UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

Nr. 10/1997

Einfluß von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen

U. Franko, S. Schenk, D. Debevc,
P. Petersohn, G. Schramm

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Kultusministeriums des Landes Sachsen-Anhalt unter dem Förderkennzeichen 892A/0083 gefördert.

ISSN 0948-9452

Einfluß von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen

Abschlußbericht zum Projekt

Grundlagen für ein Computersimulationsmodell zur Ermittlung der maximal umweltverträglichen Stickstoffzufuhr und zur Analyse von Bewirtschaftungssystemen

Laufzeit des Projektes: 10/94-12/96

Wissenschaftliche Bearbeitung:
U. Franko
S. Schenk

Wissenschaftlich-technische Bearbeitung:
D. Debevc
P. Petersohn
G. Schramm

UFZ Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung
Hallesche Str. 44
D-06246 Bad Lauchstädt

Bad Lauchstädt, Mai 1997

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Kultusministeriums des Landes Sachsen-Anhalt unter dem Förderkennzeichen 892A/0083 gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG 3

2 REGIONALISIERUNG DER BODENDATEN 6

2.1 Beschreibung der Datenbasis 6
2.2 Ableitung der Profilbeschreibungen für die Bodenkarte Sachsen-Anhalt 7
2.3 Plausibilitätsprüfung (Thematische Karten) 9

3 BILDUNG KLIMATISCHER BEZUGSEINHEITEN FÜR DAS GEBIET SACHSEN-ANHALTS 10

3.1 Beschreibung der Datenbasis 10
3.2 Bildung klimatischer Bezugseinheiten für das Gebiet Sachsen-Anhalts 10
3.3 Ergebnisse der Berechnungen des Wettergenerators für Bezugsstationen 11

4 REGIONALISIERUNG DER BEWIRTSCHAFTUNGSDATEN 14

4.1 Datenquellen, Plausibilitätsprüfung und Synchronisation mit den CANDY-Datenbankstrukturen 15
4.2 Berechnung der Anfallmengen organischer Substanzen 17

5 BESTIMMUNG DES NIVEAUS AN UMSETZBARER ORGANISCHER SUBSTANZ 19

5.1 Berechnung der jährlichen Kohlenstoffreproduktion (C_{REP}) 19
5.2 Berechnung des standort- und bewirtschaftungsspezifischen Kohlenstoffniveaus 21

6 SIMULATIONSUNTERSUCHUNGEN ZUM REGIONALSPEZIFISCHEN EINFLUß DER BEWIRTSCHAFTUNGSBEDINGTEN STICKSTOFFZUFUHR AUF DIE STICKSTOFFAUSTRÄGE 22

6.1 Methodisches Vorgehen bei der Auswahl der zu untersuchenden Standorte Sachsen-Anhalts . 23
6.2 Methodik zur Aufstellung der Bewirtschaftungsszenarien 24
6.3 Ableitung von Szenarien mit abgestufter Düngungsintensität 25
6.4 Beschreibung des Optimierungsalgorithmus und der Ergebnisverarbeitung 27
6.5 Untersuchung des Einflusses der Datenaggregation auf die Simulationsergebnisse 30

7 ERGEBNISSE 33

7.1 Regionalisierung von Stickstoffgrenzwerten 33
7.2 Bewertung der Ergebnisse 41
7.3 Schlußfolgerungen für die Praxis 47

8 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG 50

9 LITERATUR 53

10 TABELLENVERZEICHNIS 57

11 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 58

12 ABKÜRZUNGEN UND FORMELN 60

13 VERZEICHNIS DER ANLAGEN 63

1 Einleitung und Zielstellung

Die Landwirtschaft gilt als ein Hauptverursacher diffuser Stickstoffeinträge in die Fließgewässer. Daneben spielen auch die gasförmigen Stickstoffflüsse zwischen dem System Boden-Pflanze und der Atmosphäre eine bedeutende Rolle. Eine nachhaltige Landwirtschaft muß so gestaltet sein, daß Nährstoffausträge in benachbarten Ökosystemen nicht zu Belastungen führen. Um dieses in der praktischen Landwirtschaft zu erreichen, benötigt man Steuergrößen, die in der Entscheidungsebene des landwirtschaftlichen Betriebes liegen. Ein Beispiel dafür ist der tolerierbare N-Überhang nach der Ernte, der das Potential für die Austräge im Winterhalbjahr bildet. Das Simulationssystem CANDY, dessen Praxistauglichkeit mehrfach bewiesen werden konnte (Franko et al 1992) , bietet einen Modul zur Prognose der maximal umweltverträglichen Stickstoffdüngung an. Bei diesem Verfahren werden der aktuelle N_{MIN}-Vorrat im Boden, der N-Bedarf der Pflanze und die N-Nachlieferung bilanziert. Da eine exakte Voraussage der N-Aufnahme bis zur Ernte wegen der Abhängigkeit vom Wetterablauf nicht möglich ist, wird bei der Bemessung der Düngergabe immer von einer idealisierten Annahme ausgegangen. Nur wenn man vom absoluten Minimum der Ertragserwartung ausgeht, kann man einen N-Überhang nach der Ernte mit sehr hoher Sicherheit ausschließen. Da auf diese Weise die Produktivität der Agrarwirtschaft und damit auch das Potential zur Bindung des CO_2 aus der Atmosphäre in pflanzlicher Biomasse jedoch nur unzureichend ausgenutzt werden würde, muß ein bestimmter Übertrag als Restmenge, die unter ungünstigen Vegetationsbedingungen nach der Ernte im Boden verbleibt, kalkuliert werden. Diese Restmenge darf nur so hoch sein, daß keine Verletzung des Prinzips der Nachhaltigkeit erfolgt. Ist diese Größe bekannt, so ist es möglich, die aus ökologischer Sicht maximale N-Zufuhr so zu berechnen, daß eine optimale Ausnutzung der Bodenfruchtbarkeit erfolgt.
Zielstellung des Projektes ist eine erste regionalisierte Quantifizierung der tolerierbaren N_{MIN}-Werte nach der Ernte für die typischen Ackerbaustandorte in Sachsen-Anhalt. Zu diesem Zweck erfolgte eine Klassifizierung von Standorten und Landnutzungsszenarien hinsichtlich der damit verbundenen Stickstoffausträge in angrenzende Ökosysteme. Ein wesentliches Hilfsmittel bei der Lösung dieser Aufgabe ist die Simulation der Umsatz- und Transportprozesse im Boden mit Hilfe des CANDY-Systems (FRANKO et al. 1995), das die Dynamik aller wesentlichen Umsatz und Transportprozesse des N-Kreislaufs im Boden beschreibt. Unter Anwendung der Szenario-Technik wurden für ausgewählte Kombinationen von Boden, Wetter und Bewirtschaftung Simulationen durchgeführt, aus deren Ergebnissen

vereinfachte Metamodelle konstruiert wurden, die letzlich die Grundlage zur Ableitung der Grenzwerte für den N_{MIN}- Gehalt im Herbst bildeten.

Die Spezifik dynamischer Modelle erfordert auch Überlegungen zu den notwendigen Input-Daten. Das Verhalten dynamischer Systeme wird so verstanden, daß sich der Zustand im Zeitpunkt t_1 aus dem Zustand zum Zeitpunkt t_0 unter Berücksichtigung der relevanten Einflüsse bzw. Antriebe ergibt. Es ist klar, daß der neue Zustand t_1 sowohl von den Anfangsbedingungen (Zustand zur Zeit t_0) als auch von der Wirkung der Systemantriebe bestimmt wird. Bezogen auf das hier betrachtete System der Landnutzung erfolgen die Antriebe durch den zeitlichen Ablauf von Wetter und Bewirtschaftung. Die betrachteten Zustände beziehen sich vor allem auf die Verteilung des Stickstoffs in verschiedene Pools. Der zur Analyse von potentiellen Stickstoffausträgen bereitzustellende Datenbestand umfasst also sowohl die von der bisherigen Bewirtschaftung geprägten Anfangsbedingungen als auch Daten zum zeitlichen Ablauf der geprüften Landnutzungsvariante. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Auswirkungen eines speziellen Bewirtschaftungssystems durch die jeweils standortspezifischen Faktoren Boden und Wetter geprägt werden. Anders als die feststehenden Bodeneigenschaften besitzt der Wetterablauf einen äußerst dynamischen Charakter mit ausgeprägtem stochastischen Verhalten. Dieses Merkmal der Zufälligkeit ist ein besonderes Problem, da hier das systemtypische Verhalten mit einem hohen Verallgemeinerungsgrad untersucht werden soll. Ein bereits in vorangegangenen Arbeiten (FRANKO et al., 1995; CHRISTOVA,1994) erfolgreich beschrittener Weg besteht in der Wahl einer hinreichend langen Simulationsdauer in Verbindung mit einem Wettergenerator. Der Wettergenerator (OELSCHLÄGEL, 1992) bildet die typischen Klimaeigenschaften unter direkter Einbeziehung der Variabilität der verwendeten Elemente ab. Auf diese Weise können Verfälschungen durch eine zu geringe Repräsentanz einzelner Fruchtfolgeglieder (z.B. Kartoffeln mit organischer Düngung) unter bestimmten klimatischen Bedingungen (z.B. trockenes Jahr) vermieden werden.

Um bei der Bearbeitung des Projektes die verschiedenen Informationsebenen möglichst exakt miteinander zu kombinieren wurde ein Geographisches Informationssystem auf der Basis von ARC/INFO aufgebaut. Die Vorgehensweise bei der die Zuordnung der Sachdaten hinsichtlich Boden, Bewirtschaftung und Wetter zu den jeweiligen Kartierungseinheiten wird ausführlich dargestellt.

Insgesamt wurde die Projektbearbeitung in die folgenden Arbeitsschritte untergliedert:

- Regionalisierung der Bodendaten
  - Ableitung der Profilbeschreibungen für die Bodenkarte Sachsen-Anhalt
  - Plausibilitätsprüfungen
- Abgrenzung klimatisch quasihomogener Einheiten für das Gebiet Sachsen-Anhalts
  - Bildung klimatisch gleicher Einheiten für das Gebiet Sachsen-Anhalts
  - Parametrisierung der Wettergeneratoren für Bezugsstationen
- Regionalisierung der Bewirtschaftungsdaten
  - Plausibilitätsprüfung der Daten
  - Berechnung der Anfallmengen organischer Substanzen
  - Ermittlung der Anbauverhältnisse und Erträge
  - Ermittlung der Einsatzmengen an organischem Dünger
- Bestimmung des Niveaus an umsetzbarer organischer Substanz
  - Berechnung der jährlichen Kohlenstoffreproduktion (C_{REP})
  - Berechnung des standort- und bewirtschaftungsspezifischen Kohlenstoffniveaus
- Durchführung von Simulationsuntersuchungen zum regionalspezifischen Einfluß der bewirtschaftungsbedingten Stickstoffzufuhr auf die Stickstoffausträge
  - Festlegung von Szenarien mit abgestufter organischer und mineralischer Düngungsintensität
  - Durchführung der Simulationsrechnungen
  - Auswertung der Szenariorechnungen
- Durchführung von Untersuchungen zum Einfluß der Datenaggregation
  - Regionalisierung von Daten zu Niederschlag und Bewirtschaftung auf Gemeindebasis
- Ableitung von Grenzwerten und Schlußfolgerungen für die praktische Landwirtschaft
  - Identifikation von Metamodellen
  - Berechnung und Regionalisierung der N_{MIN}-Grenzwerte
  - Erarbeitung eines Verfahrens zur Berechnung des ökologischen Maximums der N-Düngung

Auf der Grundlage des erarbeiteten Materials konnten für wichtige Ackerbaustandorte in Sachsen-Anhalt u.a. folgende thematischen Karten erstellt werden:

Wasserhaushalt:
- Mittlere jährliche Grundwasserneubildung; Spannweite: 10.. 220 mm

Kohlenstoffhaushalt:
- Mittlere biologische Umsatzaktivität im Boden; Spannweite 20..48 d WMZ
- Umsetzbarer Kohlenstoff in 0-30cm Bodentiefe; Spannweite 127..347 dt/ha

Stickstoff:
- Mittlere jährliche N-Nachlieferung aus der org. Bodensubstanz; Spannweite 95..137 kg/ha
- ökologisch tolerierbare Nmin- Grenzwerte im Herbst; Spannweite: von 36kg/ha auf leichten Böden bis zu 136 kg/ha auf den Schwarzerdeböden im Regenschatten des Harzes

2 Regionalisierung der Bodendaten

2.1 Beschreibung der Datenbasis

Die Bodendecke im Territorium Sachsen-Anhalts umfaßt ein breites Spektrum von Böden. Großräumig kann Sachsen-Anhalt dabei nach ALTERMANN (1993) in die drei Regionen Lößfreies Altmoränengebiet, Lößgebiet sowie Mittelgebirge (Harz) unterteilt werden. Von den 2.04 Millionen Hektar Wirtschaftsfläche des Landes waren 1992 (Statistisches Jahrbuch Sachsen-Anhalt, 1993) ca. 1,04 Millionen Hektar Boden landwirtschaftlich genutzte Fläche (Ackerland, Dauergrünland).
Die für das Simulationssystem CANDY erforderlichen Bodendaten müssen bei der Simulation der Bodenprozesse für größere Gebiete aus vorhandenen Informationen (Bodenkarten, Datenspeicher) abgeleitet werden, da im Gegensatz zur Behandlung einzelner Schläge keine flächendeckenden experimentellen Bestimmungen durchführbar sind.
Den Ausgangspunkt für dieses Projekt bildet die Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt im Maßstab 1:500000 (SCHRÖDER,KNAUF,KAINZ,1993). Diese wurde zur Realisierung des Vorhabens vom Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt digital zur Verfügung gestellt. Es muß beachtet werden, daß es aufgrund des kleinen Maßstabes der Bodenkarte zwangsläufig zu einer starken Generalisierung der in der Realität wesentlich heterogeneren Bodenausprägungen gekommen ist. Die Interpretation von Simulationsergebnissen auf Grundlage dieser Bodenkarte muß deshalb immer im Verhältnis zur Auflösung der Bodeninformationen (Übersichtscharakter) erfolgen. Bei der Regionalisierung der Bodendaten wurde zunächst besonderes Augenmerk auf die Beschreibung grundwasserferner Standorte gelegt.

Außerdem wurden aufgrund des begrenzten Zeitrahmens Bodeneinheiten mit bisher nicht ausreichend vorgefundenen Beschreibungen ausgeklammert, somit ist das Gebiet Sachsen-Anhalts derzeit noch nicht flächendeckend zu behandeln. Wesentliche Standortbedingungen von agrarisch genutzten Arealen sind aber berücksichtigt.

2.2 Ableitung der Profilbeschreibungen für die Bodenkarte Sachsen-Anhalt

Zur Ableitung der in das Modell CANDY einfließenden Bodenparameter sind folgende grundsätzliche Schritte auszuführen:

- Katalogisierung der auftretenden Bodenformen
- Entschlüsselung der Informationen über Substrat- und Horizontabfolge
- Parametrisierung der bodenphysikalischen Kennwerte der Horizonte

Entsprechend den Legendeneintragungen in der verwendeten Karte werden die Bodenformen als vergesellschaftet betrachtet. Sind verschiedene Bodenformen innerhalb einer Legendeneinheit ausgewiesen, werden diese jeweils beschrieben und erhalten einen „Wirkungsanteil" innerhalb der dargestellten Einheit. So wird zum Beispiel unterstellt, daß in der Legendeneinheit 10 (Sandlößtieflehm-Schwarzerden bis Schwarzstaugleye) 50% Sandlöß-tieflehm-Schwarzerden und 50% Schwarzstaugleye auftreten. Als „lokal" auftretend genannte Bodenformen werden mit einem Anteil von 20% berücksichtigt. Dieses Herangehen ist mit der Aufschlüsselung der Bodenformen innerhalb von Standortregionaltypen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) vergleichbar.
Für jede innerhalb der Kartiereinheiten vorkommende Bodenform (Leitbodenform) wird ein typisches Profil definiert, den Horizonten dieser Profile werden die für das Simulationsmodell CANDY erforderlichen bodenphysikalischen Parameter zugeordnet. Dabei sind folgende modellspezifischen Parameter für jede Bodenschicht (Horizont) festzulegen:

- Trockenrohdichte
- Trockensubstanzdichte
- Feldkapazität
- Permanenter Welkepunkt
- Feinanteilgehalt (Ton + Feinschluffgehalt)
- Versickerungsparameter Lambda
- C_{ORG}- Referenzwert für die Schicht 0-30cm

Entscheidend für die Parametrisierung sind bezüglich der Modellanwendung deutliche substrat- bzw. gefügebedingte Differenzierungen in den physikalischen Eigenschaften zwischen den Horizonten (Substratwechsel, Tongehaltsdifferenzierung, Verdichtung usw.), ein genaues Abbild der Horizontbeschreibung entsprechend den bodensystematischen Anforderungen ist dabei nicht unbedingt erforderlich.

Grundsätzlich besteht ein großer Unterschied in Umfang und Qualität der vorhandenen Informationen, die für bestimmte Bodenformen vorhanden sind. Für gut beschriebene Profile wurden die erforderlichen physikalischen Parameter direkt aus der Literatur (z.B. KUNDLER, 1989) übernommen. Dabei wurden die dort angegebenen mittleren Werte für die Parameter zugrundegelegt. Bei den Löß-Schwarzerden wird zum Teil auf die bereits in höherer Auflösung erfolgte Bearbeitung von Bodeneinheiten im Raum Querfurt zurückgegriffen (FRANKO et al.,1995). Die Festlegung der Tiefenstufe des Substratwechsels wird für diese Böden unter Verwendung der Angaben von ALTERMANN und SCHRÖDER (1992) durchgeführt. Außerdem wurden hier die von STROHBACH und SCHMIDT (1982) angegebenen Differenzierungsmerkmale der Standortregionaltypen (Standortgruppen 9 bis 11 der MMK) berücksichtigt. Bei der Beschreibung von Auenbodenformen wurde unter anderem auf die Untersuchungen von ABELKADER (1969) bzw. CRONEWITZ et al. (1974) zurückgegriffen. Bei der Profilbeschreibung einzelner Böden im Übergangsbereich vom Löß zum Sandlöß wurden Angaben von ALTERMANN et al. (1972) einbezogen.

Aus den häufig vorliegenden Angaben zur Korngrößenverteilung in den einzelnen Horizonten wurden fehlende Werte für die Feldkapazität und Welkepunkt nach den in LIEBEROTH (1982) angegebenen Funktionen abgeschätzt:

$$FK = 3.4 + 0.85 * A \quad (\text{für } A<22\%) \text{ bzw.} \tag{1}$$

$$FK = 11.0 + 0.52 * A \quad (\text{für } A=22\text{-}60\%) \tag{2}$$

$$PWP = 0.25 + 0.52 * \text{Ton} \tag{3}$$

FK .Feldkapazität (Vol%)
A Abschlämmbare Teilchen = Ton+Feinschluff+ 0.35...0.41*Mittelschluff (MORGENSTERN, 1990)
PWP Permanenter Welkepunkt (M%)

Bei unzureichender Beschreibung einzelner Bodenformen oder Horizonte wurden die Parameter aus verschiedenen Quellen geschätzt bzw. abgeleitet . Wichtige Informationsquellen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1:Informationsbasis zur modellspezifischen Ableitung von Bodenparametern

Bodenparameter/Sachverhalt	**Autor /Quelle**
Vollständige Beschreibung wichtiger Bodenformen	KUNDLER (1989)
Bodenphysikalische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen	VETTERLEIN (1989)
Zusammenhang Substrat- Feinanteilgehalt	MORGENSTERN (1990)
Korrelation zwischen Ton- und Feinanteilgehalt (Löß-, Sandlößböden)	VETTERLEIN et al. (1989)
Abschätzung von FK und PWP aus Körnung (Tongehalt)	LIEBEROTH (1982)
Körnung und Humusgehalt in Löß-Schwarzerden	ALTERMANN et al. (1992)
Humusgehalte von wichtigen Bodenformen	CRONEWITZ et al. (1987)
Optimalwerte der Lagerungsdichte (im Körnungsartendreieck)	PETELKAU in KUNDLER (1989)

Um bei Langzeitszenarien entscheidende bewirtschaftungsbedingte Unterschiede im OS-Niveau abbilden zu können, werden die vom OS-Gehalt abhängigen bodenphysikalischen Parameter laufend an die aktuellen C_{ORG}-Werte angepaßt. Die Basis für die Festlegung der Änderungsfaktoren für die bodenphysikalischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Versorgung des Bodens mit organischer Substanz bilden die Untersuchungen von KÖRSCHENS (1988) .

2.3 Plausibilitätsprüfung (Thematische Karten)

Zur Plausibilitätsprüfung der abgeleiteten Profilbeschreibungen wurden die in den Datenbanken geführten Informationen unter Berücksichtigung der unterstellten Vergesellschaftungsanteile der einzelnen Bodenformen innerhalb der Legendeneinheiten (vgl. 2.2.) in die GIS-Ebene übertragen. Durch die Erstellung thematischer Karten für ausgewählte Bodenparameter wurde die territoriale Verteilung der Bodeneigenschaften im Gebiet Sachsen-Anhalts überblicksweise überprüft. Als Beispiele sind in Anlage 1 die Karten „Mittlerer Feinanteilgehalt des Bodens (0-30cm) -Sachsen-Anhalt-" sowie „Mittlere Feldkapazität des Bodens (0-1 m Tiefe) -Sachsen-Anhalt-" aufgeführt. In diesen Darstellungen wird die grobe Gliederung in die Bereiche trockenes Schwarzerdegebiet und feuchterer nördlicher Teil Sachsen-Anhalts mit leichteren Sand- bzw. Lehmböden deutlich erkennbar.

3 Bildung klimatischer Bezugseinheiten für das Gebiet Sachsen-Anhalts

3.1 Beschreibung der Datenbasis

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden regional differenzierte Angaben zum Klima in Sachsen-Anhalt benötigt. Für den Antrieb des eingesetzten Simulationssystems CANDY sind dabei Daten zu den Witterungselementen Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung (bzw. Sonnenscheindauer) erforderlich, die für die zu bildenden räumlichen Klimaeinheiten in Form langjähriger Meßreihen als Tageswerte vorliegen müssen.
Die Basis für das hier beschriebene Vorgehen bildet die Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten des Landes Sachsen-Anhalt (REUTER 1991, zitiert im LANDSCHAFTS-PROGRAMM des Landes Sachsen-Anhalt 1994), die für das Vorhaben vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in digitaler Form zur Verfügung gestellt wurde.
Diese Landschaftseinheiten wurden unter Berücksichtigung der Projektzielstellung durch den Deutschen Wetterdienst, Außenstelle Halle (SCHUMANN 1995), zu meteorologisch quasihomogenen Einheiten zusammengefaßt. Jedem Teilgebiet wurde eine verfügbare Wetterstation mit vorhandenen Langzeitdaten zugeordnet (vgl. Karte der „Klimatische Bezugseinheiten in Sachsen-Anhalt", Anlage 1). Mit den Stationsdaten erfolgte die Parametrisierung entsprechender Wettergeneratordateien, die den Simulationen zugrundegelegt wurden. Für die Zuordnung von Niederschlagsgebieten wird eine digitale Karte mit den vor der Kreisreform 1994 gültigen Kreisgrenzen verwendet.

3.2 Bildung klimatischer Bezugseinheiten für das Gebiet Sachsen-Anhalts

Aus den zum jetzigen Zeitpunkt verfügbaren langjährigen Wettermeßreihen wurde zur Parametrisierung eines statistischen Wettergenerators (OELSCHLÄGEL, 1992; FRANKO et al., 1995) jeweils eine Klimastationen (Bezugsstationen) für eine zu charakterisierende Landschaftseinheit genutzt. Das Gebiet des Harzes wurde dabei zunächst ausgeklammert, da die erforderlichen Datenreihen sowohl zeitlich als auch räumlich unzureichend vorlagen. Bei einer Einbeziehung dieses Gebietes muß speziell der höhenbedingte Gradient in der Lufttemperatur berücksichtigt werden.
Um das Witterungselement Niederschlag für das Gebiet Sachsen-Anhalts stärker zu differenzieren, wird diese Größe innerhalb der Witterungselemente als spezielle Informations-

schicht betrachtet. Aus den Informationen des gemeindebezogenen Datenspeichers DABO-GEMDAT (LIEBEROTH et al., 1977) wird dazu aus den jeder Gemeinde zugeordneten mittleren Jahresniederschlagswerten für jeden Kreis (entsprechend der Kreiseinteilung vor 1989) ein Wert berechnet. Aus den Kreismittelwerten werden Niederschlagsklassen in 20 mm-Abstufung gebildet, so werden z.B. in der Klasse 520 mm Kreise mit Niederschlagsmitteln von 511 bis 530 mm zusammengefaßt. Durch die Überlagerung der Karte der Klimagebiete mit der Karte der Niederschlagsgebiete (siehe Anlage 1, Karte der „Niederschlagsgebiete in Sachsen-Anhalt") und unter Verwendung des Geographischen Informationssystems ARC/INFO werden die Informationen in räumlichen Zusammenhang gebracht und klimatische Einheiten für die Modellanwendung gebildet. Das Element Niederschlag des generierten Wetters in der betreffenden klimatischen Einheit wird unter Beibehaltung der statistischen Zusammenhänge der Witterungselemente (Klimadaten für die Klimastation des zugeordneten Klimagebietes) in seiner Höhe an den Wert der jeweiligen Niederschlagsklasse angepaßt. So wird z.B. im nordwestlichen Teil des Klimagebietes GSH (Gardelegen-Seehausen) mit der für die Bezugsstation GSH ermittelten monatlichen Niederschlagsverteilung gerechnet, die Niederschlagshöhen werden entsprechend der ausgewiesenen Niederschlagsklasse auf 580 mm Jahresniederschlag modifiziert. Bei digital vorhandener Information zur Abgrenzung der Gemeinden von Sachsen-Anhalt ist geplant, die Klassengrenzen für den Niederschlag auf Gemeindebasis aufzulösen.

3.3 Ergebnisse der Berechnungen des Wettergenerators für Bezugsstationen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Jahreswerte für Lufttemperatur, Niederschlag sowie Globalstrahlung zusammengestellt, wie sie vom Wettergenerator unter Einbeziehung der aufgeführten Witterungsmeßreihen berechnet werden. Die Parameter für das Gebiet GSH werden durch Zusammenfassung der Standorte Gardelegen und Seehausen (Altmark) berechnet und als ein Datensatz dem nördlichen Teil Sachsen-Anhalts zugeordnet.
In den Abbildung 1-3 sind die Jahreswerte der einzelnen Witterungselemente für die Bezugsstationen gegenübergestellt. Welche monatliche Verteilung für Lufttemperatur, Globalstrahlung und Niederschlag vom Wettergenerator für die einzelnen Bezugsstationen berechnet wurde, wird in Anlage 3 veranschaulicht.

Tabelle 2: Ergebnisse der Berechnungen des Wettergenerators/ Mittlere Jahreswerte von Lufttemperatur, Niederschlag und Strahlung für Klimastationen in Sachsen-Anhalt

Bezugsstation	Datenquelle *	Kurz -Bez.	Nördl. Breite in °	Verwendete Jahre der Wetterdaten	LTEM [°C]	NIED [mm]	GLOB [J/cm²] (Tag)
Bad Lauchstädt	DWD,V	LAU	51.24	1965-94	9.1	463.4	903.0
Gardelegen	DWD	GAR	52.31	1965-77	8.6	563.5	841.4
Magdeburg	DWD	MAG	52.07	1965-94	9.0	488.9	954.9
Schkeuditz	DAWIP	SCK	rd. 51.2	1973-88	8.8	478.3	921.8
Wittenberg	DWD	WIT	51.53	1965-94	8.9	561.6	972.8
Seehausen/Altm.	DAWIP,V	SHS	rd. 52.9	1977-92	8.7	520.7	917.8
Quedlinburg	DAWIP,V	QLB	rd. 51.8	1970-93	9.0	414.2	872.0
		GSH		1965-77 (GAR) 1978-92 (SHS)	8.6	539.7	884.6

* Erläuterungen zur Datenherkunft:
DWD Deutscher Wetterdienst
DAWIP Datenspeicher Witterung Pflanzenproduktion (DDR)
V eigenständige Erfassungen an Forschungsinstituten

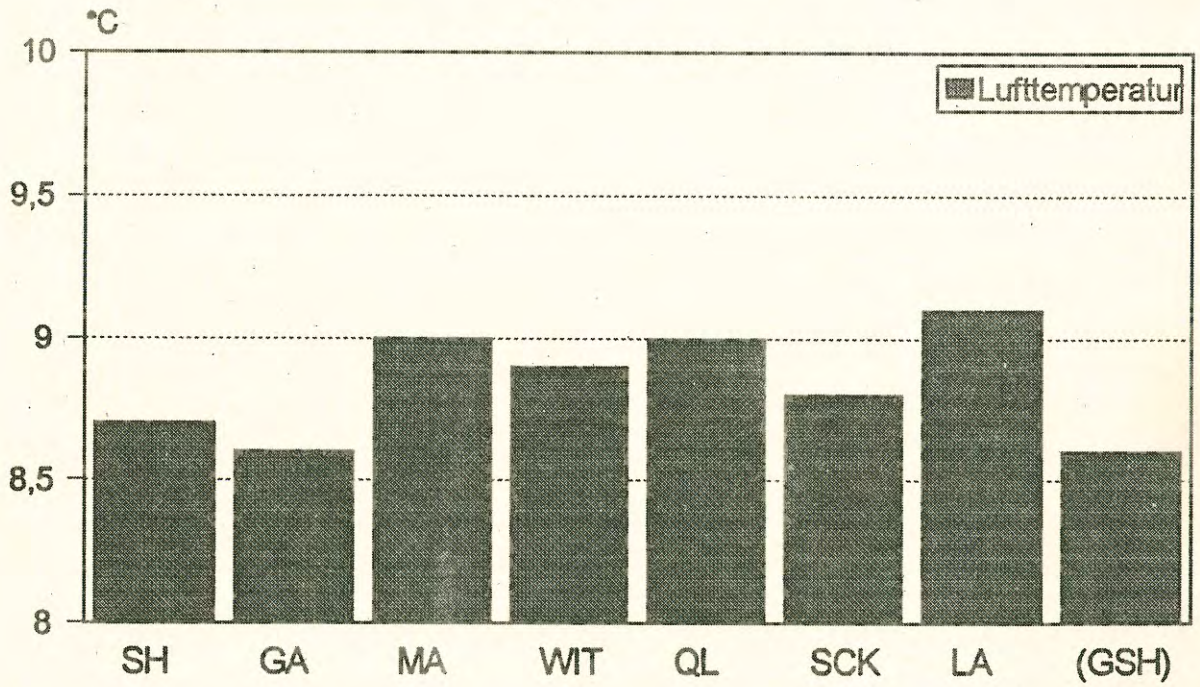


Abbildung 1: Jahresmitteltemperatur für verschiedene Stationen Sachsen-Anhalts (Wettergenerator)

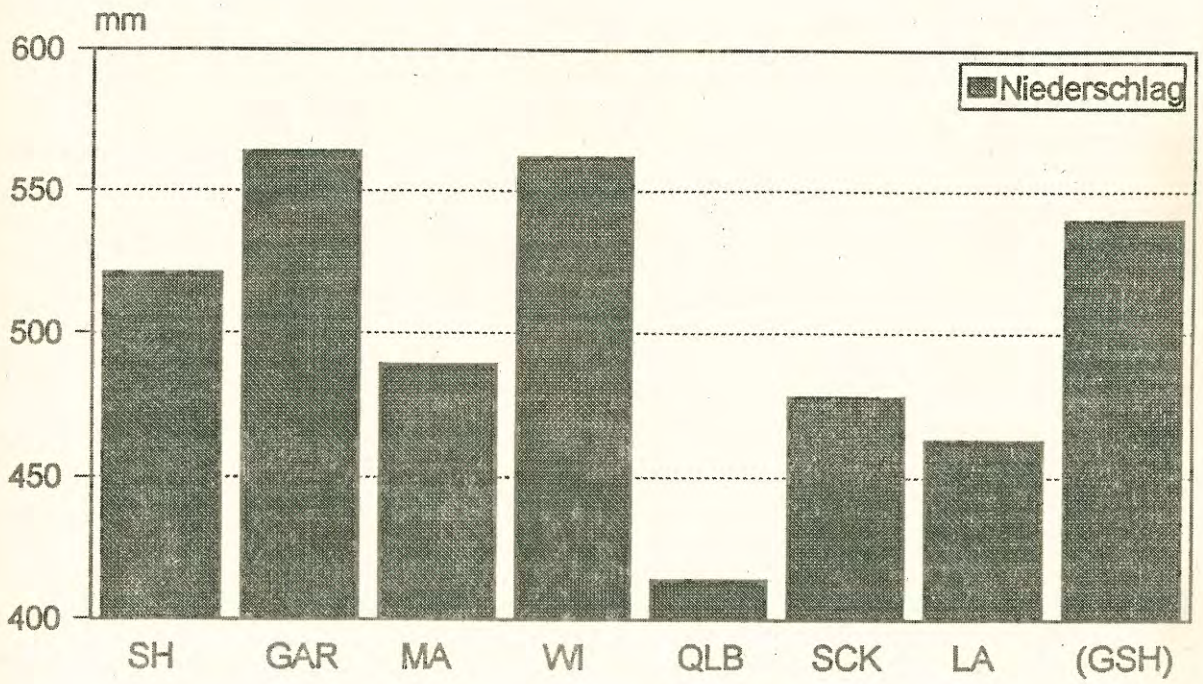


Abbildung 2: Mittlere Jahresniederschlagssumme für verschiedene Stationen Sachsen-Anhalts (Wettergenerator)

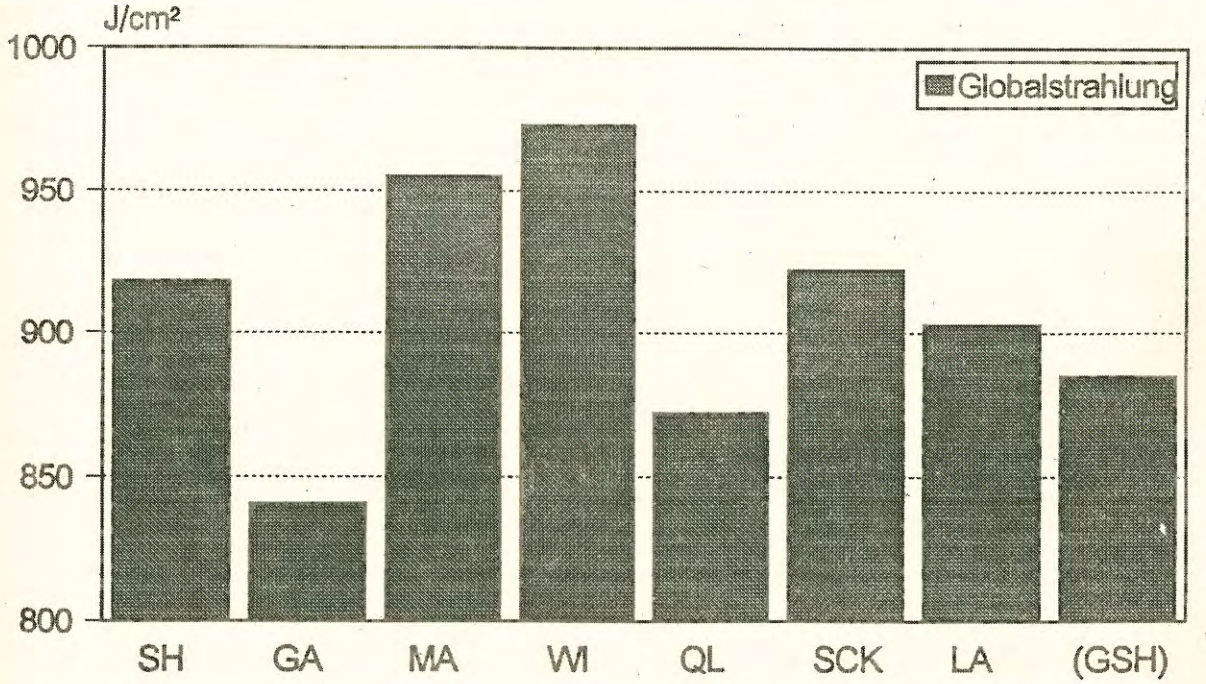


Abbildung 3: Jahresmittelwerte der Globalstrahlung (Tag) für verschiedene Stationen Sachsen- Anhalts (Wettergenerator)

4 Regionalisierung der Bewirtschaftungsdaten

Zur Ableitung regionaler Daten zum Anfall reproduktionswirksamen Kohlenstoffs während der zurückliegenden Nutzung waren die in Abbildung 4 veranschaulichten Schritte auszuführen. Grundlage für die Umrechnungen bildeten die in den entsprechenden CANDY-Datenbanken geführten Parametersätze (N-Gehalte, C-N-Verhältnisse, Trockenmassegehalte, Synthesekoeffizienten).

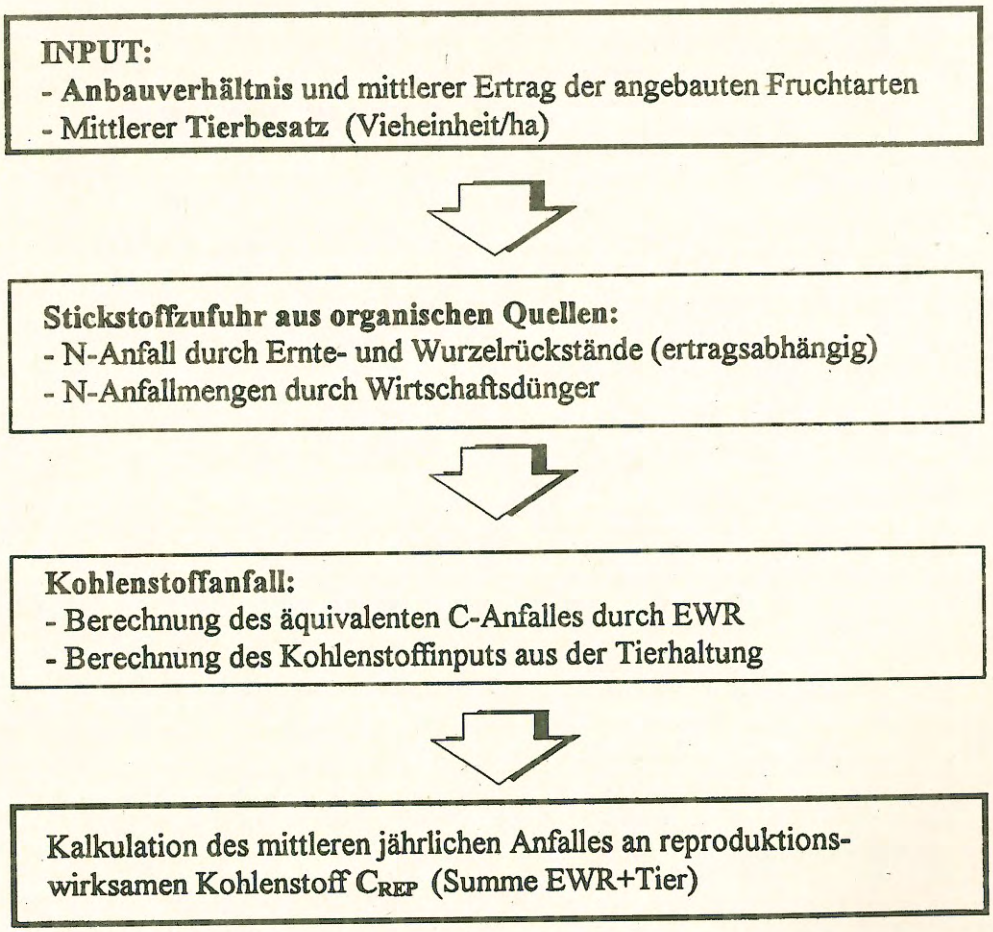


Abbildung 4: Berechnung des C_{REP}-Anfalles aus Angaben zu Anbauverhältnissen und Tierbesatz

4.1 Datenquellen, Plausibilitätsprüfung und Synchronisation mit den CANDY-Datenbankstrukturen

Die Auswertung der Betriebsdaten wurde sehr stark an die Ergebnisse von BIERMANN (1995) angelehnt und bezieht dort angegebene Zwischenergebnisse ein.
Für das hier zu bearbeitende Problem bestimmte die zunächst nur verfügbare Topographie der Kreisgrenzen die räumliche Auflösung für die Auswertung der Bewirtschaftungsdaten. Arbeitsgrundlage war die Kreisgliederung von 1988. Die zum Teil abweichende Struktur innerhalb der Datenbanken zur Bewirtschaftung (DABO-GEMDAT, Betriebsdatenbank) wurde nach Auswertung von Unterlagen des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt zu den durchgeführten Gebietsreformen korrigiert. Um die Informationen aus der Datenbank mit dem Simulationssystem CANDY abbilden zu können, war eine Zuordnung der im Datenspeicher aufgeführten Fruchtarten zu den im CANDY-System verfügbaren Fruchtartenparametern (Tabelle 3) erforderlich.

Tabelle 3: Parameter aus dem CANDY - System zur Berechnung des reproduktionswirksamen Kohlenstoffinputs durch die Ernte- und Wurzelrückstände der angebauten Pflanzenbestände

Nr.	Fruchtart	Parameter K_{EWR}	Parameter F_{EWR}	Stickstoff - Gehalt	Synthese-koeffizient η	C/N - Verhältnis
1	Zuckerrüben	20,00	0,00	0,50	0,35	20,0
2	Kartoffeln	2,00	0,10	0,40	0,45	40,0
3	Sommergerste	5,20	0,05	2,50	0,55	60,0
4	Hafer	8,00	0,06	2,50	0,55	50,0
5	W-Gerste	8,00	0,06	2,50	0,55	50,0
6	W-Roggen	8,00	0,06	2,50	0,55	50,0
7	W-Weizen	8,00	0,06	2,50	0,55	50,0
8	Silomais	23,00	0,03	0,35	0,45	45,0
9	Luzernegras	100,00	0,12	0,59	0,35	20,0
10	Rotklee(mehrj.)	133,00	0,00	0,55	0,35	18,0
11	Ackerb.(reif)	37,00	0,00	6,00	0,55	27,0
12	Gras	80,00	0,00	0,45	0,55	35,0
13	Stoppelfrucht	28,00	0,00	0,50	0,60	18,0
14	Winterraps	45,00	0,10	6,30	0,40	30,0
15	Sonnenblume	30,00	0,10	4,20	0,50	40,0
16	W-Futterroggen	30,00	0,06	0,40	0,45	15,0
17	Koernermais	30,00	0,05	2,70	0,50	50,0
18	Erbsen	35,00	0,05	4,00	0,55	50,0

Stickstoffgehalt: in kg N/dt Frischmasse
Berechnung der Stickstoffmenge der Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) aus dem N-Entzug $N_{EWR} = K_{EWR} + F_{EWR} * N_{entz}$)
F_{EWR}: Faktor für ertragsabhängigen Zuschlag durch Ernte- und Wurzelrückstände
K_{EWR}: konstante N-Menge der Ernte- und Wurzelrückstände, ertragsunabhängig C_{REP} -Wert: reproduktionswirksamer Kohlenstoff (kg C /ha)
N_{entz}: oberirdischer Stickstoffentzug
Nr.: über diese Variable erfolgt die Zuordnung der Parameter zu den Fruchtarten

Grundlage zur Ableitung dieser Parameter sind die umfangreichen Untersuchungen der 80'er-Jahre in Bad Lauchstädt (Klimanek, 1988; Autorenkollektiv 1987,1989,1990). Unter Berücksichtigung der Parametervariabilität wurden einzelne Fruchtarten zu Gruppen zusammengefaßt (vgl. Tabelle 4). Die Verwendung der Parameter zur Berechnung der Kohlenstoffreproduktion wird unter 4.2 ausführlich erläutert.

Tabelle 4: Zuordnung von Fruchtarten des Datenspeichers zur CANDY-Pflanzendatei

Fruchtarten	**Nr. der zugeordneten Parametersätze aus Tab. 3**
Futterhackfrüchte = verschiedene Futterrüben; als Zuckerrüben	1
Zuckerrüben	1
Kartoffeln	2
Sommergerste	3
Hafer- Sommergetreide- Gemenge als Hafer gerechnet	4
Wintergerste	5
Winterroggen	6
Winterweizen	7
Silo- u. Grünmais alles als Silomais gerechnet	8
Luzerne-Gras-Gemisch; alles als Luzerne	9
Klee- Gras-Gemisch; alles als Rotklee	10
Futterhülsenfrüchte als Ackerbohnen gerechnet	11
Hutungen (Streuwiesen) als Gras	12
sonstige mehrjährige Futterfrüchte (- Grasgemische) als Gras	12
Weide als Gras	12
Wiese als Gras	12
Ölfrüchte gesamt als Winterraps	14
sonstige einjährige Futterfrüchte als Winter-Futterroggen	16
Speisehülsenfrüchte als Erbsen gerechnet	18

Tabelle 5:Parameter aus dem CANDY-System zur Berechnung des reproduktionswirksamen Kohlenstoffinputs über organische Dünger

Organischer Dünger	**Synthese-koeffizient η**	**Kohlenstoff - Stickstoff - Verhältnis**	**Trockensubstanz -gehalt**	**Kohlenstoffgehalt in der Trocken-substanz**
Stalldung (9%C)	0,60	15,0	0,250	0,360
Rindergülle	0,60	8,0	0,150	0,350
Schweinegülle	0,60	4,5	0,105	0,350
Geflügelgülle	0,60	4,0	0,150	0,350

Angaben zu Sonderkulturen, Obst, Gemüse, Wein, Gärtnereien, Baumschulen etc. wurden bei den Berechnungen nicht mit einbezogen, da zum Teil ungenaue oder keine Werte vorlagen und darüber hinaus der Anteil dieser Kulturen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche vernachlässigbar gering ist.

4.2 Berechnung der Anfallmengen organischer Substanzen

Die berechneten N-Mengen der Ernte- und Wurzelrückstände sowie der organischen Dünger aus der Tierhaltung werden über die Parametersätze von CANDY (vgl. Tabelle 3 und Tabelle 5) in die äquivalenten C-Mengen umgerechnet.

Im Ergebnis der Auswertung der Daten zu den Anbaustrukturen entstanden die in Anlage 4 zusammengestellten Angaben zu kreisbezogenen Mittelwerten von Anbauanteil und Ertrag. Die Ertragsangaben in dt/ha beziehen sich auf die bei der Kalkulation berücksichtigten Anbauflächen. Die Berechnung der C-Anfallmengen aus Pflanzenrückständen (C_{PFL}) erfolgt nach der Formel:

$$C_{PFL} = (ERT * N_Gehalt * F_{EWR} + K_{EWR}) * CNR \qquad (4)$$

ERT: Ertrag in dt/ha
N_GEHALT: Stickstoffgehalt in kg pro dt Frischmasse (CANDY-Parameter)
F_{EWR}: Faktor für ertragsabhängigen Zuschlag durch Ernte- und Wurzelrückstände
K_{EWR}: konstante N-Menge der Ernte- und Wurzelrückstände, ertragsunabhängig
CNR: C:N - Verhältnis

Analog zu den Pflanzen wurde ausgehend von den Angaben zum Tierbesatz die anfallende N-Menge aus organischen Düngern getrennt nach Gülle und Stalldung ermittelt (Tabelle 6). Die äquivalenten C-Mengen aus der Tierhaltung werden aus den für die entsprechenden organischen Dünger vom CANDY-System vorgegebenen C/N-Verhältnissen berechnet. Alle Algorithmen, die für diese Berechnungen verwendet wurden sind unter Anlage 5 im Detail beschrieben.

Tabelle 6:Stickstoffanfall aus Stallmist und Gülle je Kreis in Sachsen-Anhalt (bezogen auf Jahre 1985-89)

Kreis	N - Menge aus Gülle [kg/ha]	N - Menge aus Stallmist [kg/ha]	N - Menge gesamt [kg/ha[	Fläche * [ha]
Jessen	17	42	58	31896
Burg	16	44	60	38091
Gardelegen	18	38	56	43905
Genthin	23	35	58	30302
Halberstadt	22	35	57	50686
Haldensleben	17	41	57	48214
Havelberg	19	32	51	26562
Klötze	30	27	57	38438
Wolmirstedt	16	41	57	30122
Oschersleben	15	36	51	28685
Osterburg	17	34	51	69844
Salzwedel	24	30	54	56260
Schönebeck	10	36	46	30861
Staßfurt	22	34	55	30542
Stendal	14	44	57	54900
Wanzleben	21	37	58	40123
Wernigerode	14	46	61	16854
Zerbst	17	30	47	42936
Aschersleben	14	51	65	28389
Bernburg	2	50	52	27958
Bitterfeld	21	41	63	23210
Eisleben	14	39	53	19807
Gräfenhainichen	39	22	62	11300
Saalkreis	16	43	59	49901
Hettstedt	17	44	60	26082
Köthen	8	51	59	36089
Nebra	12	46	58	21705
Merseburg	22	45	66	25752
Naumburg	14	51	64	23729
Quedlinburg	25	35	59	19664
Querfurt	9	50	58	27418
Roßlau	21	44	65	17340
Sangerhausen	10	43	53	34342
Hohenmölsen	43	27	70	11108
Weißenfels	14	46	60	17283
Wittenberg	29	33	62	32030
Zeitz	11	53	65	23471

* Gesamtanbaufläche der berücksichtigten Kulturen

5 Bestimmung des Niveaus an umsetzbarer organischer Substanz

5.1 Berechnung der jährlichen Kohlenstoffreproduktion (C_{REP})

Die Berechnung des standort- und bewirtschaftungsspezifischen Kohlenstoffniveaus berücksichtigt die durch Bodeneigenschaften und Klimabedingungen geprägten biologischen Umsatzbedingungen und die bewirtschaftungsabhängige Zufuhr an reproduktionswirksamem Kohlenstoff (C_{REP}). Die Menge des jährlich in den Boden eingebrachten C_{REP} ergibt sich aus der Multiplikation der Kohlenstoffmengen jeder einzelnen Substanz mit ihrem Synthesekoeffizienten ($C_{REP}= C_{PFL} * \eta$). Die Werte der Synthesekoeffizienten, die im CANDY-System vorliegen, beruhen auf langjährigen Forschungsarbeiten (Autorenkollektiv, 1989; FRANKO et al.,1995) und wurden bereits mehrfach an Dauerversuchen überprüft (FRANKO,1996).

Die Angaben in den ausgewerteten Datenbanken beziehen sich ausschließlich auf die 80er Jahre. In den davorliegenden Jahren waren die Erträge generell niedriger. Der züchterische und technologische Fortschritt bewirkt einen systematischen Anstieg der Erträge mit der Zeit. Bei der Berechnung des bewirtschaftungsspezifischen Kohlenstoffinputs ist dies zu berücksichtigen, da sonst ein zu hohes Humusniveau für den Gesamtzeitraum unterstellt würde. Vor der Berechnung des stationären Humusniveaus wurden deshalb die in den Boden gebrachten reproduktionswirksamen Kohlenstoffmengen unter Berücksichtigung der in den Jahren von 1960 bis 1989 ansteigenden Trends der Erträge (vgl. Abbildung 5) und anfallenden Stickstoffmengen der Tierproduktion auf den Mittelwert dieser Periode korrigiert .

Ein Zeitintervall von 30 Jahren kann als ausreichend zur Ausprägung eines bewirtschaftungs-spezifischen Kohlenstoffniveaus angesehen werden. Zur Berechnung des Korrekturfaktors wurde aus den Ergebnissen der Regressionsanalyse (Tabelle 7) das Verhältnis des mittleren Ertrages von 1959 bis 1989 dem mittleren Ertrag in der Periode von 1985 bis 1989 gegenübergestellt. Auf der Basis einer Regressionsgeraden mit dem Intercept a und dem Trend b läßt sich der Mittelwert M in der Periode von t_1 bis t_2 wie folgt berechnen:

$$M(t_1,t_2) = a + 0.5 * b * (t_1 + t_2) \qquad (5)$$

Zur Korrektur der Niveauunterschiede der Intervalle von 1960 bis 1989 und 1985 bis 1989 wird folgender Faktor berechnet:

$$F_k = \frac{a + b * 1987}{a + b * 1975} \qquad (6)$$

Tabelle 7:Ergebnisse aus der Regressionsanalyse zum Trend der Erträge und des Stickstoffanfalls aus organischen Düngern und daraus abgeleitet Korrekturfaktoren (alle Ergebnisse bei α=5%

Objekt	Intercept	Trend	Bestimmtheits-maß	Korrektur-faktor n. Gl. 6
Winterweizen	- 1 241 dt	0,65 dt/a	B=0,85 n=41	0,84
Zuckerrüben	- 2 005 dt	1,16 dt/a	B=0,10 n=41	0,95
Kartoffeln	- 3 120 dt	1,68 dt/a	B=0,29 n=41	0,91
Stickstoffanfall Rind	-700 200 kg	383 kg/a	B=0,94 n=5	0,92
Stickstoffanfall Schwein	-788 000 kg	417 kg/a	B=0,78 n=5	0,88

Die Trendkorrektur der Mittelwerte erfolgte unterVerwendung eines mittleren Faktors von F_K=0,9. Als Datengrundlagen zur Trendberechnung wurden Angaben des Statistischen Bundesamtes bzw. des Landesamtes für Statistik Sachsen-Anhalt (1993) verwendet.

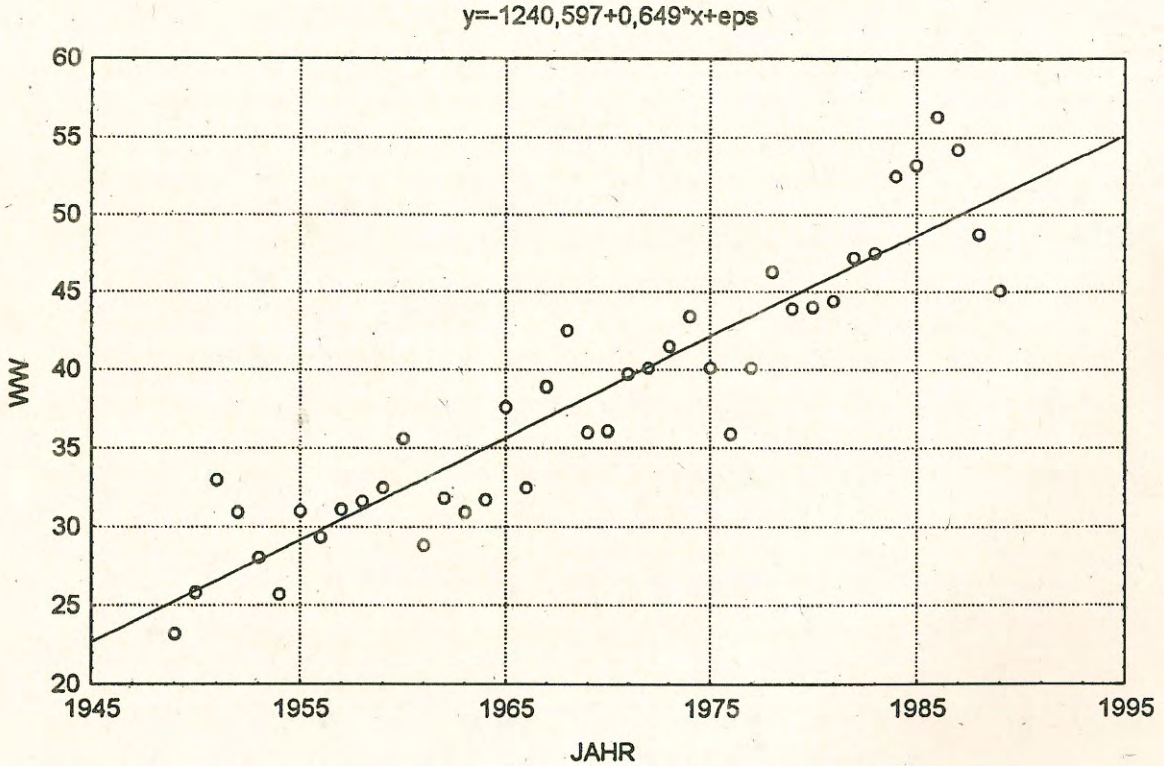


Abbildung 5: Ertragsentwicklung bei Winterweizen (WW: Ertrag in dt/ha)

5.2 Berechnung des standort- und bewirtschaftungsspezifischen Kohlenstoffniveaus

Die Berechnung der Umsatzbedingungen beruht auf einer Näherungsgleichung zur Berechnung der Wirksamen Mineralisierungszeit (WMZ) nach FRANKO und OELSCHLÄGEL (1995). Dabei wird neben dem Feinanteilgehalt der Bodenkrume das langjährige Mittel der Jahresniederschläge und die mittlere Lufttemperatur berücksichtigt. Diese Informationen waren aus der Regionalisierung der Boden- und Klimadaten bekannt.

In Anlage 1 ist eine thematische Karte über die „Mittlere biologische Umsatzaktivität im Boden" aufgeführt. Die Ergebnisse variieren von 20 Tagen auf schwereren Böden mit höherem Niederschlag bis zu 48 Tagen auf den leichteren Sandböden in der nördlichen Hälfte Sachsen-Anhalts. Unter Einbeziehung des ermittelten Kohlenstoff-Inputs C_{REP} aus Pflanzenbau und Tierhaltung (siehe Pkt. 3) wurde schließlich das Niveau an umsetzbarem Kohlenstoff C_{UMS} für den Status 1989 berechnet und über das GIS als thematische Karte für die behandelten Gebiete Sachsen-Anhalts dargestellt (Karte „Umsetzbarer Kohlenstoff in 0-30cm Bodentiefe ", Anlage 1). Das kalkulierte C_{UMS} -Niveau für die generierten Verschnittflächen (Patches) bildet die jeweiligen Startwerte für Simulationsszenarien zur aktuellen Nutzung in Teilgebieten Sachsen-Anhalts.

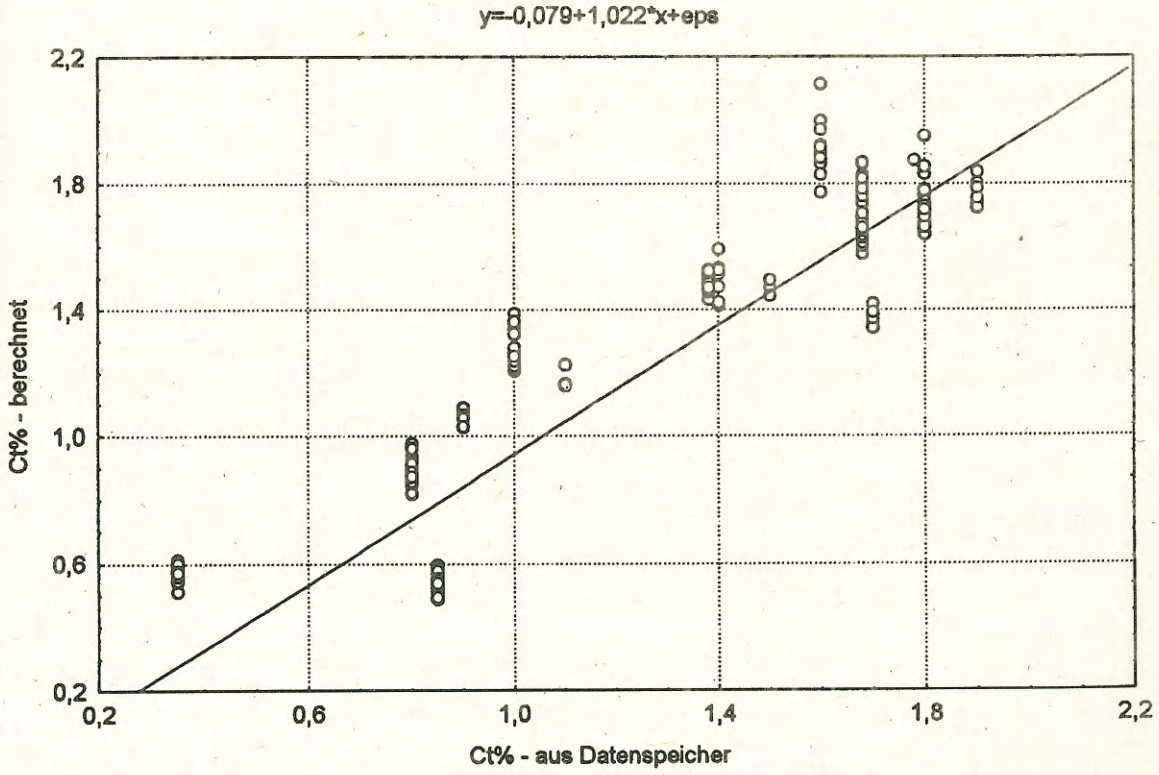


Abbildung 6:Gegenüberstellung von berechneten C_{ORG}- Werten (C_t %=org. Kohlenstoff C_{ORG}) mit Referenzwerten

Zur Validierung erfolgte ein Vergleich von aus diesen C_{UMS} - Werten berechneten C_{ORG} - Werten mit den Referenzwerten für den Kohlenstoffgehalt von Bodenformen, die in der CANDY-Horizontdatei vorgegebenen sind. Die Mengen an inertem Kohlenstoff wurden dabei nach dem von KÖRSCHENS (1980) beschriebenen Verfahren auf der Basis des Feinanteilgehaltes durch Multiplikation mit dem Faktor 0.04 berechnet. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Abbildung 6 dargestellt, dabei zeigt sich eine gute Annäherung der berechneten Werte an die Referenzwerte.

6 Simulationsuntersuchungen zum regionalspezifischen Einfluß der bewirtschaftungsbedingten Stickstoffzufuhr auf die Stickstoffausträge

Ziel der Untersuchungen ist es, anhand von Szenariorechnungen Übersichtsaussagen zur regionalen Differenzierung der Stickstoffausträge für typische Bedingungen Sachsen-Anhalts zu treffen. Im Ergebnis der Szenariorechnungen sollen standortbezogene Parameter zur umweltgerechten Steuerung der Stickstoffzufuhr abgeleitet werden.
Unter einem Szenario wird in diesem Zusammenhang eine bestimmte Kombination von Standort (Boden und klimatische Einordnung), Bewirtschaftung (Fruchtfolge und Düngung) und spezifischen Anfangsbedingungen, die sich aus Informationen zum zurückliegenden Management ableiten lassen, verstanden. Die geographischen Objekte für die Simulationsrechnungen sind hinsichtlich des Standortes die Verschnittflächen aus der Überlagerung der jeweiligen Karten zum Boden und Klima (siehe unter Pkt. 1 und 2). Als geographische Bezugseinheiten der Bewirtschaftung werden die Landkreise in den Grenzen von 1989 gewählt. Für diese Einheiten werden Fruchtfolgen definiert, deren Parameter aus agrarstatistischen Daten abgeleitet wurden.
Als bewirtschaftungsabhängiger Startwert (C_{UMS}- Niveau) für die Simulationsrechnungen wird der „Steady-State" - Zustand angenommen, wozu die zu berechnende Fruchtfolge auch als die bis zum Simulationsbeginn gültige Fruchtfolge betrachtet wird. Für Stickstoff, Wasser und Temperatur im Bodenprofil werden zum Simulationsbeginn Standardannahmen in Abhängigkeit von der Bodenqualität gemacht. Diese Informationen sind relativ unkritisch, da sich die Verhältnisse mit Beginn der Simulation schnell dynamisch entwickeln und die ersten Jahre der simulierten Zeiträume nicht in die Auswertung einbezogen werden müssen.
Als Modellantriebe für das Simulationssystem CANDY dienen der Wetterablauf und die

durchgeführten agrotechnischen Maßnahmen. Zur Untersuchung bestimmter Bewirtschaftungssysteme sind Langzeitsimulationen durchzuführen. Die dazu erforderlichen langjährigen Witterungsabläufe können durch den in das CANDY-System integrierten Wettergenerator erzeugt werden.
Nach welchen Kriterien typische Standortbedingungen ausgewählt und Fruchtfolgen aufgestellt wurden, ist nachfolgend beschrieben.

6.1 Methodisches Vorgehen bei der Auswahl der zu untersuchenden Standorte Sachsen-Anhalts

Durch eine Selektion bestimmter Kombinationen von Boden und Klima soll gewährleistet sein, daß die wesentlichen Standortbedingungen im Gebiet Sachsen-Anhalts in die Simulationsuntersuchungen einbezogen werden.
Eine vollständig flächendeckende Betrachtung war in Folge des begrenzten Zeitrahmens nicht realisierbar und aufgrund des maßstabsbedingten Übersichtscharakters der zu erwartenden Ergebnisse auch nicht erforderlich.
Eingeschränkt durch die aktuelle Verfügbarkeit der Bodendaten und die Anwendbarkeit von CANDY standen ackerbaulich genutzte, nicht grundwasserbeeinflußte Böden im Vordergrund. Das Spektrum der in Frage kommenden Böden wurde weiterhin durch die im Rahmen der Bearbeitung der Bodenübersichtskarte 1:500.000 für CANDY bereits parametrisierten Bodeneinheiten vorgegeben. Dabei lagen für die wichtigsten Böden der Karte, die zwangsläufig durch eine breitere Informationsbasis hinterlegt sind, Parametersätze vor. Die Methodik der Parameterzuweisung wurde ausführlich unter Punkt 1.2. beschrieben.
Um den relativen Anteil der Böden im Land Sachsen-Anhalt bzw. in den jeweiligen Kreisen ermitteln zu können, war die Festlegung einer Bezugsfläche erforderlich. Dazu wurden aus der digitalen Bodenkarte Bergbauflächen, anthropogene Böden (Kippen) sowie Gewässerflächen „ausgeblendet". Durch die anschließende Überlagerung der Bodenkarte mit einer Karte der Waldflächen Sachsen-Anhalts wurden auch diese Flächen aus der Betrachtung herausgelöst. Die verbliebene Fläche von ca. 1,54 Millionen Hektar wurde im Ergebnis als die Basisfläche mit agrarischer Nutzungsmöglichkeit angenommen (=100%). Diese Fläche ist deutlich größer als die von der Agrarstatistik für Sachsen-Anhalt angegebene landwirtschaftliche Nutzfläche (ca.1,3 Mio ha), da in der digitalen Bodenkarte 1:500000 Siedlungs-, Produktions- und Verkehrsflächen nicht lokalisierbar und ausgrenzbar sind.

Auf dieser Basis wurden innerhalb der GIS-Datenbank die relativen Anteile der Bodeneinheiten ermittelt und die berechneten Flächengrößen der Größe nach geordnet. Die Bodeneinheiten mit einem Anteil > 5% an der hier behandelten Agrarfläche (Bezugsfläche) im Gesamtgebiet Sachsen-Anhalts sind in Tabelle 8 zusammengestellt .

Tabelle 8: Vorkommen wichtiger Bodenformen im Gebiet Sachsen-Anhalts auf Basis der Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt 1:500000 (BÜK 500)

Flächenanteil* in %	Bodenform	Flächenanteil in ha
17,9	Lößböden	276701
18,3	Sand/Sandlehmböden	280441
12,8	Auenlehmböden	197030

(* Bezugsfläche = Gesamtfläche BÜK500 ohne anhthrop. Böden ohne Wald ohne Gewässerflächen und ohne Stadtkreise)

Das beschriebene Vorgehen wurde analog auf die einzelnen Landkreise angewandt.
Die Bodeneinheit mit dem größten Flächenanteil im Landkreis wurde für die jeweilige Szenariorechnung herangezogen. Um die Repräsentanz der wesentlichen Kombinationen aus Boden und Wetter zu erreichen, wurde teilweise auch mit einem weiteren wichtigen Profil innerhalb eines Kreises gerechnet.
Bei der Zuordnung eines Wettergenerators zu einem Landkreis wird die klimatische Bezugseinheit zugrundegelegt, die den größten Flächenanteil im Kreis umfaßt. Die zugeordnete Niederschlagshöhe ist eindeutig, da sie als Mittel für den Kreis berechnet wurde (siehe Pkt. 2).

6.2 Methodik zur Aufstellung der Bewirtschaftungsszenarien

Die geprüften Bewirtschaftungsszenarien wurden kreisbezogen (Kreisgrenzen vor 1994) unter Bezugnahme auf die für den Zeitraum 1985-89 berechneten mittleren Anbauverhältnisse (siehe Pkt.4.2). aufgestellt. Für jeden Kreis wurden fünf jeweils 5-feldrige Fruchtfolgen generiert. Auf diese 25 Elemente erfolgte unter Berücksichtigung der praxisüblichen Regeln zur Anbauplanung eine Aufteilung der Fruchtarten in der Weise, daß sie den bekannten Anbauanteilen innerhalb eines Kreises weitestgehend entsprachen. Leguminosen wurden bei der Aufstellung der Szenariofruchtfolgen nicht berücksichtigt, um eine genau definierbare Stickstoffbilanz aufstellen zu können.
Für jede Fruchtart existiert eine Standardtabelle , in der die zeitliche Abfolge der Bewirtschaftung festgelegt ist. Diese Datei (muster.dbf) enthält die Termindaten zu Aussaat,

Ernte, Bodenbearbeitung, mineralischer und organischer Düngung in der Struktur, die zur Erzeugung der Maßnahmedateien im CANDY-System erforderlich ist. Die Terminangaben in der Musterdatei sind hier nicht nach verschiedenen Standortgegebenheiten differenziert, sondern für alle Landkreise Sachsen-Anhalts als gleich angenommen. Bei der Festlegung von Aufgangs- und Ernteterminen waren teilweise Kompromisse erforderlich, um möglichen Terminüberschneidungen im Herbst (z.B. Zuckerrübenernte und Aufgang Wintergetreide) vorzubeugen.
Die Aufeinanderfolge der Fruchtarten in einer Rotation generiert ein Hilfsprogramm, das die intensitätsabhängigen Größen innerhalb der Managementdateien (Ertrag und Düngung) kreisbezogen differenziert. Die Ertragszuweisung erfolgt standortabhängig nach den Schätzerträgen von KINDLER (1992); die mineralischen N-Gaben berechnen sich aus dieser Ertragserwartung unter Berücksichtigung der Zielvorgaben für die organische Düngung in einem Szenario.

6.3 Ableitung von Szenarien mit abgestufter Düngungsintensität

Zur Quantifizierung der Stickstoffausträge für verschiedene Standortverhältnisse anhand von Simulationsrechnungen war es erforderlich, einen Algorithmus zu entwickeln, mit dem unterschiedliche Intensitäten des mineralischen bzw. organischen Stickstoffinputs hinsichtlich der zu erwartenden Stickstoffausträge vergleichend zu untersuchen waren.
Dabei wurde von folgenden Hypothesen ausgegangen:

I) Der Vorrat an mineralischem Stickstoff nach der Ernte (N-Überhang) bildet das Potential für die hauptsächlich im Winterhalbjahr auftretenden N-Austräge in die Umwelt.

II) Die Zeitverzögerung zwischen Applikation einer bestimmten N-Menge und der Pflanzenaufnahme bestimmt das Risiko für einen Austrag in die Umwelt.

Anders als in der praktischen Landwirtschaft lassen sich mit Hilfe von Computersimulationen nahezu beliebige Szenarien untersuchen. Damit besteht auch die Möglichkeit, durch systematische Veränderungen der im Szenario definierten Stickstoffzufuhr, vorgegebene Werte für den N-Überhang anzusteuern. Auf diese Weise kann die Wirkung der Standortbedingungen bei gleichen Vorraussetzungen (nach Hypthese I) untersucht werden. Von besonderem Interesse bei der Untersuchung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme ist die Form, in der

die Stickstoffzufuhr erfolgt (vgl. Hypothese II). Hier kann man zwischen sofort verfügbaren Quellen (Mineralstickstoff), mittelfristig verfügbaren Quellen (organische Dünger) und langfristig verfügbaren Quellen (Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz) unterscheiden. Systemtypische Aussagen sind an den stationären Zustand gebunden, um Verzerrungen durch falsche Anfangsbedingungen auszuschließen. Im stationären Zustand ist die Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz jedoch eng mit dem im Szenario spezifizierten Einsatz organischer Dünger verbunden, so daß nur einer der beiden Werte als Einflußgröße zu untersuchen ist. Um einen eindeutigen Bezug zur N-Bilanz herstellen zu können, wurde der durch organische Dünger eingesetzte Stickstoff im Hinblick auf die dadurch verursachten Stickstoffverluste geprüft. Es wurden für die wichtigsten Kombinationen von Bodenart und Klimatyp Simulationsszenarien mit den Stufen:

O1: 0 kgN/ha (nur mineralische Düngung)
O2: 50 kgN/ha (organische Düngung für ca. 0.5 GV/ha)
O3: 100 kgN/ha (organische Düngung für ca. 1 GV/ha)

aufgestellt.
Für jede Stufe der organischen Düngung wurde die Mineraldüngung im Szenario so bemessen, daß eine insgesamt ausgeglichene N-Bilanz vorlag. Mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus wurde die Höhe der mineralischen N-Düngung so verändert, daß der N-Überhang im Mittel von 40 Jahren den Stufen:

N1: 50 kg/ha
N2: 100 kg/ha
N3: 150 kg/ha
N4: 200 kg/ha

entsprach. Um dem System Gelegenheit zu geben, in den stationären Zustand einzuschwingen, wurde eine Simulationsdauer von 50 Jahren gewählt, ohne die ersten 10 Jahre in die Auswertung einzubeziehen.

6.4 Beschreibung des Optimierungsalgorithmus und der Ergebnisverarbeitung

Ziel der Optimierungsrechnungen war die Ermittlung eines Szenarios für die mineralische N-Düngung, bei dem die gewünschte Stufe des N-Überhangs (N1...N4) bestmöglich angenähert wurde. Prinzipiell ist zu diesem Zweck die Höhe der mineralischen N-Düngung zu verändern. Dies sollte jedoch nicht durch Variation einzelner Düngungsereignisse geschehen, sondern möglichst gleichmäßig auf die gesamte Fruchtfolge verteilt werden. Mit diesem Ziel wurde in das CANDY-System über die Parameterdatei CNDAPARM.DBF ein neuer Parameter mit der Bezeichnung DNG_EFF eingeführt, der zur Ausführzeit des Modells als Multiplikator der Höhe einer mineralischen N-Düngung verwendet wird. Damit läßt sich eine Abbildung verschiedener Intensitäten erreichen, da alle Ereignisse der Mineraldüngung in gleicher Weise neu bewertet werden. Als Kriterium des Intensitätsniveaus bzw. des N-Überhangs diente der Gehalt an mineralischem Stickstoff im Bereich von 0-90 cm. Die für die einzelnen Stufen zutreffenden Werte wurden CANDY als 'Meßwert' für den 1. November eines jeden Simulationsjahres vorgegeben. Im Laufe des Optimierungsprozesses wurde der Wert von DNG_EFF und damit auch die Höhe der Mineraldüngung so verändert, daß im Mittel von 40 Jahren die beste Annäherung an den vorgegebenen Meßwerten erfolgte.

Die Optimierung erfolgt nach der Simplexmethode nach NELDER und MEAD (1965) unter Verwendung des von PRESS et al. (1989) angegebenen Algorithmus, jedoch unter Vorgabe eines Lösungsintervalls. Die praktische Implementierung im Rahmen des CANDY-Systems sieht vor, daß die zu verändernden Parameter in der Datei PARMINT.DBF aufgelistet werden. Diese Liste enthält zusätzlich Angaben zur Quelle des Parameters, dem zu verwendenden Startwert, der Schrittweite für den ersten Suchschritt, sowie einem Intervall, in dem die Lösung gefunden werden muß. Als Erfolgskriterium wird nach Simulationsende die Summe der Abweichungsquadrate zwischen Simulationswert und Vorgabewert berechnet. Die Meßwertdatei der jeweiligen CANDY-Datenbank enthält zu diesem Zweck das Feld DIFF, in dem die Abweichung zwischen Meß- und Simulationswert festgehalten wird.
Im Ergebnis des Suchalgorithmus wurde in den meisten Fällen ein optimaler Parameterwert innerhalb des vorgegebenen Intervalls gefunden. Damit war für die untersuchte Kombination aus Standort, Klima und Bewirtschaftung eine Mineraldüngung gefunden, die dem vorgegebenen N_{MIN}-Herbstwert entspricht. Bei einigen Kombinationen, vor allem bei den Varianten mit hoher organischer Düngung, wurde auch eine Lösung angenommen, bei der

ohne jede Zufuhr an mineralischem Stickstoff der vorgegebene Zielwert für den N_{MIN}-Gehalt im Herbst überschritten wurde.

Bei der praktischen Arbeit mit diesem Verfahren zur Bestimmung von DNG_EFF zeigte sich, daß die geeignete Vorgabe von Startwert und Schrittweite über den Erfolg des Verfahrens entscheiden kann. Zu geringe Schrittweiten bewirken einen verfrühten Abbruch des Verfahrens weil sich die Zielgröße nur geringfügig ändert. Zu große Schrittweiten können in Kombination mit ungünstigen Anfangswerten eine zu schnelle Annäherung an die Intervallgrenzen bewirken. Die besten Erfahrungen wurden mit folgenden Kombinationen erzielt:

Anfangswert = 1

Schrittweite = 0.3

Die mit dem so ermittelten Lösungsszenario berechneten Simulationsergebnisse wurden anschließend weiter ausgewertet. Für jeweils eine Kombination aus Fruchtfolge, Bodenform und Klimatyp entstehen zwölf Datensätze (Mittelwerte aus jeweils 40 Einzeljahren des Lösungsszenarios), die in einer EXCEL-Arbeitsmappe zusammengefaßt wurden. Die Zusammenfassung dieser zwölf Datensätze enthält alle für weitere Auswertungen wichtige Informationen. Ein Beispiel[1] dafür ist in Tabelle 9 zu finden.

Die Ergebnistabelle enthält im Kopf Angaben zum Simulationsszenario. Die einzelnen Teilergebnisse sind so angeordnet, daß sich in den Spalten die Ergebnisse für die drei Stufen der jährlichen organischen Düngung (0, 50 und 100 kg N/ha) befinden und in den Zeilen eine Zuordnung zur Stufe des N-Überhangs nach der Ernte erfolgt. Die Erklärung der einzelnen Teilergebnisse in Tabelle 9 kann aus Tabelle 10 entnommen werden.

Je Standort (Bodenform + Klimatyp) erfolgte die Untersuchung von fünf verschiedenen Fruchtfolgen. Die Kombination dieser Ergebnisse wurde statistisch ausgewertet, um den Zusammenhang zwischen N-Überhang, organischem N-Input und N-Austrag in die Umwelt zu analysieren.

[1] Die vollständige Zusammenstellung aller Ergebnisse liegt bei den Bearbeitern vor und kann bei Bedarf eingesehen werden.

Tabelle 9: Beispiel für einen Ergebnisdatensatz (s. a. Tabelle 10)

Datenbank	_burg		
Fruchtfolge 1 :		ZR - WRo - Kart. - WW - WG	
Wetter	Mag 52	Boden	sB
Snr:	11	6	1
DNG-Ertr	0,00	50,00	100,00
50	0,85	0,83	0,00
100	1,11	1,24	1,48
150	1,36	1,62	2,17
200	1,60	1,99	2,83
N-Ertrag	0,00	50,00	100,00
50	30,44	29,41	18,27
100	60,90	61,24	55,63
150	93,34	90,98	80,54
200	124,80	122,17	106,90
N-Rest	0,00	50,00	100,00
50	8,54	13,27	14,56
100	11,63	16,07	18,02
150	13,66	17,98	19,32
200	15,02	19,34	20,44
Nmin-Input	0,00	50,00	100,00
Ausgangswert	*142,40*	*92,40*	*42,40*
50	121,21	76,70	0,00
100	158,09	114,42	62,61
150	193,80	149,43	92,09
200	228,51	184,08	119,91
N-Input(tot)	0,00	50,00	100,00
50	121,21	126,70	100,00
100	158,09	164,42	162,61
150	193,80	199,43	192,09
200	228,51	234,08	219,91
N-Los(tot)	0,00	50,00	100,00
50	38,98	42,68	32,83
100	72,54	77,32	73,66
150	107,00	108,95	99,85
200	139,83	141,51	127,34
N-Los(%)	0,00	50,00	100,00
50	32,16	33,69	32,83
100	45,88	47,02	45,30
150	55,21	54,63	51,98
200	61,19	60,46	57,91
N-Los/N-Immi	0,00	50,00	100,00
50	0,65	0,71	0,55
100	1,21	1,29	1,23
150	1,78	1,82	1,66
200	2,33	2,36	2,12
Qumi	0,00	50,00	100,00
50	5523,93	11126,95	16639,07
100	5535,07	11141,20	16745,78
150	5539,17	11147,73	16753,49
200	5539,46	11150,17	16756,98
N-Min-Wert	0,00	50,00	100,00
50	49,70	50,70	41,10
100	96,70	97,20	92,30
150	146,00	142,20	129,20
200	193,70	189,50	169,30
NO3KONZ	0,00	50,00	100,00
50	114,68	110,47	68,45
100	229,44	230,01	208,47
150	351,66	341,68	301,79
200	470,19	458,84	400,58
GrundNerbldg	118		

Tabelle 10: Bedeutung der Sektionen in der Ergebnistabelle (s.a. Tab.9)

Bezeichner	Erläuterung
DNG_EFF	Ergebnis der Optimierungsrechnung
N-Leach	mittlere jährliche N-Auswaschung in kg/ha
N-gasf.	mittlere jährliche gasförmige Verluste in kg/ha.
Nmin-Input	Summe des jährlich eingebrachten mineralischen Stickstoffs in kg/ha. Der Wert ergibt sich aus dem Produkt aus DNG_EFF und dem Ausgangswert.
N-Input(tot)	Summe (in kg/ha) aus dem jährlich eingebrachten mineralischen Stickstoff (Nmin-Input) und dem jährlich zugeführten organischen Stickstoff (0, 50 oder 100 kg/ha entsprechend der Spaltenüberschrift)
N-Loss(tot)	mittlerer jährlicher N-Austrag in die Umwelt in kg/ha als Summe aus gasförmigen Verlusten und Auswaschung
N-Loss(%)	prozentualer Anteil des N-Austrages (N-Loss(tot)) an der N-Zufuhr (N-Input(tot))
N-Loss/N-Immi	Verhältnis zwischen N-Austrag und N-Eintrag. Ein Wert unter 1 bedeutet eine Ausnutzung des Stickstoffs aus 'sonstigen Quellen', dessen Wert mit 60 kg/ha veranschlagt wurde.
Cums	Betrag des umsetzbaren Kohlenstoffs in kg/ha als Ergebnis der Simulationsrechnungen. Unterschiede bestehen vor allem zwischen den Stufen unterschiedlicher organischer Düngung. Die Differenzierung infolge unterschiedlicher Mineraldüngung ist sehr gering und auf Variationen der EWR-Mengen infolge Unterschreitung des Zielertrages zurückzuführen.
N-Min-Wert	Mittelwert des Nmin-Gehaltes 0-90 cm am 1.November im Ergebnis der Optimierungsrechnungen (in kg/ha).
NO3KONZ	mittlere Nitrat-Konzentration im Sickerwasser in mg/l
GrwNeubldg.	mittlere jährliche Grundwasserneubildung (für alle 12 Varianten identisch)

6.5 Untersuchung des Einflusses der Datenaggregation auf die Simulationsergebnisse

Bei den bisher beschriebenen Ergebnissen wurden die Bewirtschaftungsinformationen sowie das Klimaelement Niederschlag kreisweise zugewiesen.

Die in der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit verfügbar gewordenen digitalen Daten zu den Verwaltungsgrenzen in Sachsen-Anhalt (Gemeinden) wurden genutzt , um Berechnungen in

höherer Auflösung vorzunehmen . Es wurde exemplarisch untersucht, inwieweit sich die damit verbundene Variabilität der Inputdaten auf einzelne Zustandsgrößen auswirkt und somit ein Informationsgewinn erzielt wird.

Eine höhere Auflösung wurde dabei mit den Eingabegrößen Niederschlag sowie dem Kohlenstoffinput (C_{REP}) vorgenommen. Die gemeindebezogenen Niederschlagsdaten aus dem zugrundegelegten Datenspeicher GEMDAT (vgl.Pkt. 3.2) wurden dazu den digitalen Gemeindeflächen zugeordnet und wie bereits bei der früheren kreisweisen Zusammenfassung in 20mm-Abstufungen klassifiziert. Die Zuordnung von Datenspeicher und digitaler Karte erfolgte anhand einer Übersetzungstabelle mit den alten sowie aktuellen Gemeindenummern und mußte in verschiedenen Fällen manuell korrigiert werden. Die neuberechnete Karte der Niederschlagsgebiete in Gemeindeauflösung ist in Anlage 1 dargestellt.

Die C_{REP} - Anfallmengen wurden auf dem Niveau der ehemaligen Kooperationen berechnet. Durch Auswertung verschiedener DABO-Datenbanken sowie unter Zuhilfenahme einer analogen, für die 2. Hälfte der 80er Jahre gültigen Betriebskarte (Herausgeber MLU Halle, Agrargeographie) wurden die betreffenden Gemeindeflächen zu Kooperationsflächen zusammengefaßt und die wie unter Punkt 4 abgeleiteten C-Inputwerte für die Kooperationen zugeordnet (siehe Karte „Mittlerer jährlicher Anfall....(Gemeindeauflösung) ",Anlage 1). Um das Niveau der biologischen Aktivität (WMZ) sowie des umsetzbaren Kohlenstoffs für den Status 1989 in höherer Auflösung zu ermitteln, wurde zunächst die Niederschlagskarte mit Gemeindeauflösung mit der unveränderten Bodenkarte überlagert, in der die bodenphysikalischen Attribute enthalten sind. Für die entstandenen neuen Patches wurde die biologische Umsatzaktivität (WMZ) berechnet. Durch eine Relation zu den georeferenzierten C-Inputdaten für die Kooperationen wurde schließlich das C_{UMS} - Niveau in höherer räumlicher Auflösung ermittelt.

Anschließend wurden die für Kooperationsflächen berechneten WMZ- und C_{UMS} -Werte mit den dazugehörigen Werten der kreisweisen Berechnung verglichen.

Die in den Abbildung 7 und Abbildung 8 aufgeführten relativen Änderungen zeigen deutlich, daß bewirtschaftungsabhängige Unterschiede zu einer größeren Spannweite der Änderungen führen als die Folgen der Neuzuweisung der Niederschläge. Die Erhebung genauerer Bewirtschaftungsinformationen auf dem Scale eines Landkreises bringt demnach einen höheren Informationsgewinn bei der Bestimmung des Niveaus an umsetzbarem Kohlenstoff als eine genauere Zuweisung des Jahresniederschlages. Diese Aussage ist allerdings auf die untersuchten Tieflandgebiete Sachsen-Anhalts zu beschränken, in denen sich die Unterschiede

der Niederschläge innerhalb eines Landkreises naturraumbedingt in Grenzen halten. In den bisher nicht untersuchten agrarisch genutzten Regionen des Harzes könnte die größere Heterogenität des Niederschlages innerhalb eines Landkreises zu einer stärkeren Differenzierung der Simulationsergebnisse führen.

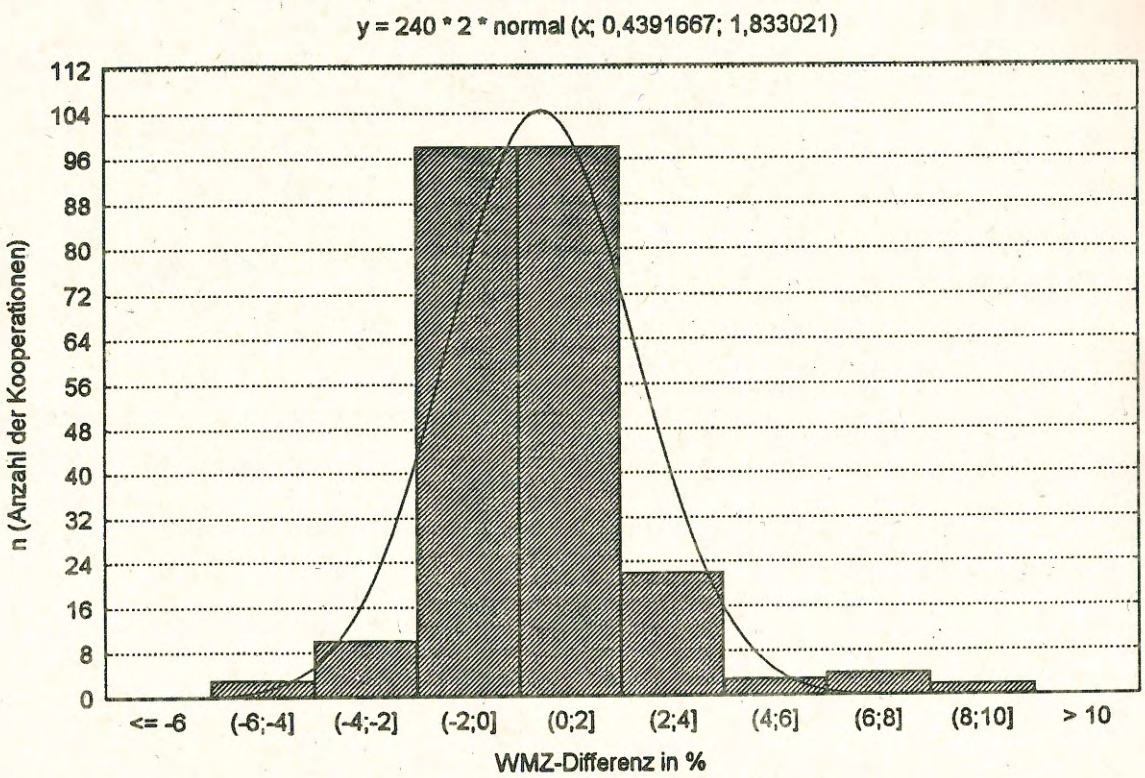


Abbildung 7:Verteilung der prozentualen Änderung der kooperationsbezogenen WMZ-Werte im Vergleich zur kreisweisen Berechnung

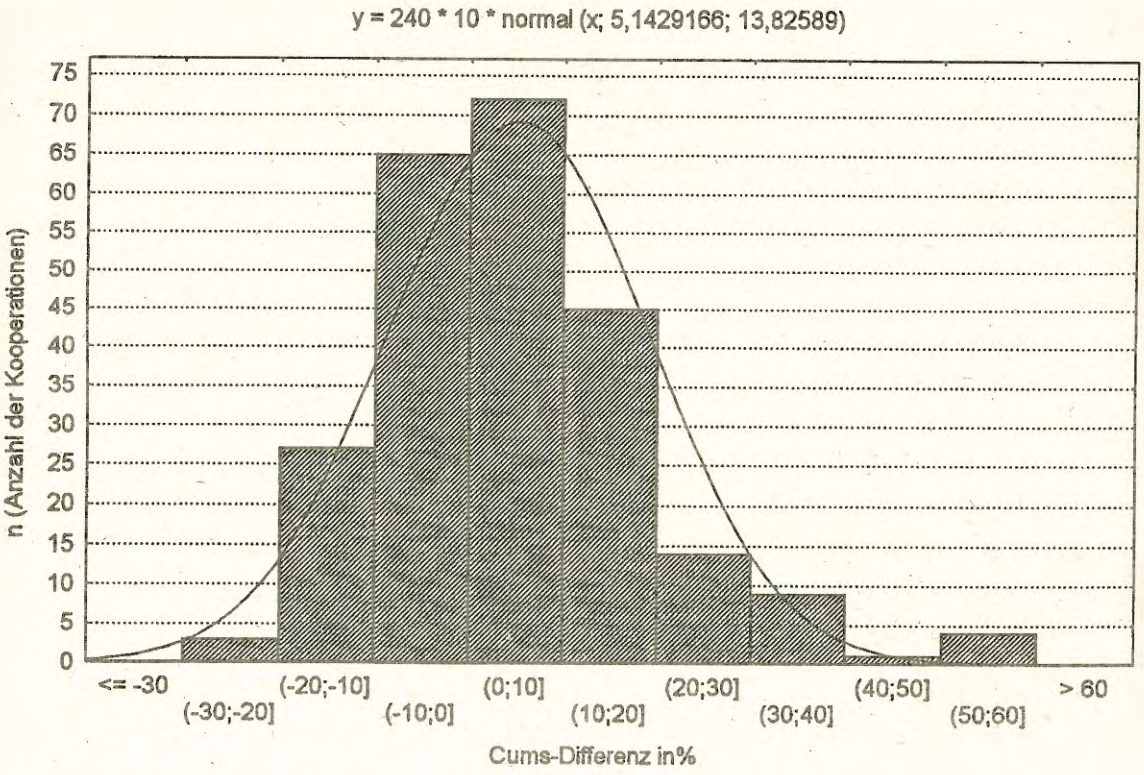


Abbildung 8: Verteilung der prozentualen Änderung der kooperationsbezogenen C_{UMS}-Werte im Vergleich zur kreisweisen Berechnung

7 Ergebnisse

7.1 Regionalisierung von Stickstoffgrenzwerten

Trotz sehr umfangreicher Szenariorechnungen kann nur ein Teil der möglichen Kombinationen aus Boden, Klima und Bewirtschaftung durch direkte Simulation bearbeitet werden. Um genau die Bedingungen zu quantifizieren, bei denen die ökologisch vertretbaren Grenzen errreicht sind, wurde mit Hilfe von Regressionsrechnungen nach einem Metamodell gesucht, das mit ausreichender Sicherheit die gleichen Aussagen liefert wie eine ausführliche Simulation. Der Vorteil des Metamodells besteht in der einfachen Anwendbarkeit, was jedoch mit Einschränkungen bei der Übertragbarkeit auf andere Standortbedingungen erkauft wird.
Die statistische Analyse erfolgte auf der Grundlage des Datenmaterials von 13 Kombinationen aus Boden , Bewirtschaftung und Klima. Das damit abgedeckte Spektrum wird aus den Verteilungen von Grundwasserneubildung, Stickstoffaustrag und umsetzbarer organischer Substanz deutlich (vgl. Abbildung 11-14).

Die Analyse des totalen Stickstoff-Austrags als Summe aus Auswaschung und gasförmigen Verlusten ergab einen engen Zusammenhang mit dem N_{MIN}-Wert am 1.November und der jährlichen Grundwasserbildung. Zwischen diesen beiden Einflußgrößen konnte eine deutliche

Wechselwirkung festgestellt werden. Nach den Ergebnissen der Regressionsanalyse läßt sich der Stickstoffaustrag wie folgt berechnen (vgl. Abbildung 9):

$$N_LOSS := 21.4 - 0.031 * N_MIN + 0.0032 * GWB * N_MIN - 0.12 * GWB \quad (7)$$

$r^2 = 0.96 \quad N=756$

mit :

N_LOSS:	jährlicher Stickstoff-Austrag als Summe aus Auswaschung und gasförmigen Verlusten in kg/ha
N_MIN:	Mineralstickstoff im Boden (0-90cm) am 1.11. in kg/ha
GWB:	jährliche Grundwasserneubildung in mm

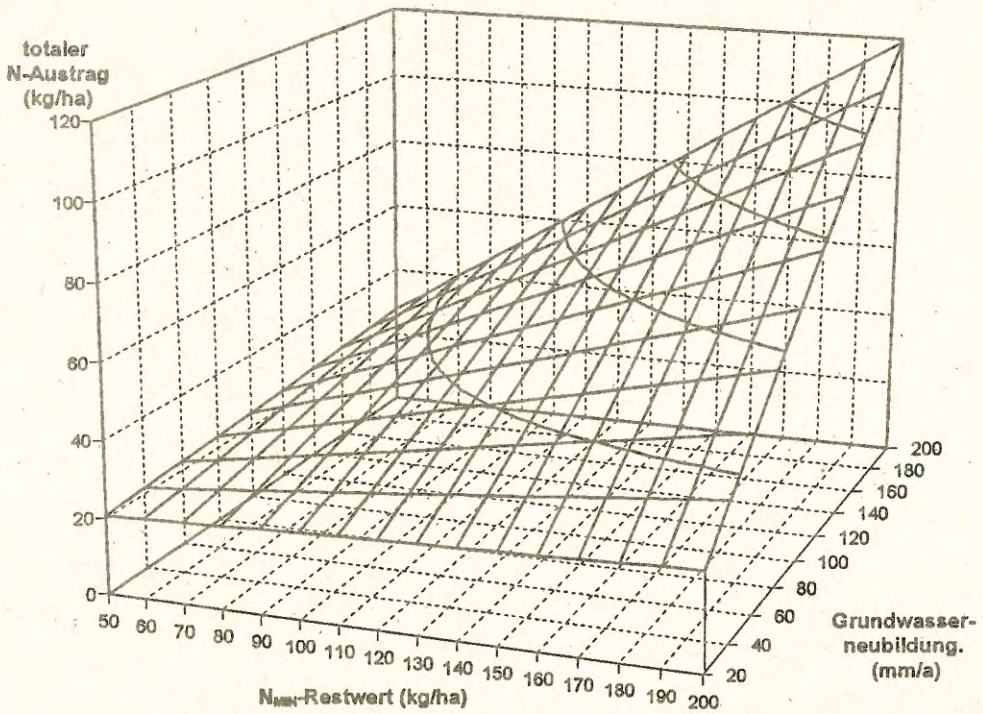


Abbildung 9: N-Austrag in Abhängigkeit von N_{MIN}-Restwert und jährlicher Grundwasserbildung entspr. Gl. 7

Neben dem gesamten N-Austrag ist auch die Nitratkonzentration im Sickerwasser eine wichtige Zielgröße. Die Untersuchungen zeigten hier, daß die Nitratkonzentration im Sickerwasser neben den für den N-Austrag relevanten Größen noch vom Vorrat an umsetzbaren Kohlenstoff abhängt, da durch diese Energiequelle die gasfömigen Verluste als Konkurrenz zur Auswaschung verstärkt werden. Als Grenzwert für die Wasserqualität wird häufig eine NO3-Konzentration von 50 ppm angenommen. Um die Präzision des Metamodells in diesem Zielbereich zu verbessern, wurden nur Varianten berücksichtigt, bei denen eine Nitratkonzentration zwischen 10 und 100 ppm festgestellt wurde. Das Ergebnis lautet (siehe

auch Abbildung 10) :

$$NO3_KONZ=-340.2-0.001*C_UMS+0.14*GWB + 68.6*\ln(N_MIN)+19.9*\ln(GWB) \quad (8)$$

$r^2=0.78$ N=371

mit :

C_UMS:	umsetzbarer Kohlenstoff in der Bodenkrume in kg/ha
N_MIN:	Mineralstickstoff im Boden (0-90cm) am 1.11. in kg/ha
GWB:	jährliche Grundwasserneubildung in mm

Der Standardfehler der Schätzung für die Nitratkonzentration betrug 12.9 ppm.

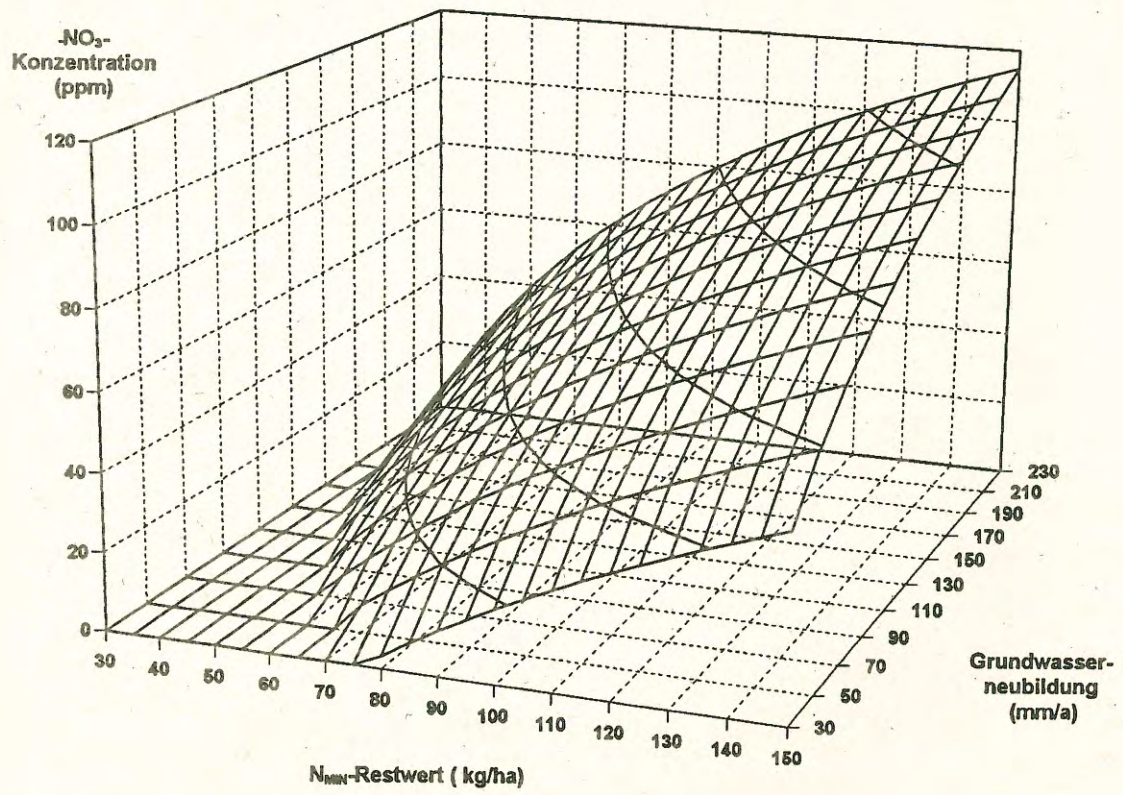


Abbildung 10: Nitratkonzentration im Sickerwasser in Abhängigkeit von N_{MIN}-Restwert und jährlicher Grundwasserneubildung bei einem C_{UMS}-Niveau von 300dt/ha entspr. Gl. 8

Unter Berücksichtigung der oben abgeleiteten Resultate läßt sich ein Grenzwert für den Stickstoffüberhang nach der Ernte berechnen. Dabei müssen verschiedene Forderungen in Übereinstimmung gebracht werden. Zunächst folgt aus dem Prinzip der Nachhaltigkeit, daß die Austräge durch Auswaschung und gasförmige N-Verluste aus dem System nicht größer sein dürfen als die Einträge aus 'sonstigen' Quellen, da die Agrarnutzung des Bodens im gesamten

Ökosystem eine Senkenfunktion erfüllen muß, um die Quellen aus anderen Bereichen (Verkehr, Industrie usw.) zu kompensieren. Hinsichtlich des Schutzgutes Wasser sind zwei weitere Forderungen relevant. Zum einen sind die Qualitätsvorgaben der Trinkwassergewinnung einzuhalten und andererseits besteht hinsichtlich der N-Frachten ein Grenzwert, der sich aus der Gewässereutrophierung herleitet. Von ISERMANN u. ISERMANN (1997) wurde wiederholt darauf hingewiesen, daß eine Einhaltung der Wasserqualität hinsichtlich der NO_3-Konzentration nicht automatisch die Anforderungen an die maximal tolerierbaren N-Frachten erfüllt. Das NAHAL-Konzept (ISERMANN u. ISERMANN, 1996) fordert deshalb eine Begrenzung der N-Fracht auf 22,5 kg/ha. Es ist offensichtlich von der Höhe der Grundwasserneubildungsrate abhängig, welche der beiden Forderungen primär zu erfüllen ist. Bei einer jährlichen Grundwasserneubildung von 200mm und einer Nitratkonzentration von 50 ppm ergibt sich eine N-Fracht von 22,5 kg/ha. In diesem Fall sind die Forderungen hinsichtlich der Wasserqualität und im Hinblick auf die N-Fracht gleichzeitig erfüllt. Für höhere Sickerwassermengen wäre die Begrenzung der N-Fracht das schärfere Kriterium, da bei Nitratkonzentrationen von 50 ppm höhere Frachten als 22,5 kgN/ha auftreten. Umgekehrt ist bei Grundwasserneubildungsraten unterhalb von 200 mm/a die Einhaltung der kritischen NO_3-Konzentration von 50 ppm das schärfere Kriterium, weil in diesem Fall die Frachten automatisch im tolerierbaren Bereich liegen. Da unter den Standortbedingungen in Sachsen-Anhalt vorwiegend Grundwasserneubildungsraten < 200 mm/a auftreten wird im folgenden das Qualitätskriterium benutzt, um die Grenzwertbestimmung durchzuführen.

Aus Sicherheitsgründen wurde die Bedingung für die Nitratkonzentration im Trinkwasser (50 ppm) um den doppelten Standardfehler aus Gl. (8) verschärft. Damit ergibt sich als Ausgangspunkt für die Berechnung eines tolerierbaren N-Überhanges die kritische Nitratkonzentration $NO3_KONZ_{KRIT}$.

$$NO3_KONZ_{KRIT} = 50 \text{ ppm} - 2 * 12.9 \text{ ppm} \approx 24 \text{ ppm} \qquad (9)$$

Der dieser Konzentration entsprechende Grenzwert für den Stickstoffgehalt im Boden nach der Ernte läßt sich aus den Parametern der Regressionsgleichung (8) berechnen. Tabelle 11enthält eine Übersicht über die so ermittelten Grenzwerte für wichtige Böden in Sachsen-Anhalt.

Tabelle 11: Tolerierbare N_{MIN}-Werte im Herbst für wichtige Bodenformen in Sachsen-Anhalt. alle Angaben in kg N/ha)

Bodenform	Niederschlag <500 mm	Niederschlag 500..550 mm	Niederschlag >500 mm
Lößböden	85..140	65..100	50..85
Sand/Sandlehmböden	45..65	40..60	35..50
Auenlehmböden	55..80	50..70	45..65

Es wird deutlich, daß in den Böden mit geringem Sickerwasseranfall eine höhere Toleranz gegenüber Stickstoffüberhängen nach der Ernte besteht. Dieser zunächst unerwartete Effekt ist offensichtlich darauf zurückzuführen, daß auf den besseren Böden eine effektive Verwertung des Stickstoffs in der Fruchtfolge möglich ist. N-Überhänge nach der Ernte werden nicht immer aus dem Wurzelbereich ausgewaschen und stehen damit der Nachfrucht teilweise zur Verfügung. In dem hier verwendeten Verfahren zur Bemessung der Mineraldüngung wurde der Frühjahrs N_{MIN}-Wert in jedem Fall berücksichtigt, so daß keine dauerhaften N-Überschüsse entstanden. Eine Übersicht über vergleichbare Untersuchungen in der Literatur zeigt, daß die erzielten Ergebnisse stark standortabhängig sind und im vorliegenden Fall vor allem durch die geringe Grundwasserneubildung in Sachsen-Anhalt geprägt werden.

In Übereinstimmung mit den hier vorgestellten Ergebnissen kommen VAN DER PLOEG et al. (1995) für die Verhältnisse in Baden-Würtemberg (Grundwasserneubildungsrate 270 mm) zu der Aussage, daß selbst ein N_{MIN}-Restwert von 45 kg/ha aus ökologischer Sicht zu hoch ist. BOUWER et al. (1995) weisen darauf hin, daß die N_{MIN}-Menge im Herbst zwar mit der N-Auswaschung korreliert, jedoch nicht damit identisch ist. Bei den dort beschriebenen hohen Niederschlagsmengen findet man deutlich höhere Werte für den N-Austrag als für den N_{MIN}-Herbstwert. Dies zeigt einmal mehr, daß man die Prozesse nicht zu stark vereinfachen darf und spricht für den hier beschrittenen Lösungsweg. Auch die Untersuchungen von RODDA et al. (1995) bestätigen die hier vorgestellten Ergebnisse der Metamodellierung in ihrer Größenordnung, so daß die hier getroffenen Aussagen weiter erhärtet werden.

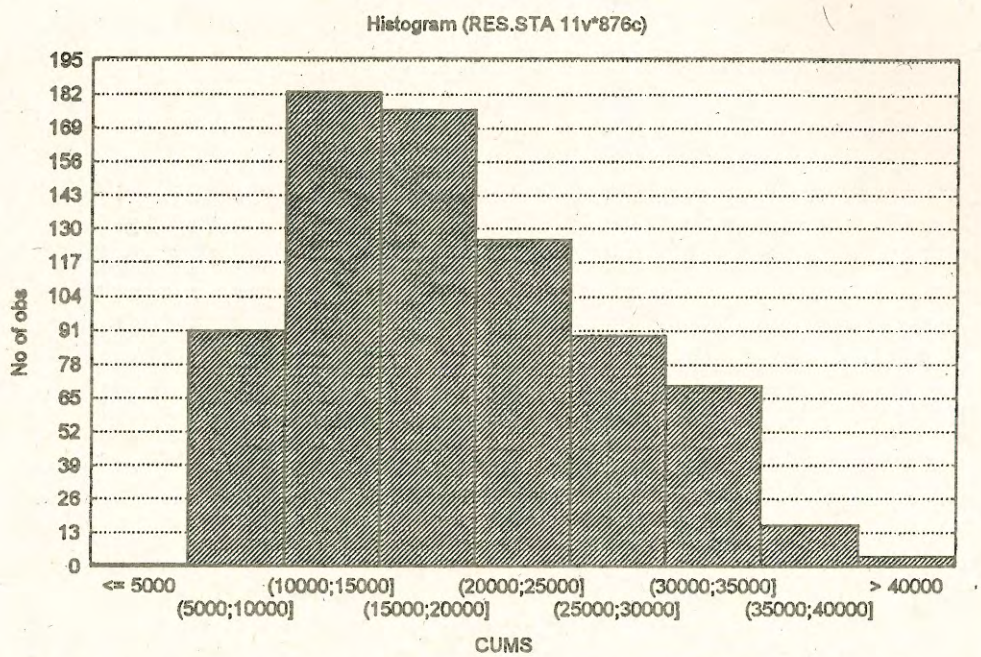


Abbildung 11: Verteilung der Daten für die Regressionsuntersuchungen: CUMS: umsetzbarer Kohlenstoff in kg/ha

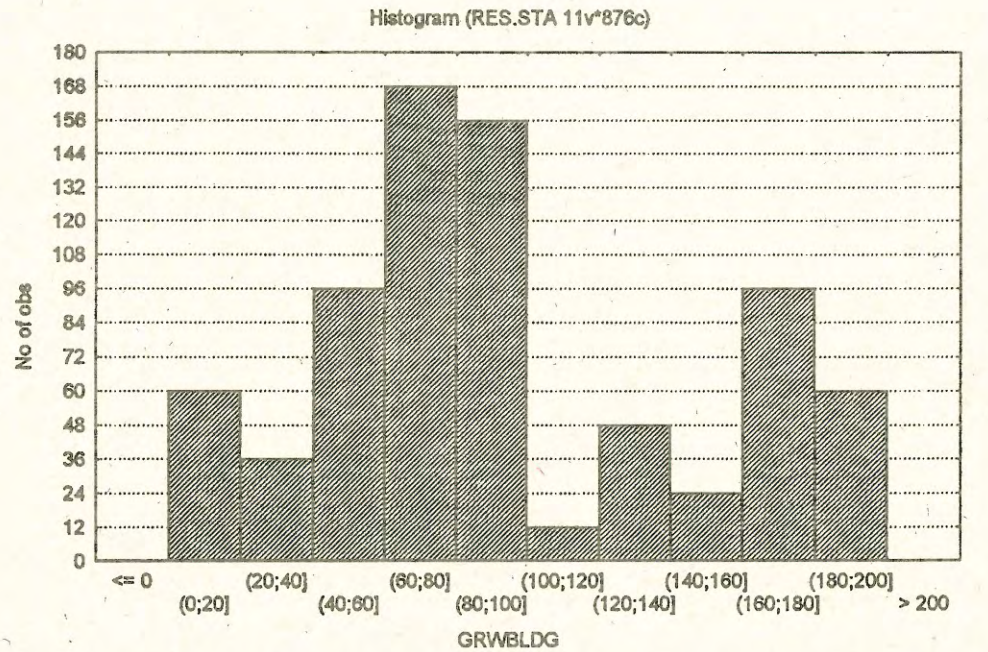


Abbildung 12: Verteilung der Daten für die Regressionsuntersuchungen: GRWBLDG: jährliche Grundwasserbildung in mm

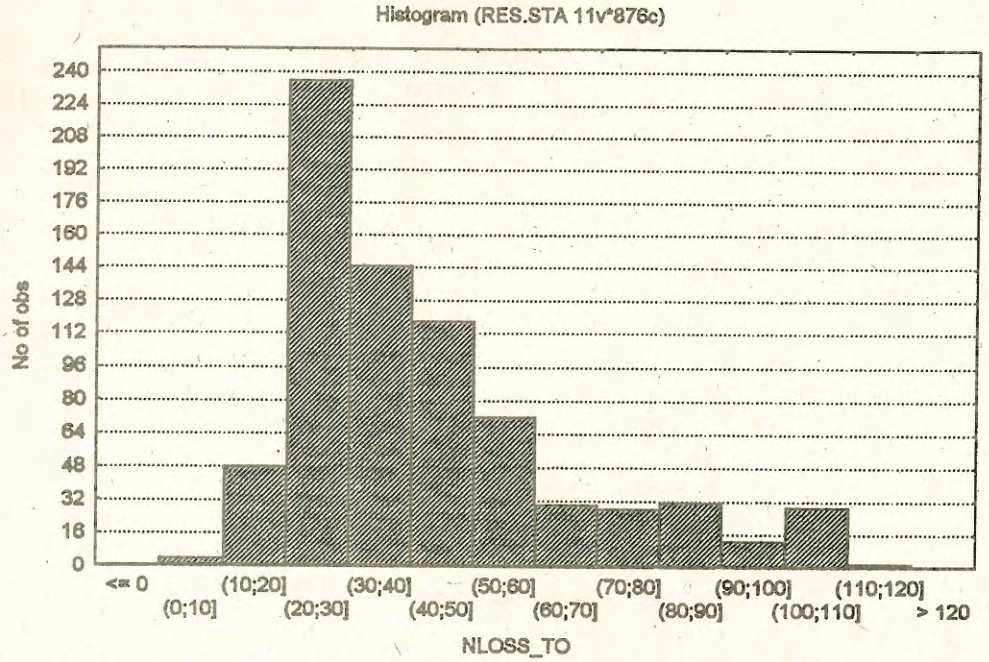


Abbildung 13: Verteilung der Daten für die Regressionsuntersuchungen: NLOSS_TO: totaler N-Austrag (Auswaschung plus gasf. Verluste)

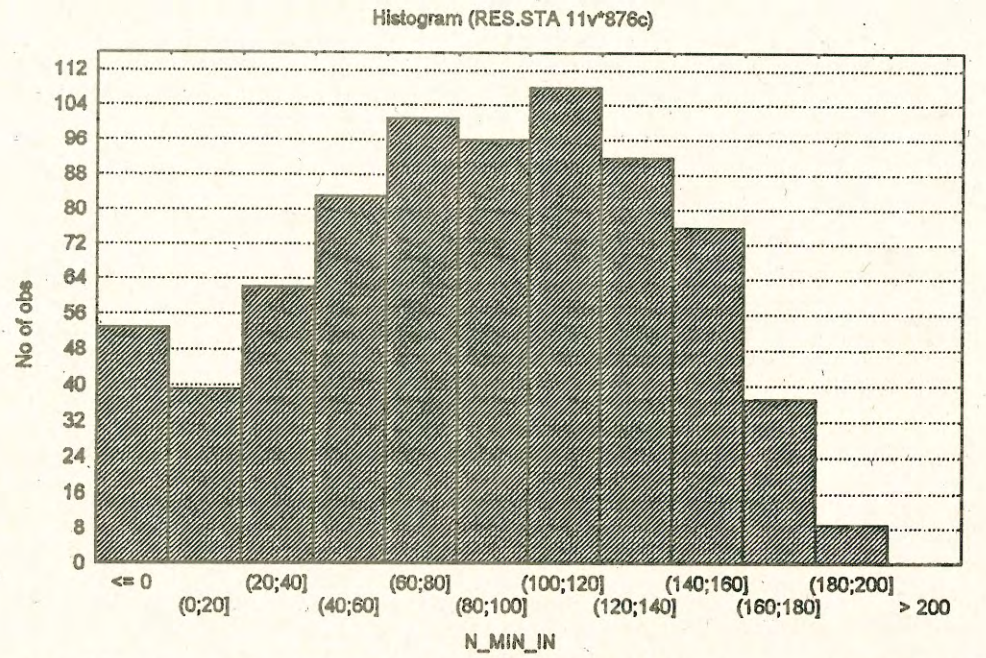


Abbildung 14: Verteilung der Daten für die Regressionsuntersuchungen N_MIN_IN: mittlerer jährlicher Input an mineralischem Stickstoff in kg/ha

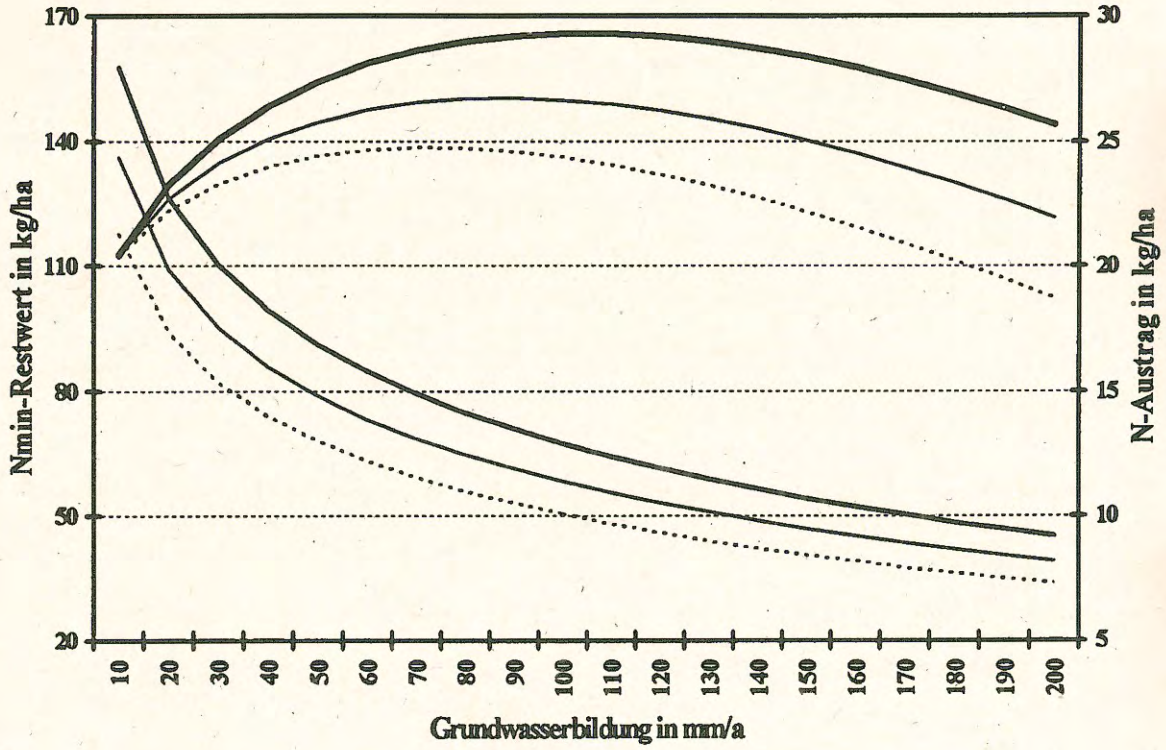


Abbildung 15: Graphische Darstellung der Ergebnisse aus der Regressionsanalyse zur Bestimmung kritischer Werte. N-Austrag obere (konvexe) Kurvenschar; $Nmin_{KRIT}$ untere (konkave) Kurvenschar; Linienstärke entspricht C_{UMS} in der Folge 30 t/ha(fett), 20 t/ha (normal) u. 10 t/ha(Striche)

Für einige typische Versorgungsstufen mit organischer Substanz ist das Ergebnis der Grenzwertberechnung in Abbildung 15 dargestellt. Der dem kritischen N_{MIN}-Wert entsprechende totale Stickstoffaustrag wurde nach der diesbezüglichen Regressionsgleichung berechnet und ist ebenfalls in dieser Abbildung aufgetragen. Es wird deutlich, daß in keinem relevanten Fall ein N-Austrag von 30 kg/ha überschritten wird. Im Mittel der betrachteten Flächen entspricht den oben abgeleiteten Grenzwerten ein spezifischer N-Austrag von rund 25 kg/ha. Damit erzielt die landwirtschaftliche Bodennutzung unter Berücksichtigung des unterstellten N-Eintrags aus 'sonstigen Quellen' von 60 kg/ha einen mittleren Netto-N-Gewinn in Höhe von 35 kg/ha und ist im Vergleich zu anderen Landnutzungsvarianten ohne Biomasseproduktion in der Lage, bei Einhaltung der ermittelten Grenzwerte einen Sanierungsbeitrag zu leisten.

7.2 Bewertung der Ergebnisse

Die mit dem beschriebenen Metamodell berechenbaren N_{MIN}-Grenzwerte bilden ein Kontrollinstrument zur Einschätzung der vom jeweiligen agrarischen Anbausystem ausgehenden, durch den Stickstoffaustrag verursachten Umweltbeeinträchtigungen. Durch die zahlreichen Simulationsrechnungen für wesentliche Standortbedingungen (Kombination von Bodeneigenschaften und Klima) im ackerbaulich genutzten Tiefland Sachsen-Anhalts wurde die Repräsentativität der Ergebnisse gesichert, obwohl ein direkter Ortsbezug nicht vorgenommen wurde.

Mit einer regional angepaßten Anbau- und Ertragstruktur innerhalb der simulierten Fruchtfolgen sowie der Staffelung der Stickstoffaufwendungen (50 bis 200 kg/ha mineralisch bzw. 0 bis 100 kg/ha organisch) innerhalb der aufgestellten Szenarien wurde gewährleistet, daß sich die untersuchten Bewirtschaftungssysteme in plausiblen Größenordnungen bewegen. Das vorgestelle Metamodell benötigt mit der Größe 'mittlerere Grundwasserbildung pro Jahr' lediglich einen standortspezifischen Parameter und ermöglicht so eine relativ einfache Anwendung für die Bewertung von Agrarstandorten. Die Orientierung am Grenzwert von 50 ppm bei der vorgegebenen Nitratkonzentration im Sickerwasser entspricht aktuellen Verhältnissen. Das unter Berücksichtigung der berechneten Fehler ausgewiesene Kriterium 'kritische Nitratkonzentration' von rund 24 ppm stellt sicher, daß die Umweltqualitätsziele mit hoher Sicherheit eingehalten werden.

Die entsprechenden tolerierbaren N_{MIN}- Restmengen im Bodenprofil (0-90cm Tiefe) zum 1. November (siehe Abbildung 15) lassen regionalspezifisch unterschiedlichen Handlungsspielraum. Während im mitteldeutschen Trockengebiet z.B. rund 100 kg/ha problemlos verkraftet werden können, ergeben sich auf leichten Standorten mit mehr als 150 mm mittlerer jährlicher Grundwasserbildung bereits ab herbstlichen N_{MIN}-Restmengen von ca. 40 kg/ha erhöhte Risiken hinsichtlich einer Grenzwertüberschreitung von Nitrat im Grundwasser. Die Risikogrenze wird dabei auf allen Standorten noch in Abhängigkeit vom Niveau des umsetzbaren Kohlenstoffs im Boden modifiziert.

Die Aktualität der Problematik zeigt eine Analyse der Gewässergüteberichte von Sachsen-Anhalt für die Jahre 1993, 1994 und 1995 (Herausgeber: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt). Prinzipiell wird in allen Berichten der Zusammenhang zwischen intensiver agrarischer Nutzung und erhöhten Nitratwerten im Grundwasser dokumentiert (siehe Abbildung 16).

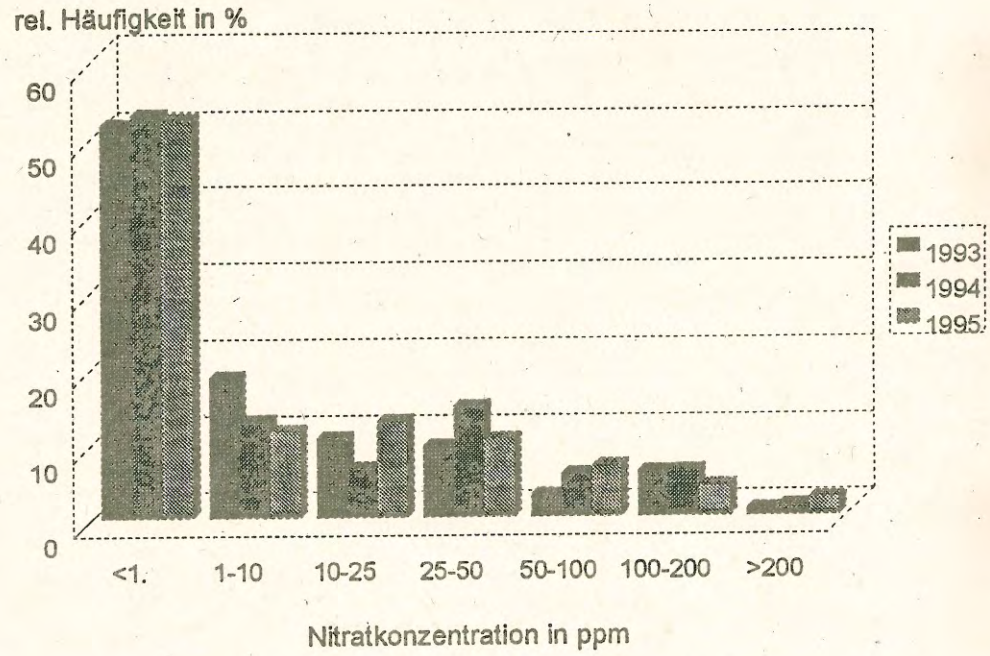


Abbildung 16: Nitratkonzentration an Grundwassermeßstellen des Landesmeßnetztes Sachsen-Anhalt (Quelle: Gewässergüteberichte 1993-1995)

Die Mehrzahl der Meßpegel mit deutlichen Grenzwertüberschreitungen (höchster Meßwert 280 mg/l) unter landwirtschaftlicher Nutzung befinden sich dabei im Gebiet der Moränenlandschaften mit leichteren Böden, wie es nach den abgeleiteten Grenzwerten zu erwarten ist.

Daß die bewirtschaftungsbedingten Belastungsrisiken, soweit sie durch das OS-Niveau bestimmt werden, nicht zwangsläufig durch den vollzogenen Strukturwandel in der Landwirtschaft nach der deutschen Wiedervereinigung reduziert worden sind, zeigt eine Abschätzung der Kohlenstoffinputs durch die Nutzungssysteme vor und nach 1989 für einen Landkreis in mitteldeutschen Schwarzerdegebiet. Dabei wird davon ausgegangen, daß von der kooperationsbezogenen Bewirtschaftung (Pflanzen- und Tierproduktion) ein Strukturwandel in Richtung Marktfruchtbetrieb (Betrieb A) bzw. viehhaltenden Betrieb (Betrieb B) erfolgt sein kann. Die C_{REP}-Anfallmengen für die Bewirtschaftung vor 1990 wurden aus den bereits erfolgten Auswertungen der Betriebsdatenspeicher übernommen, die entsprechenden Daten für aktuelle Bewirtschaftungssysteme auf Basis von Angaben einer Agrarstrukturellen Vorplanung (OTTO et al., 1995) für die Region abgeleitet. Die benutzten Inputdaten und die berechneten C_{REP}-Anfallmengen sowie die entsprechenden C_{UMS}-Niveaus sind nachfolgend (in Abbildung 17) aufgeführt. Für den Zeitraum 1985 bis 1989 findet man einen mittleren

jährlichen Input an reproduktionswirksamen Kohlenstoff von 1076 kg/ha. Bei der Umstellung auf reine Pflanzenproduktion (Marktfruchtbetrieb A) erhöht sich der Input an Kohlenstoff vor allem infolge der direkten Einarbeitung aller Koppelprodukte (Blatt und Stroh) auf 1237 kg C_{REP}/ha pro Jahr. Da im viehhaltenden Betrieb ein großer Teil des Strohs als Einstreu verwendet wird, verringert sich der jährliche Input an reproduktionswirksamen Kohlenstoff auf der Ebene der Pflanzenproduktion bis auf 962 kg/ha. Durch die organischen Dünger aus der Tierproduktion erfolgt ein beträchtlicher Input in Höhe von 345 kg C_{REP}/(ha*a) so daß mit insgesamt 1307 kg/ha eine noch höhere C-Versorgung als bei reinem Marktfruchtanbau besteht. Dies dürfte vor allem ein Ergebnis des Zukaufs von Futtermitteln sein, die sich hier in der Stoffbilanz niederschlagen.

Beide Betriebssysteme zeigen also nach dem Strukturwandel einen Anstieg im Kohlenstoffniveau. Damit ist die Befürchtung einer tendenziellen Abnahme der OS-Versorgung weitgehend unbegründet. Die Ursache für diesen Anstieg ist vor allem im höheren erzielten Ertragsniveau und der überwiegenden Rückführung der Koppelprodukte Stroh und Rübenblatt in den Boden zu sehen. Der Unterschied im C_{UMS}-Niveau zwischen Marktfruchtbetrieb und viehhaltendem Betrieb (mit 0.5 GV/ha) ist relativ gering, da im viehhaltenden Betrieb die Rückführung der organischen Substanz lediglich über den Umweg der Tierhaltung im Stall erfolgt und die dort aufteretenden Verluste an organischer Substanz durch den Futterzukauf mehr als ausgeglichen werden. In Bezug auf die hier behandelte N-Problematik bedeutet dieses Ergebnis, daß sich das Verhältnis von N-Austrägen in Richtung Grundwasser und Atmosphäre eher zu Lasten der Atmosphäre verschiebt, da eine bessere Versorgung der Böden mit umsetzbarer organische Substanz die Bildung gasförmiger N-Austräge fördert.

Abbildung 17 Beispielsrechnung - Strukturwandel (Gebiet Querfurt)

Unterstellte Standortbedingungen:

Bodenform : Löß-Schwarzerde öT (28% Feinanteil)

Klima : Bad Lauchstädt (8.8 °C, 480 mm Niederschlag)

Für die spezifizierten Boden- und Klimabedingungen ergibt sich eine mittlere biologische Aktivität bezogen auf den OS-Umsatz von 29 d WMZ .

Bewirtschaftung in der DDR:

Anfallmengen von C_{REP} und C_{UMS}-Niveau im Kreis Querfurt (1985-89)

	Kooperation	C_{REP}-Pflanze	C_{REP}-Tier	C_{REP}-gesamt (kg/ha)	C_{UMS} (dt/ha)
ALBE	8650	614	502	1116	
BARN	8651	618	467	1085	
ROTH	8652	612	511	1123	
QUER	8653	609	370	979	
	Mittel			1076	25.3

Strukturwandel :

Betrieb A : Marktfruchtbetrieb

Betrieb B : Viehhaltender Betrieb 0.5 GV/ha, 5kg/d*GV Einstreumenge

Vergleich der Anbauverhältnisse auf dem Ackerland

(Datenbasis: Betriebserhebungen im Rahmen der AVP „Querfurter Platte")

Fruchtart	Betrieb A Flächenanteil in %	Betrieb B Flächenanteil in %
Getreide (incl. Körnermais)	56	58
Raps	8	0
Sonnenblumen	10	3
Zuckerrüben, Kartoffeln *	10	10
Silomais, Futterpflanzen **	0	15
Sonst. Fruchtarten ***	3	2
Flächenstillegung ****	13	12

* in Berechnung nur als ZR

** in Berechnung nur Silomais

*** werden nicht berücksichtigt

**** unterstellt wird für die Berechnungen 50% Aktivbegrünung, 50% Raps (als Rohstoff)

Unterstellte Erträge (nach KINDLER):

Fruchtart	Schätzertrag [dt/ha]
Winterweizen	76
Wintergerste	73
Sommergerste	60
Zuckerrüben	510
Silomais	520
Raps	35
Kartoffeln	440
Sonnenblumen *	35

*eigene Annahme

Betrieb A (Marktfrucht):

Org. Substanz	N-Menge in kg/ha	C_{OPS} in kg/ha	C_{REP} in kg/ha	Anteil pro ha	Beitrag zum C_{REP}-Fluß in kg/ha
EWR Winterweizen	20	1000	550	0.35	192
EWR Wintergerste	20	1000	550	0.15	82
EWR Sommergerste	18	1080	594	0.06	36
EWR Zuckerrüben	20	400	140	0.10	14
EWR Raps	67	2010	804	0.16	129
EWR Sonnenblumen	45	1800	900	0.10	90
EWR Gründüngung	28	504	302	0.05	15
Rübenblatt	122	1537	999	0.10	100
Stroh (WW)	38	2280	1026	0.35	359
Stroh (WG)	36	2160	972	0.15	146
Stroh (SG)	30	1800	810	0.06	49
Gründüng. (300 dt/ha)	100	1440	504	0.05	25
					= 1237

C_{UMS} = 29.1 dt/ha

Betrieb B (viehhaltend):

Pflanze:

Org. Substanz	N-Menge in kg/ha	C_{OPS} in kg/ha	C_{REP} in kg/ha	Anteil pro ha	Beitrag zumC_{REP}-Fluß in kg/ha
EWR Winterweizen	20	1000	550	0.35	192
EWR Wintergerste	20	1000	550	0.15	82
EWR Sommergerste	18	1080	594	0.08	48
EWR Zuckerrüben	20	400	140	0.10	14
EWR Silomais	20	900	405	0.15	61
EWR Sonnenblumen	45	1800	900	0.03	27
EWR Gründüngung	28	504	302	0.05	15
Rübenblatt	122	1537	999	0.10	100
Stroh (WW)	38	2280	1026	0.35*0.7	251
Stroh (WG)	36	2160	972	0.15*0.7	102
Stroh (SG)	30	1800	810	0.08*0.7	45
Gründüng. (300 dt/ha)	100	1440	504	0.05	25
					= 962

Tierhaltung:

Org. Substanz	Anfallmenge in dt/GV*a	C_{OPS} in kg/GV*a	C_{REP} in kg/GV*a	Tierbesatz in GV/ha	Beitrag zum C_{REP}-Fluß in kg/ha
Gülle (Rind)	250	656	394	0.3	118
Gülle (Schwein)	200	315	189	0.2	38
Stallmist (Rind)	90	810	486	0.3	146
Stallmist (Schwein)	40	360	216	0.2	43
					= 345

C_{REP} PFLANZE+TIER = 1307 kg/ha

C_{UMS} = 30.8 dt/ha

Tabelle 12: Fruchtfolge und Bedeckungsgrad der Szenarien für das Metamodell der Grundwasserneubildung.

Fruchtfolge	Bedeckungsgrad
HA-SM-SG	71,3 d
KA-SM-SG	93,3 d
ZR-SM-WW	117,0 d
ZR-WW-WG+SZF	137,7 d
Dauergras	228,3 d

HA: Hafer KA: Kartoffel SM: Silomais
SZF: Sommerzwischenfrucht WG: Wintergerste WW: Winterweizen
ZR: Zuckerrübe SG: Sommergerste

Die Grundwasserneubildung ist neben der Versorgung der Böden mit organischer Substanz die entscheidende Einflußgröße für den Nitrataustrag. Die berechneten Zusammenhänge basieren zunächst auf den regionalisierten Bewirtschaftungsstrukturen. Im Einzelfall kann eine davon abweichende Fruchtfolgegestaltung mit einem anderen Bedeckungsgrad des Bodens deutliche Veränderungen der Grundwasserbildung bewirken. Um diese Zusammenhänge besser zu erfassen, wurden Bewirtschaftungsszenarien mit unterschiedlichem Bedeckungsgrad aufgestellt (vgl. Tabelle 12) und für alle relevanten Kombinationen aus Boden und Klima durchgerechnet. Der Bedeckungsgrad wird hier ausgedrückt durch die Anzahl der Tage eines Jahres, in denen ein voll transpirationsfähiger Bestand existiert. Die Zeiten der Jugend- und Abreifephase, wenn nicht die volle Transpirationskapazität des Bestandes besteht werden dabei anteilig angerechnet.

Aus den dabei ermittelten Ergebnissen konnte ein quantitativer Zusammenhang zwischen Niederschlag, Bedeckungsgrad und bodenphysikalischen Parametern abgeleitet werden (vgl. Abbildung 18). Die erwartungsgemäß große Streuung der Werte des Metamodells um die Ideallinie weist auf den ausgeprägten dynamischen Charakter des Prozesses hin, so daß der Anwendung eines dynamischen Modells der Vorzug gegeben werden sollte. Für erste Näherungsrechnungen sind die Parameter des Metamodells jedoch ausreichend.

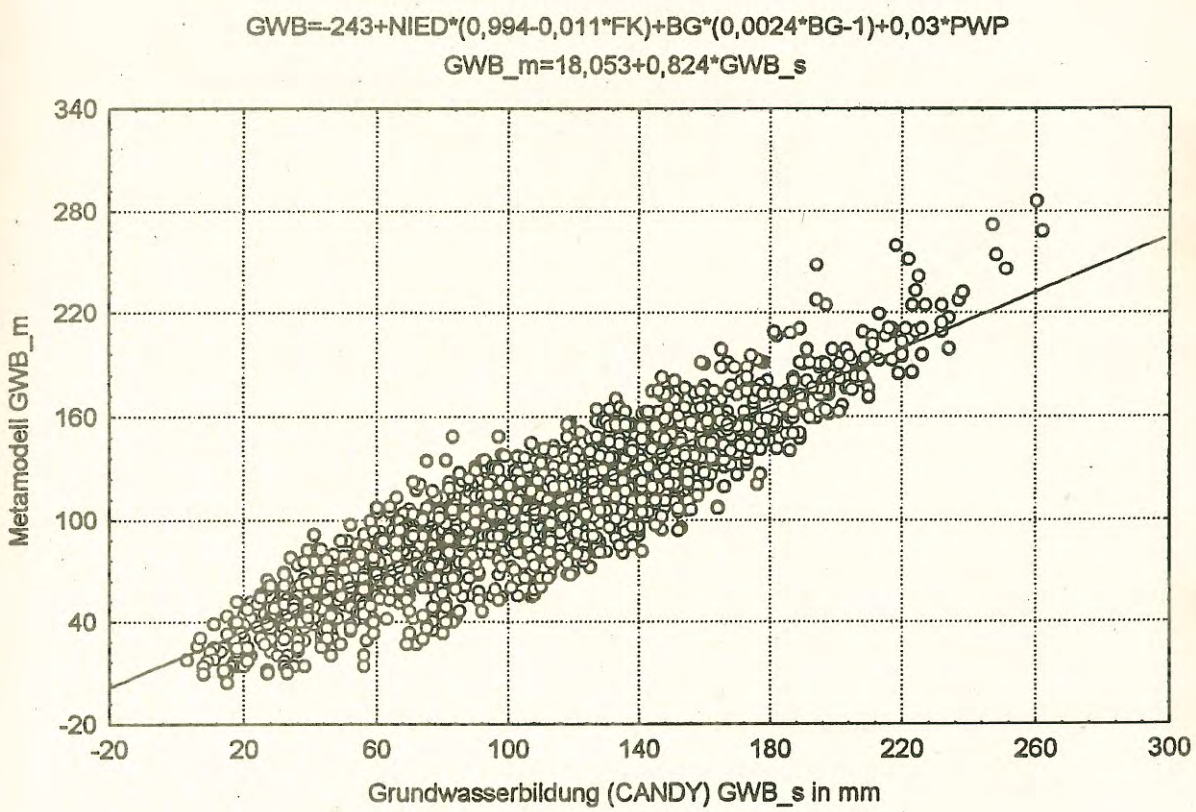


Abbildung 18: Vergleich der von CANDY berechneten Grundwasserbildung mit den Ergebnissen des Metamodells. NIED: Niederschlag in mm, FK: Feldkapazität 0-1m in VOL%, PWP: permanenter Welkepunkt 0-1m in VOL%, BG: Tage pro Jahr mit vollem Bedeckungsgrad des Bodens durch transpirationsfähige Pflanzen

7.3 Schlußfolgerungen für die Praxis

Die folgenden Überlegungen zeigen einen Weg zur Einbeziehung der vorliegenden Ergebnisse bei betrieblichen Entscheidungen zur Höhe der N-Düngung. Ausgangspunkt ist eine einfache Bilanzgleichung unter Einbeziehung der im Frühjahr vorhandenen mineralischen N-Menge N_{MIN}, der N-Nachlieferung aus der organischen Substanz sowie aus 'sonstigen' Quellen N_{NACH}, der Mineraldüngung N_{DNG}, der Aufnahme in die Pflanze N_{PFL}, und den N-Verlusten (bzw. N-Austrägen) während der Vegetationszeit N_{VER} :

$$N_{REST} := N_{MIN} + N_{NACH} + N_{DNG} - N_{PFL} - N_{VER} \qquad (10)$$

Die nach der Ernte im Herbst im Boden verbleibende N_{MIN}-Menge (N_{REST}) erhält man als Ergebnis dieser Bilanz. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß es sich bei der N-Nachlieferung, der Pflanzenaufnahme und den N-Austrägen um stochastische Größen handelt, deren genauer Wert zum Zeitpunkt der Düngungsentscheidung nicht bekannt ist. Um zu erreichen, daß der

Grenzwert N_{REST} nicht überschritten wird, muß man für die N-Nachlieferung den maximalen Wert und für die negativen Bilanzgrößen den minimalen Wert innerhalb der jeweiligen Verteilung ansetzten.

$$N_{REST} := N_{MIN} + MAX(N_{NACH}) + N_{DNG} - MIN(N_{PFL}) - MIN(N_{VER}) \quad (11)$$

Das Minimum der N-Verluste hat den Wert 0. Damit ergibt sich für die maximale N-Düngung folgende Beziehung zur Ermittlung der maximal umweltverträglichen N-Düngung (vgl. Abbildung 19)

$$N_{DNG} := MIN(N_{PFL}) + N_{REST} - N_{MIN} - MAX(N_{NACH}) \quad (12)$$

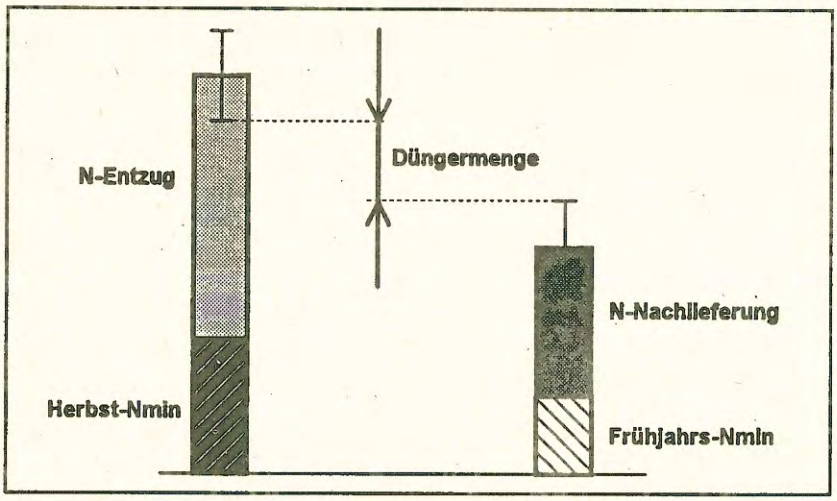


Abbildung 19:Schematische Darstellung zur Ermittlung der maximal umweltverträglichen N-Düngung

Ein praktisches Beispiel soll die vorgeschlagene Methodik weiter erläutern:
Ziel ist die Ermittlung der N-Düngung zu Winterweizen. Als Input werden die minimale Erwartung für den N-Entzug bei optimaler Bestandsführung und die maximale N-Nachlieferung des Standortes vom Frühjahr (1.März) bis zur Reife (angenommener Termin: 15.07.). Zur Ableitung der minimalen Entzugserwartung dienen die Daten des Statischen Versuchs Lauchstädt (KÖRSCHENS, 1994). Dabei wird unterstellt, daß in jedem Jahr eine der 18 Düngungsvarianten die optimale Bewirtschaftung für dieses Jahr repräsentiert. Ermittelt man das Minimum der jährlichen Maxima erhält man 100 kgN/ha als Schätzung für das Entzugsziel. Dieser Wert enthält noch nicht den Stickstoff in Wurzel und Stoppel, für den näherungsweise 15 kgN/ha angesetzt werden. Die Risikoanalyse des CANDY-Systems ermöglicht eine Bestimmung der wetterbedingten Variabilität für die N-Nachlieferung. Für eine

Versuchsparzelle des Meßfeldes mit einer OS-Versorgung von 120 dt/ha C_{UMS} beträgt die maximal zu erwartende N-Nachlieferung aus der OS bei 30 Realisierungen des Wetterablaufs vom 1.3. bis zum 15.7. 40 kg/ha. Für den gleichen Zeitraum beträgt der anteilige N-Eintrag aus 'sonstigen Quellen' 22 kgN/ha. Der im Frühjahr bestimmte N_{MIN}-Wert von 90 kg/ha (bei Schwarzerde) ermöglicht bei dem standortspezifischen Herbst-Grenzwert von 120 kgN/ha eine Mineraldüngung in Höhe von 83kgN/ha (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Beispiel für die Berechnung der umweltverträglichen N-Düngung auf einem Löß-Standort im Mitteldeutschen Trockengebiet im Vergleich zu einem Sandboden

Bilanzkomponte	Schwarzerde			Sandboden		
N-Grenzwert im Herbst	120 kg/ha	⇨	20	35	⇨	35
minimaler N-Entzug	100 kg/ha			100 kg/ha		
N-für Stoppel und Wurzel	15 kg/ha			15 kg/ha		
Pflanzenentzug	115kg/ha	⇨	+115	115kg/ha	⇨	+115
Frühjahrs-N_{MIN}	90 kg/ha	⇨	-90	30	⇨	-30
N-Nachlieferung aus OS	40 kg/ha			40 kg/ha		
N aus sonstigen Quellen	22 kg/ha			22 kg/ha		
N-Nachlieferung total	62 kg/ha	⇨	-62	62 kg/ha	⇨	-62
umweltverträgliche N-Düngung in kgN/ha			83			58

Das Beratungsprogramm der LUFA (SBA2) empfielt in diesem Fall bei Angabe einer Ertragserwartung von 40 dt/ha (entspricht 100 kgN/ha) eine N-Düngung von insgesamt 70 kg/ha geteilt in zwei Gaben von 60 kg/ha und 10 kg/ha. Bei einer Ertragserwartung von 70 dt/ha, die den mittleren Verhältnissen entspricht, erfolgt eine Empfehlung von 80 kgN/ha. Diese Zahlen entsprechen recht gut den oben ausgeführten Berechnungen.

Für einen Sandboden lautet die SBA-Empfehlung jedoch 105 kg/ha (bei 30kg/ha N_{MIN} und 40 dt/ha Ertragserwartung). Dagegen darf nach der oben beschriebenen Methode nicht mehr als 58 kg/ha ausgebracht werden. In diesem Fall wird eine deutliche Differenz zwischen beiden Methoden erkennbar, die sicher darauf zurückzuführen ist, daß die SBA-Empfehlung eher produktionsorientiert erfolgt und keine Informationen zu Umweltrisiken berücksichtigt.

8 Diskussion und Zusammenfassung

Im Verlauf des Projektes sind wesentliche Informationen zu Boden, Klima und zurückliegender Bewirtschaftung für agrarisch genutzte Gebiete Sachsen-Anhalts erarbeitet worden. Die dabei betrachtete territoriale Auflösung im kleinmaßstäbigen Bereich ermöglicht Aussagen mit Übersichtscharakter. Die angewandten Methoden sind aber ohne weiteres auf Betrachtungen in höherer Auflösung übertragbar. Die Grenzen werden zwangsläufig durch die Maßstäbe und Aggregierungen in den zugrundegelegten Karteninformationen gesetzt.
In diesem Sinne wurden auch die betriebsweise vorhandenen Bewirtschaftungsdaten über die zurückliegende Nutzung für die Einheit Landkreis gemittelt, was natürlich eine gewisse Nivellierung von möglichen Extremstandorten (sehr hoher Anfall organischer Substanzen) bedingt hat. Durch die Anbindung an ein Geographisches Informationssystem können die verschiedenen Informationsebenen in räumlichen Zusammenhang gebracht werden und Auswertungen in Form von thematischen Karten realisiert werden.

Die Untersuchungen zum Einfluß der Datenaggregation ergaben, daß die kreisbezogenen Mittelwerte auch für eine Auflösung auf Gemeindeniveau zutreffen. Im letzteren Fall erhält man jedoch bessere Aussagen zur räumlichen Heterogenität. Weiterführende Arbeiten erfordern in jedem Fall Erhebungen von Landnutzungsdaten mit möglichst großer regionaler Differenzierung. Dabei kann durch die Fortschritte der Fernerkundung ein Beitrag zur Identifikation der Anbauverhältnisse erwartet werden. Im Hinblick auf das Intensitätsniveau sind spezifische Informationen vom Landwirt erforderlich.

Die für das Simulationsmodell CANDY erforderlichen Bodenparameter konnten entsprechend der Verfügbarkeit von beschreibenden Informationsquellen zu den auf der hinterlegten Bodenkarte ausgewiesenen Bodenformengesellschaften für einen großen Flächenanteil Sachsen-Anhalts abgeleitet werden. Grundlage hierfür bildet die „Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt " im Maßstab 1:500000, die vom Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt in digitaler Form zur Verfügung gestellt wurde.
Bei der Einteilung von klimatischen Bezugseinheiten wurden Naturräume des Landschaftsprogrammes für Sachsen-Anhalt (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt) zugrundegelegt und durch Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienstes, Außenstelle Halle, eine Zuordnung von repräsentativen Wetterstationen vorgenommen.

Das in höherer territorialer Differenzierung betrachtete Klimaelement Niederschlag wurde als separate Informationsebene behandelt und klassifiziert. Die Verwendung von Kreismittelwerten für den Niederschlag stellt dabei aber nur eine Übergangslösung dar. Angestrebt wird eine an Naturräumen orientierte Grenzziehung. Die Klassifizierung der gemeindebezogenen Niederschläge bedeutet einen ersten Schritt in diese Richtung.

Es ist bekannt, daß die N-Austräge in die Umwelt entscheidend vom Versorgungsniveau des Bodens mit organischer Substanz bestimmt werden. Bei der Ermittlung dieses standort- und bewirtschaftungsabhängigen Niveaus konnte ein aus Dauerversuchen abgeleitetes Schätzverfahren gut auf das Gesamtgebiet Sachsen-Anhalts angewandt werden. Die dabei erzielten Ergebnisse machen deutlich, daß im Vergleich zur Differenzierung in den C_{org}-Gehalten eine nur geringe Variabilität der umsetzbaren Komponente auftritt.

Zur Ableitung der Nitratgrenzwerte wurde auf eine Szenario-Technologie zurückgegriffen. Die Simulation der aufgestellten Szenarien bildete die Grundlage für die Ableitung von Metamodellen, mit deren Hilfe die Grenzwerte für den N_{MIN}-Gehalt im Herbst abgeschätzt wurden. Die gewählte Vorgehensweise stellt eine weitgehende Unabhängigkeit von einer speziellen Bewirtschaftungsvariante sicher. Dennoch tragen die Ergebnisse zunächst vorläufigen Charakter. Weitere Untersuchungen müssen folgen, um die abgeleiteten Ergebnisse weiter zu überprüfen. Unabhängig davon stehen die Aussagen in einem plausiblen Zusammenhang mit Angaben zur aktuellen Belastungssituation des Grundwassers mit Nitrat. Die berechneten Nitratgrenzwerte stellen sicher, daß sowohl die Güte des Grundwassers den Kriterien entspricht als auch die Stofffrachten den kritischen Bereich nicht überschreiten. Bildet man einen Mittelwert über die gesamte berücksichtigte Fläche (31.345.821 kg N auf 1.25309 Mio ha), so kann man bei Einhaltung der oben ausgewiesenen Grenzwerte einen N-Austrag in Höhe von 25 kg/ha erwarten. Demgegenüber steht ein Eintrag in Höhe von 60 kgN/ha aus 'sonstigen Quellen'. Insgesamt werden also unter diesen Bedingungen 35 kgN/ha aus der Umwelt in den landwirtschaftlichen Stoffkreislauf integriert, so daß die Senkenfunktion der Agrarlandschaft erfüllt wird.

Erste Wege zur Einbeziehung der Ergebnisse in praktische Entscheidungen wurden aufgezeigt. Diese Methoden sind künftig weiter zu qualifizieren und auf andere Maßstabsebenen zu übertragen. Wesentliche Steigerungen der Aussagequalität kann von einer Integration der

nächsten Generation von Komplexmodellen Atmosphäre-Pflanze-Boden erwartet werden. Erste Ergebnisse dazu liegen vor (MÜHLE et al. 1996) und lassen das Potential derartiger Systeme erkennen.

9 Literatur

ABELKADER,F.H.(1969): Zur Kenntnis und Systematik der Böden der DDR. 2. Mitteilung: Bodenformen in den Auengebieten. Albrecht-Thaer-Archiv,13, 129-149

ALTERMANN,M.; MAUTSCHKE.J. (1972): Zur Kenntnis und Verbreitung der Böden der Umgebung von Halle. Arch.Acker- Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin,16,871-886

ALTERMANN,M.,SCHRÖDER,H.(1992): Zur Kennzeichnung der Schwarzerden aus Löß in Sachsen-Anhalt. Kühn-Archiv 86, Hamburg und Berlin, 9-20

ALTERMANN,M.(1993): Gliederung und Lithologie pleistozäner Lagen im Gebiet Sachsen-Anhalts. Mitteilungn. Dtsch. Bodenkundl.Gesellsch., 72, 819-824

ALTERMANN,M.(1995): Exkursionsführer zur DBG-Jahrestagung in Halle. Mitteilungn. Dtsch. Bodenkundl.Gesellsch., 76

AUTORENKOLLEKTIV (1987): Modell und Parameter der Umsetzung der organischen Substanz, der N-Speicherung und Freisetzung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der organischen Ausgangsstoffe, den Standortfaktoren und dem Ertrag. F/E-Bericht G4 03/87, Akad.der Landw. der DDR, FZB Müncheberg

AUTORENKOLLEKTIV (1989): Modell und Parameter des Einflusses der Wurzelmassenentwicklung auf die C- und N-Dynamik des Bodens. F/E-Bericht G4 04/89, Akad.der Landw. der DDR, FZB Müncheberg

AUTORENKOLLEKTIV (1990): Modell der Stickstoffdynamik für die computergestützte Boden-und Bestandesführung, einschließlich Parameter der N-Freisetzung aus organischen Düngern und der organischen Bodensubstanz. F/E-Bericht A4 03/90, Akad.der Landw. der DDR, FZB Müncheberg

BIERMANN ,S. (1995): Flächendeckende, räumlich differenzierte Untersuchung von Stickstoffflüssen für das Gebiet der neuen Bundesländer, Diss. , Halle

BOUWER,W., GÄTH, S., FREDE, H.-G.(1995): Konzepte zur Quantifizierung der Nitratauswaschung auf Standorten mit großem Verlagerungsrisiko- ein kritischer Vergleich. Mitt. d. Deutsch. Bodenk. Ges. Vol 76, S. 1243-1246

CHRISTOVA,W.(1994) : Simulationsversuche zur Ermittlung der Stickstoffverluste für Düngungsregime von Fruchtarten und Fruchtfolgen unter verschiedenen Standortbedingungen in Abhängigkeit von wichtigen Einflußgrößen.Diss., Halle

CRONEWITZ,E.; DÖRTER,K.; LIEBEROTH,I.; PRETZSCHEL,M. (1974): Standortkundliche Beurteilung der wichtigsten Auenböden der DDR als Grundlage für acker- und pflanzenbauliche sowie meliorative Maßnahmen. Arch.Acker- Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin,18,121-133

CRONEWITZ,E.; LIEBEROTH,I. (1987): Differenzierung des Humusgehaltes landwirtschaftlich genutzter Standorte mit Hilfe von DABO-PRODAT.Arch.Acker-Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin,31,589-596

FRANKO, U., ZEIßLER, A (1992): Einführung eines Computersimulationsmodells zur Prognose des Stickstoffbedarfs und zur Überwachung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden. Abschlußbericht zum Förderprojekt des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung, FKZ: 156A1219. (unveröffentlicht).

FRANKO, U., OELSCHLÄGEL, B.; SCHENK, S. (1995): Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen. Abschlußbericht zum BMFT-Projekt 01LK9106/2. UFZ-Bericht 3/1995, Leipzig.

FRANKO, U., OELSCHLÄGEL, B. (1995): Einfluß von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. Arch. Acker- Pfl.Boden., Vol.39 , S.155-163

FRANKO, U. (1996): Modelling approaches of soil organic matter turnover within the CANDY System. p. 247-254. In: D.S. Powlson, P. Smith and J.U. Smith (eds.) Evaluation of Soil organic matter models using existing long-term datasets. Springer, Berlin Heidelberg

GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (SCHRÖDER,KNAUF,KAINZ, 1993): Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt 1:500.000

ISERMANN, K. , ISERMANN, R.(1996): Nachhaltige Nutzung der Hydrosphäre hinsichtlich der anthropogenen Belastung mit den Nährstoffen C,N,P und S vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Landnutzung in den Ländern der Europäischen Union(EU). In: Wasser: Nachhaltige Gewinnung und Verwendung eines lebenswichtigen Rohstoffes: Hrsg.: Fischer, W., Karger,C.R. und Wendland, F.: Konferenz des Forschungszentrums Jülich, Band 16/1996, S89-116

ISERMANN, K. , ISERMANN, R.(1997): Nachhaltiger Gewässerschutz als Teilkonzept nachhaltiger Land(wirt)schaft aus der Sicht des Nährstoffhaushalts. Wasserwirtschaft Vol. 87, S.86-91

KINDLER,R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. Verlag Pflug und Feder. St.Augustin

KLIMANEK, E.-M.(1988): Qualität und Umsetzungsverhalten von Ernte - und Wurzelrückständen landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. Diss. B (Habil.) AdL FZB Müncheberg, 177 S.

KÖRSCHENS,M. (1988): Einfluß stark differenzierter C_t- und N_t- Gehalte auf bodenphysikalische Eigenschaften. -In: Tag.Ber. d. AdL der DDR.-269, Berlin. 185-191

KÖRSCHENS,M. (1980) : Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz.FZB Müncheberg, Diss. B

KÖRSCHENS, M., STEGEMANN, K., PFEFFERKORN, A.,WEISE, M., MÜLLER, A. (1994): Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren. Teubner,Leipzig

KUNDLER,P. (1989): Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit. Berlin, 67-96

LANDESAMT FÜR STATISTIK SACHSEN-ANHALT (1993) : Statistisches Jahrbuch 1993.Halle, 119-122

LIEBEROTH,I.; ADLER,G.; SCHMIDT,I.H. (1977): Die Nutzung der Gemeindedatei des Datenspeichers Boden in der Landwirtschaft.- In: Arch.Acker- Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin , 687-697

LIEBEROTH,I. (1982) : Bodenkunde. Berlin, 140 ff.

MORGENSTERN, H. (1990): Aus Standortunterlagen ableitbare Substratverhältnisse der Böden der DDR als eine Grundlage für die Bestimmung des Feinanteils der Ackerkrume und des krumennahen Unterbodens.- In: Arch.Acker- Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin , 232-242

MÜHLE, H., CLAUS, S., (1996): Reaktionsverhalten von agrarischen Ökosystemen homogener Areale. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart-Leipzig

NELDER, J.A.; MEAD,R. (1965): Computer Journal.7. p.308

OELSCHLÄGEL, B. (1992): Zur Anwendung eines Wettergenerators bei der Modellierung von Bodenprozessen. In: Tag. Ber. zum Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik. Leipzig, S.131-140

OTTO,R. ; DIEMANN,R. (1995): Agrarstrukturelle Vorplanung „Querfurter Platte".- Landgesellschaft Sachsen-Anhalt.-Bernburg

PRESS, W.H.; FLANNERY,B.P.; TEUKOLSKY,S.A.; VETTERLING,W.T. (1989): Numerical recipes in Pascal. 1.Numerical Analysis. Applications of computer systems. Cambridge University Press

RODDA,H.J.E., SCHOLEFIELD, D., WEBB, B.W., WALLING, D.E.(1995): Management model for predicting nitrate leaching from grassland catchments in the United Kingdom: 1. Model development. Hydrological Sciences, Vol 40, S.433-451

SCHUMANN,A. (1995): Persönl. Mitteilung 12/95

STATISTISCHES BUNDESAMT: Sonderreihe mit Beiträgen für das Gebiet der ehemaligen DDR. Heft 8. Ausgewählte Zahlen zur Agrarwirtschaft 1949-89.

STROHBACH,B. und SCHMIDT,R. (1982): Zur Gliederung der Lößstandorte im Rahmen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung der DDR.- In: Arch.Acker-Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin , 279

THIERE,J.; MORGENSTERN,H. (1975): Ergebnisse vergleichender morphologischer und bodenphysikalischer Untersuchungen von Böden in Staugleygesellschaften auf Moränen-, Löß- und Bergsubstraten. Arch.Acker- Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin,19,325-335

van der PLOEG, R.R, MACHULLA, G., RINGE,H., MEINS, C.(19995): Herbstliche Nmin-Grenzwerte als Funktion von Bodenbeschaffenheit, Klima und Bodennutzung: Modellüberlegungen. Z.Pflanzenernähr.Bodenk. Vol. 158 S. 435-443

VETTERLEIN,E.; EBERT,J.(1989): Beziehungen zwischen Tongehalt und Feinanteil in Böden aus Löß und Sandlöß.-In: Arch.Acker- Pflanzenbau Bodenkd.- Berlin , S.279-287

VETTERLEIN, E. (1989) : Bodenphysikalische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen. In:KOEPKE,V.(1989): Bodenwasserregulierung ,AdL der DDR. Müncheberg, 116 ff.

10 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1:INFORMATIONSBASIS ZUR MODELLSPEZIFISCHEN ABLEITUNG VON BODENPARAMETERN 9

TABELLE 2: ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN DES WETTERGENERATORS/ MITTLERE JAHRESWERTE VON LUFTTEMPERATUR, NIEDERSCHLAG UND STRAHLUNG FÜR KLIMASTATIONEN IN SACHSEN-ANHALT 12

TABELLE 3: PARAMETER AUS DEM CANDY - SYSTEM ZUR BERECHNUNG DES REPRODUKTIONSWIRKSAMEN KOHLENSTOFFINPUTS DURCH DIE ERNTE- UND WURZELRÜCKSTÄNDE DER ANGEBAUTEN PFLANZENBESTÄNDE 15

TABELLE 4: ZUORDNUNG VON FRUCHTARTEN DES DATENSPEICHERS ZUR CANDY-PFLANZENDATEI 16

TABELLE 5:PARAMETER AUS DEM CANDY-SYSTEM ZUR BERECHNUNG DES REPRODUKTIONSWIRKSAMEN KOHLENSTOFFINPUTS ÜBER ORGANISCHE DÜNGER 16

TABELLE 6:STICKSTOFFANFALL AUS STALLMIST UND GÜLLE JE KREIS IN SACHSEN-ANHALT (BEZOGEN AUF JAHRE 1985-89) 18

TABELLE 7:ERGEBNISSE AUS DER REGRESSIONSANALYSE ZUM TREND DER ERTRÄGE UND DES STICKSTOFFANFALLS AUS ORGANISCHEN DÜNGERN UND DARAUS ABGELEITET KORREKTURFAKTOREN (ALLE ERGEBNISSE BEI α=5% 20

TABELLE 8: VORKOMMEN WICHTIGER BODENFORMEN IM GEBIET SACHSEN-ANHALTS AUF BASIS DER ÜBERSICHTSKARTE DER BÖDEN VON SACHSEN-ANHALT 1:500000 (BÜK 500) 24

TABELLE 9: BEISPIEL FÜR EINEN ERGEBNISDATENSATZ (S. A. TABELLE 10) 29

TABELLE 10: BEDEUTUNG DER SEKTIONEN IN DER ERGEBNISTABELLE (S.A. TAB.9) 30

TABELLE 11: TOLERIERBARE N_{MIN}-WERTE IM HERBST FÜR WICHTIGE BODENFORMEN IN SACHSEN-ANHALT. ALLE ANGABEN IN KG N/HA) 37

TABELLE 12: FRUCHTFOLGE UND BEDECKUNGSGRAD DER SZENARIEN FÜR DAS METAMODELL DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG. 46

TABELLE 13: BEISPIEL FÜR DIE BERECHNUNG DER UMWELTVERTRÄGLICHEN N-DÜNGUNG AUF EINEM LÖß-STANDORT IM MITTELDEUTSCHEN TROCKENGEBIET IM VERGLEICH ZU EINEM SANDBODEN 49

11 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1:JAHRESMITTELTEMPERATUR FÜR VERSCHIEDENE STATIONEN SACHSEN-ANHALTS (WETTERGENERATOR) 12

ABBILDUNG 2: MITTLERE JAHRESNIEDERSCHLAGSSUMME FÜR VERSCHIEDENE STATIONEN SACHSEN-ANHALTS (WETTERGENERATOR) 13

ABBILDUNG 3: JAHRESMITTELWERTE DER GLOBALSTRAHLUNG (TAG) FÜR VERSCHIEDENE STATIONEN SACHSEN- ANHALTS (WETTERGENERATOR) 13

ABBILDUNG 4: BERECHNUNG DES C_{REP}-ANFALLES AUS ANGABEN ZU ANBAUVERHÄLTNISSEN UND TIERBESATZ 14

ABBILDUNG 5: ERTRAGSENTWICKLUNG BEI WINTERWEIZEN 20

ABBILDUNG 6:GEGENÜBERSTELLUNG VON BERECHNETEN C_{ORG}- WERTEN (C_T %=ORG. KOHLENSTOFF C_{ORG}) MIT REFERENZWERTEN 21

ABBILDUNG 7:VERTEILUNG DER PROZENTUALEN ÄNDERUNG DER KOOPERATIONSBEZOGENEN WMZ-WERTE IM VERGLEICH ZUR KREISWEISEN BERECHNUNG 32

ABBILDUNG 8: VERTEILUNG DER PROZENTUALEN ÄNDERUNG DER KOOPERATIONSBEZOGENEN C_{UMS}-WERTE IM VERGLEICH ZUR KREISWEISEN BERECHNUNG 33

ABBILDUNG 9: N-AUSTRAG IN ABHÄNGIGKEIT VON N_{MIN}-RESTWERT UND JÄHRLICHER GRUNDWASSERBILDUNG ENTSPR. GL. 7 34

ABBILDUNG 10: NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER IN ABHÄNGIGKEIT VON N_{MIN}-RESTWERT UND JÄHRLICHER GRUNDWASSERNEUBILDUNG BEI EINEM C_{UMS}-NIVEAU VON 300DT/HA ENTSPR. GL. 8 35

ABBILDUNG 11: VERTEILUNG DER DATEN FÜR DIE REGRESSIONSUNTERSUCHUNGEN: CUMS: UMSETZBARER KOHLENSTOFF IN KG/HA 38

ABBILDUNG 12: VERTEILUNG DER DATEN FÜR DIE REGRESSIONSUNTERSUCHUNGEN: GRWBLDG: JÄHRLICHE GRUNDWASSERBILDUNG IN MM 38

ABBILDUNG 13: VERTEILUNG DER DATEN FÜR DIE REGRESSIONSUNTERSUCHUNGEN: NLOSS_TO: TOTALER N-AUSTRAG (AUSWASCHUNG PLUS GASF. VERLUSTE) 39

ABBILDUNG 14: VERTEILUNG DER DATEN FÜR DIE REGRESSIONSUNTERSUCHUNGEN N_MIN_IN: MITTLERER JÄHRLICHER INPUT AN MINERALISCHEM STICKSTOFF IN KG/HA 39

ABBILDUNG 15: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DER REGRESSIONSANALYSE ZUR BESTIMMUNG KRITISCHER WERTE. N-AUSTRAG OBERE (KONVEXE) KURVENSCHAR; $NMIN_{KRIT}$ UNTERE (KONKAVE) KURVENSCHAR; LINIENSTÄRKE ENTSPRICHT C_{UMS} IN DER FOLGE 30 T/HA(FETT), 20 T/HA (NORMAL) U. 10 T/HA(STRICHE) 40

ABBILDUNG 16: NITRATKONZENTRATION AN GRUNDWASSERMEßSTELLEN DES LANDESMEßNETZTES SACHSEN-ANHALT (QUELLE: GEWÄSSERGÜTEBERICHTE 1993-1995)42

ABBILDUNG 17 BEISPIELSRECHNUNG - STRUKTURWANDEL (GEBIET QUERFURT) 44

ABBILDUNG 18: VERGLEICH DER VON CANDY BERECHNETEN GRUNDWASSERBILDUNG MIT DEN ERGEBNISSEN DES METAMODELLS. NIED: NIEDERSCHLAG IN MM, FK: FELDKAPAZITÄT 0-1M IN VOL%, PWP: PERMANENTER WELKEPUNKT 0-1M IN VOL%, BG: TAGE PRO JAHR MIT VOLLEM BEDECKUNGSGRAD DES BODENS DURCH TRANSPIRATIONSFÄHIGE PFLANZEN 47

ABBILDUNG 19:SCHEMATISCHE DARSTELLUNG ZUR ERMITTLUNG DER MAXIMAL UMWELTVERTRÄGLICHEN N-DÜNGUNG 48

12 Abkürzungen und Formeln

- A — Abschlämmbare Teilchen = Ton+Feinschluff+ 0.35...0.41*Mittelschluff MORGENSTERN,1990)
- ARC/INFO — Geographischen Informationssystems
- BÜK — Bodenübersichtskarte
- C — Kohlenstoff
- CANDY — Simulationssystem (CArbon and Nitrogen DYnamics)
- C_{ORG} — Gehalt an organischen Kohlenstoff im Boden
- CNDAPARM — Parameterdatei
- CNR — Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
- C_{PFL} — Reproduktionswirksamer Kohlenstoff
- C_{REP} — Kohlenstoffreproduktion
- C_{UMS} — umsetzbarer Kohlenstoff
- DABO-GEMDAT — gemeindebezogenen Datenspeicher
- DAWIP — Datenspeicher Witterung Pflanzenproduktion (DDR)
- DNG_EFF — Ergebnis der Optimierungsrechnung
- DWD — Deutscher Wetterdienst
- ERT — Ertrag in dt/ha
- η — Synthesekoeffizient
- EWR — Ernte und Wurzelrückstände
- F_{EWR} — Faktor für ertragsabhängigen Zuschlag durch Ernte- und Wurzelrückstände
- F_K — Feldkapazität (Vol%)
- GAR — Gardelegen
- GLOB — Globalstrahlung in J/cm^2
- GSH — Klimaeinheit Gardelegen-Seehausen (zusammengesetzter Datensatz)
- GIS — Geographisches Informationssystem
- GrwNeubldg. — mittlere jährliche Grundwasserneubildung (für alle 12 Varianten identisch)
- GV — Großvieheinheit
- GWB — jährliche Grundwasserbildung in mm
- LAU — Bad Lauchstädt

- K_{EWR} konstante N-Menge der Ernte- und Wurzelrückstände, ertragsunabhängig
- LTEM Lufttemperatur in °C
- Mittelwert M Mittelwert
- MMK Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung
- N Stickstoff
- N_{Entz} oberirdischer Stickstoffentzug
- N-gasf. mittlere jährliche gasförmige Verluste in kg/ha.
- N_Gehalt Stickstoffgehalt
- N-MIN Mineralstickstoff im Boden (0-90cm)
- Nmin-Input Summe des jährlich eingebrachten mineralischen Stickstoffs in kg/ha. Der Wert ergibt sich aus dem Produkt aus DNG_EFF und dem Ausgangswert.
- N-Input(tot) Summe (in kg/ha) aus dem jährlich eingebrachten mineralischen Stickstoff (Nmin-Input) und dem jährlich zugeführten organischen Stickstoff (0, 50 oder 100 kg/ha entsprechend der Spaltenüberschrift)
- N-Leach mittlere jährliche N-Auswaschung in kg/ha
- N-Loss jährlicher Stickstoffaustrag als Summe aus Auswaschung und gasförmigen Velusten in kg/ha
- N-Loss(%) prozentualer Anteil des N-Austrages (N-Loss(tot)) an der N-Zufuhr (N-Input(tot))
- N-Loss(tot) mittlerer jährlicher N-Austrag in die Umwelt in kg/ha als Summe aus gasförmigen Verlusten und Auswaschung
- N-Loss/N-Immi Verhältnis zwischen N-Austrag und N-Eintrag. Ein Wert unter 1 bedeutet eine Ausnutzung des Stickstoffs aus 'sonstigen Quellen', dessen Wert mit 60 kg/ha veranschlagt wurde.
- N-Min-Wert Mittelwert des Nmin-Gehaltes 0-90 cm am 1.November im Ergebnis der Optimierungsrechnungen (in kg/ha).
- NO3KONZ mittlere Nitrat-Konzentration im Sickerwasser in mg/l
- $NO3_KONZ_{Krit}$ kritische Nitrat-Konzentration im Sickerwasser in mg/l
- OS organische Substanz im Boden, berechnet aus C_{ORG}*1,724

- NIED Niederschlag in mm
- PWP Permanenter Welkepunkt (M%)
- WMZ Wirksame Mineralisierungszeit in d

13 Verzeichnis der Anlagen

1 Thematische Karten für das Gebiet Sachsen-Anhalt

- Datengrundlage
- Kartenverzeichnis
- Karten

2 Bodendaten

- Profilbeschreibung der verwendeten Bodeneinheiten
- Parameter für die einzelnen Horizonte

3 Klimadaten

- Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für verschiedene Klimastationen in Sachsen-Anhalt (Ergebnisse der Berechnungen des Wettergenerators)
- Vergleich der monatlichen Verteilung von Lufttemperatur und Niederschlag (Meßwerte und Berechnungen) für 3 Klimastationen in Sachsen-Anhalt

4 Bewirtschaftungsdaten

- Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989
- C_{REP} - Werte für die Kreise Sachsen-Anhalts (Mittelwerte 1986 - 1989)
- Fruchtartenbezogene Standarddaten für Bewirtschaftungsszenarien

5 Methodenbeschreibung

- Dokumentation der Berechnungsalgorithmen für die Aufstellung der Szenarien
- Optimierungsverfahren zur Anpassung der herbstlichen N_{MIN}-Werte
- Ableitung der Parameter für die Wettergeneratoren

Anlage 1

Thematische Karten für das Gebiet Sachsen-Anhalt

- Datengrundlage
- Kartenverzeichnis
- Karten

Datengrundlagen:

Boden:

Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt : „Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt“1:500000 SCHRÖDER,KNAUF,KAINZ (1993)

(grundwasserbestimmte sowie anthropogene Böden wurden bisher nicht behandelt)

Klima:

Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten des Landes Sachsen-Anhalt (Landesamt für Umweltschutz Halle,1995): Zusammenfassung klimatischer Bezugseinheiten durch SCHUMANN (Deutscher Wetterdienst, Außenstelle Halle)

Langjährige Witterungsmeßreihen für Stationen in Sachsen-Anhalt (Quellen: Deutscher Wetterdienst, Datenspeicher DAWIP, eigene Erfassungen)

Jahresmittelwerte des Niederschlages für Gemeinden (Datenspeicher GEMDAT)

(das Gebiet des Harzes wurde bisher nicht behandelt)

Bewirtschaftung:

Datenspeicher Betriebswirtschaft (DDR)

Aggregierte Daten von BIERMANN (1995)

Administrative Einheiten:

Digitale Verwaltungsgrenzen Sachsen-Anhalt 1:100.000 (Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt , Stand 11/95)

Kartenverzeichnis

Bodeneigenschaften:

- Mittlerer Feinanteilgehalt des Bodens (0-30 cm) Sachsen-Anhalt
- Mittlere Feldkapazität des Bodens (0-1 m Tiefe) Sachsen-Anhalt

Klima:

- Klimatische Bezugseinheiten in Sachsen-Anhalt
- Niederschlagsgebiete in Sachsen-Anhalt
- Niederschlagsgebiete in Sachsen-Anhalt (Gemeindeauflösung)

Wasserhaushalt:

- Mittlere jährliche Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlicher Nutzung Sachsen-Anhalt

Umsatzbedingungen im Boden:

- Mittlere biologische Umsatzaktivität im Boden für ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete Sachsen-Anhalts
- Mittlere biologische Umsatzaktivität im Boden für ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete Sachsen-Anhalts (Gemeindeauflösung)

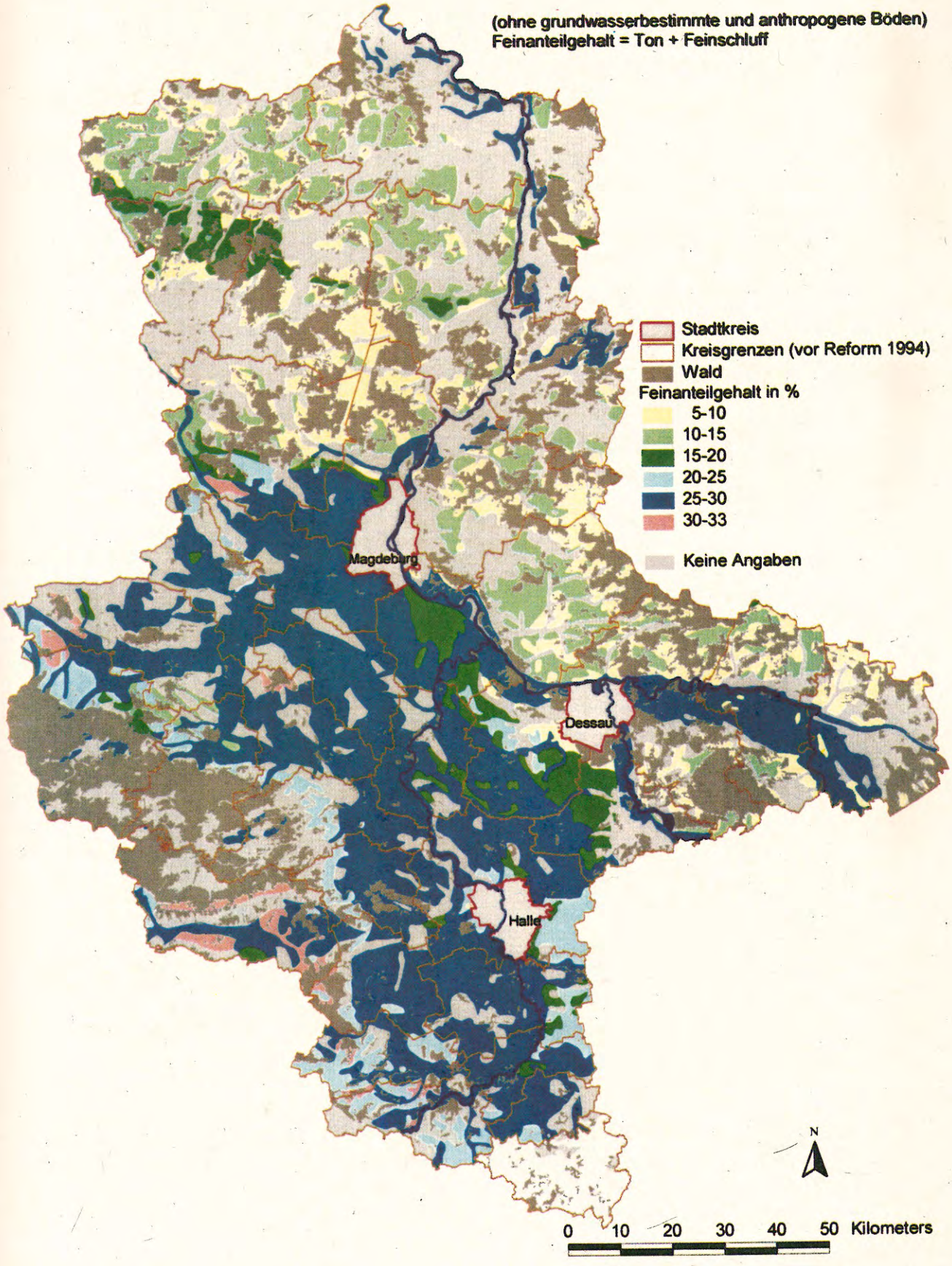
Kohlenstoffhaushalt:

- Mittlerer jährlicher Anfall reproduktionswirksamen Kohlenstoffs aus Agrarproduktion im Gebiet Sachsen-Anhalts
- Mittlerer jährlicher Anfall reproduktionswirksamen Kohlenstoffs aus Agrarproduktion im Gebiet Sachsen-Anhalts (Gemeindeauflösung)
- Umsetzbarer Kohlenstoff in 0-30cm Bodentiefe (ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete Sachsen-Anhalts)

Stickstoff:

- Mittlere jährliche N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz - Sachsen-Anhalts
- Nmin- Grenzwerte für landw. Standorte in Sachsen- Anhalt nach Regression: f(Cums,GW-Bildung)

Mittlerer Feinanteilgehalt des Bodens (0-30 cm)
Sachsen-Anhalt

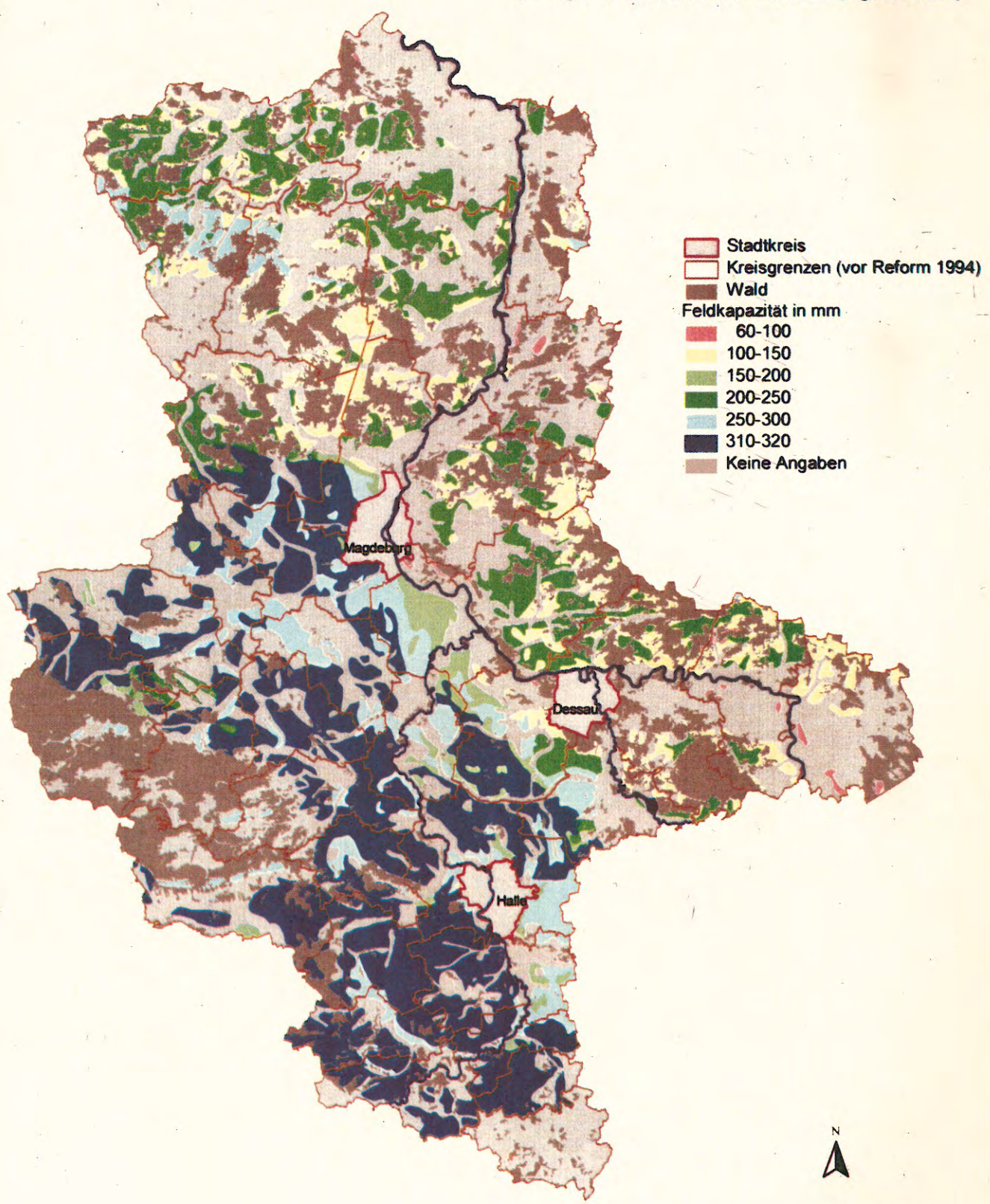


Datengrundlage:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)

UFZ
Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,12/96

Mittlere Feldkapazität des Bodens (0-1m Tiefe)
Sachsen-Anhalt

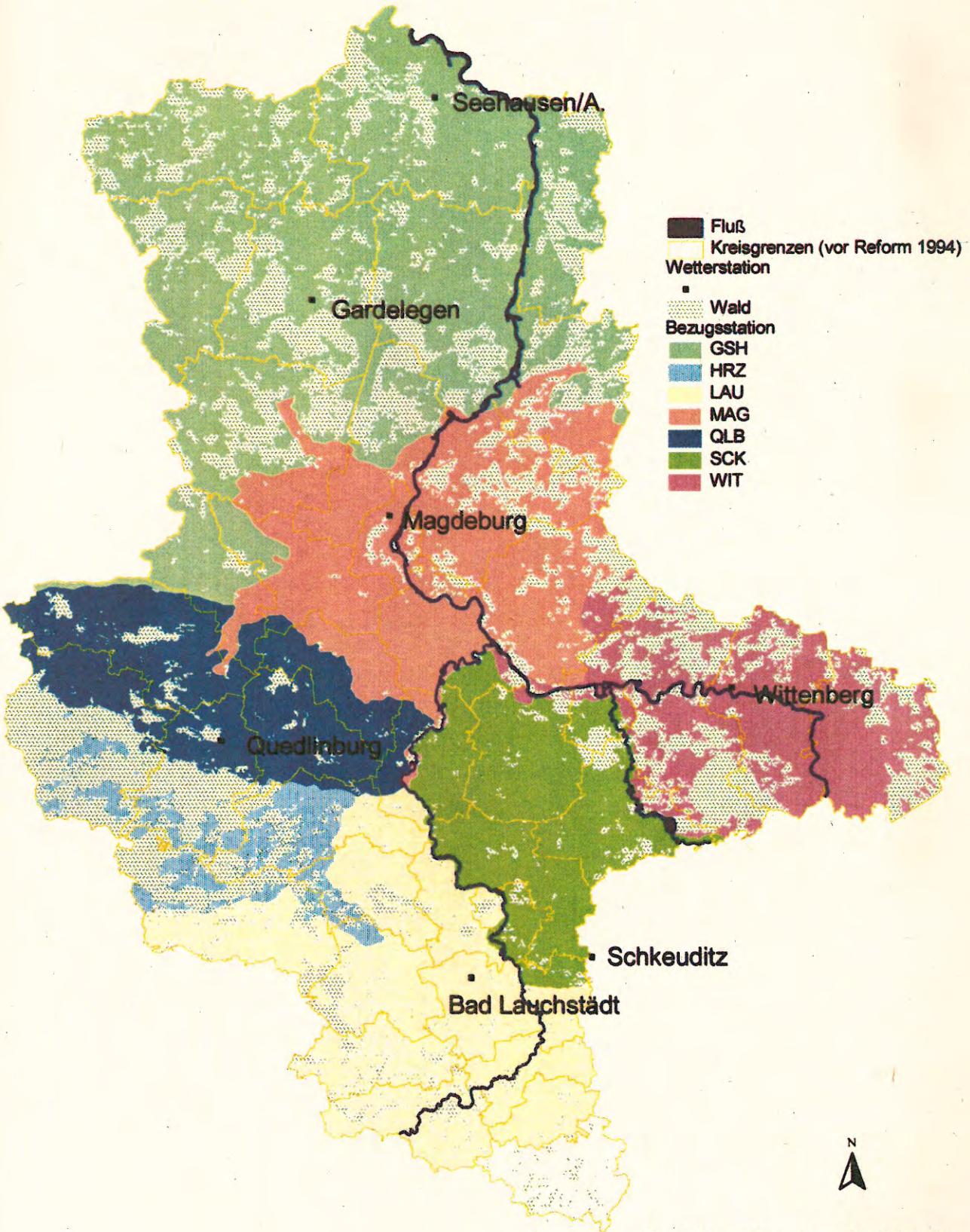
(ohne grundwasserbestimmte und anthropogene Böden)



Datengrundlage:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Boden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schroder,Knauf,Kainz,1993)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,12/96

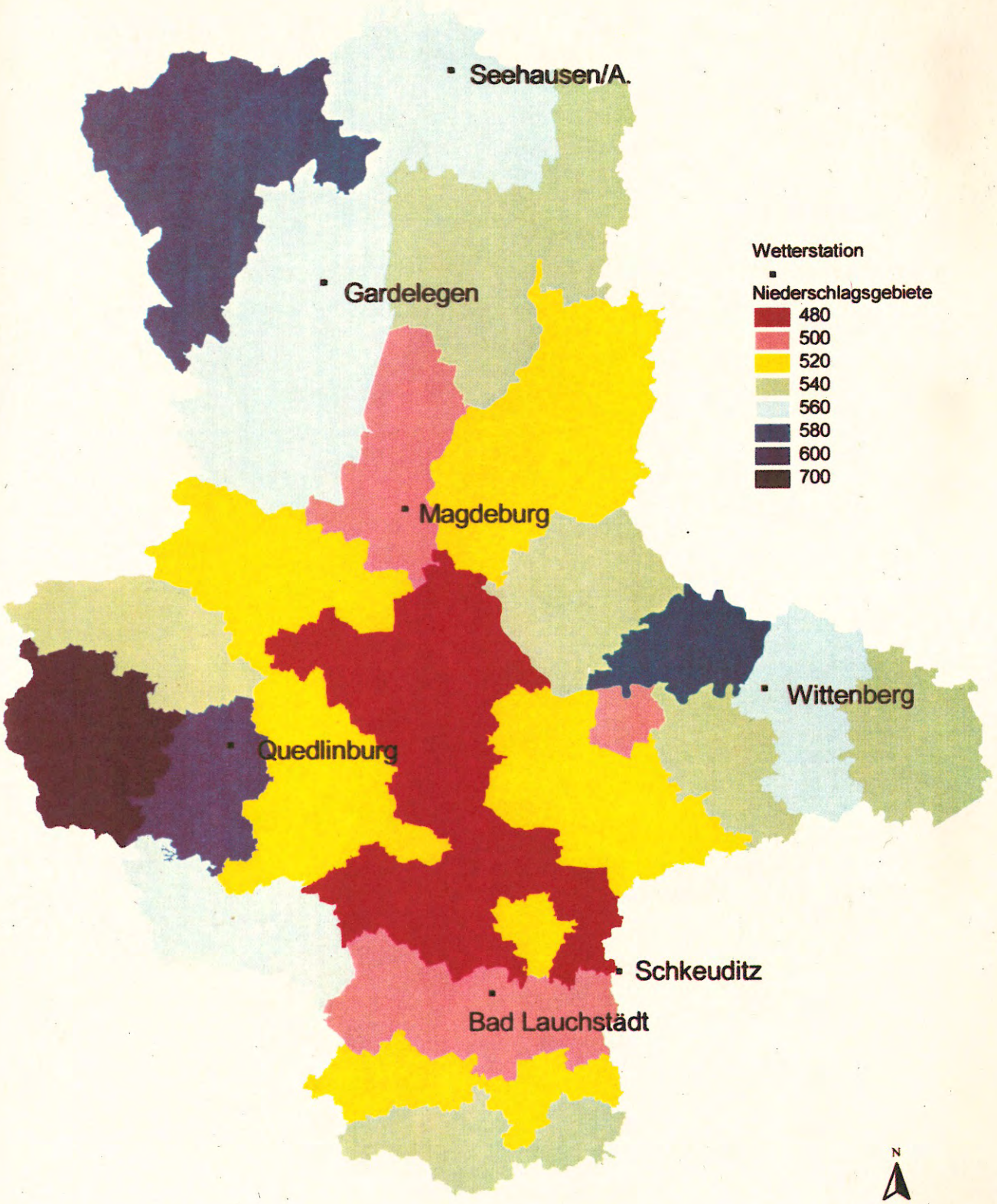
Klimatische Bezugseinheiten in Sachsen-Anhalt



Grundlagen:
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts(LANDSCHAFTSPROGRAMM,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung S.Schenk, 11/96

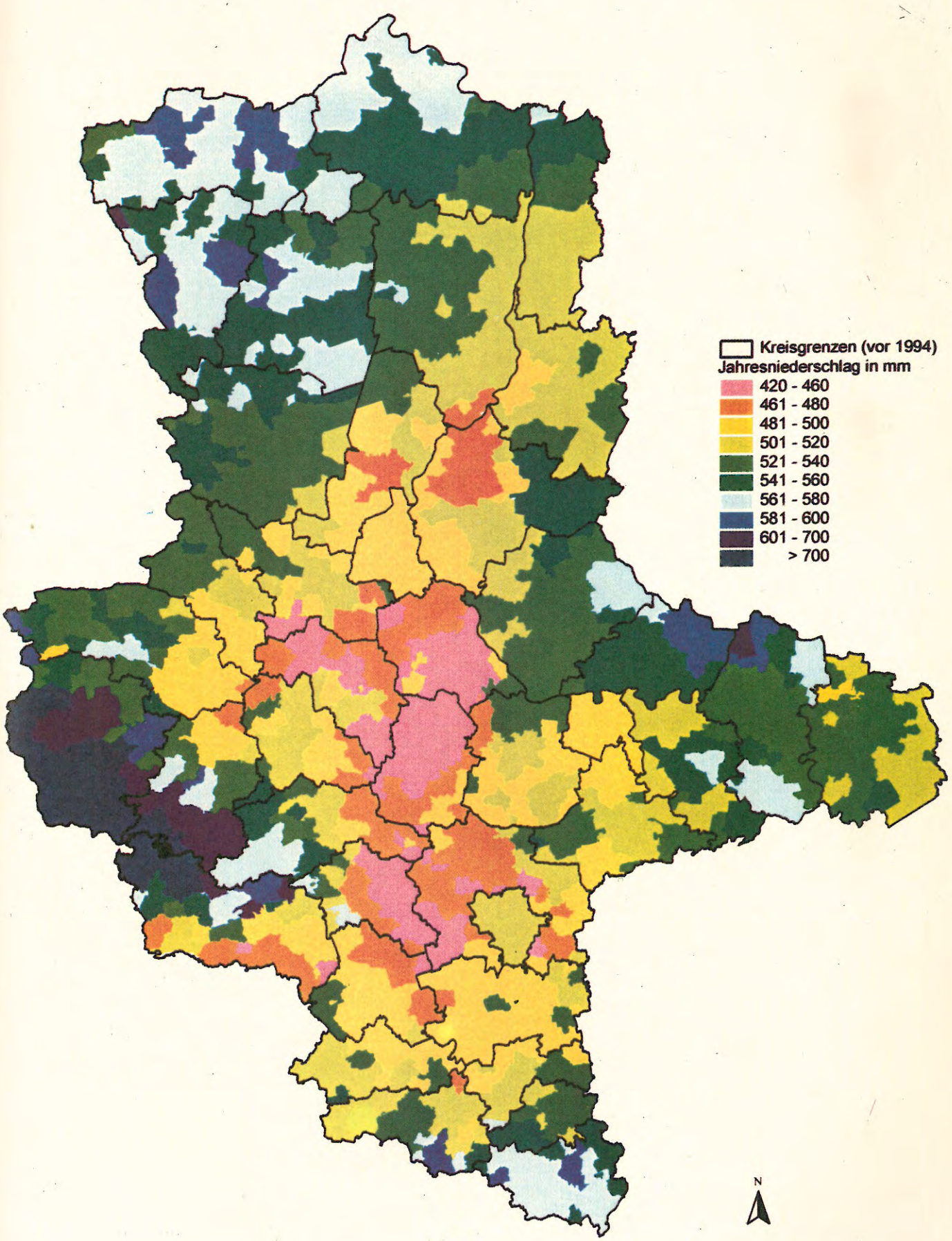
Niederschlagsgebiete in Sachsen-Anhalt



Grundlagen:
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT (Kreismittel für alte Kreise)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk, 1/96

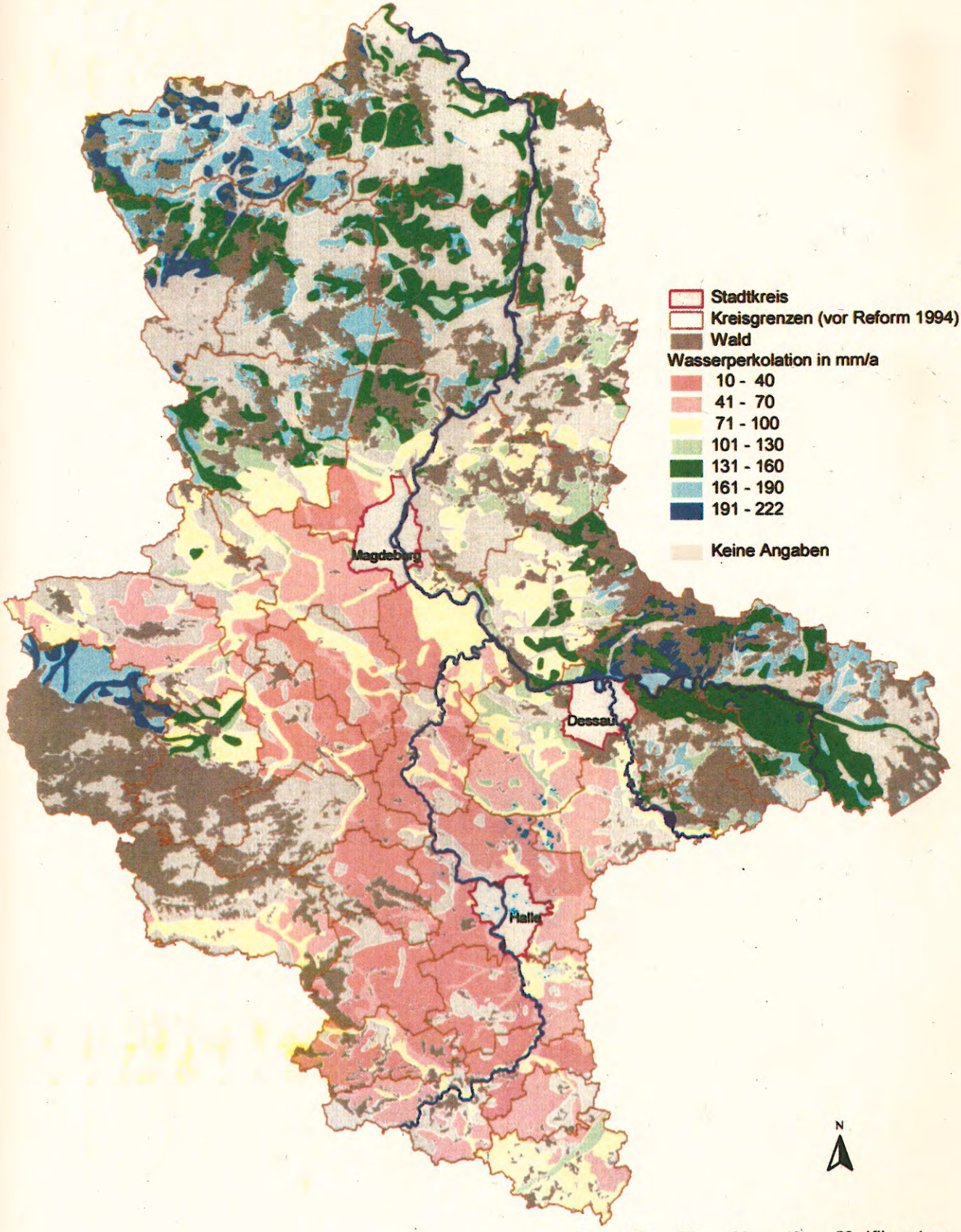
Niederschlagsgebiete in Sachsen-Anhalt (Gemeindeauflösung)



Datengrundlagen:
- Gemeindebezogene Niederschlagswerte aus DABO-GEMDAT
- Digitale Verwaltungsgrenzen Sachsen-Anhalt (Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung, Stand:11/95)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk 12/96

Mittlere jährliche Grundwasserneubildung unter landw. Nutzung Sachsen-Anhalt

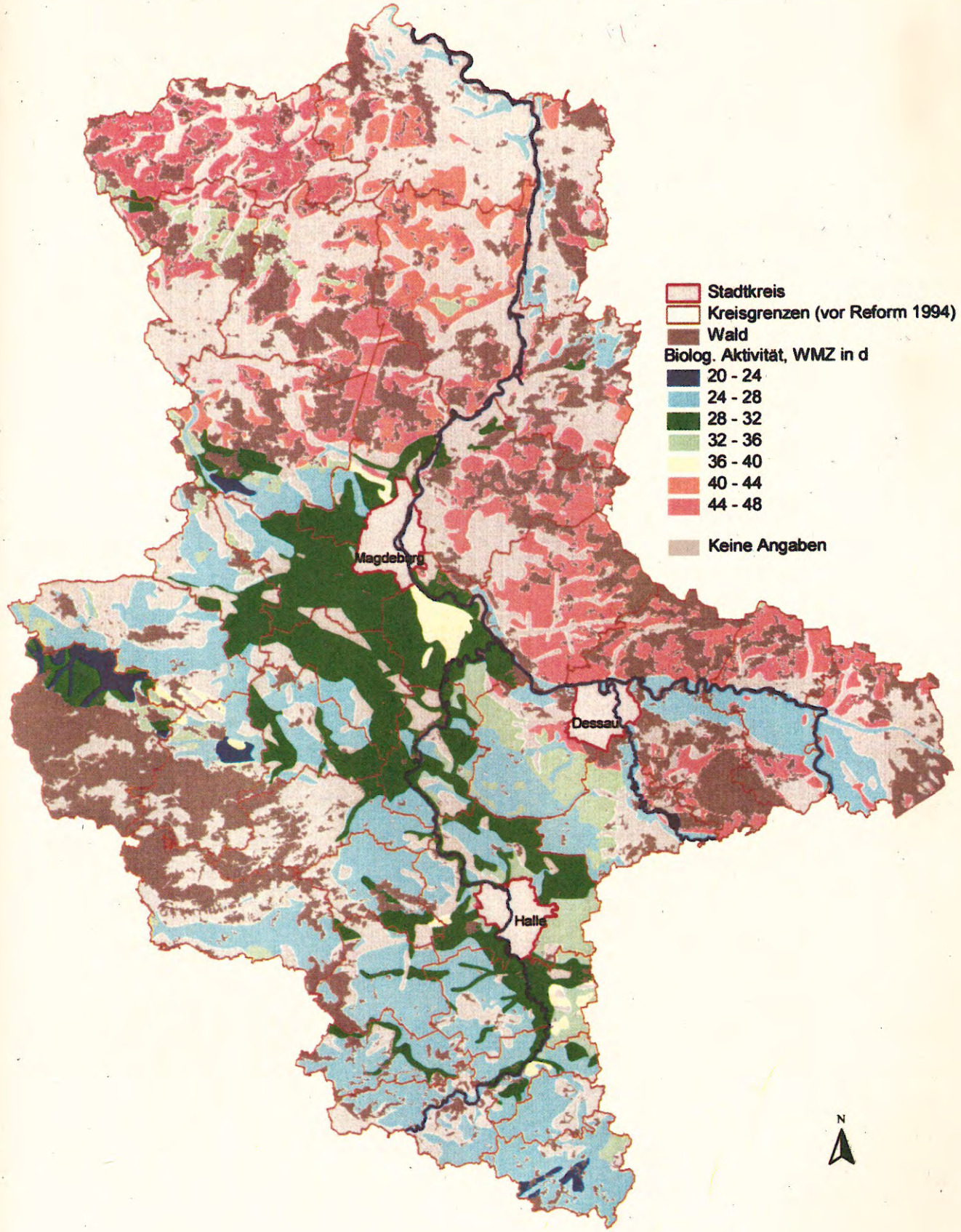


data:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts (Landschaftsprogramm,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT (Kreismittel für alte Kreise)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,11/96

Mittlere biologische Umsatzaktivität im Boden Sachsen-Anhalt

(ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete)

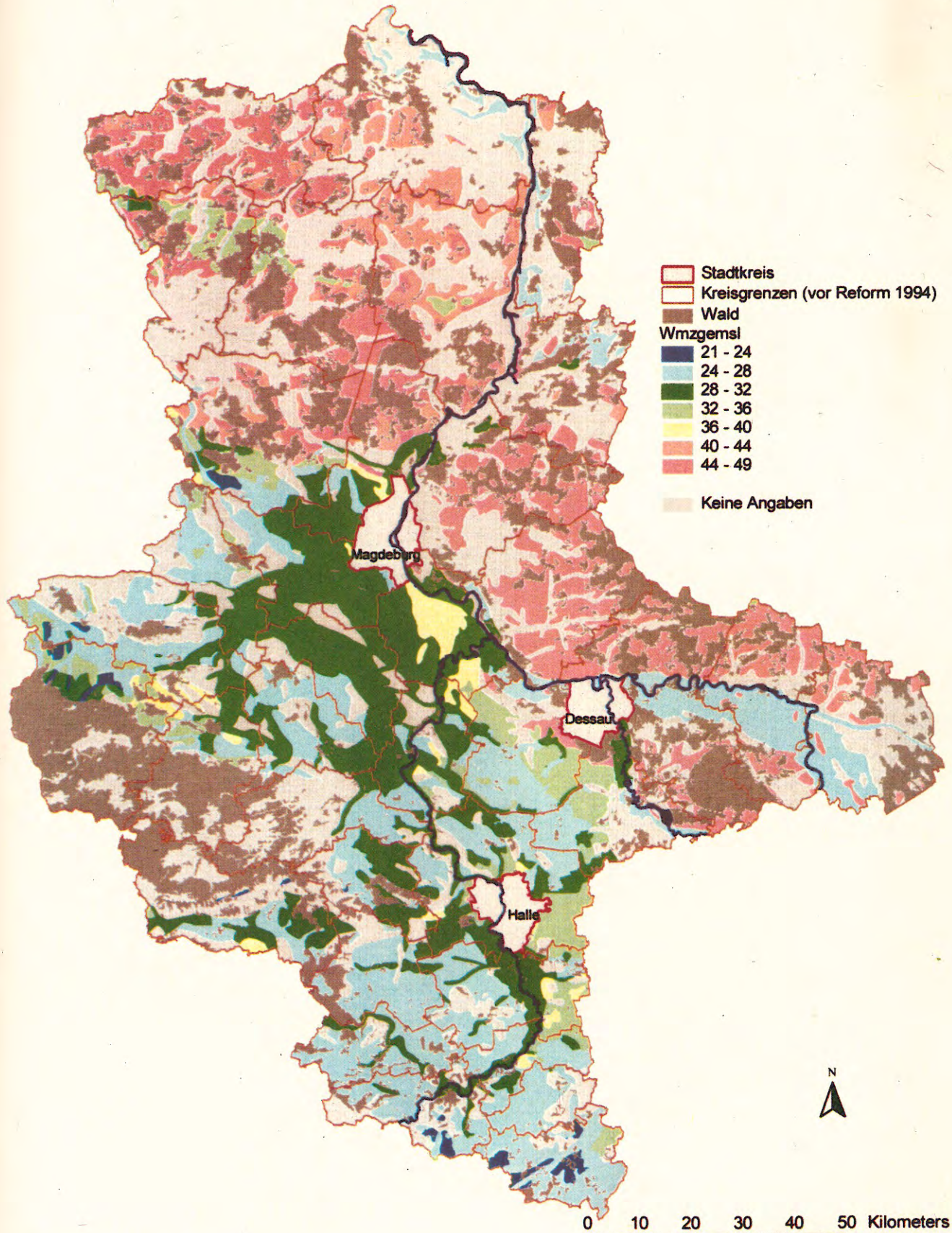


data:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts (Landschaftsprogramm,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT (Kreismittel für alte Kreise)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,11/96

Mittlere biologische Umsatzaktivität im Boden Sachsen-Anhalt (Gemeindeauflösung)

(ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete)

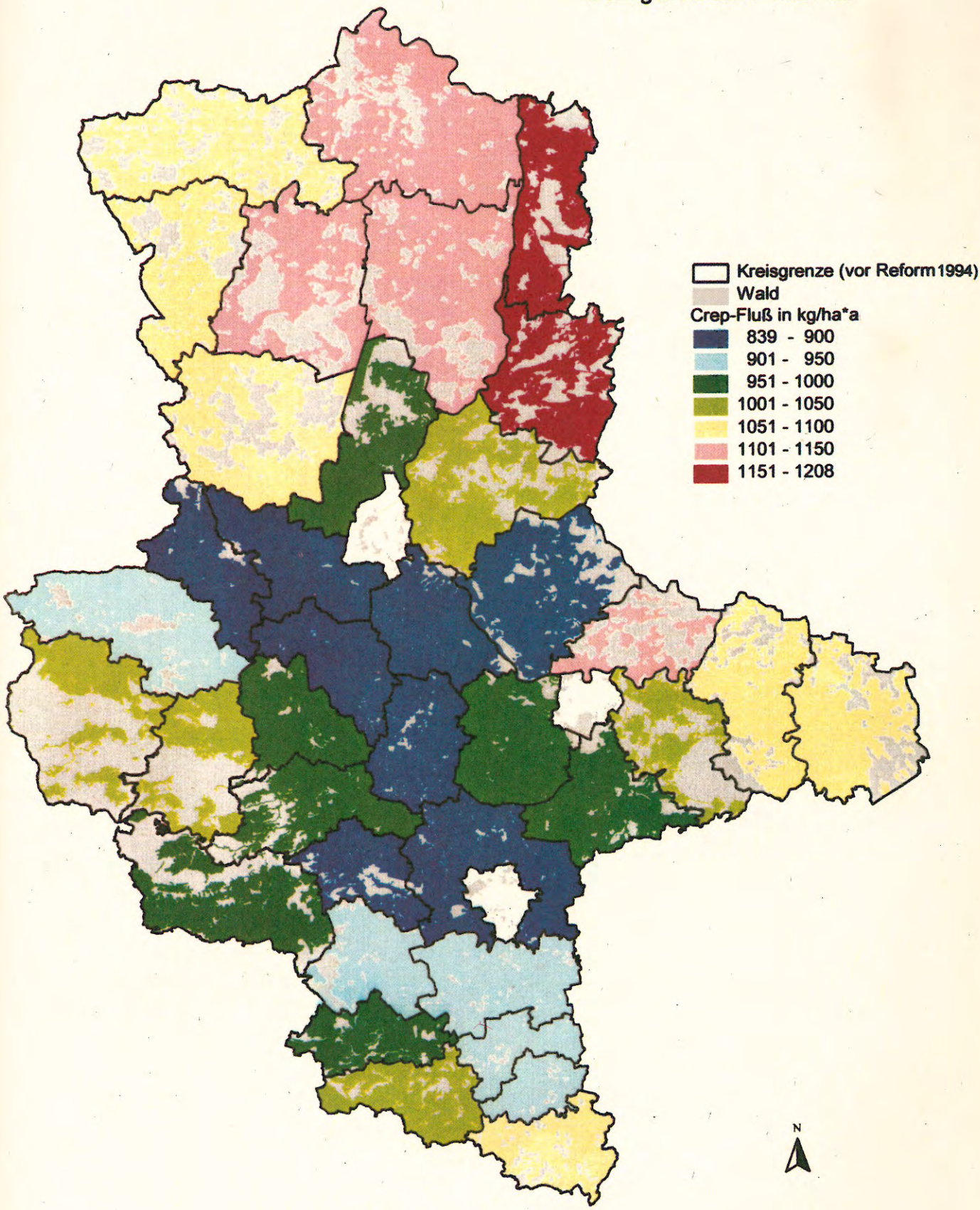


data:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts (Landschaftsprogramm,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,11/96

Mittlerer jährlicher Anfall reproduktionswirksamen Kohlenstoffs aus Agrarproduktion im Gebiet Sachsen-Anhalts

Bezugszeitraum: 1985-89

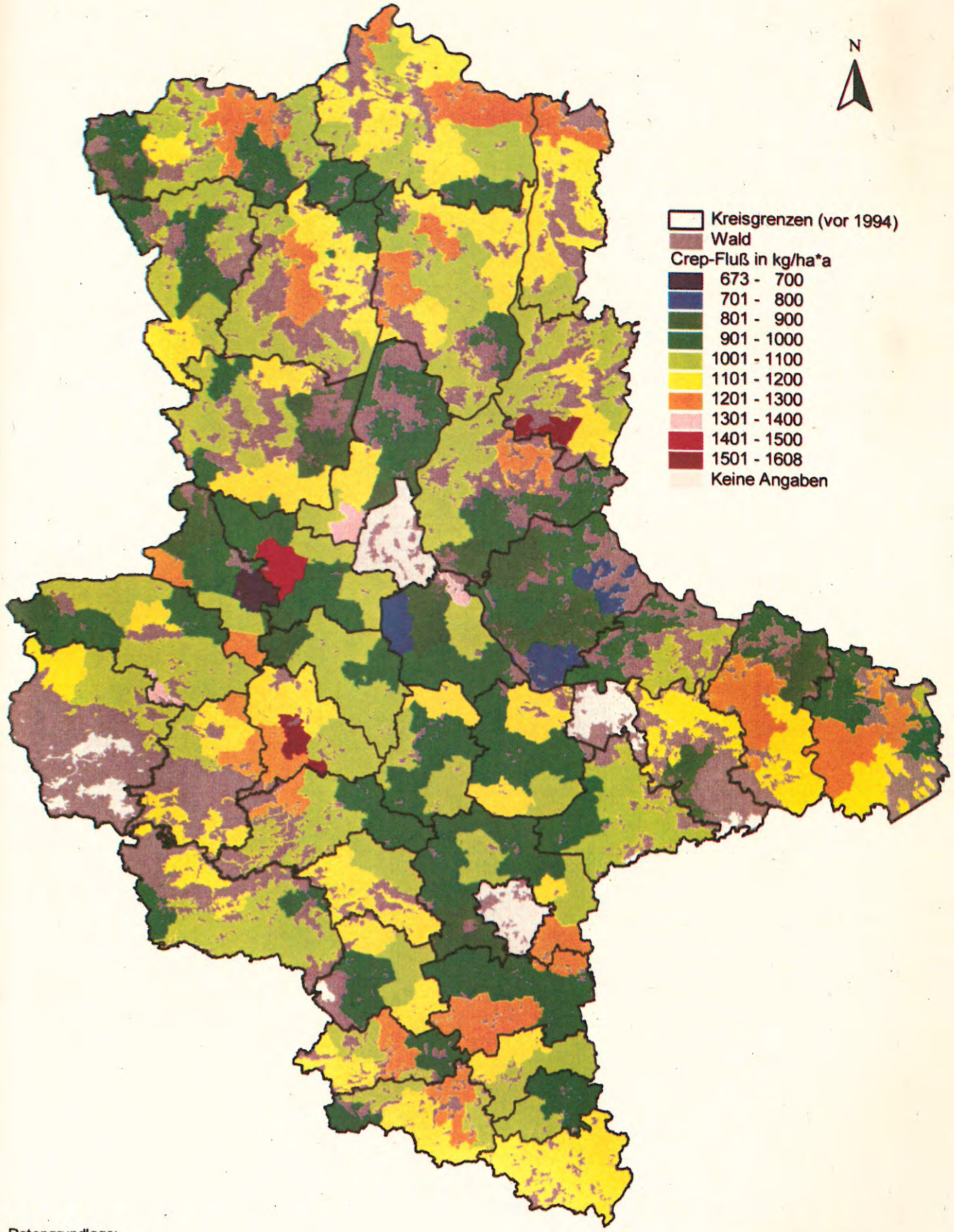


Datengrundlage:
Betriebsdatenspeicher

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk, 9/96

Mittlerer jährlicher Anfall reproduktionswirksamen Kohlenstoffs aus Agrarproduktion
Sachsen-Anhalt
(Gemeindeauflösung)

Bezugszeitraum: 1985-89

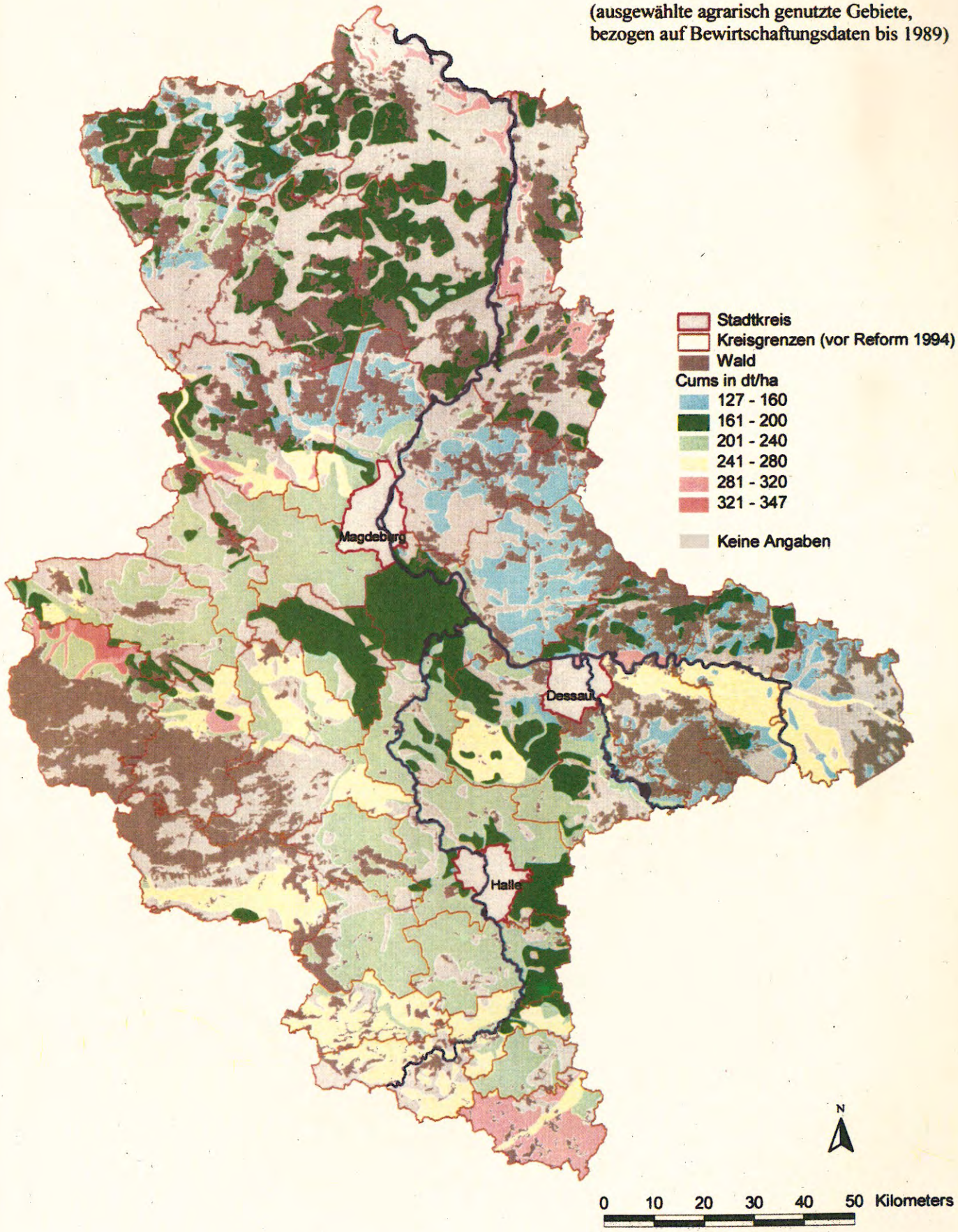


Datengrundlage:
- Betriebsdatenspeicher
- Dig. Verwaltungsgrenzen Sachsen-Anhalt
  (Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung S.Schenk 12/96

Umsetzbarer Kohlenstoff in 0-30 cm Bodentiefe
Sachsen-Anhalt

(ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete,
bezogen auf Bewirtschaftungsdaten bis 1989)

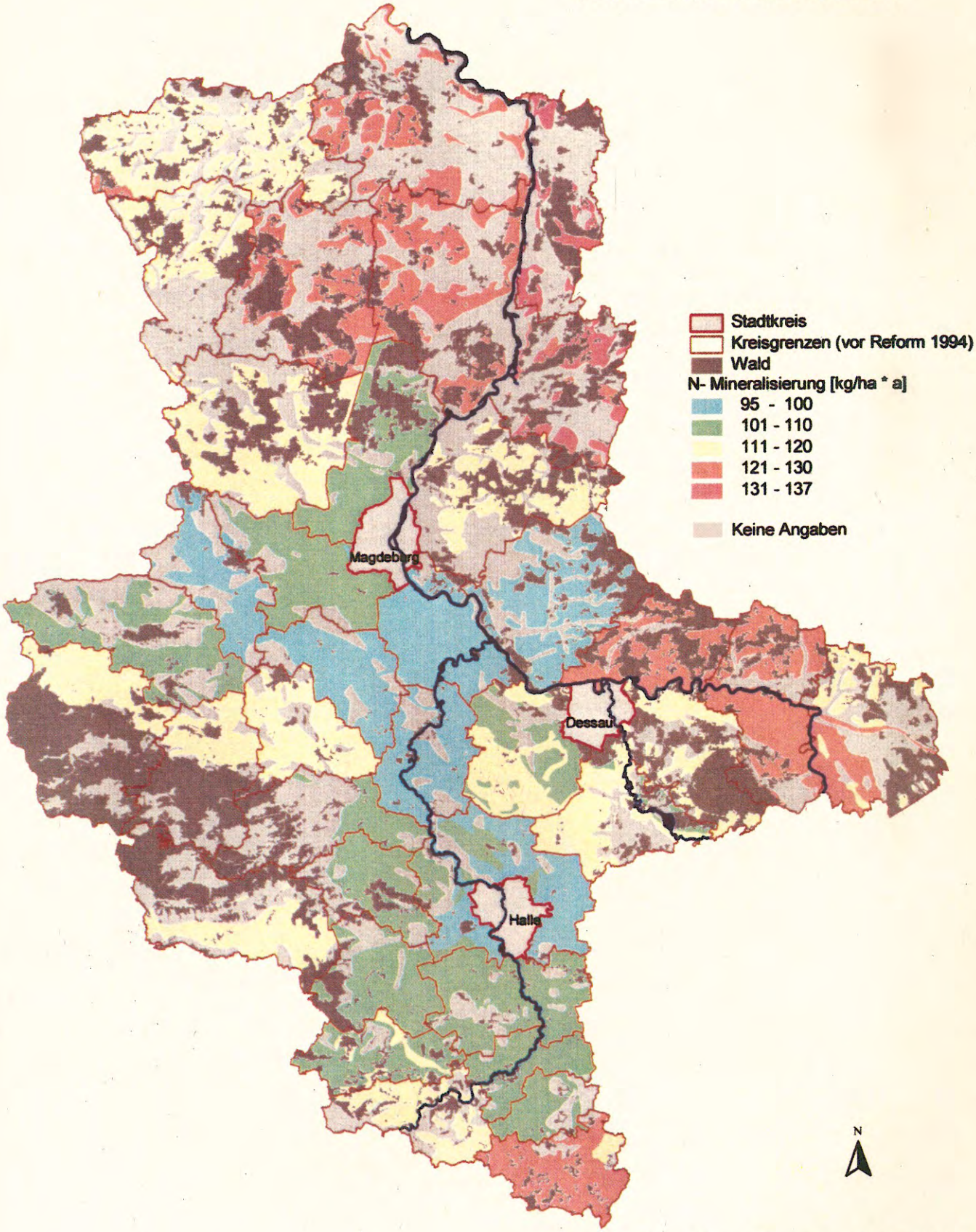


data:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts (Landschaftsprogramm,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT (Kreismittel für alte Kreise)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,11/96

Mittlere jährliche N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz Sachsen-Anhalt

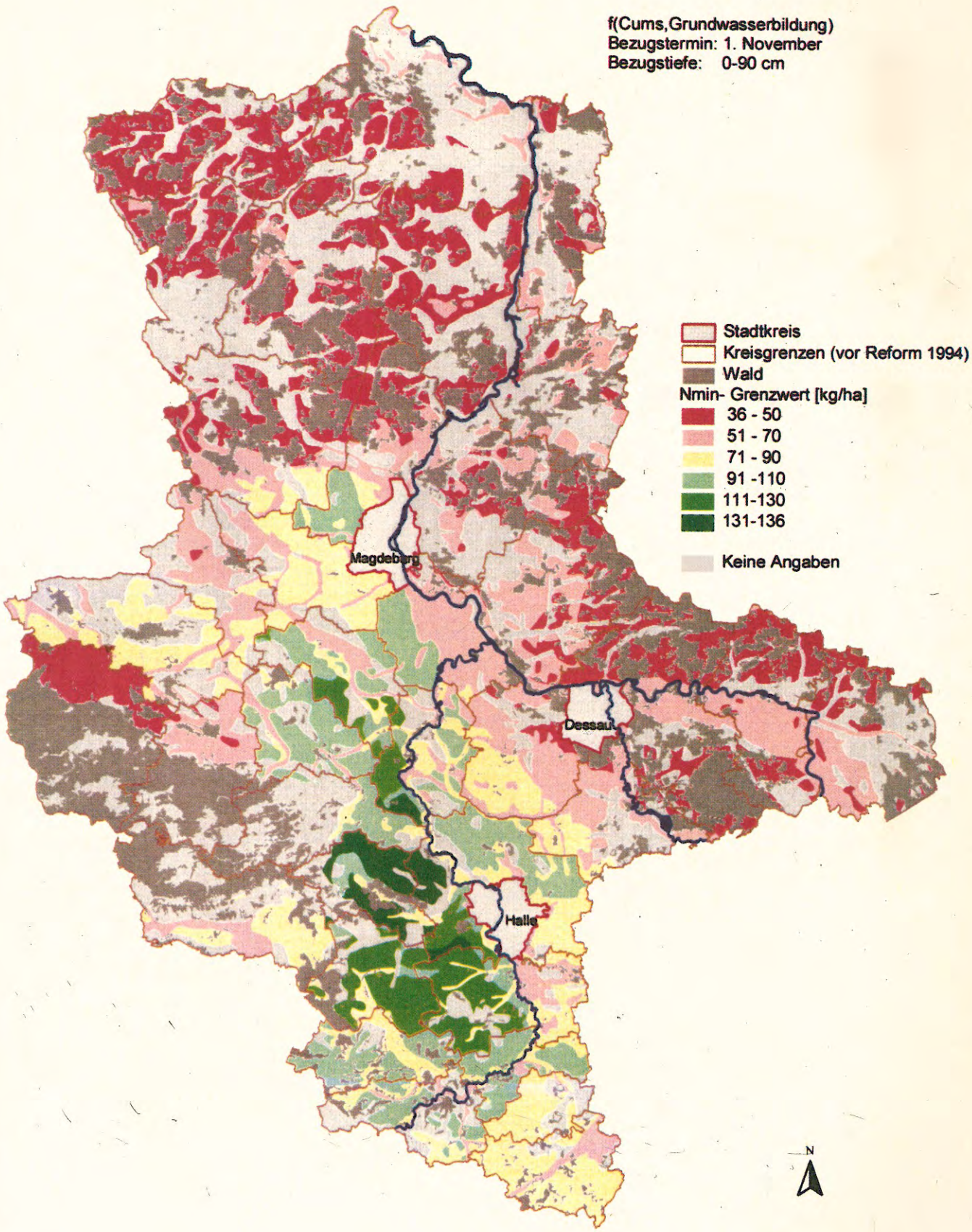
(ausgewählte agrarisch genutzte Gebiete)



data:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Boden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts (Landschaftsprogramm,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT (Kreismittel für alte Kreise)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,11/96

Nmin-Grenzwerte für landwirtschaftlich genutzte Standorte Sachsen-Anhalt



data:
Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt
" Übersichtskarte der Böden von Sachsen-Anhalt" 1:500000 (Schröder,Knauf,Kainz,1993)
- Karte der Natürlichen Landschaftseinheiten Sachsen-Anhalts (Landschaftsprogramm,1994)
- Klimagebiete zusammengefaßt nach Schumann (1995)
- Niederschlagswerte für Gemeinden nach Datenspeicher GEMDAT (Kreismittel für alte Kreise)

Sektion Bodenforschung
Bearbeitung: S.Schenk,11/96

Anlage 2

Bodendaten

- Profilbeschreibung der verwendeten Bodeneinheiten
- Parameter für die einzelnen Horizonte

Abkürzungen:

Hanz:	Anzahl der Horizonte
Hi:	Mächtigkeit des i-ten Horizontes
Hrzi:	Bezeichnung des i-ten Horizontes (Name im Horizontverzeichnis)
NAME	Bezeichnung des Horizonts (entspricht CNDPRFL.HRZ*i*)
PV	Porenvolumen in Vol%
KRUME	Schalter: KRUME=1 bedeutet Bearbeitungshorizont
CT	typischer Wert des C_t-Gehaltes in % (Bezugsbasis für TRD, TSD, PWP u. FKAP)
TRD	Trockenrohdichte (Lagerungsdichte) in g/cm^3
TSD	Trockensubstanzdichte (Reindichte) in g/cm^3
PWP	permanenter Welkepunkt in VOL%
FKAP	Feldkapazität (Sickergrenze) in VOL% (guter Schätzwert: Frühjahrsfeuchte)
LAMBDA	Versickerungsparameter nach Glugla (wird in Abhängigkeit von FAT abgeschätzt)
HKAP	Wärmekapazität (i. a. =0.16)
FAT	Feinanteilgehalt (<= 6.3 Mikrometer:= Ton+Feinschluff)
NIN0	Richtwert für den Nmin-Gehalt je 1dm Bodensäule bei normaler N-Versorgung in kg/ha
K_NIN	Änderung des Nmin-Gehaltes je Verorgungsstufe in kg/ha

Profilbeschreibungen der verwendeten Bodeneinheiten

Name	DÖ/BSBF						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandlöß über Bändersand -Braunfahlerde						
Hanz	5						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/BSBF	**H2**	4	**Hrz2**	BVEDÖ/BSBF
H3	8	**Hrz3**	BTDÖ/BSBF	**H4**	11	**Hrz4**	BBDÖ/BSBF
H5	20	**Hrz5**	CDÖ/BSBF	**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	DÖ/DT						
Bezeichng	Bodenform K500:Decksandlöß-Schwarzerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/DT	**H2**	5	**Hrz2**	AHDÖ/DT
H3	7	**Hrz3**	BDÖ/DT	**H4**	15	**Hrz4**	CDÖ/DT
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	DÖ/DW						
Bezeichng	Bodenform K500:Decksandlöß-Braunschwarzerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/DW	**H2**	5	**Hrz2**	AHDÖ/DW
H3	7	**Hrz3**	BVDÖ/DW	**H4**	15	**Hrz4**	CDÖ/DW
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	DÖ/LBF						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandlößtieflehm-Braunfahlerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/LBF	**H2**	6	**Hrz2**	ETDÖ/LBF
H3	10	**Hrz3**	BTDÖ/LBF	**H4**	15	**Hrz4**	CDÖ/LBF
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	DÖ/LJ						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandlößtieflehm-Schwarzstaugley						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/LJ	**H2**	7	**Hrz2**	AHDÖ/LJ
H3	10	**Hrz3**	BGDÖ/LJ	**H4**	14	**Hrz4**	CCGDÖ/LJ
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	DÖ/LT						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandlößtieflehm-Schwarzerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/LT	**H2**	7	**Hrz2**	AHDÖ/LT
H3	9	**Hrz3**	CDÖ/LT	**H4**	18	**Hrz4**	CCDÖ/LT
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Profilbeschreibungen der verwendeten Bodeneinheiten

Name	DÖ/LU						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandlößtieflehm-Braunstaugley						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APDÖ/LU	**H2**	5	**Hrz2**	BVDÖ/LU
H3	11	**Hrz3**	BTGDÖ/LU	**H4**	14	**Hrz4**	CGDÖ/LU
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	OLK						
Bezeichng	Bodenform K500:Auenlehm-Vegagley						
Hanz	3						
H1	3	**Hrz1**	APOLK	**H2**	6	**Hrz2**	MAOLK
H3	10	**Hrz3**	GOOLK	**H4**	0	**Hrz4**	
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	OLV						
Bezeichng	Bodenform K500:Auenlehm-Vega						
Hanz	3						
H1	3	**Hrz1**	APOLV	**H2**	8	**Hrz2**	MAOLV
H3	12	**Hrz3**	MGOLV	**H4**	0	**Hrz4**	
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	OLZ						
Bezeichng	Bodenform K500:Auenlehm-Schwarzgley						
Hanz	3						
H1	3	**Hrz1**	APOLZ	**H2**	4	**Hrz2**	AHOLZ
H3	7	**Hrz3**	AHGOLZ	**H4**	0	**Hrz4**	
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	S/LBF						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandtieflehm-Braunfahlerde						
Hanz	5						
H1	3	**Hrz1**	APS/LBF	**H2**	4	**Hrz2**	BVS/LBF
H3	6	**Hrz3**	ETS/LBF	**H4**	11	**Hrz4**	BTS/LBF
H5	20	**Hrz5**	CS/LBF	**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	S/LU						
Bezeichng	Bodenform K500:Sandtieflehm-Braunstaugley						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APS/LU	**H2**	6	**Hrz2**	BVS/LU
H3	12	**Hrz3**	BTGS/LU	**H4**	20	**Hrz4**	CS/LU
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Profilbeschreibungen der verwendeten Bodeneinheiten

Name	SA						
Bezeichng	Bodenform K500:Sand-Ranker						
Hanz	2						
H1	3	Hrz1	APSA	H2	15	Hrz2	CSA
H3	0	Hrz3		H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	SB						
Bezeichng	Bodenform K500:Sand-Braunerde						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APSB	H2	5	Hrz2	BVSB
H3	20	Hrz3	CSB	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	SD						
Bezeichng	Bodenform K500:Sand-Podsol						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APSD	H2	6	Hrz2	ESBSSD
H3	15	Hrz3	CSD	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	SR						
Bezeichng	Bodenform K500:Sand-Rosterde						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APSR	H2	5	Hrz2	BSVSR
H3	20	Hrz3	CSR	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	VM/GB						
Bezeichng	Bodenform K500:Berglehm über Gestein -Braunerde						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APVM/GB	H2	4	Hrz2	BVVM/GB
H3	10	Hrz3	CCVM/GB	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	VÖ/GB						
Bezeichng	Bodenform K500:Berglöß über Gestein -Braunerde						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APVÖ/GB	H2	4	Hrz2	BVVÖ/GB
H3	10	Hrz3	CVVÖ/GB	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Profilbeschreibungen der verwendeten Bodeneinheiten

Name	VÖ/GC						
Bezeichng	Bodenform MMK:Berglöß über Gestein -Rendzina						
Hanz	3						
H1	3	**Hrz1**	APVÖ	**H2**	5	**Hrz2**	CCVÖ
H3	10	**Hrz3**	CST	**H4**	0	**Hrz4**	
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	VÖ/GF						
Bezeichng	Bodenform K500:Berglöß über Gestein -Fahlerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APVÖ/GF	**H2**	4	**Hrz2**	BVVÖ/GF
H3	7	**Hrz3**	BTVÖ/GF	**H4**	10	**Hrz4**	CVVÖ/GF
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	VÖ/GT						
Bezeichng	Bodenform MMK:Berglöß über Gestein -Schwarzerde						
Hanz	3						
H1	3	**Hrz1**	APVÖ	**H2**	5	**Hrz2**	AHVÖ
H3	10	**Hrz3**	CST	**H4**	0	**Hrz4**	
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	Ö/BSF						
Bezeichng	Bodenform K500:Löß über Bändersand -Fahlerde						
Hanz	5						
H1	3	**Hrz1**	APÖ/BSF	**H2**	4	**Hrz2**	BVÖ/BSF
H3	8	**Hrz3**	BTÖ/BSF	**H4**	15	**Hrz4**	BBÖ/BSF
H5	20	**Hrz5**	CÖ/BSF	**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	Ö/DT						
Bezeichng	Bodenform MMK:Decklöß-Schwarzerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APÖT	**H2**	7	**Hrz2**	AH1ÖT
H3	15	**Hrz3**	CÖ/D	**H4**	20	**Hrz4**	USWS
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Name	Ö/LT						
Bezeichng	Bodenform MMK:Lößtieflehm-Schwarzerde						
Hanz	4						
H1	3	**Hrz1**	APÖT	**H2**	7	**Hrz2**	AH1ÖT
H3	15	**Hrz3**	CÖ/L	**H4**	20	**Hrz4**	UGM
H5	0	**Hrz5**		**H6**	0	**Hrz6**	
H7	0	**Hrz7**		**H8**	0	**Hrz8**	

Profilbeschreibungen der verwendeten Bodeneinheiten

Name	ÖC						
Bezeichng	Bodenform MMK:Löß-Rendzina						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APÖC	H2	11	Hrz2	CCÖC
H3	20	Hrz3	UGM	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	ÖF						
Bezeichng	Bodenform K500:Löß-Fahlerde						
Hanz	5						
H1	3	Hrz1	APÖF	H2	4	Hrz2	BVÖF
H3	6	Hrz3	ETÖF	H4	11	Hrz4	BTÖF
H5	20	Hrz5	CCÖF	H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	ÖP						
Bezeichng	Bodenform MMK:Löß-Parabraunerde						
Hanz	5						
H1	3	Hrz1	APÖP	H2	5	Hrz2	AHÖP
H3	8	Hrz3	BTÖP	H4	13	Hrz4	CCÖT
H5	20	Hrz5	UGM	H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	ÖS						
Bezeichng	Bodenform K500:Löß-Staugley						
Hanz	3						
H1	3	Hrz1	APÖS	H2	5	Hrz2	ETGÖS
H3	12	Hrz3	BTGÖS	H4	0	Hrz4	
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	ÖT						
Bezeichng	Bodenform MMK:Löß-Schwarzerde						
Hanz	5						
H1	3	Hrz1	APÖT	H2	7	Hrz2	AH1ÖT
H3	9	Hrz3	AH2ÖT	H4	15	Hrz4	CCÖT
H5	20	Hrz5	UGM	H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Name	ÖU						
Bezeichng	Bodenform K500:Löß-Braunstaugley						
Hanz	4						
H1	3	Hrz1	APÖU	H2	6	Hrz2	BVÖU
H3	9	Hrz3	BTGÖU	H4	12	Hrz4	CGÖU
H5	0	Hrz5		H6	0	Hrz6	
H7	0	Hrz7		H8	0	Hrz8	

Parameter für die einzelnen Horizonte

Name	Pv	Trd	Tsd	Fkap	Pwp	Lambda	Fat	Ct	Nin0	K_nin	Krume
APDÖ/BSBF	39,9	1,55	2,58	27,0	10,0	0,600	20,0	1,0	7,0	2,0	1
BTDÖ/BSBF	37,6	1,64	2,63	30,0	16,0	0,400	25,0	,00	6,0	2,0	0
BBDÖ/BSBF	39,6	1,60	2,65	14,0	3,0	1,000	6,0	,00	2,0	1,0	0
CDÖ/BSBF	39,6	1,60	2,65	7,0	2,0	1,200	3,0	,00	1,0	0,5	0
APDÖ/DT	42,3	1,50	2,60	23,0	10,0	0,500	19,0	1,1	6,0	2,0	1
AHDÖ/DT	42,3	1,50	2,60	23,0	12,0	0,500	19,0	,00	6,0	2,0	0
BDÖ/DT	40,6	1,55	2,61	26,0	11,0	0,500	20,0	,00	5,0	2,0	0
CDÖ/DT	39,2	1,60	2,63	8,0	3,0	1,000	5,0	,00	1,0	0,5	0
APDÖ/DW	42,3	1,50	2,60	23,0	13,0	0,500	20,0	1,0	7,0	2,0	1
AHDÖ/DW	42,3	1,50	2,60	23,0	13,0	0,500	20,0	,00	7,0	2,0	0
BVDÖ/DW	40,8	1,55	2,62	20,0	10,0	0,500	15,0	,00	4,0	1,0	0
CDÖ/DW	39,2	1,60	2,63	9,0	3,0	1,000	6,0	,00	1,0	0,5	0
APDÖ/LBF	38,4	1,62	2,63	27,0	6,0	0,500	15,0	,90	5,0	2,0	1
ETDÖ/LBF	38,4	1,62	2,63	21,0	6,0	0,500	13,0	,00	4,0	1,0	0
BTDÖ/LBF	33,5	1,75	2,63	23,0	16,0	0,100	20,0	,00	5,0	2,0	0
CDÖ/LBF	33,5	1,75	2,63	23,0	15,0	0,100	20,0	,00	4,0	1,0	0
APDÖ/LJ	46,0	1,40	2,59	26,0	11,0	0,500	21,0	2,0	7,0	2,0	1
AHDÖ/LJ	46,0	1,40	2,59	25,0	13,0	0,500	23,0	,00	8,0	3,0	0
BGDÖ/LJ	38,7	1,60	2,61	26,0	16,0	0,200	25,0	,00	6,0	2,0	0
APDÖ/LT	43,2	1,47	2,59	26,0	7,0	0,500	23,0	1,4	8,0	3,0	1
AHDÖ/LT	46,2	1,40	2,60	28,0	12,0	0,500	24,0	,00	8,0	3,0	0
CDÖ/LT	40,6	1,55	2,61	23,0	7,0	0,600	19,0	,00	4,0	1,0	0
CCDÖ/LT	42,8	1,50	2,62	25,0	13,0	0,500	24,0	,00	5,0	2,0	0
APDÖ/LU	40,2	1,55	2,59	25,0	11,0	0,500	19,0	,90	6,0	2,0	1
BVDÖ/LU	38,2	1,60	2,59	23,0	15,0	0,500	21,0	,00	5,0	2,0	0
CGDÖ/LU	31,0	1,80	2,61	28,0	15,0	0,100	29,0	,00	6,0	2,0	0
APOLK	43,7	1,48	2,63	23,0	12,0	0,400	20,0	1,3	7,0	2,0	1
MAOLK	37,7	1,65	2,65	23,0	14,0	0,300	18,0	,00	5,0	2,0	0
GOOLK	40,4	1,58	2,65	22,0	14,0	0,400	19,0	,00	4,0	1,0	0
APOLV	49,1	1,34	2,63	32,0	14,0	0,500	32,0	1,7	11,0	4,0	1
MAOLV	46,4	1,42	2,65	34,0	16,0	0,500	34,0	,00	9,0	3,0	0
MGOLV	44,5	1,47	2,65	29,0	14,0	0,400	26,0	,00	7,0	2,0	0
APOLZ	38,8	1,56	2,55	31,0	17,0	0,200	32,0	2,2	11,0	4,0	1
AHOLZ	40,3	1,54	2,58	32,0	17,0	0,250	32,0	,00	11,0	4,0	0
APS/LBF	37,3	1,65	2,63	16,0	4,0	0,700	9,0	,60	3,0	1,0	1
BVS/LBF	37,3	1,65	2,63	13,0	3,0	1,000	8,0	,00	2,0	1,0	0
ETS/LBF	36,9	1,66	2,63	14,0	3,0	1,000	8,0	,00	3,0	1,0	0
BTS/LBF	34,0	1,75	2,65	25,0	15,0	0,500	25,0	,00	6,0	2,0	0
CS/LBF	32,1	1,80	2,65	22,0	10,0	0,500	10,0	,00	2,0	1,0	0
APS/LU	37,6	1,63	2,61	25,0	9,0	0,400	17,0	1,0	6,0	2,0	1
BVS/LU	35,3	1,69	2,61	21,0	9,0	0,400	19,0	,00	5,0	2,0	0
CS/LU	29,3	1,86	2,63	24,0	11,0	0,200	20,0	,00	4,0	1,0	0
APSA	41,5	1,55	2,65	12,0	3,0	1,200	6,0	,30	2,0	1,0	1
CSA	37,7	1,65	2,65	6,0	1,0	1,400	3,0	,00	1,0	0,5	0
APSB	39,2	1,60	2,63	15,0	4,0	1,000	6,0	,90	2,0	1,0	1

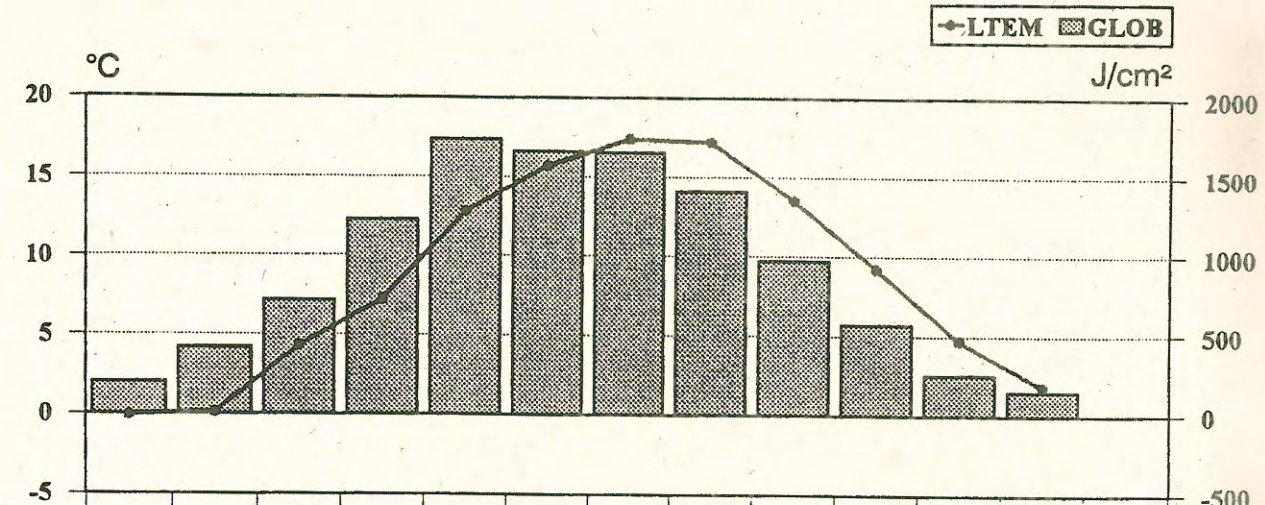
Parameter für die einzelnen Horizonte

Name	Pv	Trd	Tsd	Fkap	Pwp	Lambda	Fat	Ct	Nin0	K_nin	Krume
BVSB	37,3	1,65	2,63	13,0	3,0	1,100	5,0	,00	1,0	0,5	0
CSB	36,5	1,67	2,63	11,0	3,0	1,000	5,0	,00	1,0	0,5	0
APSD	41,5	1,55	2,65	12,0	3,0	1,200	6,0	,40	2,0	1,0	1
CSD	37,7	1,65	2,65	6,0	1,0	1,400	3,0	,00	1,0	0,5	0
APSR	41,4	1,54	2,63	13,0	4,0	1,100	5,0	,80	2,0	1,0	1
CSR	39,2	1,60	2,63	7,0	1,0	1,200	3,0	,00	1,0	0,5	0
APVM/GB	42,3	1,50	2,60	20,0	6,0	0,300	14,0	,80	5,0	2,0	1
BVVM/GB	38,9	1,60	2,62	18,0	5,0	0,300	12,0	,00	3,0	1,0	0
CCVM/GB	****	1,50	2,61	26,0	10,0	0,200	23,0	,00	5,0	2,0	0
APVÖ/GB	45,7	1,40	2,58	31,0	13,0	0,200	28,0	1,2	9,0	3,0	1
BVVÖ/GB	43,0	1,47	2,58	30,0	11,0	0,200	25,0	,00	6,0	2,0	0
CVVÖ/GB	42,5	1,50	2,61	26,0	10,0	0,200	23,0	,00	5,0	2,0	0
APVÖ/GF	33,7	1,71	2,58	34,0	19,0	0,200	35,0	2,0	12,0	4,0	1
BVVÖ/GF	44,8	1,44	2,61	30,0	10,0	0,200	25,0	,00	6,0	2,0	0
BTVÖ/GF	35,6	1,68	2,61	45,0	25,0	0,100	39,0	,00	10,0	3,0	0
CVVÖ/GF	42,5	1,50	2,61	26,0	10,0	0,200	23,0	,00	5,0	2,0	0
APÖ/BSF	43,2	1,47	2,59	33,0	12,0	0,500	23,0	1,4	8,0	3,0	1
BVÖ/BSF	41,7	1,51	2,59	31,0	10,0	0,400	22,0	,00	6,0	2,0	0
BTÖ/BSF	41,0	1,54	2,61	35,0	17,0	0,300	28,0	,00	7,0	2,0	0
BBÖ/BSF	39,2	1,60	2,63	14,0	3,0	1,000	6,0	,00	2,0	1,0	0
CÖ/BSF	39,6	1,60	2,65	7,0	2,0	1,200	3,0	,00	1,0	0,5	0
BDÖ/DT	40,6	1,55	2,61	26,0	11,0	0,500	20,0	,00	5,0	2,0	0
CDÖ/DT	39,2	1,60	2,63	8,0	3,0	1,000	5,0	,00	1,0	0,5	0
CDÖ/LT	40,6	1,55	2,61	23,0	7,0	0,600	19,0	,00	4,0	1,0	0
APÖC	46,2	1,40	2,60	27,0	11,0	0,230	23,0	1,3	8,0	3,0	1
CCÖC	43,0	1,50	2,63	27,0	11,0	0,100	22,0	,00	4,0	1,0	0
APÖF	43,0	1,47	2,58	33,0	12,0	0,500	23,0	1,4	8,0	3,0	1
BVÖF	41,7	1,51	2,59	31,0	10,0	0,400	22,0	,00	6,0	2,0	0
ETÖF	43,3	1,48	2,61	32,0	9,0	0,400	21,0	,00	7,0	2,0	0
BTÖF	41,0	1,54	2,61	35,0	17,0	0,300	28,0	,00	7,0	2,0	0
CCÖF	42,2	1,51	2,61	32,0	12,0	0,400	24,0	,00	5,0	2,0	0
APÖP	45,3	1,40	2,56	30,0	12,0	0,230	25,0	1,4	8,0	3,0	1
AHÖP	44,2	1,45	2,60	31,0	12,0	0,230	25,0	,00	8,0	3,0	0
BTÖP	40,4	1,55	2,60	36,0	20,0	0,100	32,0	,00	8,0	3,0	0
APÖS	44,6	1,43	2,58	29,0	11,0	0,300	24,0	1,5	8,0	3,0	1
APÖT	47,3	1,35	2,56	32,0	12,4	0,170	28,0	1,8	9,0	3,0	1
CCÖT	42,8	1,50	2,62	30,0	10,0	0,230	22,0	,00	4,0	1,0	0
APÖU	36,1	1,65	2,58	30,0	13,0	0,300	24,0	1,5	8,0	3,0	1
BVÖU	38,3	1,61	2,61	32,0	14,0	0,200	25,0	,00	6,0	2,0	0
CGÖU	40,5	1,56	2,62	29,0	18,0	0,100	28,0	,00	6,0	2,0	0

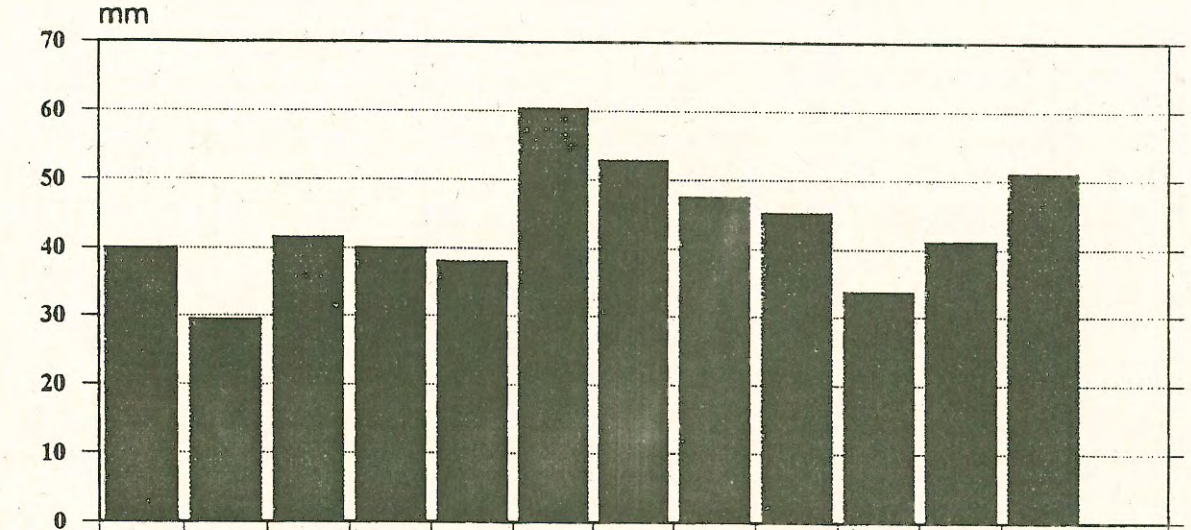
Anlage 3

Klimadaten

- Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für verschiedene Klimastationen in Sachsen-Anhalt (Ergebnisse der Berechnungen des Wettergenerators)
- Vergleich der monatlichen Verteilung von Lufttemperatur und Niederschlag (Meßwerte und Berechnungen) für 3 Klimastationen in Sachsen-Anhalt

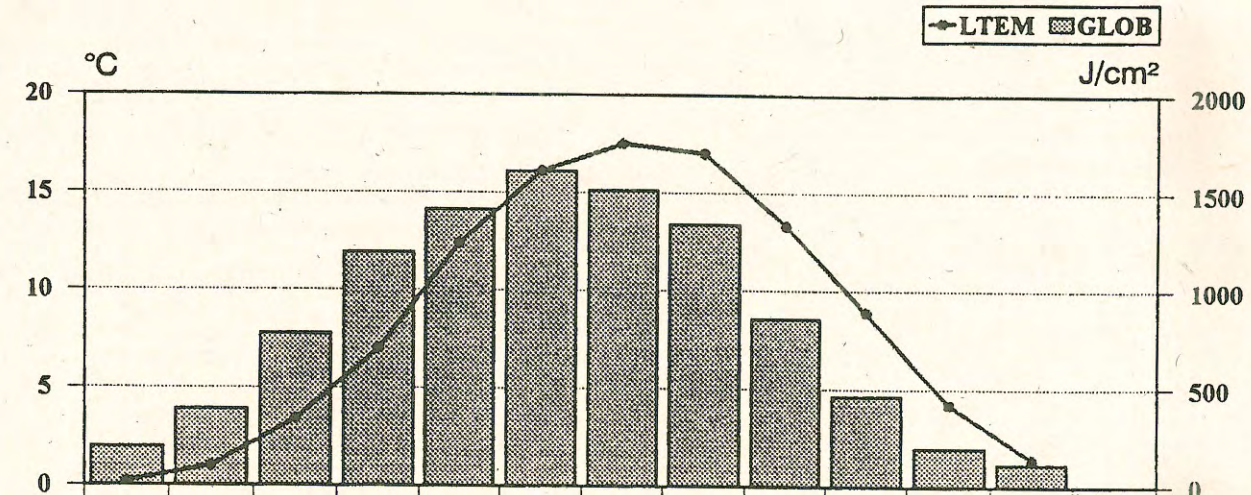


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	-0,1	0,1	4,3	7,2	12,8	15,7	17,4	17,2	13,5	9,2	4,7	1,8	
GLOB	198	420,7	718,5	1226,7	1739,9	1661,9	1655,2	1411,9	975	572,4	254,2	149,8	
LTEM													8,7
GLOB													917,8

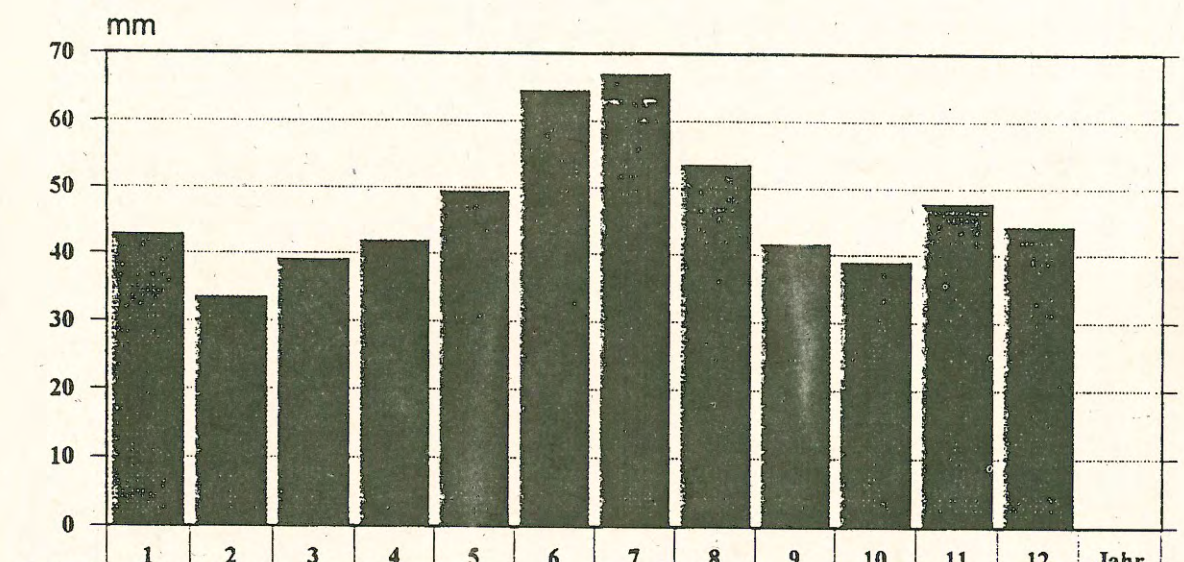


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	40	29,4	41,5	40	38	60,4	52,8	47,5	45,3	33,6	41,1	51,1	
NIED													520,7

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Seehausen/Altmark**

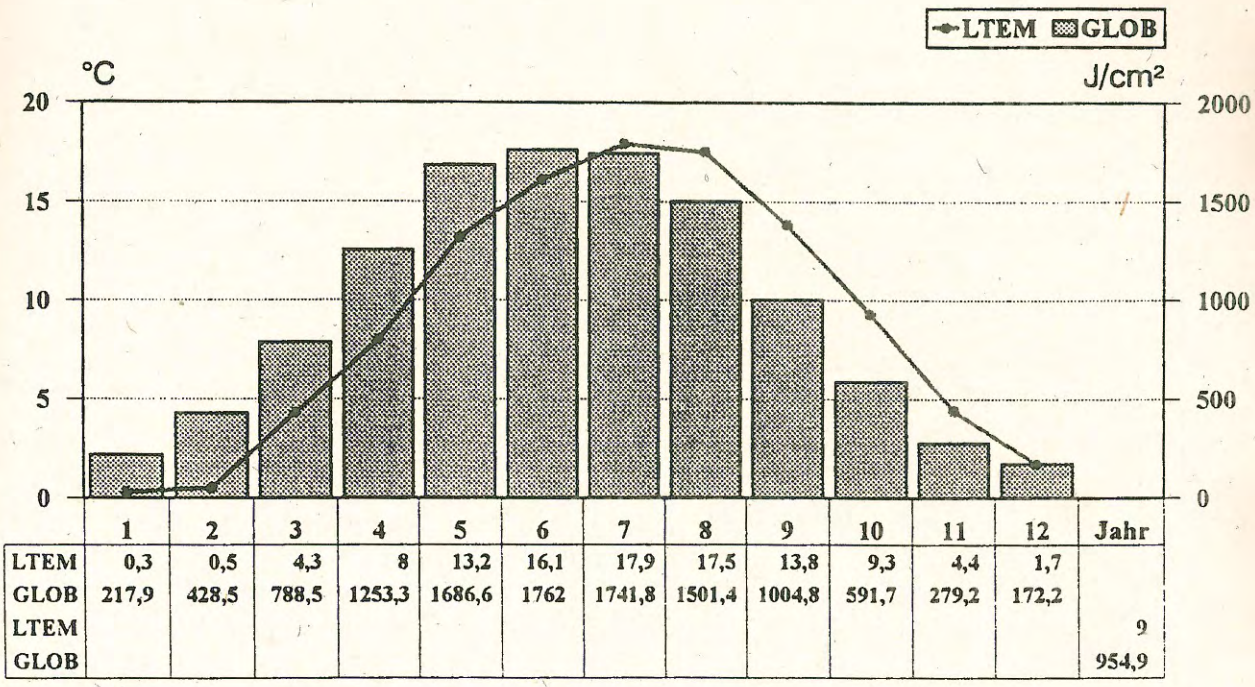


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	0,2	1	3,4	7	12,4	16,1	17,5	17	13,3	8,9	4,2	1,4	
GLOB	197,7	389,2	776,1	1191,8	1413,5	1610	1512,6	1339,1	858,7	464,9	200,5	118,6	
LTEM													8,6
GLOB													841,4

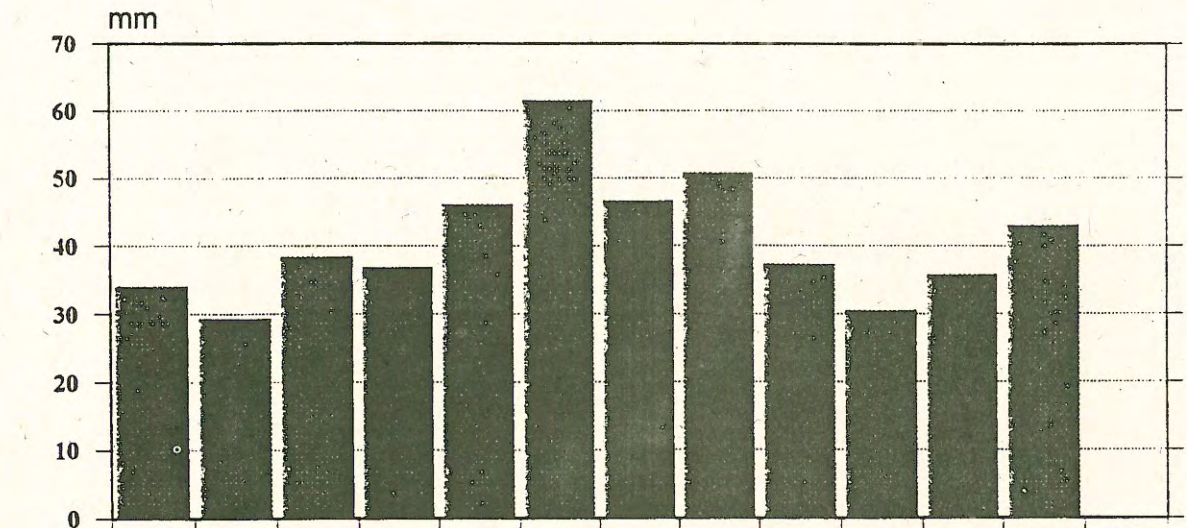


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	42,8	33,4	39	41,8	49,3	64,4	66,9	53,4	41,6	38,9	47,7	44,2	
NIED													563,5

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Gardelegen**

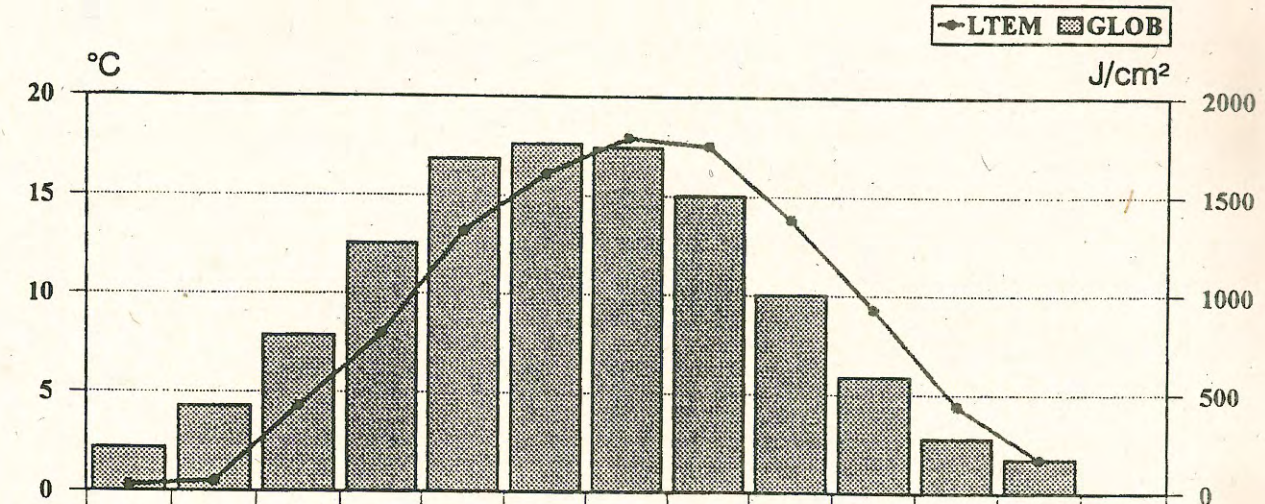


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	0,3	0,5	4,3	8	13,2	16,1	17,9	17,5	13,8	9,3	4,4	1,7	
GLOB	217,9	428,5	788,5	1253,3	1686,6	1762	1741,8	1501,4	1004,8	591,7	279,2	172,2	
LTEM													9
GLOB													954,9

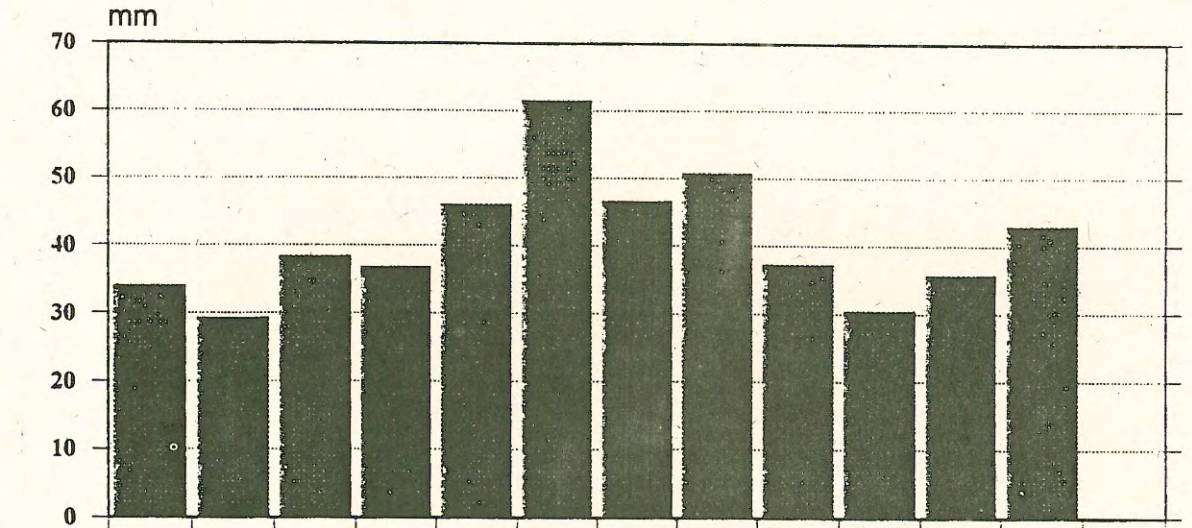


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	34	29,2	38,3	36,7	46	61,4	46,5	50,6	37,2	30,4	35,7	42,9	
NIED													488,9

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Magdeburg**

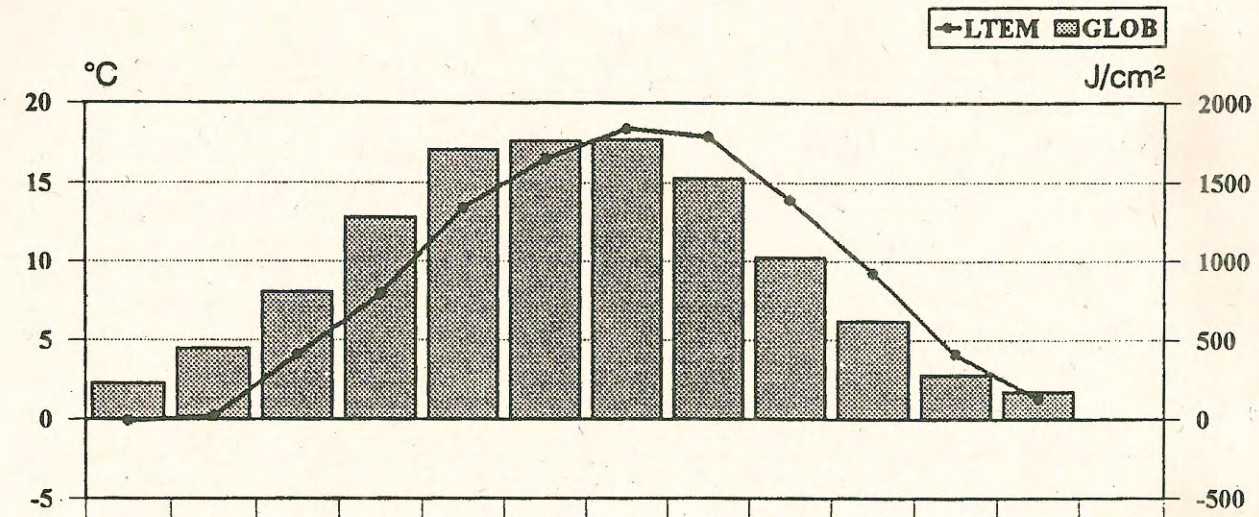


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	0,3	0,5	4,3	8	13,2	16,1	17,9	17,5	13,8	9,3	4,4	1,7	
GLOB	217,9	428,5	788,5	1253,3	1686,6	1762	1741,8	1501,4	1004,8	591,7	279,2	172,2	
LTEM													9
GLOB													954,9

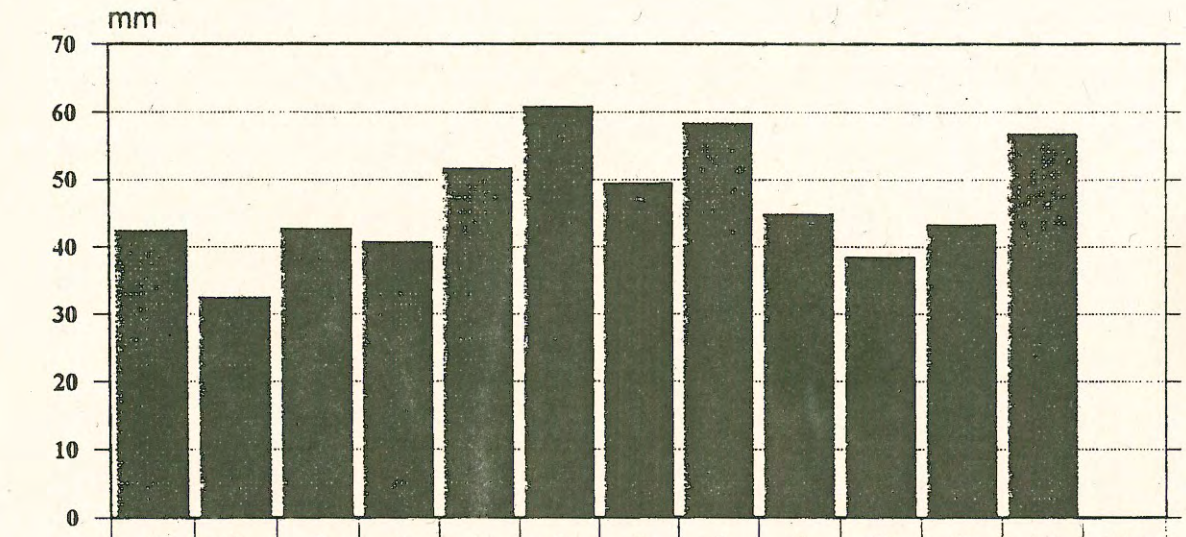


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	34	29,2	38,3	36,7	46	61,4	46,5	50,6	37,2	30,4	35,7	42,9	
NIED													488,9

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Magdeburg**

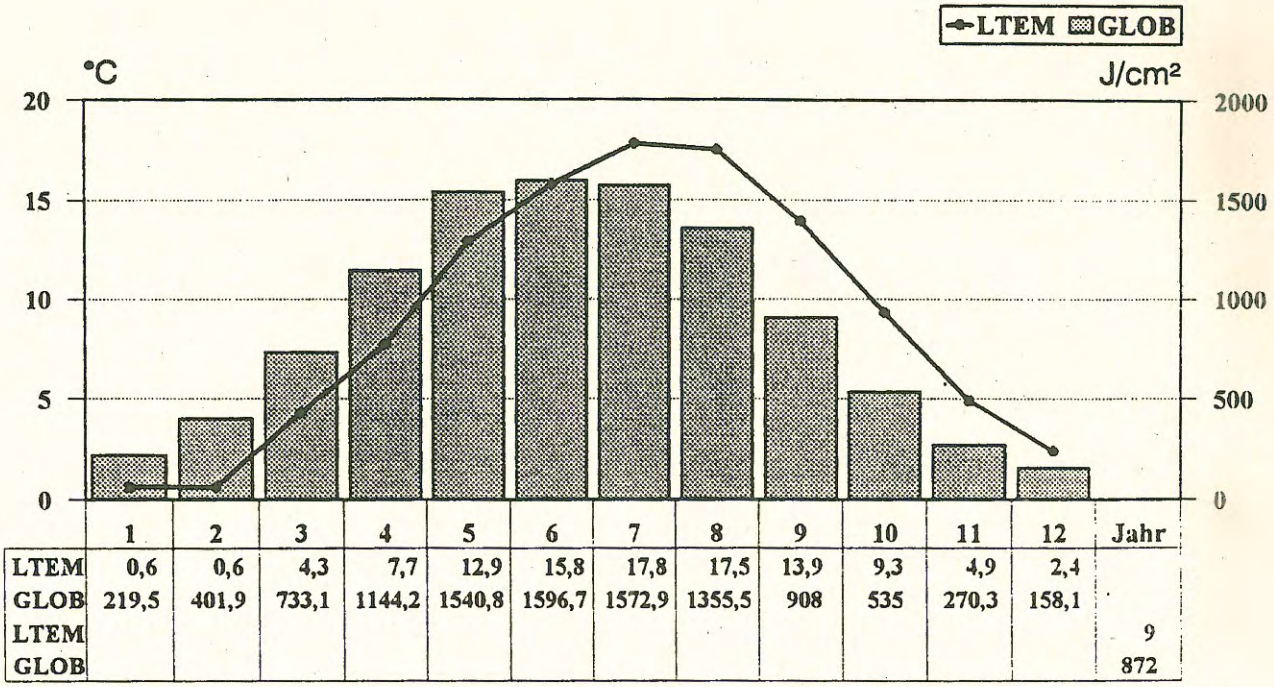


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	-0,1	0,2	4,1	7,9	13,4	16,5	18,4	17,9	13,9	9,2	4,1	1,3	
GLOB	226,9	447,3	806,2	1281,9	1710,6	1765,2	1771,5	1529,2	1023,9	620,4	281,6	177,6	
LTEM													8,9
GLOB													972,8

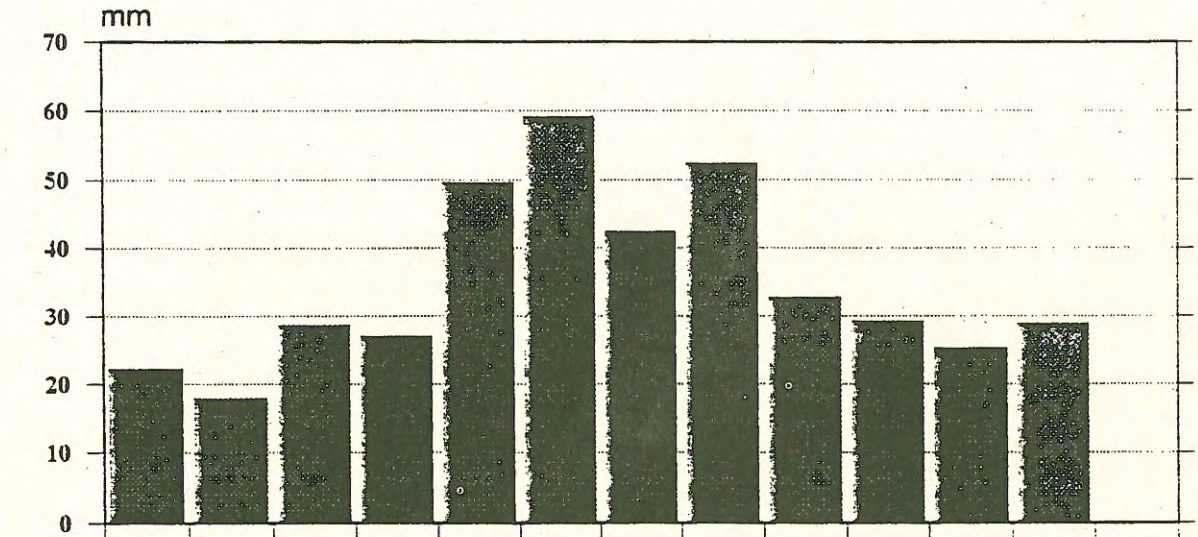


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	42,4	32,5	42,7	40,7	51,6	60,7	49,4	58,3	44,8	38,4	43,3	56,8	
NIED													561,6

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Wittenberg**

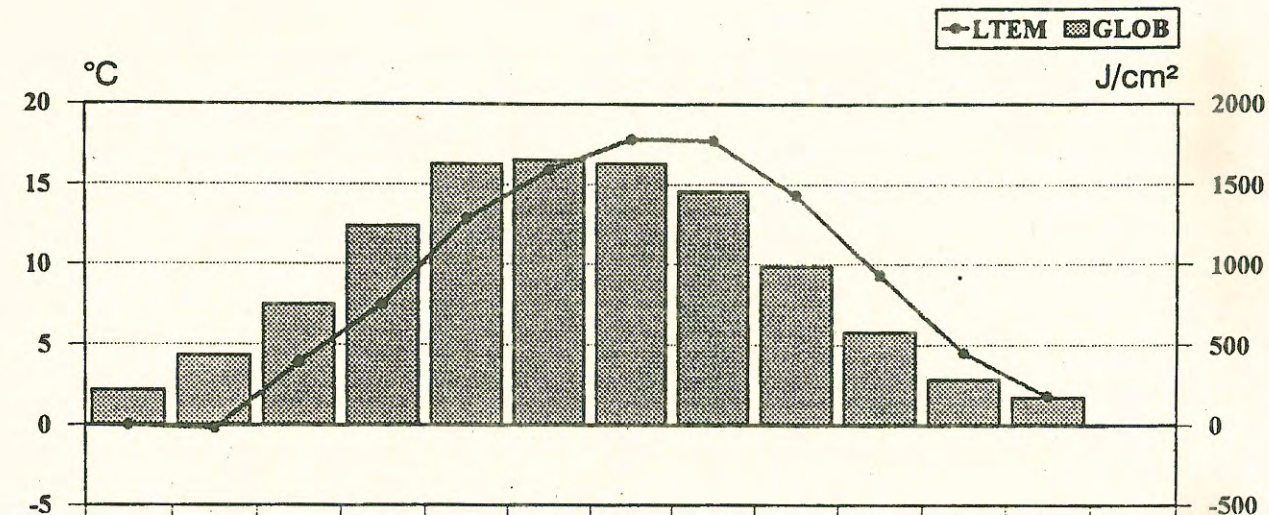


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	0,6	0,6	4,3	7,7	12,9	15,8	17,8	17,5	13,9	9,3	4,9	2,4	
GLOB	219,5	401,9	733,1	1144,2	1540,8	1596,7	1572,9	1355,5	908	535	270,3	158,1	
LTEM													9
GLOB													872

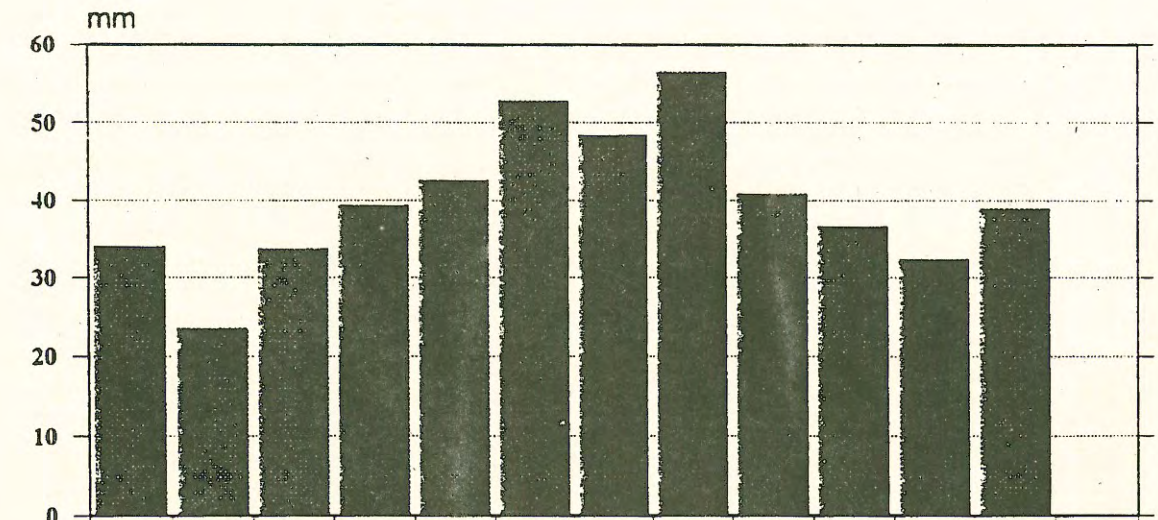


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	22,1	17,8	28,6	26,9	49,5	59,1	42,3	52,3	32,6	29,1	25,1	28,8	
NIED													414,2

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Quedlinburg**

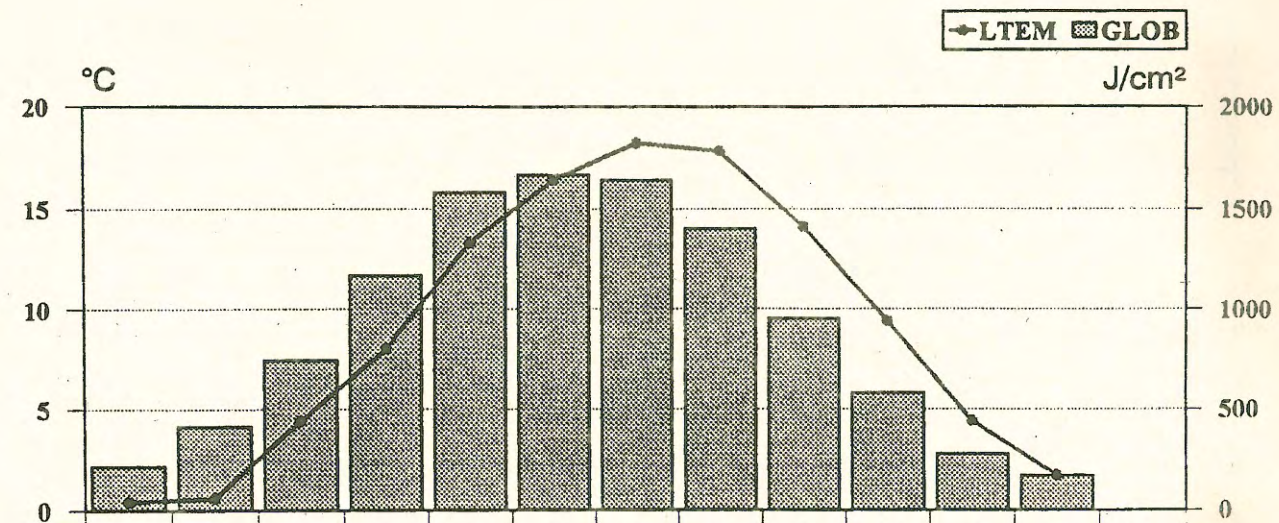


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	0	-0,2	3,9	7,5	12,8	15,9	17,8	17,7	14,3	9,3	4,5	1,8	
GLOB	219,4	435,5	749,7	1238,5	1625	1652,6	1628,6	1455,1	983,3	581,8	287,8	176,7	
LTEM													8,8
GLOB													921,8

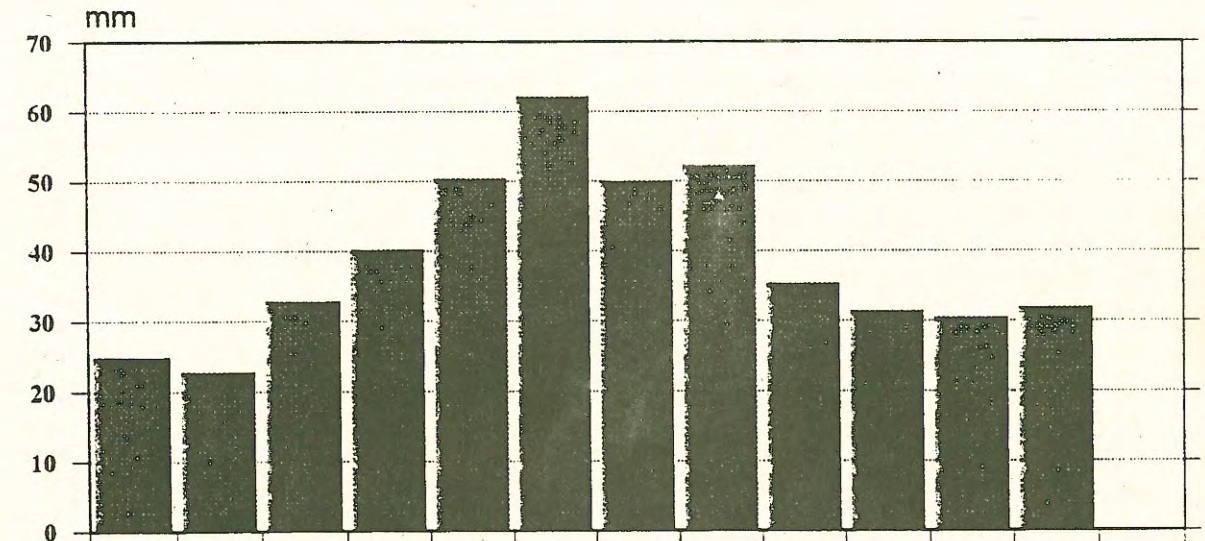


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	33,9	23,4	33,6	39,2	42,5	52,7	48,3	56,4	40,8	36,5	32,3	38,8	
NIED													478,3

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Schkeuditz**



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
LTEM	0,4	0,6	4,4	8	13,3	16,4	18,2	17,8	14,1	9,4	4,4	1,7	
GLOB	216,6	414,4	744,2	1167,8	1580,5	1666,4	1639,9	1399,7	952,4	582,3	274,9	167,7	
LTEM													9,1
GLOB													903



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
NIED	24,8	22,7	32,7	40,1	50,2	62	49,9	52,1	35,2	31,3	30,4	31,8	
NIED													463,4

Monatliche Verteilung der Witterungselemente Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung für **Bad Lauchstädt**

Vergleich der monatlichen Verteilungen von Lufttemperatur und Niederschlag (Meßwerte und Berechnungen des Wettergenerators) für 3 Klimastationen in Sachsen-Anhalt

	Wittenberg 1965-94				
	Meßwerte	Wettergenerator		Meßwerte	Wettergenerator
Monat	Lufttemperatur in °C			Niederschlag in mm	
1	-0,1	-0.1		43.1	42.4
2	0,2	0.2		33.1	32.5
3	4,1	4.1		43.3	42.7
4	7,9	7.9		41.8	40.7
5	13,4	13.4		52.3	51.6
6	16,5	16.5		61.1	60.7
7	18,4	18.4		50.2	49.4
8	17,9	17.9		59.2	58.3
9	13,9	13.9		46.0	44.8
10	9,2	9.2		39.6	38.4
11	4,1	4.1		44.5	43.3
12	1,3	1.3		57.4	56.8
	Magdeburg 1965-94				
	Meßwerte	Wettergenerator		Meßwerte	Wettergenerator
Monat	Lufttemperatur in °C			Niederschlag in mm	
1	0.3	0.3		34.7	34.0
2	0.5	0.5		30.1	29.2
3	4.3	4.3		39.2	38.3
4	8.0	8.0		37.7	36.7
5	13.2	13.2		47.4	46.0
6	16.1	16.1		63.3	61.4
7	17.9	17.9		48.1	46.5
8	17.5	17.5		51.7	50.6
9	13.8	13.8		38.1	37.2
10	9.3	9.3		31.2	30.4
11	4.4	4.4		36.5	35.7
12	1.7	1.7		43.6	42.9
	Bad Lauchstädt 1965-94				
	Meßwerte	Wettergenerator		Meßwerte	Wettergenerator
Monat	Lufttemperatur in °C			Niederschlag in mm	
1	0.4	0.4		25.5	24.8
2	0.6	0.6		23.4	22.7
3	4.4	4.4		34.0	32.7
4	8.0	8.0		41.2	40.1
5	13.3	13.3		51.0	50.2
6	16.4	16.4		63.4	62.0
7	18.2	18.2		51.5	49.9
8	17.8	17.8		53.7	52.1
9	14.1	14.1		36.0	35.2
10	9.4	9.4		32.7	31.3
11	4.4	4.4		31.2	30.4
12	1.7	1.7		32.9	31.8

Anlage 4

Bewirtschaftungsdaten

- Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989
- CREP-Wert für die Kreise Sachsen-Anhalts (Mittelwerte 1986 - 1989)
- Fruchtartenbezogene Standdarddaten für Bewirtschaftungsszenarien

Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis		Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0615	Jessen	1 Zuckerrüben	463	1316	4
		2 Kartoffeln	298	3030	10
		3 Sommergerste	47	869	3
		4 Hafergemenge	35	822	3
		5 Wintergerste	55	2139	7
		6 Winterroggen	34	6898	22
		7 Winterweizen	54	2577	8
		8 Silomais	385	2652	9
		9 Luzernegras	434	1227	4
		10 Kleegras	434	259	1
		11 Futterhülsenfrüchte	13	782	3
		12 Wiese	416	6330	21
		14 Ölfrüchte Gesamt	29	506	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	416	939	3
0701	Burg	1 Zuckerrüben	259	1975	5
		2 Kartoffeln	165	4015	11
		3 Sommergerste	34	1019	3
		4 Hafergemenge	34	298	1
		5 Wintergerste	45	3763	10
		6 Winterroggen	29	6965	18
		7 Winterweizen	44	3784	10
		8 Silomais	270	3943	11
		9 Luzernegras	338	1749	5
		10 Kleegras	398	544	1
		11 Futterhülsenfrüchte	10	463	1
		12 Wiese	286	6124	17
		14 Ölfrüchte Gesamt	21	633	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	184	1427	4
		18 Speisehülsenfrüchte	14	46	1
0703	Gardelegen	1 Zuckerrüben	250	1782	4
		2 Kartoffeln	237	5097	12
		3 Sommergerste	32	671	2
		4 Hafergemenge	33	379	1
		5 Wintergerste	39	3727	9
		6 Winterroggen	29	8937	21
		7 Winterweizen	41	2935	7
		8 Silomais	343	3327	8
		9 Luzernegras	324	339	1
		10 Kleegras	331	461	1
		11 Futterhülsenfrüchte	11	640	2
		12 Wiese	319	13307	30
		14 Ölfrüchte Gesamt	21	605	1
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	196	330	1
0704	Genthin	1 Zuckerrüben	295	778	3
		2 Kartoffeln	199	2369	8
		3 Sommergerste	34	764	3
		4 Hafergemenge	31	378	1
		5 Wintergerste	44	1339	5
		6 Winterroggen	29	6912	24
		7 Winterweizen	44	1447	5
		8 Silomais	276	2271	8
		9 Luzernegras	338	548	2
		10 Kleegras	342	397	1
		11 Futterhülsenfrüchte	11	361	1
		12 Wiese	304	10309	35
		14 Ölfrüchte Gesamt	22	351	1
		16 Sonstige Einjährige	201	773	3

Fortsetzung 1: Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0705 Halberstadt	1 Zuckerrüben	293	5433	11
	2 Kartoffeln	316	1988	4
	3 Sommergerste	45	4327	9
	4 Hafergemenge	42	897	2
	5 Wintergerste	58	6423	13
	6 Winterroggen	32	151	1
	7 Winterweizen	59	14063	30
	8 Silomais	399	3392	7
	9 Luzernegras	372	2446	5
	10 Kleegras	485	905	2
	11 Futterhülsenfrüchte	24	498	1
	12 Wiese	305	4271	9
	14 Ölfrüchte Gesamt	19	546	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	283	1448	3
	18 Speisehülsenfrüchte	26	1158	2
0706 Haldensleben	1 Zuckerrüben	308	3449	7
	2 Kartoffeln	242	4360	9
	3 Sommergerste	44	2125	5
	4 Hafergemenge	34	633	1
	5 Wintergerste	50	4366	9
	6 Winterroggen	28	7072	15
	7 Winterweizen	51	6556	14
	8 Silomais	328	3133	7
	9 Luzernegras	350	1376	3
	10 Kleegras	403	1234	3
	11 Futterhülsenfrüchte	15	590	1
	12 Wiese	314	10090	22
	14 Ölfrüchte Gesamt	23	705	2
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	244	1006	2
0707 Havelberg	1 Zuckerrüben	311	941	4
	2 Kartoffeln	173	1758	7
	3 Sommergerste	37	868	3
	4 Hafergemenge	33	387	1
	5 Wintergerste	44	1469	6
	6 Winterroggen	29	4311	16
	7 Winterweizen	45	1762	7
	8 Silomais	288	1833	7
	9 Luzernegras	258	623	2
	10 Kleegras	301	482	2
	11 Futterhülsenfrüchte	11	309	1
	12 Wiese	285	10999	41
	14 Ölfrüchte Gesamt	25	188	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	183	496	2
0709 Klötze	1 Zuckerrüben	278	1804	5
	2 Kartoffeln	262	4642	12
	3 Sommergerste	31	2145	6
	4 Hafergemenge	33	830	2
	5 Wintergerste	39	3128	8
	6 Winterroggen	31	7173	19
	7 Winterweizen	40	1757	5
	8 Silomais	383	2662	7
	9 Luzernegras	325	508	1
	10 Kleegras	349	502	1
	11 Futterhülsenfrüchte	11	114	1
	12 Wiese	333	10841	30
	14 Ölfrüchte Gesamt	22	491	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	235	936	2

Fortsetzung 2 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis		Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0710	Wolmirstedt	1 Zuckerrüben	359	1866	7
		2 Kartoffeln	224	2054	7
		3 Sommergerste	45	1995	7
		4 Hafergemenge	40	466	2
		5 Wintergerste	57	1923	7
		6 Winterroggen	29	3759	14
		7 Winterweizen	59	5280	17
		8 Silomais	364	2387	9
		9 Luzernegras	428	923	3
		10 Kleegras	427	461	2
		11 Futterhülsenfrüchte	20	738	3
		12 Wiese	281	3920	14
		14 Ölfrüchte Gesamt	27	444	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	186	1304	5
		18 Speisehülsenfrüchte	16	5	1
0711	Oschersleben	1 Zuckerrüben	269	3605	13
		2 Kartoffeln	288	1104	4
		3 Sommergerste	45	2344	9
		4 Hafergemenge	49	513	2
		5 Wintergerste	54	3476	13
		6 Winterroggen	29	90	1
		7 Winterweizen	58	8343	28
		8 Silomais	420	2085	8
		9 Luzernegras	382	1312	5
		10 Kleegras	415	418	2
		11 Futterhülsenfrüchte	20	573	2
		12 Wiese	297	2393	9
		14 Ölfrüchte Gesamt	24	647	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	225	348	1
		18 Speisehülsenfrüchte	24	150	1
0712	Osterburg	1 Zuckerrüben	341	2467	4
		2 Kartoffeln	218	4113	6
		3 Sommergerste	37	2234	3
		4 Hafergemenge	33	1099	2
		5 Wintergerste	48	6368	9
		6 Winterroggen	34	8127	12
		7 Winterweizen	46	8131	12
		8 Silomais	383	6115	9
		9 Luzernegras	376	1642	2
		10 Kleegras	403	823	1
		11 Futterhülsenfrüchte	19	448	1
		12 Wiese	278	23083	33
		14 Ölfrüchte Gesamt	24	1594	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	270	2894	4
0713	Salzwedel	1 Zuckerrüben	297	4277	8
		2 Kartoffeln	262	5424	10
		3 Sommergerste	37	2236	4
		4 Hafergemenge	34	1494	3
		5 Wintergerste	45	5483	10
		6 Winterroggen	35	5675	10
		7 Winterweizen	44	5421	10
		8 Silomais	336	2805	5
		9 Luzernegras	376	1050	2
		10 Kleegras	413	647	1
		11 Futterhülsenfrüchte	13	1262	2
		12 Wiese	304	16441	31
		14 Ölfrüchte Gesamt	24	1272	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	216	1169	2

Fortsetzung 3 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis		Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0714	Schönebeck	1 Zuckerrüben	275	2849	10
		2 Kartoffeln	221	1502	5
		3 Sommergerste	39	2760	9
		4 Hafergemenge	37	464	2
		5 Wintergerste	48	4135	14
		6 Winterroggen	40	167	1
		7 Winterweizen	52	8127	26
		8 Silomais	394	2992	10
		9 Luzernegras	356	1069	4
		10 Kleegras	470	468	2
		11 Futterhülsenfrüchte	20	109	1
		12 Wiese	290	2618	9
		14 Ölfrüchte Gesamt	21	839	3
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	214	713	2
		18 Speisehülsenfrüchte	26	668	2
0716	Staßfurt	1 Zuckerrüben	296	4359	15
		2 Kartoffeln	279	809	3
		3 Sommergerste	50	3337	12
		4 Hafergemenge	49	282	1
		5 Wintergerste	60	2690	9
		6 Winterroggen	40	100	1
		7 Winterweizen	61	9148	32
		8 Silomais	462	1322	5
		9 Luzernegras	373	1828	6
		10 Kleegras	421	576	2
		11 Futterhülsenfrüchte	30	909	3
		12 Wiese	227	1416	5
		14 Ölfrüchte Gesamt	26	540	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	231	887	3
		18 Speisehülsenfrüchte	28	168	1
0717	Stendal	1 Zuckerrüben	277	3372	6
		2 Kartoffeln	232	5569	11
		3 Sommergerste	37	1122	2
		4 Hafergemenge	33	667	1
		5 Wintergerste	47	5191	10
		6 Winterroggen	35	8462	16
		7 Winterweizen	46	5648	11
		8 Silomais	287	4405	8
		9 Luzernegras	362	1629	3
		10 Kleegras	390	341	1
		11 Futterhülsenfrüchte	13	430	1
		12 Wiese	337	13424	27
		14 Ölfrüchte Gesamt	24	1072	2
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	196	639	1
0719	Wanzleben	1 Zuckerrüben	357	4576	13
		2 Kartoffeln	325	1104	3
		3 Sommergerste	50	3235	9
		4 Hafergemenge	55	776	2
		5 Wintergerste	62	4026	11
		6 Winterroggen	35	6	1
		7 Winterweizen	61	12134	33
		8 Silomais	503	3345	9
		9 Luzernegras	412	2335	6
		10 Kleegras	457	431	1
		11 Futterhülsenfrüchte	31	542	1
		12 Wiese	267	1818	5
		14 Ölfrüchte Gesamt	25	970	3
		16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	248	751	2
		18 Speisehülsenfrüchte	29	490	1

Fortsetzung 4: Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0720 Wernigerode	1 Zuckerrüben	325	1366	8
	2 Kartoffeln	284	793	5
	3 Sommergerste	44	1729	11
	4 Hafergemenge	39	266	2
	5 Wintergerste	56	2603	16
	6 Winterroggen	37	117	1
	7 Winterweizen	55	3750	22
	8 Silomais	360	1244	8
	9 Luzernegras	390	743	5
	10 Kleegras	413	654	4
	11 Futterhülsenfrüchte	22	231	1
	12 Wiese	238	1968	12
	14 Ölfrüchte Gesamt	22	365	2
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	221	387	2
	18 Speisehülsenfrüchte	20	92	1
0721 Zerbst	1 Zuckerrüben	262	2181	5
	2 Kartoffeln	190	4685	11
	3 Sommergerste	32	1786	4
	4 Hafergemenge	28	1008	2
	5 Wintergerste	42	3159	8
	6 Winterroggen	29	11281	29
	7 Winterweizen	43	2969	7
	8 Silomais	282	3015	7
	9 Luzernegras	341	1694	4
	10 Kleegras	384	182	1
	11 Futterhülsenfrüchte	11	284	1
	12 Wiese	326	6740	17
	14 Ölfrüchte Gesamt	23	986	2
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	173	584	1
	18 Speisehülsenfrüchte	15	280	1
0802 Aschersleben	1 Zuckerrüben	275	3069	13
	2 Kartoffeln	293	1010	4
	3 Sommergerste	50	2031	8
	4 Hafergemenge	43	311	1
	5 Wintergerste	61	3029	13
	6 Winterroggen	34	22	1
	7 Winterweizen	58	7794	32
	8 Silomais	497	2765	11
	9 Luzernegras	372	1530	6
	10 Kleegras	615	153	1
	11 Futterhülsenfrüchte	22	573	2
	12 Wiese	458	1157	5
	14 Ölfrüchte Gesamt	27	54	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	476	336	1
	18 Speisehülsenfrüchte	18	358	1
0803 Bernburg	1 Zuckerrüben	274	3067	12
	2 Kartoffeln	235	1113	4
	3 Sommergerste	45	2700	11
	4 Hafergemenge	38	351	1
	5 Wintergerste	56	3319	13
	7 Winterweizen	55	7805	31
	8 Silomais	422	2852	11
	9 Luzernegras	388	2108	8
	10 Kleegras	470	264	1
	11 Futterhülsenfrüchte	20	586	2
	12 Wiese	221	587	2
	14 Ölfrüchte Gesamt	25	99	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	304	382	1
	18 Speisehülsenfrüchte	31	417	2

Fortsetzung 5 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0804 Bitterfeld	1 Zuckerrüben	280	2086	9
	2 Kartoffeln	243	1848	8
	3 Sommergerste	42	1572	7
	4 Hafergemenge	33	370	2
	5 Wintergerste	49	3190	14
	6 Winterroggen	36	1177	5
	7 Winterweizen	47	4952	20
	8 Silomais	340	2166	10
	9 Luzernegras	374	1572	7
	10 Kleegras	492	349	2
	12 Wiese	275	2765	12
	14 Ölfrüchte Gesamt	14	96	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	235	373	2
	18 Speisehülsenfrüchte	26	135	1
0805 Eisleben	1 Zuckerrüben	312	1184	7
	2 Kartoffeln	288	847	5
	3 Sommergerste	50	936	6
	4 Hafergemenge	47	262	2
	5 Wintergerste	62	2242	14
	6 Winterroggen	45	18	1
	7 Winterweizen	60	5204	30
	8 Silomais	450	1484	9
	9 Luzernegras	394	1429	9
	10 Kleegras	428	111	1
	11 Futterhülsenfrüchte	24	25	1
	12 Wiese	220	1022	6
	14 Ölfrüchte Gesamt	33	13	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	269	735	5
	18 Speisehülsenfrüchte	33	480	3
0806 Gräfenhainichen	1 Zuckerrüben	353	330	3
	2 Kartoffeln	223	1277	12
	3 Sommergerste	33	601	5
	4 Hafergemenge	33	190	2
	5 Wintergerste	48	1037	9
	6 Winterroggen	31	1644	15
	7 Winterweizen	47	1321	12
	8 Silomais	335	1082	10
	9 Luzernegras	416	263	2
	10 Kleegras	522	295	3
	12 Wiese	320	2830	25
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	174	203	2
0807 Saalkreis	1 Zuckerrüben	282	5450	12
	2 Kartoffeln	243	3584	8
	3 Sommergerste	47	3455	7
	4 Hafergemenge	37	283	1
	5 Wintergerste	58	6915	15
	6 Winterroggen	31	697	2
	7 Winterweizen	56	13740	27
	8 Silomais	414	4039	9
	9 Luzernegras	456	3241	7
	10 Kleegras	446	324	1
	11 Futterhülsenfrüchte	20	70	1
	12 Wiese	342	1417	3
	14 Ölfrüchte Gesamt	22	484	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	269	1066	2
	18 Speisehülsenfrüchte	25	1627	4

Fortsetzung 6 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0808 Hettstedt	1 Zuckerrüben	280	2067	8
	2 Kartoffeln	244	1170	5
	3 Sommergerste	44	1763	7
	4 Hafergemenge	38	631	3
	5 Wintergerste	52	3519	14
	6 Winterroggen	40	278	1
	7 Winterweizen	51	6887	26
	8 Silomais	386	2637	10
	9 Luzernegras	379	1520	6
	10 Kleegras	382	614	2
	11 Futterhülsenfrüchte	21	5	1
	12 Wiese	221	2454	10
	14 Ölfrüchte Gesamt	20	306	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	276	960	4
	18 Speisehülsenfrüchte	28	398	2
0809 Köthen	1 Zuckerrüben	247	3554	10
	2 Kartoffeln	217	2887	8
	3 Sommergerste	41	2293	7
	4 Hafergemenge	34	486	1
	5 Wintergerste	52	5035	14
	6 Winterroggen	29	1518	4
	7 Winterweizen	50	8473	23
	8 Silomais	355	3417	10
	9 Luzernegras	397	2467	7
	10 Kleegras	415	988	3
	11 Futterhülsenfrüchte	19	140	1
	12 Wiese	325	2594	7
	14 Ölfrüchte Gesamt	23	116	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	234	699	2
	18 Speisehülsenfrüchte	25	584	2
0810 Laucha	1 Zuckerrüben	297	1876	10
	2 Kartoffeln	289	889	5
	3 Sommergerste	48	1564	8
	4 Hafergemenge	41	513	3
	5 Wintergerste	59	2718	14
	6 Winterroggen	42	58	1
	7 Winterweizen	57	5334	24
	8 Silomais	398	1438	7
	9 Luzernegras	534	708	4
	10 Kleegras	537	634	3
	11 Futterhülsenfrüchte	25	1012	5
	12 Wiese	299	1942	10
	14 Ölfrüchte Gesamt	21	355	2
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	268	545	3
	18 Speisehülsenfrüchte	30	30	1
0811 Merseburg	1 Zuckerrüben	315	3115	12
	2 Kartoffeln	246	1831	7
	3 Sommergerste	49	2856	11
	4 Hafergemenge	48	379	2
	5 Wintergerste	60	3334	13
	6 Winterroggen	42	222	1
	7 Winterweizen	55	7490	29
	8 Silomais	404	2027	8
	9 Luzernegras	439	1622	6
	10 Kleegras	500	375	1
	12 Wiese	301	1693	7
	14 Ölfrüchte Gesamt	28	49	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	289	94	1
	18 Speisehülsenfrüchte	33	130	1

Fortsetzung 7 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0812 Naumburg	1 Zuckerrüben	325	2547	11
	2 Kartoffeln	294	1623	7
	3 Sommergerste	50	2403	10
	4 Hafergemenge	45	336	1
	5 Wintergerste	55	2785	12
	6 Winterroggen	41	80	1
	7 Winterweizen	56	6801	28
	8 Silomais	445	2153	9
	9 Luzernegras	453	927	4
	10 Kleegras	489	553	2
	11 Futterhülsenfrüchte	23	27	1
	12 Wiese	305	2238	10
	14 Ölfrüchte Gesamt	24	116	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	265	382	2
	18 Speisehülsenfrüchte	24	156	1
0813 Quedlinburg	1 Zuckerrüben	301	591	4
	2 Kartoffeln	257	590	4
	3 Sommergerste	43	1701	10
	4 Hafergemenge	41	366	2
	5 Wintergerste	59	1954	12
	6 Winterroggen	38	198	1
	7 Winterweizen	55	3755	23
	8 Silomais	399	1355	8
	9 Luzernegras	381	467	3
	10 Kleegras	379	1337	8
	11 Futterhülsenfrüchte	23	244	1
	12 Wiese	260	2808	17
	14 Ölfrüchte Gesamt	23	173	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	328	946	6
0814 Querfurt	1 Zuckerrüben	322	3832	15
	2 Kartoffeln	316	1537	6
	3 Sommergerste	54	2024	8
	4 Hafergemenge	46	410	2
	5 Wintergerste	65	4098	16
	6 Winterroggen	29	12	1
	7 Winterweizen	63	8338	28
	8 Silomais	432	2426	9
	9 Luzernegras	479	2222	8
	10 Kleegras	462	89	1
	11 Futterhülsenfrüchte	22	367	1
	12 Wiese	217	687	3
	14 Ölfrüchte Gesamt	31	60	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	222	254	1
0815 Roßlau	1 Zuckerrüben	349	358	2
	2 Kartoffeln	267	2622	16
	3 Sommergerste	40	293	2
	4 Hafergemenge	27	180	1
	5 Wintergerste	48	1600	10
	6 Winterroggen	33	3813	22
	7 Winterweizen	47	1097	7
	8 Silomais	348	1499	9
	9 Luzernegras	396	126	1
	10 Kleegras	578	497	3
	11 Futterhülsenfrüchte	15	263	2
	12 Wiese	332	3718	21
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	305	677	4

Fortsetzung 8 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0816 Sangerhausen	1 Zuckerrüben	255	2066	6
	2 Kartoffeln	232	1801	6
	3 Sommergerste	41	3614	11
	4 Hafergemenge	34	770	2
	5 Wintergerste	49	3781	12
	6 Winterroggen	39	674	2
	7 Winterweizen	48	6901	21
	8 Silomais	340	2196	7
	9 Luzernegras	354	1712	5
	10 Kleegras	404	1512	5
	11 Futterhülsenfrüchte	25	51	1
	12 Wiese	265	5257	16
	14 Ölfrüchte Gesamt	20	470	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	218	1151	4
	18 Speisehülsenfrüchte	30	205	1
0817 Hohenmölsen	1 Zuckerrüben	338	1567	14
	2 Kartoffeln	302	565	5
	3 Sommergerste	51	838	8
	4 Hafergemenge	51	187	2
	5 Wintergerste	61	1401	13
	6 Winterroggen	43	6	1
	7 Winterweizen	57	3360	29
	8 Silomais	436	1002	9
	9 Luzernegras	430	931	9
	10 Kleegras	664	204	2
	12 Wiese	479	658	6
	14 Ölfrüchte Gesamt	25	95	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	223	41	1
0818 Weißenfels	1 Zuckerrüben	315	2237	13
	2 Kartoffeln	271	1119	7
	3 Sommergerste	49	1561	9
	4 Hafergemenge	45	142	1
	5 Wintergerste	61	2347	14
	7 Winterweizen	58	5077	31
	8 Silomais	428	1507	9
	9 Luzernegras	445	740	4
	10 Kleegras	469	234	1
	12 Wiese	435	1457	9
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	357	150	1
	18 Speisehülsenfrüchte	30	135	1
0819 Wittenberg	1 Zuckerrüben	341	1062	3
	2 Kartoffeln	227	3356	11
	3 Sommergerste	39	1028	3
	4 Hafergemenge	33	735	2
	5 Wintergerste	50	2411	8
	6 Winterroggen	34	6511	21
	7 Winterweizen	49	3051	10
	8 Silomais	364	2948	9
	9 Luzernegras	451	611	2
	10 Kleegras	449	850	3
	11 Futterhülsenfrüchte	14	667	2
	12 Wiese	325	7593	23
	14 Ölfrüchte Gesamt	29	50	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	261	502	2

Fortsetzung 9 : Anbauflächen, Erträge und Anbauverhältnisse der in den Kreisen Sachsen-Anhalts angebauten Fruchtarten, Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Fruchtart	Ertrag dt/ha	Fläche ha	Anbau-verhältnis %
0820 Zeitz	1 Zuckerrüben	325	2136	9
	2 Kartoffeln	266	1575	7
	3 Sommergerste	46	1692	8
	4 Hafergemenge	45	92	1
	5 Wintergerste	56	3700	16
	6 Winterroggen	38	26	1
	7 Winterweizen	54	6058	25
	8 Silomais	362	2119	9
	9 Luzernegras	399	787	4
	10 Kleegras	437	1083	5
	12 Wiese	286	2997	13
	14 Ölfrüchte Gesamt	15	121	1
	16 Sonstige Einjährige Futterpflanzen	254	115	1

C_{REP} - Werte für die Kreise Sachsen-Anhalts Mittelwerte 1986 - 1989

Kreis	Pflanze	Zwischenfrucht	Stalldung	Gülle	C_{REP} gesamt
Jessen	621	50	336	66	1073
Burg	552	38	355	58	1003
Gardelegen	709	41	307	67	1124
Genthin	769	30	287	85	1171
Halberstadt	513	35	282	84	914
Haldensleben	615	41	331	63	1050
Havelberg	847	24	262	75	1208
Klötze	677	45	215	116	1053
Wolmirstedt	542	32	329	58	961
Oschersleben	497	37	291	58	883
Osterburg	762	23	277	67	1129
Salzwedel	704	36	242	93	1075
Schönebeck	498	40	288	41	867
Staßfurt	460	26	273	81	840
Stendal	660	44	353	52	1109
Wanzleben	481	23	302	85	891
Wernigerode	547	42	376	55	1020
Zerbst	539	47	239	63	888
Aschersleben	468	63	410	53	994
Bernburg	439	35	401	8	883
Bitterfeld	522	47	334	80	983
Eisleben	511	26	313	50	900
Gräfenhainichen	659	43	182	150	1034
Saalkreis	446	37	345	61	889
Hettstedt	519	27	352	61	959
Köthen	481	54	411	32	978
Laucha	523	34	374	45	976
Merseburg	469	23	361	77	930
Naumburg	504	37	411	52	1004
Quedlinburg	621	37	280	93	1031
Querfurt	442	44	401	32	919
Roßlau	612	64	355	78	1109
Sangerhausen	585	18	345	39	987
Hohenmölsen	478	46	218	170	912
Weißenfels	490	35	371	54	950
Wittenberg	650	56	264	114	1084
Zeitz	552	42	432	42	1068

Fruchtartenbezogene Standarddaten für Bewirtschaftungsszenarien

Tabelle muster.dbf Stand: 18.12.1996

Pflanze	Termin	Macode	Rein	Wert1	Wert2	Origwert	Erntejahr
Ackerbohnen	01.03.00	0	N	0	0	0,00	0
	15.03.00	1		16	198	33,00	
	30.07.00	2		0			
Ackergras		3		2	1.500	166,70	
	31.07.00	5		0	2	20,00	
	05.08.00	0			0	0,00	
	20.08.00	1		17			
	30.05.00	4		1	50	100,00	1
	30.07.00					80,00	
	01.10.00	2		0	0	0,00	
Erbsen	. .	3		2	1.500	166,70	0
		4		1	50	0,00	
	30.03.00	5		0	2	20,00	
		0			0	0,00	
	15.04.00	1		27			
	30.07.00	2		0		30,00	
Hafer	01.10.00	3		2	1.500	166,70	-1
	02.10.00	5		0	2	20,00	
	30.03.00	4		1	50	0,00	0
	10.04.00	0		0	0		
	25.04.00	1		9			
	30.09.00	2		0			
Kartoffeln	01.10.00	3		2	1.500	166,70	-1
	02.10.00	5		0	2	20,00	
	01.05.00	4		1	50	0,00	0
	02.05.00	0		0	0		
	15.05.00	1		4			
	10.10.00	2		0			
Kleegras	. .	3		2	1.500	166,70	
		4		1	50	0,00	
		5		0	2	20,00	
	01.05.00	0			0	0,00	
	15.05.00	1		25			
	10.10.00	2		0			

Pflanze	Termin	Macode	Rein	Wert1	Wert2	Origwert	Erntejahr
Luzerne	. .	3		2	1.500	166,70	
		4		1	50	0,00	
		5		0	2	20,00	
	30.03.00	0			0	0,00	
	15.04.00	1		14			
	01.09.00	2		0			
Luzernegras	01.10.00	3		2	1.500	166,70	-1
	02.10.00	5		0	2	20,00	
	. .	4		1	50	0,00	0
	30.03.00	0		0	0		
	15.04.00	1		25			
	01.09.00	2		0			
Raps		3		2	1.500	166,70	
	02.09.00	5		0	2	20,00	
	10.09.00	0			0	0,00	
	25.09.00	1		22			
	26.09.00	4		1	50	60,00	
	20.03.00	3		2	1.500	166,70	1
	21.03.00	5		0	2	20,00	
	15.04.00	4		1	50	0,00	
	20.07.00	2		0	0		
Rotklee	. .	3		2	1.500	166,70	0
		4		1	50	0,00	
		5		0	2	20,00	
	10.04.00	0			0	0,00	
	25.04.00	1		15			
	30.09.00	2		0			
SG	01.03.00	3		2	1.500	166,70	
	02.03.00	5		0	2	20,00	
	16.03.00	0			0	0,00	
	30.03.00	1		8			
	09.05.00	4		1	50		
	23.07.00	2		0	0		
	24.07.00	5			2	20,00	
Silomais	15.04.00	3		2	1.500	166,70	
	16.04.00	5		0	2	20,00	
	10.05.00	4		1	50	0,00	
		0		0	0		
	25.05.00	1		13			

Pflanze	Termin	Macode	Rein	Wert1	Wert2	Origwert	Erntejahr
	20.09.00	2		0			
Sonnenblumen	. .	4		1	50		
	10.05.00	1		0	0	35,00	
	01.08.00	2				0,00	
WG	19.08.00	3		2	1.500	166,70	
	20.08.00	5		0	2	20,00	
	15.09.00	0			0	0,00	
	30.09.00	1		10			
	01.04.00	4		1	50		1
	30.04.00						
	20.07.00	2		0	0		
WRo	25.09.00	0					0
	10.10.00	1		11			
	15.03.00	3		14	750	143,00	1
	16.03.00	5		0	1	10,00	
	20.03.00	4		1	50	0,00	
	10.07.00	2		0	0		
WW	19.08.00	3		2	1.500	166,70	0
	20.08.00	5		0	2	20,00	
	05.10.00	0			0	0,00	
	20.10.00	1		12			
	01.03.00	3		14	750	143,00	1
	02.03.00	5		0	1	10,00	
	07.04.00	4		1	50	0,00	
	12.05.00						
	03.08.00	2		0	0		
ZR	19.08.00	3		2	1.500	166,70	-1
	20.08.00	5		0	2	20,00	
	21.03.00	4		1	50	100,00	0
	22.03.00	5		0	2	20,00	
	10.04.00	1		1	0	0,00	
	25.04.00	4			50	60,00	
	26.04.00	5		0	1	10,00	
	10.06.00	4		1	50	40,00	
	11.06.00	5		0	1	10,00	
	17.10.00	2			0	0,00	
	18.10.00	5			2	20,00	

Anlage 5

Methodenbeschreibung

- Dokumentation der Berechnungsalgorithmen für die Aufstellung der Szenarien
- Optimierungsverfahren zur Anpassung der herbstlichen NMIN-Werte
- Ableitung der Parameter für die Wettergeneratoren

Dokumentation der Berechnungsalgorithmen für die Aufstellung der Scenarien

Berechnung der C_{REP} - Werte

Die Berechnung des reproduktionswirksamen Kohlenstoffes erfolgte getrennt für Haupt- und Zwischenfrüchte, Stalldung und Gülle. Die errechneten Werte ergeben in der Summe den gesamten reproduktionswirksamen Kohlenstoff. Damit die Daten schneller zu bearbeiten sind, war es erforderlich, die zur Verfügung stehenden Tabellen aus der Betriebsdatenbank von ISEV-REDACOM umzustellen. Außerdem mußten die auf Betriebsebene vorliegenden Daten auf Kreisebene umgerechnet werden, da für das GIS keine Betriebs- oder Gemeindegrenzen zur Verfügung standen.

Berechnung der C_{REP} - Werte für die Pflanzenproduktion:

1. Hauptfrüchte

Aus den Betriebsdaten wurden die zur Berechnung herangezogenen Kulturen zusammengestellt und zu den in der CANDY-Parameterdatei angegebenen Fruchtarten über die gemeinsame Variable "lfnr" zugeordnet. Die Erträge und Anbauflächen je Fruchtart und Kooperation wurden berechnet und daraus die entsprechenden Erträge je Kreis sowie die Anbauverhältnisse je Kreis. Als Gesamtanbaufläche bzw. 100 % wurde die Summe der Anbaufläche der berücksichtigten Fruchtarten je Kreis gebildet. Eingangsgrößen für die C_{REP} -Berechnung sind die Erträge in dt/ha je Kreis.

Die Gesamterträge je Fruchtart in dt jeder Kooperation (KOOP) werden aus den Hektarerträgen und den entsprechenden Anbauflächen für jede KOOP berechnet:
[KOOP_Erträge in dt] = [KOOP_Erträge in dt/ha] * [KOOP_Anbauflächen in ha]
Für jeden Kreis wird die Summe der Erträge und der Anbauflächen aus jeder KOOP je Fruchtart gebildet, um daraus die Hektarerträge je Kreis zu berechnen:
[Kreis_Erträge in dt] = Summe[KOOP_Erträge in dt]
[Kreis_Anbauflächen in ha] = Summe[KOOP_Anbauflächen in ha]
[Kreis_Erträge in dt/ha] = [Kreis_Erträge in dt] / [Kreis_Anbauflächen in ha]
Berechnung der C_{REP} -Werte ohne Berücksichtigung des Anbauverhältnisses :
[C_{REP} -Pflanze je Fruchtart in kg/ha] =
([Kreis_Ertrag in dt/ha]* [N-Gehalt in kg/dt FM nach CANDY]* F_{EWR} + K_{EWR}) * CNR * eta / (1 + F_{EWR})
C_{REP} -Wert mit Berücksichtigung des Anbauverhältnisses :
[C_{REP} -Pflanze je Fruchtart je Kreis in kg/ha] = [C_{REP} -Pflanze je Fruchtart] * [Flächenanteil je Fruchtart]
Für jeden Kreis wird die Summe aller C_{REP} -Werte der Fruchtarten gebildet :
[C_{REP} -Pflanze kg/ha] = Summe [C_{REP} -Pflanze je Fruchtart kg/ha]

Diese Werte gehen in die Berechnung des C_{REP} -Gesamt-Wertes je Kreis ein.

2. Zwischenfrüchte

Die Datensätze zu Sommer- und Winterzwischenfrüchten wurden aus der Betriebsdatenbank selektiert und zu den in der CANDY-Parameterdatei angegebenen Fruchtarten über die gemeinsame Variable "lfnr" zugeordnet. Hier ist zu beachten, daß mit „Fruchtart“ die zwei Gruppen „Sommerzwischenfrüchte“ und „Winterzwischenfrüchte“ und keine einzelnen Pflanzenarten bezeichnet sind. Zwischenfrüchte sind verschiedene Fruchtarten, wurden aber nur mit je einem Parameter nach CANDY berechnet : Winterzwischenfrüchte als Winterfutterroggen, Sommerzwischenfrüchte als Stoppelfrucht.

Zunächst wurden die Erträge und Anbauflächen für Sommer- und Winterzwischenfrüchte je Kreis berechnet. Eingangsgröße für die C_{REP} -Berechnung sind die Erträge in dt/ha je Kreis.

Für jeden Kreis wird die Summe der Anbauflächen aller Kooperationen (KOOP) gebildet :

[Kreis_Fläche in ha je Fruchtart] = Summe [KOOP_Flächen in ha je Fruchtart] je Kreis
Berechnung des Anbauflächenanteils, d.h. auf wieviel % der Gesamtanbaufläche Zwischenfrüchte (Zwf) angebaut wurden:

[Flächenanteil Zwf %] = [Fläche je Fruchtart in ha] * 100 / [Kreis_Fläche in ha]
Die Gesamterträge jeder Fruchtart in dt werden aus den Hektarerträgen und den entsprechenden Anbauflächen für jede KOOP berechnet:

[KOOP_Erträge in dt] = [KOOP_Erträge in dt/ha] * [KOOP_Anbauflächen in ha]
Für jeden Kreis wird je Fruchtart die Summe der Erträge aller KOOP gebildet :

[Kreis_Erträge in dt] = Summe[KOOP_Erträge in dt] je Kreis
Berechnung der Erträge in dt/ha je Kreis :

[Kreis_Erträge in dt/ha] = [Kreis_Erträge in dt] / [Kreis_Anbauflächen in ha]

Berechnungen der C_{REP} -Werte je Kreis je Fruchtart ohne Berücksichtigung des Anbauverhältnisses :

[C_{REP} -Zwischenfrüchte je Fruchtart in kg/ha] =
([Kreis_Ertrag in dt/ha]* [N-Gehalt in kg/dt FM nach CANDY]* F_{EWR} + K_{EWR}) * CNR * eta / (1 + F_{EWR})

C_{REP} -Wert mit Berücksichtigung des Anbauverhältnisses :

[C_{REP} -Zwischenfrüchte in kg/ha] je Fruchtart je Kreis =
[C_{REP} -Zwischenfrüchte je Fruchtart in kg/ha] * [Flächenanteil je Fruchtart]

Für jeden Kreis wird die Summe der C_{REP} -Werte der Fruchtarten gebildet :

[C_{REP} - Zwischenfrüchte in kg/ha je Kreis]= Summe [C_{REP} - Zwischenfrüchte je Fruchtart in kg/ha] je Kreis

Diese Werte gehen in die Berechnung des C_{REP} -Gesamt-Wertes je Kreis ein.

Berechnung der C_{REP} - Werte für die Tierproduktion:
Das Verhältnis der auf Gülle gehaltenen Tiere zu auf Stalldung gehaltenen Tiere wurde ermittelt. Folgende „Anbaufläche in ha je Kreis" ist die als 100 % angenommene Fläche für die Pflanzenproduktion.

1. Stalldung :

Es erfolgte die Zuordnung zu den in der CANDY-Parameterdatei angegebenen Werten für Stalldung, verrottet, 9%C . Eingangsgrößen für die C_{REP} -Berechnung sind die Stickstoffanfallmengen in kg je Kreis. Es erfolgte keine Trennung nach Tierarten und verschiedenen Stufen im Rotteprozeß. Bei fgv-gesamt wurden Pferde nicht berücksichtigt.

Berechnung der Stickstoffanfallmengen (N) insgesamt in kg ohne Berücksichtigung, wieviel % der Tiere auf Stalldung gehalten wurden (im Verhältnis zu fgv auf Gülle) :

[Gesamt_N je Tierart je KOOP in kg] = [N aus Stalldung in kg je Tierart in fgv] * [fgv_gesamt]

[N in kg je Kreis] = Summe[Gesamt_N je Tierart je KOOP in kg]

Berechnung der Stickstoffmenge für den Anteil der Tiere, die tatsächlich auf Stallmist gehalten wurden :

[tatsächliche N in kg je Kreis] = [N aus Stalldung je Kreis in kg] * [Anteil der auf Stalldung gehaltenen Tiere]

[C_{REP} -Menge in kg je Kreis] = [N in kg je Kreis] * eta * CNR

[C_{REP} -Menge in kg / ha] = [C_{REP} -Menge in kg je Kreis] / [Anbaufläche in ha je Kreis]

Diese Werte gehen in die Berechnung des C_{REP} -Gesamt-Wertes je Kreis ein.

2. Gülle:

Es erfolgte die Zuordnung zu den in der CANDY-Parameterdatei angegebenen Werten für Gülle der verschiedenen Tierarten. Es wurde keine Trennung nach verschiedenen Trockensubstanzgehalten vorgenommen. Eingangsgröße für die C_{REP} -Berechnung sind die Stickstoffanfallmengen in kg je Tierart je Kreis.

Berechnung der Stickstoffanfallmengen (N) gesamt in kg ohne Berücksichtigung, wieviel % der Tiere auf Gülle gehalten wurden (im Verhältnis zu fgv auf Stalldung) :

[Gesamt_N je Tierart je KOOP in kg] = [N aus Gülle in kg je Tierart in fgv] * [fgv_gesamt]
[N in kg je Kreis je Tierart] = Summe[Gesamt_N je Tierart je KOOP in kg]

[N in kg je Kreis] = Summe[Gesamt_N aller Tierarten je KOOP in kg]

[tatsächliche N in kg je Kreis] = [N in kg je Kreis] * [Anteil der auf Gülle gehaltenen Tiere]

Berechnung der Anteile der verschiedenen Tierarten an den Gesamtstickstoffanfallmengen :
[Anteil je Tierart] = [N in kg je Kreis und Tierart] * 100 / [N in kg je Kreis]

[N in kg je Kreis je Tierart] = [N in kg je Kreis] * [Anteil je Tierart] / 100

[C_{REP} -Menge in kg je Kreis je Tierart] = [N in kg je Kreis je Tierart] * eta * CNR

[C_{REP} -Menge in kg je Kreis] = Summe[C_{REP} -Menge in kg je Kreis je Tierart] aller Tierarten

[C_{REP} -Menge in kg / ha] = [C_{REP} -Menge in kg je Kreis] / [Anbaufläche in ha je Kreis]

Diese Werte gehen in die Berechnung des C_{REP} -Gesamt-Wertes je Kreis ein.

Bedeutung der Kürzel :
F_{EWR} => Faktor für ertragsabhängigen Zuschlag durch Ernte- und Wurzelrückstände
K_{EWR} => konstante N-Menge der Ernte- und Wurzelrückstände, ertragsunabhängig
C_{REP} => reproduktionswirksamer Kohlenstoff (kg /ha)
eta => Synthesekoeffizient
CNR => Kohlenstoff - Stickstoff - Verhältnis

Optimierungsverfahren: Anpassung der herbstlichen N_{MIN}-Werte

Ausgehend von einer Bewirtschaftungsfolge, bei der die Mineraldüngung dem vorgegebenen Entzugsziel entsprach, wurde eine modifizierte Variante gesucht, bei der ein vorgegebener N_{MIN}-Wert am 1.11. jedes Jahres möglichst gut durch die Simulation abgebildet wird. Dieser Zielwert (50, 100, 150 oder 200 kgN/ha) wird als 'Meßwert' in die CANDY-Meßwertdatei eingetragen.

Mit Hilfe des neu eingeführten Parameters DNG_EFF wird zur Ausführzeit des CANDY-Modells bei jedem Düngungsereignis (CANDY-Code=4) die Höhe der mineralischen N-Düngung modifiziert:

[aktuelle N-Menge]:= DNG_EFF * [N-Menge laut Düngungsereignis]

Am 1.11. jeden Rechenjahres trägt CANDY den N_{MIN}-Wert und die Differenz zum Vorgabewert als Simulationsergebnis in die Messwert-Datei ein. Nach Ablauf eines Szenarios stehen für alle Rechenjahre die entsprechenden N_{MIN}-Werte und die Differenzen zu den Vorgaben fest.

Das Optimierungsverfahren beginnt mit einem vorzugebenden Anfangswert des Parameters. nach Simulation des gesamten Szenarios wird dieser Wert um die ebenfalls vorzugebende Schrittweite verändert. Der Optimierungsalgorithmus bildet für jeden Wert von DNG_EFF die Quadratsumme der Differenzen und ermittelt nach dem zweiten Schritt eine neue Schrittweite und damit auch einen neuen Wert für DNG_EFF. Das Optimierungsprogramm startet die CANDY-Rechnung für das Szenario erneut und prüft, ob die Quadratsumme kleiner geworden ist. Dieses Verfahren wird solange wiederholt, bis keine weitere Verringerung dieser Größe festgestellt wird.

Nach Abschluß der Rechnungen liegt eine Bewirtschaftungsvariante vor, die im Mittel der Jahre dem vorgegebenen N_{MIN}-Wert am besten entspricht.

Ableitung von gebietsdifferenzierten Parameterdateien für den Wettergenerator

Für die Durchführung von Langzeit-Simulationsrechnungen sind für das Gebiet Sachsen-Anhalts regionalspezifische Datensätze für den Modellantrieb Wetter erforderlich.
Als Basis für einen standortbezogenen, vom statistischen Wettergenerator zu erzeugenden Datensatz werden langjährige Witterungsmeßreihen von Klimastationen zu den Elementen Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung (bzw. Sonnenscheindauer) benötigt.
Für jede Klimastation wird unter der CANDY-Oberfläche (Menüpunkt: DIENSTE / WETTERGENERATOR / MAKEPARM) ein Datensatz **WET*ort*.PER** erzeugt (*ort*= Standort einer Klimastation).

Die 3 Witterungselemente werden bei der regionalen Betrachtung in zwei Informationsschichten unterteilt und aus verschiedenen geographischen Objekten gebildet:

1. *Lufttemperatur und Globalstrahlung:* wird Klimagebieten (LG-Gebiet) zugeordnet, die aus Natürlichen Landschaftseinheiten zusammengefaßt worden

2. *Niederschlag:* wird als spezielle Informationsschicht behandelt (N-Gebiet) und höher aufgelöst; da höchste Auflösung gemeindebezogene Mittelwerte waren, werden hier als Näherungslösung administrative Einheiten (Kreise) zusammengefaßt; die aus den Gemeindewerten berechneten Kreismittelwerte werden in 20mm-Abstufung klassifiziert und bilden damit jeweils ein N-Gebiet

Durch die Überlagerung der beiden Informationsschichten mit dem Geographischen Informationssystem entstehen verschiedene Verknüpfungen aus LG-Gebiet und N-Gebiet.
Die entsprechenden Datensätze für den Wettergenerator **WET*ortni*.PER** (***ni*** = Niederschlags-klasse) werden unter Nutzung des Hilfsprogrammes WEIBULL.EXE und der vom Nutzer zur erstellenden Datenbank LISTE.DBF generiert, wobei die Bezugsdatensätze WETORT.PER im Verzeichnis vorliegen müssen.
Das Prinzip besteht darin, die monatliche Niederschlagshöhe der Bezugsstation an das Niederschlagsgebiet anzupassen und die monatliche Niederschlagsverteilung (Streuung) beizubehalten.

Aufruf: **WEIBULL LISTE.DBF**

Die Datenbank LISTE.DBF hat folgende Struktur (Datenbankauszug):

Satz-Nr.	GEBIET	BEZUG_AUF	K_NIED	NIED
11	MAG48	MAG	0.98	488.9
12	MAG50	MAG	1.02	488.9
13	MAG52	MAG	1.06	488.9

Der Parametersatz WETMAG52.PER beispielsweise wird aus dem Bezugsdatensatz WETMAG.PER (Datensatz für Klimastation Magdeburg mit mittlerem Jahresniederschlag von 488.9 mm) ermittelt, indem die monatlichen Niederschlagssummmen aus WETMAG.PER durch jeweilige Multiplikation mit dem Faktor 1.06 (K_NIED) berechnet werden.
Die Generatorwerte für Lufttemperatur und Globalstrahlung werden unverändert in WETMAG52.PER übernommen.

Sektion Bodenforschung
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Hallesche Straße 44
D-06246 Bad Lauchstädt
Telefon 034635/73-212
Telefax 034635/73-288