

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 kódási tartamkísérlet)

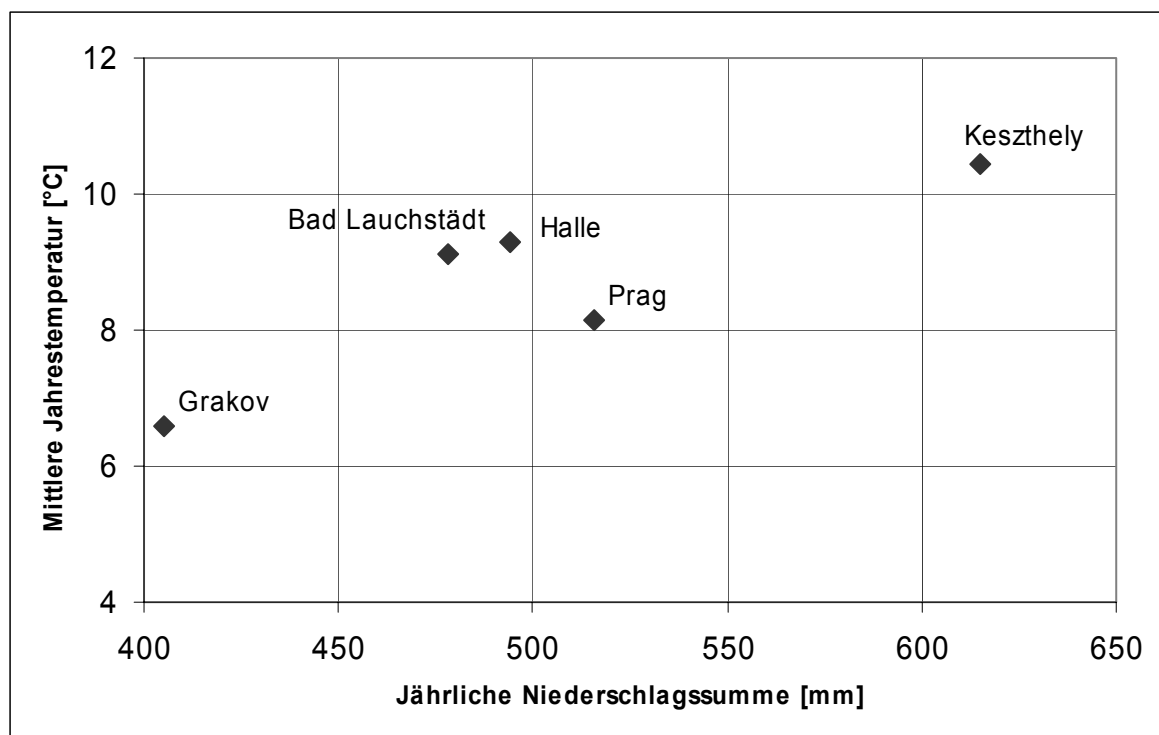


Abb. 3.1: Durchschnittliche Jahrestemperaturen und Niederschläge der Versuchsstandorte

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.

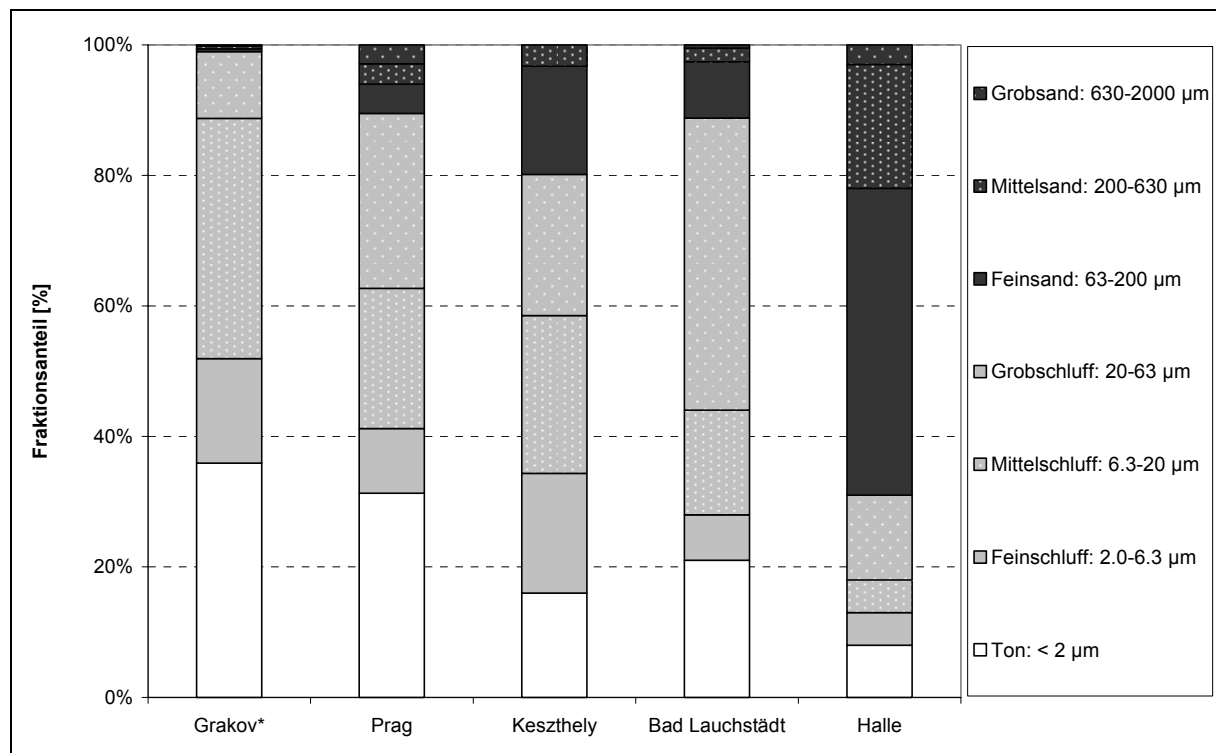


Abb. 3.2: Textur der Dauerversuchsböden (* Texturumrechnung von russ. in dt. System s. Anhang C)

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).

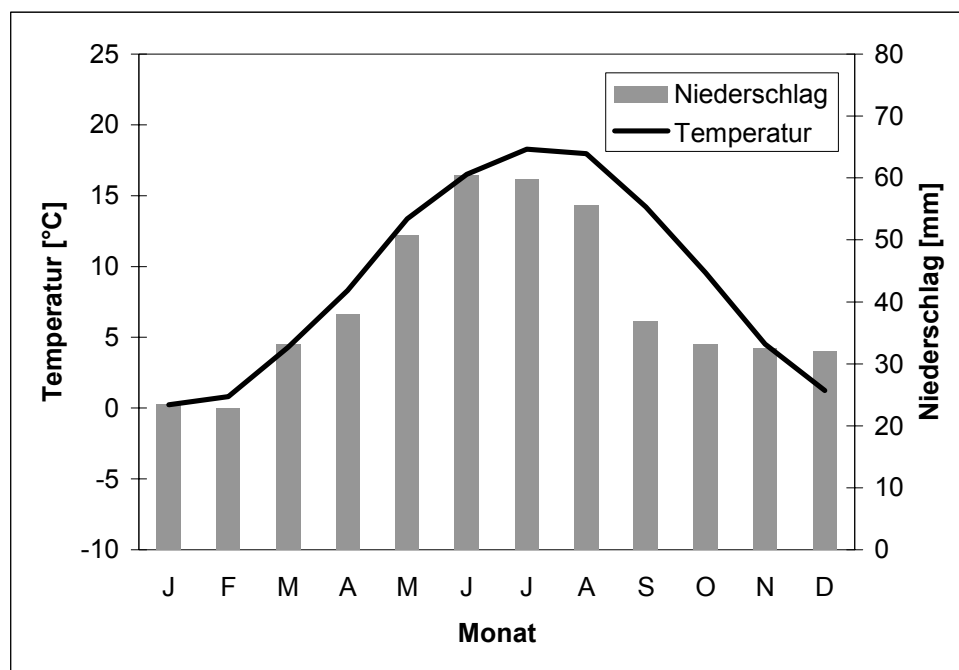


Abb. 3.3: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Bad Lauchstädt (1956-2003, Klimastation Bad Lauchstädt)

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.

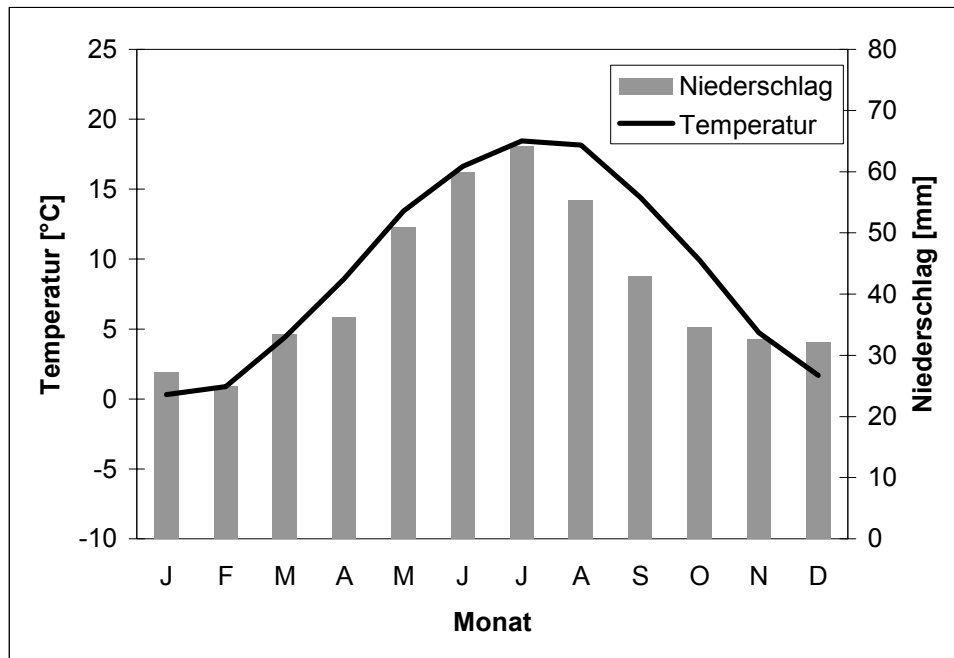


Abb. 3.4: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Halle (1951-2001, Klimastationen Halle-Zöberitz und Halle-Kröllwitz)

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.

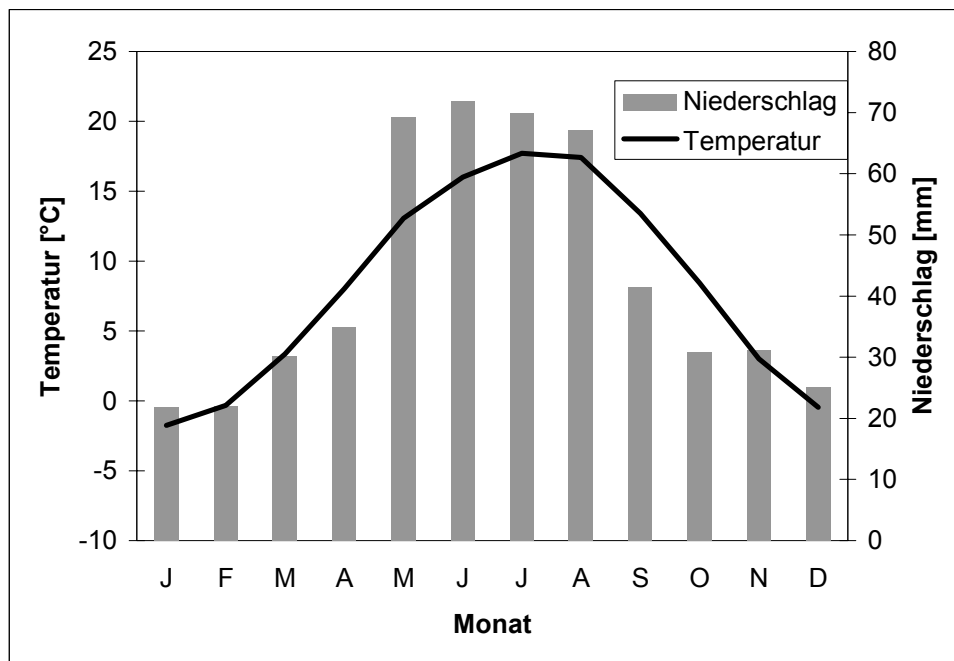


Abb. 3.5: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Prag (1961-2002, Klimastation Prag)

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.

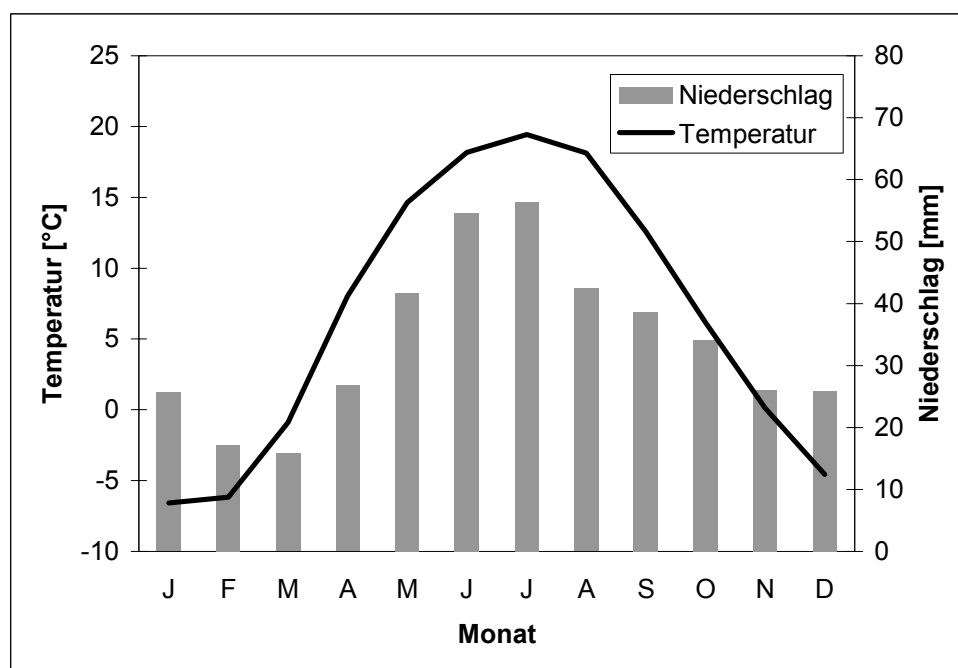


Abb. 3.6: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Grakov (1967-1999, Klimastation Grakov)

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).

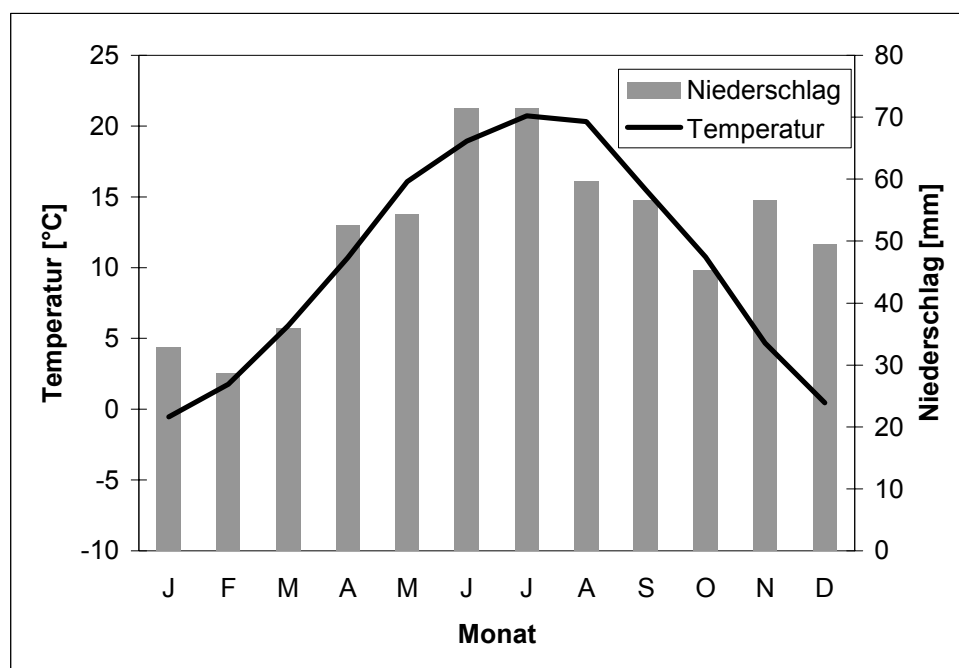


Abb. 3.7: Mittlere Temperaturen und Niederschlagsverteilung am Standort Keszthely (1961-2003, Klimastation Keszthely)

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.

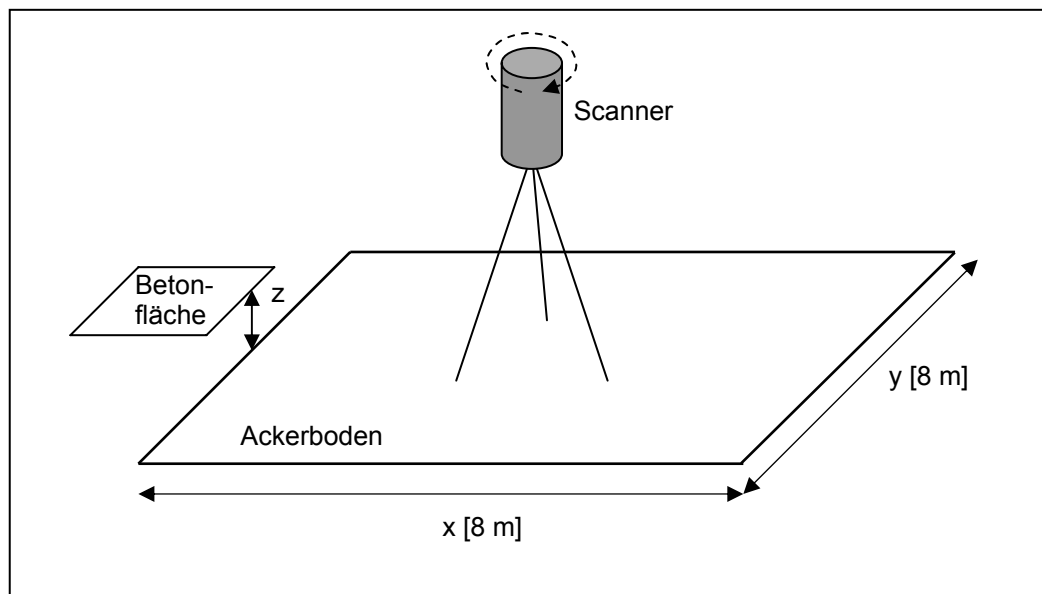


Abb. 3.8: Versuchsaufbau der Scannermessung

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