

11 Modellierung von Stoffflüssen - Wasser- und Stoffhaushalt in einem Ackerbaugebiet auf der Querfurter Platte

U. Franko & S. Schenk,

UFZ Leipzig-Halle, Sektion Bodenforschung, Halle/Saale

Abstract

Modelling material flows – the water and material balances in a farming area on Querfurter Platte
The carbon and nitrogen dynamics on a typical area of arable land in central Germany were investigated by means of scenario simulations with the CANDY model, which has been integrated into a GIS/database environment. The first scenario studied was based on real land use data from 1981 to 1996. The results showed a well-balanced nitrogen balance but a remarkable increase in the soil's carbon storage. Therefore the second scenario consisted of a 40-year repetition of the management data from 1992 to 1996, which was assumed to be a representative of future development, too. The results of this scenario showed that as carbon increases in the soil, nitrogen exports into the environment also increase. Based on nitrogen balances from the long-term experiment in Bad Lauchstädt, a classification of organic matter supply was created. The third scenario was a replication of the second one but with adaptation of organic matter supply depending on low/normal classification. The results showed that in this case nitrate export into the environment is remarkably lower than input from atmosphere. We conclude that further management should decrease animal concentration and remove more straw and by-products from the fields.

Zusammenfassung

In einem für Mitteldeutschland typischen Ackerbaugebiet wurde mit Hilfe von Szenariosimulationen mit dem in eine GIS/Datenbank-Umgebung integrierten Modell CANDY die Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik untersucht. Das zuerst untersuchte Szenario basierte auf der realen Landnutzung von 1981 bis 1996. Die Ergebnisse zeigten einen ausgeglichenen Stickstoffhaushalt jedoch einen deutlichen Anstieg der Kohlenstoffvorräte im Boden. Deshalb bestand das zweite Szenario in einer 40-jährigen Wiederholung der Periode von 1992 bis 1996, die als repräsentativ auch für die künftige Entwicklung angesehen wurde. Die Ergebnisse dieses Szenarios zeigten, dass mit dem Anstieg der Kohlenstoffversorgung auch die Stickstoffausträge in die Umwelt anwachsen. Auf der Basis der Stickstoffbilanzen des Lauchstädter Dauerversuches erfolgte eine Klassifikation der Versorgung des Bodens mit organischer Substanz. Das dritte Szenario bestand aus der Wiederholung des zweiten, jedoch mit einer Anpassung der Kohlenstoffzufuhr entsprechend einer niedrigen bis normalen Versorgungsstufe. Die Ergebnisse zeigten, daß in diesem Fall die Stickstoffausträge deutlich niedriger als die diffusen Einträge aus der Atmosphäre ausfallen. Die Schlußfolgerungen sind, daß bei der künftigen Landbewirtschaftung der Tierbesatz reduziert und mehr Koppelprodukte vom Feld entfernt werden sollten.

11.1 Einleitung

Es ist eine seit langem bekannte Tatsache, dass der Kohlenstoffhaushalt der Ackerböden eine wichtige Grundlage der Bodenfruchtbarkeit bildet. Neuere Arbeiten weisen zudem darauf hin, dass es aus ökologischer Sicht – hier im allgemeinen im Hinblick auf die Ausnutzung der Nährstoffe, vor allem des Stickstoffs – nicht nur eine untere Grenze sondern auch eine obere Grenze für die Humusversorgung der Böden gibt. Aus Dauerversuchen wurde von KÖRSCHENS & SCHULZ (1999) für den Standort Bad Lauchstädt ein optimaler Gehalt an organischem Kohlenstoff von 2,12 % C_{org} abgeleitet. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, auch am Beispiel von langfristigen Daten aus der Praxis für ein typisches Schwarzerdegebiet sowohl den aktuellen Zustand als auch die mögliche Entwicklung bei weiterer Durchführung der aktuellen Bewirtschaftungsweise zu analysieren und Schlussfolgerungen für mögliche Verbesserungen abzuleiten. Methodisch wurde dieses Problem mit Hilfe der Modellierung und Szenario-Simulation bearbeitet. Als Grundlage für dieses Vorgehen waren mehrjährige Wettermessreihen sowie schlagspezifische Bewirtschaftungsdaten, eine Kartierung der Bodenformgesellschaften einschließlich der Parametrisierung der auftretenden Bodenformen sowie eine Regionalisierung der Niederschläge in einen ca. 4000 ha großem Gebiet vorhanden. Zur Bewertung der Simulationsergebnisse wurde auf Ergebnisse des Lauchstädter Dauerversuchs zurückgegriffen, der sich in unmittelbarer Nachbarschaft zum Untersuchungsgebiet befindet.

11.2 Material und Methoden

Aus den N-Bilanzen des Statischen Versuches in Bad Lauchstädt folgt, dass ein beträchtlicher Anteil des mit dem Ertrag entzogenen Stickstoffs aus diffusen Quellen eingetragen wird. In Übereinstimmung mit Ergebnissen von WEIGEL et. al (2000) sowie RUSSOW & WEIGEL (2000) wird für das gesamte Untersuchungsgebiet mit einer jährlichen N-Immission von 60 kg/ha gerechnet. Da über die jahreszeitliche Verteilung erst vorläufige Angaben verfügbar sind, wird dieser Wert in den Szenarien gleichmäßig über das Kalenderjahr verteilt.

Die Basis für die Ableitung modellspezifischer Bodenparameter für die Region bildete eine Karte der Bodenformengesellschaften für die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Region (ALTERMANN & KÜHN 1995b). Die Kartiereinheiten setzen sich aus einer oder mehreren Leitbodenformen zusammen, die in bestimmten Flächenanteilen auftreten. Für jede Leitbodenform werden Standardprofile definiert und die für das CANDY-System benötigten Bodenparameter Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt, Körnung (Ton+Feinschluff), Trockenrohddichte, Trockensubstanzdichte, Versickerungswert sowie C_{org} -Gehalt (0-30 cm) horizontweise zugewiesen.

Anhand der ausgewiesenen Flächenanteile werden später die profilweise ermittelten Simulationsergebnisse entsprechend ihrer Gewichte für eine Aussage über die ausgegrenzte Bodenformengesellschaft aggregiert.

Eine wichtige Bezugsbasis für das Gebiet stellt der unter vergleichbaren Bedingungen (Löß-Schwarzerde) ca. 15-20 km östlich gelegene Versuchsstandort Bad Lauchstädt mit seinen Langzeitexperimenten und Intensivmessflächen dar (KÖRSCHENS 1994, BAHN et al. 1995; KÖRSCHENS et al. 1998).

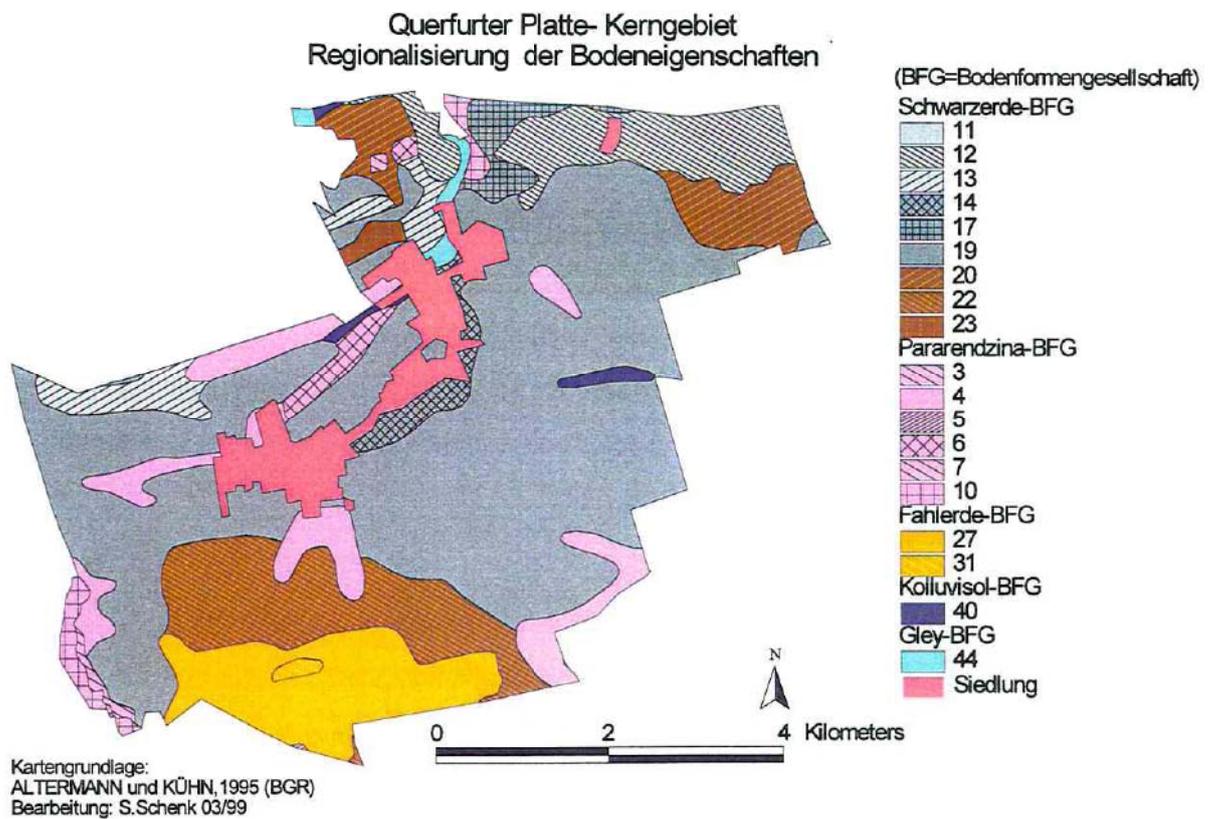


Abb. 11.1)
Bodenkarte des Untersuchungsgebietes (schematisch)

In Abb. 11.2 ist ein Klimadiagramm für den Standort Bad Lauchstädt dargestellt. Es zeigt diesen Standort als typischen Vertreter des Mitteldeutschen Trockengebietes, das zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands gehört.

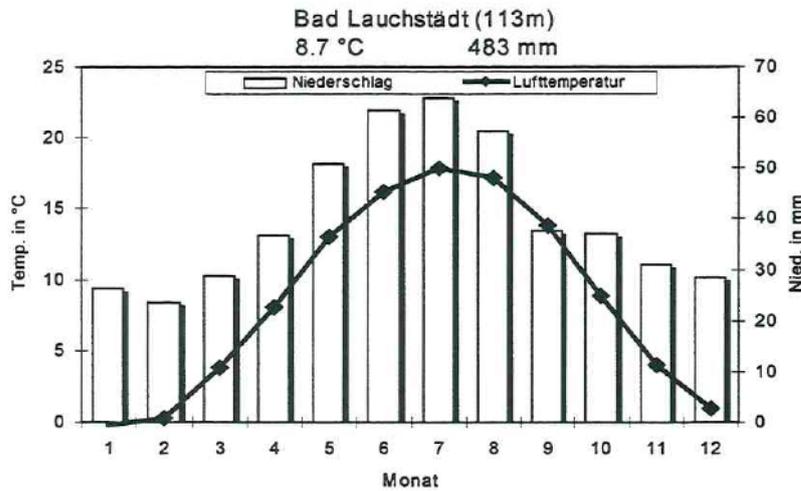


Abb. 11.2)
Klimadiagramm Bad Lauchstädt

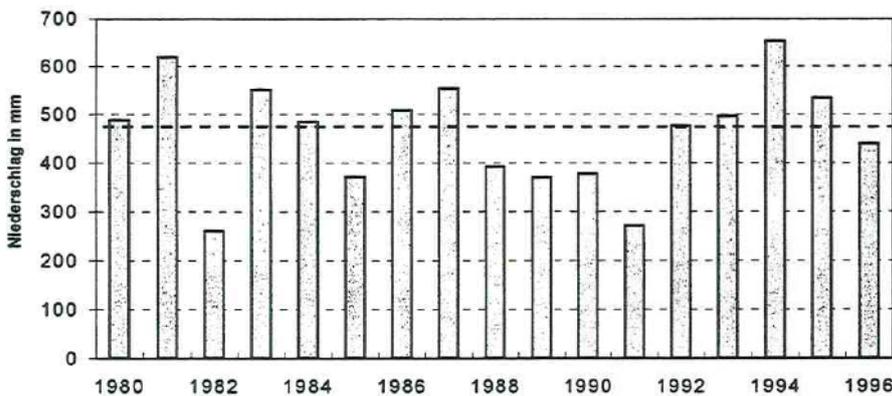


Abb. 11.3)
Niederschläge an der Station Bad Lauchstädt (Balken: Jahressummen, Strichlinie: Langjähriges Mittel (1896-1995))

In Abb. 11.3 sind die in Bad Lauchstädt gemessenen Jahressummen des Niederschlages für die Jahre 1980 bis 1996 veranschaulicht. Es zeigt sich eine Häufung von extremen Trockenjahren zwischen 1988 bis 1991. Diese Tatsache ist z.B. bei der späteren Interpretation von Ertragsverläufen zu berücksichtigen. Noch deutlicher treten „trockene Jahre“ hervor, wenn man die Klimatische Wasserbilanz zur Beschreibung von Einzeljahren heranzieht, da hier die komplexe Wirkung der Witterungsgrößen besser berücksichtigt wird. Die Klimatische Wasserbilanz (potenziell) wird als Differenz aus korrigiertem Niederschlag und Potenzieller Evapotranspiration (PET, Verdunstungsanspruch der Atmosphäre) ermittelt. In Abb. 11.4 sind die entsprechenden

Werte graphisch dargestellt. Die Berechnung der Potenziellen Evapotranspiration erfolgt im CANDY-Modell anhand eines modifizierten TURC-Ansatzes (vgl. FRANKO et al. 1995a).

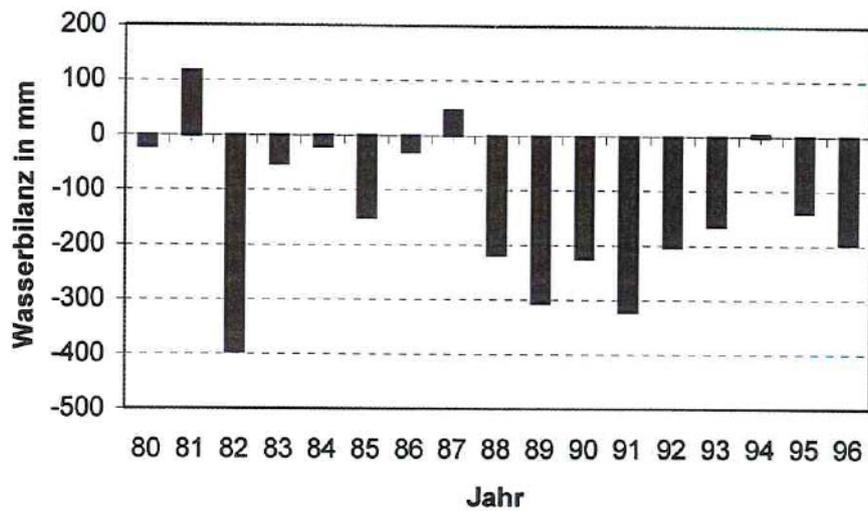


Abb. 11.4)
Potenzielle klimatische Wasserbilanz für Bad Lauchstädt 1980-1996

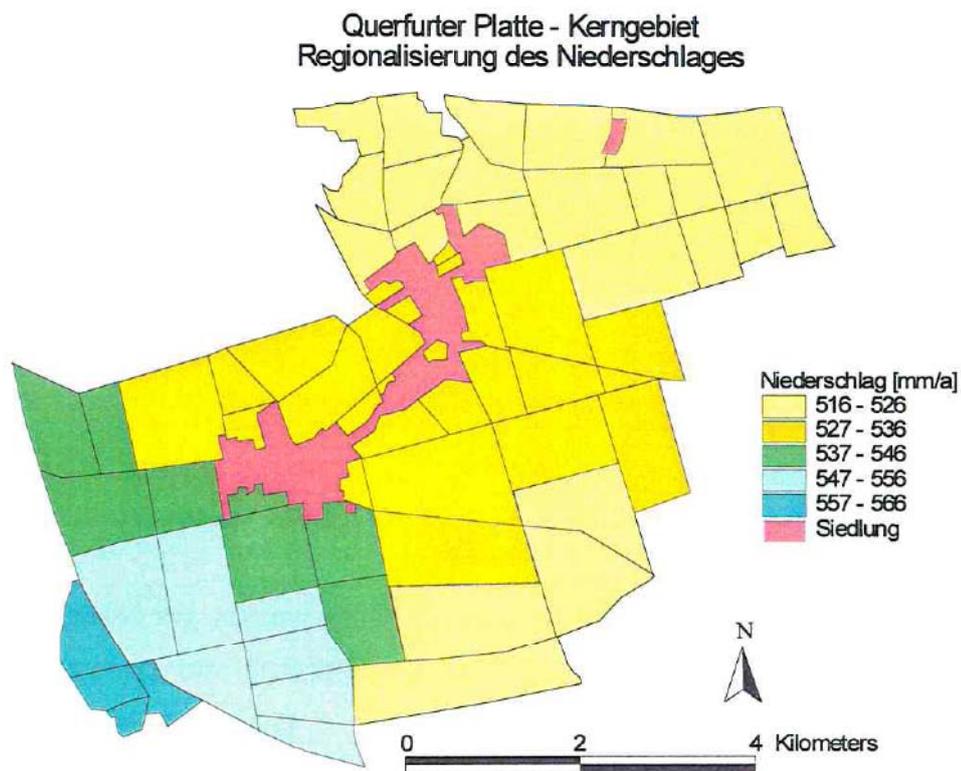


Abb. 11.5)
Differenzierung des Niederschlages im Untersuchungsgebiet (nach Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes)

Aufgrund der räumlichen Nähe (ca. 15 km) des Standortes Bad Lauchstädt werden die Tagesmittelwerte von Lufttemperatur und Globalstrahlung dem Untersuchungsgebiet direkt zugeordnet. Das Klimatelement Niederschlag wird räumlich differenziert behandelt, indem aus

georeferenzierten Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes (Rasterweite 1 km, Datenbasis 1951-80; MÜLLER-WESTERMEIER 1995) für jeden Schlag eine mittlere Jahressumme des Niederschlages berechnet wird (Abb. 10.5). Die Intensitäten (mm/d) von Niederschlagsereignissen werden für jeden Schlag in Abhängigkeit von der Relation seiner mittleren Jahressumme zum entsprechenden Wert für die Station Bad Lauchstädt (= Faktor 1.0) tageweise angepasst.

Bei der Zuordnung von Bewirtschaftungsdaten von 1981 bis 1996 wurde auf eine digitale Schlagkarte zurückgegriffen. Dabei wurden Informationen aus der ehemaligen zentralen Schlagkartei DASKE und aus Erhebungen der Flächennutzer zusammengestellt. Neben der tatsächlichen Flächennutzung (Szenario 1) wurden Prognosen für die künftige Entwicklung des Stoffhaushaltes durchgeführt. Dazu wurden zunächst die Bewirtschaftungsdaten des Zeitraumes von 1993-1996 über den Endtermin hinaus bis zum Jahre 2060 wiederholt (Szenario 2), um den Stoffhaushalt des aktuellen Landnutzungssystems im stationären Zustand zu charakterisieren. Die dafür erforderlichen Wetterdaten wurden mit Hilfe eines Wettergenerators erzeugt. Aus diesem Szenario wurde ein weiteres abgeleitet, indem auf allen Schlägen mit extremer (hoch oder niedrig) Humusversorgung Korrekturen angebracht wurden. Mit dem Szenario 3 sollte überprüft werden, wie der Stoffhaushalt durch die regionale Optimierung der Humusversorgung beeinflusst werden kann.

Durch die Anbindung eines Geographischen Informationssystems (GIS, ARC/INFO) wurde das CANDY-System für regionale Untersuchungen weiterentwickelt. Daneben wurden die erforderlichen Methoden zur Regionalisierung der Modellparameter entwickelt. In der Abb. 11.6 ist das informationstechnische Konzept vereinfacht dargestellt. Als Primärdaten sind innerhalb des Geographischen Informationssystems die Informationsebenen Boden, Klima und Landnutzung für ein Untersuchungsgebiet zu erfassen (Geodaten) sowie zu beschreiben (Attribute). Der GIS-Datensatz mit dem Verschnittergebnis der drei Ebenen wird in eine zentrale Datenbank (SYBASE) eingelesen. Durch die relationale Anbindung eines Bewirtschaftungsszenarios (CANDY-Maßnahmedatei) an das Nutzungsattribut der Verschnittdatei wird die Voraussetzung für die Ableitung der Simulationsobjekte geschaffen. Durch die Verknüpfung mit den betreffenden modelleigenen Parametern wird anschließend die Datenumgebung für die Simulationsdurchführung aufgebaut. Die Simulationsrechnung mit dem CANDY-System erfolgt für jede logisch verschiedene Kombination aus Boden, Klima und Bewirtschaftung eines untersuchten Gebietes. Die dabei zu protokollierenden Zustandsgrößen können vom Nutzer vorgegeben werden.

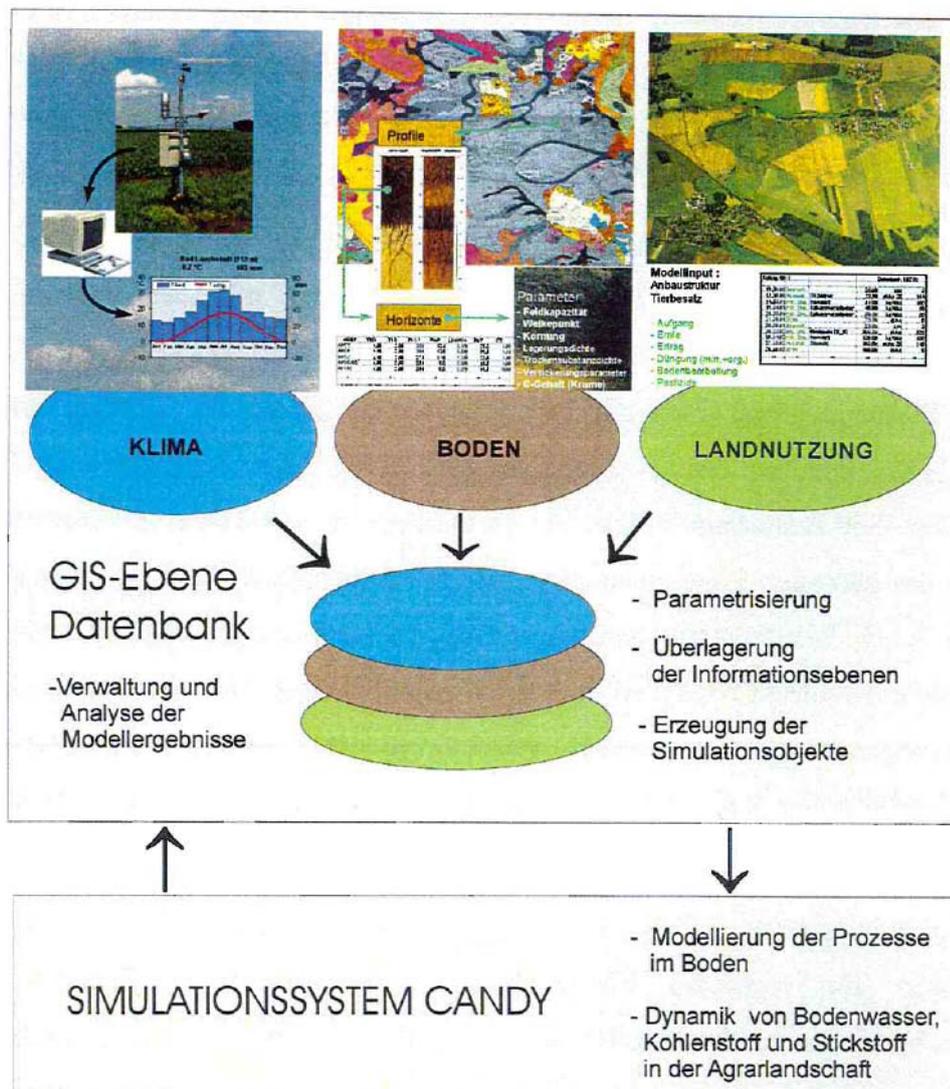


Abb. 11.6)
Informationstechnisches Konzept der gebietsbezogenen Simulation

Nach vollständiger Beendigung der Simulationsaufgabe, die aufgrund der Komplexität meist dezentral auf einem Netzwerk mehrerer PC ausgeführt wird, werden die Ergebnisse in die zentrale Datenbank eingelesen. Für die Analyse der zeitlichen und räumlichen Dynamik des gebietsbezogenen Stoffhaushaltes wurden innerhalb des Informationssystems CANDY+GIS interaktive Auswertungsmodule als Werkzeuge geschaffen. Weitergehende externe Auswertungen von Modellergebnissen können auf Basis entsprechender SQL-Abfragen aus der zentralen Datenbank realisiert werden. Die bei regionalen Anwendungen erforderlichen Arbeitsschritte werden entsprechend ihrer Abfolge in Abb. 11.7 veranschaulicht.

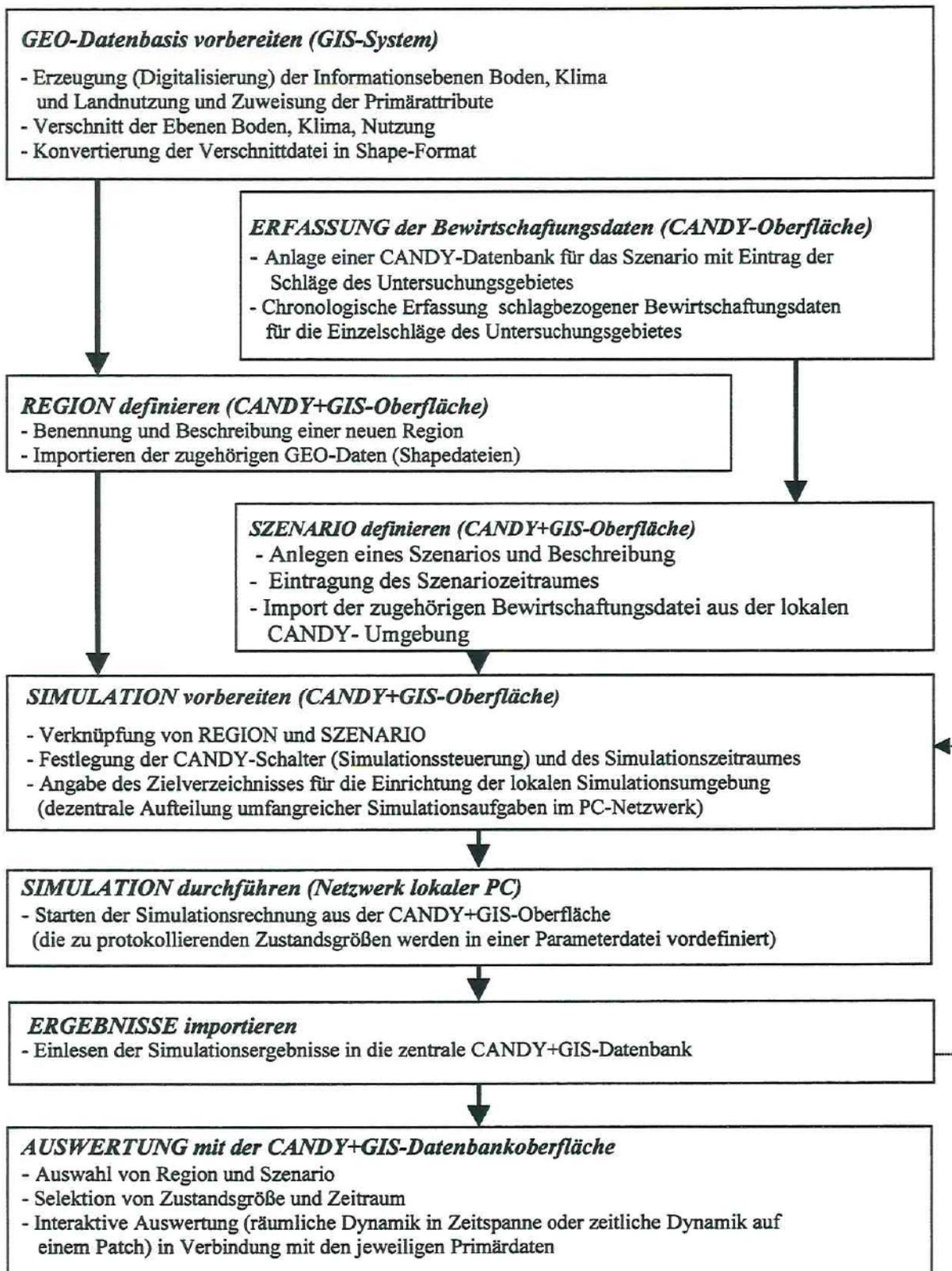


Abb.11.7)

Arbeitstechnologie bei regionaler Anwendung des CANDY-Systems

11.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Szenarien sind zusammenfassend in Tab.11.1 aufgeführt. Detailliertere Ergebnisdarstellungen der Szenarien 1 und 2 sind in einem weiteren UFZ-Bericht enthalten (SCHENK & FRANKO 2000).

Tab. 11.1)
Gebietsmittelwerte wichtiger Kenngrößen des regionalen Stoffhaushaltes (flächengewichtete Simulationsergebnisse)

| Merkmal | Szenario 1 Aktuelle Nutzung | Szenario 2 Aktuelle Nutzung im Gleichgewicht | Szenario 3 Optimierte organische Düngung |
|---|---------------------------------------|---|---|
| umsetzbarer Kohlenstoff [kg/ha] | 21703 | 27287 | 23691 |
| jährliche N-Austräge total [kg/ha] | 44 | 60 | 42 |
| NO ₃ -Konzentration im Sickerwasser [ppm] | 51 | 110 | 52 |
| Jährliche N-Nachlie- ferung aus dem Boden [kg/ha] | 52 | 72 | 51 |
| Jährliche Grundwasser- neubildung [mm] | 44 | 51 | 51 |

Die Bewertung der Humusversorgung soll hier anhand der Effektivität der Stickstoffausnutzung erfolgen. Der Bewertungsmaßstab dafür konnte aus den Ergebnissen des Lauchstädter Dauerversuches abgeleitet werden. Betrachtet man die Effektivität der N-Ausnutzung in den 80er Jahren als Quotient von N-Entzug und N-Düngung ein Abhängigkeit vom Kohlenstoffniveau (vgl. Abb. 11.8), ergibt sich ein Maximum im Verhältnis zwischen N-Aufnahme und N-Düngung bei 1,97 % C_{org}. Als Grundlage für die Bewertung wurde ausgehend von der N-Effektivität eine Klasseneinteilung (Tab. 11.2) vorgenommen.

Bleibt man auf einem Standort, so kann die Bewertung sowohl auf Basis der C_{org}-Werte als auch auf der Grundlage des Inputs an reproduktionswirksamem Kohlenstoff (C_{REP}) vorgenommen werden. Da im Gleichgewicht die Umsatzraten der Zufuhr entsprechen, wird für eine Systembewertung unter Berücksichtigung der Standortheterogenität besser der Input an reproduktionswirksamem Kohlenstoff herangezogen.

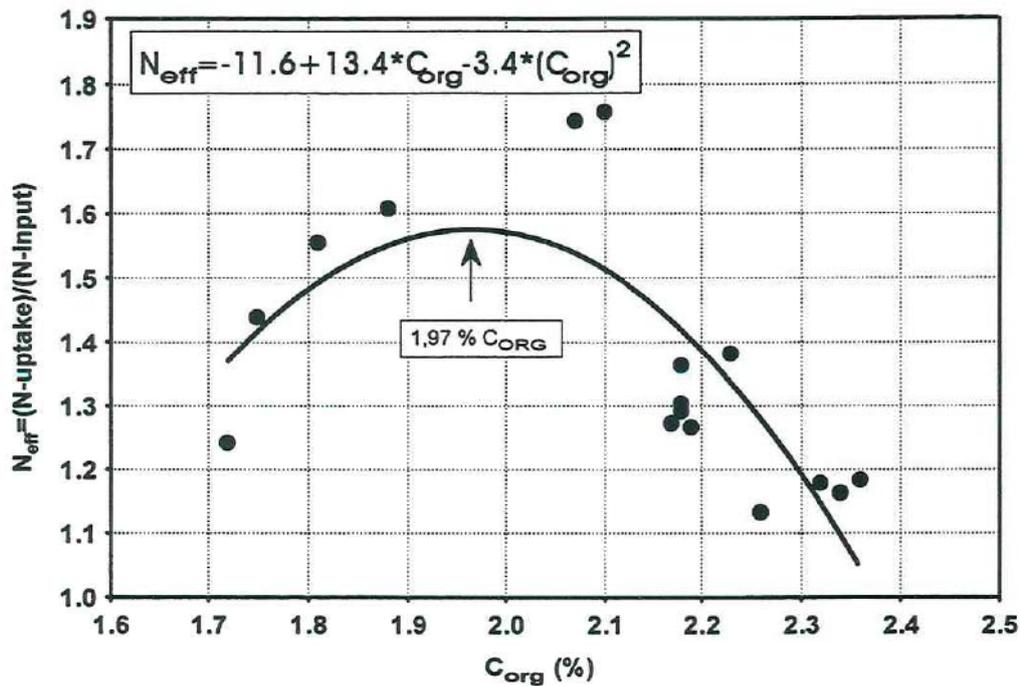


Abb. 11.8)

Effektivität der Stickstoffausnutzung (N_{eff}) als Verhältnis zwischen Entzug (N -uptake) und Düngung (N -input) für 16 verschiedene Düngungsvarianten des Statischen Dauerversuches Bad Lauchstädt in Abhängigkeit vom entsprechenden Gehalt an organischer Bodensubstanz (C_{org}) – Datengrundlage: KÖRSCHENS et al (1994)

Tab. 11.2)

Klassifikation der Versorgung mit organischer Substanz (OS-Niveau) nach C-Gehalt des Bodens (C_{org}) umsetzbarem Kohlenstoff (C_{ums}) und Reproduktionsrate des OS-Kohlenstoffs (C_{rep}) entsprechend der jeweiligen N-Effektivität

| OS-Niveau | N-Effektivität | C_{org} in % | C_{ums} in $kg\ m^{-2}$ | C_{rep} in $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ |
|--------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------------------------|
| sehr niedrig | < 1.50 | < 1.80 | < 1.45 | < 60 |
| niedrig | 1.50 - 1.58 | 1.80 - 1.91 | 1.45 - 1.95 | 60 - 80 |
| normal | > 1.58 | 1.91 - 2.03 | 1.95 - 2.45 | 80 - 100 |
| hoch | 1.58 - 1.50 | 2.03 - 2.15 | 2.45 - 2.95 | 100 - 120 |
| sehr hoch | < 1.50 | > 2.15 | > 2.95 | > 120 |

Für die Aufstellung von Szenario 3 wurde ausgehend von Szenario 2 die C-Versorgung so geändert, dass die Zufuhr organischer Substanz oberhalb 1 t/ha reduziert wurde. Daneben wurden auch Unterversorgungen der Klasse ‚sehr niedrig‘ ausgeglichen (vgl. Abb. 11.9). Der Gebietsmittelwert der jährlichen C_{REP} –Zufuhr liegt mit 0,86 t/ha im Szenario 3 wieder im optimalen Bereich, während im Szenario 2 mit 1,13 t/ha eine deutliche Überschreitung dieses Grenzwertes festzustellen war. Damit verringerte sich der Anteil der organischen Dünger an der C-Reproduktion von 50,5 % (Szenario 2) auf 35,3 % (Szenario3).

Die Ergebnisse der Simulationsläufe wurden für diese Auswertung als flächengewichtete Mittelwerte aufbereitet. Die Mittelwertbildung für die Szenarien 2 und 3 wurde dabei auf die letzten 16 Jahre des Simulationszeitraums beschränkt, um Ergebnisse zur Systemkennzeichnung

(trendfrei im stationären Zustand) abzuleiten. Die in Tab. 11.1 zusammengestellten Gebietsmittelwerte zeigen, dass mit dem Szenario 3 nicht nur der umsetzbare Kohlenstoff wieder in den Bereich des Optimums geführt wird, sondern auch die N-Austräge wieder deutlich unter den diffusen Einträgen, die bei allen Szenarien mit 60 kg N/ha angesetzt wurden, liegen. Auch die Nitratkonzentration im Sickerwasser kommt wieder in den Bereich des Trinkwassergrenzwerte. Um dies zu erreichen, wurde die Zufuhr organischer Primärschubstanz bezüglich des N-Inputs um 42 % und bezüglich der C-Reproduktion um 47 % reduziert. (vgl Tab. 11.3 u. 11.4). Der N-Input über organische Dünger aus der Tierproduktion wurde von 43,4 kg/ha (Szenario 2) auf 26,8 kg/ha (Szenario 3) vermindert. Daneben mußte in Szenario 3 der C-Input aus den Koppelprodukten ungefähr halbiert werden, um Überversorgungen zu vermeiden.

Tab. 11.3)

Gegenüberstellung der jährlichen N-Inputs (kg/ha) über organische Dünger in den Szenarien 2 und 3

| Düngerart | Szenario 2 | Szenario 3 | Reduktion(%) |
|-----------------------|------------|------------|--------------|
| Gülle | 12,373 | 10,747 | 13,1 |
| Stroh | 4,328 | 2,083 | 51,9 |
| Stallmist | 30,989 | 16,054 | 48,2 |
| Gründg. & Rüben-Blatt | 17,762 | 9,273 | 47,8 |
| Summe | 65,452 | 38,157 | 41,7 |

Tab. 11.4)

Gegenüberstellung der jährlichen C_{REP} -Inputs (in dt/ha) über organische Dünger in den Szenarien 2 und 3

| Düngerart | Szenario 2 | Szenario 3 | Reduktion(%) |
|-----------------------|------------|------------|--------------|
| Gülle | 0,441 | 0,382 | 13,4 |
| Stroh | 1,164 | 0,558 | 52,1 |
| Stallmist | 3,011 | 1,554 | 48,4 |
| Gründg. & Rüben-Blatt | 1,093 | 0,546 | 50,0 |
| Summe | 5,709 | 3,04 | 46,8 |

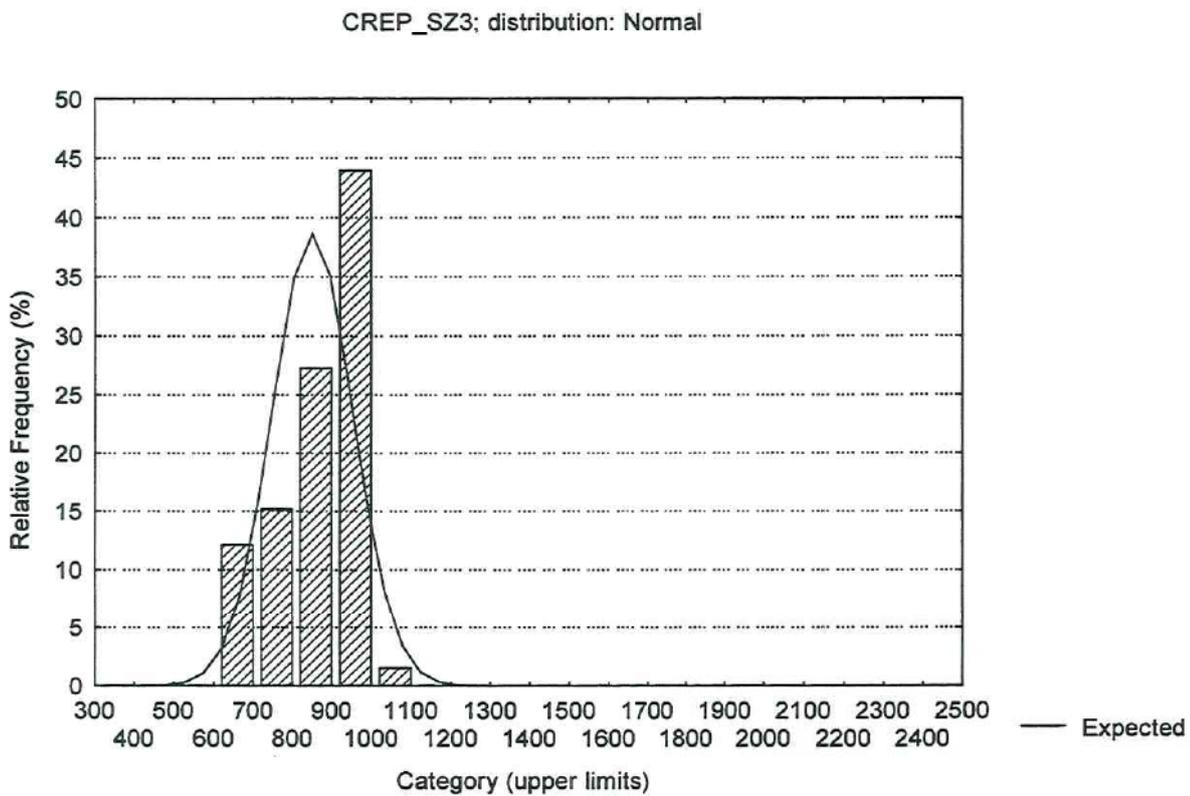
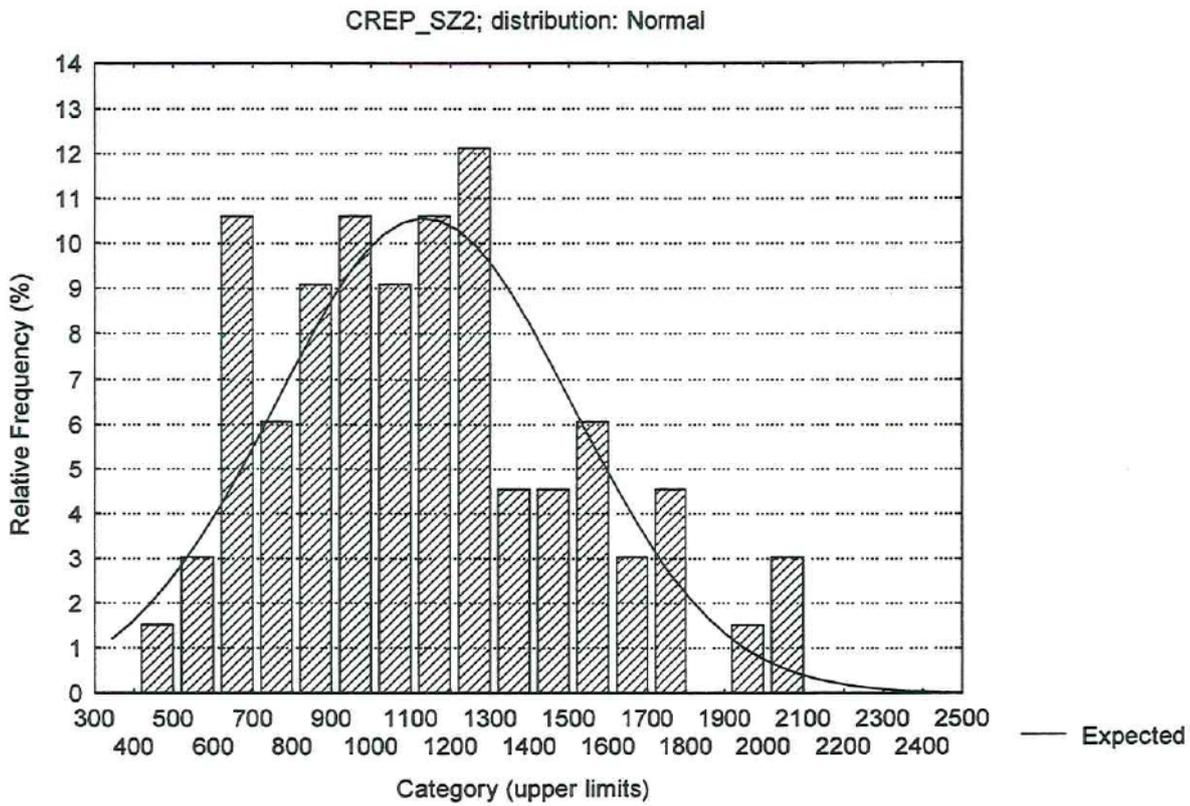


Abb. 11.9)
 Verteilung des Einsatzes an reproduktionswirksamen Kohlenstoff in kg/ha in den Szenarien 2 (CREP_SZ2) und 3 (CREP_SZ3)

11.4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen für das untersuchte Schwarzerdegebiet zwar aktuell noch keine negativ zu bewertende N-Bilanz jedoch tendenziell eine deutliche Überversorgung mit organischer Bodensubstanz, die in der Folge eine Verschlechterung vor allem der Sickerwasserqualität erwarten lässt. Die Wende zu einem umweltgerechten N-Haushalt, der unter den hier vorliegenden Bedingungen eine deutliche Ausnutzung der diffusen N-Einträge in das Agrarsystem ausweisen sollte, wäre durch eine Reduktion des Viehbesatzes auf einen Wert unter 0,5 VE/ha und die verstärkte energetische Nutzung der Koppelprodukte möglich. Weitere Arbeiten sind erforderlich, um die Potenziale der Strohverbrennung und der Biogasgewinnung einschließlich des Recyclings der dabei anfallenden Reststoffe detailliert zu untersuchen.

UFZ-Bericht

**Einfluß der Landnutzung auf Landschaftshaushalt
und Biodiversität in agrarisch dominierten Räumen**

Heidrun Mühle (Hrsg.)

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH