \quad (6.8)$$

mit

$\overline{TRD_{HD}}(30)$ Mittlere Trockenrohdichte von 0 bis 30 cm

$\overline{TRD_{HD}}(5)$ Mittlere Trockenrohdichte von 0 bis 5 cm (Messung mit Stechzylindern)

$\overline{R_E}(30)$ Mittlerer Eindringwiderstand von 0 bis 30 cm

$\overline{R_E}(5)$ Mittlerer Eindringwiderstand von 0 bis 5 cm

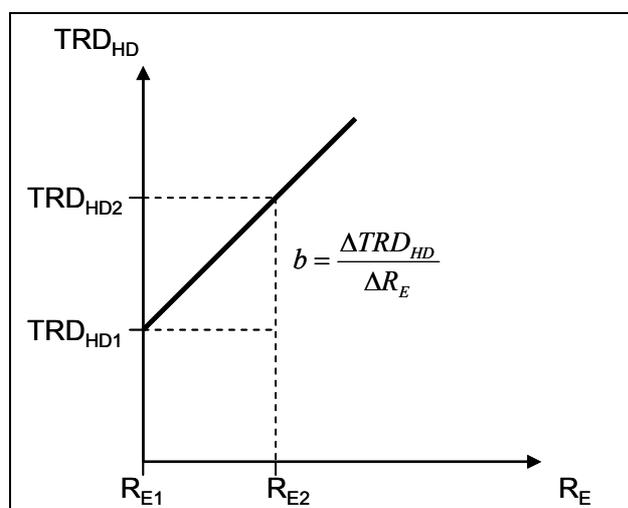


Abb. 6.5: Angenommener linearer Zusammenhang zwischen TRD_{HD} und R_E

Beim Einsetzen von Gleichung (6.8) in die Gleichung (6.7) folgt:

$$TRD(h) = a + \frac{\overline{TRD}_{HD}(30) - \overline{TRD}_{SIZ}(5)}{\overline{R}_E(30) - \overline{R}_E(5)} \cdot R_E(h) \quad (6.9)$$

mit den bekannten Fixpunkten

$$P_1(\overline{R}_E(5); \overline{TRD}_{SIZ}(5)) \text{ und } P_2(\overline{R}_E(30); \overline{TRD}_{HD}(30))$$

Durch das Einsetzen des bekannten Fixpunktes P_1 in Gleichung (6.9) ergibt sich Gleichung (6.10).

$$\overline{TRD}_{SIZ}(5) = a + \frac{\overline{TRD}_{HD}(30) - \overline{TRD}_{SIZ}(5)}{\overline{R}_E(30) - \overline{R}_E(5)} \cdot \overline{R}_E(5) \quad (6.10)$$

Aus Gleichung (6.10) aufgelöst nach a folgt Gleichung (6.11).

$$a = \overline{TRD}_{SIZ}(5) - \frac{\overline{TRD}_{HD}(30) - \overline{TRD}_{SIZ}(5)}{\overline{R}_E(30) - \overline{R}_E(5)} \cdot \overline{R}_E(5) \quad (6.11)$$

Mit bekannten b aus Gleichung (6.8) und a aus Gleichung (6.11) für die Gleichung (6.7) erhält man die Gleichung (6.12), mit der man für jedes beliebige h in der Bodenschicht von 0 bis 30 cm die TRD_{HD} berechnen kann.

$$\overline{TRD}_{HD}(h) = \frac{\overline{TRD}_{HD}(30) - \overline{TRD}_{SIZ}(5)}{\overline{R}_E(30) - \overline{R}_E(5)} \cdot (R_E(h) - \overline{R}_E(5)) + \overline{TRD}_{SIZ}(5) \quad (6.12)$$

Voraussetzung für die Verteilung der Dichte im Bodenprofil ist die Kenntnis der TRD im Bereich von 0 bis 5 cm ($\overline{TRD}_{SIZ}(5)$). Damit wird eine Begrenzung der Schwankungsbreite der TRD um die Trendlinie durch die Fixpunkte P_1 und P_2 erreicht. Ohne diese Begrenzung würde die Dichte trotz Einhaltung der Mittelwertvorgabe über das Profil unrealistische Werte von 0,5 bis 3 g/cm³ annehmen. Da diese Erkenntnis erst mit Auswertung der Daten erlangt wurde, sind keine Stechzylinder in der Höhe von 0 bis 5 cm entnommen wurden. Um die

\overline{TRD}_{SIZ} (5) als Wert verwenden zu können, erfolgte die Berechnung nach Gleichung (6.4) mittels der Stechzylinderproben, die in 5, 15 und 25 cm Tiefe entnommen wurden. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 6.10 aufgeführt.

Tabelle 6.10: Nach Gleichung (6.4) berechnete TRD_{SIZ} zwischen 0-5 cm

| Termin | \overline{TRD}_{SIZ} 0-5cm [g/cm ³] |
|------------|--|
| 24.09.2002 | 1,32 |
| 22.11.2002 | 1,22 |
| 06.03.2003 | 1,18 |
| 20.05.2003 | 1,50 |
| 01.10.2003 | 1,46 |

Die in Abb. 6.6 dargestellte Verteilung der mittleren TRD_{HD} , die nach Gleichung (6.12) und unter Verwendung der mittleren TRD_{HD} aus Tabelle 6.7 und TRD_{SIZ} zwischen 0-5 cm aus Tabelle 6.10 ermittelt wurde, ist eine mögliche Variante, die allerdings den Einfluss der Bodenfeuchte auf den R_E nicht berücksichtigt. Dazu müssten gleichzeitig zur Messung des Eindringwiderstandes Profilmessungen der Bodenfeuchte mit Sonden durchgeführt werden.

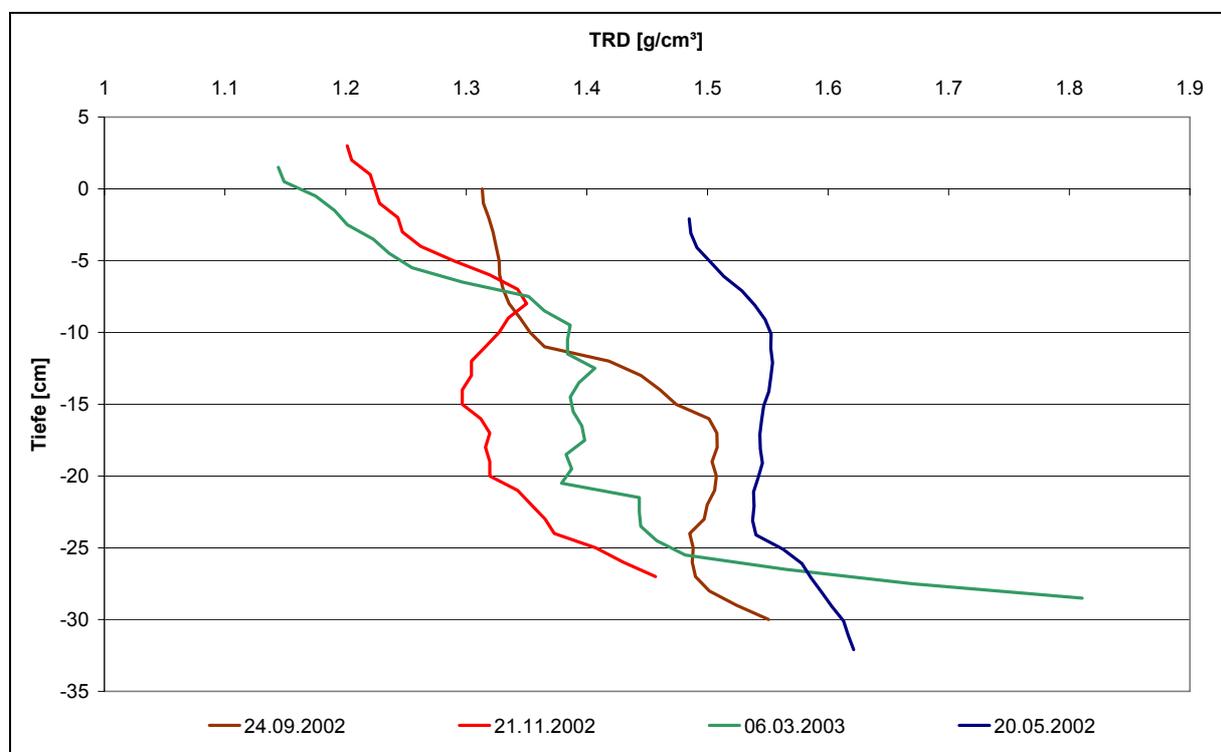


Abb. 6.6: Verteilung der mittleren TRD_{HD} im Bodenprofil mittels R_E nach Gleichung (6.12)

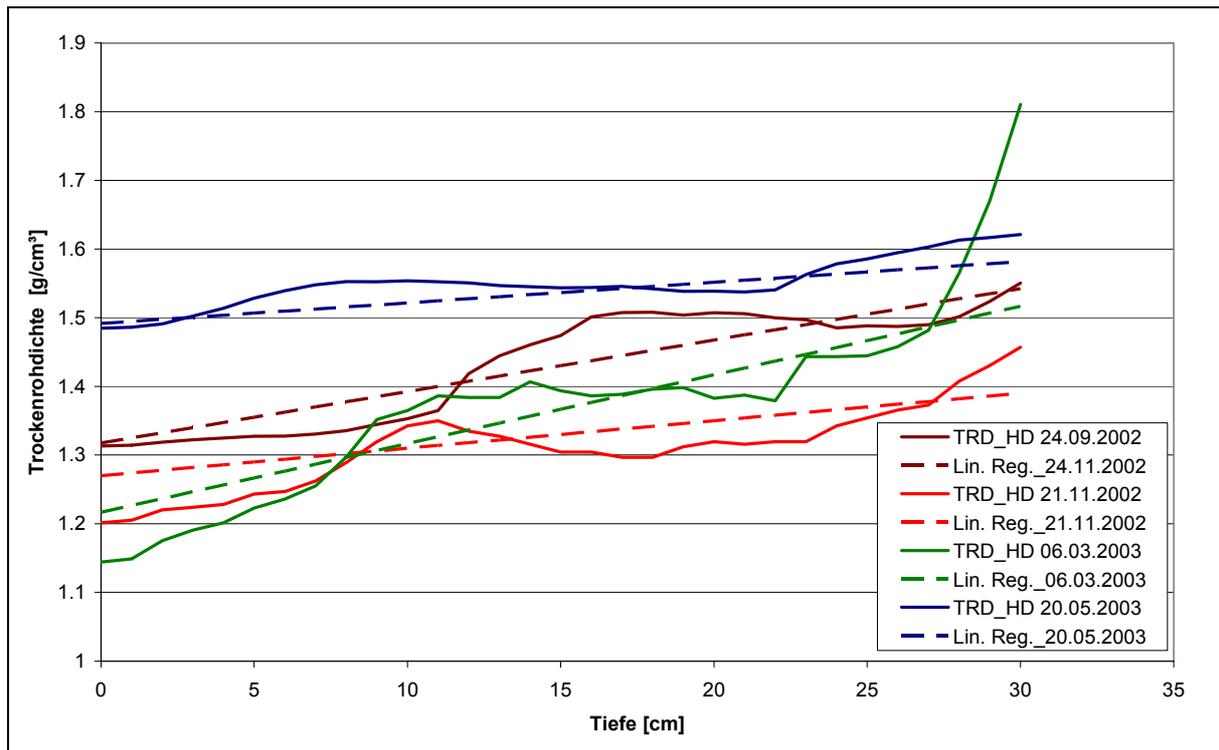


Abb. 6.7: Gegenüberstellung der TRD_{HD}-Verteilung im Bodenprofil mit der Verteilung der TRD_{StZ} nach linearer Regression

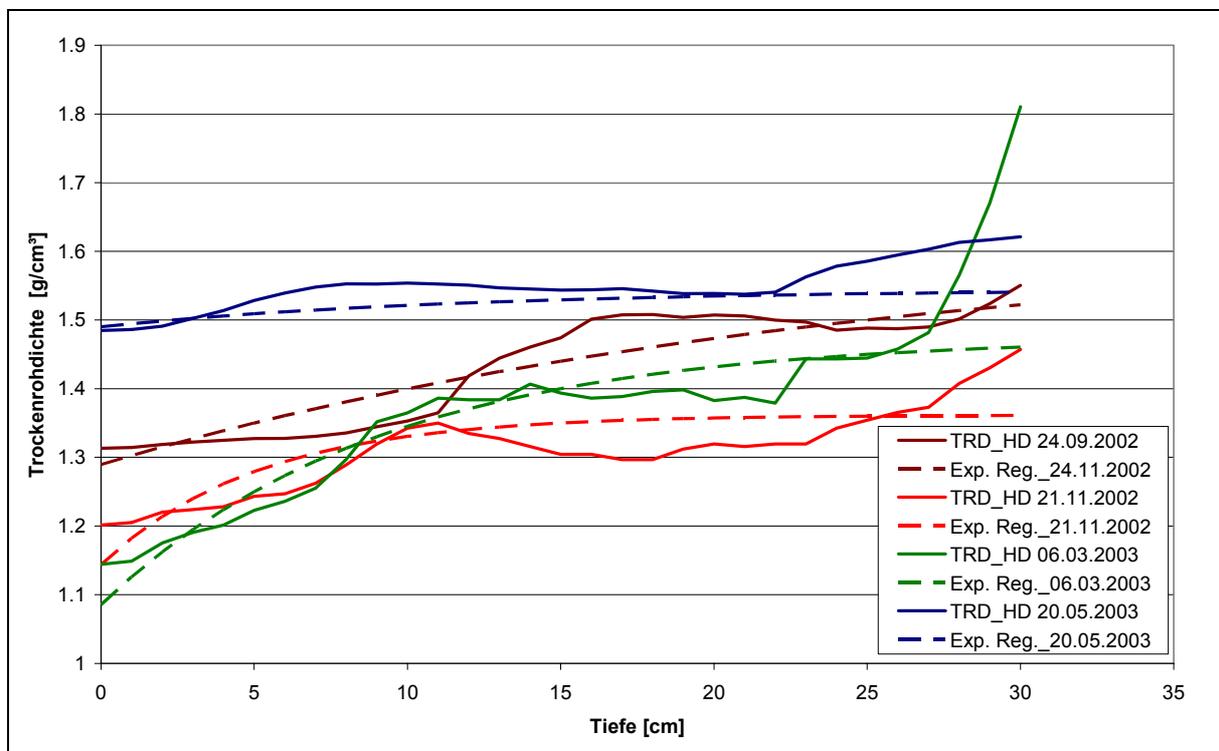


Abb. 6.8: Gegenüberstellung der TRD_{HD}-Verteilung im Bodenprofil mit der Verteilung der TRD_{StZ} nach exponentieller Regression

Eine Gegenüberstellung der TRD_{HD} -Verteilung im Bodenprofil mit der Verteilung der TRD_{SIZ} nach linearer Regression in Abb. 6.7 und nach exponentieller Regression in Abb. 6.8 kann nicht als Gütemaß für eine Methode verwendet werden. Die Vergleiche genügen jedoch als Indikator, um die Verwendbarkeit der Methode zu testen, die mittlere Dichte aus Höhendifferenzen mittels Eindringwiderstandsmessungen im Profil zu verteilen. Beide Gegenüberstellungen zeigen, dass die Verteilungsfunktion der TRD_{HD} mit R_E -Messungen im plausiblen Wertebereich liegt. Das Fehlen von Bodenfeuchtemesswerten im Profil verhindert jedoch die Interpretation der stufenartigen Zu- und Abnahme der TRD_{HD} .

6.3 Sensitivität der Dichte auf das Umsatzverhalten der organischen Substanz

Die Anwendung des CIPS-Modells erfolgte, um die Wirkung der schwankenden TRD_{HD} auf die Dynamik des Kohlenstoffs im Boden darzustellen.

Eine unterschiedliche TRD bedingt eine Änderung weiterer Bodenparameter, die als Inputdaten für die Simulation der Kohlenstoffdynamik benötigt werden. Die Feldkapazität (FK) und der Permanente Welkepunkt (PWP) bei einer bestimmten TRD wurden mit der Pedotransferfunktion (6.14) nach RAWLS und BRAKENSIEK (1985) mit den *Brooks-Corey* Parametern (s. Anhang J) ermittelt. Zur Anwendung der Pedotransferfunktion erfolgte die Umrechnung der deutschen Texturklassen in das USDA7-System mit der Gleichung (6.13) (NEMES et al., 1999). Die Ergebnisse der Texturklassenumrechnung sind in Tabelle 6.11 zusammengestellt.

$$TKG = (y_2 - y_1) / (\log(x_2) - \log(x_1)) \cdot \log(x) - (y_2 - y_1) / (\log(x_2) - \log(x_1)) \cdot \log(x_1) + y_1 \quad (6.13)$$

mit

| | |
|------------|---|
| TKG | Texturklassengröße [Masse%] |
| x | Partikelgrößendurchmesser der zu interpolieren ist (obere Grenze) |
| x_1, x_2 | Zu y_1 und y_2 korrespondierende Partikelgrößendurchmesser |
| y_1 | Summenprozent der Klasse mit nächst kleinerem Durchmesser |
| y_2 | Summenprozent der Klasse mit nächst größerem Durchmesser |

Tabelle 6.11: Texturklassenumrechnung vom deutschen in das USDA7 System für den Boden des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt

| Bezeichnung | Durchmesser [mm] | Anteil Summen [%] | Bezeichnung USDA7 | Durchmesser | Anteil |
|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------|---------------------|
| | | | | USDA7 [mm] | USDA7 Summen [%] |
| Ton | <0,002 | 21,0 | Ton | <0,002 | 21,0 |
| Feinschluff | 0,002-0,0063 | 28,0 | Schluff | 0,002-0,05 | 79,8 |
| Mittelschluff | 0,0063-0,02 | 44,0 | sehr feiner Sand | 0,05-0,1 | 92,2 |
| Grobschluff | 0,02-0,063 | 88,8 | Feinsand | 0,1-0,25 | 97,8 |
| Feinsand | 0,063-0,2 | 97,4 | Mittelsand | 0,25-0,5 | 99,1 |
| Mittelsand | 0,2-0,63 | 99,5 | Grobsand | 0,5-1 | 99,7 |
| Grobsand | 0,63-2 | 100,0 | sehr grober Sand | 1-2 | 100,0 |

Die Berechnung der FK erfolgte mit einem Matrixpotential von $\Psi=180$ hPa und des PWP mit $\Psi=15000$ hPa mit der Pedotransferfunktion (6.14). Das Matrixpotential von $\Psi=180$ hPa entspricht einem pF-Wert von ca. 2,3. Dieser wurde aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten in Bad Lauchstädt gewählt und um eine plausible Spannbreite der FK abzubilden (s. Tabelle 6.12).

$$\Theta(\Psi) = \begin{cases} \Theta_r + (\Theta_s - \Theta_r) \cdot \left(\frac{\Psi}{\Psi_b} \right)^{-\lambda} & \text{für } \Psi > \Psi_b > \lambda > 0 \\ \Theta_s & \Psi \leq \Psi_b \end{cases} \quad (6.14)$$

mit den Brooks-Corey Parametern:

$\Theta(\Psi)$ Wassergehalt [Vol.%] als Funktion des Matrixpotentials

Ψ Matrixpotential [hPa]

Ψ_b Lufteintrittspunkt [hPa]

Θ_r residualer Wassergehalt [Vol.%]

Θ_s Sättigungswassergehalt [Vol%]

λ Porengrößenindex

Die Berechnung der Brooks-Corey Parameter ist im Anhang J aufgeführt.

Das Porenvolumen (PV) ergibt sich aus der jeweiligen TRD und TSD von $2,56 \text{ g/cm}^3$ (s. Anhang B – Tabelle 1).

Die zu den verschiedenen TRD ermittelten Bodenparameter sind in Tabelle 6.12 aufgeführt. Der PWP bleibt bei allen TRD konstant. FK und PV steigen mit abnehmender TRD_{HD}.

Tabelle 6.12: Mittels Pedotransferfunktionen ermittelte PWP, FK und Porenvolumina (PV) bei experimentell bestimmter unterschiedlicher Trockenrohdichte (TRD_{HD})

| Messtermin | TRD _{HD} * [g/cm ³] | PWP ⁺ [Vol%] | FK ⁺ [Vol%] | PV ⁺⁺ [Vol%] |
|------------|---|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 24.09.2002 | 1,43** | 13 | 29 | 44 |
| 21.11.2002 | 1,31 | 13 | 31 | 49 |
| 06.03.2003 | 1,38 | 13 | 30 | 46 |
| 20.05.2003 | 1,55 | 13 | 28 | 39 |
| 06.10.2003 | 1,51 | 13 | 28 | 41 |

⁺ nach RAWLS und BRAKENSIEK (1985)

⁺⁺ nach LIEBEROTH (1982)

* Mittelwert von TRD aus Höhendifferenzen

** Messung mit Stechzylinderproben (s. Kap. 3.3.2)

Zur Simulation mit dem CIPS-Modell wurden Extremwerte der TRD und die TRD vom Referenztermin (24.09.2002) gewählt.

Die Bodenparameter PWP, FK und PV aus Tabelle 6.12 dienen zur Berechnung der initialen Bedingungen des CIPS-Modells. Nach Kap. 4.3 ergibt sich die in Tabelle 6.13 aufgelistete Verteilung des Gesamtkohlenstoffs (C_{org}) zu Simulationsbeginn auf die einzelnen Porenklassen.

Tabelle 6.13: Verteilung des Gesamtkohlenstoffs zu Simulationsbeginn (C_{org}=1,8%) auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac) nach der Porenoberfläche (POF)

| Messtermin | POF _{mic} [km ² /m ³] | Corg _{mic} [%] | POF _{mes} [km ² /m ³] | Corg _{mes} [%] | POF _{mac} [km ² /m ³] | Corg _{mac} [%] |
|------------|--|----------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|
| 24.09.2002 | 5,2 | 1,1063 | 3,2 | 0,6809 | 0,060 | 0,0128 |
| 21.11.2002 | 5,2 | 1,0550 | 3,6 | 0,7304 | 0,072 | 0,0146 |
| 20.05.2003 | 5,2 | 1,1354 | 3,0 | 0,6550 | 0,044 | 0,0096 |

Die POF_{mic} ist aufgrund des konstanten PWP-Wertes bei allen Terminen gleich groß. Jedoch aufgrund der geringeren Gesamtporenoberfläche bei höherer TRD (20.05.2003) wird den Mikroporen ein höherer Anteil am C_{org} zugeteilt. Da in den Mikroporen aufgrund der meist schlechten Umsatzbedingungen für Kohlenstoff ein Stabilisierungsprozess zu verzeichnen ist, wird bei höherer TRD mehr Kohlenstoff vom Umsatzprozess ausgeschlossen.

Eine geringere Dichte führt zu einer größeren Porenoberfläche der Meso- und Makroporen und damit der Gesamtporenoberfläche. Bei Verteilung der gleichen Menge an C_{org} nach dem Anteil der Porenoberfläche einer Porenklasse fällt bei gleichzeitig abnehmendem Gehalt an Kohlenstoff in den Mikroporen ein größerer Anteil an Kohlenstoff den Meso- und Makroporen zu. Der Umsatzprozess findet dadurch schneller statt.

Die globale Biologisch Aktive Zeit (BAT_{glob}) umfasst den Zeitraum optimaler Umsatzbedingungen eines Versuchsjahres. Unter Verwendung der in Tabelle 6.12 berechneten Bodenparameter wurden für die drei Termine Bodenprofile (s. Anhang K) erstellt, um die BAT-Berechnung und deren Aufteilung auf die Porenklassen mit dem CANDY-Modell (s. Kap. 2.3) durchführen zu können. Die Ergebnisse der BAT-Verteilung sind in Tabelle 6.14 aufgeführt.

Tabelle 6.14: Verteilung der mit dem CANDY-Modell simulierten BAT_{glob} auf die Mikro- (mic), Meso- (mes) und Makroporen (mac)

| Messtermin | BAT_{glob}^* [d/a] | Anteil | | Anteil | | Anteil | |
|------------|-------------------------|----------------------|------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | | BAT_{mic} [d/a] | BAT_{mic} % | BAT_{mes} [d/a] | BAT_{mes} [%] | BAT_{mac} [d/a] | BAT_{mac} [%] |
| 24.09.2002 | 24 | 1,1 | 5 | 15,2 | 64 | 7,3 | 31 |
| 21.11.2002 | 30 | 0,8 | 3 | 16,3 | 54 | 13,2 | 43 |
| 20.05.2003 | 17 | 1,1 | 7 | 13,0 | 76 | 2,8 | 17 |

* gerundet

Die Simulationen mit dem CIPS-Modell wurden für die Volldüngungsvariante des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt mit einem jährlichen C-Input von $155 \mu\text{gC/gBoden}$ aus Ernte- und Wurzelrückständen und $667 \mu\text{gC/gBoden}$ C-Input aller 2 Jahre aus organischen Düngern durchgeführt.

Der Anfangskohlenstoffgehalt von $1,8\% C_{org}$ wurde nach 100 a bei einer $TRD=1,31 \text{ g/cm}^3$ um $33\% C_{org}$, bei einer $TRD=1,43 \text{ g/cm}^3$ um $39\% C_{org}$ und bei einer $TRD=1,55 \text{ g/cm}^3$ um $44\% C_{org}$ erhöht (s. Abb. 6.9). Das heißt, es wird bei höherer TRD deutlich mehr C_{org} im Boden akkumuliert.

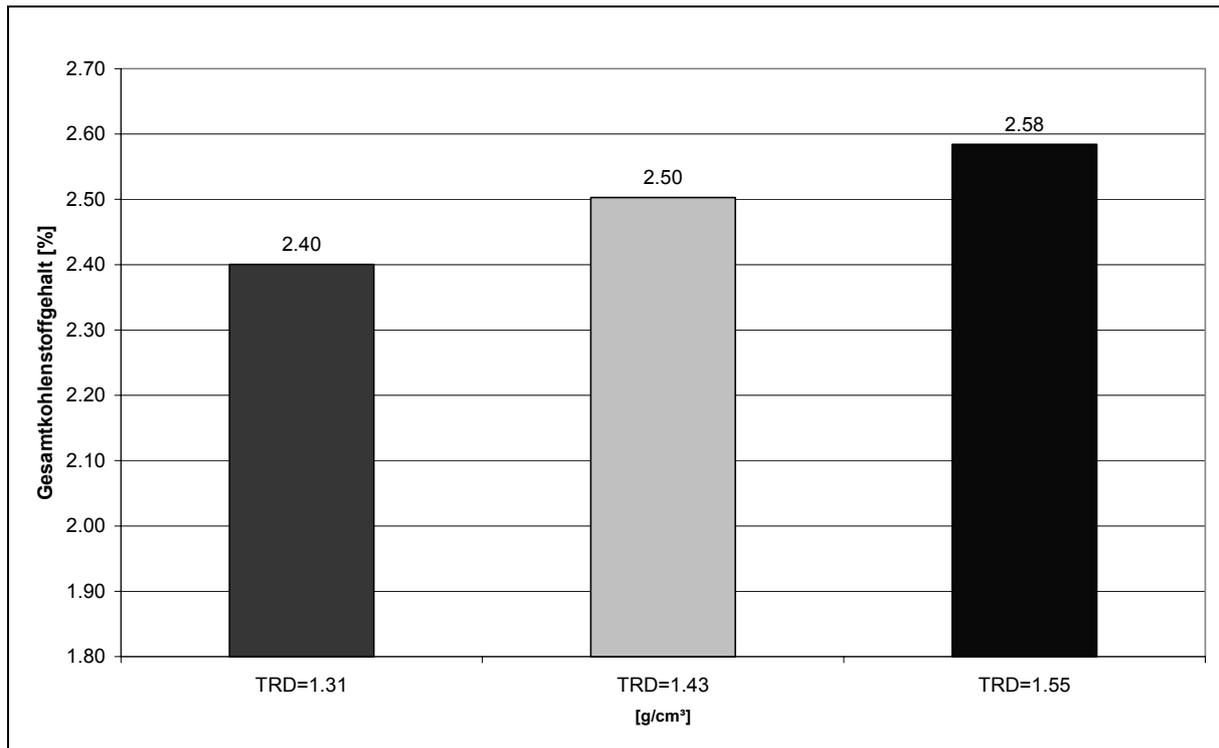


Abb. 6.9: Änderung des Gesamtkohlenstoffgehaltes im Volldüngungsplot des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt nach 100 a bei Annahme unterschiedlicher TRD bei einem Anfangskohlenstoffgehalt von 1,8%

7 Diskussion

Der wesentliche Erkenntniszuwachs in Hinblick auf die Umsetzbarkeit der im Boden befindlichen organischen Substanz durch SKJEMSTAD (2001), GLEIXNER et al. (2002) und BRODOWSKI et al. (2003) unterstützt die Modellvorstellung, dass man die gesamte organische Substanz in dem Umsatzzyklus berücksichtigen muss.

Bei den klassischen SOM-Modellen wie CANDY (FRANKO, 1989 und 1995b), DAISY (HANSEN et al., 1990 und 1991), CENTURY (METHRELL, 1993) und Roth-C (COLEMANN und JENKINSON, 1995) erfolgt die Aufteilung der organischen Substanz in konzeptionelle Pools, die sich durch verschieden schnelle Umsatzzeiten der organischen Substanz auszeichnen. Dabei wird zwischen labilen bzw. aktiven Pools, langsamen bzw. intermediären Pools und inerten bzw. passiven Pools unterschieden. Mit Hilfe der konzeptionellen Pools lässt sich die Dynamik des Kohlenstoffs im Boden gut abbilden. Die Messbarkeit der einzelnen Pools ist jedoch eingeschränkt, da die Aufteilung der organischen Substanz auf die einzelnen Pools nur aufgrund der Abbaubarkeit erfolgt. In der Realität sind verschiedene Stabilisierungsprozesse überlagert. Aufgrund dessen müssen bei Nichtberücksichtigung von verschiedenen Stabilisierungsmechanismen die Anteile von chemisch labilem Kohlenstoff zugunsten von chemisch stabilem Kohlenstoff verschoben werden, um dennoch die gemessene Dynamik des Kohlenstoffs abbilden zu können. Aus diesem Grund schließt sich die Messbarkeit einzelner Pools aus.

Im CIPS-Modell wird der Boden als Reaktor betrachtet, in dem Porenräume mit guten und schlechten Umsatzbedingungen existieren. Die gesamte organische Bodensubstanz wird als umsetzbar betrachtet, ist jedoch teilweise aufgrund ihrer Lokalisierung im Porenraum mit schlechten Umsatzbedingungen gegen mikrobiellen Abbau geschützt. Im Gegensatz zu anderen SOM-Modellen wird dadurch im CIPS-Modell kein inerter Kohlenstoffpool benötigt, um die Langzeitdynamik des Kohlenstoffs im Boden abbilden zu können.

Die Aufteilung der organischen Substanz erfolgte im CIPS-Modell aufgrund von möglichst messbaren Poolgrößen. Dabei wird zwischen dem Pool der frischen organischen Substanz (FOM), dem Pool der aktiven organischen Substanz als Äquivalent zur Biomasse (AOM), dem Pool der gelösten organischen Substanz (DOM) und dem Pool der refraktären

organischen Substanz (ROM) unterschieden (s. Kap. 4.1). Der FOM-Pool umfasst den Input an organischen Düngern sowie Ernte- und Wurzelrückständen. Dabei ist die Menge des Kohlenstoffs, der zur Reproduktion der organischen Bodensubstanz dient, eine sensible Größe, die den gesamten Kohlenstoffhaushalt dominiert. Bei dem für die Parametrisierung des CIPS-Modell verwendeten Laborexperiment mit ^{14}C -markierten Weizenstroh (s. Kap. 3.1.2) war die Bestimmung der FOM-Poolgröße einfach, da genaue Kenntnisse über die eingesetzte C-Menge vorlagen. Bei Freilandversuchen lässt sich die Poolgröße über die Quantifizierung der Wurzel- und Stoppelmengen und deren C-Gehalte bestimmen. Bei Einsatz von organischen Düngern benötigt man die eingesetzte Menge und dessen C-Gehalt. Für die verschiedenen Anbaufrüchte und organischen Dünger wurden dazu von FRANKO (1997) ertrags- bzw. düngermengenabhängige Berechnungsformeln für den FOM-Pool angegeben (s. Kap. 3.4), die auf der Grundlage von experimentellen Untersuchungen zum Umsetzungsverhalten der Ernterückstände und Wurzeln landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten von KLIMANEK (1990 a und b) beruhen. Der Nachteil dieser Berechnungsmöglichkeit ist, dass standörtliche Unterschiede, die bei gleichem Ertrag zu einem unterschiedlichen Spross- und Wurzelwachstum führen, nicht berücksichtigt werden. Eine experimentelle Bestimmung des FOM-Pools für alle Simulationsjahre ist jedoch ausgeschlossen. Daher muss mit Näherungsformeln gearbeitet werden, die auf standörtliche Gegebenheiten angepasst sind. Dazu müssen in Zukunft noch weitere Untersuchungen betrieben werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht zudem bezüglich der Aufteilung des FOM-Pools in die löslichen, labilen und stabilen Anteile. Bei den durchgeführten Simulationsrechnungen wurde der lösliche Anteil bisher vernachlässigt. Die Aufteilung des FOM-Pools in den labilen und stabilen Anteil erfolge zu gleichen Teilen. Um fruchtarten- und düngerspezifische Aufteilungen vornehmen zu können, müssten Inkubationsexperimente durchgeführt werden, bei denen die Aufteilung der frischen organischen Substanz in die löslichen, labilen und stabilen Anteile und deren Abbaugeschwindigkeiten untersucht werden. Mit diesem Wissen könnte das CIPS-Modell hinsichtlich der ersten Abbauphase der organischen Substanz besser optimiert werden, bei der die Rekalzitranz nach KÖGEL-KNABNER (2002) die entscheidende Rolle spielt.

Der AOM-Pool ist als Äquivalent zur Biomasse mit der CFE-Methode nach VANCE et al. (1987) experimentell messbar. Bei dieser Methode wird sowohl die ruhende als auch aktive Biomasse bestimmt. Da im CIPS-Modell aufgrund der differenzierten Umsatzbedingungen in den Porenklassen nur ein Teil der Biomasse aktiv ist, bedarf es der Überprüfung, ob die Substrat-Induzierte-Methode (SIR) (ANDERSON und DOMSCH, 1978) sich eignet, um die

gerade am Stoffwechsel beteiligte Biomasse zu ermitteln. Dazu müsste ein Laborexperiment gestartet werden, bei dem die Biomassebestimmung mit der SIR-Methode im Boden bei verschiedenen eingestellten pF-Stufen erfolgt. Die Biomasse, die aufgrund der BAT-Berechnung jeweils in den Porenräumen aktiv ist, müsste dann mit der gemessenen Biomasse übereinstimmen, die mit der SIR-Methode ermittelt wurde.

Die Umsatzprozesse im AOM-Pool verlaufen nach einer Reaktion erster Ordnung. Da die Größe des AOM-Pools die bestimmende Größe für die Umsatzleistung sein kann, ist es überlegenswert, die substratkonzentrationsabhängige Michaelis-Menten-Kinetik anzuwenden. Voraussetzung dazu wäre eine genauere Kenntnis über die Effizienz der Biomasse.

Der DOM-Pool stellt eine Schlüsselfunktion im CIPS-Modell dar, da der Stoffaustausch zwischen den Porenklassen immer über diesen Pool erfolgt. DOM lässt sich als Summenparameter experimentell bestimmen, so dass die Gesamtpoolgröße ermittelt werden kann. Weiterer Forschungsbedarf besteht bezüglich der Aufklärung der Quellfunktion, der Umsetzung und Stabilisierung von DOM. Als Quelle von DOM werden bisher der Zerfall von Biomasse und der Input an organischer Substanz angesehen. Der Abbau des DOM-Pools erfolgt in Abhängigkeit der BAT-Verteilung im Porenraum über die Autolyse der Biomasse.

Ein Experiment, bei dem die DOM-Menge bei verschiedenen pF-Stufen bestimmt wird, könnte zum Detektieren von DOM im Porenraum dienen. Aufgrund der fehlenden Daten ist ein DOM-Leaching momentan nicht im CIPS-Modell berücksichtigt.

Im ROM-Pool ist alle organische Bodensubstanz zusammengefasst, die nicht dem FOM-, AOM- oder DOM-Pool zugeordnet werden kann. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass Biomasse sowohl den aufgrund der Molekularstruktur als labil als auch den als stabil eingestuften Kohlenstoff umsetzen kann und somit eine weitere Untergliederung des ROM-Pools unlogisch erscheint. Es besteht der Vorteil, dass die Gesamtgröße des Pools über Differenzbildung des C_{org} -Gehaltes abzüglich der AOM- und DOM-Poolgröße bestimmt werden kann, wenn man FOM im Boden ausschließen kann.

Der Kohlenstoff wird auf die Reaktionsräume der Makro-, Meso- und Mikroporen in Abhängigkeit der mittels Volumen und Äquivalentradius berechneten Oberfläche einer Porenklasse verteilt. Die verwendeten Äquivalentporenradien (R) mit 5×10^{-8} , 10×10^{-8} bzw. 500×10^{-8} m entsprechen für die Meso- und Makroporen dem angegebenen unteren Klassenrand der Mittel- bzw. Grobporenklassen und für die Mikroporen dem Mittelwert der Feinporenklasse aus SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992). Der Kohlenstoff der dabei den

Mikroporen zugeordnet wird, ist aufgrund der vorwiegend schlechten Umsatzbedingungen langfristig stabilisiert. Die sich aus den bisher verwendeten Äquivalentradien ergebende Verteilung des Kohlenstoffs auf die Mikroporen ist für den Bad Lauchstädter „Statischen Dauerdüngungsversuch“ ähnlich dem Ansatz von KÖRSCHENS (1980) zur Berechnung des inerten Kohlenstoffanteils, mit dem für den Bad Lauchstädter Standort mit dem CANDY-Modell sehr gute Simulationsergebnisse erzielt wurden. Der Ansatz von Körschens berechnet den inerten Kohlenstoffanteil in Abhängigkeit des Ton- und Feinschluffgehaltes, ohne den Gesamtkohlenstoffgehalt eines Bodens zu berücksichtigen. Dabei kann es bei sehr ton- und feinschluffhaltigen aber kohlenstoffarmen Böden zu einer Überbestimmung des inerten Anteils kommen, der sogar über dem Gesamtkohlenstoffgehalt liegen kann. Bei der Verteilung des Kohlenstoffs nach der Porenoberfläche wird vom Gesamtkohlenstoffgehalt ausgegangen, so dass der Kohlenstoffanteil, der den Mikroporen zugewiesen wird, nie größer als der Gesamtkohlenstoffgehalt sein kann. Die Berechnungsformel für den Kohlenstoffanteil in den Mikroporen wurde bereits in das CANDY-System und in das vereinfachte CANDY-Modell CCB-Modell (CANDY Carbon Balance) als Ansatz zur Berechnung des inerten Kohlenstoffs implementiert. Bei Simulationsberechnungen für verschiedene Versuchsstandorte, die PUHLMANN et al. (2004) und FRANKO und KUKA (2005) durchführten, wurden im Vergleich zu den Ansätzen von Körschens (1980), FALLOON et al. (1998) und RÜHLMANN (1999) deutlich bessere Ergebnisse erzielt. Von FRANKO und KUKA (2005) wurden durch ein Optimierungsverfahren angepasste R mit $3,6 \times 10^{-8}$ m für die Mikroporen und $8,71 \times 10^{-8}$ m für die Mesoporen bzw. $2,11 \times 10^{-8}$ m und $12,06 \times 10^{-8}$ m unter Berücksichtigung der C/N-Wirkung ermittelt, die zur Berechnung der porenoberflächenabhängigen C-Verteilung herangezogen werden. Mit der Programmierung des CIPS-Modells und Lauffähigkeit eines Optimierungsverfahrens sollen die bisher verwendeten Äquivalentradien auch im CIPS optimiert werden, um noch bessere Simulationsergebnisse zu erzielen. Dabei sollte die porenoberflächenabhängige Verteilung des Kohlenstoffs auf die Reaktionsräume zu jedem Simulationszeitpunkt im CIPS-Modell mit der Berechnung mit dem POF-Programm übereinstimmen. Aus der Tabelle 7.1 ist ersichtlich, dass diese zum jetzigen Zeitpunkt nicht übereinstimmen. Vor allem der simulierte Kohlenstoffanteil in den Makroporen liegt deutlich über dem mit dem POF-Programm berechneten Kohlenstoffanteil. Dies bedeutet, dass der verwendete Äquivalentradius für die Makroporen verkleinert werden müsste, da so eine größere Porenoberfläche berechnet wird, der im Verhältnis mehr Kohlenstoff zugeordnet wird. Der gleiche Effekt würde bei gleich bleibenden Äquivalentradius für die Makroporen und Vergrößerung der Äquivalentradien der Meso- bzw. Mikroporen auftreten. Die Relation

für die berechneten und simulierten C-Gehalte in den Mikroporen ist relativ gut. Bei sehr hohen Gesamtkohlenstoffgehalten wie bei der STM+NPK-Variante kommt es allerdings zu deutlichen Abweichungen. Dies lässt sich modelltechnisch damit erklären, dass nur ein geringer Fluss in die Mikroporen existiert. Bei gleich bleibend hohem C-Input kommt es damit bei den Simulationsrechnungen mit dem CIPS-Modell zu einer Ansammlung des Kohlenstoffs in den Meso- bzw. Makroporen. Bei der Berechnung mit dem POF-Programm wird dagegen streng nach dem Verhältnis von Porenoberfläche zu Gesamtkohlenstoffgehalt ausgegangen, wobei den Mikroporen mit der anteilig größten Porenoberfläche der meiste Kohlenstoff zugeteilt wird.

Tabelle 7.1: Vergleich der Verteilung des C_{org} -Gehaltes auf die Porenklassen zwischen Simulation mit dem CIPS-Modell und Berechnung mit dem POF-Programm
Beispiel des „Statischen Dauerdüngungsversuches“ Bad Lauchstädt

| | C_{org} | ROM_{Mac} | ROM_{Mes} | ROM_{Mic} | Restl. Pools ohne CO_2 |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| | [$\mu gC/gBoden$] |
| Kontrolle nach 50 a | | | | | |
| Simulation | 16245 | 1099 | 4671 | 9915 | 560 |
| POF | 16245 | 121 | 6910 | 9214 | - |
| Kontrolle nach 100 a | | | | | |
| Simulation | 15242 | 1671 | 3327 | 9677 | 567 |
| POF | 15242 | 113 | 6484 | 8645 | - |
| STM+NPK nach 50a | | | | | |
| Simulation | 22214 | 3485 | 7313 | 9949 | 1467 |
| POF | 22214 | 166 | 9449 | 12599 | - |
| STM+NPK nach 50a | | | | | |
| Simulation | 25314 | 6015 | 7832 | 9795 | 1672 |
| POF | 25314 | 188 | 10768 | 14358 | - |

Zur Diskussion steht eine Sättigungstheorie für die Mikroporen. Bei einer Beschränkung des C-Gehaltes in den Mikroporen würde bei hohen C-Gehalten bei der Initialisierung des CIPS-Modells mehr Kohlenstoff den Meso- und Makroporen zugeordnet, der einem schnelleren Abbau unterliegt. Das Versuchsfeld von Grakov weist sehr hohe Anfangskohlenstoffgehalte auf und der rasche Abbau des Kohlenstoffs kann mit dem CIPS-Modell unter Verwendung der angegebenen Bodenparameter nicht abgebildet werden (s. Abb. 5.9). Bei einer

Verschiebung der C-Verteilung zugunsten der Meso- und Makroporen wäre die Konsequenz ein schnellerer Umsatz, der zur Simulation von niedrigeren Gesamtkohlenstoffgehalten führt. Mit der jetzigen Modellstruktur liefert das CIPS-Modell gute Simulationsergebnisse (s. Kap. 5), die erkennen lassen, dass die Umsetzung einer Reihe von Forschungserkenntnissen gelungen ist. Dazu zählen die Betrachtung des Bodens im CIPS-Modell als Reaktor (RICHTER, 1986), das der Abbau aller organischer Substanz möglich ist (SKJEMSTAD, 2001; GLEIXNER et al., 2002; BRODOWSKI et al., 2003) und das die Rekalzitranz der organischen Substanz vorwiegend in der ersten Abbauphase eine Rolle spielt (Kögel-Knabner, 2002).

Zur weiteren Überprüfung des CIPS-Modells wurden für alle Versuche Langzeitrechnungen durchgeführt, mit denen kontrolliert werden soll, ob der sich bei gleich bleibendem C-Input einstellende Gesamtkohlenstoffgehalt plausible Werte annimmt. Die Ergebnisse dieser Simulationsrechnungen sind in Abb. 7.1 bis Abb. 7.5 dargestellt. Die nach 1000 jähriger Simulation erreichten C-Niveaus entsprechen für alle Versuche plausiblen Werten. Für den „Statischen Dauerdüngungsversuch“ pendelte sich der Gesamtkohlenstoffgehalt für die STM+NPK-Variante bei 2,8% C_{org} und für die Kontrollvariante bei 1,2% C_{org} ein (s. Abb. 7.1), wobei für die Kontrollvariante noch kein Gleichgewicht erreicht wurde. In Abb. 7.2 ist die Langzeitsimulation des „Ewigen Roggenbaus“ in Halle dargestellt. Die STM-Variante erreicht Gesamtkohlenstoffgehalte von 2,6 % C_{org} und die Kontrollvariante 1,1 % C_{org} . Die Kontrollvariante des Prager Versuchsfeldes B bleibt auf etwa gleichem Niveau von 1,2 % C_{org} und die STM-Variante erreicht einen Gesamtkohlenstoffgehalt von 2,7 % C_{org} (s. Abb. 7.3). In Abb. 7.4 ist ersichtlich, dass die Kontrollvariante des Grakover Versuchsfeldes kein Gleichgewicht erreicht hat. Nach 1000 jähriger Simulation liegen die simulierten C_{org} -Gehalte bei 2,1%. Die STM+NPK-Variante des „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely erreicht bei 2,0 % C_{org} einen Gleichgewichtszustand (s. Abb. 7.5). Die Gesamtkohlenstoffgehalte der Kontrollvariante steigen bei gleich bleibendem Input anfänglich an und senken sich dann wieder bis auf 1,0 % C_{org} ab. Es hat sich nach 1000 Jahren Simulation noch kein Gleichgewicht eingestellt. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass Langzeitversuche zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden auch nach 102 Jahren Versuchsdauer wie beim „Statische Düngungsversuch“ in Bad Lauchstädt bzw. 127 Jahren Versuchsdauer beim halleschen Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ fortgeführt werden sollten.

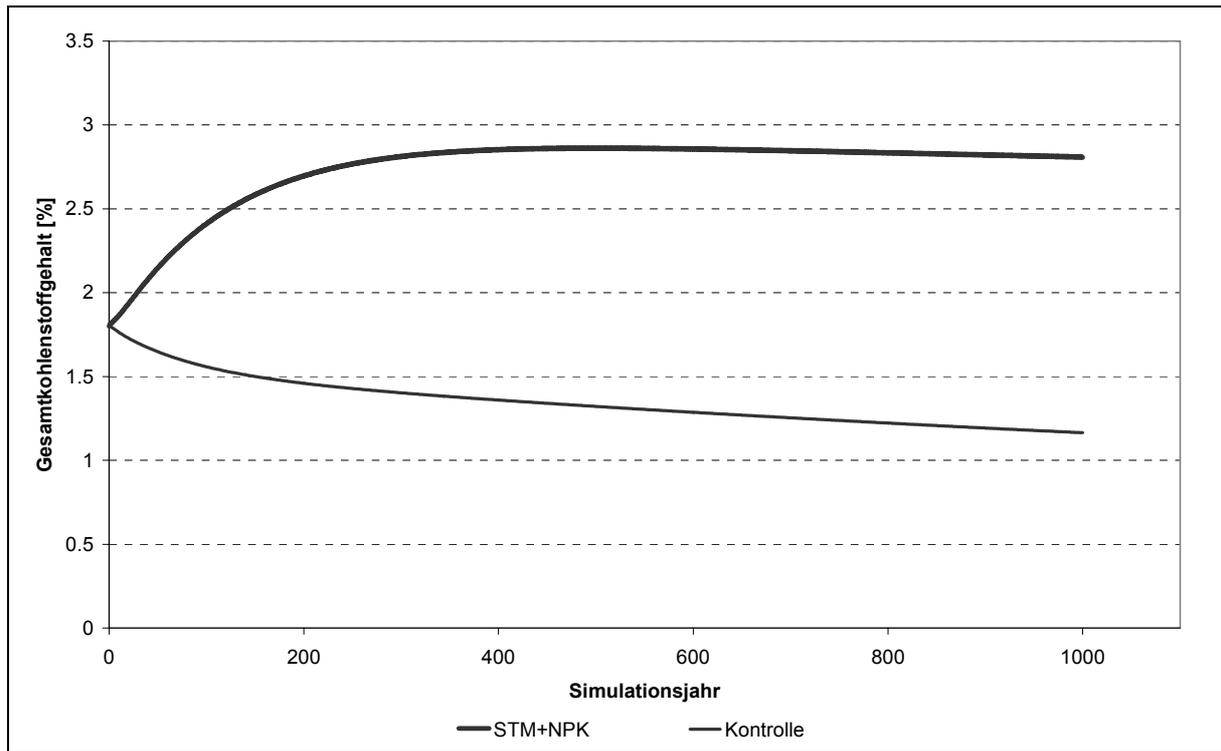


Abb. 7.1: Langzeitsimulationen vom "Statischen Dauerdüngungsversuch" Bad Lauchstädt

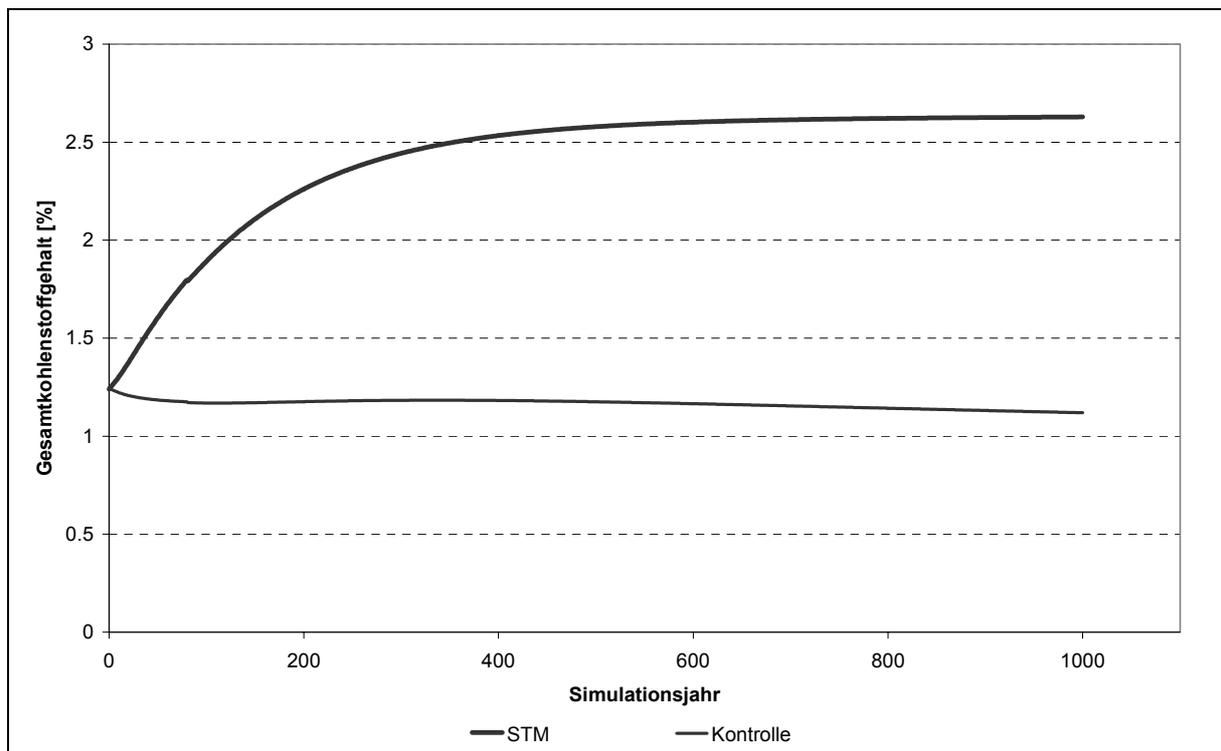


Abb. 7.2: Langzeitsimulationen vom „Ewigen Roggenbau“ Halle

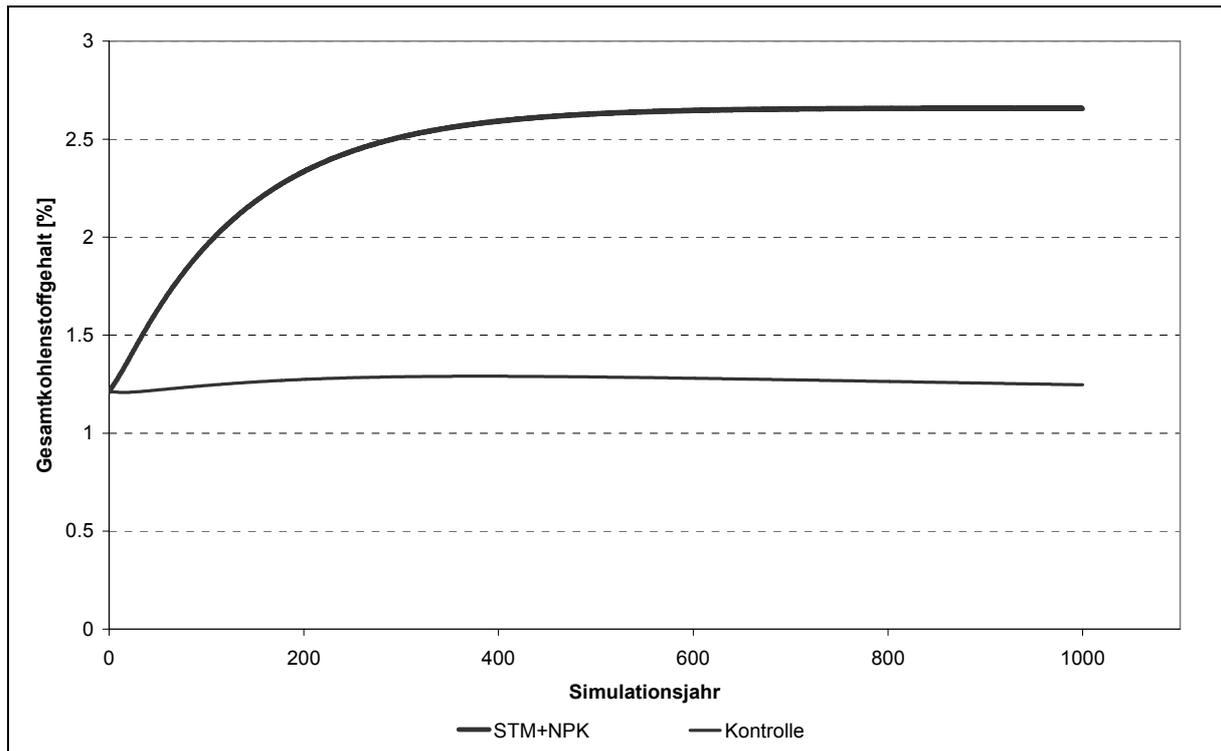


Abb. 7.3: Langzeitsimulationen vom „Versuchsfeld B“ Prag

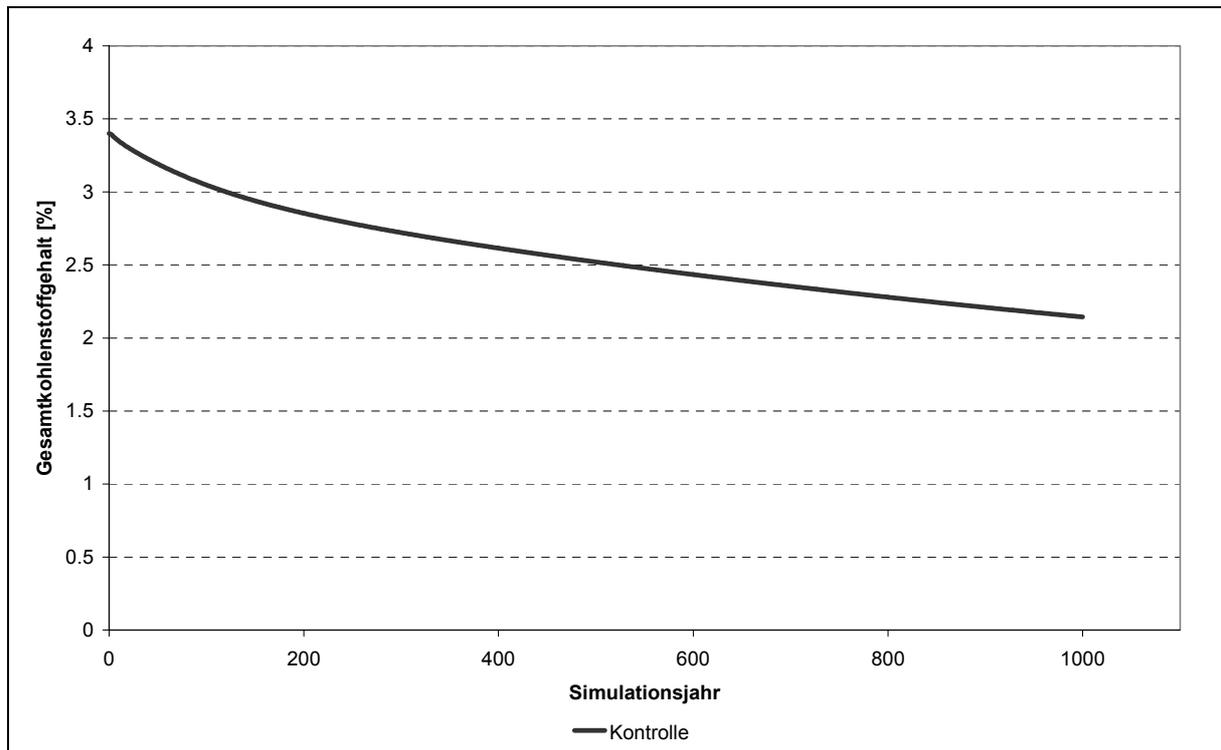


Abb. 7.4: Langzeitsimulationen vom „Grakov Versuchsfeld“ Grakov

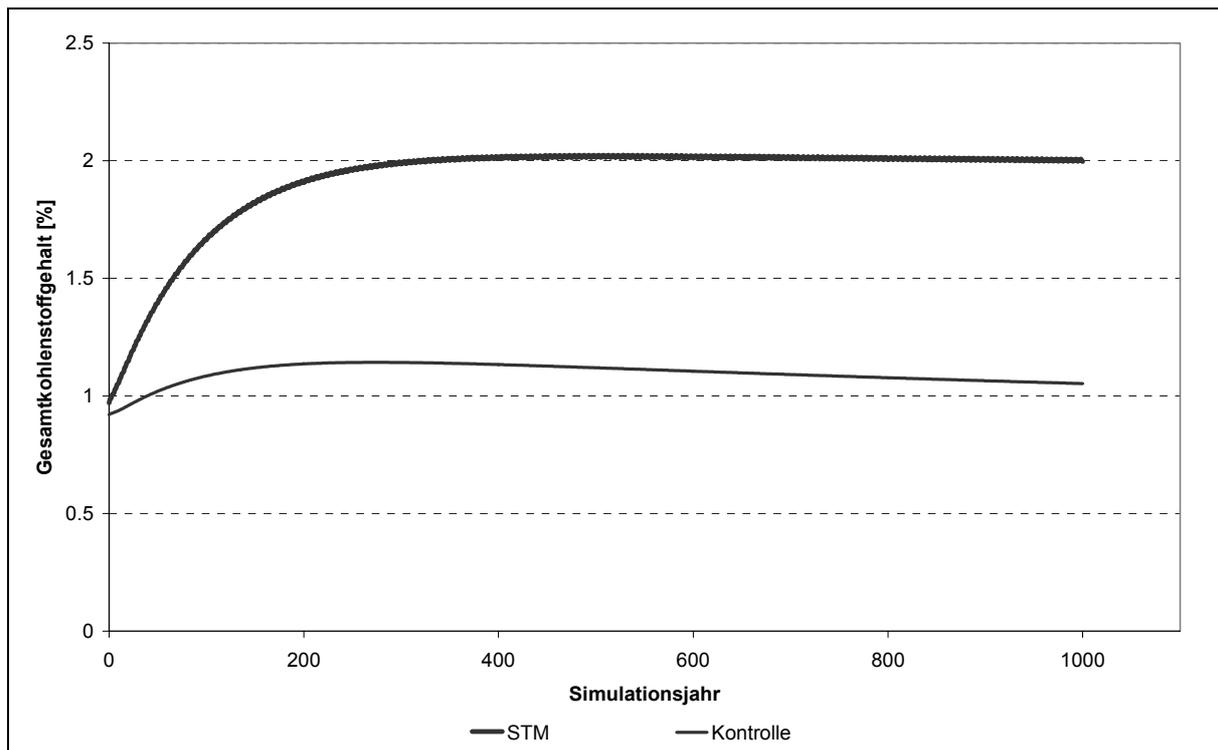


Abb. 7.5: Langzeitsimulationen vom „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely

Ein wichtiger Bodenparameter ist die TRD, da sie bei Änderung den Kohlenstoffhaushalt maßgeblich beeinflusst. Deshalb sind die Kenntnisse über die Dynamik der TRD im Verlauf eines Anbaujahres und die Spannweite der TRD-Werte auf der Fläche bzw. im Profil von besonderer Bedeutung. Die konventionelle Methode zur Bestimmung der Trockenrohddichte ist mit Entnahme von Stechzylindern sehr strukturstörend, was die häufige Messung besonders auf Versuchsfeldern unmöglich macht. Die weitgehend berührungslose Methode der TRD-Bestimmung aus Höhendifferenzen mittels Scannermessungen lassen bei genügend sichtbarer Bodenoberfläche ohne Pflanzenbestand beliebig häufige Messungen zu. Allerdings ist der Aufwand als sehr viel höher einzuschätzen, da eine Vielzahl von Daten verarbeitet werden muss. Der Vergleich der beiden Methoden zeigt eine sehr gute Übereinstimmung in den Messergebnissen.

Die Anwendung des CIPS-Modells zur Simulation des Gesamtkohlenstoffgehaltes in der STM+NPK-Variante des „Statischen Düngungsversuches“ Bad Lauchstädt unter Verwendung von unterschiedlichen TRD zeigt, dass es zu enormen Änderungen der Kohlenstoffspeicherung im Boden kommt. Daher sollte in künftigen Modellansätzen ein dynamischer TRD-Verlauf innerhalb eines Anbaujahres, tiefenabhängige TRD und Heterogenitäten der TRD auf der Fläche berücksichtigt werden. Dabei soll mit einer TRD-

Veränderung, die eine dynamische pF-Kurve bedingt, eine Neuaufteilung der Reaktionsräume einhergehen.

Insgesamt kann man dem CIPS-Modell unterstellen, dass es realitätsnahe Umsatzprozesse widerspiegelt, wobei es das Potential besitzt, weitere Mechanismen abbilden zu können, die bisher durch Modelle nicht erklärt werden konnten. Dazu zählen der unterschiedliche Kohlenstoffhaushalt in Böden mit pflugloser Bearbeitung im Gegensatz zu Böden mit konventioneller Pflugbearbeitung (ELLIOTT, 1986; GOLCHIN et al., 1994) und der auftretende Priming-Effekt bei Kohlenstoffinput (HAMER und MARSCHNER, 2005).

Um das CIPS-Modell neben der mikroskaligen Ebene auch auf der Meso- und Makroskala anwenden zu können, müssen fehlende Bodenparameter, wie PV, FK und PWP aus der Bodenart über Pedotransferfunktionen abgeleitet werden. Dazu kann der Bodengenerator von DREYHAUPT (2002) eingesetzt werden, der die Heterogenität von Modellzustandsgrößen bei der Regionalisierung abbildet.

8 Ausblick

Die bisherige ‚Laborversion‘ des C-Umsatzmodells „Carbon turnover In Pore Space“ (CIPS) ist mit Hilfe des Modellierungstools ModelMaker© realisiert. Dies bietet für die Grundlagenarbeit am Modell beste Voraussetzungen. Für die Simulation realer Szenarios mit Tagesdynamik der Umweltgrößen und der Abbildung realer Bewirtschaftungsprozesse muss das CIPS-Modul jedoch in ein komplexeres Simulationssystem eingebettet werden. Für die Integration in das Bodenmodell von CANDY wird eine Programmierung in DELPHI© erfolgen. Die entsprechenden Schnittstellen im CANDY-System werden so gestaltet, dass ein Umschalten vom bisherigen Modell auf den CIPS-Ansatz durch den Nutzer vorgenommen werden kann.

Die Aufteilung der Umsatzprozesse auf verschiedene Porenraumklassen hat sich als effizientes Mittel zur Beschreibung der C-Stabilisierung herausgestellt. Für die Anwendung des Modells in Realszenarios muss die Wirkung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf die Bodenstruktur beschrieben werden. Das CANDY Modell bietet bereits jetzt die Option, bodenphysikalische Parameter nicht als Parameter sondern als Zustandsgröße in Abhängigkeit von Textur und C_{org} zu beschreiben. Dieser Ansatz soll so erweitert werden, dass die Wirkung von Bodenbearbeitungen auf den Porenraum und das anschließende Absetzen des Bodens als dynamische Prozesse mechanistisch beschrieben werden. Dies soll zunächst für die Grundbodenbearbeitung am Standort Bad Lauchstädt erfolgen. Die dazu erforderliche Datengrundlage wurde durch entsprechende experimentelle Erhebungen gewonnen (s. Kap. 3.3) und soll durch ein erweitertes Experimentalprogramm fortgeführt werden, bei dem neben den Scannermessungen, Stechzylinderprobenahmen und Eindringwiderstandsmessungen im vierteljährlichen Rhythmus pF-Kurvenbestimmungen erfolgen sollen.

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse führt zu der Erkenntnis, dass künftige Inkubationsexperimente, die zur Verbesserung der Parametrisierung des CIPS-Modells dienen könnten, den Focus auf die Aufklärung von Stoffflüssen zwischen den Pools legen sollten. Dazu soll ein Inkubationsexperiment durchgeführt werden, bei dem die Untersuchung der Dynamik der Biomasse und die Lokalisierung von DOM im Mittelpunkt stehen.

Des Weiterem soll versucht werden weitere Stabilisierungsmechanismen, wie den Schutz vor mikrobiellen Abbau in Aggregaten, in das CIPS-Modell zu implementieren. Eine zusätzliche Verbesserung des CIPS-Modells soll mit der Möglichkeit, die Altersdynamik der einzelnen Pools abzubilden, erreicht werden.

9 Zusammenfassung

Neueste Forschungsergebnisse zeigen, dass auch hochmolekulare Kohlenstoffverbindungen von der mikrobiellen Biomasse abgebaut werden, die bisher als inert eingestuft wurden (SKJEMSTAD, 2001; GLEIXNER et al., 2002; und BRODOWSKI et al., 2003). Diese Erkenntnisse führten zu der Hypothese, dass aller Kohlenstoff im Boden umsetzbar ist und die Stabilisierung des Kohlenstoffs im Boden Folge der Lokalisierung des Kohlenstoffs in Porenräumen mit geringer biologischer Aktivität ist.

Aufgrund dieser Hypothese wurde ein neuer Modellansatz entwickelt, bei dem der Kohlenstoffumsatz mit verschiedenen Umsatzaktivitäten in den Mikro-, Meso- und Makroporen nach ihrem Grad der Wasserfüllung beschrieben wird. Die Porenraumklassen, die im Modell benutzt werden, assoziieren mit dem permanenten Welkepunkt, der nutzbaren Feldkapazität und dem Gravitationporenvolumen. Die Kohlenstoffverteilung zur Initialisierung des CIPS-Modells erfolgt nach dem Anteil der Oberfläche jeder Porenraumklasse an der Gesamtporenoberfläche.

Die verwendeten Modellpools sind die frische organische Substanz (FOM), die gelöste organische Substanz (DOM), die aktive organische Substanz (AOM), welcher mit der Biomasse assoziiert ist und die refraktäre organische Substanz (ROM). Die Pools des CIPS-Modells haben den Vorteil, dass es sich hauptsächlich um messbare Pools handelt. Nur der ROM-Pool lässt sich nicht direkt messen. Dieser errechnet sich aus der Differenz zwischen dem Corg-Gehalt und der Summe von mikrobieller Biomasse und DOM, wenn man frische organische Substanz im Boden ausschließen kann. Der DOM-Pool fungiert als Vehikel für den Stoffaustausch zwischen den Porenraumklassen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass der labile DOM-Pool einen großen Einfluss auf den langfristigen Stabilisierungsprozess des Kohlenstoffs im Boden hat.

Das neue CIPS-Modell (Carbon turnover In Pore Spaces) wurde mit der ModelMaker©-Software erstellt. Die Parameterbestimmung erfolgte, indem die Simulationswerte an die Messergebnisse der Inkubationsversuche mit DOM-Lösung (KALBITZ et al., 2003 a und b) und mit ¹⁴C-markiertem Weizenstroh (MARTENS und VOGT, 2001) und an die gemessenen Corg-Werte des Dauerversuches „Statischer Düngungsversuch“ in Bad Lauchstädt angepasst wurden. Die Validierung des CIPS-Modells erfolgte anhand verschiedener Freilandversuche. Mit der vorliegenden Laborversion des Modells lässt sich die Langzeitdynamik

unterschiedlicher Versuchsvarianten mit differenzierter Bewirtschaftung und daraus resultierendem C-Niveau eines Dauerversuches gut abbilden.

Da eine sehr geringe biologische Aktivität aufgrund der Limitierung von Sauerstoff in den Mikroporen vorherrscht, führt das zur langfristigen Festlegung von Kohlenstoff in dieser Porenraumklasse. Die Validierung des Modells hat deutlich gezeigt, dass die Abbildung der langfristigen Kohlenstoffdynamik ohne einen inerten Kohlenstoffpool möglich ist. Dies stimmt mit Versuchsergebnissen von LEAVITT et. al. (1996); SKJEMSTAD (2001) und GLEIXNER et al. (2002) überein, die keine SOM-Fraktionen mit solch hohem Alter finden konnten, die man als inert bezeichnen könnte.

Die Haupthypothese des CIPS-Modells, dass der Kohlenstoff in den Mikroporen stabilisiert ist, steht aufgrund der guten Beziehung zwischen PWP und dem Gehalt von Ton und Feinschluff im Boden nicht im Widerspruch zu allgemeinen Beziehungen zwischen der inerten Kohlenstoffmenge und der Textur, die in anderen Modellansätzen verwendet werden.

Die Porenraumverteilung ist eine entscheidende Komponente, welche den Umsatz der organischen Substanz im Boden bestimmt. Die Änderung der Trockenrohddichte innerhalb eines Bewirtschaftungsjahres bewirkt eine Neuaufteilung der Porenräume, was zu einem veränderten Kohlenstoffhaushalt führt. Bei höherer Trockenrohddichte wird bei gleichem C-Input mehr Corg im Boden akkumuliert. Diese Ergebnisse sollen als Grundlage für eine spätere Modellerweiterung dienen, in denen die Porenräume unter dem Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen im Verlauf eines Versuchsjahres dynamisch betrachtet werden.

10 Literatur

- Anderson, J. P. E. & Domsch, K. H.** (1978). A physiological method for the quantitative measurement of biological biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10, 215-221.
- AOE/FAL-Institut für Agrarökologie, B. f. L.** (2004). Schema des Kohlenstoffkreislaufs im Ackerbausystem. Internet .
(Electronic Citation: <http://www.aoe.fal.de/index.htm?page=/isotope.htm>)
- Bachmann, J.; Ellies, A. & Hartge, K. H.** (2000). Development and application of a new sessile drop contact angle method to assess soil water repellency. *Journal of Hydrology* 231-232, 66-75.
- Balesdent, J.; Chenu, C. & Balabane, M.** (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53, 215-230.
- Böhme, L.** (2004). Datenzusammenstellung "Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz" in Keszthely. (Unveröffentlichte Arbeit)
- Brodowski, S.; Amelung, W.; Haumaier, L. & Zech, W.** (2003). Morphology, origin and fate of black carbon in soils of the long-term experiments in Halle und Bad Lauchstädt, Germany. Posterpräsentation. (Poster - Unveröffentlichte Arbeit)
- Bruun, S.; Christensen, B. T.; Hansen, E. M.; Magid, J. & Jensen, L. S.** (2003). Calibration and validation of the soil organic matter dynamics of the Daisy model with data from the Askov long-term experiments. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 67-76.
- Coleman, K. & Jenkinson, D. S.** (1995). RothC-26.3 - A model for turnover of carbon in soil: Model description and users guide.
- D'Odorico, P.; Porporato, A.; Laio, F.; Ridolfi, L. & Rodriguez-Iturbe, I.** (2004). Probabilistic modeling of nitrogen and carbon dynamics in water-limited ecosystems. *Ecological Modelling* 179, 205-219.
- De Ruiter, P. C.; Neutel, A. M. & Moore, J. C.** (1998). Biodiversity in soil ecosystems: the role of energy flow and community stability. *Applied Soil Ecology* 10, 217-228.
- Denef, K.; Six, J.; Paustian, K. & Merckx, R.** (2001). Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 2145-2153.
- Dickens, G. R.** (2004). Global change: Hydrocarbon-driven warming. *Nature* 429, 513-515.
- Dreyhaupt, J.** (2002) Die Bedeutung der Heterogenität von Boden, Klima und Landnutzung für die Regionalisierung von Modellzustandsgrößen. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle. (Dissertation)

- Elliott, E. T.** (1986). Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal* 50, 627-633.
- Falloon, P.; Smith, P.; Coleman, K. & Marshall, S.** (1998). Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1207-1211.
- Franko, U.** (1989). C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanz im Boden. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften DDR, Berlin. (Dissertation B)
- Franko, U. & Oelschlägel, B.** (1993). CANDY - Carbon Nitrogen Dynamics. In: Reiner, L., Geidel, H., & Mangstl, A. (EDS.), *Agrarinformatik*. Eugen Ulmer, Stuttgart, pp. 99-110.
- Franko, U.; Oelschlagel, B. & Schenk, S.** (1995 a). Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. *Ecological Modelling* 81, 213-222.
- Franko, U.; Oelschlagel, B. & Schenk, S.** (1995 b) Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen. Sektion Bodenforschung, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH. 3/1995. 1995. Bad Lauchstädt.
- Franko, U.; Crocker, G. J.; Grace, P. R.; Klir, J.; Körschens, M.; Poulton, P. R. & Richter, D. D.** (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the CANDY model. *Geoderma* 81, 109-120.
- Franko, U.** (1997). Modellierung des Umsatzes der organischen Bodensubstanz. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 41, 527-547.
- Franko, U.** (2003). CANDY. [2.4.0.23]. (Computer Programm)
- Franko, U. & Kuka, K.** (2005). Quantifizierung des langfristig stabilisierten Kohlenstoffs unter Berücksichtigung der Bodenstruktur. (Poster - Unveröffentlichte Arbeit)
- Freytag, H.** (1980). Inerte und umsetzbare Anteile der organischen Bodensubstanz. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 24, 19-24.
- Freytag, H. E. & Lüttich, M.** (1985). Zum Einfluss der Bodenfeuchte auf die Bodenatmung unter Einbeziehung der Trockenraumdichte. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 29, 485-492.
- Fu, S.; Cabrera, M. L.; Coleman, D. C.; Kisselle, K. W.; Garrett, C. J.; Hendrix, P. F. & Crossley Jr, D. A.** (2000). Soil carbon dynamics of conventional tillage and no-till agroecosystems at Georgia Piedmont -- HSB-C models. *Ecological Modelling* 131, 229-248.
- Garz, J.; Merbach, W.; Schmidt, L.; Stumpe, H.; Beschow, H. & Büscher, W.** (1999). Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale). B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- Gleixner, G.; Poirier, N.; Bol, R. & Balesdent, J.** (2002). Molecular dynamics of organic matter in a cultivated soil. *Organic Geochemistry* 33, 357-366.

- Glugla, G.** (1969). Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses im Boden. *Albrecht-Thaer-Archiv* 13, 371-376.
- Golchin, A.; Oades, J. M.; Skjemstad, J. & Clarke, P.** (1994). Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Sci.* 32, 1043-1068.
- Guggenberger, G. & Kaiser, K.** (2003). Dissolved organic matter in soil: challenging the paradigm of sorptive preservation. *Geoderma* 113, 293-310.
- Gurevich, S. M. & Boronin, N. K.** (1969). Effect of different types of P and K fertilizers on winter wheat yield and quality parameters in accordance with different moisture conditopns of deep chernozem soils (In russ.). *Agrochemistry* 5, 3-8.
- Hamer, U. & Marschner, B.** (2005). Priming effects in different soil types induced by fructose, alanine, oxalic acid and catechol additions. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 445-454.
- Hansen, S.; Jensen, H. E.; Nielsen, N. E. & Svendsen, H.** (1990). DAISY-soil plant atmosphere system model. Copenhagen, Miljøministeriet. NPo-forskning fra Miljøstyrelsenm.
- Hansen, S.; Jensen, H. E.; Nielsen, N. E. & Svendsen, H.** (1991). Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fert. Res.* 27, 245-259.
- Hassink, J.; Neutel, A. M. & De ruiter, P. C.** (1994). C and N mineralization in sandy and loamy grassland soils: The role of microbes and microfauna. *Soil Biology and Biochemistry* 26, 1565-1571.
- Hassink, J. & Whitmore, A. P.** (1997). A model of physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal* 61, 131-139.
- Hassink, J.** (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191, 77-87.
- Hassink, J.; Whitmore, A. P. & Kubat, J.** (1997). Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. *European Journal of Agronomy* 7, 189-199.
- Henin, S. & Dupuis, M.** (1945). Essai de bilan de la matiere organique de sol. *Ann. Agromoque* 15, 17-29.
- Hunt, H. W.; Coleman, D. C.; Ingham, E. R.; Ingham, R. E.; Elliott, E. T.; Moore, J. C.; Rose, S. L.; Reid, C. P. & Morley, C. R.** (1987). The detrital food web in shortgrass prairie. *Biol. Fertil. Soils* 3, 57-68.
- Idso, S. B.** (1974). Climatic effects of increased industrial activity upon the world's established agro-ecosystems. *Agro-Ecosystems* 1, 7-17.
- IPCC; Houghton, J. T.; Jenkins, G. J. & Ephraums, J. J.** (1990). *Climate change. Cambridge, Cambridge University Press. The IPCC Scientific Assesment.*

- IPCC; Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G.; Callander, B. A.; Harris, N.; Kattenberg, A. & Maskell, K.** (1996). The science of climate change. Cambridge, Cambridge University Press. Contribution of working group 1 to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jenkinson, D. S. & Rayner, J. H.** (1977). The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* 123, 298-310.
- Jenny, H.** (1941). *Factors of Soil formation*. McGraw-Hill, New York.
- Jensen, L. S.; Mueller, T.; Nielsen, N. E.; Hansen, S.; Crocker, G. J.; Grace, P. R.; Klir, J.; Korschens, M. & Poulton, P. R.** (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the soil-plant-atmosphere model DAISY. *Geoderma* 81, 5-28.
- Kalbitz, K.; Schmerwitz, J.; Schwesig, D. & Matzner, E.** (2003 a). Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma* 113, 273-291.
- Kalbitz, K.; Schwesig, D.; Schmerwitz, J.; Kaiser, K.; Haumaier, L.; Glaser, B.; Ellerbrock, R. & Leinweber, P.** (2003 b). Changes in properties of soil-derived dissolved organic matter induced by biodegradation. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 1129-1142.
- Kartschall, T.** (1986). *Simulationsmodell der Bodenstickstoffdynamik*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften DDR, Berlin. (Dissertation)
- Klimanek, E.** (1990 a). Umsetzungsverhalten von Ernterückständen. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 34, 559-567.
- Klimanek, E.** (1990 b). Umsetzungsverhalten der Wurzeln landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 34, 569-577.
- Kleber, M.; Mertz, C.; Zikeli, S.; Knicker, H. & Jahn, R.** (2004). Changes in surface reactivity and organic matter composition of clay subfractions with duration of fertilizer deprivation. *European Journal of Soil Science* 55, 381-391.
- Koitzsch, R. & Günther, R.** (1990). Modell zur ganzjährigen Simulation der Verdunstung und der Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Nutzflächen mit und ohne Bewuchs. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 34, 803-810.
- Koitzsch, R.** (1990). *Bodenfeuchte- und Verdunstungsmodell BOWA*. Interner Bericht. FZ Müncheberg. Müncheberg.
- Kögel-Knabner, I.** (2002). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 139-162.
- Körschens, M.** (1980). *Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehung zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt an organischer Substanz*. AdL FZB Müncheberg. (Dissertation B)

- Körschens, M. & Pfefferkorn, A.** (1998). Der Statische Düngungsversuch und andere Feldversuche. Leipzig.
- Körschens, M.; Merbach, I. & Schulz, E.** (2002). 100 Jahre Statistischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.
- Kretzschmar, R.** (1996). Physikalische Verfahren der Bodenuntersuchung für kulturtechnische und meliorative Zwecke. Kiel.
- Kubat, J.; Klir, J. & Pova, D.** (2003). The dry matter yields, nitrogen uptake, and the efficacy of nitrogen fertilisation in long-term field experiments in Prague. *Plant Soil Environmental* 49, 337-345.
- Kubat, J.** (2004). Datenzusammenstellung "Prag-Ruzyně Feld B" in Prag. (Unveröffentlichte Arbeit)
- Lal, R.** (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil and Tillage Research* 43, 81-107.
- Langematz, U.; Claussnitzer, A.; Matthes, K. & Kunze, M.** (2005). The climate during the Maunder Minimum: a simulation with the Freie Universität Berlin Climate Middle Atmosphere Model (FUB-CMAM). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 67, 55-69.
- Lieberoth, I.** (1982). *Bodenkunde*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Martens, R. & Vogt, M.** (2001). Verteilung des Kohlenstoffs beim Abbau von ¹⁴C-markiertem Weizenstroh in den verschiedenen Kompartimenten eines Bodens mit unterschiedlicher Bewirtschaftung.
- Meteorologischer und Hydrologischer Dienst der DDR** (Hrsg.). *Klimatologische Normalwerte für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik: 1901-1950*, (1961). pp. 1-74. Akademischer Verlag, Potsdam.
- Metherell, A. K.; Harding, L. A.; Cole, C. V. & Parton, W. J.** (1993). CENTURY Soil organic matter model environment. Technical documentation. [Agroecosystem version 4.0]. Fort Collins, CO, USA, USDA-ARS. Great Plains System Research Unit Technical Report No. 4.
- Miller, M. & Dick, R. P.** (1995). Dynamics of soil C and microbial biomass in whole soil and aggregates in two cropping systems. *Applied Soil Ecology* 2, 253-261.
- Mitrovica, J. X.; Tamisiea, M. E.; Davis, J. L. & Milne, G. A.** (2001). Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change. *Nature* 409, 1026-1029.
- Molina, J. A.; Clapp, C. E.; Shaffer, M. J.; Chichester, F. W. & Larson, W. E.** (1983). NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformation in soil: description, calibration and behavior. *Soil Science Society of America Journal* 47, 85-91.

- Moore, J. C.; de Ruiter, P. C.; Hunt, H. W.; Coleman, D. C. & Freckman, D. W.** (1996). Microcosms and soil ecology: critical linkages between field studies and modeling food webs. *Ecology* 77, 694-705.
- Mortari, R.** (2004). A new method of stating recent sea level rises and a comparison with tide gauge records. *Global and Planetary Change* 40, 183-194.
- Needelman, B. A.; Wander, M. M.; Bollero, G. A.; Boast, C. W.; Sims, G. K. & Bullock, D. G.** (1999). Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 56, 476-488.
- Nemes, A.; Wosten, J. H. M.; Lilly, A. & Oude Voshaar, J. H.** (1999). Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases. *Geoderma* 90, 187-202.
- Nemeth, I.** (1982). Wirkung organischer und anorganischer Düngung auf Ertrag und Bodeneigenschaften. Tag. -Ber. „Akademie der Landwirtsch. -Wiss. „, Berlin 205, 97-102.
- Nemeth, I. & Hoffmann, S.** (2003). Ertragsdaten vom "Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz" in Keszthely. (Unveröffentlichte Arbeit)
- Newton, J. D.; Wyatt, F. A. & Brown, A. L.** (1945). Effects of cultivation and cropping on chemical composition of some western Canada prairie province soils. Part III. *Sci. Agric.* 25, 718-737.
- Nieder, R.; Benbi, D. K. & Isermann, K.** (2003). Soil organic matter dynamics. In: Benbi, D. K. and Nieder, R. (EDS.), *Handbook of processes and modeling in the soil-plant system*.
- Parton, W. J.; Schimel, D. S.; Cole, C. V. & Ojima, D. S.** (1987). Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal* 51, 1173-1179.
- Paustian, K.** (1994). Modelling soil biology and biochemical processes for sustainable agricultural research. Pankhurst, C. E., Doube, B. M., Gupta, V. V., and Grace, P. R. 182-193. Melbourne, CSIRO Information Service. *Soil Biota. Management in Sustainable Farming Systems*.
- Paustian, K.; Cole, C. V.; Sauerbeck, D. & Sampson, N.** (1998). CO₂ mitigation by agriculture: an overview. *Climatic change* 40, 135-162.
- Press, W. H.; Flannery, B. P.; Teukolsky, S. A. & Vetterling, W. T.** (1989). *Numerical recipes in PASCAL*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Puhlmann, M.; Kuka, K. & Franko, U.** (2004). Comparison of methods to estimate inert carbon for initializing the CANDY model. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. (eingereicht)
- Rasmussen, P. E. & Collins, H. P.** (1991). Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.* 45, 93-134.

- Rawls, W. J. & Brakensiek, D. L.** (1985). Prediction of Soil Water Properties for Hydrologic Modelling. American Society of Civil Engineers 293-299.
- Reeves, D. W.** (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil and Tillage Research 43, 131-167.
- Richter, J.** (1986). Der Boden als Reaktor. Modelle für Prozesse im Boden. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Rodionova, V.** (2004). Datenzusammenstellung "Grakov Versuchsfeld" in Grakov. (Unveröffentlichte Arbeit)
- Rover, M. & Kaiser, E. A.** (1999). Spatial heterogeneity within the plough layer: low and moderate variability of soil properties. Soil Biology and Biochemistry 31, 175-187.
- Rühlmann, J.** (1999). A new approach to estimating the pool of stable organic matter in soil using data from long-term field experiments. Plant and Soil 213, 149-160.
- Sarmiento, J. L.; Hughes, T. M. C.; Stouffer, R. J. & Manabe, S.** (1998). Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming. Nature 393, 245-249.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P.** (1992). Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schimel, D.** (1995). Climate Change 1996.
- Schliephake, W.; Garz, J.; Merbach, W.; Schmidt, L.; Stumpe, H. & Wittenmayer, L.** (2000). Exkursionsführer zu den Dauerversuchen auf dem Julius-Kühn-Feld. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Skjemstad, J.** (2001). Charcol and other resistant materials. CRC for Greenhouse Accounting. NET ECOSYSTEMS EXCHANGE, Canberra, 18-20 April 2001. 116-120. Canberra. NEE Workshop Proceedings.
- Smith, K. A.; Thomson, P. E.; Clayton, H.; McTaggart, I. P. & Conen, F.** (1998). Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. Atmospheric Environment 32, 3301-3309.
- Smith, P.; Powlson, D. S.; Glendining, M. J. & Smith, J. U.** (1997). Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. Global Change Biol. 3, 67-79.
- Suckow, F.** (1986). Ein Modell zur Berechnung der Bodentemperatur unter Brache und unter Pflanzenbestand. Akademie der Landwirtschaften der DDR, Berlin. (Dissertation)
- UNEP-United Nations Environment Programme** (2003).. The present carbon cycle - Climate change. (Electronic Citation: <http://www.grida.no/climate/vital/13.htm>)
- UNFCCC** (1992). Kyoto Protocol. New York.

- Vance, E. D.; Brookes, P. C. & Jenkinson, D. S.** (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703-707.
- Walker, H. A.** (2001). Understanding and Managing the Risks to Health and Environment from Global Atmospheric Change: A Synthesis. *Human and Ecological Risk Assessment* 7, 1195-1209.
- Williams, J.** (1978). Global energy strategies : The implications of CO₂. *Futures* 10, 293-302.
- Woodruff, C. M.** (1949). Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination in a small humid catchment. *Journal of Hydrology* 104, 111-128.

Danksagung

**Nichts wahrhaft Wertvolles erwächst aus Ehrgeiz oder bloßem Pflichtgefühl,
sondern vielmehr aus Liebe und Treue zu Menschen und Dingen.**

Albert Einstein (1879 - 1955), deutsch-US-amerikanischer Physiker, 1921

Hiermit möchte ich all denen danken, die mich während meiner Promotionszeit tatkräftig unterstützt haben und mir immer zur Seite standen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Frühauf, Institut für Geographie an der MLU Halle-Wittenberg, für die Betreuung der Promotion, das Interesse an dem Thema und die freundliche Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Schwerpunktprogrammes „Böden als Quelle und Senke für CO₂-Mechanismen und Regulation der Stabilisierung organischer Substanz in Böden“ angefertigt. Allen Mitarbeitern sei für die gute Zusammenarbeit, die freundliche Überlassung von Daten und konstruktive Diskussion gedankt. Der DFG möchte ich für die Finanzierung des Forschungsvorhabens danken. Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. Bachmann, Institut für Bodenkunde an der Universität Hannover, für das Interesse an dieser Arbeit.

Ganz herzlichen Dank möchte ich meinem Betreuer am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle Herrn Dr. Franko sagen, der mich über die ganze Zeit hervorragend unterstützt hat. Die produktiven Streitgespräche, die wir zusammen führten und die intensive Zusammenarbeit haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Das angenehme Arbeitsklima in der Arbeitsgruppe „Modellierung und Regionalisierung“ des Departments Bodenforschung unter Leitung von Herrn Dr. Franko wirkten sich positiv auf die Fertigstellung dieser Arbeit aus. Es sei allen Mitarbeitern ganz herzlich dafür gedankt. Für die laufende Beratung, Diskussionsbereitschaft und Durchsicht der Arbeit sei Frau Dr. Puhmann mein besonderer Dank ausgesprochen. Den jetzigen und ehemaligen Doktoranden Sylvia Morgenstern, Ina Prutzer, Jens Dreyhaupt und Thomas Schmidt möchte ich für die gegenseitige Hilfsbereitschaft danken. Sylvia und Ina sei besonders für die Korrektur-

vorschläge gedankt. Frau Schmögner und Frau Petersohn danke ich für sofortige Hilfestellungen bei meinen Anliegen.

Ich danke Bernd Herrmann für die Unterstützung bei software- und hardwaretechnischen Problemen.

Meinen Eltern, die leider nicht mehr bei mir sind, möchte ich dafür danken, dass sie mir den Weg in die Wissenschaft geebnet haben.

Ein außerordentliches Dankeschön an meinen Lebensgefährten Thomas Viehweger, der mir mit Rat und Tat zur Seite stand. Ohne seine Unterstützung wäre die Fertigstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Meinen beiden Kindern Josefine Frederike Kuka und Leonie Charlotte Kuka möchte ich ein ganz großes Dankeschön aussprechen, dass sie mir immer so viel Freude machen. Zu Hause konnte ich durch meine Familie von der Arbeit völlig abschalten und so den nötigen Abstand gewinnen. Meinen Schwiegereltern Marlies und Uwe Viehweger möchte ich für die große Hilfe bei der Betreuung meiner Kinder und für die Durchsicht der Arbeit danken. Meinem Schwager Frank Viehweger sei auch für das Korrekturlesen gedankt. Und zuletzt möchte ich ebenso meiner Nachbarin und guten Freundin Erna Stahr danken, dass sie immer für Josi und Leonie da ist, wenn die Wissenschaft Überstunden verlangt.

ANHANG

| | |
|-----------------|--|
| Anhang A | Experimentaldaten der Inkubationsversuche.....1 |
| Anhang B | Bodenparameter.....3 |
| Anhang C | Texturumrechnung Versuchsstandort Grakov.....5 |
| Anhang D | Fehldaten Management Bad Lauchstädt.....6 |
| Anhang E | POF (Porenoberfläche)-Programm.....9 |
| Anhang F | Managementdaten aller Freilandversuche.....13 |
| Anhang G | Dichtedynamik.....48 |
| Anhang H | Höhenprofile.....49 |
| Anhang I | Rasterkarten.....54 |
| Anhang J | Brooks-Corey Parameter.....67 |
| Anhang K | Bodenprofile Dichtedynamik.....68 |

Anhang A

Experimentaldaten der Inkubationsversuche

Tabellenverzeichnis:

| | |
|--|---|
| Tabelle 1: Messwerte des Inkubationsexperimentes vom DOM-Abbau (KALBITZ et al., 2003 a und b)..... | 1 |
| Tabelle 2: Messwerte vom Inkubationsexperiment mit ¹⁴ C-markiertem Weizenstroh (MARTENS und VOGT, 2001)..... | 2 |

Tabelle 2: Messwerte des Inkubationsexperimentes vom DOM-Abbau
(KALBITZ et al., 2003 a und b)

| Versuchsdauer [d] | DOM-Mineralisation [%] |
|------------------------------------|---|
| 0 | 0.0 |
| 1 | 7.4 |
| 3 | 11.0 |
| 6 | 17.1 |
| 8 | 21.7 |
| 10 | 22.0 |
| 13 | 22.1 |
| 16 | 23.5 |
| 20 | 23.5 |
| 23 | 23.7 |
| 27 | 25.0 |
| 30 | 26.2 |
| 34 | 26.3 |
| 49 | 26.8 |
| 59 | 29.9 |
| 70 | 30.8 |
| 87 | 31.8 |

Tabelle 3: Messwerte vom Inkubationsexperiment mit ^{14}C -markiertem Weizenstroh (MARTENS und VOGT, 2001)

| Versuchsdauer | $^{14}\text{C}\text{-CO}_2$ | Versuchsdauer | $^{14}\text{C DOM}$ | $^{14}\text{C Biomasse}$ |
|---------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| [d] | [$\mu\text{gC/gBoden}$] | [d] | [$\mu\text{gC/gBoden}$] | [$\mu\text{gC/gBoden}$] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 152.32 | 28 | 6.4 | 151.8 |
| 14 | 205.26 | 56 | 4.2 | 110.9 |
| 21 | 232.03 | 84 | 2.9 | 105.3 |
| 28 | 246.23 | 112 | 3.6 | 99.1 |
| 35 | 256.55 | 168 | 2.9 | 103.3 |
| 42 | 264.63 | 224 | 3.2 | 77.2 |
| 49 | 271.18 | 280 | 2.1 | 98.1 |
| 56 | 276.58 | 336 | 1.3 | 92.6 |
| 63 | 281.26 | 392 | 1.7 | 80.2 |
| 70 | 285.61 | | | |
| 77 | 289.53 | | | |
| 84 | 293.14 | | | |
| 91 | 296.27 | | | |
| 98 | 299.11 | | | |
| 105 | 301.69 | | | |
| 112 | 304.15 | | | |
| 119 | 306.45 | | | |
| 126 | 308.63 | | | |
| 133 | 310.63 | | | |
| 140 | 312.55 | | | |
| 147 | 314.36 | | | |
| 154 | 316.11 | | | |
| 161 | 317.83 | | | |
| 168 | 319.42 | | | |
| 175 | 320.99 | | | |
| 182 | 322.52 | | | |
| 189 | 323.97 | | | |
| 196 | 325.42 | | | |
| 203 | 326.83 | | | |
| 210 | 328.24 | | | |
| 217 | 329.58 | | | |
| 224 | 330.91 | | | |
| 231 | 332.36 | | | |
| 238 | 333.81 | | | |
| 245 | 335.31 | | | |
| 252 | 336.81 | | | |
| 259 | 338.37 | | | |
| 266 | 339.92 | | | |
| 273 | 341.49 | | | |
| 280 | 343.05 | | | |
| 287 | 344.58 | | | |
| 294 | 346.11 | | | |
| 301 | 347.56 | | | |
| 308 | 349.02 | | | |
| 315 | 350.46 | | | |
| 322 | 351.90 | | | |
| 329 | 353.34 | | | |
| 336 | 354.78 | | | |
| 343 | 356.16 | | | |
| 350 | 357.53 | | | |
| 357 | 358.82 | | | |
| 364 | 360.11 | | | |
| 371 | 361.34 | | | |
| 378 | 362.57 | | | |
| 385 | 363.78 | | | |
| 392 | 364.99 | | | |

Anhang B

Bodenparameter

Tabellenverzeichnis:

| | |
|---|---|
| Tabelle 1: Bodenparameter vom „Statischen Düngungsversuch“ in Bad Lauchstädt | 3 |
| Tabelle 2: Bodenparameter vom „Ewigen Roggenbau“ in Halle | 3 |
| Tabelle 3: Bodenparameter vom „Prag-Ruzyně Feld B“ in Prag..... | 3 |
| Tabelle 4: Bodenparameter vom „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov | 4 |
| Tabelle 5: Bodenparameter vom „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely..... | 4 |

Tabelle 4: Bodenparameter vom „Statischen Düngungsversuch“ in Bad Lauchstädt

| Bodenparameter | S1 | S2 | S3 |
|--|------|------|------|
| Endtiefe Horizont [dm] | 3 | 6 | 20 |
| Gepflügt | X | - | - |
| Hydromorph | - | - | - |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn [%] | 1.8 | 1.0 | 0.15 |
| Trockenrohddichte [g/cm ³] | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| Trockensubstanzdichte [g/cm ³] | 2.56 | 2.56 | 2.56 |
| Feldkapazität [Vol%] | 31 | 27 | 27 |
| Permanenter Welkepunkt [Vol%] | 12.6 | 12.6 | 12.6 |
| FAT [%] | 28.1 | 28.1 | 28.1 |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn [kg/ha] | 10 | 5 | 5 |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/d] | 277 | 341 | 345 |

Tabelle 5: Bodenparameter vom „Ewigen Roggenbau“ in Halle

| Bodenparameter | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|--|-------|------|------|------|------|------|
| Endtiefe Horizont [dm] | 3 | 4 | 8 | 11 | 15 | 19 |
| Gepflügt | X | - | - | - | - | - |
| Hydromorph | - | - | - | - | - | - |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn [%] | 1.24 | 1.19 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| Trockenrohddichte [g/cm ³] | 1.57 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Trockensubstanzdichte [g/cm ³] | 2.56 | 2.56 | 2.56 | 2.56 | 2.56 | 2.56 |
| Feldkapazität [Vol%] | 26.25 | 25.2 | 22.2 | 24.8 | 24 | 23.5 |
| Permanenter Welkepunkt [Vol%] | 8.15 | 11.8 | 10.8 | 12.2 | 11.7 | 12.8 |
| FAT [%] | 13 | 16.9 | 15.1 | 25.5 | 27.7 | 26.2 |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn [kg/ha] | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/d] | 548 | 445 | 583 | 420 | 439 | 470 |

Tabelle 6: Bodenparameter vom „Prag-Ruzyně Feld B“ in Prag

| Bodenparameter | S1 | S2 | S3 |
|--|------|------|------|
| Endtiefe Horizont [dm] | 3 | 6 | 20 |
| Gepflügt | X | - | - |
| Hydromorph | - | - | - |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn [%] | 2.65 | n.b. | n.b. |
| Trockenrohddichte [g/cm ³] | 1.18 | 1.42 | 1.2 |
| Trockensubstanzdichte [g/cm ³] | 2.5 | 2.55 | 2.55 |
| Feldkapazität [Vol%] | 36 | 30 | 25 |
| Permanenter Welkepunkt [Vol%] | 14 | 14 | 14 |
| FAT [%] | 43 | 43 | 43 |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn [kg/ha] | 4 | 1 | 1 |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/d] | 286 | 243 | 475 |

Tabelle 7: Bodenparameter vom „Grakov Versuchsfeld“ in Grakov

| Bodenparameter | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Endtiefe Horizont [dm] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Gepflügt | X | X | X | - | - | - | - | - |
| Hydromorph | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn [%] | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 2.3 | 2.3 |
| Trockenrohddichte [g/cm ³] | 1.05 | 1.16 | 1.05 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.22 | 1.22 |
| Trockensubstanzdichte [g/cm ³] | 2.63 | 2.68 | 2.63 | 2.68 | 2.68 | 2.68 | 2.69 | 2.69 |
| Feldkapazität [Vol%] | 30 | 30 | 30 | 27.2 | 27.2 | 27.2 | 26.5 | 26.5 |
| Permanenter Welkepunkt [Vol%] | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.2 | 13.2 | 13.2 | 13.5 | 13.5 |
| FAT [%] | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 53.2 | 53.2 | 54.5 | 54.5 | 54.5 |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn [kg/ha] | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2 | 2 |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/d] | 1598 | 1598 | 1598 | 1580 | 1580 | 1545 | 1474 | 1474 |

| Bodenparameter | S9 | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 | S15 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Endtiefe Horizont [dm] | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Gepflügt | - | - | - | - | - | - | - |
| Hydromorph | - | - | - | - | - | X | - |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn [%] | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.9 |
| Trockenrohddichte [g/cm ³] | 1.22 | 1.22 | 1.22 | 1.22 | 1.24 | 1.24 | 1.33 |
| Trockensubstanzdichte [g/cm ³] | 2.69 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.72 | 2.72 |
| Feldkapazität [Vol%] | 26.5 | 25.4 | 25.4 | 25.4 | 24.2 | 24.2 | 23 |
| Permanenter Welkepunkt [Vol%] | 13.5 | 12 | 12 | 12 | 12.7 | 12.7 | 12.5 |
| FAT [%] | 54.5 | 49.9 | 49.9 | 49.9 | 48.2 | 48.3 | 48.3 |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn [kg/ha] | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/d] | 1474 | 1341 | 1341 | 1341 | 1405 | 1405 | 1795 |

Tabelle 8: Bodenparameter vom „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ in Keszthely

| Bodenparameter | S1 | S2 | S3 |
|--|-------|-------|------|
| Endtiefe Horizont [dm] | 3 | | |
| Gepflügt | X | - | - |
| Hydromorph | - | - | - |
| C _{org} -Gehalt zu Simulationsbeginn [%] | 0.92 | 0.66 | 0.8 |
| Trockenrohddichte [g/cm ³] | 1.45 | 1.43 | 1.5 |
| Trockensubstanzdichte [g/cm ³] | 2.65 | 2.65 | 2.65 |
| Feldkapazität [Vol%] | 30.45 | 29.5 | 29.5 |
| Permanenter Welkepunkt [Vol%] | 13.06 | 13.35 | 13.5 |
| FAT [%] | 35.9 | 27.8 | 27.8 |
| min. Stickstoffgehalt zu Simulationsbeginn [kg/ha] | 2 | 2 | 2 |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/d] | 393 | 396 | 333 |

Anhang C

Texturumrechnung Versuchsstandort Grakov

Tabellenverzeichnis:

| | |
|--|---|
| Tabelle 1: Berechnung der Texturklassen des deutschen Systems aus russischem System für den Boden des „Grakov Versuchsfeldes“ in Grakov | 5 |
|--|---|

Tabelle 9: Berechnung der Texturklassen des deutschen Systems aus russischem System nach Gleichung 6.9 (s. Kap. 6.3) für den Boden des „Grakov Versuchsfeldes“ in Grakov

| Texturklasse | Durchmesser | Menge | Durchmesser | Menge | Menge |
|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | (russisches System) | (russisches System) | (deutsches System) | (deutsches System) | (deutsches System) |
| | [mm] | Summen[%] | [mm] | Summen[%] | [%] |
| Ton | 0.001 | 30.33 | 0.002 | 38.9 | 38.88 |
| Feinschluff | 0.005 | 50.19 | 0.0063 | 53.8 | 14.91 |
| Mittelschluff | 0.01 | 61.00 | 0.02 | 74.6 | 20.83 |
| Grobschluff | 0.05 | 92.63 | 0.063 | 93.6 | 18.99 |
| Feinsand | 0.25 | 99.48 | 0.2 | 98.5 | 4.92 |
| Mittelsand | 1 | 100 | 0.63 | 99.8 | 1.30 |
| Grobsand | | | 2 | 100.0 | 0.17 |

Anhang D

Fehldaten Management Bad Lauchstädt vor 1956

Schlaghälfte (SH) 2 Volldüngungs- (P1) und Nullparzelle (P18)

Tabellenverzeichnis:

| | |
|---|---|
| Tabelle 1: Fehldaten Aufgang Kartoffel | 6 |
| Tabelle 2: Fehldaten Aufgang Sommergerste | 6 |
| Tabelle 3: Fehldaten Aufgang Winterweizen..... | 6 |
| Tabelle 4: Fehldaten Aufgang Zuckerrübe..... | 6 |
| Tabelle 5: Fehldaten Ernte Kartoffel..... | 7 |
| Tabelle 6: Fehldaten Ernte Sommergerste | 7 |
| Tabelle 7: Fehldaten Ernte Winterweizen..... | 7 |
| Tabelle 8: Fehldaten Ernte Zuckerrübe | 7 |

- Aufgang und Erntetermine (SH2 P1 und P18)

Tabelle 10: Fehlzeiten Aufgang Kartoffel

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 25.05.1909 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1913 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1917 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1921 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1925 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1929 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1933 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1941 | Aufgang | Kartoffel |
| 25.05.1945 | Aufgang | Kartoffel |

Tabelle 11: Fehlzeiten Aufgang Sommergerste

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 15.04.1908 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1912 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1916 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1920 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1924 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1928 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1932 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1940 | Aufgang | Sommergerste |
| 15.04.1944 | Aufgang | Sommergerste |

Tabelle 12: Fehlzeiten Aufgang Winterweizen

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 31.10.1909 | Aufgang | Winterweizen |
| 31.10.1913 | Aufgang | Winterweizen |
| 31.10.1917 | Aufgang | Winterweizen |
| 31.10.1921 | Aufgang | Winterweizen |
| 31.10.1925 | Aufgang | Winterweizen |
| 31.10.1929 | Aufgang | Winterweizen |

Tabelle 13: Fehlzeiten Aufgang Zuckerrübe

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 01.05.1907 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1911 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1915 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1919 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1923 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1927 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1931 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1939 | Aufgang | Zuckerrübe |
| 01.05.1943 | Aufgang | Zuckerrübe |

Tabelle 14: Fehldaten Ernte Kartoffel

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 30.09.1909 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1913 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1917 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1921 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1925 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1929 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1933 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1941 | Ernte | Kartoffel |
| 30.09.1945 | Ernte | Kartoffel |

Tabelle 15: Fehldaten Ernte Sommergerste

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 01.08.1908 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1912 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1916 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1920 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1924 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1928 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1932 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1940 | Ernte | Sommergerste |
| 01.08.1944 | Ernte | Sommergerste |

Tabelle 16: Fehldaten Ernte Winterweizen

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 05.08.1910 | Ernte | Winterweizen |
| 05.08.1914 | Ernte | Winterweizen |
| 05.08.1918 | Ernte | Winterweizen |
| 05.08.1922 | Ernte | Winterweizen |
| 05.08.1926 | Ernte | Winterweizen |
| 05.08.1930 | Ernte | Winterweizen |

Tabelle 17: Fehldaten Ernte Zuckerrübe

| DATUM | Aktion | Frucht |
|--------------|---------------|---------------|
| 01.11.1907 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1911 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1915 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1919 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1923 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1927 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1931 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1939 | Ernte | Zuckerrübe |
| 01.11.1943 | Ernte | Zuckerrübe |

- Mineralische N-Dünger (alle bis 1951) (SH2 P1)

| | |
|-----------------|------------------|
| zu Winterweizen | 15.10. (Vorjahr) |
| zu Sommergerste | 01.04. |
| zu Kartoffel | 10.04. |
| zu Zuckerrübe | 18.04. |

- Bodenbearbeitung (bis 1954) (SH2 P1 und P18)

1d nach Stallmistgabe vor Kartoffel und Zuckerrübe
vor Winterweizen 01.10. (Ausnahme 14.10.1949)
vor Sommergerste 15.11.

- Stallmistausbringung (SH2 P1)

01.10.1920
01.10.1924
01.10.1926
01.10.1928

Anhang E

POF (Porenoberfläche)-Programm

Verzeichnisse:

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Programmoberfläche POF | 9 |
| Schema 1: Quelltext vom POF-Programm..... | 10 |

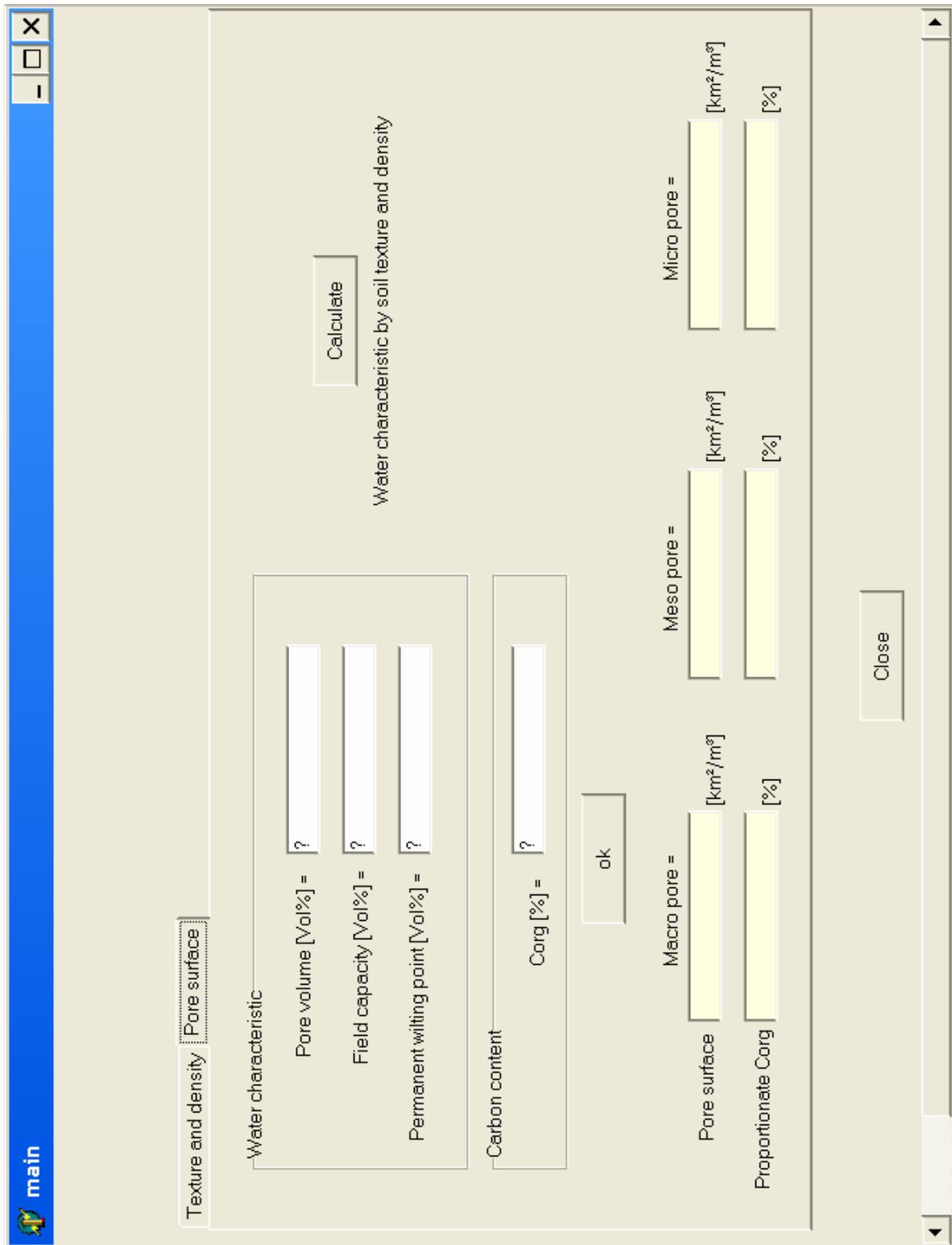


Abb. 6: Programmoberfläche POF

Schema 1: Quelltext vom POF-Programm

```
unit pof1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ComCtrls;

type
  Tfrm_pof1 = class(TForm)
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    pF: TTabSheet;
    GroupBox1: TGroupBox;
    edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Label3: TLabel;
    ListBox1: TListBox;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Button1: TButton;
    Edit4: TEdit;
    Label4: TLabel;
    Edit5: TEdit;
    Label5: TLabel;
    Edit7: TEdit;
    GroupBox4: TGroupBox;
    Edit8: TEdit;
    Edit9: TEdit;
    Edit10: TEdit;
    Porevolume: TLabel;
    Button3: TButton;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Edit11: TEdit;
    Edit12: TEdit;
    Edit13: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Button4: TButton;
    Calculate: TButton;
    Label15: TLabel;
    Edit14: TEdit;
    Edit15: TEdit;
    Edit16: TEdit;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    ok: TButton;
    GroupBox3: TGroupBox;
    Edit6: TEdit;
    Label6: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure CalculateClick(Sender: TObject);
    procedure okClick(Sender: TObject);

  private
    { Private-Deklarationen }
  public
    { Public-Deklarationen }
    T, //Clay
    UF, //Silt fine
    UM, //Silt medium
    BD, //Bulkdensity
```

```

MD, //Mineraldensity
PV, //Pore volume
FC, //Field capacity
PW, //Permanent wilting point
Amac, //surface macro pore
Ames, //surface meso pore
Amic, //surface micro pore
Cmac,Cmes, Cmic:real;
Corg: real; //carbon content
procedure calculate1(T,UF,UM: real; var y:real);
procedure calculate2(PV,FC,PW: real; var Amac, Ames, Amic:real);
procedure calculate3(T,UF,UM,BD,MD: real; var PVc, FCc, PWc:real);
procedure calculate4(Amac,Ames,Amic,Corg: real);
end;

var
  frm_pof1: Tfrm_pof1;

implementation

{$R *.DFM}

procedure Tfrm_pof1.calculate1(T,UF,UM: real; var y:real);
begin
  y:=T+UF+UM;
end;

procedure Tfrm_pof1.Button1Click(Sender: TObject);
var x: real;
begin

  T:= strtofloat(edit1.text);
  UF:= strtofloat(edit2.text);
  UM:= strtofloat(edit3.text);
  {
  X:=T+UF+UM ;
  }

  calculate1(T,UF,UM, x);

edit7.text:=(floattostr(x));
  Listbox1.Items.Add(floattostr(x));

end;

procedure Tfrm_pof1.calculate2(PV,FC,PW: real; var Amac, Ames, Amic:real);
begin
  Amac:= 2*(PV-FC)/(500);
  Ames:= 2*(FC-PW)/10;
  Amic:= 2*PW/5;
end;

procedure Tfrm_pof1.Button4Click(Sender: TObject);
var Amac, Ames, Amic: real;
begin
  PV:= strtofloat(edit8.text);
  FC:= strtofloat(edit9.text);
  PW:= strtofloat(edit10.text);
  Corg:= strtofloat(edit6.text);
  { Amac:= 2*(PV-FK)/(500);
  Ames:= 2*(FK-PW)/10;
  Amic:= 2*PW/5;}

  calculate2(PV,FC,PW,Amac,Ames,Amic);

edit11.text:=(floattostr(Amac));
edit12.text:=(floattostr(Ames));
edit13.text:=(floattostr(Amic));

  calculate4(Amac,Ames,Amic,Corg);

edit14.text:=(floattostr(Cmac));
edit15.text:=(floattostr(Cmes));

```

```
edit16.text:=(floattostr(Cmic));
end;

procedure Tfrm_pof1.calculate4(Amac,Ames,Amic,Corg: real);
begin
  Cmac:= Amac/(Amac+Ames+Amic)*Corg;
  Cmes:= Ames/(Amac+Ames+Amic)*Corg;
  Cmic:= Amic/(Amac+Ames+Amic)*Corg;
end;

procedure Tfrm_pof1.CalculateClick(Sender: TObject);
begin
  pageControl1.ActivePageIndex:=0;
end;

procedure Tfrm_pof1.calculate3(T,UF,UM,BD,MD: real; var PVc,FCc,PWc:real);
begin
  PVc:=(1-BD/MD)*100;
  if (T+UF+UM)<22 then FCc:=3.5+0.85*(T+UF+UM)
    else if (T+UF+UM)<=60 then FCc:=11+0.52*(T+UF+UM)
    else application.messagebox('texture out of range','error',MB_ok);
  PWc:=1.23+0.74*T;
end;

procedure Tfrm_pof1.okClick(Sender: TObject);
var PVc,FCc,PWc:real;
begin
  T:= strtfloat(edit1.text);
  UF:= strtfloat(edit2.text);
  UM:= strtfloat(edit3.text);
  BD:= strtfloat(edit4.text);
  MD:= strtfloat(edit5.text);

  {PVc:=(1-BD/MD)*100;
  FCc:=11+0,52*(T+UF+UM);
  PWc:=1,23+0,74*T;};

  calculate3(T,UF,UM,BD,MD,PVc,FCc,PWc);

  edit8.text:=(floattostr(PVc));
  edit9.text:=(floattostr(FCc));
  edit10.text:=(floattostr(PWc));

  pageControl1.ActivePageIndex:=1

end;

procedure Tfrm_pof1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  close;
end;

end.
```

Anhang F

Managementdaten aller Freilandversuche

Tabellenverzeichnis:

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Managementdaten Kontrollvariante „Statischer Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt | 13 |
| Tabelle 2: Managementdaten Volldüngungsvariante „Statischer Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt | 17 |
| Tabelle 3: Managementdaten Kontrollvariante „Ewiger Roggenbau“ Halle | 23 |
| Tabelle 4: Managementdaten Stallmistvariante „Ewiger Roggenbau“ Halle | 28 |
| Tabelle 5: Managementdaten Kontrollvariante „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag | 35 |
| Tabelle 6: Managementdaten STM+NPK-Variante „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag | 38 |
| Tabelle 7: Managementdaten Kontrollvariante „Grakov Versuchsfeld“ Grakov | 42 |
| Tabelle 8: Managementdaten Kontrollvariante „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely | 44 |
| Tabelle 9: Managementdaten Stallmistvariante „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely | 46 |

Tabelle 18: Managementdaten Kontrollvariante „Statischer Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|------------------|-------|-------|
| 16.11.1902 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1903 | emergence | sugar beet | 295.2 | dt/ha |
| 01.11.1903 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 295.2 | dt/ha |
| 15.11.1903 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1904 | emergence | spring barley | 24.2 | dt/ha |
| 01.08.1904 | harvest, crop res. removed | spring barley | 24.2 | dt/ha |
| 08.03.1905 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1905 | emergence | potato | 189.5 | dt/ha |
| 30.09.1905 | harvest, crop res. removed | potato | 189.5 | dt/ha |
| 01.10.1905 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1905 | emergence | winter wheat | 32.2 | dt/ha |
| 05.08.1906 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 32.2 | dt/ha |
| 03.11.1906 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1907 | emergence | sugar beet | 347.4 | dt/ha |
| 01.11.1907 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 347.4 | dt/ha |
| 15.11.1907 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1908 | emergence | spring barley | 23.1 | dt/ha |
| 01.08.1908 | harvest, crop res. removed | spring barley | 23.1 | dt/ha |
| 18.09.1908 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1909 | emergence | potato | 136.5 | dt/ha |
| 30.09.1909 | harvest, crop res. removed | potato | 136.5 | dt/ha |
| 01.10.1909 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1909 | emergence | winter wheat | 33.9 | dt/ha |
| 05.08.1910 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 33.9 | dt/ha |
| 07.10.1910 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1911 | emergence | sugar beet | 82.2 | dt/ha |
| 01.11.1911 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 82.2 | dt/ha |
| 15.11.1911 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1912 | emergence | spring barley | 26 | dt/ha |
| 01.08.1912 | harvest, crop res. removed | spring barley | 26 | dt/ha |
| 20.09.1912 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1913 | emergence | potato | 52 | dt/ha |
| 30.09.1913 | harvest, crop res. removed | potato | 52 | dt/ha |
| 01.10.1913 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1913 | emergence | winter wheat | 21.7 | dt/ha |
| 05.08.1914 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 21.7 | dt/ha |
| 22.11.1914 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1915 | emergence | sugar beet | 320.2 | dt/ha |
| 01.11.1915 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 320.2 | dt/ha |
| 15.11.1915 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1916 | emergence | spring barley | 14.4 | dt/ha |
| 01.08.1916 | harvest, crop res. removed | spring barley | 14.4 | dt/ha |
| 29.11.1916 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1917 | emergence | potato | 111 | dt/ha |
| 30.09.1917 | harvest, crop res. removed | potato | 111 | dt/ha |
| 01.10.1917 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1917 | emergence | winter wheat | 43.4 | dt/ha |
| 05.08.1918 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 43.4 | dt/ha |
| 11.01.1919 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1919 | emergence | sugar beet | 219.6 | dt/ha |
| 01.11.1919 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 219.6 | dt/ha |
| 15.11.1919 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1920 | emergence | spring barley | 17.6 | dt/ha |
| 01.08.1920 | harvest, crop res. removed | spring barley | 17.6 | dt/ha |
| 02.10.1920 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1921 | emergence | potato | 78.8 | dt/ha |
| 30.09.1921 | harvest, crop res. removed | potato | 78.8 | dt/ha |
| 01.10.1921 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1921 | emergence | winter wheat | 23.7 | dt/ha |
| 05.08.1922 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 23.7 | dt/ha |
| 23.12.1922 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1923 | emergence | sugar beet | 234.4 | dt/ha |
| 01.11.1923 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 234.4 | dt/ha |
| 15.11.1923 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1924 | emergence | spring barley | 15.5 | dt/ha |
| 01.08.1924 | harvest, crop res. removed | spring barley | 15.5 | dt/ha |
| 02.10.1924 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1925 | emergence | potato | 71.2 | dt/ha |
| 30.09.1925 | harvest, crop res. removed | potato | 71.2 | dt/ha |
| 01.10.1925 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1925 | emergence | winter wheat | 23.2 | dt/ha |
| 05.08.1926 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 23.2 | dt/ha |
| 02.10.1926 | soil tillage | unspez | 30 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|---------------|-------|-------|
| 01.05.1927 | emergence | sugar beet | 160.5 | dt/ha |
| 01.11.1927 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 160.5 | dt/ha |
| 15.11.1927 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1928 | emergence | spring barley | 21.5 | dt/ha |
| 01.08.1928 | harvest, crop res. removed | spring barley | 21.5 | dt/ha |
| 02.10.1928 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1929 | emergence | potato | 81.7 | dt/ha |
| 30.09.1929 | harvest, crop res. removed | potato | 81.7 | dt/ha |
| 01.10.1929 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.10.1929 | emergence | winter wheat | 19.6 | dt/ha |
| 05.08.1930 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 19.6 | dt/ha |
| 16.09.1930 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1931 | emergence | sugar beet | 206.4 | dt/ha |
| 01.11.1931 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 206.4 | dt/ha |
| 15.11.1931 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1932 | emergence | spring barley | 16.9 | dt/ha |
| 01.08.1932 | harvest, crop res. removed | spring barley | 16.9 | dt/ha |
| 18.09.1932 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1933 | emergence | potato | 104.9 | dt/ha |
| 30.09.1933 | harvest, crop res. removed | potato | 104.9 | dt/ha |
| 01.10.1933 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 09.11.1933 | emergence | winter wheat | 25.4 | dt/ha |
| 20.07.1934 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 25.4 | dt/ha |
| 19.08.1934 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.05.1935 | emergence | sugar beet | 225.8 | dt/ha |
| 12.11.1935 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 225.8 | dt/ha |
| 15.11.1935 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1936 | emergence | spring barley | 10.6 | dt/ha |
| 21.07.1936 | harvest, crop res. removed | spring barley | 10.6 | dt/ha |
| 04.09.1936 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 27.05.1937 | emergence | potato | 71.9 | dt/ha |
| 25.09.1937 | harvest, crop res. removed | potato | 71.9 | dt/ha |
| 01.10.1937 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 05.11.1937 | emergence | winter wheat | 20.8 | dt/ha |
| 09.08.1938 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 20.8 | dt/ha |
| 13.09.1938 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1939 | emergence | sugar beet | 263.8 | dt/ha |
| 01.11.1939 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 263.8 | dt/ha |
| 15.11.1939 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1940 | emergence | spring barley | 19.5 | dt/ha |
| 01.08.1940 | harvest, crop res. removed | spring barley | 19.5 | dt/ha |
| 14.09.1940 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1941 | emergence | potato | 75.7 | dt/ha |
| 30.09.1941 | harvest, crop res. removed | potato | 75.7 | dt/ha |
| 01.10.1941 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 21.03.1942 | emergence | winter wheat | 20.9 | dt/ha |
| 18.08.1942 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 20.9 | dt/ha |
| 17.09.1942 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.05.1943 | emergence | sugar beet | 265.7 | dt/ha |
| 01.11.1943 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 265.7 | dt/ha |
| 15.11.1943 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.04.1944 | emergence | spring barley | 13 | dt/ha |
| 01.08.1944 | harvest, crop res. removed | spring barley | 13 | dt/ha |
| 19.09.1944 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.05.1945 | emergence | potato | 34.3 | dt/ha |
| 30.09.1945 | harvest, crop res. removed | potato | 34.3 | dt/ha |
| 01.10.1945 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.10.1945 | emergence | winter wheat | 19.6 | dt/ha |
| 25.07.1946 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 19.6 | dt/ha |
| 10.09.1946 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 13.05.1947 | emergence | sugar beet | 166.8 | dt/ha |
| 27.10.1947 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 166.8 | dt/ha |
| 15.11.1947 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 19.04.1948 | emergence | spring barley | 12.3 | dt/ha |
| 09.08.1948 | harvest, crop res. removed | spring barley | 12.3 | dt/ha |
| 20.10.1948 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 28.05.1949 | emergence | potato | 46.7 | dt/ha |
| 11.10.1949 | harvest, crop res. removed | potato | 46.7 | dt/ha |
| 14.10.1949 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 21.10.1949 | emergence | winter wheat | 13.8 | dt/ha |
| 07.08.1950 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 13.8 | dt/ha |
| 29.08.1950 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 23.04.1951 | emergence | sugar beet | 253.1 | dt/ha |
| 06.11.1951 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 253.1 | dt/ha |
| 15.11.1951 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.04.1952 | emergence | spring barley | 10.2 | dt/ha |
| 17.07.1952 | harvest, crop res. removed | spring barley | 10.2 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|---------------|------|-------|
| 19.09.1952 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 22.05.1953 | emergence | potato | 55 | dt/ha |
| 15.09.1953 | harvest, crop res. removed | potato | 55 | dt/ha |
| 01.10.1953 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.10.1953 | emergence | winter wheat | 28.7 | dt/ha |
| 11.08.1954 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28.7 | dt/ha |
| 07.10.1954 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 08.05.1955 | emergence | sugar beet | 218 | dt/ha |
| 15.11.1955 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 218 | dt/ha |
| 30.11.1955 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.04.1956 | emergence | spring barley | 7.5 | dt/ha |
| 06.08.1956 | harvest, crop res. removed | spring barley | 7.5 | dt/ha |
| 08.10.1956 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 24.05.1957 | emergence | potato | 52 | dt/ha |
| 09.10.1957 | harvest, crop res. removed | potato | 52 | dt/ha |
| 15.10.1957 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 02.11.1957 | emergence | winter wheat | 31.7 | dt/ha |
| 12.08.1958 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 31.7 | dt/ha |
| 12.09.1958 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 07.04.1959 | emergence | sugar beet | 59 | dt/ha |
| 03.11.1959 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 59 | dt/ha |
| 08.11.1959 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 14.04.1960 | emergence | spring barley | 22.8 | dt/ha |
| 21.07.1960 | harvest, crop res. removed | spring barley | 22.8 | dt/ha |
| 12.09.1960 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 25.05.1961 | emergence | potato | 49 | dt/ha |
| 03.10.1961 | harvest, crop res. removed | potato | 49 | dt/ha |
| 08.10.1961 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 25.11.1961 | emergence | winter wheat | 35.6 | dt/ha |
| 29.08.1962 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 35.6 | dt/ha |
| 10.11.1962 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 08.05.1963 | emergence | sugar beet | 242 | dt/ha |
| 23.10.1963 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 242 | dt/ha |
| 01.11.1963 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 19.04.1964 | emergence | spring barley | 12.6 | dt/ha |
| 17.07.1964 | harvest, crop res. removed | spring barley | 12.6 | dt/ha |
| 20.11.1964 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 31.05.1965 | emergence | potato | 63 | dt/ha |
| 06.10.1965 | harvest, crop res. removed | potato | 63 | dt/ha |
| 20.10.1965 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 12.12.1965 | emergence | winter wheat | 24.8 | dt/ha |
| 01.08.1966 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 24.8 | dt/ha |
| 18.11.1966 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 08.05.1967 | emergence | sugar beet | 175 | dt/ha |
| 18.10.1967 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 175 | dt/ha |
| 25.10.1967 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 10.04.1968 | emergence | spring barley | 20.1 | dt/ha |
| 22.07.1968 | harvest, crop res. removed | spring barley | 20.1 | dt/ha |
| 15.11.1968 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 09.06.1969 | emergence | potato | 58 | dt/ha |
| 25.09.1969 | harvest, crop res. removed | potato | 58 | dt/ha |
| 16.10.1969 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 03.11.1969 | emergence | winter wheat | 27.2 | dt/ha |
| 06.08.1970 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 27.2 | dt/ha |
| 20.11.1970 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 28.04.1971 | emergence | sugar beet | 186 | dt/ha |
| 18.10.1971 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 186 | dt/ha |
| 06.11.1971 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 02.04.1972 | emergence | spring barley | 27.9 | dt/ha |
| 24.07.1972 | harvest, crop res. removed | spring barley | 27.9 | dt/ha |
| 26.11.1972 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 21.05.1973 | emergence | potato | 121 | dt/ha |
| 29.08.1973 | harvest, crop res. removed | potato | 121 | dt/ha |
| 22.09.1973 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 24.10.1973 | emergence | winter wheat | 27.7 | dt/ha |
| 24.08.1974 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 27.7 | dt/ha |
| 29.11.1974 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 30.04.1975 | emergence | sugar beet | 264 | dt/ha |
| 20.10.1975 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 264 | dt/ha |
| 12.11.1975 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 10.04.1976 | emergence | spring barley | 13.8 | dt/ha |
| 06.08.1976 | harvest, crop res. removed | spring barley | 13.8 | dt/ha |
| 13.11.1976 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 18.05.1977 | emergence | potato | 92 | dt/ha |
| 03.09.1977 | harvest, crop res. removed | potato | 92 | dt/ha |
| 21.09.1977 | soil tillage | not defined | 20 | cm |
| 16.10.1977 | emergence | winter wheat | 44.3 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|---------------|-------|-------|
| 17.08.1978 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 44.3 | dt/ha |
| 08.11.1978 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 02.05.1979 | emergence | sugar beet | 236 | dt/ha |
| 23.10.1979 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 236 | dt/ha |
| 31.10.1979 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 07.04.1980 | emergence | spring barley | 21.6 | dt/ha |
| 07.08.1980 | harvest, crop res. removed | spring barley | 21.6 | dt/ha |
| 18.11.1980 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 14.05.1981 | emergence | potato | 127 | dt/ha |
| 27.08.1981 | harvest, crop res. removed | potato | 127 | dt/ha |
| 28.09.1981 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 22.10.1981 | emergence | winter wheat | 41.5 | dt/ha |
| 03.08.1982 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 41.5 | dt/ha |
| 28.10.1982 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 25.04.1983 | emergence | sugar beet | 348 | dt/ha |
| 12.10.1983 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 348 | dt/ha |
| 31.10.1983 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 14.04.1984 | emergence | spring barley | 28.5 | dt/ha |
| 15.08.1984 | harvest, crop res. removed | spring barley | 28.5 | dt/ha |
| 31.10.1984 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 28.05.1985 | emergence | potato | 107.5 | dt/ha |
| 02.09.1985 | harvest, crop res. removed | potato | 107.5 | dt/ha |
| 26.09.1985 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 25.10.1985 | emergence | winter wheat | 42.4 | dt/ha |
| 21.08.1986 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 42.4 | dt/ha |
| 07.11.1986 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 28.04.1987 | emergence | sugar beet | 330.3 | dt/ha |
| 13.10.1987 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 330.3 | dt/ha |
| 24.10.1987 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 07.04.1988 | emergence | spring barley | 31.8 | dt/ha |
| 02.08.1988 | harvest, crop res. removed | spring barley | 31.8 | dt/ha |
| 01.11.1988 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 08.05.1989 | emergence | potato | 154.3 | dt/ha |
| 29.08.1989 | harvest, crop res. removed | potato | 154.3 | dt/ha |
| 04.10.1989 | soil tillage | not defined | 30 | cm |
| 18.10.1989 | emergence | winter wheat | 38.9 | dt/ha |
| 01.08.1990 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 38.9 | dt/ha |
| 07.11.1990 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 26.04.1991 | emergence | sugar beet | 96.8 | dt/ha |
| 16.10.1991 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 96.8 | dt/ha |
| 27.03.1992 | emergence | spring barley | 29.4 | dt/ha |
| 20.07.1992 | harvest, crop res. removed | spring barley | 29.4 | dt/ha |
| 07.11.1992 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.06.1993 | emergence | potato | 85 | dt/ha |
| 08.09.1993 | harvest, crop res. removed | potato | 85 | dt/ha |
| 05.10.1993 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.10.1993 | emergence | winter wheat | 31.4 | dt/ha |
| 10.08.1994 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 31.4 | dt/ha |
| 27.10.1994 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 24.04.1995 | emergence | sugar beet | 181.1 | dt/ha |
| 17.10.1995 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 181.1 | dt/ha |
| 14.11.1995 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 23.04.1996 | emergence | spring barley | 31.1 | dt/ha |
| 20.08.1996 | harvest, crop res. removed | spring barley | 31.1 | dt/ha |
| 21.11.1996 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 19.05.1997 | emergence | potato | 75.2 | dt/ha |
| 08.09.1997 | harvest, crop res. removed | potato | 75.2 | dt/ha |
| 29.09.1997 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 10.10.1997 | emergence | winter wheat | 48.4 | dt/ha |
| 06.08.1998 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 48.4 | dt/ha |
| 18.11.1998 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.04.1999 | emergence | sugar beet | 163.4 | dt/ha |
| 07.10.1999 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 163.4 | dt/ha |
| 03.11.1999 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 08.04.2000 | emergence | spring barley | 21.7 | dt/ha |
| 21.07.2000 | harvest, crop res. removed | spring barley | 21.7 | dt/ha |
| 26.10.2000 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 25.05.2001 | emergence | potato | 158.5 | dt/ha |
| 18.09.2001 | harvest, crop res. removed | potato | 158.5 | dt/ha |
| 23.10.2001 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 10.11.2001 | emergence | winter wheat | 24.54 | dt/ha |
| 06.08.2002 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 24.54 | dt/ha |
| 26.10.2002 | soil tillage | unspez | 25 | cm |

Tabelle 19: Managementdaten Volldüngungsvariante „Statischer Dauerdüngungsversuch“ Bad Lauchstädt

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|-------------------------|-------|---------|
| 02.11.1906 | | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 03.11.1906 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1907 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 01.05.1907 | emergence | sugar beet | 459.2 | dt/ha |
| 01.11.1907 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 459.2 | dt/ha |
| 15.11.1907 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1908 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1908 | emergence | spring barley | 38 | dt/ha |
| 01.08.1908 | harvest, crop res. removed | spring barley | 38 | dt/ha |
| 17.09.1908 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 18.09.1908 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1909 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 40 | kg N/ha |
| 25.05.1909 | emergence | potato | 316.4 | dt/ha |
| 30.09.1909 | harvest, crop res. removed | potato | 316.4 | dt/ha |
| 01.10.1909 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1909 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 31.10.1909 | emergence | winter wheat | 44.2 | dt/ha |
| 05.08.1910 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 44.2 | dt/ha |
| 06.10.1910 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 07.10.1910 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1911 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 01.05.1911 | emergence | sugar beet | 160.8 | dt/ha |
| 01.11.1911 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 160.8 | dt/ha |
| 15.11.1911 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1912 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1912 | emergence | spring barley | 33.9 | dt/ha |
| 01.08.1912 | harvest, crop res. removed | spring barley | 33.9 | dt/ha |
| 19.09.1912 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 20.09.1912 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1913 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1913 | emergence | potato | 156.1 | dt/ha |
| 30.09.1913 | harvest, crop res. removed | potato | 156.1 | dt/ha |
| 01.10.1913 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1913 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 31.10.1913 | emergence | winter wheat | 44.5 | dt/ha |
| 05.08.1914 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 44.5 | dt/ha |
| 21.11.1914 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 22.11.1914 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1915 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 01.05.1915 | emergence | sugar beet | 488.6 | dt/ha |
| 01.11.1915 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 488.6 | dt/ha |
| 15.11.1915 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1916 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1916 | emergence | spring barley | 33.9 | dt/ha |
| 01.08.1916 | harvest, crop res. removed | spring barley | 33.9 | dt/ha |
| 28.11.1916 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 29.11.1916 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1917 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1917 | emergence | potato | 247.8 | dt/ha |
| 30.09.1917 | harvest, crop res. removed | potato | 247.8 | dt/ha |
| 01.10.1917 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1917 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 31.10.1917 | emergence | winter wheat | 43.4 | dt/ha |
| 05.08.1918 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 43.4 | dt/ha |
| 10.01.1919 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 11.01.1919 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1919 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 01.05.1919 | emergence | sugar beet | 331.2 | dt/ha |
| 01.11.1919 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 331.2 | dt/ha |
| 15.11.1919 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1920 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1920 | emergence | spring barley | 35.3 | dt/ha |
| 01.08.1920 | harvest, crop res. removed | spring barley | 35.3 | dt/ha |
| 01.10.1920 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 02.10.1920 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1921 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1921 | emergence | potato | 253 | dt/ha |
| 30.09.1921 | harvest, crop res. removed | potato | 253 | dt/ha |
| 01.10.1921 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1921 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 31.10.1921 | emergence | winter wheat | 41.9 | dt/ha |
| 05.08.1922 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 41.9 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|-------------------------|-------|---------|
| 22.12.1922 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 23.12.1922 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1923 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 01.05.1923 | emergence | sugar beet | 403.7 | dt/ha |
| 01.11.1923 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 403.7 | dt/ha |
| 15.11.1923 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1924 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1924 | emergence | spring barley | 33.6 | dt/ha |
| 01.08.1924 | harvest, crop res. removed | spring barley | 33.6 | dt/ha |
| 01.10.1924 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 02.10.1924 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1925 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1925 | emergence | potato | 327.1 | dt/ha |
| 30.09.1925 | harvest, crop res. removed | potato | 327.1 | dt/ha |
| 01.10.1925 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1925 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 31.10.1925 | emergence | winter wheat | 39.2 | dt/ha |
| 05.08.1926 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 39.2 | dt/ha |
| 01.10.1926 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 02.10.1926 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1927 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 01.05.1927 | emergence | sugar beet | 317.3 | dt/ha |
| 01.11.1927 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 317.3 | dt/ha |
| 15.11.1927 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1928 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1928 | emergence | spring barley | 42.9 | dt/ha |
| 01.08.1928 | harvest, crop res. removed | spring barley | 42.9 | dt/ha |
| 01.10.1928 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 02.10.1928 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1929 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1929 | emergence | potato | 283.7 | dt/ha |
| 30.09.1929 | harvest, crop res. removed | potato | 283.7 | dt/ha |
| 01.10.1929 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1929 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 31.10.1929 | emergence | winter wheat | 26.3 | dt/ha |
| 05.08.1930 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 26.3 | dt/ha |
| 15.09.1930 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 16.09.1930 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1931 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 90 | kg N/ha |
| 01.05.1931 | emergence | sugar beet | 486.2 | dt/ha |
| 01.11.1931 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 486.2 | dt/ha |
| 15.11.1931 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1932 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1932 | emergence | spring barley | 38.1 | dt/ha |
| 01.08.1932 | harvest, crop res. removed | spring barley | 38.1 | dt/ha |
| 17.09.1932 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 18.09.1932 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1933 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1933 | emergence | potato | 243.6 | dt/ha |
| 30.09.1933 | harvest, crop res. removed | potato | 243.6 | dt/ha |
| 01.10.1933 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 17.10.1933 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 09.11.1933 | emergence | winter wheat | 32.5 | dt/ha |
| 20.07.1934 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 32.5 | dt/ha |
| 18.08.1934 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 19.08.1934 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 02.05.1935 | mineral N fertilizer | calcium nitrate | 90 | kg N/ha |
| 18.05.1935 | emergence | sugar beet | 378.5 | dt/ha |
| 12.11.1935 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 378.5 | dt/ha |
| 15.11.1935 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 11.03.1936 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 10.04.1936 | emergence | spring barley | 29.4 | dt/ha |
| 21.07.1936 | harvest, crop res. removed | spring barley | 29.4 | dt/ha |
| 03.09.1936 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 04.09.1936 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 13.04.1937 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 27.05.1937 | emergence | potato | 251.5 | dt/ha |
| 25.09.1937 | harvest, crop res. removed | potato | 251.5 | dt/ha |
| 01.10.1937 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 19.10.1937 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 05.11.1937 | emergence | winter wheat | 43.6 | dt/ha |
| 09.08.1938 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 43.6 | dt/ha |
| 12.09.1938 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 13.09.1938 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1939 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 90 | kg N/ha |
| 01.05.1939 | emergence | sugar beet | 655.1 | dt/ha |
| 01.11.1939 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 655.1 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 15.11.1939 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1940 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1940 | emergence | spring barley | 43.6 | dt/ha |
| 01.08.1940 | harvest, crop res. removed | spring barley | 43.6 | dt/ha |
| 13.09.1940 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 14.09.1940 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1941 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1941 | emergence | potato | 319.6 | dt/ha |
| 30.09.1941 | harvest, crop res. removed | potato | 319.6 | dt/ha |
| 01.10.1941 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 19.11.1941 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 21.03.1942 | emergence | winter wheat | 46.3 | dt/ha |
| 18.08.1942 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 46.3 | dt/ha |
| 16.09.1942 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 17.09.1942 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1943 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 90 | kg N/ha |
| 01.05.1943 | emergence | sugar beet | 603.7 | dt/ha |
| 01.11.1943 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 603.7 | dt/ha |
| 15.11.1943 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1944 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 15.04.1944 | emergence | spring barley | 39.9 | dt/ha |
| 01.08.1944 | harvest, crop res. removed | spring barley | 39.9 | dt/ha |
| 18.09.1944 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 19.09.1944 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1945 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 25.05.1945 | emergence | potato | 313.3 | dt/ha |
| 30.09.1945 | harvest, crop res. removed | potato | 313.3 | dt/ha |
| 01.10.1945 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.10.1945 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 25.10.1945 | emergence | winter wheat | 38.5 | dt/ha |
| 25.07.1946 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 38.5 | dt/ha |
| 09.09.1946 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 10.09.1946 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 30.04.1947 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 90 | kg N/ha |
| 13.05.1947 | emergence | sugar beet | 268 | dt/ha |
| 27.10.1947 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 268 | dt/ha |
| 15.11.1947 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 30.03.1948 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 19.04.1948 | emergence | spring barley | 26.3 | dt/ha |
| 09.08.1948 | harvest, crop res. removed | spring barley | 26.3 | dt/ha |
| 19.10.1948 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 20.10.1948 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.04.1949 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 28.05.1949 | emergence | potato | 200.8 | dt/ha |
| 11.10.1949 | harvest, crop res. removed | potato | 200.8 | dt/ha |
| 14.10.1949 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1949 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 21.10.1949 | emergence | winter wheat | 23.5 | dt/ha |
| 07.08.1950 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 23.5 | dt/ha |
| 28.08.1950 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 29.08.1950 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.04.1951 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 90 | kg N/ha |
| 23.04.1951 | emergence | sugar beet | 557.5 | dt/ha |
| 06.11.1951 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 557.5 | dt/ha |
| 15.11.1951 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.04.1952 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 20 | kg N/ha |
| 16.04.1952 | emergence | spring barley | 31.3 | dt/ha |
| 17.07.1952 | harvest, crop res. removed | spring barley | 31.3 | dt/ha |
| 18.09.1952 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 19.09.1952 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.03.1953 | mineral N fertilizer | urea | 40 | kg N/ha |
| 22.05.1953 | emergence | potato | 281 | dt/ha |
| 15.09.1953 | harvest, crop res. removed | potato | 281 | dt/ha |
| 01.10.1953 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.10.1953 | emergence | winter wheat | 48.9 | dt/ha |
| 06.05.1954 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 30 | kg N/ha |
| 11.08.1954 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 48.9 | dt/ha |
| 06.10.1954 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 07.10.1954 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 06.05.1955 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 90 | kg N/ha |
| 08.05.1955 | emergence | sugar beet | 500.1 | dt/ha |
| 15.11.1955 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 500.1 | dt/ha |
| 30.11.1955 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 05.04.1956 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 20 | kg N/ha |
| 25.04.1956 | emergence | spring barley | 34.8 | dt/ha |
| 06.08.1956 | harvest, crop res. removed | spring barley | 34.8 | dt/ha |
| 05.10.1956 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 08.10.1956 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 28.03.1957 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 40 | kg N/ha |
| 24.05.1957 | emergence | potato | 353 | dt/ha |
| 09.10.1957 | harvest, crop res. removed | potato | 353 | dt/ha |
| 15.10.1957 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 02.11.1957 | emergence | winter wheat | 38.3 | dt/ha |
| 18.04.1958 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 30 | kg N/ha |
| 12.08.1958 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 38.3 | dt/ha |
| 09.09.1958 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 12.09.1958 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 02.04.1959 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 90 | kg N/ha |
| 07.04.1959 | emergence | sugar beet | 413 | dt/ha |
| 03.11.1959 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 413 | dt/ha |
| 08.11.1959 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 26.03.1960 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 20 | kg N/ha |
| 14.04.1960 | emergence | spring barley | 49.3 | dt/ha |
| 21.07.1960 | harvest, crop res. removed | spring barley | 49.3 | dt/ha |
| 09.09.1960 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 12.09.1960 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.04.1961 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 40 | kg N/ha |
| 25.05.1961 | emergence | potato | 307 | dt/ha |
| 03.10.1961 | harvest, crop res. removed | potato | 307 | dt/ha |
| 08.10.1961 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 25.11.1961 | emergence | winter wheat | 64.1 | dt/ha |
| 06.04.1962 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 30 | kg N/ha |
| 29.08.1962 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 64.1 | dt/ha |
| 07.11.1962 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 10.11.1962 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.04.1963 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 90 | kg N/ha |
| 08.05.1963 | emergence | sugar beet | 444 | dt/ha |
| 23.10.1963 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 444 | dt/ha |
| 01.11.1963 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.04.1964 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 20 | kg N/ha |
| 19.04.1964 | emergence | spring barley | 33.5 | dt/ha |
| 17.07.1964 | harvest, crop res. removed | spring barley | 33.5 | dt/ha |
| 17.11.1964 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 20.11.1964 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 13.04.1965 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 40 | kg N/ha |
| 31.05.1965 | emergence | potato | 349 | dt/ha |
| 06.10.1965 | harvest, crop res. removed | potato | 349 | dt/ha |
| 20.10.1965 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 12.12.1965 | emergence | winter wheat | 48.6 | dt/ha |
| 17.03.1966 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 30 | kg N/ha |
| 01.08.1966 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 48.6 | dt/ha |
| 15.11.1966 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 18.11.1966 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 28.03.1967 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 90 | kg N/ha |
| 08.05.1967 | emergence | sugar beet | 632 | dt/ha |
| 18.10.1967 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 632 | dt/ha |
| 25.10.1967 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.03.1968 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 20 | kg N/ha |
| 10.04.1968 | emergence | spring barley | 45.2 | dt/ha |
| 22.07.1968 | harvest, crop res. removed | spring barley | 45.2 | dt/ha |
| 11.11.1968 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 15.11.1968 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 08.04.1969 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 40 | kg N/ha |
| 09.06.1969 | emergence | potato | 313 | dt/ha |
| 25.09.1969 | harvest, crop res. removed | potato | 313 | dt/ha |
| 16.10.1969 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 03.11.1969 | emergence | winter wheat | 47.6 | dt/ha |
| 03.04.1970 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 30 | kg N/ha |
| 06.08.1970 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 47.6 | dt/ha |
| 18.11.1970 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 20.11.1970 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 02.04.1971 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 200 | kg N/ha |
| 28.04.1971 | emergence | sugar beet | 414 | dt/ha |
| 18.10.1971 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 414 | dt/ha |
| 06.11.1971 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 09.03.1972 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 30 | kg N/ha |
| 02.04.1972 | emergence | spring barley | 52.5 | dt/ha |
| 24.07.1972 | harvest, crop res. removed | spring barley | 52.5 | dt/ha |
| 14.11.1972 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 26.11.1972 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 28.03.1973 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 120 | kg N/ha |
| 21.05.1973 | emergence | potato | 269 | dt/ha |
| 29.08.1973 | harvest, crop res. removed | potato | 269 | dt/ha |
| 22.09.1973 | soil tillage | unspez | 20 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 24.10.1973 | emergence | winter wheat | 53.1 | dt/ha |
| 13.03.1974 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 40 | kg N/ha |
| 03.05.1974 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 40 | kg N/ha |
| 24.08.1974 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 53.1 | dt/ha |
| 26.11.1974 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 29.11.1974 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 31.03.1975 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 200 | kg N/ha |
| 30.04.1975 | emergence | sugar beet | 599 | dt/ha |
| 20.10.1975 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 599 | dt/ha |
| 12.11.1975 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 07.04.1976 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 30 | kg N/ha |
| 10.04.1976 | emergence | spring barley | 39.2 | dt/ha |
| 06.08.1976 | harvest, crop res. removed | spring barley | 39.2 | dt/ha |
| 10.11.1976 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 13.11.1976 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1977 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 120 | kg N/ha |
| 18.05.1977 | emergence | potato | 385 | dt/ha |
| 03.09.1977 | harvest, crop res. removed | potato | 385 | dt/ha |
| 21.09.1977 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 16.10.1977 | emergence | winter wheat | 39.3 | dt/ha |
| 29.03.1978 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 20 | kg N/ha |
| 22.05.1978 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 45 | kg N/ha |
| 17.08.1978 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 39.3 | dt/ha |
| 07.11.1978 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 08.11.1978 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 06.04.1979 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 150 | kg N/ha |
| 02.05.1979 | emergence | sugar beet | 477 | dt/ha |
| 23.10.1979 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 477 | dt/ha |
| 31.10.1979 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.04.1980 | emergence | spring barley | 63.5 | dt/ha |
| 14.04.1980 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 35 | kg N/ha |
| 10.06.1980 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 15 | kg N/ha |
| 07.08.1980 | harvest, crop res. removed | spring barley | 63.5 | dt/ha |
| 04.11.1980 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 18.11.1980 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.04.1981 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 120 | kg N/ha |
| 14.05.1981 | emergence | potato | 430 | dt/ha |
| 27.08.1981 | harvest, crop res. removed | potato | 430 | dt/ha |
| 28.09.1981 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 22.10.1981 | emergence | winter wheat | 87.3 | dt/ha |
| 01.04.1982 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 14.05.1982 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 03.08.1982 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 87.3 | dt/ha |
| 27.10.1982 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 28.10.1982 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 28.03.1983 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 150 | kg N/ha |
| 25.04.1983 | emergence | sugar beet | 693 | dt/ha |
| 12.10.1983 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 693 | dt/ha |
| 31.10.1983 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 14.04.1984 | emergence | spring barley | 69.5 | dt/ha |
| 02.05.1984 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 20 | kg N/ha |
| 15.08.1984 | harvest, crop res. removed | spring barley | 69.5 | dt/ha |
| 30.10.1984 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 31.10.1984 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.04.1985 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 120 | kg N/ha |
| 28.05.1985 | emergence | potato | 301.7 | dt/ha |
| 02.09.1985 | harvest, crop res. removed | potato | 301.7 | dt/ha |
| 26.09.1985 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 25.10.1985 | emergence | winter wheat | 60.9 | dt/ha |
| 15.04.1986 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 29.04.1986 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 21.08.1986 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 60.9 | dt/ha |
| 07.11.1986 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 07.11.1986 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 14.04.1987 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 150 | kg N/ha |
| 28.04.1987 | emergence | sugar beet | 717.9 | dt/ha |
| 13.10.1987 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 717.9 | dt/ha |
| 24.10.1987 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.04.1988 | emergence | spring barley | 70.6 | dt/ha |
| 02.05.1988 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 27.05.1988 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 02.08.1988 | harvest, crop res. removed | spring barley | 70.6 | dt/ha |
| 31.10.1988 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 01.11.1988 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 28.03.1989 | mineral N fertilizer | ammonium phosphate | 120 | kg N/ha |
| 08.05.1989 | emergence | potato | 328.2 | dt/ha |
| 29.08.1989 | harvest, crop res. removed | potato | 328.2 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|--------|---------|
| 04.10.1989 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.10.1989 | emergence | winter wheat | 89.3 | dt/ha |
| 21.03.1990 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 14.05.1990 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 01.08.1990 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 89.3 | dt/ha |
| 06.11.1990 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 07.11.1990 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 26.04.1991 | emergence | sugar beet | 299.6 | dt/ha |
| 07.05.1991 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 150 | kg N/ha |
| 16.10.1991 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 299.6 | dt/ha |
| 27.03.1992 | emergence | spring barley | 33.5 | dt/ha |
| 09.04.1992 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 20 | kg N/ha |
| 20.07.1992 | harvest, crop res. removed | spring barley | 33.5 | dt/ha |
| 06.11.1992 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 300 | dtFM/ha |
| 07.11.1992 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 01.04.1993 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 120 | kg N/ha |
| 01.06.1993 | emergence | potato | 483.3 | dt/ha |
| 08.09.1993 | harvest, crop res. removed | potato | 483.3 | dt/ha |
| 05.10.1993 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.10.1993 | emergence | winter wheat | 92.3 | dt/ha |
| 25.03.1994 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 25.04.1994 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 10.08.1994 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 92.3 | dt/ha |
| 19.10.1994 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 27.10.1994 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 24.04.1995 | emergence | sugar beet | 617.5 | dt/ha |
| 04.05.1995 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 30.05.1995 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 17.10.1995 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 617.5 | dt/ha |
| 14.11.1995 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 23.04.1996 | emergence | spring barley | 80.3 | dt/ha |
| 26.04.1996 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 13.06.1996 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 20.08.1996 | harvest, crop res. removed | spring barley | 80.3 | dt/ha |
| 15.11.1996 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 21.11.1996 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 05.05.1997 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 120 | kg N/ha |
| 19.05.1997 | emergence | potato | 467.2 | dt/ha |
| 08.09.1997 | harvest, crop res. removed | potato | 467.2 | dt/ha |
| 29.09.1997 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 10.10.1997 | emergence | winter wheat | 76.3 | dt/ha |
| 11.03.1998 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 22.04.1998 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 06.08.1998 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 76.3 | dt/ha |
| 18.11.1998 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 18.11.1998 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.04.1999 | emergence | sugar beet | 559.9 | dt/ha |
| 03.05.1999 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 01.06.1999 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 07.10.1999 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 559.9 | dt/ha |
| 03.11.1999 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 08.04.2000 | emergence | spring barley | 38 | dt/ha |
| 25.04.2000 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 25.05.2000 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 30 | kg N/ha |
| 21.07.2000 | harvest, crop res. removed | spring barley | 38 | dt/ha |
| 24.10.2000 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 300 | dtFM/ha |
| 26.10.2000 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 25.05.2001 | emergence | potato | 502.5 | dt/ha |
| 01.06.2001 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 120 | kg N/ha |
| 18.09.2001 | harvest, crop res. removed | potato | 502.5 | dt/ha |
| 23.10.2001 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 10.11.2001 | emergence | winter wheat | 58.99 | dt/ha |
| 06.03.2002 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 03.05.2002 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 40 | kg N/ha |
| 06.08.2002 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 58.99 | dt/ha |
| 21.10.2002 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 302.12 | dtFM/ha |
| 26.10.2002 | soil tillage | unspez | 25 | cm |

Tabelle 20: Managementdaten Kontrollvariante „Ewiger Roggenbau“ Halle

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|------------------|------|-------|
| 15.09.1878 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1878 | emergence | winter rye | 18.5 | dt/ha |
| 29.07.1879 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.5 | dt/ha |
| 15.09.1879 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1879 | emergence | winter rye | 28.6 | dt/ha |
| 29.07.1880 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.6 | dt/ha |
| 15.09.1880 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1880 | emergence | winter rye | 29.6 | dt/ha |
| 29.07.1881 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.6 | dt/ha |
| 15.09.1881 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1881 | emergence | winter rye | 21.9 | dt/ha |
| 29.07.1882 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.9 | dt/ha |
| 15.09.1882 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1882 | emergence | winter rye | 17.5 | dt/ha |
| 29.07.1883 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.5 | dt/ha |
| 15.09.1883 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1883 | emergence | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 29.07.1884 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 15.09.1884 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1884 | emergence | winter rye | 21.3 | dt/ha |
| 29.07.1885 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.3 | dt/ha |
| 15.09.1885 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1885 | emergence | winter rye | 24.1 | dt/ha |
| 29.07.1886 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.1 | dt/ha |
| 15.09.1886 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1886 | emergence | winter rye | 21.7 | dt/ha |
| 29.07.1887 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.7 | dt/ha |
| 15.09.1887 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1887 | emergence | winter rye | 19 | dt/ha |
| 29.07.1888 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19 | dt/ha |
| 15.09.1888 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1888 | emergence | winter rye | 10.7 | dt/ha |
| 29.07.1889 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.7 | dt/ha |
| 15.09.1889 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1889 | emergence | winter rye | 18.3 | dt/ha |
| 29.07.1890 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.3 | dt/ha |
| 15.09.1890 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1890 | emergence | winter rye | 21.1 | dt/ha |
| 29.07.1891 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.1 | dt/ha |
| 15.09.1891 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1891 | emergence | winter rye | 21 | dt/ha |
| 29.07.1892 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21 | dt/ha |
| 15.09.1892 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1892 | emergence | winter rye | 18.7 | dt/ha |
| 29.07.1893 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.7 | dt/ha |
| 15.09.1893 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1893 | emergence | winter rye | 21.1 | dt/ha |
| 29.07.1894 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.1 | dt/ha |
| 15.09.1894 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1894 | emergence | winter rye | 14.1 | dt/ha |
| 29.07.1895 | harvest, crop res. removed | winter rye | 14.1 | dt/ha |
| 15.09.1895 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1895 | emergence | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 29.07.1896 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 15.09.1896 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1896 | emergence | winter rye | 19.1 | dt/ha |
| 29.07.1897 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19.1 | dt/ha |
| 15.09.1897 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1897 | emergence | winter rye | 20.1 | dt/ha |
| 29.07.1898 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.1 | dt/ha |
| 15.09.1898 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1898 | emergence | winter rye | 17.7 | dt/ha |
| 29.07.1899 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.7 | dt/ha |
| 15.09.1899 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1899 | emergence | winter rye | 17 | dt/ha |
| 29.07.1900 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17 | dt/ha |
| 15.09.1900 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1900 | emergence | winter rye | 17.1 | dt/ha |
| 29.07.1901 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.1 | dt/ha |
| 15.09.1901 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1901 | emergence | winter rye | 18.1 | dt/ha |
| 29.07.1902 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.1 | dt/ha |
| 15.09.1902 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1902 | emergence | winter rye | 17.1 | dt/ha |
| 29.07.1903 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.1 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|------------|------|-------|
| 15.09.1903 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1903 | emergence | winter rye | 15 | dt/ha |
| 29.07.1904 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15 | dt/ha |
| 15.09.1904 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1904 | emergence | winter rye | 12.1 | dt/ha |
| 29.07.1905 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.1 | dt/ha |
| 15.09.1905 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1905 | emergence | winter rye | 10.3 | dt/ha |
| 29.07.1906 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.3 | dt/ha |
| 15.09.1906 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1906 | emergence | winter rye | 15.9 | dt/ha |
| 29.07.1907 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.9 | dt/ha |
| 15.09.1907 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1907 | emergence | winter rye | 17.6 | dt/ha |
| 29.07.1908 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.6 | dt/ha |
| 15.09.1908 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1908 | emergence | winter rye | 10.7 | dt/ha |
| 29.07.1909 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.7 | dt/ha |
| 15.09.1909 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1909 | emergence | winter rye | 17.2 | dt/ha |
| 29.07.1910 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.2 | dt/ha |
| 15.09.1910 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1910 | emergence | winter rye | 16.7 | dt/ha |
| 29.07.1911 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.7 | dt/ha |
| 15.09.1911 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1911 | emergence | winter rye | 13.4 | dt/ha |
| 29.07.1912 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.4 | dt/ha |
| 15.09.1912 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1912 | emergence | winter rye | 12.1 | dt/ha |
| 29.07.1913 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.1 | dt/ha |
| 15.09.1913 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1913 | emergence | winter rye | 13.1 | dt/ha |
| 29.07.1914 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.1 | dt/ha |
| 15.09.1914 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1914 | emergence | winter rye | 7.3 | dt/ha |
| 29.07.1915 | harvest, crop res. removed | winter rye | 7.3 | dt/ha |
| 15.09.1915 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1915 | emergence | winter rye | 8.8 | dt/ha |
| 29.07.1916 | harvest, crop res. removed | winter rye | 8.8 | dt/ha |
| 15.09.1916 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1916 | emergence | winter rye | 12.3 | dt/ha |
| 29.07.1917 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.3 | dt/ha |
| 15.09.1917 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1917 | emergence | winter rye | 13.4 | dt/ha |
| 29.07.1918 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.4 | dt/ha |
| 15.09.1918 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1918 | emergence | winter rye | 12.7 | dt/ha |
| 29.07.1919 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.7 | dt/ha |
| 15.09.1919 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1919 | emergence | winter rye | 7.4 | dt/ha |
| 29.07.1920 | harvest, crop res. removed | winter rye | 7.4 | dt/ha |
| 15.09.1920 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1920 | emergence | winter rye | 12.5 | dt/ha |
| 29.07.1921 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.5 | dt/ha |
| 15.09.1921 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1921 | emergence | winter rye | 6.5 | dt/ha |
| 29.07.1922 | harvest, crop res. removed | winter rye | 6.5 | dt/ha |
| 15.09.1922 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1922 | emergence | winter rye | 4.3 | dt/ha |
| 29.07.1923 | harvest, crop res. removed | winter rye | 4.3 | dt/ha |
| 15.09.1923 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1923 | emergence | winter rye | 11.6 | dt/ha |
| 29.07.1924 | harvest, crop res. removed | winter rye | 11.6 | dt/ha |
| 15.09.1924 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1924 | emergence | winter rye | 18.9 | dt/ha |
| 29.07.1925 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.9 | dt/ha |
| 15.09.1925 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1925 | emergence | winter rye | 7.1 | dt/ha |
| 29.07.1926 | harvest, crop res. removed | winter rye | 7.1 | dt/ha |
| 15.09.1926 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1926 | emergence | winter rye | 10.3 | dt/ha |
| 29.07.1927 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.3 | dt/ha |
| 15.09.1927 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1927 | emergence | winter rye | 14.8 | dt/ha |
| 29.07.1928 | harvest, crop res. removed | winter rye | 14.8 | dt/ha |
| 15.09.1928 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1928 | emergence | winter rye | 9 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|------------|------|-------|
| 29.07.1929 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9 | dt/ha |
| 15.09.1929 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1929 | emergence | winter rye | 10.2 | dt/ha |
| 29.07.1930 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.2 | dt/ha |
| 15.09.1930 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1930 | emergence | winter rye | 12 | dt/ha |
| 29.07.1931 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12 | dt/ha |
| 15.09.1931 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1931 | emergence | winter rye | 16.7 | dt/ha |
| 29.07.1932 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.7 | dt/ha |
| 15.09.1932 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1932 | emergence | winter rye | 15.8 | dt/ha |
| 29.07.1933 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.8 | dt/ha |
| 15.09.1933 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1933 | emergence | winter rye | 9.6 | dt/ha |
| 29.07.1934 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.6 | dt/ha |
| 15.09.1934 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1934 | emergence | winter rye | 14.6 | dt/ha |
| 29.07.1935 | harvest, crop res. removed | winter rye | 14.6 | dt/ha |
| 15.09.1935 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1935 | emergence | winter rye | 15.3 | dt/ha |
| 29.07.1936 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.3 | dt/ha |
| 15.09.1936 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1936 | emergence | winter rye | 6.7 | dt/ha |
| 29.07.1937 | harvest, crop res. removed | winter rye | 6.7 | dt/ha |
| 15.09.1937 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1937 | emergence | winter rye | 16.8 | dt/ha |
| 29.07.1938 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.8 | dt/ha |
| 15.09.1938 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1938 | emergence | winter rye | 17.4 | dt/ha |
| 29.07.1939 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.4 | dt/ha |
| 15.09.1939 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1939 | emergence | winter rye | 9.6 | dt/ha |
| 29.07.1940 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.6 | dt/ha |
| 15.09.1940 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1940 | emergence | winter rye | 10.1 | dt/ha |
| 29.07.1941 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.1 | dt/ha |
| 15.09.1941 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1941 | emergence | winter rye | 9.9 | dt/ha |
| 29.07.1942 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.9 | dt/ha |
| 15.09.1942 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1942 | emergence | winter rye | 16.5 | dt/ha |
| 29.07.1943 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.5 | dt/ha |
| 15.09.1943 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1943 | emergence | winter rye | 8.6 | dt/ha |
| 29.07.1944 | harvest, crop res. removed | winter rye | 8.6 | dt/ha |
| 15.09.1944 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1944 | emergence | winter rye | 9 | dt/ha |
| 29.07.1945 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9 | dt/ha |
| 15.09.1945 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1945 | emergence | winter rye | 6.7 | dt/ha |
| 29.07.1946 | harvest, crop res. removed | winter rye | 6.7 | dt/ha |
| 15.09.1946 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1946 | emergence | winter rye | 12.4 | dt/ha |
| 29.07.1947 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.4 | dt/ha |
| 15.09.1947 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1947 | emergence | winter rye | 6.6 | dt/ha |
| 29.07.1948 | harvest, crop res. removed | winter rye | 6.6 | dt/ha |
| 15.09.1948 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1948 | emergence | winter rye | 18 | dt/ha |
| 29.07.1949 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18 | dt/ha |
| 15.09.1949 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1949 | emergence | winter rye | 12.2 | dt/ha |
| 29.07.1950 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.2 | dt/ha |
| 15.09.1950 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1950 | emergence | winter rye | 14.5 | dt/ha |
| 29.07.1951 | harvest, crop res. removed | winter rye | 14.5 | dt/ha |
| 15.09.1951 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1951 | emergence | winter rye | 9.5 | dt/ha |
| 29.07.1952 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.5 | dt/ha |
| 28.08.1952 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.10.1952 | emergence | winter rye | 5 | dt/ha |
| 14.07.1953 | harvest, crop res. removed | winter rye | 5 | dt/ha |
| 16.09.1953 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.09.1953 | emergence | winter rye | 9.6 | dt/ha |
| 20.07.1954 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.6 | dt/ha |
| 13.09.1954 | soil tillage | unspez | 30 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|------------|------|-------|
| 09.10.1954 | emergence | winter rye | 9.4 | dt/ha |
| 26.07.1955 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.4 | dt/ha |
| 14.09.1955 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 09.10.1955 | emergence | winter rye | 11 | dt/ha |
| 26.07.1956 | harvest, crop res. removed | winter rye | 11 | dt/ha |
| 27.09.1956 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.10.1956 | emergence | winter rye | 11 | dt/ha |
| 16.07.1957 | harvest, crop res. removed | winter rye | 11 | dt/ha |
| 06.09.1957 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 12.10.1957 | emergence | winter rye | 7 | dt/ha |
| 28.07.1958 | harvest, crop res. removed | winter rye | 7 | dt/ha |
| 11.09.1959 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.10.1959 | emergence | winter rye | 22.6 | dt/ha |
| 01.08.1960 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22.6 | dt/ha |
| 08.09.1960 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 09.10.1960 | emergence | winter rye | 9.8 | dt/ha |
| 31.07.1961 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.8 | dt/ha |
| 03.10.1961 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 20.10.1961 | emergence | winter rye | 8 | dt/ha |
| 11.08.1962 | harvest, crop res. removed | winter rye | 8 | dt/ha |
| 17.09.1962 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 14.10.1962 | emergence | winter rye | 11.6 | dt/ha |
| 25.07.1963 | harvest, crop res. removed | winter rye | 11.6 | dt/ha |
| 18.09.1963 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 13.10.1963 | emergence | winter rye | 10.2 | dt/ha |
| 15.07.1964 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.2 | dt/ha |
| 17.09.1964 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 05.10.1964 | emergence | winter rye | 9.4 | dt/ha |
| 30.07.1965 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.4 | dt/ha |
| 22.09.1965 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 12.10.1965 | emergence | winter rye | 10.1 | dt/ha |
| 25.07.1966 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.1 | dt/ha |
| 26.09.1966 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.10.1966 | emergence | winter rye | 19.4 | dt/ha |
| 21.07.1967 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19.4 | dt/ha |
| 21.09.1967 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.10.1967 | emergence | winter rye | 15.6 | dt/ha |
| 18.07.1968 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.6 | dt/ha |
| 25.09.1968 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 19.10.1968 | emergence | winter rye | 10.5 | dt/ha |
| 29.07.1969 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.5 | dt/ha |
| 15.09.1969 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1969 | emergence | winter rye | 12.7 | dt/ha |
| 29.07.1970 | harvest, crop res. removed | winter rye | 12.7 | dt/ha |
| 15.09.1970 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1970 | emergence | winter rye | 15.5 | dt/ha |
| 29.07.1971 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.5 | dt/ha |
| 15.09.1971 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1971 | emergence | winter rye | 16.2 | dt/ha |
| 29.07.1972 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.2 | dt/ha |
| 15.09.1972 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1972 | emergence | winter rye | 13.9 | dt/ha |
| 29.07.1973 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.9 | dt/ha |
| 15.09.1973 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1973 | emergence | winter rye | 10.7 | dt/ha |
| 29.07.1974 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.7 | dt/ha |
| 15.09.1974 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1974 | emergence | winter rye | 9.2 | dt/ha |
| 29.07.1975 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.2 | dt/ha |
| 15.09.1975 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1975 | emergence | winter rye | 16 | dt/ha |
| 29.07.1976 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16 | dt/ha |
| 15.09.1976 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1976 | emergence | winter rye | 9.8 | dt/ha |
| 29.07.1977 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.8 | dt/ha |
| 15.09.1977 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1977 | emergence | winter rye | 21.2 | dt/ha |
| 29.07.1978 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.2 | dt/ha |
| 15.09.1978 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1978 | emergence | winter rye | 9.4 | dt/ha |
| 29.07.1979 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.4 | dt/ha |
| 15.09.1979 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1979 | emergence | winter rye | 19.3 | dt/ha |
| 29.07.1980 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19.3 | dt/ha |
| 02.10.1980 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 18.10.1980 | emergence | winter rye | 13.7 | dt/ha |
| 04.08.1981 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.7 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|------------|------|-------|
| 24.09.1981 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 14.10.1981 | emergence | winter rye | 10.9 | dt/ha |
| 28.07.1982 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.9 | dt/ha |
| 01.10.1982 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.10.1982 | emergence | winter rye | 22.9 | dt/ha |
| 25.07.1983 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22.9 | dt/ha |
| 05.10.1983 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.10.1983 | emergence | winter rye | 18.1 | dt/ha |
| 09.08.1984 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.1 | dt/ha |
| 05.10.1984 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.10.1984 | emergence | winter rye | 13.7 | dt/ha |
| 09.08.1985 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.7 | dt/ha |
| 23.09.1985 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 11.10.1985 | emergence | winter rye | 9.9 | dt/ha |
| 06.08.1986 | harvest, crop res. removed | winter rye | 9.9 | dt/ha |
| 26.09.1986 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 09.10.1986 | emergence | winter rye | 20 | dt/ha |
| 11.08.1987 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20 | dt/ha |
| 30.09.1987 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 19.10.1987 | emergence | winter rye | 13.1 | dt/ha |
| 28.07.1988 | harvest, crop res. removed | winter rye | 13.1 | dt/ha |
| 23.09.1988 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 05.10.1988 | emergence | winter rye | 20.2 | dt/ha |
| 30.07.1989 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.2 | dt/ha |
| 12.09.1989 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 14.10.1989 | emergence | winter rye | 15.7 | dt/ha |
| 23.07.1990 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.7 | dt/ha |
| 27.09.1990 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.10.1990 | emergence | winter rye | 17.4 | dt/ha |
| 30.07.1991 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.4 | dt/ha |
| 26.09.1991 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 11.10.1991 | emergence | winter rye | 10.1 | dt/ha |
| 24.07.1992 | harvest, crop res. removed | winter rye | 10.1 | dt/ha |
| 25.09.1992 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.10.1992 | emergence | winter rye | 24.3 | dt/ha |
| 02.08.1993 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.3 | dt/ha |
| 01.10.1993 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 12.10.1993 | emergence | winter rye | 16.7 | dt/ha |
| 25.07.1994 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.7 | dt/ha |
| 28.09.1994 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 17.10.1994 | emergence | winter rye | 29.7 | dt/ha |
| 31.07.1995 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.7 | dt/ha |
| 26.09.1995 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.10.1995 | emergence | winter rye | 27.6 | dt/ha |
| 07.08.1996 | harvest, crop res. removed | winter rye | 27.6 | dt/ha |
| 17.09.1996 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 04.10.1996 | emergence | winter rye | 16 | dt/ha |
| 30.07.1997 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16 | dt/ha |
| 16.09.1997 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.09.1997 | emergence | winter rye | 18.2 | dt/ha |
| 22.07.1998 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.2 | dt/ha |
| 30.09.1998 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1998 | emergence | winter rye | 20.1 | dt/ha |
| 27.07.1999 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.1 | dt/ha |
| 22.09.1999 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.09.1999 | emergence | winter rye | 28.8 | dt/ha |
| 25.07.2000 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.8 | dt/ha |
| 27.09.2000 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 04.10.2000 | emergence | winter rye | 28.8 | dt/ha |
| 15.08.2001 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.8 | dt/ha |

Tabelle 21: Managementdaten Stallmistvariante „Ewiger Roggenbau“ Halle

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|-------------------------|------|---------|
| 15.09.1878 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1878 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1878 | emergence | winter rye | 24.3 | dt/ha |
| 29.07.1879 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.3 | dt/ha |
| 15.09.1879 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1879 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1879 | emergence | winter rye | 31.3 | dt/ha |
| 29.07.1880 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.3 | dt/ha |
| 15.09.1880 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1880 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1880 | emergence | winter rye | 39.4 | dt/ha |
| 29.07.1881 | harvest, crop res. removed | winter rye | 39.4 | dt/ha |
| 15.09.1881 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1881 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1881 | emergence | winter rye | 27.4 | dt/ha |
| 29.07.1882 | harvest, crop res. removed | winter rye | 27.4 | dt/ha |
| 15.09.1882 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1882 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1882 | emergence | winter rye | 21.4 | dt/ha |
| 29.07.1883 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.4 | dt/ha |
| 15.09.1883 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1883 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1883 | emergence | winter rye | 32.8 | dt/ha |
| 29.07.1884 | harvest, crop res. removed | winter rye | 32.8 | dt/ha |
| 15.09.1884 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1884 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1884 | emergence | winter rye | 28.3 | dt/ha |
| 29.07.1885 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.3 | dt/ha |
| 15.09.1885 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1885 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1885 | emergence | winter rye | 31 | dt/ha |
| 29.07.1886 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31 | dt/ha |
| 15.09.1886 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1886 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1886 | emergence | winter rye | 23.8 | dt/ha |
| 29.07.1887 | harvest, crop res. removed | winter rye | 23.8 | dt/ha |
| 15.09.1887 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1887 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1887 | emergence | winter rye | 20.2 | dt/ha |
| 29.07.1888 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.2 | dt/ha |
| 15.09.1888 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1888 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1888 | emergence | winter rye | 16.5 | dt/ha |
| 29.07.1889 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.5 | dt/ha |
| 15.09.1889 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1889 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1889 | emergence | winter rye | 26.3 | dt/ha |
| 29.07.1890 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.3 | dt/ha |
| 15.09.1890 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1890 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1890 | emergence | winter rye | 25.4 | dt/ha |
| 29.07.1891 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.4 | dt/ha |
| 15.09.1891 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1891 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1891 | emergence | winter rye | 27.1 | dt/ha |
| 29.07.1892 | harvest, crop res. removed | winter rye | 27.1 | dt/ha |
| 15.09.1892 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1892 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1892 | emergence | winter rye | 26.5 | dt/ha |
| 29.07.1893 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.5 | dt/ha |
| 15.09.1893 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1893 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1893 | emergence | winter rye | 28.3 | dt/ha |
| 29.07.1894 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.3 | dt/ha |
| 15.09.1894 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1894 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1894 | emergence | winter rye | 22.3 | dt/ha |
| 29.07.1895 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22.3 | dt/ha |
| 15.09.1895 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1895 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1895 | emergence | winter rye | 35 | dt/ha |
| 29.07.1896 | harvest, crop res. removed | winter rye | 35 | dt/ha |
| 15.09.1896 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1896 | soil tillage | unspez | 20 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 13.10.1896 | emergence | winter rye | 24.8 | dt/ha |
| 29.07.1897 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.8 | dt/ha |
| 15.09.1897 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1897 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1897 | emergence | winter rye | 28.4 | dt/ha |
| 29.07.1898 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.4 | dt/ha |
| 15.09.1898 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1898 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1898 | emergence | winter rye | 24.3 | dt/ha |
| 29.07.1899 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.3 | dt/ha |
| 15.09.1899 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1899 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1899 | emergence | winter rye | 26.1 | dt/ha |
| 29.07.1900 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.1 | dt/ha |
| 15.09.1900 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1900 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1900 | emergence | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 29.07.1901 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 15.09.1901 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1901 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1901 | emergence | winter rye | 29.8 | dt/ha |
| 29.07.1902 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.8 | dt/ha |
| 15.09.1902 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1902 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1902 | emergence | winter rye | 30.2 | dt/ha |
| 29.07.1903 | harvest, crop res. removed | winter rye | 30.2 | dt/ha |
| 15.09.1903 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1903 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1903 | emergence | winter rye | 26.5 | dt/ha |
| 29.07.1904 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.5 | dt/ha |
| 15.09.1904 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1904 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1904 | emergence | winter rye | 22.9 | dt/ha |
| 29.07.1905 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22.9 | dt/ha |
| 15.09.1905 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1905 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1905 | emergence | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 29.07.1906 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 15.09.1906 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1906 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1906 | emergence | winter rye | 29.5 | dt/ha |
| 29.07.1907 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.5 | dt/ha |
| 15.09.1907 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1907 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1907 | emergence | winter rye | 24.7 | dt/ha |
| 29.07.1908 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.7 | dt/ha |
| 15.09.1908 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1908 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1908 | emergence | winter rye | 24.6 | dt/ha |
| 29.07.1909 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.6 | dt/ha |
| 15.09.1909 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1909 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1909 | emergence | winter rye | 25.2 | dt/ha |
| 29.07.1910 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.2 | dt/ha |
| 15.09.1910 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1910 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1910 | emergence | winter rye | 29.3 | dt/ha |
| 29.07.1911 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.3 | dt/ha |
| 15.09.1911 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1911 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1911 | emergence | winter rye | 26.3 | dt/ha |
| 29.07.1912 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.3 | dt/ha |
| 15.09.1912 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1912 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1912 | emergence | winter rye | 19.2 | dt/ha |
| 29.07.1913 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19.2 | dt/ha |
| 15.09.1913 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1913 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1913 | emergence | winter rye | 29 | dt/ha |
| 29.07.1914 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29 | dt/ha |
| 15.09.1914 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1914 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1914 | emergence | winter rye | 16.1 | dt/ha |
| 29.07.1915 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.1 | dt/ha |
| 15.09.1915 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1915 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1915 | emergence | winter rye | 16.2 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 29.07.1916 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.2 | dt/ha |
| 15.09.1916 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1916 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1916 | emergence | winter rye | 20.1 | dt/ha |
| 29.07.1917 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.1 | dt/ha |
| 15.09.1917 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1917 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1917 | emergence | winter rye | 20.7 | dt/ha |
| 29.07.1918 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.7 | dt/ha |
| 15.09.1918 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1918 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1918 | emergence | winter rye | 23.8 | dt/ha |
| 29.07.1919 | harvest, crop res. removed | winter rye | 23.8 | dt/ha |
| 15.09.1919 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1919 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1919 | emergence | winter rye | 16.3 | dt/ha |
| 29.07.1920 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.3 | dt/ha |
| 15.09.1920 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1920 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1920 | emergence | winter rye | 21.9 | dt/ha |
| 29.07.1921 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.9 | dt/ha |
| 15.09.1921 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1921 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1921 | emergence | winter rye | 17.4 | dt/ha |
| 29.07.1922 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.4 | dt/ha |
| 15.09.1922 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1922 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1922 | emergence | winter rye | 17.3 | dt/ha |
| 29.07.1923 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.3 | dt/ha |
| 15.09.1923 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1923 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1923 | emergence | winter rye | 26.7 | dt/ha |
| 29.07.1924 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.7 | dt/ha |
| 15.09.1924 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1924 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1924 | emergence | winter rye | 28.3 | dt/ha |
| 29.07.1925 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.3 | dt/ha |
| 15.09.1925 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1925 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1925 | emergence | winter rye | 20.2 | dt/ha |
| 29.07.1926 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20.2 | dt/ha |
| 15.09.1926 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1926 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1926 | emergence | winter rye | 24 | dt/ha |
| 29.07.1927 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24 | dt/ha |
| 15.09.1927 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1927 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1927 | emergence | winter rye | 31.1 | dt/ha |
| 29.07.1928 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.1 | dt/ha |
| 15.09.1928 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1928 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1928 | emergence | winter rye | 19.6 | dt/ha |
| 29.07.1929 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19.6 | dt/ha |
| 15.09.1929 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1929 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1929 | emergence | winter rye | 20 | dt/ha |
| 29.07.1930 | harvest, crop res. removed | winter rye | 20 | dt/ha |
| 15.09.1930 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1930 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1930 | emergence | winter rye | 27.7 | dt/ha |
| 29.07.1931 | harvest, crop res. removed | winter rye | 27.7 | dt/ha |
| 15.09.1931 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1931 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1931 | emergence | winter rye | 34.4 | dt/ha |
| 29.07.1932 | harvest, crop res. removed | winter rye | 34.4 | dt/ha |
| 15.09.1932 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1932 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1932 | emergence | winter rye | 36.1 | dt/ha |
| 29.07.1933 | harvest, crop res. removed | winter rye | 36.1 | dt/ha |
| 15.09.1933 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1933 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1933 | emergence | winter rye | 19.2 | dt/ha |
| 29.07.1934 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19.2 | dt/ha |
| 15.09.1934 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1934 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1934 | emergence | winter rye | 31 | dt/ha |
| 29.07.1935 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 15.09.1935 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1935 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1935 | emergence | winter rye | 29.5 | dt/ha |
| 29.07.1936 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.5 | dt/ha |
| 15.09.1936 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1936 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1936 | emergence | winter rye | 19 | dt/ha |
| 29.07.1937 | harvest, crop res. removed | winter rye | 19 | dt/ha |
| 15.09.1937 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1937 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1937 | emergence | winter rye | 37.5 | dt/ha |
| 29.07.1938 | harvest, crop res. removed | winter rye | 37.5 | dt/ha |
| 15.09.1938 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1938 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1938 | emergence | winter rye | 36.5 | dt/ha |
| 29.07.1939 | harvest, crop res. removed | winter rye | 36.5 | dt/ha |
| 15.09.1939 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1939 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1939 | emergence | winter rye | 21.2 | dt/ha |
| 29.07.1940 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.2 | dt/ha |
| 15.09.1940 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1940 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1940 | emergence | winter rye | 22.5 | dt/ha |
| 29.07.1941 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22.5 | dt/ha |
| 15.09.1941 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1941 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1941 | emergence | winter rye | 21.8 | dt/ha |
| 29.07.1942 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.8 | dt/ha |
| 15.09.1942 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1942 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1942 | emergence | winter rye | 36.9 | dt/ha |
| 29.07.1943 | harvest, crop res. removed | winter rye | 36.9 | dt/ha |
| 15.09.1943 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1943 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1943 | emergence | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 29.07.1944 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.3 | dt/ha |
| 15.09.1944 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1944 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1944 | emergence | winter rye | 22.7 | dt/ha |
| 29.07.1945 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22.7 | dt/ha |
| 15.09.1945 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1945 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1945 | emergence | winter rye | 18.5 | dt/ha |
| 29.07.1946 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.5 | dt/ha |
| 15.09.1946 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1946 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1946 | emergence | winter rye | 25.1 | dt/ha |
| 29.07.1947 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.1 | dt/ha |
| 15.09.1947 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1947 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1947 | emergence | winter rye | 18.9 | dt/ha |
| 29.07.1948 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.9 | dt/ha |
| 15.09.1948 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1948 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1948 | emergence | winter rye | 36.1 | dt/ha |
| 29.07.1949 | harvest, crop res. removed | winter rye | 36.1 | dt/ha |
| 15.09.1949 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1949 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1949 | emergence | winter rye | 30.9 | dt/ha |
| 29.07.1950 | harvest, crop res. removed | winter rye | 30.9 | dt/ha |
| 15.09.1950 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1950 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1950 | emergence | winter rye | 35 | dt/ha |
| 29.07.1951 | harvest, crop res. removed | winter rye | 35 | dt/ha |
| 15.09.1951 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1951 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1951 | emergence | winter rye | 29.5 | dt/ha |
| 29.07.1952 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.5 | dt/ha |
| 26.08.1952 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 28.08.1952 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 07.10.1952 | emergence | winter rye | 16.6 | dt/ha |
| 14.07.1953 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.6 | dt/ha |
| 16.09.1953 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 16.09.1953 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 29.09.1953 | emergence | winter rye | 22 | dt/ha |
| 20.07.1954 | harvest, crop res. removed | winter rye | 22 | dt/ha |
| 13.09.1954 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 13.09.1954 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 09.10.1954 | emergence | winter rye | 26.2 | dt/ha |
| 26.07.1955 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.2 | dt/ha |
| 14.09.1955 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 14.09.1955 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 09.10.1955 | emergence | winter rye | 29.8 | dt/ha |
| 26.07.1956 | harvest, crop res. removed | winter rye | 29.8 | dt/ha |
| 27.09.1956 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 27.09.1956 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 16.10.1956 | emergence | winter rye | 21.2 | dt/ha |
| 16.07.1957 | harvest, crop res. removed | winter rye | 21.2 | dt/ha |
| 06.09.1957 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 06.09.1957 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 12.10.1957 | emergence | winter rye | 18.6 | dt/ha |
| 28.07.1958 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.6 | dt/ha |
| 11.09.1959 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 11.09.1959 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 29.10.1959 | emergence | winter rye | 39.5 | dt/ha |
| 01.08.1960 | harvest, crop res. removed | winter rye | 39.5 | dt/ha |
| 08.09.1960 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 08.09.1960 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 09.10.1960 | emergence | winter rye | 25.6 | dt/ha |
| 31.07.1961 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.6 | dt/ha |
| 03.10.1961 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 03.10.1961 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 20.10.1961 | emergence | winter rye | 18.8 | dt/ha |
| 11.08.1962 | harvest, crop res. removed | winter rye | 18.8 | dt/ha |
| 17.09.1962 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 17.09.1962 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 14.10.1962 | emergence | winter rye | 28.6 | dt/ha |
| 25.07.1963 | harvest, crop res. removed | winter rye | 28.6 | dt/ha |
| 18.09.1963 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 18.09.1963 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 13.10.1963 | emergence | winter rye | 24.9 | dt/ha |
| 15.07.1964 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.9 | dt/ha |
| 17.09.1964 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 17.09.1964 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 05.10.1964 | emergence | winter rye | 24.4 | dt/ha |
| 30.07.1965 | harvest, crop res. removed | winter rye | 24.4 | dt/ha |
| 22.09.1965 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 22.09.1965 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 12.10.1965 | emergence | winter rye | 27 | dt/ha |
| 25.07.1966 | harvest, crop res. removed | winter rye | 27 | dt/ha |
| 26.09.1966 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 26.09.1966 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 16.10.1966 | emergence | winter rye | 44.9 | dt/ha |
| 21.07.1967 | harvest, crop res. removed | winter rye | 44.9 | dt/ha |
| 21.09.1967 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 21.09.1967 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 16.10.1967 | emergence | winter rye | 37.9 | dt/ha |
| 18.07.1968 | harvest, crop res. removed | winter rye | 37.9 | dt/ha |
| 25.09.1968 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 25.09.1968 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 19.10.1968 | emergence | winter rye | 30.7 | dt/ha |
| 29.07.1969 | harvest, crop res. removed | winter rye | 30.7 | dt/ha |
| 15.09.1969 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1969 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1969 | emergence | winter rye | 23.9 | dt/ha |
| 29.07.1970 | harvest, crop res. removed | winter rye | 23.9 | dt/ha |
| 15.09.1970 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1970 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1970 | emergence | winter rye | 30.7 | dt/ha |
| 29.07.1971 | harvest, crop res. removed | winter rye | 30.7 | dt/ha |
| 15.09.1971 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1971 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1971 | emergence | winter rye | 45.1 | dt/ha |
| 29.07.1972 | harvest, crop res. removed | winter rye | 45.1 | dt/ha |
| 15.09.1972 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1972 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1972 | emergence | winter rye | 26.9 | dt/ha |
| 29.07.1973 | harvest, crop res. removed | winter rye | 26.9 | dt/ha |
| 15.09.1973 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1973 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1973 | emergence | winter rye | 35.9 | dt/ha |
| 29.07.1974 | harvest, crop res. removed | winter rye | 35.9 | dt/ha |
| 15.09.1974 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1974 | soil tillage | unspez | 25 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 13.10.1974 | emergence | winter rye | 17.3 | dt/ha |
| 29.07.1975 | harvest, crop res. removed | winter rye | 17.3 | dt/ha |
| 15.09.1975 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1975 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1975 | emergence | winter rye | 31.5 | dt/ha |
| 29.07.1976 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.5 | dt/ha |
| 15.09.1976 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1976 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1976 | emergence | winter rye | 34.2 | dt/ha |
| 29.07.1977 | harvest, crop res. removed | winter rye | 34.2 | dt/ha |
| 15.09.1977 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1977 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1977 | emergence | winter rye | 38.4 | dt/ha |
| 29.07.1978 | harvest, crop res. removed | winter rye | 38.4 | dt/ha |
| 15.09.1978 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1978 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1978 | emergence | winter rye | 15.6 | dt/ha |
| 29.07.1979 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.6 | dt/ha |
| 15.09.1979 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 15.09.1979 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 13.10.1979 | emergence | winter rye | 40.3 | dt/ha |
| 29.07.1980 | harvest, crop res. removed | winter rye | 40.3 | dt/ha |
| 02.10.1980 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 02.10.1980 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 18.10.1980 | emergence | winter rye | 25.7 | dt/ha |
| 04.08.1981 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.7 | dt/ha |
| 24.09.1981 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 24.09.1981 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 14.10.1981 | emergence | winter rye | 16.4 | dt/ha |
| 28.07.1982 | harvest, crop res. removed | winter rye | 16.4 | dt/ha |
| 30.09.1982 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 01.10.1982 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 16.10.1982 | emergence | winter rye | 37.7 | dt/ha |
| 25.07.1983 | harvest, crop res. removed | winter rye | 37.7 | dt/ha |
| 05.10.1983 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 05.10.1983 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 29.10.1983 | emergence | winter rye | 46.16 | dt/ha |
| 09.08.1984 | harvest, crop res. removed | winter rye | 46.16 | dt/ha |
| 05.10.1984 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 05.10.1984 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 29.10.1984 | emergence | winter rye | 27 | dt/ha |
| 09.08.1985 | harvest, crop res. removed | winter rye | 27 | dt/ha |
| 23.09.1985 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 23.09.1985 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 11.10.1985 | emergence | winter rye | 15.8 | dt/ha |
| 06.08.1986 | harvest, crop res. removed | winter rye | 15.8 | dt/ha |
| 26.09.1986 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 26.09.1986 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 09.10.1986 | emergence | winter rye | 31.2 | dt/ha |
| 11.08.1987 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.2 | dt/ha |
| 29.09.1987 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 30.09.1987 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 19.10.1987 | emergence | winter rye | 35.6 | dt/ha |
| 28.07.1988 | harvest, crop res. removed | winter rye | 35.6 | dt/ha |
| 23.09.1988 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 23.09.1988 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 05.10.1988 | emergence | winter rye | 31.4 | dt/ha |
| 30.07.1989 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.4 | dt/ha |
| 12.09.1989 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 12.09.1989 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 14.10.1989 | emergence | winter rye | 31.2 | dt/ha |
| 23.07.1990 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.2 | dt/ha |
| 27.09.1990 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 27.09.1990 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.10.1990 | emergence | winter rye | 31.7 | dt/ha |
| 30.07.1991 | harvest, crop res. removed | winter rye | 31.7 | dt/ha |
| 26.09.1991 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 26.09.1991 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 11.10.1991 | emergence | winter rye | 25.9 | dt/ha |
| 24.07.1992 | harvest, crop res. removed | winter rye | 25.9 | dt/ha |
| 25.09.1992 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 25.09.1992 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 07.10.1992 | emergence | winter rye | 48.3 | dt/ha |
| 02.08.1993 | harvest, crop res. removed | winter rye | 48.3 | dt/ha |
| 01.10.1993 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 01.10.1993 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 12.10.1993 | emergence | winter rye | 42.2 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|-------------------------|------|---------|
| 25.07.1994 | harvest, crop res. removed | winter rye | 42.2 | dt/ha |
| 28.09.1994 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 28.09.1994 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 17.10.1994 | emergence | winter rye | 57.9 | dt/ha |
| 31.07.1995 | harvest, crop res. removed | winter rye | 57.9 | dt/ha |
| 26.09.1995 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 26.09.1995 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 10.10.1995 | emergence | winter rye | 47.6 | dt/ha |
| 07.08.1996 | harvest, crop res. removed | winter rye | 47.6 | dt/ha |
| 17.09.1996 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 17.09.1996 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 04.10.1996 | emergence | winter rye | 44.4 | dt/ha |
| 30.07.1997 | harvest, crop res. removed | winter rye | 44.4 | dt/ha |
| 16.09.1997 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 16.09.1997 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.09.1997 | emergence | winter rye | 33 | dt/ha |
| 22.07.1998 | harvest, crop res. removed | winter rye | 33 | dt/ha |
| 30.09.1998 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 30.09.1998 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 15.10.1998 | emergence | winter rye | 41.6 | dt/ha |
| 27.07.1999 | harvest, crop res. removed | winter rye | 41.6 | dt/ha |
| 22.09.1999 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 22.09.1999 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 29.09.1999 | emergence | winter rye | 45.9 | dt/ha |
| 25.07.2000 | harvest, crop res. removed | winter rye | 45.9 | dt/ha |
| 27.09.2000 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 120 | dtFM/ha |
| 27.09.2000 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 04.10.2000 | emergence | winter rye | 51 | dt/ha |
| 15.08.2001 | harvest, crop res. removed | winter rye | 51 | dt/ha |

Tabelle 22: Managementdaten Kontrollvariante „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag (KUBAT, 2004)

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|------------------|-------|-------|
| 18.08.1965 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 19.11.1965 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 22.03.1966 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 05.04.1966 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 17.05.1966 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 31.05.1966 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 08.06.1966 | emergence | sugar beet | 454.5 | dt/ha |
| 14.06.1966 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.10.1966 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 454.5 | dt/ha |
| 30.11.1966 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 16.03.1967 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 17.03.1967 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 25.04.1967 | emergence | durum wheat | 37 | dt/ha |
| 11.08.1967 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 37 | dt/ha |
| 25.08.1967 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 28.09.1967 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 26.03.1968 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 04.04.1968 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 06.05.1968 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 16.05.1968 | emergence | sugar beet | 505 | dt/ha |
| 27.05.1968 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 14.06.1968 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 23.10.1968 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 505 | dt/ha |
| 18.11.1968 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 09.04.1969 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 10.04.1969 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 19.05.1969 | emergence | durum wheat | 24.2 | dt/ha |
| 21.08.1969 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 24.2 | dt/ha |
| 02.09.1969 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 14.11.1969 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 07.04.1970 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 23.04.1970 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 25.05.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 03.06.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 06.06.1970 | emergence | sugar beet | 378.1 | dt/ha |
| 12.06.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 02.07.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 13.10.1970 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 378.1 | dt/ha |
| 05.11.1970 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 26.03.1971 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 05.05.1971 | emergence | durum wheat | 27.2 | dt/ha |
| 17.08.1971 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 27.2 | dt/ha |
| 30.08.1971 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 10.10.1971 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 15.04.1972 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.04.1972 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 27.05.1972 | emergence | sugar beet | 364.2 | dt/ha |
| 29.05.1972 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 04.07.1972 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.10.1972 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 364.2 | dt/ha |
| 12.11.1972 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 31.03.1973 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 01.04.1973 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 10.05.1973 | emergence | durum wheat | 32.9 | dt/ha |
| 20.08.1973 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 32.9 | dt/ha |
| 28.08.1973 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 14.11.1973 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 03.04.1974 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 15.05.1974 | emergence | sugar beet | 166.5 | dt/ha |
| 27.05.1974 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 10.06.1974 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 21.06.1974 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 16.10.1974 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 166.5 | dt/ha |
| 12.11.1974 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 07.04.1975 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 17.05.1975 | emergence | durum wheat | 32 | dt/ha |
| 22.08.1975 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 32 | dt/ha |
| 12.09.1975 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 14.11.1975 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 16.04.1976 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.05.1976 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 31.05.1976 | emergence | sugar beet | 217.8 | dt/ha |
| 05.06.1976 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.06.1976 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 13.10.1976 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 217.8 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|-------------|-------|-------|
| 08.11.1976 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 24.03.1977 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 03.05.1977 | emergence | durum wheat | 29.1 | dt/ha |
| 25.08.1977 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 29.1 | dt/ha |
| 10.09.1977 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 08.11.1977 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 16.04.1978 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 22.04.1978 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.05.1978 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 31.05.1978 | emergence | sugar beet | 288.6 | dt/ha |
| 08.06.1978 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 19.06.1978 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 04.10.1978 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 288.6 | dt/ha |
| 11.11.1978 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 20.03.1979 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.03.1979 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 07.05.1979 | emergence | durum wheat | 25.5 | dt/ha |
| 17.08.1979 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 25.5 | dt/ha |
| 06.09.1979 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 16.11.1979 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 02.04.1980 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 15.04.1980 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.05.1980 | emergence | sugar beet | 185.1 | dt/ha |
| 01.06.1980 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.06.1980 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 17.06.1980 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 10.10.1980 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 185.1 | dt/ha |
| 25.11.1980 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 23.03.1981 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 09.05.1981 | emergence | durum wheat | 32.5 | dt/ha |
| 11.08.1981 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 32.5 | dt/ha |
| 21.08.1981 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 19.11.1981 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 15.04.1982 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 31.05.1982 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 04.06.1982 | emergence | sugar beet | 209 | dt/ha |
| 17.06.1982 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 06.10.1982 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 209 | dt/ha |
| 25.10.1982 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 05.04.1983 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 17.05.1983 | emergence | durum wheat | 23.1 | dt/ha |
| 15.08.1983 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 23.1 | dt/ha |
| 05.09.1983 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 11.11.1983 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 26.03.1984 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 18.04.1984 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 01.06.1984 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 06.06.1984 | emergence | sugar beet | 271.6 | dt/ha |
| 23.10.1984 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 271.6 | dt/ha |
| 30.11.1984 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 03.04.1985 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 13.05.1985 | emergence | durum wheat | 29.9 | dt/ha |
| 29.08.1985 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 29.9 | dt/ha |
| 12.09.1985 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 14.11.1985 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 03.04.1986 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 15.04.1986 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 02.06.1986 | emergence | sugar beet | 258.5 | dt/ha |
| 09.06.1986 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 25.06.1986 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.10.1986 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 258.5 | dt/ha |
| 13.11.1986 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 14.04.1987 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 24.05.1987 | emergence | durum wheat | 34.9 | dt/ha |
| 03.09.1987 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 34.9 | dt/ha |
| 24.09.1987 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 02.11.1987 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 08.04.1988 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 24.05.1988 | emergence | sugar beet | 257.7 | dt/ha |
| 10.06.1988 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.06.1988 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.10.1988 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 257.7 | dt/ha |
| 15.11.1988 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 21.03.1989 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 30.04.1989 | emergence | durum wheat | 23.9 | dt/ha |
| 15.08.1989 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 23.9 | dt/ha |
| 29.08.1989 | soil tillage | unspez | 15 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|---------------|-------|-------|
| 20.11.1989 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 25.03.1990 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 01.04.1990 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.05.1990 | emergence | sugar beet | 164.7 | dt/ha |
| 29.05.1990 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.06.1990 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.10.1990 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 164.7 | dt/ha |
| 15.11.1990 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 27.03.1991 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 03.04.1991 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 13.05.1991 | emergence | durum wheat | 36.3 | dt/ha |
| 22.08.1991 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 36.3 | dt/ha |
| 11.09.1991 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 07.11.1991 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 25.03.1992 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 07.04.1992 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 20.05.1992 | emergence | sugar beet | 236 | dt/ha |
| 28.05.1992 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.06.1992 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.10.1992 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 236 | dt/ha |
| 10.12.1992 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 06.04.1993 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.05.1993 | emergence | durum wheat | 24.9 | dt/ha |
| 25.08.1993 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 24.9 | dt/ha |
| 08.09.1993 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 15.11.1993 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 30.03.1994 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 13.04.1994 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.04.1994 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 29.05.1994 | emergence | sugar beet | 262.4 | dt/ha |
| 15.06.1994 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 05.10.1994 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 262.4 | dt/ha |
| 03.11.1994 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 29.03.1995 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 05.04.1995 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 26.04.1995 | emergence | durum wheat | 28.6 | dt/ha |
| 16.08.1995 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 28.6 | dt/ha |
| 23.08.1995 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 25.10.1995 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 27.03.1996 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 11.04.1996 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 16.04.1996 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 07.05.1996 | emergence | sugar beet | 183.6 | dt/ha |
| 24.05.1996 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 23.10.1996 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 183.6 | dt/ha |
| 25.11.1996 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 26.03.1997 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 03.04.1997 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 24.04.1997 | emergence | durum wheat | 24.7 | dt/ha |
| 26.08.1997 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 24.7 | dt/ha |
| 09.09.1997 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 16.10.1997 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 22.10.1997 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 06.04.1998 | soil tillage | unspez | 6 | cm |
| 29.04.1998 | emergence | sugar beet | 273.4 | dt/ha |
| 16.11.1998 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 273.4 | dt/ha |
| 29.03.1999 | soil tillage | unspez | 8 | cm |
| 21.04.1999 | emergence | durum wheat | 22.1 | dt/ha |
| 19.08.1999 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 22.1 | dt/ha |
| 31.08.1999 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 25.11.1999 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 30.11.1999 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 18.04.2000 | soil tillage | unspez | 6 | cm |
| 16.05.2000 | emergence | sugar beet | 298.1 | dt/ha |
| 25.10.2000 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 298.1 | dt/ha |
| 07.11.2000 | soil tillage | ? | 28 | cm |
| 11.04.2001 | soil tillage | unspez | 8 | cm |
| 24.04.2001 | emergence | spring barley | 21.9 | dt/ha |
| 24.04.2001 | soil tillage | unspez | 6 | cm |
| 25.08.2001 | harvest, crop res. removed | spring barley | 21.9 | dt/ha |
| 10.09.2001 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 14.11.2001 | soil tillage | unspez | 28 | cm |
| 05.02.2002 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 19.04.2002 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 24.04.2002 | emergence | sugar beet | 154.3 | dt/ha |
| 24.04.2002 | soil tillage | unspez | 8 | cm |
| 14.10.2002 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 154.3 | dt/ha |

Tabelle 23: Managementdaten STM+NPK-Variante „Prag-Ruzyně Feld B“ Prag (KUBAT, 2004)

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 18.08.1965 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 12.10.1965 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 19.11.1965 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 22.03.1966 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 05.04.1966 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 20.04.1966 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 60 | kg N/ha |
| 17.05.1966 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.05.1966 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 66 | kg N/ha |
| 31.05.1966 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 08.06.1966 | emergence | sugar beet | 568.3 | dt/ha |
| 14.06.1966 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.06.1966 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 26 | kg N/ha |
| 11.10.1966 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 568.3 | dt/ha |
| 30.11.1966 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 16.03.1967 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 17.03.1967 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 25.04.1967 | emergence | durum wheat | 46.8 | dt/ha |
| 11.08.1967 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 46.8 | dt/ha |
| 25.08.1967 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 28.09.1967 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 28.09.1967 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 26.03.1968 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 04.04.1968 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 20.04.1968 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 06.05.1968 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 16.05.1968 | emergence | sugar beet | 706.5 | dt/ha |
| 22.05.1968 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 27.05.1968 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 14.06.1968 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 23.10.1968 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 706.5 | dt/ha |
| 18.11.1968 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 09.04.1969 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 10.04.1969 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 19.05.1969 | emergence | durum wheat | 37.4 | dt/ha |
| 19.05.1969 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 21.08.1969 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 37.4 | dt/ha |
| 02.09.1969 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 29.09.1969 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 14.11.1969 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 07.04.1970 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 23.04.1970 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 23.04.1970 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 25.05.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 03.06.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 06.06.1970 | emergence | sugar beet | 586.4 | dt/ha |
| 09.06.1970 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 12.06.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 02.07.1970 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 13.10.1970 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 586.4 | dt/ha |
| 05.11.1970 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 26.03.1971 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 05.05.1971 | emergence | durum wheat | 50 | dt/ha |
| 19.05.1971 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 17.08.1971 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 50 | dt/ha |
| 30.08.1971 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 09.10.1971 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 10.10.1971 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 15.04.1972 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.04.1972 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 23.04.1972 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 27.05.1972 | emergence | sugar beet | 520.1 | dt/ha |
| 29.05.1972 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 09.06.1972 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 04.07.1972 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.10.1972 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 520.1 | dt/ha |
| 12.11.1972 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 31.03.1973 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 01.04.1973 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 10.05.1973 | emergence | durum wheat | 43 | dt/ha |
| 19.05.1973 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 20.08.1973 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 43 | dt/ha |
| 28.08.1973 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 13.11.1973 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 14.11.1973 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 02.04.1974 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 03.04.1974 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 15.05.1974 | emergence | sugar beet | 396 | dt/ha |
| 27.05.1974 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 10.06.1974 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.06.1974 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 21.06.1974 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 16.10.1974 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 396 | dt/ha |
| 12.11.1974 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 07.04.1975 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 17.05.1975 | emergence | durum wheat | 43.3 | dt/ha |
| 30.05.1975 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 22.08.1975 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 43.3 | dt/ha |
| 12.09.1975 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 11.11.1975 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 14.11.1975 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 14.04.1976 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 16.04.1976 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.05.1976 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 31.05.1976 | emergence | sugar beet | 357.9 | dt/ha |
| 05.06.1976 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.06.1976 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 15.06.1976 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 13.10.1976 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 357.9 | dt/ha |
| 08.11.1976 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 24.03.1977 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 03.05.1977 | emergence | durum wheat | 48.7 | dt/ha |
| 30.05.1977 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 25.08.1977 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 48.7 | dt/ha |
| 10.09.1977 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 08.11.1977 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 11.11.1977 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 14.04.1978 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 16.04.1978 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 22.04.1978 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.05.1978 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 31.05.1978 | emergence | sugar beet | 471.7 | dt/ha |
| 08.06.1978 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.06.1978 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 19.06.1978 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 04.10.1978 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 471.7 | dt/ha |
| 11.11.1978 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 20.03.1979 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.03.1979 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 07.05.1979 | emergence | durum wheat | 38 | dt/ha |
| 30.05.1979 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 17.08.1979 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 38 | dt/ha |
| 06.09.1979 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 15.10.1979 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 16.11.1979 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 02.04.1980 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 03.04.1980 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 15.04.1980 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.05.1980 | emergence | sugar beet | 425.3 | dt/ha |
| 01.06.1980 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 10.06.1980 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 15.06.1980 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 17.06.1980 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 10.10.1980 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 425.3 | dt/ha |
| 25.11.1980 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 23.03.1981 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 09.05.1981 | emergence | durum wheat | 47.3 | dt/ha |
| 15.05.1981 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 11.08.1981 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 47.3 | dt/ha |
| 21.08.1981 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 18.11.1981 | organic manure | farmyard manure, vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 19.11.1981 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 02.04.1982 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 15.04.1982 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 31.05.1982 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 04.06.1982 | emergence | sugar beet | 390.3 | dt/ha |
| 15.06.1982 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 17.06.1982 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 06.10.1982 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 390.3 | dt/ha |
| 25.10.1982 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 05.04.1983 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.05.1983 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 17.05.1983 | emergence | durum wheat | 32.7 | dt/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 15.08.1983 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 32.7 | dt/ha |
| 05.09.1983 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 10.11.1983 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 11.11.1983 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 26.03.1984 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 18.04.1984 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 20.04.1984 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 01.06.1984 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 06.06.1984 | emergence | sugar beet | 469.1 | dt/ha |
| 07.06.1984 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 23.10.1984 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 469.1 | dt/ha |
| 30.11.1984 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 03.04.1985 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 13.05.1985 | emergence | durum wheat | 55.9 | dt/ha |
| 27.05.1985 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 29.08.1985 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 55.9 | dt/ha |
| 12.09.1985 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 13.11.1985 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 14.11.1985 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 03.04.1986 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 15.04.1986 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 15.04.1986 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 02.06.1986 | emergence | sugar beet | 586.4 | dt/ha |
| 09.06.1986 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.06.1986 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 25.06.1986 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.10.1986 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 586.4 | dt/ha |
| 13.11.1986 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 14.04.1987 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 24.05.1987 | emergence | durum wheat | 71.9 | dt/ha |
| 27.05.1987 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 03.09.1987 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 71.9 | dt/ha |
| 24.09.1987 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 01.11.1987 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 02.11.1987 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 08.04.1988 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 11.04.1988 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 24.05.1988 | emergence | sugar beet | 524.7 | dt/ha |
| 10.06.1988 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.06.1988 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 20.06.1988 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 11.10.1988 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 524.7 | dt/ha |
| 15.11.1988 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 21.03.1989 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 28.03.1989 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 30.04.1989 | emergence | durum wheat | 43.8 | dt/ha |
| 15.08.1989 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 43.8 | dt/ha |
| 29.08.1989 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 14.11.1989 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 20.11.1989 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 25.03.1990 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 01.04.1990 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 02.04.1990 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 16.05.1990 | emergence | sugar beet | 311.2 | dt/ha |
| 29.05.1990 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 20.06.1990 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 25.06.1990 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 15.10.1990 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 311.2 | dt/ha |
| 15.11.1990 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 27.03.1991 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 02.04.1991 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 03.04.1991 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 13.05.1991 | emergence | durum wheat | 60.7 | dt/ha |
| 22.08.1991 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 60.7 | dt/ha |
| 11.09.1991 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 05.11.1991 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 07.11.1991 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 25.03.1992 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 01.04.1992 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 07.04.1992 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 20.05.1992 | emergence | sugar beet | 444.2 | dt/ha |
| 28.05.1992 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 10.06.1992 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 11.06.1992 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 15.10.1992 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 444.2 | dt/ha |
| 10.12.1992 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 05.04.1993 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| 06.04.1993 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.05.1993 | emergence | durum wheat | 39.4 | dt/ha |
| 25.08.1993 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 39.4 | dt/ha |
| 08.09.1993 | soil tillage | unspez | 15 | cm |
| 10.11.1993 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 15.11.1993 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 30.03.1994 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 05.04.1994 | mineral N fertilizer | ammonium sulfate | 100 | kg N/ha |
| 13.04.1994 | soil tillage | unspez | 7 | cm |
| 16.04.1994 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 25.05.1994 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 29.05.1994 | emergence | sugar beet | 405.9 | dt/ha |
| 15.06.1994 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 05.10.1994 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 405.9 | dt/ha |
| 03.11.1994 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 29.03.1995 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 04.04.1995 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 05.04.1995 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 26.04.1995 | emergence | durum wheat | 63.8 | dt/ha |
| 16.08.1995 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 63.8 | dt/ha |
| 23.08.1995 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 24.10.1995 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 25.10.1995 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 27.03.1996 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 10.04.1996 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 11.04.1996 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 16.04.1996 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 07.05.1996 | emergence | sugar beet | 499.8 | dt/ha |
| 24.05.1996 | soil tillage | unspez | 5 | cm |
| 04.06.1996 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 22.10.1996 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 499.8 | dt/ha |
| 25.11.1996 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 26.03.1997 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 02.04.1997 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 24.04.1997 | emergence | durum wheat | 46.8 | dt/ha |
| 26.08.1997 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 46.8 | dt/ha |
| 09.09.1997 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 15.10.1997 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 16.10.1997 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 22.10.1997 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 06.04.1998 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 06.04.1998 | soil tillage | unspez | 6 | cm |
| 29.04.1998 | emergence | sugar beet | 523.8 | dt/ha |
| 13.05.1998 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 16.11.1998 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 523.8 | dt/ha |
| 29.03.1999 | soil tillage | unspez | 8 | cm |
| 31.03.1999 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 21.04.1999 | emergence | durum wheat | 34.9 | dt/ha |
| 19.08.1999 | harvest, crop res. removed | durum wheat | 34.9 | dt/ha |
| 31.08.1999 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 24.11.1999 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 25.11.1999 | soil tillage | unspez | 25 | cm |
| 30.11.1999 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 18.04.2000 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 18.04.2000 | soil tillage | unspez | 6 | cm |
| 16.05.2000 | emergence | sugar beet | 529.6 | dt/ha |
| 25.05.2000 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 25.10.2000 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 529.6 | dt/ha |
| 06.11.2000 | soil tillage | unspez | 28 | cm |
| 11.04.2001 | soil tillage | unspez | 8 | cm |
| 24.04.2001 | emergence | spring barley | 55.7 | dt/ha |
| 24.04.2001 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 24.04.2001 | soil tillage | unspez | 6 | cm |
| 25.08.2001 | harvest, crop res. removed | spring barley | 55.7 | dt/ha |
| 10.09.2001 | soil tillage | unspez | 12 | cm |
| 13.11.2001 | organic manure | farmyard manure,vr(9%C) | 210 | dtFM/ha |
| 14.11.2001 | soil tillage | unspez | 28 | cm |
| 05.02.2002 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 19.04.2002 | soil tillage | unspez | 10 | cm |
| 23.04.2002 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 100 | kg N/ha |
| 24.04.2002 | emergence | sugar beet | 615 | dt/ha |
| 24.04.2002 | soil tillage | unspez | 8 | cm |
| 15.05.2002 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 50 | kg N/ha |
| 14.10.2002 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 615 | dt/ha |

Tabelle 24: Managementdaten Kontrollvariante „Grakov Versuchsfeld“ Grakov (RODIONOVA, 2004)

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|------------------|------|-------|
| 05.09.1967 | soil tillage | unspez | 28 | cm |
| 22.04.1968 | emergence | maize for silage | 114 | dt/ha |
| 10.07.1968 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 114 | dt/ha |
| 18.07.1968 | soil tillage | unspez | 29 | cm |
| 10.09.1968 | emergence | winter wheat | 21.2 | dt/ha |
| 23.07.1969 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 21.2 | dt/ha |
| 16.09.1969 | soil tillage | unspez | 29 | cm |
| 20.04.1970 | emergence | sugar beet | 268 | dt/ha |
| 14.10.1970 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 268 | dt/ha |
| 22.10.1970 | soil tillage | unspez | 28 | cm |
| 12.05.1971 | emergence | maize for silage | 151 | dt/ha |
| 19.08.1971 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 151 | dt/ha |
| 21.09.1971 | soil tillage | unspez | 29 | cm |
| 21.04.1972 | emergence | maize for silage | 396 | dt/ha |
| 24.07.1972 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 396 | dt/ha |
| 09.08.1972 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 31.08.1972 | emergence | winter wheat | 28.9 | dt/ha |
| 25.07.1973 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28.9 | dt/ha |
| 21.09.1973 | soil tillage | unspez | 31 | cm |
| 08.07.1974 | emergence | sugar beet | 328 | dt/ha |
| 14.10.1974 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 328 | dt/ha |
| 29.10.1974 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 25.04.1975 | emergence | maize for silage | 250 | dt/ha |
| 09.08.1975 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 250 | dt/ha |
| 23.09.1975 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 27.04.1976 | emergence | maize for silage | 310 | dt/ha |
| 17.08.1976 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 310 | dt/ha |
| 24.08.1976 | soil tillage | unspez | 23 | cm |
| 10.09.1976 | emergence | winter wheat | 24.7 | dt/ha |
| 19.07.1977 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 24.7 | dt/ha |
| 16.09.1977 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 16.04.1978 | emergence | sugar beet | 133 | dt/ha |
| 11.10.1978 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 133 | dt/ha |
| 25.10.1978 | soil tillage | unspez | 28 | cm |
| 04.05.1979 | emergence | maize for silage | 242 | dt/ha |
| 16.08.1979 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 242 | dt/ha |
| 29.09.1979 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 07.05.1980 | emergence | maize for silage | 118 | dt/ha |
| 14.08.1980 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 118 | dt/ha |
| 19.08.1980 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 02.09.1980 | emergence | winter wheat | 24.8 | dt/ha |
| 14.07.1981 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 24.8 | dt/ha |
| 15.09.1981 | soil tillage | unspez | 29 | cm |
| 27.04.1982 | emergence | sugar beet | 321 | dt/ha |
| 20.10.1982 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 321 | dt/ha |
| 10.11.1982 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 26.04.1983 | emergence | maize for silage | 267 | dt/ha |
| 26.07.1983 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 267 | dt/ha |
| 23.09.1983 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 29.04.1984 | emergence | maize for silage | 193 | dt/ha |
| 30.07.1984 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 193 | dt/ha |
| 17.08.1984 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 29.08.1984 | emergence | winter wheat | 15.7 | dt/ha |
| 18.07.1985 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 15.7 | dt/ha |
| 28.09.1985 | soil tillage | unspez | 29 | cm |
| 11.04.1986 | emergence | sugar beet | 321 | dt/ha |
| 08.10.1986 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 321 | dt/ha |
| 20.10.1986 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 20.05.1987 | emergence | maize for silage | 541 | dt/ha |
| 31.08.1987 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 541 | dt/ha |
| 15.10.1987 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 20.05.1988 | emergence | maize for silage | 388 | dt/ha |
| 02.08.1988 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 388 | dt/ha |
| 03.09.1988 | emergence | winter wheat | 13.1 | dt/ha |
| 19.07.1989 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 13.1 | dt/ha |
| 27.09.1989 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 17.04.1990 | emergence | sugar beet | 413 | dt/ha |
| 24.09.1990 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 413 | dt/ha |
| 26.10.1990 | soil tillage | unspez | 27 | cm |
| 15.05.1991 | emergence | maize for silage | 309 | dt/ha |
| 15.08.1991 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 309 | dt/ha |
| 11.10.1991 | soil tillage | unspez | 27 | cm |
| 30.03.1992 | emergence | spring barley | 31.7 | dt/ha |
| 04.08.1992 | harvest, crop res. removed | spring barley | 31.7 | dt/ha |
| 17.11.1992 | soil tillage | unspez | 26 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------|------|-------|
| 13.05.1993 | emergence | maize for silage | 278 | dt/ha |
| 27.08.1993 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 278 | dt/ha |
| 09.09.1993 | soil tillage | unspez | 20 | cm |
| 10.09.1993 | emergence | winter wheat | 23 | dt/ha |
| 29.07.1994 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 23 | dt/ha |
| 19.09.1994 | soil tillage | unspez | 30 | cm |
| 27.04.1995 | emergence | sugar beet | 538 | dt/ha |
| 09.10.1995 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 538 | dt/ha |
| 02.11.1995 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 22.04.1996 | emergence | alfalfa with grass | 23 | dt/ha |
| 31.07.1996 | harvest, crop res. removed | alfalfa with grass | 23 | dt/ha |
| 19.08.1996 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 10.09.1996 | emergence | winter wheat | 24.9 | dt/ha |
| 03.08.1997 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 24.9 | dt/ha |
| 28.11.1997 | soil tillage | unspez | 26 | cm |
| 05.05.1998 | emergence | maize for silage | 156 | dt/ha |
| 03.08.1998 | harvest, crop res. removed | maize for silage | 156 | dt/ha |
| 12.11.1998 | soil tillage | unspez | 24 | cm |
| 05.04.1999 | emergence | spring barley | 32.4 | dt/ha |
| 15.07.1999 | harvest, crop res. removed | spring barley | 32.4 | dt/ha |

Tabelle 25: Managementdaten Kontrollvariante „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“
Keszthely (BÖHME, 2004)

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|-------------------|------|-------|
| 26.02.1980 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1980 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1980 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 26.10.1980 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 30.10.1980 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1981 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1981 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1981 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 06.10.1981 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 10.10.1981 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1981 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1981 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1982 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.1982 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1982 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1982 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.10.1982 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.10.1982 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1983 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1983 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1983 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1983 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.1983 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1984 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1984 | emergence | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 26.10.1984 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 30.10.1984 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1985 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1985 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1985 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 26.10.1985 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 30.10.1985 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1986 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1986 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1986 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 06.10.1986 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 10.10.1986 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1986 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1986 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1987 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 12.10.1987 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1987 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.10.1987 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.10.1987 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1988 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1988 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1988 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1988 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.10.1988 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1989 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1989 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1989 | emergence | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 26.10.1989 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 30.10.1989 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1990 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1990 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1990 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 26.10.1990 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 30.10.1990 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1991 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1991 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1991 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 06.10.1991 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 10.10.1991 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1991 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1991 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1992 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.1992 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1992 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1992 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.10.1992 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.10.1992 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1993 | soil tillage | plough | 30 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|-------------------|----|-------|
| 26.03.1993 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1993 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1993 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.1993 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1994 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1994 | emergence | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 26.10.1994 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 30.10.1994 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1995 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1995 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1995 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 26.10.1995 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 30.10.1995 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1996 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1996 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1996 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 06.10.1996 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 10.10.1996 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1996 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1996 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1997 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.1997 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1997 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1997 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.1998 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.1998 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1999 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1999 | emergence | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 26.10.1999 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 30 | dt/ha |
| 30.10.1999 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.2000 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.2000 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.2000 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 26.10.2000 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 30.10.2000 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.2001 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.2001 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.2001 | emergence | grain maize | 25 | dt/ha |
| 06.10.2001 | harvest, crop res. removed | grain maize | 25 | dt/ha |
| 10.10.2001 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.2001 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.2001 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.2002 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.2002 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.2002 | emergence | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 26.06.2003 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 28 | dt/ha |
| 30.06.2003 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 30.10.2003 | soil tillage | plough | 30 | cm |

Tabelle 26: Managementdaten Stallmistvariante „Dauerfeldversuch zur Untersuchung der organischen Substanz“ Keszthely (BÖHME, 2004)

| Date | Management | Characterisation | Size | Unit |
|------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 26.02.1980 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1980 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1980 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1980 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1980 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 30.10.1980 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.10.1980 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1981 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1981 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1981 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1981 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 06.10.1981 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 10.10.1981 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1981 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1981 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1982 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1982 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.1982 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1982 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1982 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1983 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1983 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.1983 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.06.1983 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1984 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1984 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1984 | emergence | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 26.04.1984 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1984 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 30.10.1984 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1985 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1985 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1985 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1985 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1985 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 30.10.1985 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.10.1985 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1986 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1986 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1986 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1986 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 06.10.1986 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 10.10.1986 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1986 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1986 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1987 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1987 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 12.10.1987 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1987 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1988 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1988 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.10.1988 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.10.1988 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1989 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1989 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1989 | emergence | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 26.04.1989 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1989 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 30.10.1989 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1990 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1990 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1990 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1990 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1990 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 30.10.1990 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.10.1990 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1991 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1991 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1991 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1991 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 06.10.1991 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 10.10.1991 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1991 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |

| | | | | |
|------------|----------------------------|--------------------------|-----|---------|
| 15.10.1991 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1992 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1992 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.1992 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1992 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1992 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1993 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1993 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.1993 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.06.1993 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1994 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1994 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1994 | emergence | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 26.04.1994 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1994 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 30.10.1994 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1995 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1995 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1995 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1995 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1995 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.02.1996 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 26.02.1996 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1996 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1996 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.1996 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 06.10.1996 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 10.10.1996 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1996 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1996 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1997 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1997 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.1997 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.1997 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.1997 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.1998 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.1998 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.1998 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.06.1998 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.1999 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.1999 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.1999 | emergence | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 26.04.1999 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.1999 | harvest, crop res. removed | sugar beet | 160 | dt/ha |
| 30.10.1999 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.02.2000 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.2000 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.2000 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.2000 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.10.2000 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 30.10.2000 | organic manure | farmyard manure,fr(10%C) | 350 | dtFM/ha |
| 30.10.2000 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 26.03.2001 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 26.04.2001 | emergence | grain maize | 31 | dt/ha |
| 26.04.2001 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 06.10.2001 | harvest, crop res. removed | grain maize | 31 | dt/ha |
| 10.10.2001 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.2001 | soil tillage | harrow/cultivator | 30 | cm |
| 15.10.2001 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.2002 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.2002 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.2002 | soil tillage | plough | 30 | cm |
| 12.10.2002 | emergence | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 26.04.2003 | mineral N fertilizer | calcium ammonium nitrate | 0 | kg N/ha |
| 26.06.2003 | harvest, crop res. removed | winter wheat | 40 | dt/ha |
| 30.06.2003 | soil tillage | plough | 30 | cm |

Anhang G

Dichtedynamik

Abbildungsverzeichnis:

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Linearere und Exponentiale Regression zu der in 5,15 und 25 cm Tiefe bestimmten Trockenrohddichte (TRD)..... | 48 |
|---|----|

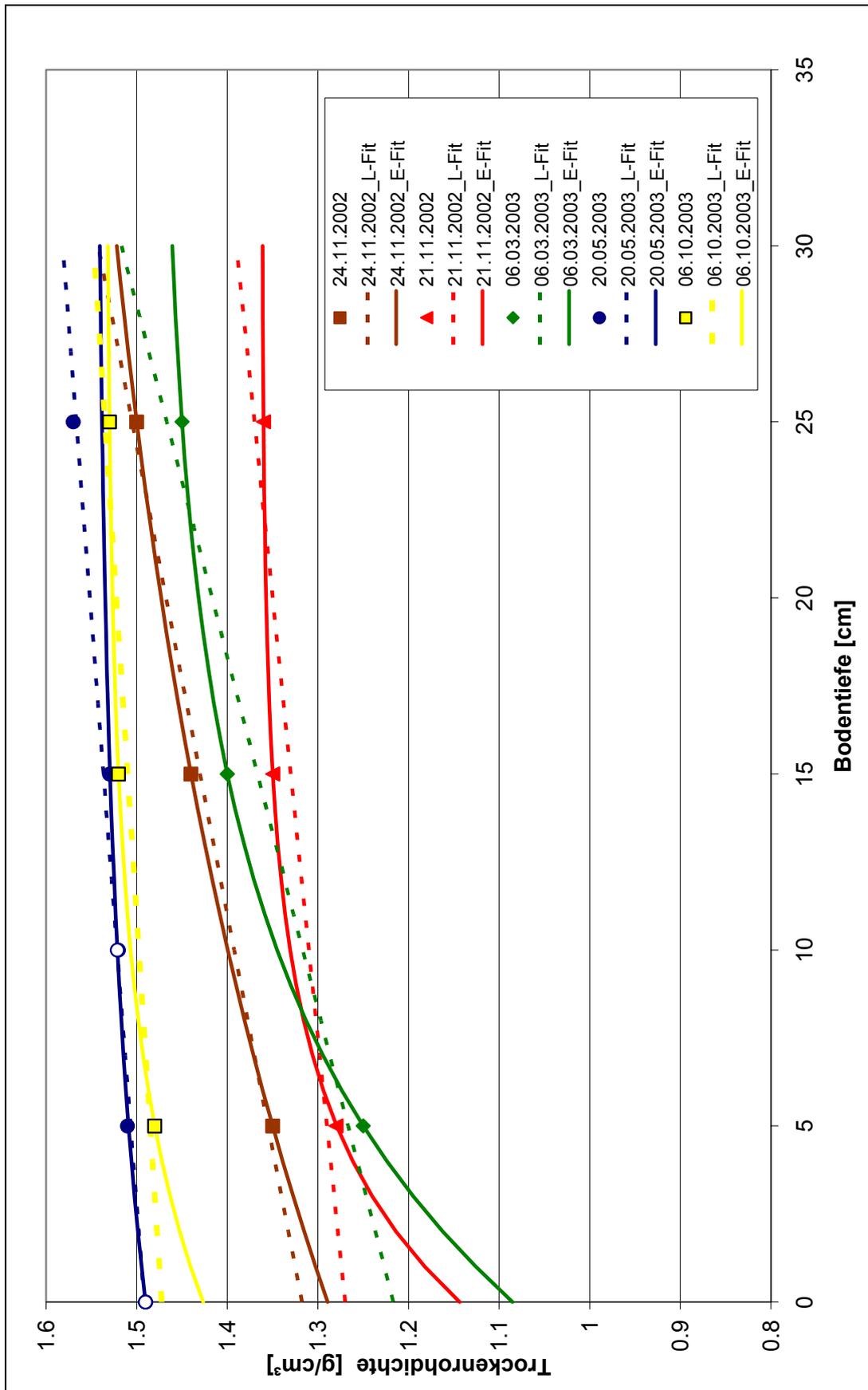


Abb. 1: Linearere und Exponentiale Regression zu der in 5,15 und 25 cm Tiefe bestimmten Trockenrohichte (TRD)

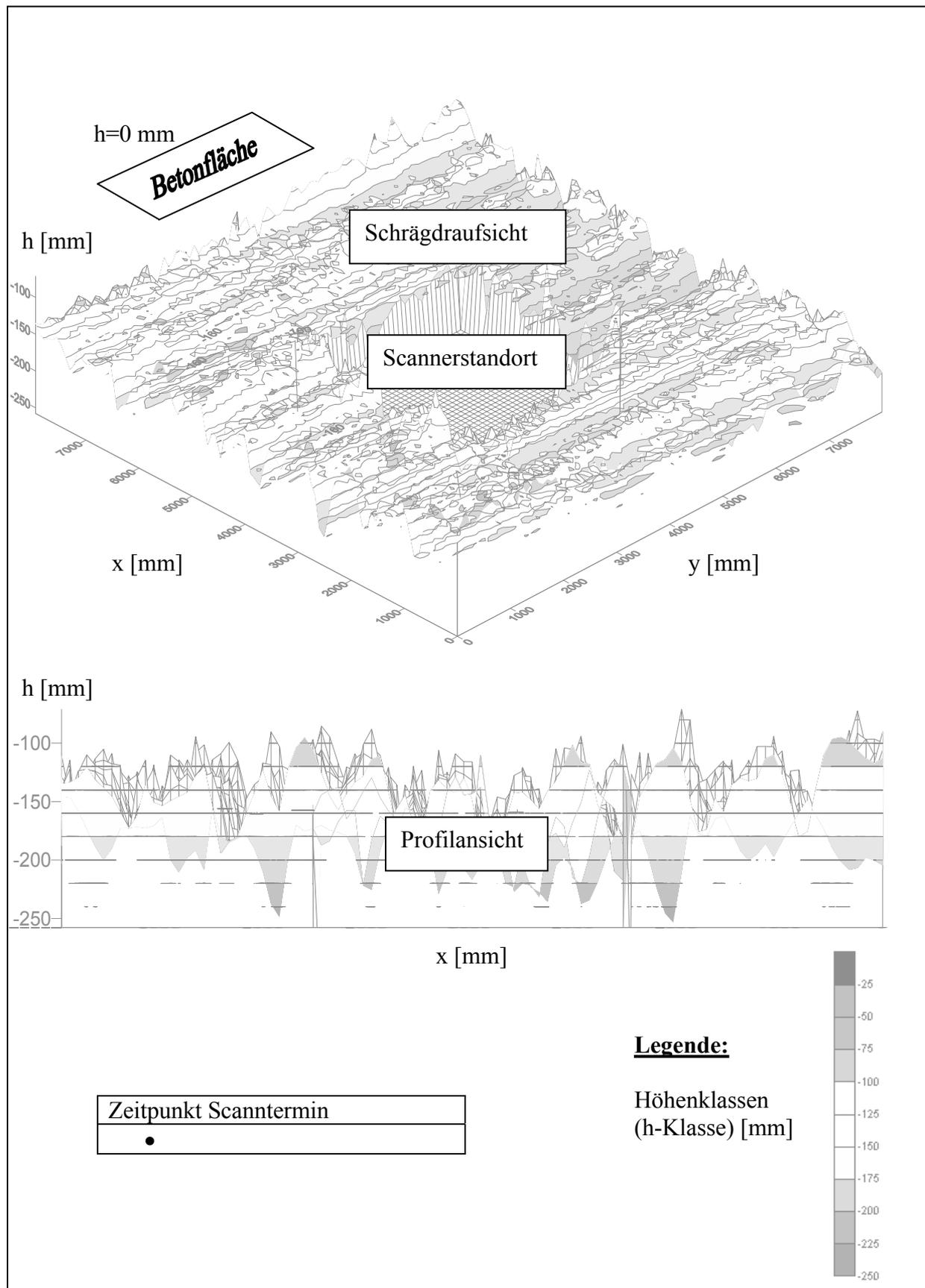
Anhang **H**

Höhenprofile

Abbildungsverzeichnis:

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Höhenprofil vom 24.09.2002 | 49 |
| Abb. 2: Höhenprofil vom 21.11.2002 | 50 |
| Abb. 3: Höhenprofil vom 06.03.2003 | 51 |
| Abb. 4: Höhenprofil vom 20.05.2003 | 52 |
| Abb. 5: Höhenprofil vom 06.10.2003 | 53 |

Beschreibung zu den Abbildungen der Höhenprofile – Erstellung aus Scannermessungen



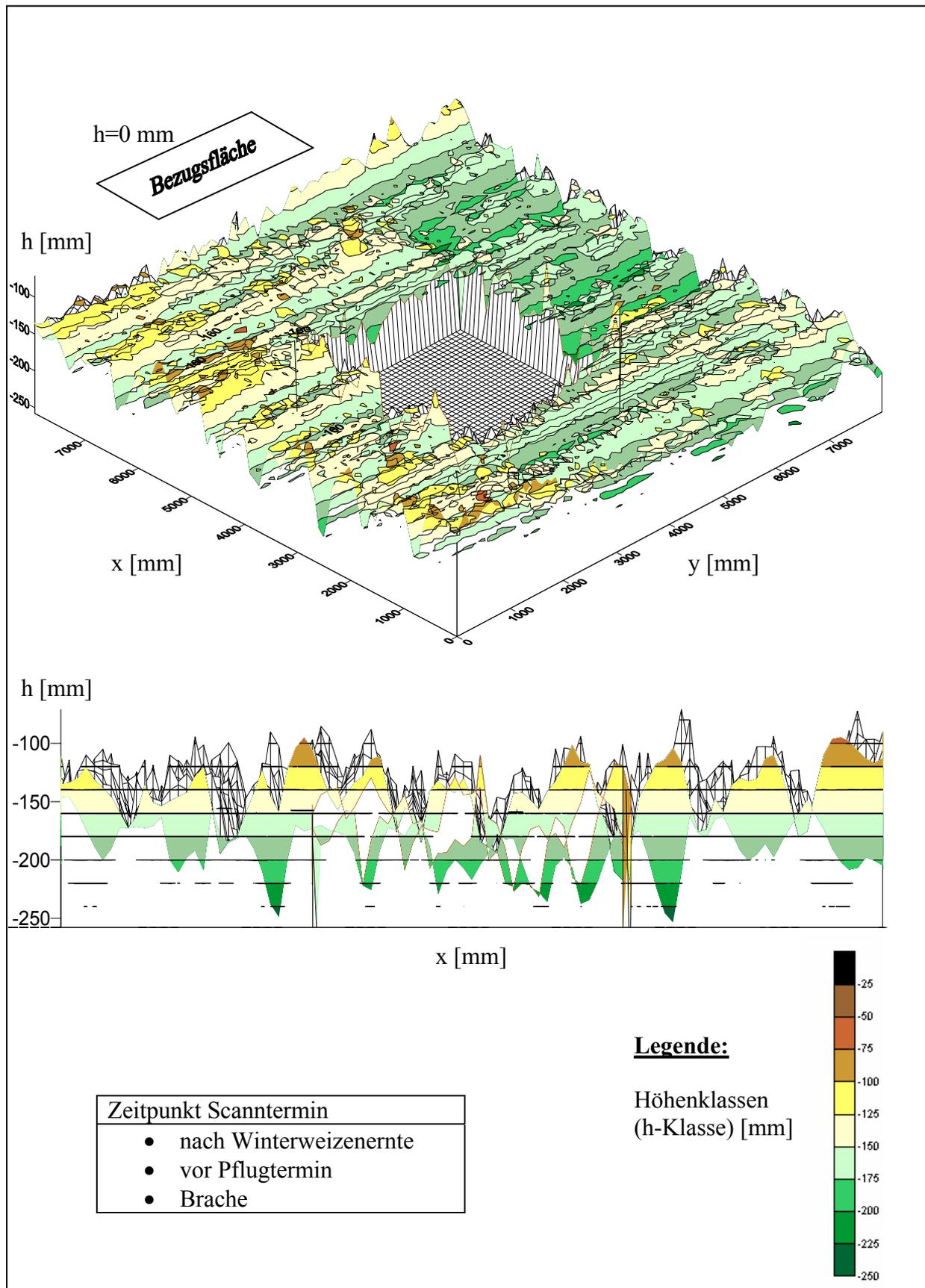


Abb. 7: Höhenprofil vom 24.09.2002

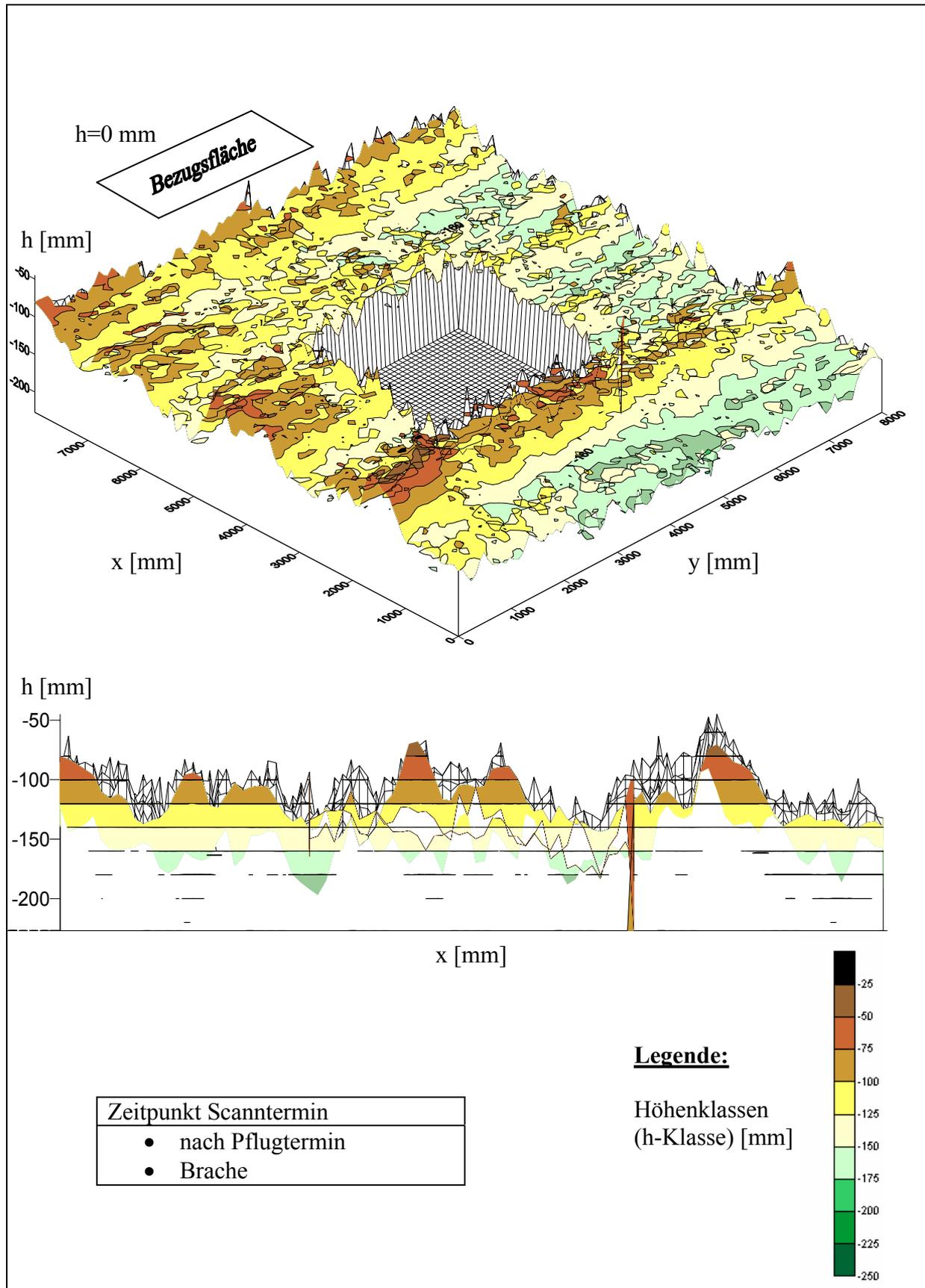


Abb. 8: Höhenprofil vom 21.11.2002

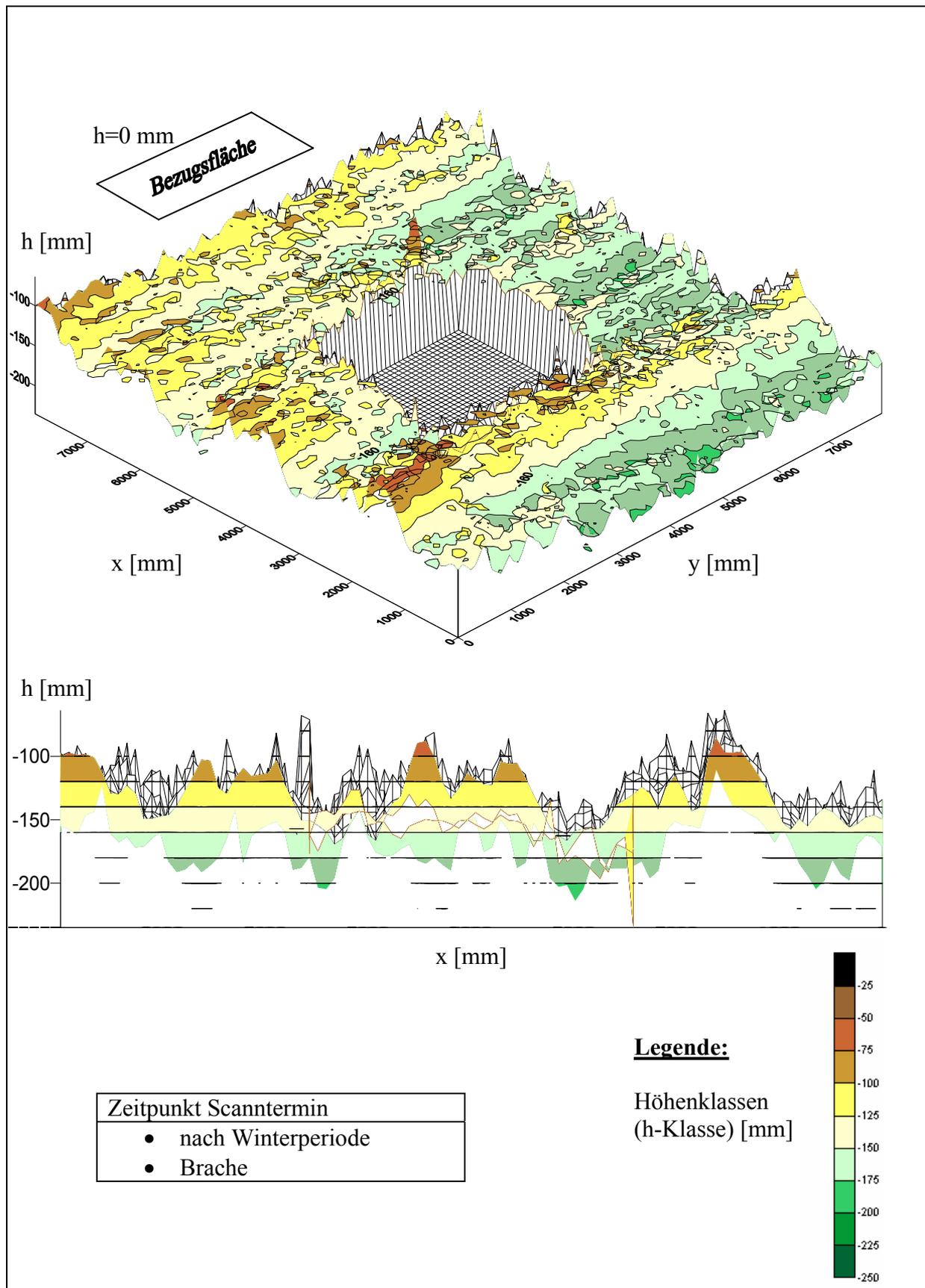


Abb. 9: Höhenprofil vom 06.03.2003

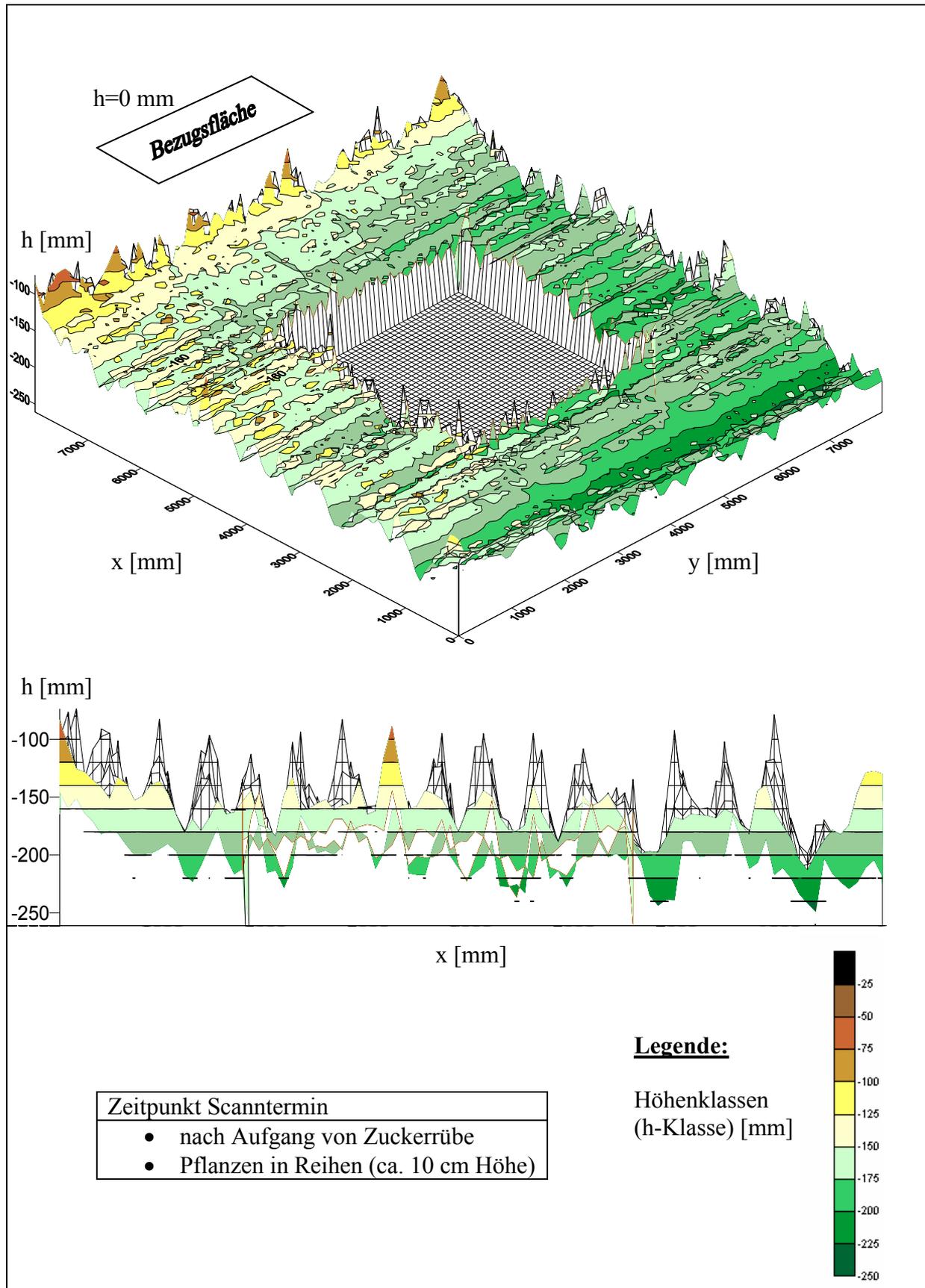


Abb. 10: Höhenprofil vom 20.05.2003

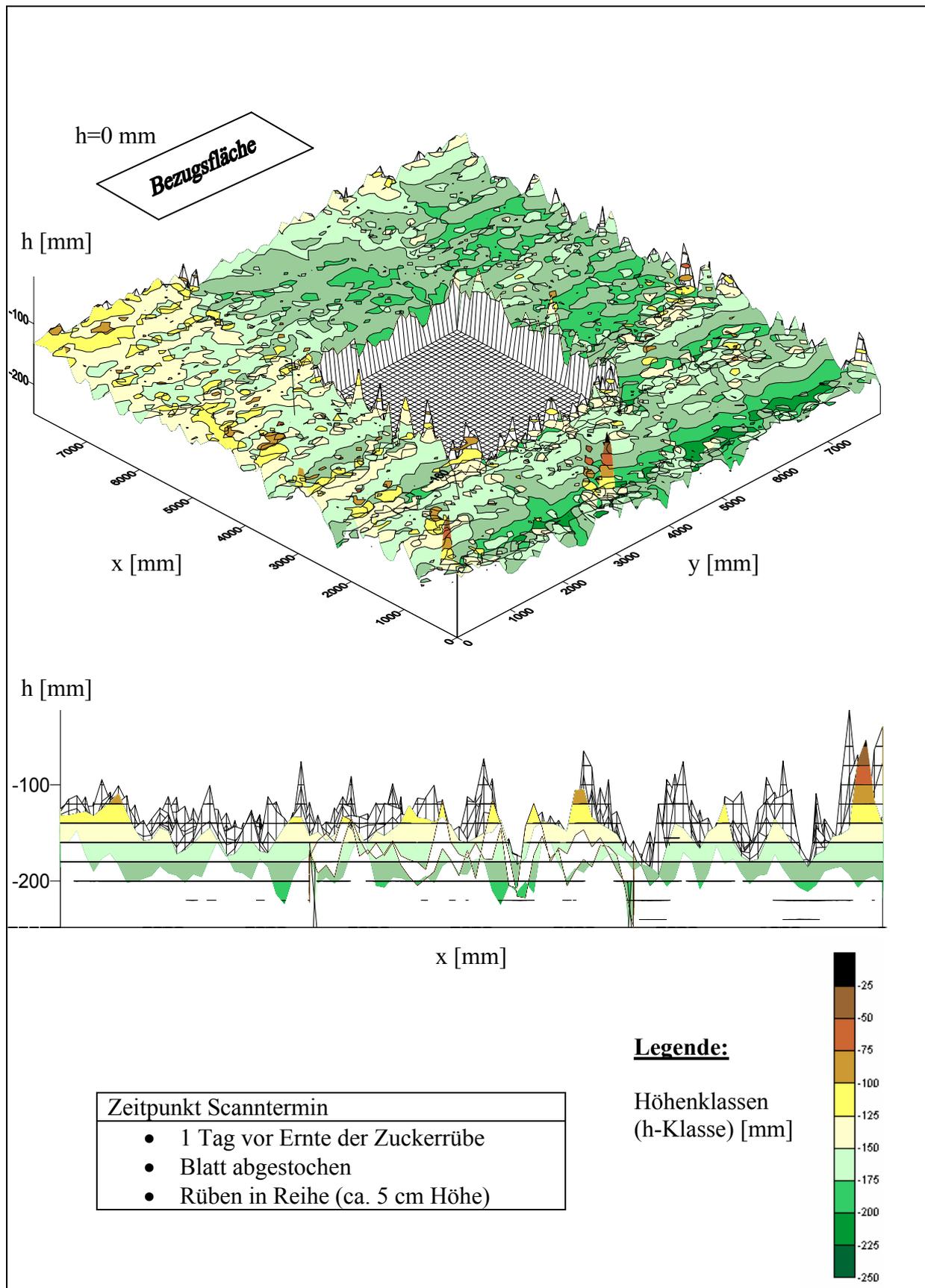


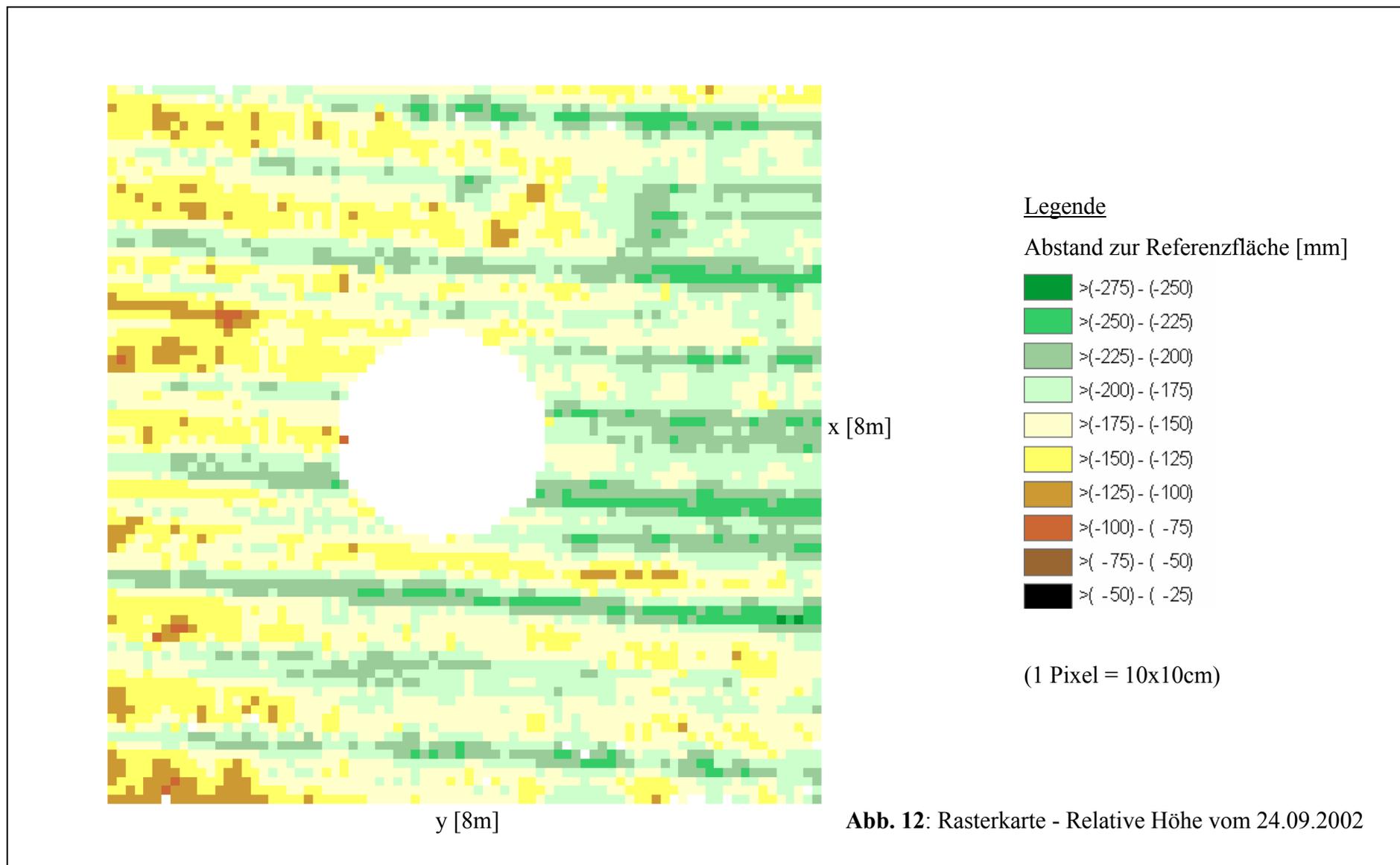
Abb. 11: Höhenprofil vom 06.10.2003

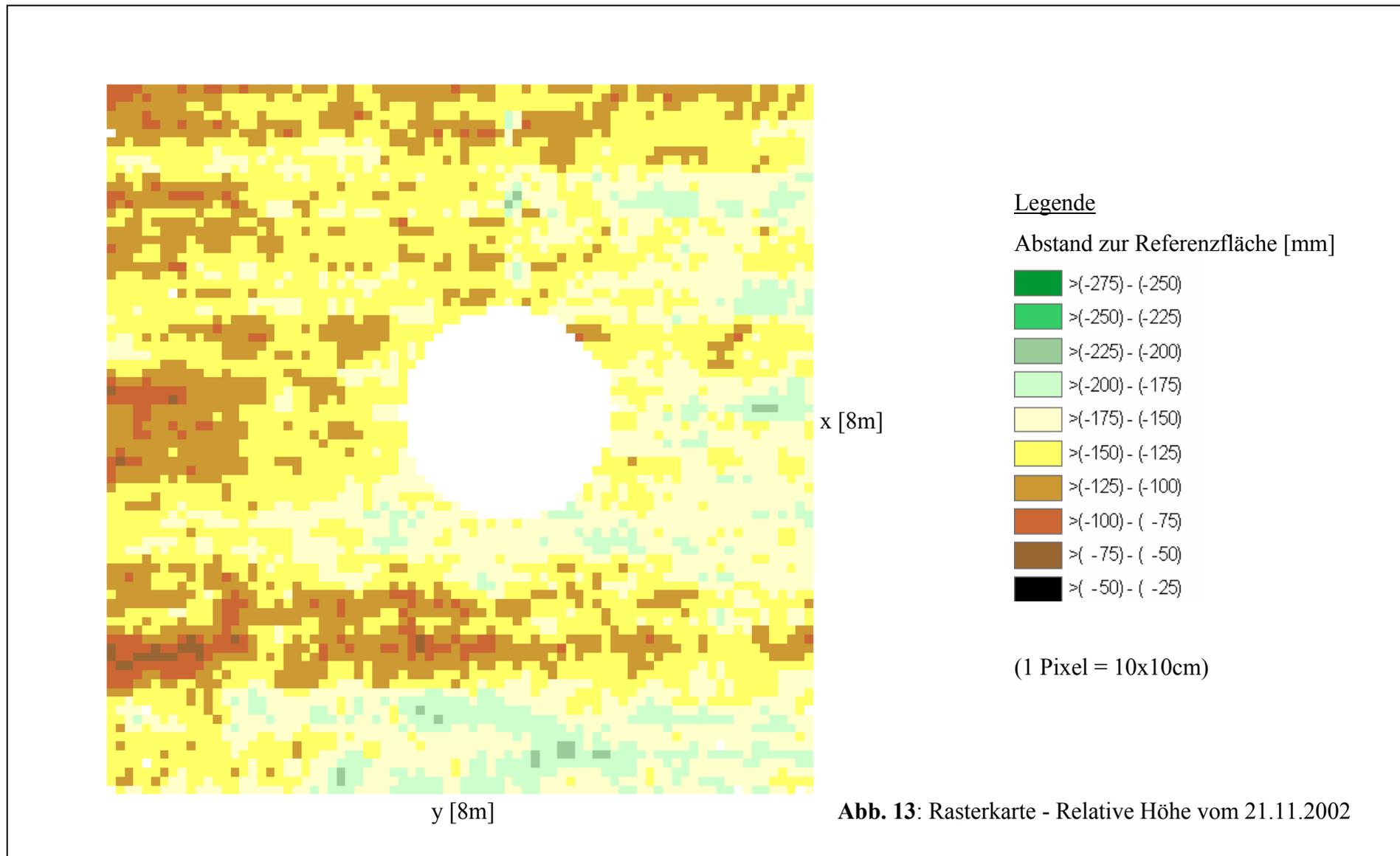
Anhang I

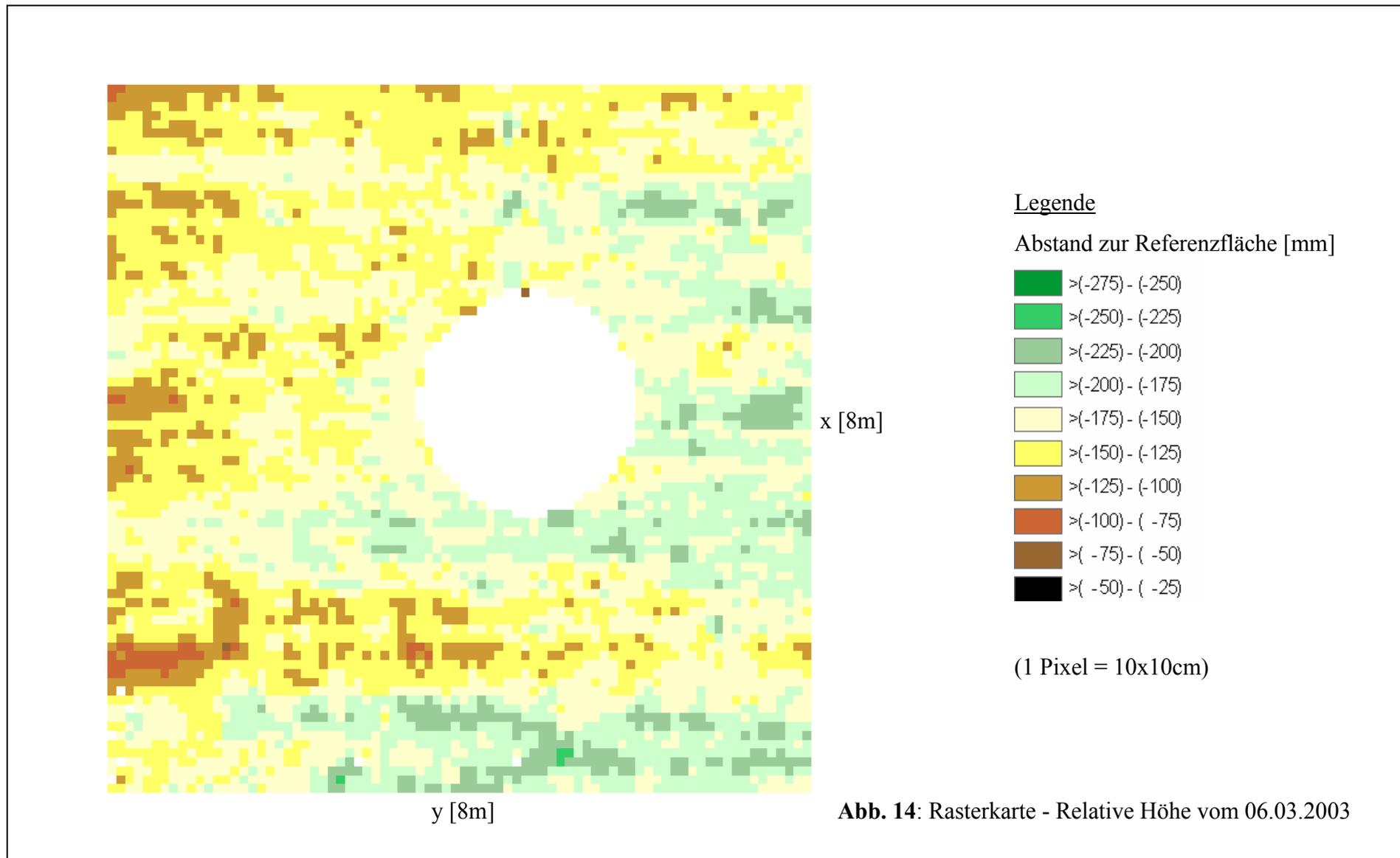
Rasterkarten

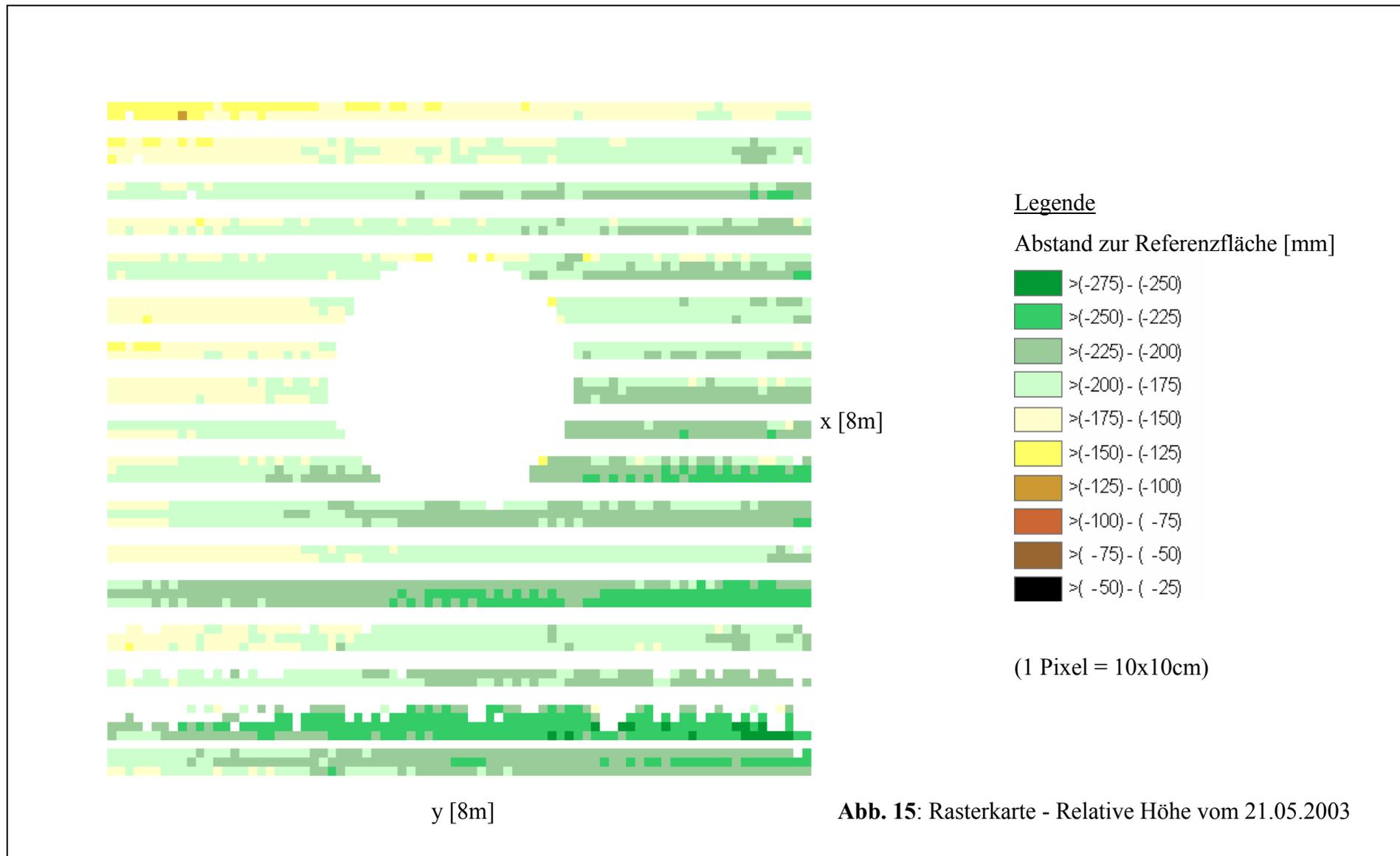
Abbildungsverzeichnis:

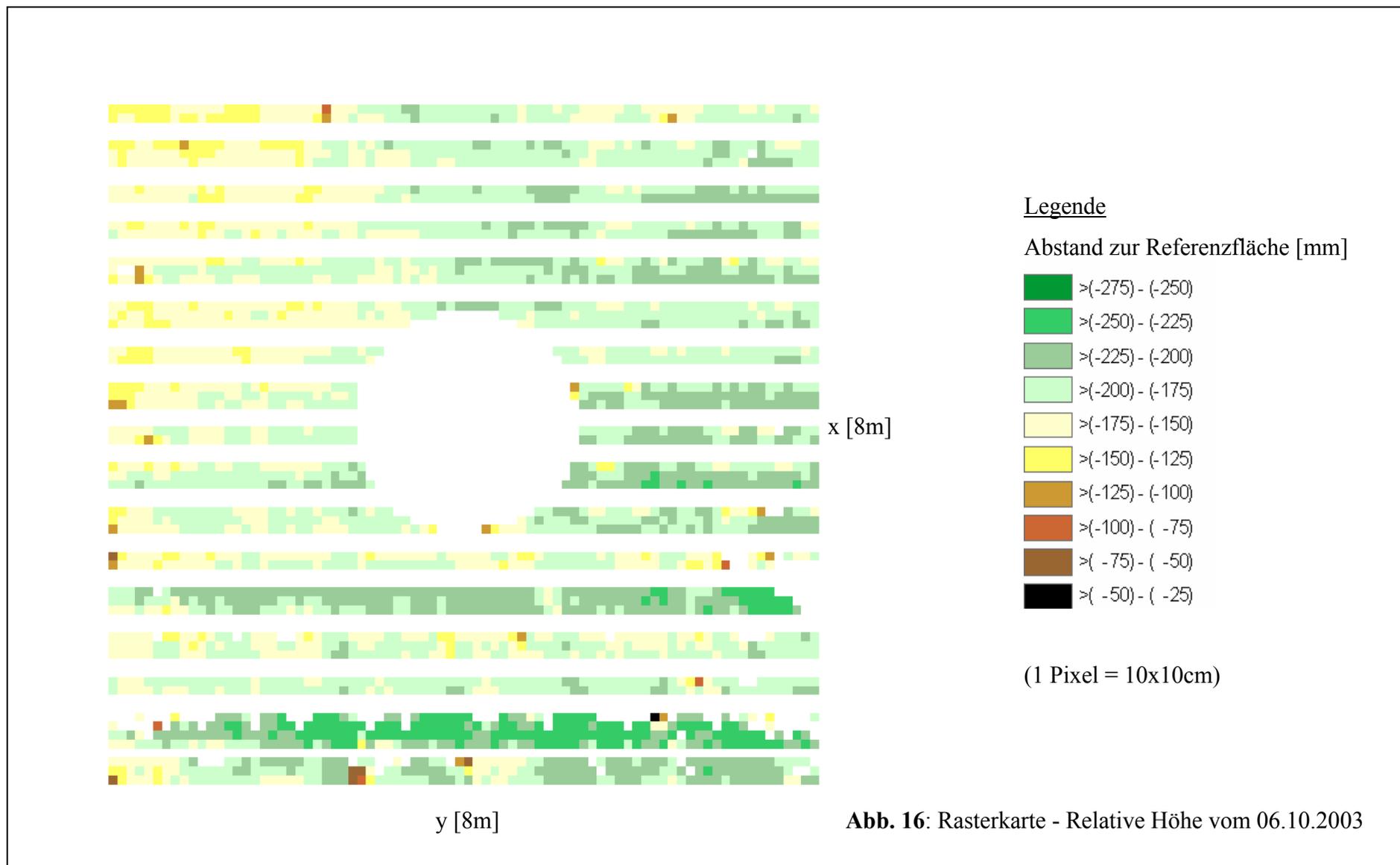
| | |
|--|----|
| Abb. 1: Rasterkarte - Relative Höhe vom 24.09.2002 | 54 |
| Abb. 2: Rasterkarte - Relative Höhe vom 21.11.2002 | 55 |
| Abb. 3: Rasterkarte - Relative Höhe vom 06.03.2003 | 56 |
| Abb. 4: Rasterkarte - Relative Höhe vom 21.05.2003 | 57 |
| Abb. 5: Rasterkarte - Relative Höhe vom 06.10.2003 | 58 |
| Abb. 6: Rasterkarte - Höhendifferenz 21.11.02-24.09.02 | 59 |
| Abb. 7: Rasterkarte - Höhendifferenz 06.03.03-24.09.02 | 60 |
| Abb. 8: Rasterkarte - Höhendifferenz 21.05.03-24.09.02 | 61 |
| Abb. 9: Rasterkarte - Höhendifferenz 10.06.03-24.09.02 | 62 |
| Abb. 10: Rasterkarte - Dichte vom 21.11.2002..... | 63 |
| Abb. 11: Rasterkarte - Dichte vom 06.03.2003..... | 64 |
| Abb. 12: Rasterkarte - Dichte vom 21.05.2003..... | 65 |
| Abb. 13: Rasterkarte - Dichte vom 06.10.2003..... | 66 |

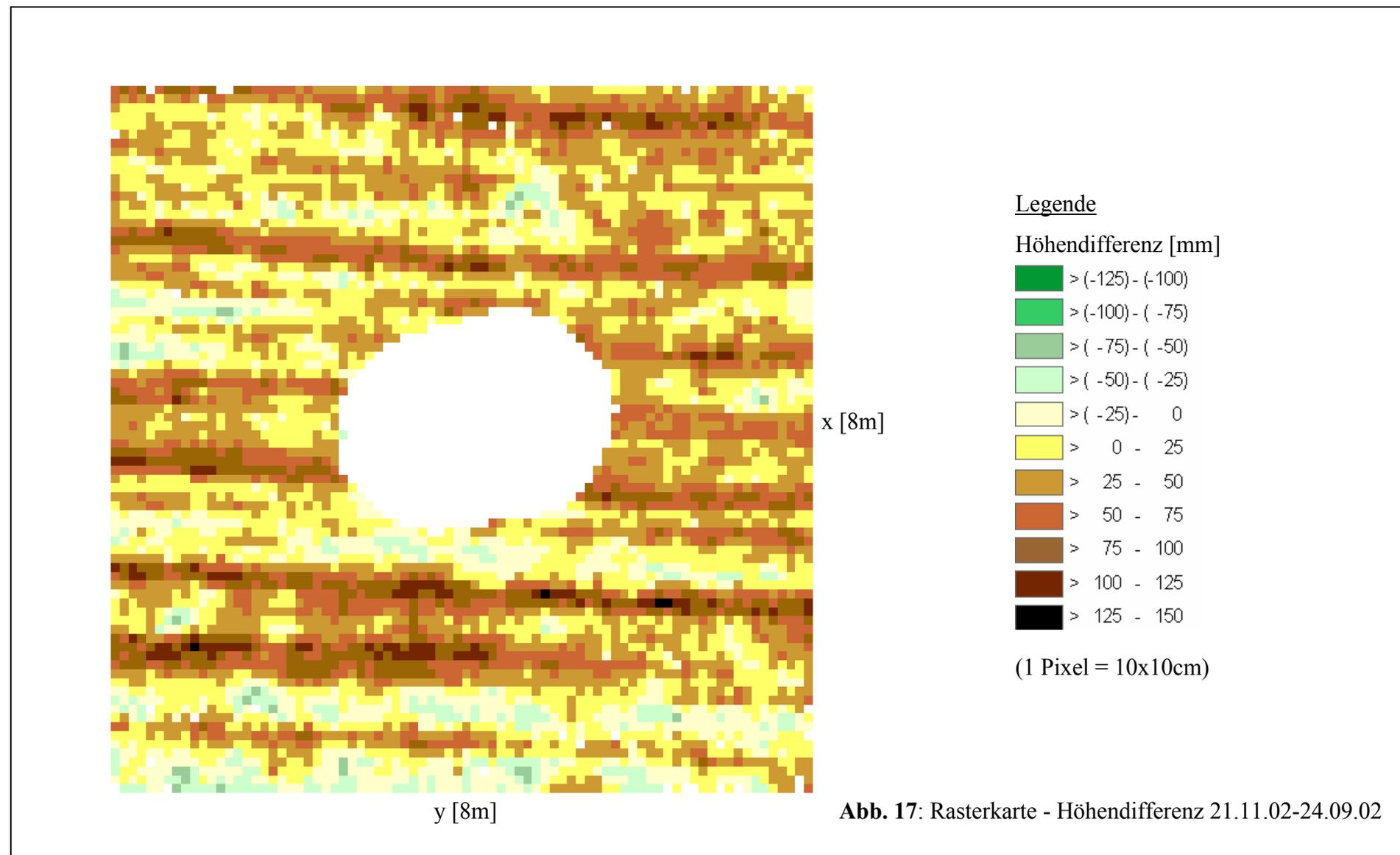


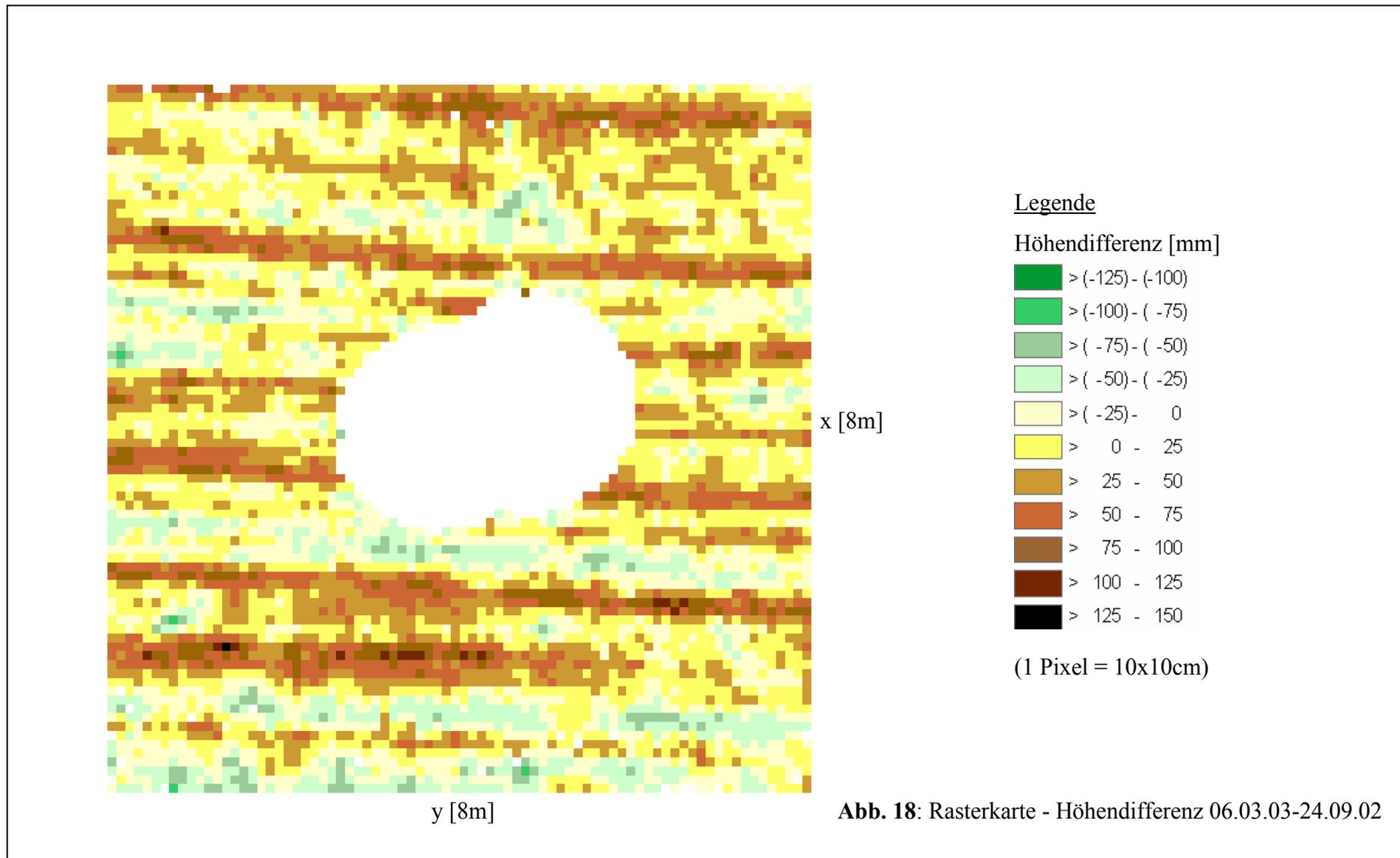


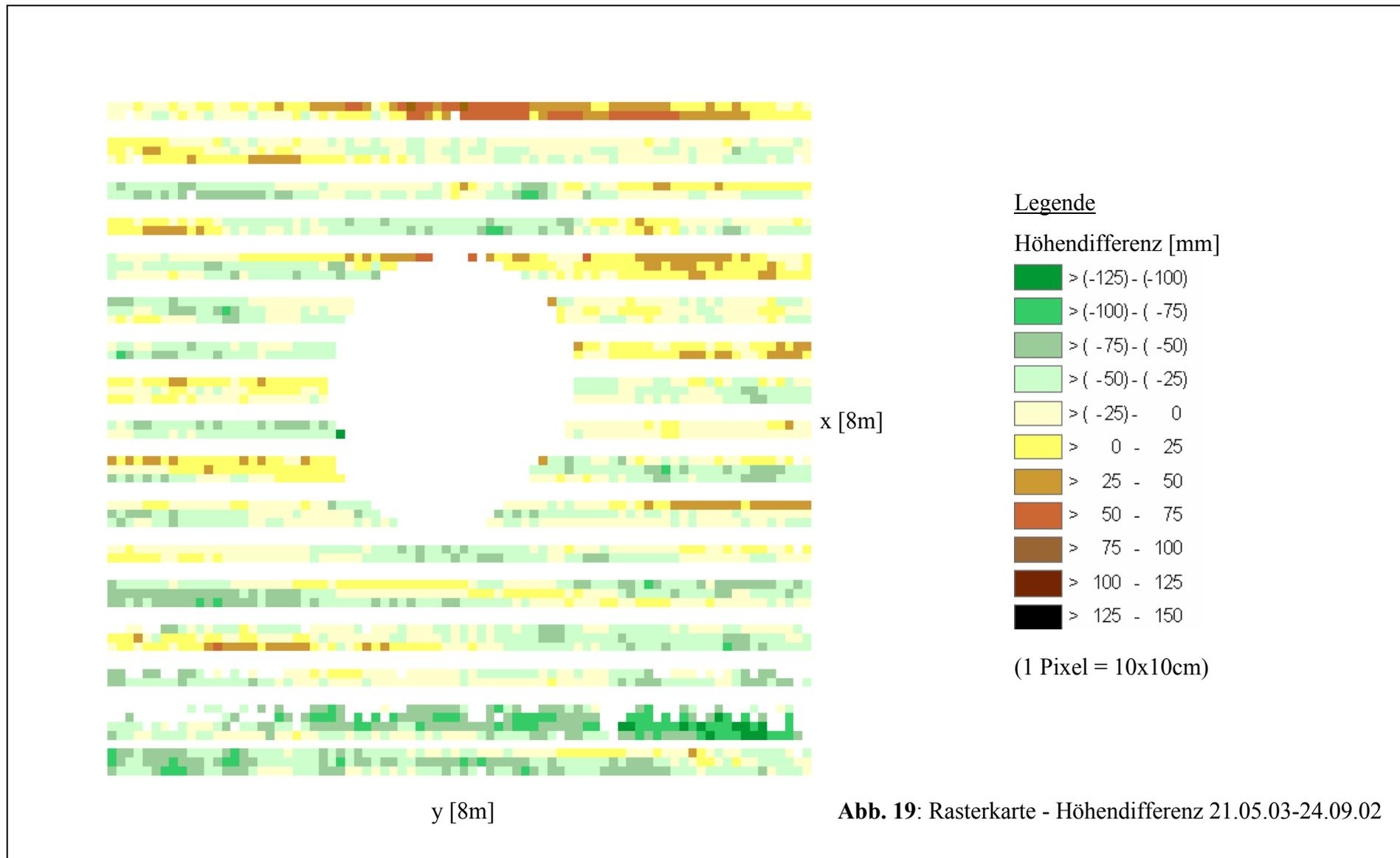


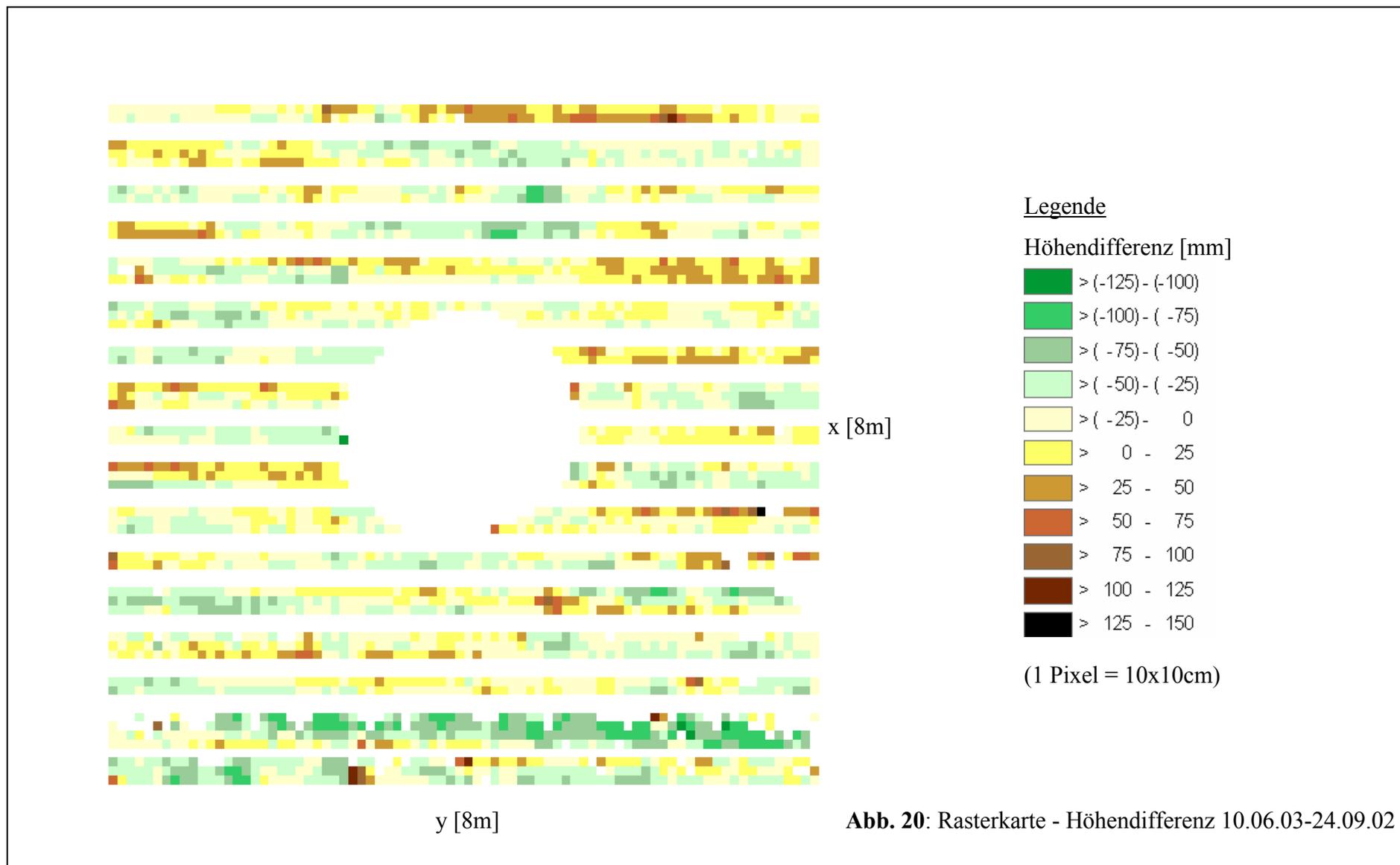


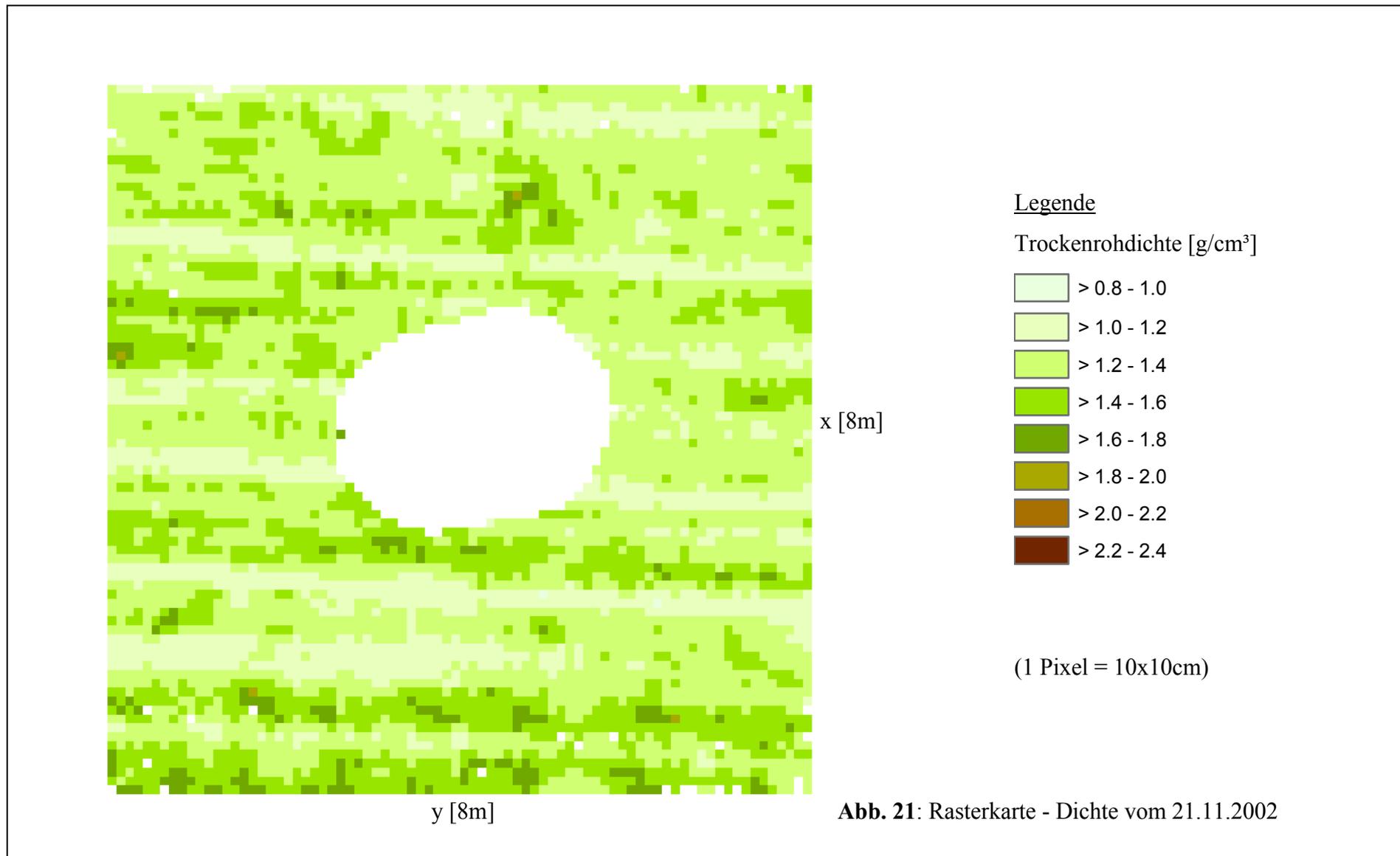


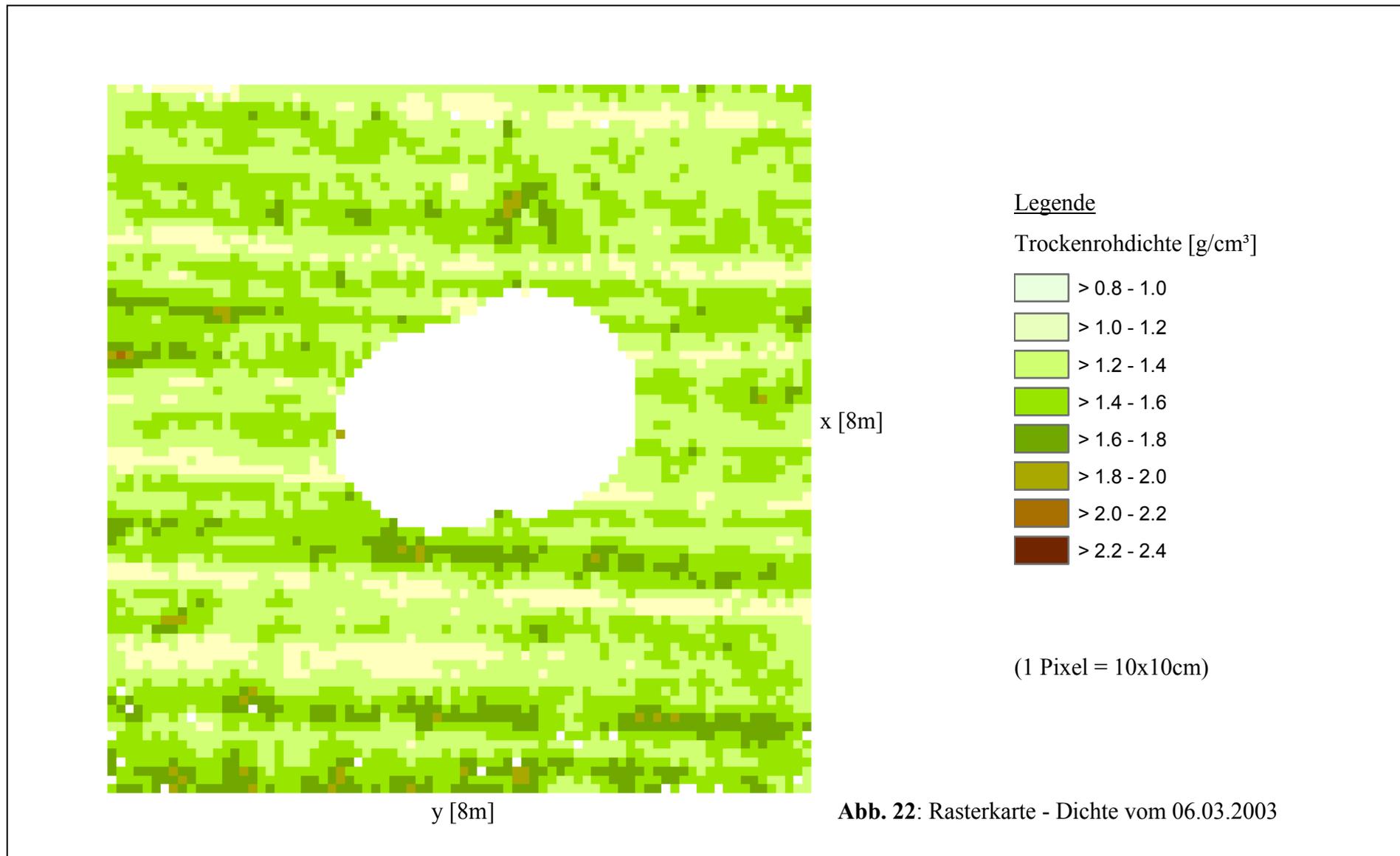


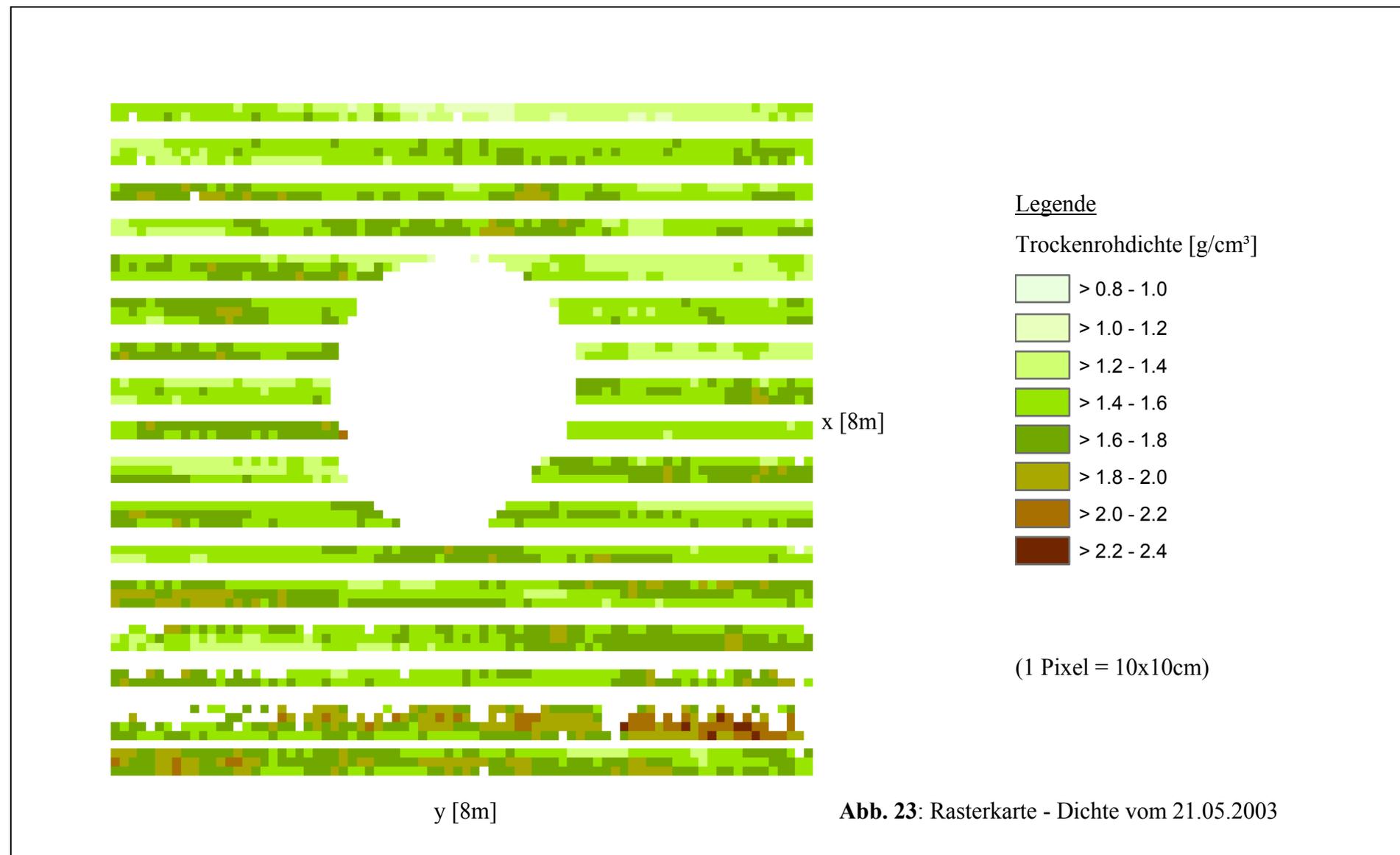


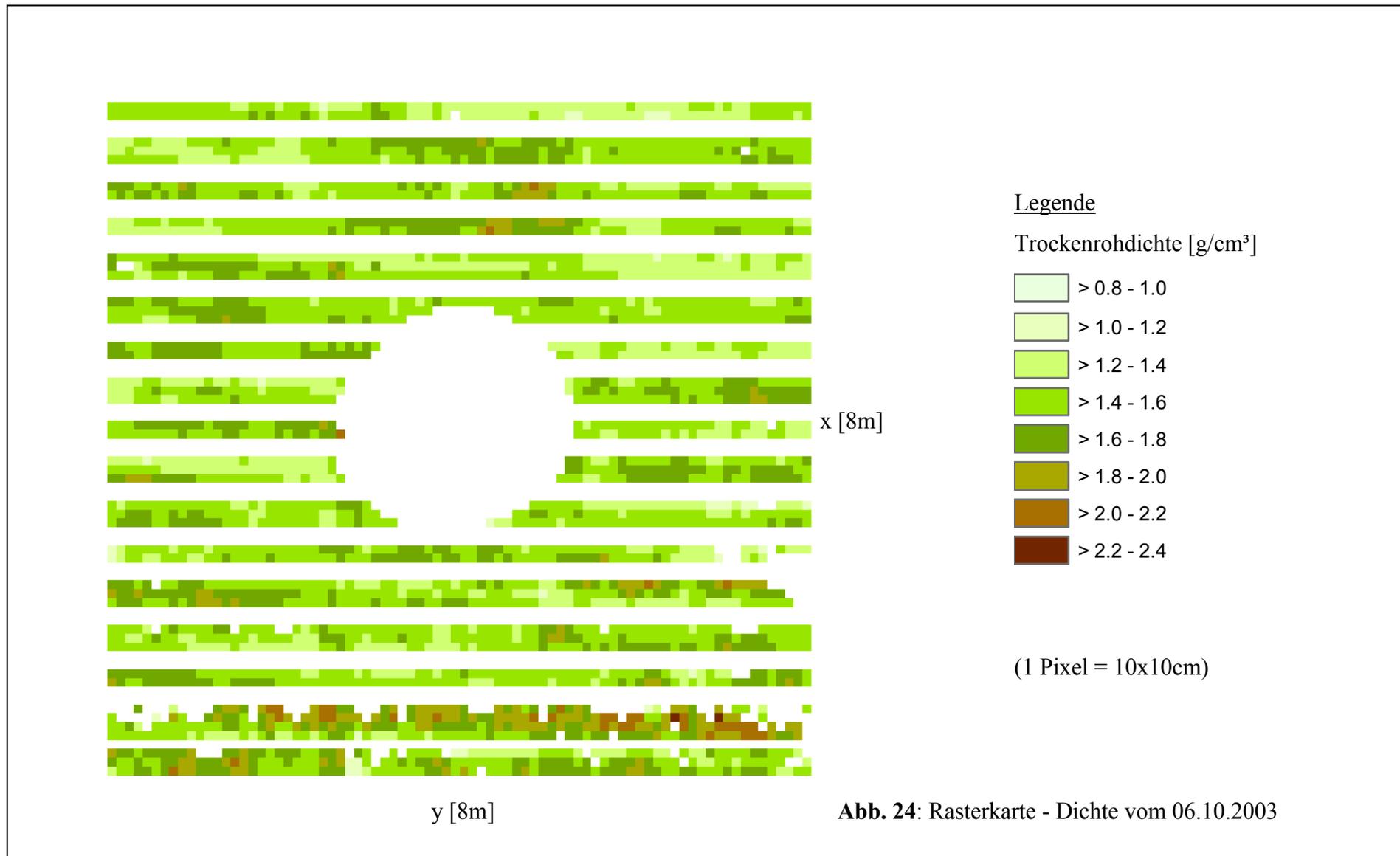












Anhang J

Brooks-Corey Parameter

Formelverzeichnis:

| | | | |
|---------------|------------|-------------------------------------|----|
| Gleichung (1) | Ψ_b | Lufttrittspunkt [hPa]..... | 67 |
| Gleichung (2) | λ | Porengrößenindex..... | 67 |
| Gleichung (3) | Θ_r | residualer Wassergehalt [Vol%]..... | 67 |
| Gleichung (4) | Θ_e | Sättigungswassergehalt [Vol%]..... | 67 |

Brooks-Corey Parameter für Pedotransferfunktion von RAWLS und BRAKENSIEK (1985) zur Berechnung der TRD-abhängigen Feldkapazität und des Permanten Welkepunktes

$$\begin{aligned} \Psi_b = & \text{EXP}(5.3396738 + 0.1845038 \cdot T - 2.48394546 \cdot PV - 0.00213853 \cdot T^2 \\ & - 0.04356349 \cdot S \cdot PV - 0.61745089 \cdot T \cdot PV + 0.00143598 \cdot S^2 \cdot PV^2 \\ & - 0.00855375 \cdot T^2 \cdot PV^2 - 0.00001282 \cdot S^2 \cdot T + 0.00895359 \cdot T^2 \cdot PV \\ & - 0.00072472 \cdot S^2 \cdot PV + 0.0000054 \cdot T^2 \cdot S + 0.5002806 \cdot PV^2 \cdot T) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \lambda = & \text{EXP}(-0.7842831 + 0.0177544 \cdot S - 1.062498 \cdot PV - 0.00005304 \cdot S^2 \\ & - 0.00273493 \cdot T^2 + 1.11134946 \cdot PV^2 - 0.03088295 \cdot S \cdot PV + 0.00026587 \cdot S^2 \cdot PV^2 \\ & - 0.00610522 \cdot T^2 \cdot PV^2 - 0.00000235 \cdot S^2 \cdot T + 0.00798746 \cdot T^2 \cdot PV - 0.00674491 \cdot PV^2 \cdot T) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \Theta_r = & -0.0182482 + 0.00087269 \cdot S + 0.00513488 \cdot T + 0.02939286 \cdot PV \\ & - 0.00015395 \cdot T^2 - 0.0010827 \cdot S \cdot PV - 0.00018233 \cdot T^2 \cdot PV^2 \\ & + 0.00030703 \cdot T^2 \cdot PV - 0.0023584 \cdot PV^2 \cdot T \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \Theta_e = & 0.01162 - 0.001473 \cdot S - 0.002236 \cdot T + 0.98402 \cdot PV \\ & + 0.0000987 \cdot T^2 + 0.003616 \cdot S \cdot PV - 0.010859 \cdot T \cdot PV \\ & - 0.000096 \cdot T^2 \cdot PV - 0.002437 \cdot PV^2 \cdot S + 0.0115395 \cdot PV^2 \cdot T \end{aligned} \quad (18)$$

mit

S Sandgehalt (USDA7 System – s. Tabelle 6.11) [M%]
 T Tongehalt (USDA7 System – s. Tabelle 6.11) [M%]
 PV Porenvolumen (als Relativzahl)

Anhang K

Bodenprofile Dichtedynamik

Tabellenverzeichnis:

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Bodenprofil für CANDY-Simulation für TRD = 1.31 (21.11.02) | 68 |
| Tabelle 2: Bodenprofil für CANDY-Simulation für TRD = 1.43 (24.09.02) | 68 |
| Tabelle 3: Bodenprofil für CANDY-Simulation für TRD = 1.55 (20.05.03) | 68 |

Tabelle 27: Bodenprofil für CANDY-Simulation für TRD = 1.31 (21.11.02)

| Bezeichnung | Einheit | Bodenprofil | | |
|---------------|----------------------|-------------|-----------|-----------|
| | | LAU2111_1 | LAU2111_2 | LAU2111_3 |
| HYDROMORP | | | | |
| H | | Nein | Nein | Nein |
| Horizonttiefe | [dm] | 3 | 6 | 20 |
| TRD | [g/cm ³] | 1.31 | 1.31 | 1.31 |
| TSD | [g/cm ³] | 2.56 | 2.56 | 2.56 |
| FK | [Vol%] | 31 | 27 | 27 |
| PWP | [Vol%] | 14 | 14 | 14 |
| Ks | [mm/d] | 153 | 153 | 153 |
| FAT | [%] | 28.1 | 28.1 | 28.1 |
| KRUME | | 1 | 0 | 0 |
| NIN0 | [kg/ha] | 10 | 5 | 5 |

Tabelle 28: Bodenprofil für CANDY-Simulation für TRD = 1.43 (24.09.02)

| Bezeichnung | Einheit | Bodenprofil | | |
|---------------|----------------------|-------------|----------|----------|
| | | LAU249_1 | LAU249_2 | LAU249_3 |
| HYDROMORP | | | | |
| H | | Nein | Nein | Nein |
| Horizonttiefe | [dm] | 3 | 6 | 20 |
| TRD | [g/cm ³] | 1.43 | 1.43 | 1.43 |
| TSD | [g/cm ³] | 2.56 | 2.56 | 2.56 |
| FK | [Vol%] | 29 | 27 | 27 |
| PWP | [Vol%] | 14 | 14 | 14 |
| Ks | [mm/d] | 102 | 102 | 102 |
| FAT | [%] | 28.1 | 28.1 | 28.1 |
| KRUME | | 1 | 0 | 0 |
| NIN0 | [kg/ha] | 10 | 5 | 5 |

Tabelle 29: Bodenprofil für CANDY-Simulation für TRD = 1.55 (20.05.03)

| Bezeichnung | Einheit | Bodenprofil | | |
|---------------|----------------------|-------------|----------|----------|
| | | LAU205_1 | LAU205_2 | LAU205_3 |
| HYDROMORP | | | | |
| H | | Nein | Nein | Nein |
| Horizonttiefe | [dm] | 3 | 6 | 20 |
| TRD | [g/cm ³] | 1.55 | 1.55 | 1.55 |
| TSD | [g/cm ³] | 2.56 | 2.56 | 2.56 |
| FK | [Vol%] | 28 | 27 | 27 |
| PWP | [Vol%] | 14 | 14 | 14 |
| Ks | [mm/d] | 51 | 51 | 51 |
| FAT | [%] | 28.1 | 28.1 | 28.1 |
| KRUME | | 1 | 0 | 0 |
| NIN0 | [kg/ha] | 10 | 5 | 5 |

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

Ferner erkläre ich, dass ich anderweitig mit oder ohne Erfolg nicht versucht habe, diese Dissertation einzureichen. Ich habe keine gleichartige Doktorprüfung an einer anderen Hochschule endgültig nicht bestanden.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized first letter followed by a series of loops and a final flourish.

Halle/Saale, 20.04.05

