

Inhaltsverzeichnis

1 MESOSKALIGE N-MODELLIERUNG UND ELBEÖKOLOGIE	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Einordnung	2
1.3 Anforderungen an die mesoskalige N-Modellierung	4
2 KURZCHARAKTERISIERUNG DER MODELLE	7
2.1 ASGi	12
2.2 CANDY	19
2.3 DYNAMIT	27
2.4 MESO-N	33
2.5 ExpertN (Version 2.0)	39
2.6 GIS-basierter Ansatz der Nitratverlagerung zum Grundwasser und in die Oberflächengewässer (ZALF) ..	47
2.7 HERMES	53
2.8 IGB-Ansatz zur Abschätzung des Dränabflusses	59
2.9 MINERVA	63
2.10 SIMULAT	77
2.11 SWIM	83
2.12 WASMOD/STOMOD	93
3 DISKUSSIONSERGEBNISSE DES WORKSHOPS	105
3.1 Das Problem des Maßstabes (Skala)	105
3.2 Das Problem der Lateralflüsse	106
3.3 Das Problem der Datengrundlage	107
3.4 Das Problem der Zieldefinition	107
3.5 Schlussfolgerung	108

Abbildungsverzeichnis

2.1	Modellstruktur von WaSiM und vorgeschlagene Änderungen mit ASGi.....	14
2.2	Datenbedarf vom Modellsystem ASGi.....	12
2.3	Schematischer Modellablaufplan des Präprozessing bei ASGi	18
2.4	Datenflüsse im Programmsystem ASGi	19
2.5	Aufbau des Simulationsmodell CANDY	20
2.6	Schema Wassermodule CANDY	23
2.7	Zusammenhang der einzelnen Fraktionen der organischen Substanz im Modell CANDY	24
2.8	Modellkomponenten von DYNAMIT	28
2.9	Modellkonzept von DYNAMIT	29
2.10	Verknüpfung der Daten und Karten in DYNAMIT	30
2.11	Modellkomponenten von MESO-N.....	34
2.12	Datenmanagement bei Expert-N.....	44
2.13	Schema der Modellierung beim Grundwasseransatz (ZALF).....	50
2.14	GIS-basierte, sich überlagernde Informationen zur Abschätzung der Nitrat-Einträge in das Grundwasser auf Einzugsgebiets-Skala (ZALF-Ansatz).....	51
2.15	Schema des Stickstoffsimulationsmodells (Kersebaum 1997).....	54
2.16	Struktur des N-Haushaltsmodells MINERVA.....	64
2.17:	Kopplung des N-Haushaltsmodells mit einem GIS (MINERVA)	65
2.18	Beschreibung von Gebietseigenschaften durch Regionaltupel, -variable und -werte (MINERVA).....	67
2.19	Schema des Kapazitätsmodell in MINERVA	68
2.20	Kompartimentierung des Teilmodells "Pflanzenwachstum" (MINERVA)	69
2.21	Kompartimente des Teilmodells "Pflanzenwachstum" (MINERVA).....	70
2.22	Datenfluss zwischen ARC/INFO und MINERVA.....	73
2.23	Kompartimentschema für den Massenfluss in der Pflanze [SIMULAT]	81
2.24	Flussbild zur hydrologischen Modellierung in SWIM.....	86

2.25 Flussbild zur N-Modellierung in SWIM	89
3.1 Hydrologisches Standortkonzept.....	110

Tabellenverzeichnis

2.1 Thematische Karten und digitale Datenbasis für das Oder-Einzugsgebiet (Grundwasseransatz ZALF).....	49
2.2 Portierung von MINERVA auf verschiedene Betriebssysteme	75
2.3 Beschreibung der bisher mit SWIM modellierten Gebiete	91
2.4 Topographische Angaben in der Bodendatei (WASMOD).....	96
3.1 Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften der dargestellten Modelle	109

1 Mesoskalige N-Modellierung und Elbeökologie

1.1 Einleitung

Im Rahmen der von der Projektgruppe Elbe-Ökologie zu bearbeitenden Themenbereiche stellt die Quantifizierung von Nährstoffflüssen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen einen Schwerpunkt dar. Während eine Vielzahl von Arbeiten zu diesem Themenkomplex auf der Prozessebene sowie auf einer kleinräumigen Betrachtungsebene im lokalen Maßstab vorliegen, existieren solche Verfahren, die für eine mesoskalige Anwendung in Frage kommen nur in geringer Anzahl. Gerade auf dieser Maßstabsebene aber findet ein Großteil der konkreten Landnutzungen und deren Planung statt.

Am Anfang dieser Studie wurde der Begriff mesoskalig für einen Flächenbereich von ca. 1 - 1000 km² verwendet (eine genauere Definition folgt später (s. Kap. 3.1)). Dabei soll dieser Begriff weniger durch einen festen Flächenbereich, sondern eher durch die zu beschreibenden Prozesse in Abgrenzung zur Mikro- bzw. Makroskala definiert sein. Bezüglich der Skalendefinitionen sei darüber hinaus auf die Arbeit von KLEEBERG & CEMUS (1992) verwiesen.

In der vorliegenden Studie soll zunächst der Themenbereich „mesoskalige Modellierung von Stickstoffflüssen“ in das Forschungsprogramm Elbe-Ökologie eingeordnet werden. Aufgrund der in der Forschungskonzeption festgehaltenen Ziele sollen sodann die Zielvorgaben für die Stickstoffmodellierung im mesoskaligen Bereich formuliert und das Profil der bearbeiteten Modelle eingeordnet werden.

Allgemeines Ziel der Studie ist es, vor dem Hintergrund der bestehenden Modellkonzepte und der formulierten Zielvorgabe innerhalb der Elbe-Ökologie den aktuellen, vorwiegend nationalen Forschungsstand auf dem Gebiet der regionalen Stickstoffmodellierung aufzuzeigen und Empfehlungen für Modellanwendungen im Rahmen des Forschungsprogramms Elbe- Ökologie zu liefern. Es stand weniger die detaillierte Beschreibung jedes einzelnen Modellansatzes im Vordergrund. Vielmehr sollten die Probleme und Defizite aller recherchierten Modelle in diesem Bereich in einer Zusammenschau herausgearbeitet werden. Da im Rahmen dieser Studie eine eingehende Prüfung der verschiedenen Modellansätze nicht möglich war, wurde den beteiligten Modellautoren auf einem Workshop (Teilnehmerliste s. Anhang) die Möglichkeit gegeben ihre Modellansätze zu präsentieren

1.2 Einordnung der „mesoskaligen N-Modellierung“ in das Forschungsprogramm Elbe- Ökologie (BMBF 1995)

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) verfolgt mit seinem Förderschwerpunkt " Ökologische Konzeptionen für Fluß- und Seenlandschaften" das übergreifende Ziel, Entscheidungsgrundlagen für die vollziehende Praxis zu schaffen. Dazu ist es notwendig,

- den Erkenntnisstand über das natürliche Funktionieren von Ökosystemen zu verbessern,
- umwelt-, wirtschafts- und sozialverträgliche Sanierungs- und Gestaltungsstrategien aufzuzeigen und darauf aufbauend
- Managementkonzepte für eine nachhaltige, d.h. dauerhaftumweltgerechte Entwicklung zu erarbeiten.

Zur Erreichung dieser Ziele sollen innerhalb der Elbe- Ökologie anwendungsorientierte Forschungsvorhaben gefördert werden (BMBF 1995). Das Rahmenkonzept der Elbe- Ökologie unterteilt die prioritären Forschungsaufgaben in die drei gesonderten Teilkonzepte

- Ökologie der Fließgewässer
- Ökologie der Auen
- Landnutzung im Einzugsgebiet.

Vorwiegend im letztgenannten Teilkonzept sind die allgemeinen Ziele formuliert, die eine mesoskalige Stickstoffhaushaltsmodellierung notwendig erscheinen lassen. Große Flüsse und Ströme sind über ihre Nebengewässersysteme mit der Landschaft verbunden. Da der Kontakt zwischen der Vielzahl kleiner Fließgewässer und ihrem Umland besonders intensiv ist, hängt der Wasser- und Stoffhaushalt großer Ströme insbesondere von der naturräumlichen Ausstattung der Landschaft und ihrer Nutzung ab. Deshalb führt nur eine ganzheitliche, auf das Einzugsgebiet bezogene Betrachtungsweise zu einem ausreichenden Verständnis der natürlichen Funktionen und Wechselbeziehungen im Fließ gewässer- Ökosystem. Sie ist eine Grundvoraussetzung für die Lösung von Problemen, die im Zusammenhang mit der Landnutzung, insbesondere der Landbewirtschaftung, entstehen.

In diesem Zusammenhang heißt es beispielsweise im nationalen Bericht der Bundesrepublik Deutschland zur Konferenz für Umwelt und Entwicklung der UN 1992 in Rio: *„Trotz (...) positiver Umweltleistungen waren (...) noch keine Anzeichen für eine nachhaltige Trendwende in der Naturbelastung durch die Landwirtschaft erkennbar. Die Umwelt- und Agrarminister von Bund und Ländern sind sich einig in der Erkenntnis, dass hier erheblicher Handlungsbedarf besteht . (...) Dabei wird die Situation in den neuen Ländern eine besondere Rolle spielen.“*

Etwa 73 % der Fläche der neuen Bundesländer lässt sich dem Einzugsgebiet der Elbe zuordnen, das entspricht ca. 54 % des Gesamteinzugsgebiets (PROJEKTGRUPPE ELBE-OKOLOGIE, 1995)¹. Nach der „Wende“ konnten die punktuellen Einleitungen durch wirtschaftliche Umstrukturierungen und durch den Bau von Kläranlagen deutlich reduziert werden. Auf diese Weise traten die diffusen Stoffeinträge zunehmend in den Vordergrund. Der diffuse Stickstoffeintrag aus dem Elbe-Einzugsgebiet betrug 1989 ca. 130000 t/a und wird etwa zu zwei dritteln über die Grundwasserpassage eingetragen. Der Anteil der Landwirtschaft an den diffusen Stickstoffeinträgen dürfte über 80 % liegen. Aktuelle Daten über die Eintragungssituation liegen z.Zt. nur für Teilgebiete vor.

Etwa 12-13 % der gesamten derzeitigen Stickstoff-Eintragsbelastung der Nordsee stammen aus dem Elberaum. Die Erzielung einer deutlichen Reduzierung der Stickstoffeinträge in die Nordsee mit dem Elbe-Strom ist nur durch die kurzfristige Umsetzung flächendeckender Gewässerschutzkonzepte im Einzugsgebiet zu erreichen. Die durchzuführenden Maßnahmen dienen gleichzeitig dem Schutz des Grund- und Trinkwassers. Die Verwirklichung der von der Bundesrepublik auf der internationalen Nordseeschutzkonferenz eingegangene Verpflichtung zu einer 50 %-igen Reduzierung der Nährstoffeinträge ist insbesondere für Stickstoff sonst nicht einzuhalten.

Als vorrangiges Ziel der Forschung im Rahmen der Elbe-Ökologie des BMBF wird daher in der Forschungskonzeption angesehen, im Einzugsgebiet der Elbe Projekte zu fördern, die Wege aufzeigen, wie gemeinsam mit den zuständigen Behörden Konzepte für eine dauerhaftumweltgerechte Landnutzung in die Praxis umgesetzt werden können. Es sind Managementkonzepte zu entwickeln, die eine flächendeckende Umsetzung sozioökonomisch akzeptierter und an die ökologische Tragekapazität der Standorte angepasster Nutzungsformen erlauben.

Vor dem Hintergrund dieser Zieldefinition wurden für das Teilkonzept Landnutzung unter anderem die Auswahl geeigneter Simulationsmodelle zur Prognose der Auswirkungen von

¹ PROJEKTGRUPPE ELBE- ÖKOLOGIE (1995): Forschungskonzeption: Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie) des Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technik (BMBF)

Nutzungsänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt als prioritäre Forschungsaufgabe formuliert. Dabei sollen die diesbezüglichen Forschungsaktivitäten zunächst auf Modellprojekte in repräsentativen, mesoskaligen Untersuchungsgebieten konzentriert werden. In diesen Modellprojekten sind vor allem die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf den Landschaftswasser- und stoffhaushalt zu untersuchen. Zu diesem Zweck sollen Simulationsmodelle zur Prognose und Bewertung der Auswirkungen regionaler Landnutzungsänderungen im Hinblick auf die ökologische und sozioökonomische Effizienz sowie Instrumente zur Erfolgskontrolle umweltpolitischer Maßnahmen angewendet und weiter entwickelt werden. Für den Fall, dass sich kein einsatzbereites Modellsystem für die zu lösenden Aufgaben finden lässt, sieht die Konzeption die Förderung der Weiterentwicklung von mesoskaligen Modellen des Bodenwasserhaushalts und der lateralen und vertikalen Stoffflüsse vor.

Aus den Anforderungen, die im Forschungskonzept der Elbe-Ökologie an die mesoskalige Stickstoffmodellierung formuliert wurden, lassen sich Zielvorgaben für das benötigte Modellsystem formulieren.

1.3 Anforderungen an die mesoskalige N-Modellierung

Folgende Anforderungen sollten an eine mesoskalige Modellierung gestellt werden:

- Das Modellsystem sollte mit allgemein verfügbaren Daten bzw. mit aus verfügbaren Daten abzuleitenden Größen zu betreiben sein
- Eine Überprüfbarkeit der Modellergebnisse anhand von Messdaten muss gewährleistet sein
- Für das Landnutzungsmanagement sollen konkrete Empfehlungen hinsichtlich der Reduzierung der diffusen Stoffeinträge gegeben werden können. Deshalb muss ein Kausalzusammenhang zwischen den möglichen Steuergrößen und dem N-Austrag ins Gewässer abgebildet werden. Dazu ist es notwendig,
 1. dass die räumliche Diskretisierung des Modells mit der räumlichen Variabilität der in die Modellierung eingehenden Standortfaktoren (z.B. Boden, Relief, Nutzung, Klime etc.) korrespondieren bzw. eine Aggregation vorgenommen wird, die die räumliche Kausalität abbildet;
 2. die zeitliche Diskretisierung sowohl für die Steuerungsgrößen, als auch für die Modellausgabe so zu wählen, dass der Zeitverlauf zwischen einer Veränderung der Steuergrößen und der damit in Zusammenhang stehenden Veränderung des Stoffeintrags ins Gewässer abgebildet werden kann;
 3. quantitative Aussagen hinsichtlich der Wasser- und Stoffausträge, die in einen definierten Gewässerabschnitt gelangen, treffen zu können. Damit wird die Überprüfung von Zielvorgaben hinsichtlich einer bestimmten Reduzierung der Gewässerbelastung möglich.

Als mögliche Steuergrößen sind in diesem Zusammenhang zu diskutieren:

- Bewirtschaftungsmaßnahmen inkl. organ. und mineralische Düngung
- Beweidung (Viehbesatz)
- Fruchtfolgealternativen
- Nutzungsänderungen (Aufforstung, Versiegelung)
- Bewässerung
- Vermeidung von Direkteinträgen
- Kulturtechnische Maßnahmen inkl. Dränagemanagement (v.a. bei Moorböden)
- Vermeidung von Oberflächenabtrag (z.B. durch Hecken)
- Klimaveränderungen (Niederschlag, Verdunstung, Deposition etc.)

Für die Modellauswahl sollte weiterhin die Berücksichtigung folgender Aspekte maßgebend sein:

- Lateralflüsse (Oberflächenabfluss, Interflow)

- Drainage
- Grundwasseranbindung und Transport in Fließgewässer (Weg-Zeit-Verhalten; Retentionszeiten etc.)
- GIS-Kopplung
- Flexibilität hinsichtlich unterschiedlich guter Datenverfügbarkeit (interne Ableitung von Parametern)
- Präprozessing, Interne Parameterableitung
- Pflanzenmodell, organ. Substanz
- Kopplung von C- und N-Haushalt
- Sourcecode sollte verfügbar sein

2 Kurzcharakterisierung der im Rahmen der Studie „Darstellung und Bewertung von mesoskaligen Stickstoffmodellen“ bearbeiteten Modelle

Im folgenden werden Modelle bzw. Modellansätze dargestellt, die mehr oder weniger den vorher gestellten Ansprüchen entsprechen bzw. Lösungen für bestimmte Fragestellungen anbieten.

Für die Auswahl der hier dargestellten Modellansätze war zunächst entscheidend, dass die auf der Mesoskala ablaufenden Prozesse des Stickstoff- und Wasserhaushaltes zumindest im Ansatz Berücksichtigung finden. Es wurden nur Ansätze berücksichtigt, die Anwendung im deutschsprachigen Raum gefunden haben. Darüber hinaus konnten nur Modelle dargestellt werden, die in ausreichender Weise dokumentiert waren und bereits Eingang in die Literatur gefunden haben.

Im folgenden wird skizzenartig die entscheidenden Kriterien der Modelle aufgeführt. Am Anfang stehen die Modellautoren, eine Kurzzusammenfassung und die dazugehörige Literatur. Es folgt die Nennung des Maßstabsbereichs für den der Modelleinsatz konzipiert ist bzw. empfohlen wird. Wichtige Gesichtspunkte der Modellanwendbarkeit, wie GIS- und Datenbankkopplung und Grad der räumlichen und zeitlichen Diskretisierung werden aufgeführt. Im Anschluss folgt eine detailliertere Darstellung der entscheidenden Modellteile (Wasser-, Stickstoffhaushalt). Die erforderlichen Eingabedaten für die Modelle werden soweit möglich für die Wasser- und Stickstoffmodellierung getrennt aufgeführt, z.T. sind zusammengefasst dargestellt worden. Als weitere wichtige Kriterien zur Einordnung werden die Möglichkeiten zum Präprozessing und Anwendungsbeispiele genannt. Abschließend folgt eine an die Fragestellung der ELBE-ÖKOLOGIE ausgerichtete Einordnung des Modells.

Ein Großteil der Beschreibungen der hier aufgeführten Modelle sind von den Modellautoren zur Kenntnis genommen und überarbeitet worden.

2.1 ASGi

Autoren

H.-B. KLEEBERG, N. HAGEN, H. ØVERLAND, K. JASPER

Kurzbeschreibung

Kernstück des sich zur Zeit in der Entwicklung befindlichen Modellsystems „Kontinuierlicher Abfluss und Stofftransport - Integrierte Modellierung unter Nutzung von Geoinformationssystemen - ASGi“ ist das Wasserhaushaltsmodell. Für den Wasserfluss wird das von JÖRG SCHULLA an der ETH Zürich entwickelte Modell WaSiM integriert und mit gewissen Modellmodifikationen zwecks Anpassung an deutsche Verhältnisse versehen. Für den Stofftransport ist das Modell bisher auf den oberflächlich stattfindenden Sediment- und Phosphatverlagerungen beschränkt. Zu einem späteren Zeitpunkt soll die Anbindung eines Stickstoffmoduls erfolgen. Der Stofftransport soll als eigenständiges Teilmodell über eine Schnittstelle mit dem Wasserflussmodell verbunden werden. Der Nutzer hat bisher die Möglichkeit zwischen Hochwasserabfluss, Abflusskontinuum, Stofftransport oder Kombination Hochwasserabfluss/Stofftransport zu wählen. Mit ASGi sollen Auswirkungen veränderter Nutzungsbedingungen kausal beschrieben werden und die Anfangsbedingungen für die Ereignissimulation (Hochwasser) bereitgestellt werden.

Literatur

- [1] ØVERLAND, H. & KLEEBERG, H.B. (1993): Möglichkeiten der Abflussmodellierung unter Nutzung von Geoinformationssystemen. Mitteilungen Institut für Wasserwesen, 45
- [2] HAGEN, N. & KLEEBERG, H.B. (1993): Möglichkeiten der Modellierung des großräumigen Stofftransportes auf Landflächen. Mitteilungen Institut für Wasserwesen, 47, 1 - 230.
- [3] JASPER, K. & BRAUN, P. (1995): Lastenheft für die Erstellung des Programmsystems ASGi (BMBF-Vorhaben 0339608). Universität der Bundeswehr München, Inst. f. Wasserwesen, Prof. Dr.-Ing. H.-B. Kleeberg
- [4] SCHULLA, J. (1995): Flächendetaillierte Regionalisierung meteorologischer Größen. Geographisches Institut der ETH Zürich
- [5] SCHULLA, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Diss.-ETH Nr. 12018, Geographisches Institut ETH Zürich (im Druck).

Einsatzbereich

10 - 2000 km²

GIS-Kopplung

ARC/INFO

Datenbank-Kopplung

k.A.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Es werden keine Pedo-Hydrotope oder Teileinzugsgebiete gebildet, sondern quadratische Raster mit Kantenlängen zwischen 50 und 1000 m (je nach Datenlage). Im Grundwasserbereich sind noch größere Kantenlängen vorgesehen. Das Gewässernetz soll in einer eigenen Vektor-Ebene abgebildet

werden. Für die Kontinuum-Berechnung wird 1 Tag, für die Ereignis-Berechnung (Hochwasser) 1 Stunde als Zeitschritt vorgeschlagen.

Wasser-Modellierung

In ASGi soll das von Schulla an der ETH Zürich entwickelte Wasserhaushaltsmodell WaSiM mit Modellmodifikationen integriert werden. Die in ØVERLAND und KLEEBERG (1993) beschriebenen Modellansätze werden nicht vollständig implementiert. Folgende Berechnungsverfahren werden (vorerst) nicht ins Wasserflussmodell berücksichtigt:

- Interzeptionsmodell: Ansatz nach Rutter
- Interzeptionsmodell: Modifiziertes CN-Verfahren
- Schneemodell: Temperatur-Faktor-Verfahren
- Infiltrationsmodell: Modifiziertes CN-Verfahren

Die Modellstruktur von WaSiM und die vorgeschlagenen Änderung mit ASGi werden in Abbildung 2.1 dargestellt.

Erforderliche Eingangsdaten

Der Umfang der notwendigen Eingangsdaten ist jeweils davon abhängig, welche optionalen Algorithmen in den Teilmodellen verwendet werden. Einen Überblick über die Teilmodelle und deren Algorithmen und den dazugehörigen Datenbedarf gibt die Abbildung 2.2.

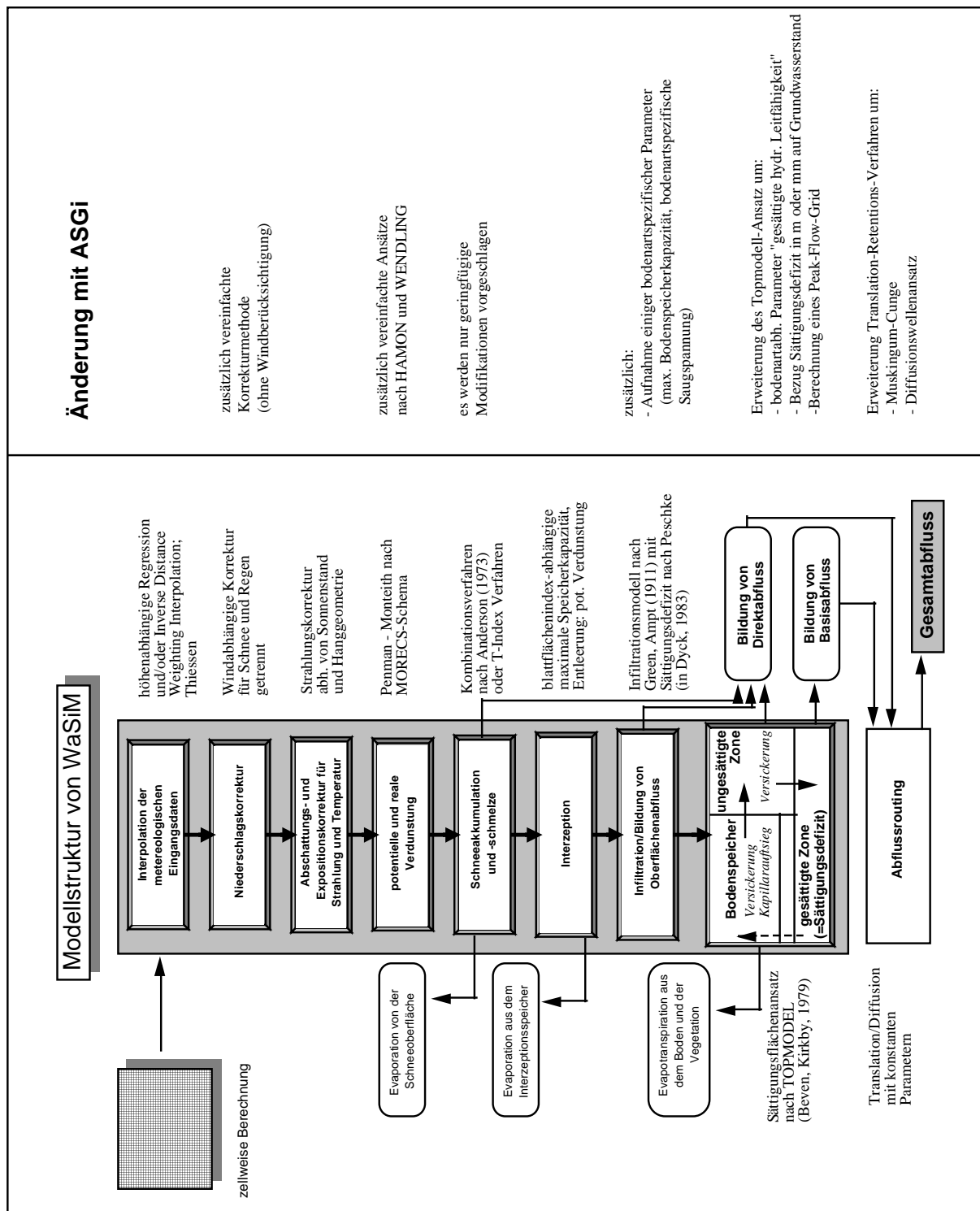


Abbildung 2-1: Modellstruktur von WaSiM und vorgeschlagene Änderungen mit ASGi (verändert nach Jasper und Braun, 1995)

hier fehlt eine Grafik!

Abbildung 2-2: Datenbedarf vom Modellsystem ASGi

Lateralfluss/Grundwasseranbindung

Zur Modellierung der Bodenwasserströme nutzt WaSiM einen Sättigungsflächenansatz, welcher auf den Modellvorstellungen von TOPMODEL² beruht. Dieser Sättigungsflächenansatz modelliert folgende Wasserströme:

1. das Auffüllen des Bodenspeichers durch infiltrierendes Niederschlagswasser.
2. die schnelle Tiefenversickerung eines Teils des Niederschlagswassers auf evorzugten Fliesswegen.
3. die Tiefenversickerung aus dem Bodenspeicher bei Überschreiten der maximalen Speicherkapazität.
4. die Entnahme von Wasser aus dem Bodenspeicher durch Evapotranspiration.
5. der Kapillaraufstieg aus dem Grundwasser in den Bodenspeicher.
6. den Sättigungsflächenabfluss.
7. den Basisabfluss (Grundwasserabfluss).

Der Basisabfluss ist die Grösse, die durch die integralen Eigenschaften des gesamten Einzugsgebietes beeinflusst wird. Die wichtigsten Einflussgrössen sind dabei die Größe des Einzugsgebietes eines betrachteten Punktes, der hangabwärts gerichtete hydraulische Gradient in diesem Punkt sowie die hydraulische Transmissivität des Untergrundes. Diese Einflussgrößen wirken sowohl auf die Menge des Basisabflusses als auch auf die zeitliche Verteilung. Bei hydraulisch schlecht leitfähigen bzw. flachgründigen Böden mit geringem Gefälle kann nur ein geringer Wasserstrom in die Gewässer eingespeist werden. Es entstehen sog. Sättigungsflächen. Je nach Beschaffenheit des Untergrundes und je nach den Gefälleverhältnissen wird sich eine bestimmte Verteilung von solchen Sättigungsflächen im Einzugsgebietes ergeben. Besonders Talauen kommen für solche Sättigungsflächen in Frage. Nach ausgiebigen Niederschlägen vergrößert sich der Anteil an gesättigten Flächen. Mit zunehmender Austrocknung nehmen diese Flächen schnell ab. Dieser sehr dynamische Prozess der Bildung variabler Abflussflächen trägt entscheidend zur Bildung der schnellsten Abflusskomponente, des Sättigungsflächenabflusses, bei.

Stickstoffmodellierung

Da bisher keine Stickstoffmodellierung in das Modell ASGi implementiert wurde, werden deshalb an dieser Stelle die Vorstellungen von HAGEN und KLEEGERG (1993) kurz skizziert. Dort werden für die Stickstoffmodellierung zwei Varianten der Berechnung vorgeschlagen, jeweils eine detaillierte für bessere Datenlagen und eine einfache für schlechtere Datenverfügbarkeit. Als ausführliche Variante ist das Modell EHP (GRÜNEWALD ET AL. 1989) und als Einfach-Alternative AGNPS (YOUNG ET AL. 1987) vorgesehen. Bei letzterem wird keine Modellierung der N-Dynamik vorgenommen. Die N-Mengen im Boden müssen als zeitabhängige Mittelwerte eingegeben (abgeschätzt) werden.

Folgende Prozesse werden modelliert:

- Mineralisation: Wird als Reaktion erster Ordnung in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und -temperatur bestimmt. Es werden zwei Pools mit unterschiedlicher Abbauresistenz und damit unterschiedlichen Geschwindigkeitskonstanten berechnet. Dabei werden auch die mikrobielle Immobilisierung und die symbiontische N-Fixierung mitberücksichtigt ohne als eigener Prozess eigenständig modelliert zu werden.
- Volatilisation: wird über empirische Verlustkoeffizienten angenähert
- Nitrifikation: wird nicht berücksichtigt
- Denitrifikation: dto.
- N-Auswaschung: Wird mit einem empirischen Ansatz als Funktion des Gehalts an mineralischem Stickstoff, der Sickerwassermenge (aus dem Wasserflussmodell) und der Bodenfeuchte bei Feldkapazität (ebenfalls aus dem Wasserteil). Mit dem entsprechenden Ansatz wird auch der Lateraltransport und der Oberflächenabfluss kalkuliert.

² BEVEN, K.J UND M.J. KIRKBY 1979: A physically based variable contributing area model of basin hydrology. Hdrol. Sci. Bull., 24(1), 43-49

- N-Umwandlung im Grundwasser: Für die Berechnung der großräumigen Stoffflüsse im Grundwasser wird das Verfahren von WENDLAND (1992) vorgeschlagen. Es wird ausschließlich Nitrat betrachtet. Als relevanter Transformationsprozess wird die Denitrifikation beschrieben. Quelle ist die ZUSICHERUNG (Auswaschung) aus der ungesättigten Bodenzone, Senken sind die Exfiltration in Oberflächengewässer und Entnahmen aus Brunnen. Es werden Gebiete mit uneingeschränkter, eingeschränkter und unbedeutender Denitrifikation plus zwei Übergangsstufen unterschieden, welchen unterschiedliche Denitrifikationsraten in der empirischen Denitrifikationsgleichung (Reaktion 1. Ordnung) zugewiesen werden. Die Verweilzeiten des Grundwassers werden aus dem Wassermodell übernommen.

Erforderliche Eingangsdaten

Folgende Eingabedaten werden benötigt:

- Anfangswerte für die zwei N-Pools
- Reaktionkonstanten für zwei N-Pools
- Anteil des mineralisierbaren Stickstoffs im Boden
- Verlustkoeffizienten für Volatilisation
- Bewirtschaftungsdaten
- Bodentemperatur
- Ertragsniveau von Pflanzen
- Düngermenge und -zusammensetzung (organischer- und anorganischer Teil des Wirtschaftsdüngers)
- Verschiedene Kalibrierungskonstanten

Pflanzenmodell/Organ. Substanz

Es werden weder das Pflanzenwachstum, noch die Umsetzung des organischen Kohlenstoffs gesondert modelliert. Die Pflanzen-N-Aufnahme wird über ein fruchtarten- und standortspezifisches maximales Ertragsniveau berechnet. Der aktuelle N-Entzug aus dem Boden hängt linear vom Energie- und Wasserangebot (vom Wasser-Modell) ab und kann höchstens dem aktuell im Boden vorhandenen N-Gehalt im Boden entsprechen. Zusätzlich sind folgende Eingaben erforderlich:

- Fruchtartspez. Ertragsniveau
- Fruchtartspez. Aufnehmbare N-Menge
- Fruchtartspez. Wachstumsverlaufs-Schlüssel

Präprozessing/Parametrisierung

Bei den Ausgangsdaten kann zwischen drei verschiedenen Arten von Daten unterschieden werden:

- geographische Daten
- meteorologische Daten
- hydrologische Daten

Diese unterschiedlichen Daten müssen in ein einheitliches Format konvertiert, die Grids deckungsgleich gebracht (über GIS) und eine Steuerdatei für den eigentlichen Modellauf vorbereitet werden. Einen Überblick über das Präprozessing in ASGi geben die Abbildung 4 und Abbildung 5. Die genannten Vorarbeiten werden unter Nutzung eines GIS (ARC/INFO) erledigt.

Anwendungsbeispiele/Validierung

Anwendung des in ASGi implementierten Wasserflussmodells WASIM in bislang vier verschiedenen Flusseinzugsgebieten in der Flächenausdehnung 5 - 2000 km² (Hochgebirgs-, Mittelgebirgs- und Flachlandregion). Derzeit Verifizierung des Stofftransportmodells (AGNPS) im Vilsgebiet.

Überprüfung

über hydrologische Messdaten (Abfluss als Eichfaktor)

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

entwickelt auf dem Betriebssystem UNIX, Oberfläche entwickelt mit ARC/INFO Graphiktoolbox, WaSiM programmiert in C++ (portierbar auf verschiedene Betriebssysteme)

WWW-Adressen:

- <http://www.unibw-muenchen.de/campus/BauV/institute/inst6.2.htm>
- <http://www.unsklu.ac.at/groups/geo/gismosim/paper/molna/molna.htm>³

Einordnung

Das von Kleeberg vorgestellte Modellsystem zeichnet sich dadurch aus, dass die erforderlichen Eingangsdaten weitgehend routinemäßig erfasst werden können. Darüber hinaus steht bei den meisten Prozessen eine einfachere Alternative für schlechtere Datenverfügbarkeit zur Wahl. Durch die separate Modellierung von Abflusskontinuum und Ereignissen (Hochwasser) werden die Lateralflüsse (Interflow, Oberflächenabfluss) detailliert beschrieben. Die Prozesse werden zwar physikalisch basiert modelliert, jedoch vor allem beim N-Haushalt meist mit hohem konzeptionellem Anteil bzw. mit empirischen Kalibrierungsfaktoren, was einerseits Vorteile hinsichtlich des Datenbedarfs bietet, andererseits jedoch bei jedem Einsatz eine neue Kalibrierung erfordert. Umfangreiche Vorarbeiten hinsichtlich der Datenerhebung und -bearbeitung unter Einsatz des GIS wurden bereits durchgeführt. Die geforderte Gebiets-Stickstoffmodellierung ist bislang noch nicht in die Praxis umgesetzt worden und ist insofern noch nicht validiert und es bestehen noch keine Anwendungserfahrungen.

³ Online-Paper des Workshop W9 "Modellierung und Simulation räumlicher Systeme mit Geographischen Informationssystemen" auf der Informatik '96 in Klagenfurt 25.-27. September 1996

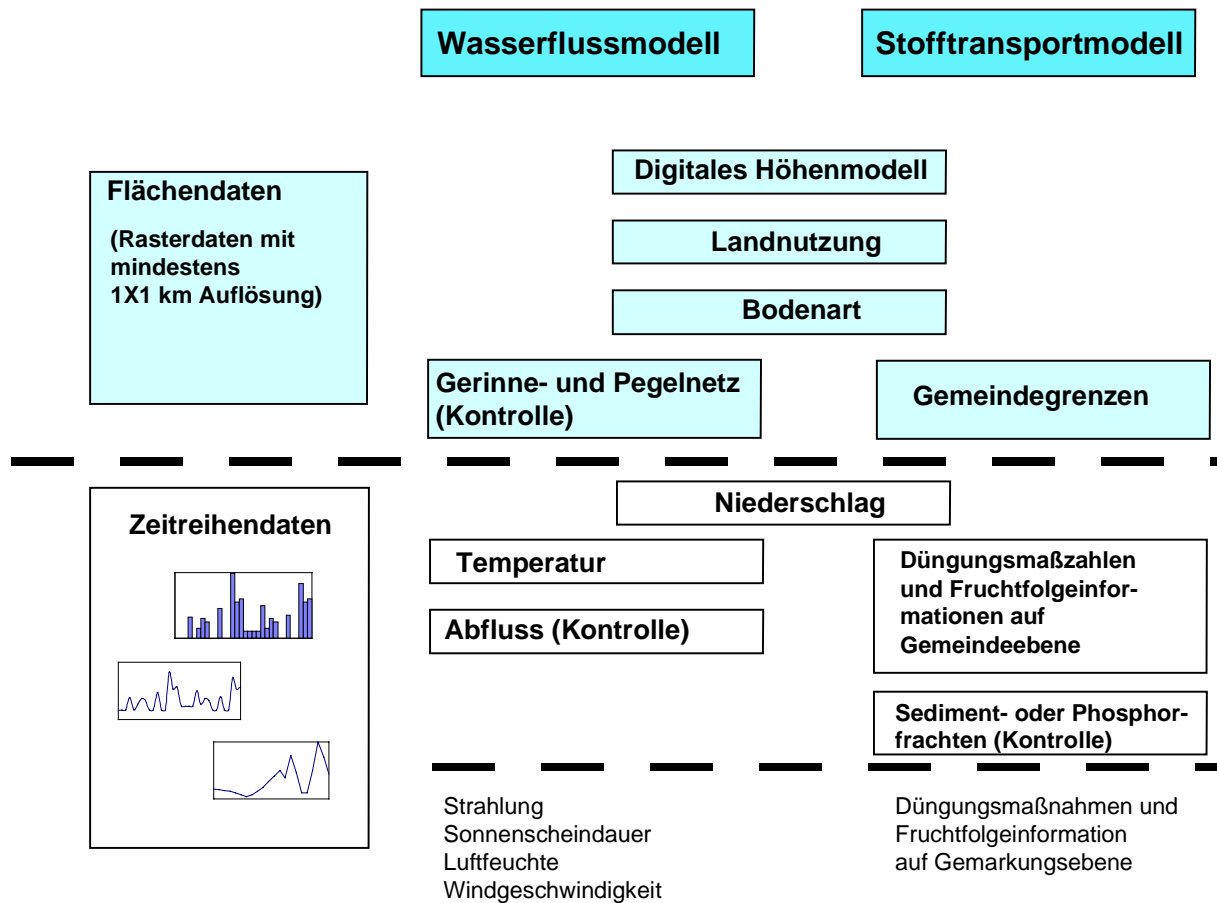


Abbildung 2-3: Schematischer Modellablaufplan des Präprozessing bei ASGi (nach Jasper und Braun(1995))

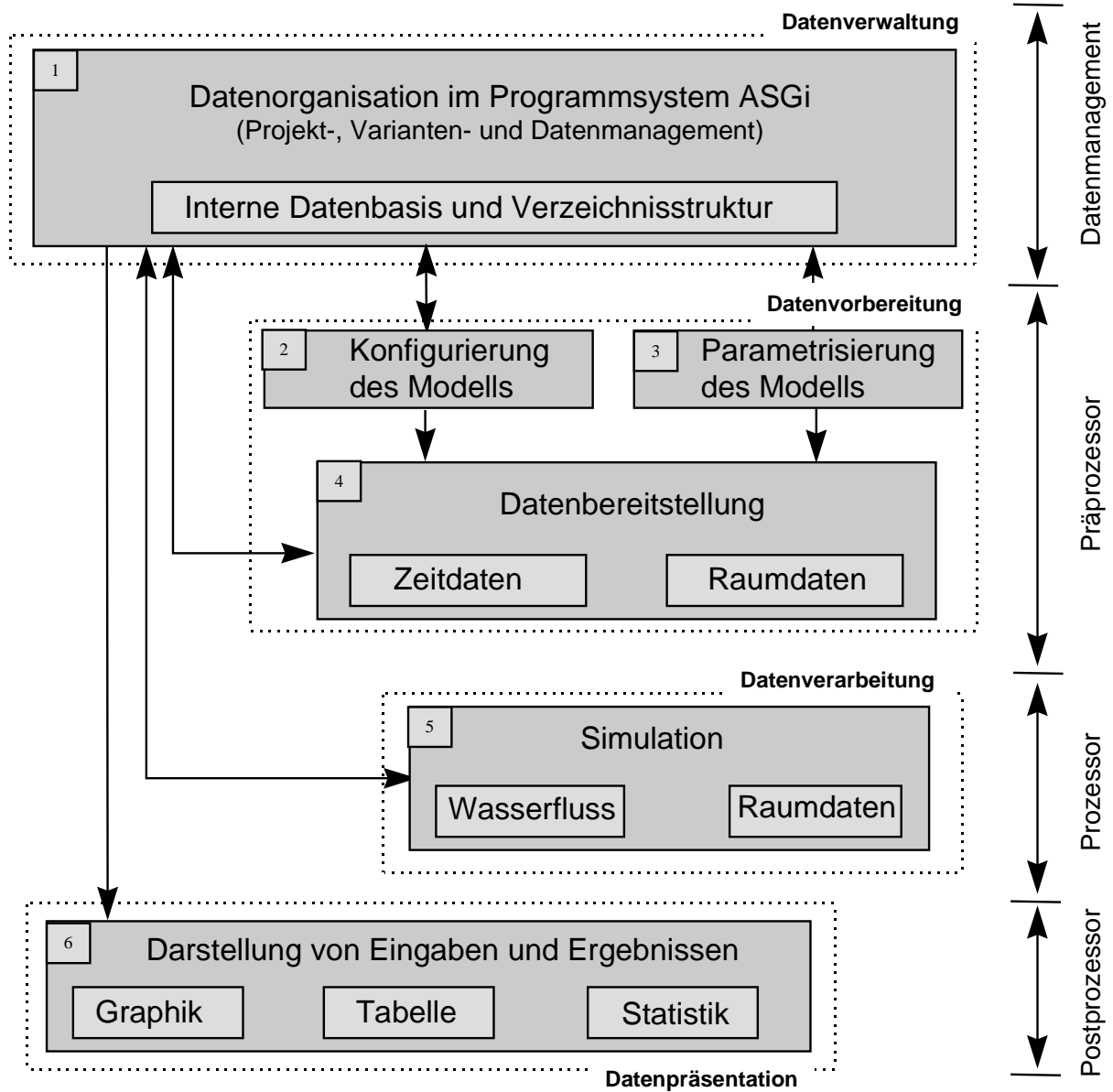


Abbildung 2-4: Datenflüsse im Programmsystem ASGi

2.2 CANDY

Autoren

U. Franko, B. Oelschlägel, S. Schenk

Kurzbeschreibung

Das am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH entwickelte Modell CANDY⁴ (CARbon and Nitrogen DYNAMics) soll die Dynamik des Kohlenstoff- und Stickstoffumsatzes im Boden sowie die Bodentemperatur und den Bodenwassergehalt als eindimensionale Prozesse für ein Bodenprofil bis zu einer Tiefe von 2 Metern beschreiben (s. Abbildung 2.5). Anwendungsgebiet ist vor allem in der landwirtschaftlichen Praxis zu sehen. Eine Regionalisierung findet über eine GIS-Schnittstelle (ARC/INFO) statt. Abbildung 5 gibt einen Überblick über den Aufbau des Simulationsmodell CANDY.

Literatur

- [1] ZEISSE, A.; FRANKO, U. (1992): Erprobung des Simulationsmodells CANDY in Agrarunternehmen des Landes Sachsen-Anhalt. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst und Ernährungswirtschaft. No. 3, 106-109.
- [2] FRANKO, U.; ZEISSLER, A. (1992): Simulation der C-N-Dynamik zur Identifikation von Leckstellen im Stickstoffkreislauf. Berichte- der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst und Ernährungswirtschaft. No. 3, 43-46.
- [3] HERSEMANN, H. (1993): Anwendung von Stickstoffsimulationsmodellen zur Errechnung von N_{min} -Frühjahrswerten. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 1993, No.72,I, 723-726.
- [4] ENGEL, T.; KLÖCKING, B.; PRIESACK, E.; SCHAAF, T. (Hrsg.) (1993): Simulationsmodelle zur Stickstoffdynamik. Agrarinformatik Band 25, Ulmer, Stuttgart.
- [5] FRANKO, U. (1995): Simulationsmodelle als Entscheidungshilfen in der Landwirtschaft. In: Umweltgerechte Landbewirtschaftung im mitteldeutschen Agrarraum. Wissenschaftliche Beiträge der 3. Hochschultagung, Landw. Fakultät der MLU Halle-Wittenbrg. Jena, 149 - 154.
- [6] FRANKO, U.; OELSCHLÄGEL, B.; SCHENK, S. (1995): Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. Ecol. Modell. 81, 213 - 222.
- [7] Schenk, S.; Franko, U. (1995): Ableitung von Bodenparametern und Startwerten bei der Anwendung des Simulationssystems CANDY zur Untersuchung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 7, 1173 - 1176.
- [8] FRANKO, U.; OELSCHLÄGEL, B.; SCHENK, S. (1995): Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkung möglicher Klimaveränderungen. UFZ-Bericht Nr. 3/1995. Umweltforschungszentrum LeipzigHalle GmbH.

Einsatzbereich

bis 100 km²

GIS-Kopplung

ARC/INFO

⁴ entwickelt im Rahmen des BMBF-Projektes "Modell und Parameter für die Simulation von Klimaänderungseffekten auf die Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im Boden sowie auf die Änderung von Bodeneigenschaften in Kombination mit Ertragsmodellen

Datenbank-Kopplung

k. A.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Ein Landschaftselement wird durch folgende Karten beschrieben:

- Topographie (Abgrenzung der Bewirtschaftungseinheiten)
- Bodeneinheit (Standortregionaltyp)
- Klimatyp
- Niveau der N_{\min} -Versorgung
- Niveau der Versorgung mit organischer Primärsubstanz (OPS)

Durch Überlagerung aller Informationsebenen im GIS entstehen homogene Teilflächen. Die zeitliche Auflösung beträgt 1 Tag.

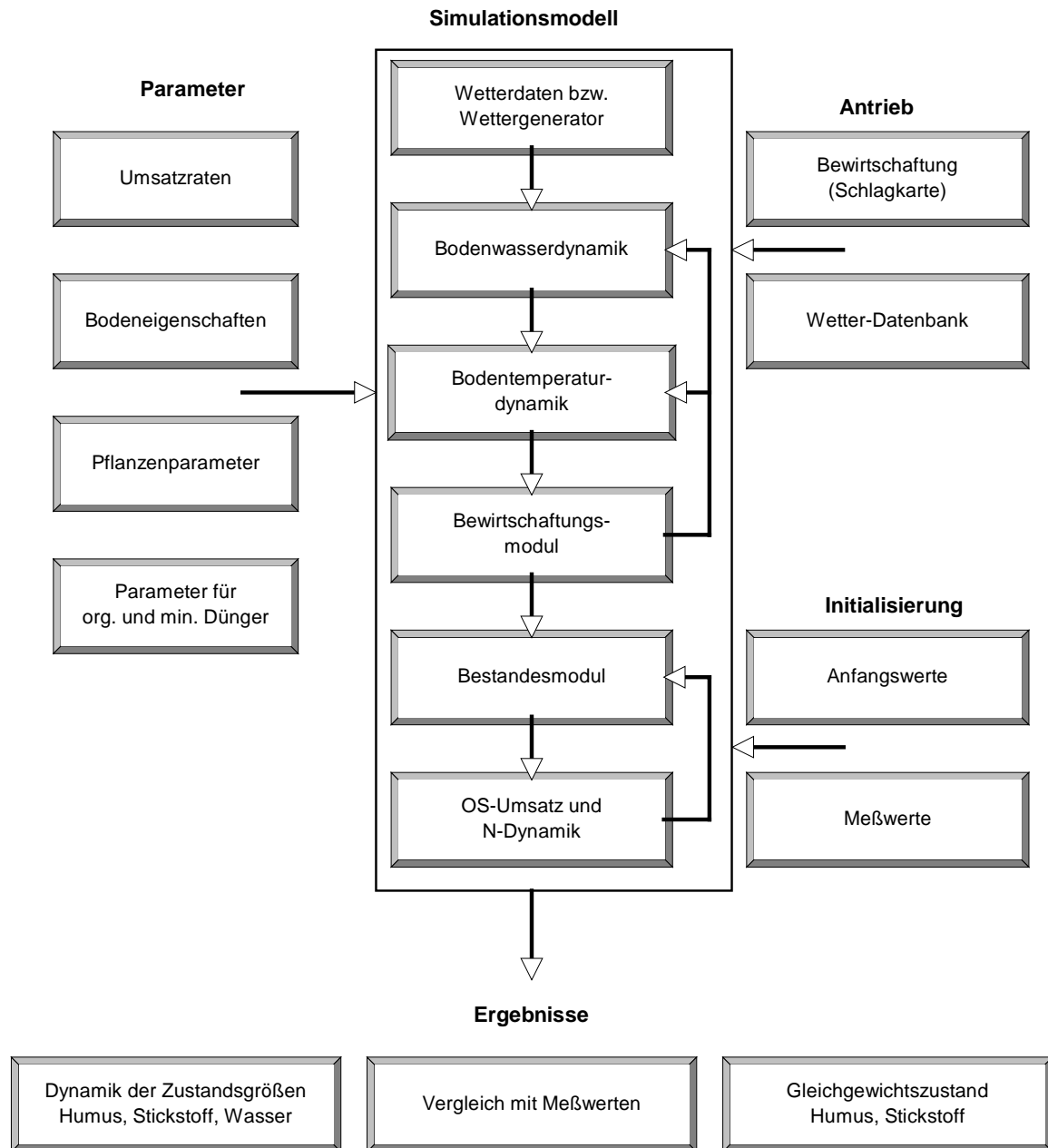


Abbildung 2-5: Aufbau des Simulationsmodell CANDY

Wasser-Modellierung

Die für die Umsatz- und Transportprozesse der C-N-Dynamik im Boden wichtigen Umweltfaktoren Bodenfeuchte und Wasserbewegung werden im Bodenwassermodul⁵ von CANDY aus meteorologischen Daten errechnet. Das Modell ist eindimensional und betrachtet den Bodenabschnitt von der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von 2 m, gedanklich aufgeteilt in 20 homogene Bodenschichten von 10 cm Dicke. Zustandsvariablen sind:

- vol. Bodenfeuchte in den betrachteten Bodenschichten

⁵ die Modellgrundlagen gehen wesentlich auf KOITZSCH und GÜNTHER zurück: KOITZSCH, R. und GÜNTHER, R 1990: Modell zur ganzjährigen Simulation der Verdunstung und der Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Nutzflächen mit und ohne Bewuchs. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd., 34, 803-810.

- interzeptiertes Niederschlagswasser im Pflanzenbestand
- Wasseräquivalent der aufliegenden Schneedecke

Die hydrologischen Prozesse werden auf der Basis eines Kapazitätskonzeptes betrachtet, wonach eine abwärts gerichtete Wasserbewegung nur durch Überschreiten der schichtspezifischen Feldkapazität möglich wird. Ein Wasseraufstieg kann nur durch Prozesse von Evaporation und Transpiration für Bodenfeuchten oberhalb des permanenten Welkepunktes erfolgen.

Folgende Teilprozesse werden modelliert (s. dazu Abbildung 2.6):

- Versickerung von Bodenwasser durch Gravitationskräfte nach GLUGLA⁶. Es wird nur der bodenartabhängige empirische Leitfähigkeitsparameter g benötigt. Gefrieren und Tauen des Bodens werden nicht berücksichtigt.
- Interzeption von Niederschlagswasser durch den Pflanzenbestand in Abhängigkeit von der Bestandeshöhe nach KOITSCH und GÜNTHER (1990)
- potentielle Evaporation und deren Reduktion auf den aktuellen Tageswert nach einem modifizierten TURC-Ansatz
- Schneeakumulation und Tauen: gleiche Algorithmen wie in BAMO2⁷
- Einfluss eines Pflanzenbestandes. Einfluss wird durch zwei zeitveränderliche Bedeckungsgrade (bez. Transpirations- und Interzeptionsfähigkeit) und aktueller Durchwurzelungstiefe dargestellt.

Lateralfloss/Grundwasseranbindung

nicht implementiert

⁶ GLUGLA, G. (1969): Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses im Boden. A.-Thaer-Archiv, Berlin, 13, 371-376

⁷ Basismodell Boden von Döring, Kartschall, Klöcking, Suckow

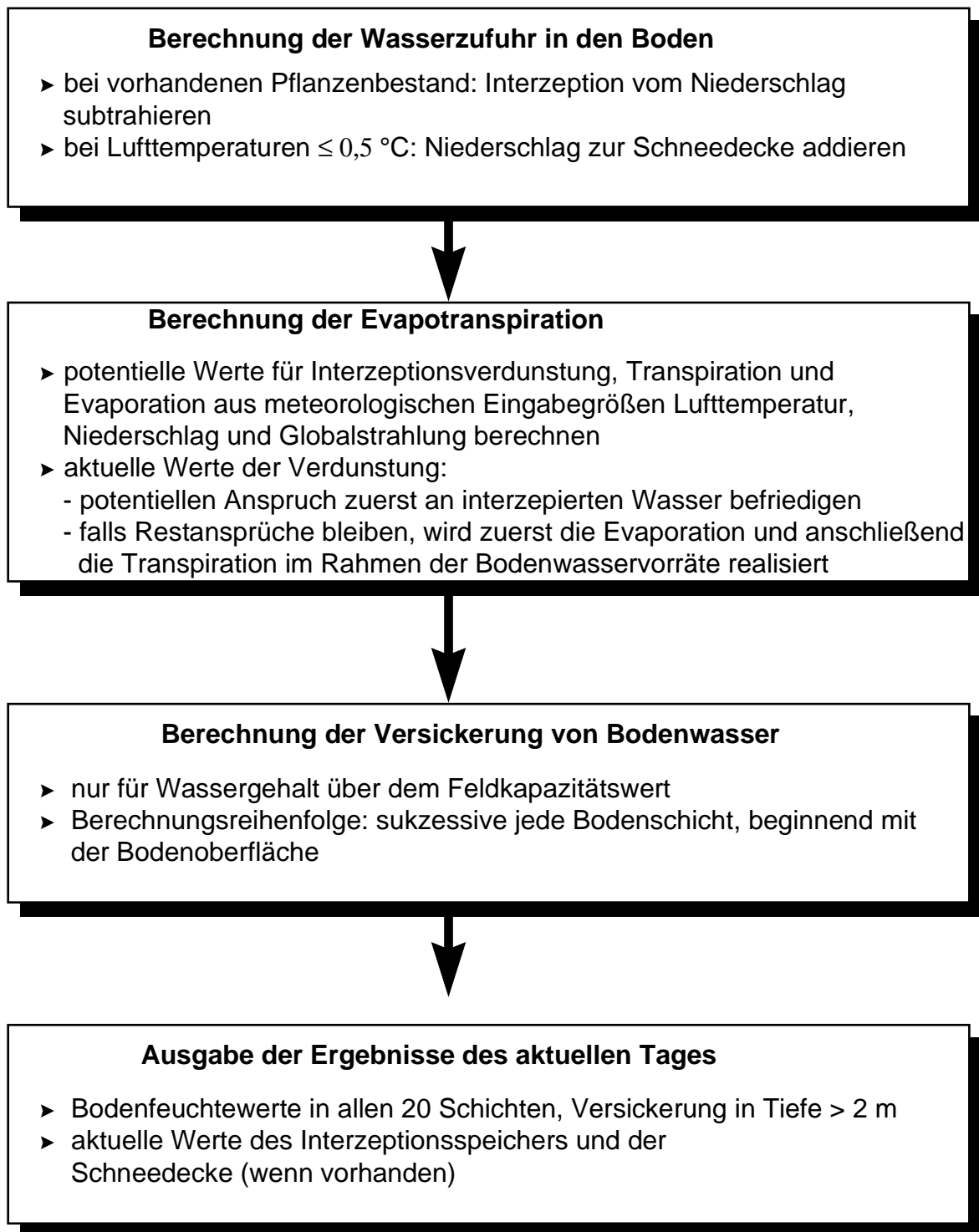


Abbildung 2-6: Schema der im Wassermodul von CANDY abgebildeten Prozesse für jeden Simulationstag (nach Franko et al. 1995)

Erforderliche Eingangsdaten für die Wassermodellierung

- Tagesmittel der Lufttemperatur in 2 m
- Niederschlag
- Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer
- Pflanzendaten (s. Eingabedaten Stickstoffmodellierung)

Benötigte Bodendaten (Trockenrohichte, Trockensubstanzdichte, Permanenter Welkepunkt, Wasserkapazität und Feinanteil) sowie weitere Modellparameter sind im Parameterraum des Systems verfügbar und werden im allgemeinen nicht durch den Nutzer eingegeben.

Die Beschreibung der Bodenwärmedynamik erfolgt mittels eines Modells von SUCKOW⁸.

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Grundlage des Modells ist die enge Kopplung des C- und N-Kreislaufes im Boden. Dem C-Kreislauf kommt dabei die Schlüsselrolle zu, da durch ihn die Energie für eine Vielzahl mikrobieller Umsatzprozesse bereitgestellt wird.

Zur Simulation wird die organische Substanz in organische Bodensubstanz (OBS) und org. Primärschubstanz (OPS) (alle org. Dünger, Ernte- und Wurzelrückstände) unterteilt. Die OBS wird noch weiter in einen inerten und einen umsetzbaren Pool eingeteilt, mit einer weiteren Unterteilung in aktiver und stabilisierter Form (s. Abbildung 2.7). Es wurde zudem ein Modul implementiert, welches die physikalischen Bodeneigenschaften in Abhängigkeit des aktuellen C-Gehaltes laufend aktualisiert, welches auf Veränderung der Bewirtschaftung oder der Umsatzbedingungen reagiert. Der Bodenstickstoff wird im Modell in den durch das C/N-Verhältnis bestimmten organischen Anteil sowie den anorganischen Anteil Nitrat-N und Ammonium-N unterschieden. Folgende Teilprozesse sind im Modell abgebildet:

- Einwaschung Immissions- und Düngungsstickstoff erfolgt proportional mit der in den Boden eindringenden Wassermenge.
- Abbau und Mineralisierung der organischen Substanz:
wird in erster Linie durch den C-Umsatz bestimmt (s.o.), der durch Bodenfeuchte, -durchlüftung und -temperatur beeinflusst wird. Der N-Umsatz und die Richtung der N-Transformation (Immobilisierung oder Mineralisierung) wird aus der C-Dynamik und den C/N-Verhältnissen der betrachteten Fraktionen abgeleitet.
- Nitrifizierung: Die Simulation der Nitrifizierung erfolgt nach RITCHIE ET AL. (1986)⁹ auf der Grundlage eines reaktionskinetischen Ansatzes von Michaelis-Menten
- Gasförmige N-Verluste: es werden nur Denitrifikationsverluste berücksichtigt

Pflanzenmodell

CANDY enthält kein detailliertes Pflanzenmodell. Die Pflanze wird als eine Senke für Stickstoff angesehen. Der Verlauf der N-Aufnahme über die Vegetationszeit durch die Pflanze wird als „S-förmige“-Kurve dargestellt.

⁸ SUCKOW, F. (1969): Ein Modell zur Berechnung der Bodentemperatur unter Brache und unter Pflanzenbestand. Dissertation, AdL der DDR, Berlin, S121.

⁹ RITCHIE, J.T., GODWIN, D.C., OTTER-NACKE, S. (1986): CERES-Wheat: A simulation model of wheat growth and development, CERES-Modellbeschreibung

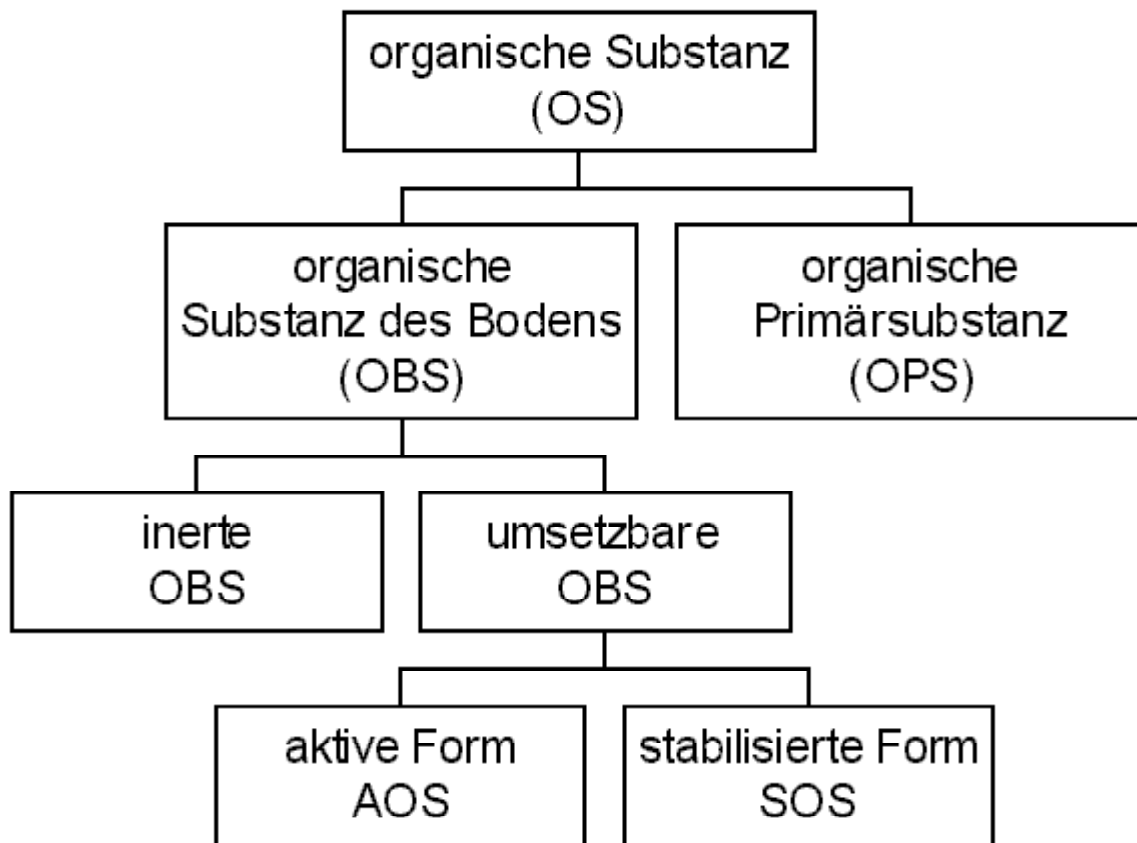


Abbildung 2-7: Zusammenhang der einzelnen Fraktionen der organischen Substanz im Modell CANDY

Erforderliche Eingangsdaten

Pflanze:

- Aussaattermin, Pflanzenaufgang
- Erntetermin
- angestrebter Gesamt-Entzug
- maximale Wurzeltiefe

Bewirtschaftung:

- Berechnungsmenge und -zeitpunkt
- Datum und Tiefe der mechanischen Durchmischung
- mineralische Düngung und Düngetermine
- Gesamtmenge und Art organischer Dünger
- Zusammensetzung (C-, N-Anteil) der organischen Düngung
- Düngetermine

Präprozessing/Parametrisierung

Durch Überlagerung aller Informationsebenen (Schlagkarte, Bodenkarte, Klimakarte) im GIS entstehen homogene Teilflächen. Die Ermittlung der Startwerte für die umsetzbare organische Substanz wird aus dem mittleren jährlichen Kohlenstoffinput über die wirksame Mineralisationszeit

(WMZ)¹⁰ abgeschätzt. Die Ermittlung des N_{\min} -Startwertes erfolgt auf Grundlage eines Niveau-Index für das Niveau der mineralischen N-Versorgung (Wertebereich 1- 5).

Anwendungsbeispiele/Validierung

Für verschiedene Standorte sind Testergebnisse vorhanden, vor allem schlagbezogen. Für ein ca. 7500 ha (= 75 km²) großes Testgebiet der Querfurter Platte erfolgte eine Koppelung von CANDY an ein GIS.

Überprüfung

Die Überprüfung erfolgt auf Basis von N_{\min} -Vergleichen, durch Überprüfung von N-Bilanzen und auf der Grundlage langfristiger C_{total} -Veränderungen.

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

Quellcode in Turbo-Pascal

Einordnung

Mit der GIS-Kopplung von CANDY sollen die C/N-Dynamik des Bodens auch auf größere Areale (Gesamtgebiet eines Betriebes, Agrarlandschaft) untersucht werden können. Einsatz findet GIS-CANDY bei Bewertung der Veränderung der C/N-Dynamik bei Klima- und Bewirtschaftungsszenarien auf lokaler Ebene. Sowohl für einzelne Schläge oder für einzelne Großbetriebe liegen Validierungsergebnisse vor. Lateralflüsse oder eine Grundwasseranbindung sind nicht eingebunden.

¹⁰ KARTSCHALL, T. (1986): Simulationsmodell der Bodenstickstoffdynamik. Dissertation A. AdL Berlin

2.3 DYNAMIT

Autoren

Huwe, B, Schulz, K. Schillinger, M.P.

Kurzbeschreibung

Das sich im Rahmen des Weiherbachprojektes in der Entwicklung befindliche N-Gebietsmodell DYNAMIT¹¹ (Dynamics of Nitrogen in Agricultural Fields; Modelling and Interpolation Tools) besteht aus den Modellkomponenten Wasser-, Wärme- und Stickstoffhaushalt (s. Abbildung 2.8 und 2.9). Die Vegetationsdynamik hat Einfluss auf alle drei Modellkomponenten. Es werden über eine GIS-Schnittstelle (Atlas-GIS, ARC/INFO) aus Bodenkarte, DHM und Landnutzungskarte homogene Teilflächen ausgegliedert. Für jede dieser Teilflächen werden dann Simulationen mit einem modifizierten WHNSIM, ein eindimensionales, deterministisches Simulationsmodell mit dem Schwerpunkt der Abbildung von Sickerwasser - und Stickstoffauswaschungsvorgängen, durchgeführt.

Literatur

- [1] SCHULZ, K. (1996): Das N-Gebietsmodell Dynamit. In: Tagungsunterlagen der Zwischenpräsentation am 10. Dezember 1996 in Karlsruhe. Weiherbachprojekt
- [2] SCHULZ, K. und SCHILLINGER, M.P. (1995): Zwischenbericht 1995 für Teilprojekt 17: Modellierung der flächigen Stickstoffdynamik eines überwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebietes
- [3] HUWE, B. (1993): Bedeutung der räumlichen Variabilität von Modellparametern Für Zielgrößen des Wasser- und Stickstoffhaushalts landwirtschaftlich genutzter Boden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Nr. 72, I, 135- 138
- [4] HUWE, B.; LOCHMANN, R.; STROHM, E.; GOLZ-HUWE, H.; PLOEG, RR-VAN-DER (1991): Ein Konzept zur Regionalisierung punktformiger Daten zur Erfassung des Nitrataustrags der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Einzugsgebiet eines Wasserwerks. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Nr. 66: I, 151-154
- [5] HUWE, B.; PLOEG, RR-VAN-DER (1991): WHNSIM-a soil nitrogen simulation model for Southern Germany. Fertilizer-Research, 27: 2-3, 331-339

Einsatzbereich

kleine landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiete

GIS-Kopplung

Atlas-GIS, ARC/INFO

¹¹ Nicht verwechseln mit DYNAMITE (Dynamics of Nutrients and Moisture In Tropical Ecosystems (The Tropenbos Foundation, Wa-geningen)

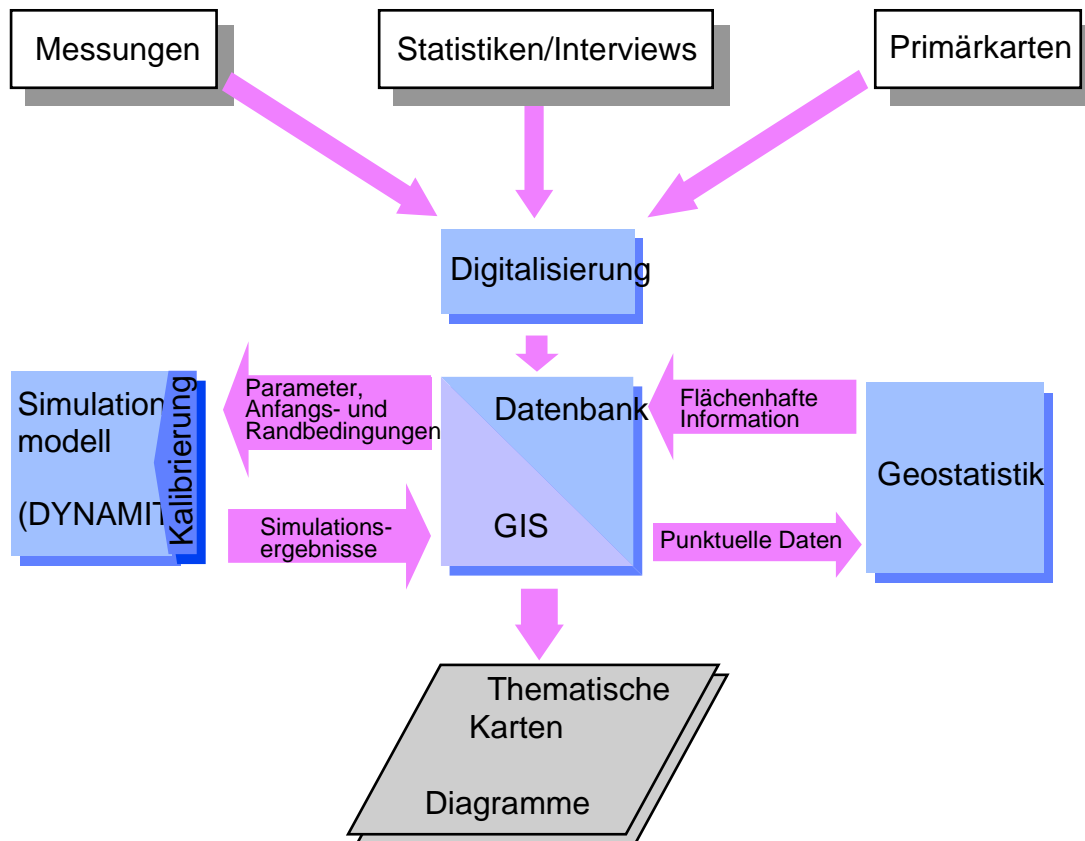


Abbildung 2-8: Modellkomponenten von DYNAMIT Datenbank-Kopplung ACCESS

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Eine Übersicht über die Verknüpfung der Daten und Karten in DYNAMIT für die flächenhafte Stickstoffmodellierung gibt die Abbildung 2.10.

Eine zu modellierende homogene Teilfläche ergibt sich damit durch Verschneidung folgender Karten:

- digitale Karte der bodenphysikalischen Eigenschaften
- digitale Karte der Kulturarten
- digitale Karte der Nitratwerte

Zeitliche Auflösung wie in WHNSIM (1 Tag)

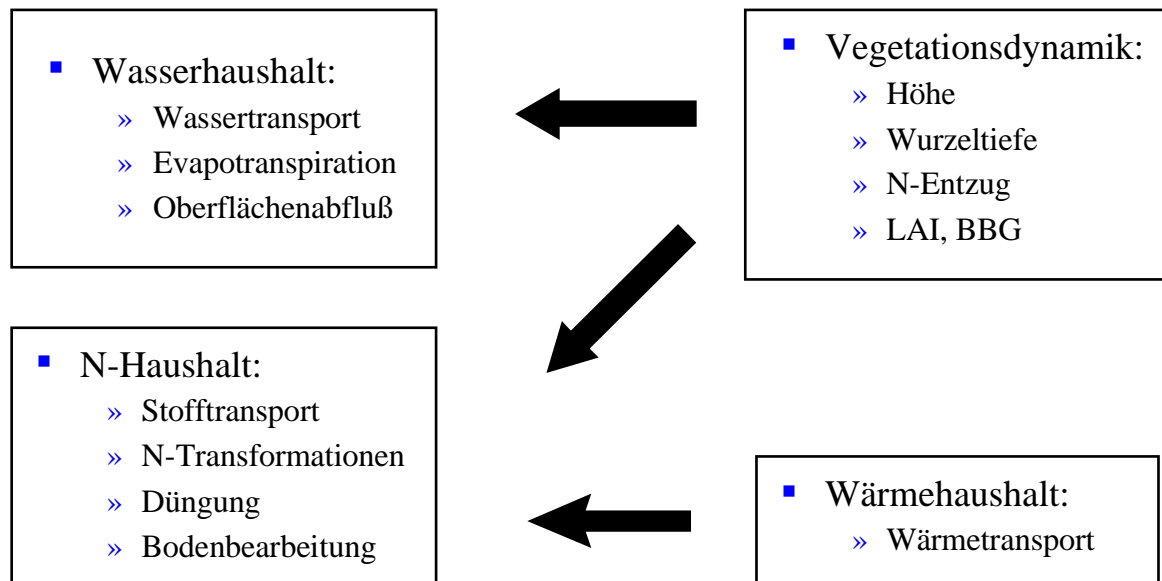


Abbildung 2-9: Modellkonzept von DYNAMIT

Wasser-Modellierung

Der Wasserhaushalt beinhaltet die Teilprozesse:

- Wassertransport: Richards-Gleichung: Bodenphysikalische Parameter (pf-WG-Kurve, gesättigte und ungesättigte Wasserleitfähigkeit) aus repräsentativen Standorten. Alle hydraulische Eigenschaften durch Ableitung nach Modell von VAN GENUCHTEN und MUALEM.
- Evapotranspirationsprozesse: durch Inter-/Extrapolation agrarmeteorologischer Parameter gewonnene obere Randbedingung des Wassertransportes
- Oberflächenabfluss: bisher nur bei versiegelten Flächen mit Zeitverzögerung (nach Abstand zum Vorfluter) Für eine genauere Beschreibung des Wassertransportes wird auf die Beschreibungen des Modells WHNSIM verwiesen¹²

Lateralfluss/Grundwasseranbindung

In WHNSIM werden Lateralflüsse mit vereinfachten Annahmen als Senken-Term berücksichtigt für Interflow bei Hanglagen (gesättigter Boden) und für Drainsysteme. Eine Grundwasseranbindung ist nicht implementiert.

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Die Beschreibung des Stickstoffhaushaltes gliedert sich zum einem in den Transport gelöster Stickstoffverbindungen mit dem Bodenwasser und zum anderen in mikrobiell katalysierten N-Transformationen in der ungesättigten Zone. Der Stofftransport beschränkt sich auf Nitrat und wird mit der Advektions-Dispersionsgleichung beschrieben. Entscheidende Randbedingungen sind der N-Gehalt des Regenwassers und Düngungsmaßnahmen der Landwirte (Befragung!). Die Quell-/Senken-Terme für Nitrat werden durch drei Transformationsprozesse im Boden bestimmt:

- die N-Mineralisation
- die Denitrifikation
- N-Immobilisierung

¹² eine kostenlose Anleitung für WHNSIM Version 2.0 liegt auf folgender Internetadresse als ps-Datei (gepackt in whnsim.arj) vor (ftp):
btgyx2.geo.uni-bayreuth.de -- user: ftp -- password: email-Adresse -- Verzeichnis:
/pub/incoming/whnsim/whnsim.arj

Für eine genauere Beschreibung des Stickstoffhaushaltes wird auf die Beschreibungen des Modells WHNSIM verwiesen.

Pflanzenmodell

Ein eigenständiges Pflanzenmodell ist nicht implementiert. Die Vegetationsdynamik wird in Form von Entwicklungs- und Entzugskurven für die Größen Wachstumshöhe, Wurzeltiefe, Blattflächenindex, Bodenbedeckungsgrad und Stickstoffentzüge vorgegeben. Die Daten werden über eine Projekt-Datenbank bezogen und ggf. durch eigene Messungen ergänzt.

Erforderliche Eingangsdaten

Eingabedaten sind:

- Wetterdaten (tägl. Niederschlag, N-Gehalt im Niederschlag, mittl. Tagestemp., pot. Evapotranspiration),
- Bodendaten (pF-WG-Beziehung, hydraulische Leitfähigkeit, thermische Leitfähigkeit, pH-Wert und Gehalt an organischem Kohlenstoff),
- Vegetationsdaten (Beginn Ende des Vegetationsabschnitts, min/max Bedeckungsgrad, Blattflächenindex, Durchwurzelungsstufe, Gesamtwurzellänge, Gesamttrockenmasse, Gesamt-N-Gehalt der Pflanzen und rel. Wurzelverteilung,
- Bewirtschaftungsdaten, (Org. und mineral. Düngung: Zeitpunkt und Menge) und Standortdaten.

Präprozessing/Parametrisierung

Die Ableitung der erforderlichen räumlichen Parameter erfolgt folgendermaßen (siehe dazu auch Abbildung 2.10):

- bodenphysikalische Eigenschaften: Erstellung der digitalen Karte der bodenhydraulischen Eigenschaften für das ganze Einzugsgebiet über repräsentative Standorte. Durch Anwendung von Pedotransferfunktionen (s.o.) werden die ermittelten Eigenschaften der Einzelstandorte mit der Texturinformation der Bodenkarte verknüpft
- Kulturarten: durch Befragung der Landwirte. Dieses Verfahren wird von den Bearbeitern als unbefriedigend bezeichnet.
- Nitratwerte: Erstellung einer Karte mit Nitratdurchschnittswerten für die Jahresanfänge (Januar-Februar) mit Güteangabe zur Vorhaltung in ARC/INFO. Dazu wurden verschiedene Schätzverfahren der räumlichen Ableitung der Nitratwerte getestet:
 - Schätzung durch den nächsten Nachbarn
 - Schätzung durch den nächsten Nachbarn mit gleicher Kulturart
 - Schätzung durch den nächsten Nachbarn mit gleicher Hanglage
 - Schätzung mit multipler Indikator-Regression
 - Schätzung durch Klassifikation
 - Mittelwert-Schätzverfahren (als einfaches Vergleichsverfahren)

Anwendungsbeispiele/Validierung

Simulationen wurden bisher zunächst nur an den Intensivmessflächen durchgeführt. Zur Validierung liegen keine Literaturangaben vor.

Überprüfung

k. A.

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

Programmiersprache FORTRAN77

Eine detaillierte mathematische Beschreibung aller implementierten Prozesse und Verfahren sowie der numerischen Lösungsverfahren erfolgt mit Beendigung des Projektes in Form einer Modelldokumentation.

WWW: <http://www.gsf.de/UFIS/ufis/modell47/modell.html>

Einordnung

Es handelt sich um ein sich noch in der Entwicklung befindliches eindimensionales, deterministisches Simulationsmodell mit dem Schwerpunkt der Abbildung von Sickerwasser und Stickstoffauswaschungsvorgängen. Das Modell integriert alle wesentlichen Prozesse wie Wasser-, Wärme- und Lösungstransport sowie Evapotranspiration, Stickstofftransformation und Vegetationsentwicklung. Der simulierte Zeitraum kann flexibel für eine Vegetationsperiode, ein Kalenderjahr oder eine Fruchtfolge gewählt werden. Die Regionalisierung der Stickstoffmodellierung erfolgt durch Zusammenführung der Ergebnisse der eindimensionalen Einzelsimulationen eines jeden Einzugsgebietes. Eine genaue Darstellung dieses Prozesses fehlt und ist bisher nur in Teileinzugsgebieten des Weiherbachprojektes geschehen. Eine Einbindung von Lateralfüssen erfolgt nur mit Oberflächenabfluss auf versiegelten Flächen. Eine Grundwasseranbindung findet nicht statt.

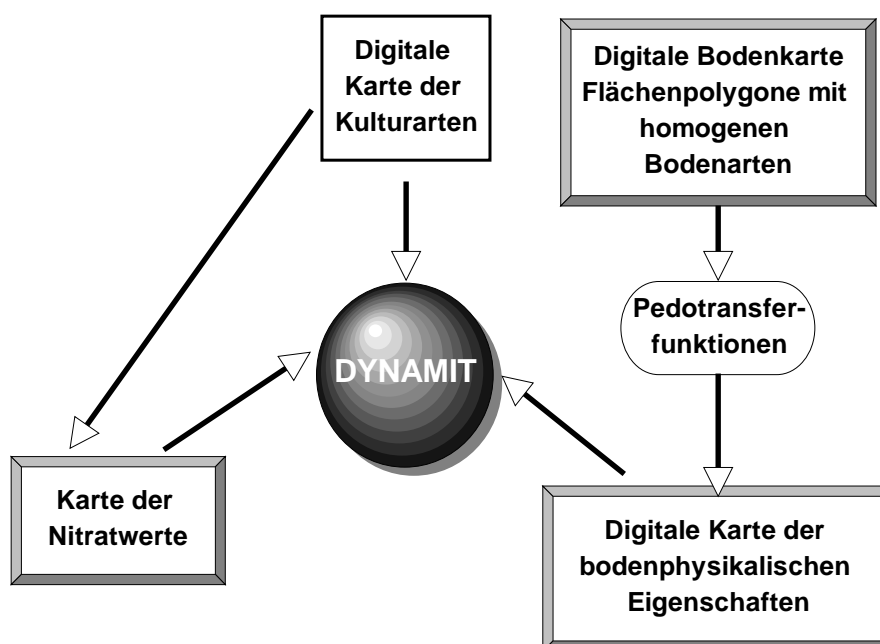


Abbildung 2-10: Verknüpfung der Daten und Karten in DYNAMIT (verändert nach Schulz und Schillinger, 1995)

2.4 Weiterentwicklung von EHP und AKWA-M

Autoren

Schwarze, R.; Grünewald, U.

Kurzbeschreibung

Das von 2 Arbeitsgruppen an der TU Cottbus und TU Dresden zu entwickelnde Modellsystem für den Festgesteinsbereich der Elbe beindet sich zur Zeit noch in der Antragsstellung. Aus diesem Grunde liegen auch noch wenig Informationen vor. Dieses Modellsystem soll den sickerwassergebundenen Stoffaustrag, speziell die Nitratproblematik, bearbeiten. Dies geschieht über eine genestete Modellierung, die von einer ganzen Reihe sehr gut untersuchter Einzelgebiete ausgehen kann, deren Daten zur Bewirtschaftung und zu Stoffein- und austragen bis in die 70er Jahre zurückgeht. Das neue Modellsystem soll zum einem aus den vorhandenen Modellsystemen EHP (**E**ntscheidungs-**H**ilfe-**P**rogramm) für den Stickstoffhaushalt, AKWA-M für den Wasserhaushalt sowie einem zu entwickelnden Modellteil zur Darstellung des Fließ-Weg- und Zeitverhaltens der verschiedenen Abflusskomponenten bestehen. Hier gilt besonders, dass der große Anteil der unterirdischen Wasserflüsse bisher nicht adäquat abgebildet werden kann. Bisherige Abflussmodelle stellen diese Abfluss-Komponenten nur einfach dar.

Literatur

- [1] WALTHER, J (1989): Naturwissenschaftliche Grundlagen, Entwicklungsstand und Anwendungsmöglichkeiten eines rechnergestützten Ansatzes zur Planung und Kontrolle der landwirtschaftlichen Flächennutzung in Trinkwasserschutzgebieten. Diss., TU Dresden, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen.
- [2] GURTZ, J.; SCHWARZE, R.; PESCHKE, G.; GRUNEWALD, U. (1990): Estimation of the surface, subsurface and groundwater runoff components in mountainous areas. Hydrology of mountainous areas. [edited by Molnar, L.]. IAHS-Publication. 1990, No. 190, 263-280; 9 ref. Proceedings of the international workshop held at Strbske Pleso, Vysoke Tatry, Czechoslovakia, 7-10 June 1988. Wallingford, UK; International Association of Hydrological Sciences.
- [3] WALTHER, J. & GrünEWald, U. (1991): Application of a decision supporting model for agricultural management in drinking water protection areas. In: Hydrological basis of ecologically sound management of soil and groundwater. Proceedings of an international symposium held during the 20th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics at Vienna, August 1991 [edited by Nachtnebel, H.P.; Kovar, K.]. 1991, 377-385, IAHS Publication No. 202. Wallingford, UK; International Association of Hydrological Sciences.
- [4] SCHWARZE, R.; HERRMANN, A.; MENDE, Ö.; SEUNA, P. (ed.); GUSTARD, A. (ed.); ARNELL, N.W. (ed.); COLE, G.A. (1995): Regionalization of runoff components for Central European basins. In: FRIEND: flow regimes from international experimental and network data. Proceedings of an international conference held at the Technical University of Brunswick, Germany, 11 to 15 October 1993. 1994, 493-502; IAHS Publication, No. 221

Einsatzbereich

10 - 10.000 km²

GIS-Koppling

ARC/INFO

Datenbank-Kopplung

k.A.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

orientiert sich an landwirtschaftlicher Schlagsstruktur als wichtigste Steuergröße bzw. kleinen Einzugsgebieten

Die zeitliche Auflösung beträgt 1 Tag

Wasser-Modellierung

Der Wasserhaushalt soll mit einer Weiterentwicklung von AKWA-M simuliert werden. Es existiert ein Landnutzungsmodell mit bisher 30 verschiedenen Nutzungen Folgende Prozesse werden simuliert:

- pot. Verdunstung (5 Ansätze u.a. Penman-Montheit)
- Interzeption
- Schneedecke
- Direktabflussbildung:
bisher: empirische Ansätze, die weiterhin zur Verfügung stehen werden (z.B. curved-number)
neu: physikalisch basiertes aber analytisch lösbares Infiltrationsmodell (SWIM-F)
- Bodenwasserhaushalt:
bisher: nur Speicher-Ansatz neu: physikalisch begründeter Ansatz (BOWAM). Unterteilung in 10 - 20 Bodenschichten mit dynamischer Wasserbewegung zwischen den Schichten.
- Makroporen (einfach)
- reale Verdunstung (3 Ansätze)
- Perkolation unterhalb der Wurzelzone
- Modellierung des Fließ-Weg- und Zeitverhaltens (SLOWCOMP) für die unterschiedlichen Abflusskomponenten

Lateralfuss/Grundwasseranbindung

werden eingebunden

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Der Stickstoffhaushalt soll mit dem Boden-N-Teilmodell von EHP abgebildet werden. EHP ist ein schlagorientiertes Basismodell aus den 80er Jahren, welches an der TU-Dresden entwickelt wurde. Es diente vor allem als Instrument für die Entscheidungsträger im Konfliktbereich Wasserwirtschaft - Landwirtschaft im Festgesteinsbereich des Erzgebirges (Trinkwassertalsperren). Es ist daher sehr einfach aufgebaut und modelliert ein komplettes Einzugsgebiet.

Folgend Prozesse werden modelliert (Schichtdicke: 60cm, Mineralisation oberen 20cm):

- Mineralisation/Immobilisierung (wie in CANDY):
 - Pools, Kinetik 1. Ordnung
 - Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte
- Denitrifikation:
 - ~ Lufttemperatur, Tongehalt
- N-Aufnahme der Vegetation:
 - ~ Wasser- und N-Angebot
- Stoffverlagerung:
 - nach Burns, Mischzellenmodell

Eine Kalibrierung erfolgt über N_{\min} -Messungen, Abfluss- und Konzentrationsdaten und Altersdatierung der Abflusskomponenten

Die Erweiterung des Schlagmodells EHP zum Gebietsmodell erfolgt über:

- Vorfluterprozesse/-komponenten:
 - schneller und langsamer Basis-Abfluss
 - Zwischenabfluss
 - Oberflächenabfluss
- Aufteilung des Sickerwassers in die Komponenten:
 - DIFGA-Ganglinienanalyseverfahren
- Verwendung von Transferfunktionen für den Stofftransport

Eingangsdaten

- Gebietsdaten¹³
digitale Karten:
 - Geologie
 - Böden
 - Landnutzung
 - Morphologie
 - Bewirtschaftungsstruktur
- Meteorologie
Monatsmittel:
 - Niederschläge
 - Lufttemperaturen
 - Sonnenscheindauer
 - rel. Luftfeuchte
- Bewirtschaftungsdaten
 - Fruchtfolge
 - Düngergaben
 - maximales Ertragsniveau der Fruchtarten
- Schlagspezifische Daten
 - Fläche
 - Feldkapazität
 - Startwert N_{\min}
 - N_{pot}
 - Feinkornanteil

Präprozessing/Parametrisierung

Erstellung der digitalen Karten¹⁴

¹³ liegen durch Vorarbeiten der beiden AG's für den Festgesteinsbereich der Elbe weitgehend vor

geplant: Sukzessiver Übergang von Bewirtschaftungsdaten des Schlages zu Bewirtschaftungs-Szenarien für das Einzugsgebiet. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Leipzig.

Anwendungsbeispiele/Validierung

EHP: Hölzelbergbach 76 ha

M. BLATTNER (1996): Modelle EHP. In: Tagungsunterlagen Zwischenpräsentation am 10. Dezember 1996 in Karlsruhe. BMBF-Verbundprojekt "Prognosemodell für die Gewässerbelastung durch Stofftransport aus kleinen Einzugsgebieten" - Weiherbachprojekt -

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

k. A.

Einordnung

Eine endgültige Einordnung kann an dieser Stelle noch nicht erfolgen, da sich dieses Modellsystem noch in der Entwicklung befindet. Für den Festgesteinsbereich der Elbe kann dieses Modell aufgrund der angestrebten Abbildung der z.T. sehr lange Verweilzeiten eines großen Teils des unterirdischen Abflusses eine wichtige Rolle spielen. Ein kleines Einzugsgebiet (Hölzelbergbach, 76 ha) ist schon validiert, allerdings ohne die geplante Modellerweiterung für den Wasserhaushalt.

¹⁴ für den Festgesteinsbereich fast vollständig bei den beiden Arbeitsgruppen Cottbus, Dresden) vor handen

2.5 MESO-N

Autoren

Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft der BTU Cottbus

Kurzbeschreibung

Das in Entwicklung befindliche Modellsystem MESO-N basiert im Wesentlichen auf den vorhandenen Modellen AKWA-M für den Wasserhaushalt und EHP für die Stickstoffmodellierung. Dazu fließen regionalisierte Ergebnisse von Abflusskomponentenuntersuchungen mit DIFGA und isopenhydrologische Verfahren in das Modellkonzept ein. Zielstellung von MESO-N ist die Modellierung des regionalen Niederschlag-Abfluss-Prozesses in mesoskaligen Festgesteinseinzugsgebieten unter besonderer Berücksichtigung des Weg-Zeit-Verhaltens unterschiedlicher Abflusskomponenten und des an sie gekoppelten flächennutzungsabhängigen Stickstoffaustrags. Dabei ist es möglich, Nutzungskonzepte bzgl. ihrer Auswirkungen auf den Wasser- und Stickstoffhaushalt zu untersuchen und zu vergleichen. MESO-N benötigt ausschließlich breitenverfügbare Informationen. Die Bestimmung der Modellstruktur (Gebietsgliederung und Auswahl der Modellbausteine) und der Modellparameter erfolgt mit einem Expertensystem. Das System kommt durch die Nutzung ausschließlich breitenverfügbarer Gebietsinformationen ohne Kalibrierung aus, arbeitet deshalb aber mit Parametern, die mit einer Unschärfe behaftet sind, was in der Verarbeitung zu Räumen möglicher Lösungen führt, die wiederum durch das Expertensystem bewertet und mit Ergebnissen von ähnlichen in der Datenbasis vorhandenen gut untersuchten Einzugsgebieten verglichen werden. Eine Übersicht über den geplanten Modellaufbau gibt die Abbildung 2.11.

Literatur

- [1] **DIFGA:** SCHWARZE, R. (1985): Gegliederte Analyse und Synthes des Niederschlag-Abfluss-Prozesses von Einzugsgebieten, TU Dresden, Fak. f. Bau, Wasser- u. Forstwesen, Diss.
- [2] **AKWA-M:** MÜNCH, A. (1994): Wasserhaushaltsberechnungen für Mittelgebirgseinzugsgebiete unter Berücksichtigung einer sich ändernden Landnutzung. Dissertation. TU Dresden, Fak. Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften
- [3] **EHP:** WALTHER, J. (1989): Naturwissenschaftliche Grundlagen, Entwicklungsstand und Anwendungsmöglichkeiten eines rechnergestützten Ansatzes zur Planung und Kontrolle der landwirtschaftlichen Flächenplanung in Trinkwassereinzugsgebieten, TU Dresden, Fak. für Bau-, Wasser- und Forstwesen, Dissertation (Weitere Veröffentlichungen können auf Anfrage nachgereicht werden)

Einsatzbereich

1 - 1000 km²

GIS-Ankopplung

ARC/INFO, GRASS

Datenbank-Kopplung

ORACLE

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Wasserhaushalt: Tagesschritt Stickstoffhaushalt, Bewirtschaftung: Monatsschritt, teilweise durch Tagesschritt untersetzt

Wasser-Modellierung

Folgende Ansätze werden verwendet: Für die Modellierung des Bodenwasserhaushaltes wird das Modell AKWA-M weiterentwickelt:

- Landnutzungsmodell (30 versch. Nutzungen)
- potentielle Verdunstung (5 Ansätze u.a. Penman)
- Interzeptionsmodell (2 Ansätze, u.a. Hoyningen{Huene)
- Schneedecke (Tagesgradverfahren)
- Direktabflussbildung (Infiltrationsmodell SMINF)
- Bodenwasserhaushaltmodell mit Berücksichtigung der Verweilzeit vertikaler Wasserflüsse
- Speicheransätze
- physikalisch begründeter Ansatz (Modell BOWAM)
- Makroporenmodell ffl reale Verdunstung (3 Ansätze)
- Perkolation unterhalb der Wurzelzone

Lateralfloss/Grundwasseranbindung

Folgende Ansätze werden verwendet:

- Modellierung des Fliehweg- und Zeitverhaltens unterirdischer lateraler Abflusskomponenten im Festgesteinsaquifer:
 - Modell SLOWCOMP zur Berechnung des Wasser- und Stoffflusses Lithofazieskonzept zur hydrogeologischen Gliederung
 - physikalisch begründetes Parametermodell zur Berechnung von Umsatzräumen und Speicherkonstanten für hydrogeologische Einheiten
 - Verweilzeitmodellierung
- Niederschlag-Abflussmodell mit dem Schwerpunkt der Modellierung differenzierter Flieewege einschl. Wasserlaufmodell unter Berücksichtigung der Wirkung der Talsperren

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Als Boden-Stickstoff-Modell wird das Modell EHP weiterentwickelt:

- Modell eines gekoppelten C und N Umsatzes
- maximale Pflanzenaufnahme als fruchtart- und standortspezifische Größe
- reale Aufnahme in der Vegetationsperiode als Funktion des Witterungsverlaufes, mit Limitation durch Bodenwassergehalt und Nitratkonzentration in der Bodenlösung
- Berücksichtigung der relevanten Fruchtarten und -folgen incl. Zwischenfrüchte
- Abschätzung der Düngeverluste (NH₃) aus regionalen Faustzahlen
- Atmosphärische N-Einträge als Jahresmittelwerte (nicht ereignisbezogen)
- Denitrifikationsverluste als Regressionsansatz über den Bodenwassergehalt
- Nitratauswaschung durch Kopplung mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell

Zudem soll ein Bewirtschaftungsmodell eingesetzt werden.

Ein Modell zur Berechnung des Wasserhaushalts und des Stofftransportes für unterschiedlich ausgestattete Naturräume (Weiterentwicklung von AKWA-M) integriert die zuvor genannten Teilmodelle und wird als Expertensystem mit Charakter eines entscheidungsunterstützenden Systems gestaltet und ermöglicht die Quantifizierung der Auswirkungen einer sich verändernden Umwelt auf die hydrologischen Prozesse

Eingangsdaten

- benötigte Gebietsinformationen über digitale Karten
- Geologie
- Böden
- Landnutzung
- Morphologie
- Bewirtschaftungsstruktur
- sonst benötigte Daten:
 - meteorologischer Input (Niederschlag, Temperatur, Strahlung, Feuchte, Wind)
 - Bewirtschaftungsdaten (Fruchtfolgen, Düngergaben, Ertragsniveau)
 - schlagspezifische Daten (Fläche, Bodenparameter, Startwerte N_{min} und N_{pot})

Sonstiges

Entwicklungsplattform UNIX, Sprachen C++, PROLOG DIFGA, AKWA-M, EHP als MSDOS-Varianten verfügbar

Einordnung

Eine endgültige Einordnung kann an dieser Stelle noch nicht erfolgen, da sich dieses Modellsystem noch in der Entwicklung befindet. Für den Festgesteinsbereich der Elbe kann dieses Modell aufgrund der angestrebten Abbildung der z.T. sehr lange Verweilzeiten eines großen Teils des unterirdischen Abflusses eine wichtige Rolle spielen. Ein kleines Einzugsgebiet (Hölzelbergbach, 76 ha) ist schon validiert, allerdings ohne die geplante Modellerweiterung für den Wasserhaushalt.

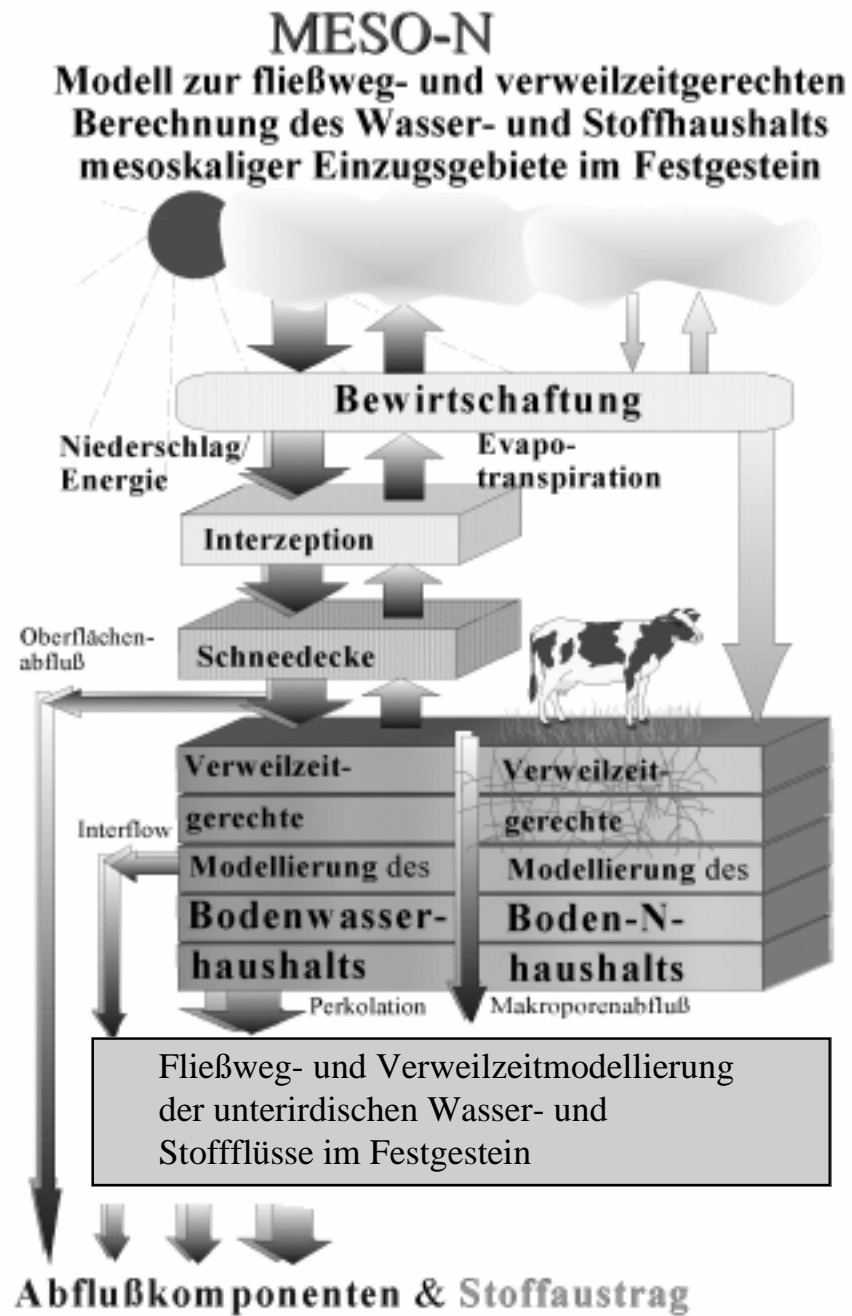


Abbildung 2-11: Modellkomponenten von MESO-N

2.6 ExpertN (Version 2.0)

Autoren

M. Baldioli, Th. Engel, Ch. Haberbosch, E. Priesack, Th. Schaaf, Ch. Sperr, E. Wang

Kurzbeschreibung

ExpertN ist ein Entwicklungssystem für N-Modelle, die den Wasser- und N-Transport in terrestrischen Ökosystemen beschreiben. Das System besteht aus modular aufgebauten Modellkomponenten zu Wasser-, Wärme- und Stofftransport (einschließlich des Transports in der gasförmigen Phase für N₂O und N₂). Diese Modellkomponenten setzen sich aus standardisierten Modelleinheiten zusammen, die jeweils einen Prozess der Modellkomponente beschreiben, wie z.B. die N-Mineralisation als Teil des N-Transports oder die Wurzelwasseraufnahme als Teil des Pflanzenmodells. Diese modulare Struktur erlaubt den einfachen Austausch von Modelleinheiten zum Vergleich von unterschiedlichen Teilmodellen bzw. Modellalgorithmen, die den gleichen Prozess beschreiben. Für jede Modelleinheit stehen verschiedene austauschbare Teilmodelle zur Verfügung. Zusätzlich lassen sich über die vom Modell unterstützte Einbindung von "dynamic link libraries" leicht eigene Modellentwicklungen integrieren. Damit ist ExpertN ein extrem flexibles Modellsystem, das sehr einfach an die Ziele der Modellierung (z.B. Düngempfehlung, N₂O-Emissionssimulation), an spezielle Standorte und Nutzungstypen und die Qualität und Verfügbarkeit von Eingabedaten angepasst werden kann. Basierend auf dem Windows-System für PCs hat ExpertN eine menügesteuerte Benutzerschnittstelle, die die interaktive Dateneingabe und Modellauswahl unterstützt.

Literatur

- [1] BALDIOLI, M., ENGEL, T., PRIESACK, E., SCHAAF, T., SPEER, C., WANG, . (1995): Expert-N, ein Baukasten zur Simulation der Stickstoffdynamik in Boden und Pflanze. Version 1.0. Benutzerhandbuch, Lehrinheit für Ackerbau und Informatik im Pflanzenbau, TU München, Selbstverlag, Freising, 1-202
- [2] ENGEL, T., PRIESACK, E. (1993): Expert-N, a building block system of nitrogen models as resource for advice, research, water management and policy. In: Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection (Eds.: Eijsackers, H.J.P. and Hamers, T.). Dordrecht, Niederlande, Kluwer Academic Publishers, 503-507.
- [3] ENGEL, T., PRIESACK, E. (1993): "Expert-N" - Ein Baukastensystem für Stickstoffmodelle - Ausgangssituation, Zielsetzung und Umsetzung. Agrarinformatik 24, 11-19.
- [4] ENGEL, T., KLÖCKING, B., SCHAAF, T., PRIESACK, E. (1993): Simulationsmodelle zur Stickstoffdynamik. Analyse und Vergleich. Agrarinformatik 25, Ulmer Verlag, Stuttgart, 1-484
- [5] PRIESACK, E., ENGEL, T. (1993): Modellierung des Wassertransports im Modellsystem "Expert-N". Agrarinformatik 24, 33-40.
- [6] SPERR, C., ENGEL, T., PRIESACK, E. (1993): Expert-N - Aufbau, Bedienung und Nutzungsmöglichkeiten des Prototyps. Agrarinformatik 24, 41-57.

Einsatzbereich

Schlag bis Wassereinzugsgebietsbene

GIS-Kopplung

ARC/INFO, ArcView mit AegisWin (DSSAT Standard Ein-/Ausgabe)

Datenbank-Kopplung

Access (SQL-Abfrage, s. Grafik zum Datenmanagement)

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Durch Verschneidung von Relief-, Boden- und Nutzungseinheiten werden homogene Flächeneinheiten ausgewiesen, für die der vertikale Wasser- und Stofftransport berechnet wird. Die zeitliche Diskretisierung ergibt sich je nach Wahl der Teilmodelle. Sie kann konstant (0.01-1.0 Tag) oder variabel (0.00001-0.01 Tage) gewählt werden.

Wasser-Modellierung

Das Wassermodell ist hochmodular mit einer Austauschmöglichkeit einzelner Komponenten aufgebaut.

- Wassertransport: Die Ansätze umfassen sowohl Kapazitätsmodelle (CERES, NSIM) als auch Modelle, die die Richards-Gleichung lösen (LEACHN, HYDRUS, Eigenentwicklung).
- Evaporation: Es stehen Ansätze nach Haude, Penman-Monteith, Priestley-Taylor und Ritchie zur Verfügung.
- Oberflächenabfluss: Neumann- und Dirichlet-Randbedingung, Modifizierte SCS Curve-Number Methode.
- Drainageabfluss: Wird derzeit als Senkenterm in der Richards-Gleichung beschrieben.
- Interflow: Wird derzeit durch einen Ansatz über Quellen- bzw. Senkenterme des vertikalen Transports entwickelt.
- Präferentieller Fluss: Berücksichtigung durch bimodales Porensystem.
- Schnee-/Bodenfrost-Modell: In Abhängigkeit der vorgegebenen Luft- und der simulierten Bodentemperaturen wird Schneedeckenbildung/Schneesmelze und Einfrieren/Auftauen des Bodenwassers beschrieben.

Lateralfloss/Grundwasseranbindung

Laterale Flüsse können derzeit nicht berücksichtigt werden. Unter Einbezug von präferentiellen Wasserflüssen wird derzeit ein Modellansatz implementiert, der es erlaubt ungesättigten lateralen Wasserfluss auch für Wassergehalte unterhalb der Feldkapazität zu simulieren. Die Anbindung an ein Grundwassermodell ist prinzipiell über die Kopplung der unteren Flussrandbedingung der ungesättigten Zone des betrachteten Wassereinzugsgebiets mit einem Grundwasserströmungsmodell möglich.

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Ebenso wie das Wassermodell ist das Stickstoffmodell hochmodular aufgebaut. Die einzelnen Komponenten umfassen unterschiedliche Einzelprozesse, die meist durch nichtlineare gewöhnliche Differentialgleichungen beschrieben werden. Ein Schwerpunkt der Modellentwicklung von ExpertN ist die Beschreibung der N₂O-Produktion/Emission aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Daher stehen sechs unterschiedliche Modelle für den C- und N-Umsatz sowie zur Denitrifikation/N₂O-Bildung zur Verfügung.

- N-Transport: Die Stofftransportmodellierung kann sowohl mit einem Kapazitätsansatz (CERES, NSIM) als auch durch Lösung der Konvektions-Dispersionsgleichung erfolgen (LEACHN, HYDRUS, Eigenentwicklung). Es werden Harnstoff-, Ammonium-, Nitrat und Lachgasverlagerung simuliert. Zur Simulation von N₂O-Emissionen wird auch der gasförmige N-Transport berücksichtigt.
- N-Transformationen: Für die Modellierung der C- und N-Umsätze stehen Ansätze nach SOILN, LEACHN, DAISY, NC SOIL, DNDC und eine Eigenentwicklung zur Verfügung. Die Eigenentwicklung berücksichtigt die Dynamik von mikrobieller Aktivität und Biomassepopulation in Abhängigkeit des C-Kreislaufs. Es werden N-Mineralisierung/Immobilisierung, Harnstoff-Hydrolyse, Nitrifikation, Denitrifikation,

kation und N₂O-Produktion abhängig von Temperatur, Bodenfeuchte, C- und N-Vorräten und Wiederbefeuchtungs- sowie Frost/Tau-Ereignissen berücksichtigt.

Pflanzenmodell

Die Pflanzenmodelle von ExpertN umfassen die Familie der CERES- und SUCROSMModelle. Sie sind wiederum hochmodular aufgebaut und umfassen für die jeweiligen Kulturpflanzenarten

- das Teilmodell zu Pflanzen-Entwicklung und Wachstum mit den Untermodellen zu Phänologie, Assimilatverteilung, Photosynthese, Erhaltungswachstum, Biomassewachstum, Blatt,ächenentwicklung, Wurzelwachstum,
- das Teilmodell Pflanzen-Wasser mit den Untermodellen zur potentiellen und aktuellen Transpiration und zum Wasserstress sowie
- das Teilmodell Pflanzen-Sticksto, mit den Untermodellen zum N-Bedarf, zur N-Aufnahme und zum N-Stress. Als Fruchtarten werden derzeit Winter- und Sommer-Weizen, Winter- und Sommer-Gerste, Hafer, Mais, Kartoffel und Zuckerrübe unterstützt.

Erforderliche Eingabedaten

Standort

- Breitengrad
- Höhe [m ü. NN]
- Hangneigung [%]
- Langjähriges Mittel der Lufttemperatur [°C]

Boden-Charakterisierung (0-90cm)

- Fraktionen: Ton / Schluff, / Sand
- Steingehalt [cm³/cm³]
- Organische Substanz [g/kg]
- Lagerungsdichte [g/cm³]
- pH-Wert [cm³/cm³]
- Wassergehalt bei Feldkapazität und Welkepunkt [cm³/cm³]
- Retentionsmesswerte [cm³/cm³] 52
- Gesamtporenvolumen [cm³/cm³]
- Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]

Startwerte (0-90cm)

- Starttermin
- Grav. Wassergehalte [g/cm³]
- Bodentemperatur [°C]
- NO₃, NH₄ [mg/kg TB]
- Organischer C und N [g/cm³]
- Zufuhr organischer Substanz vor Simulationsbeginn [kg/ha]

Management

- Mineralische Düngung (Termine, NH₄-N, Urea-N) [kg N/ha]
- Organische Düngung (Termine, CT-Masse, NT-Masse) [kg/ha]

- Bodenbearbeitung (Termine, Tiefe)

Bestand (falls kein Pflanzenmodell für Kultur verfügbar)

Zu mehreren Terminen.

- Termine für Saat, Auflauf, max. Biomasse und Ernte
- oberird. Biomasse (C, N) [kg C,N/ha]
- Max. Wurzeltiefe [cm]
- Pflanzenbedeckungsgrad [cm²/cm²]
- Pflanzen- und Wurzelreste [kg C,N/ha]

Wetterdaten (Tageswerte)

- Niederschlag [mm]
- Lufttemperatur [°C] (Tiefst-, Höchst- und Mittelwert)

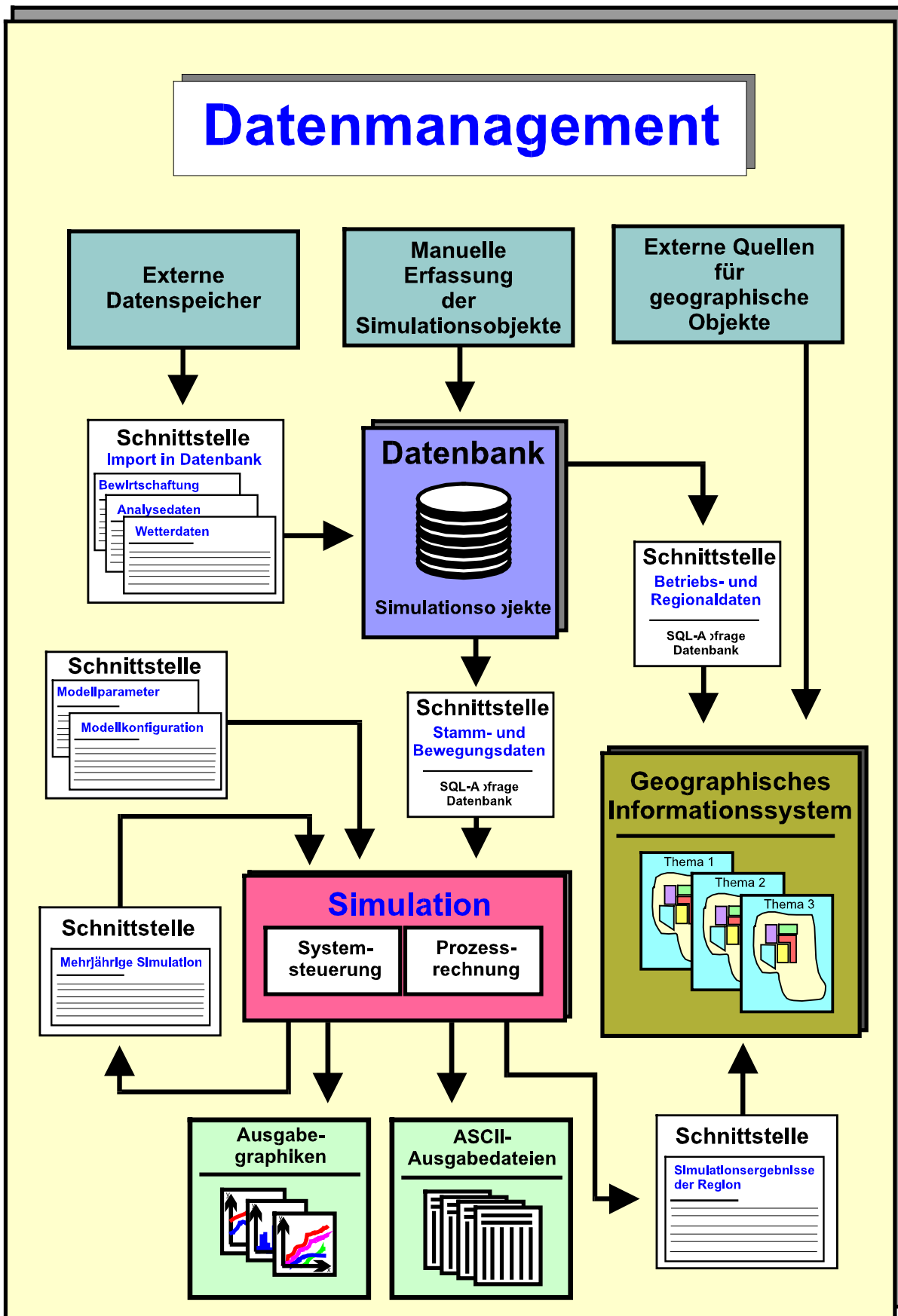


Abbildung 2-12: Datenmanagement bei Expert-N

- Globalstrahlung [MJ/m²]
- Windgeschwindigkeit [m/s]
- Luftfeuchte [%]

Präprozessing/Parametrisierung

Die erforderliche Datengrundlage erhält man aus dem Verschneiden von Bodenkarte, Landnutzungskarte und Angaben zu Relief und Wetterdaten. Dies geschieht über die GIS-Anbindung an die Datenbank. Zusätzlich werden Daten zur Bewirtschaftung aus Schlagkarteien benötigt. Aus den Bodenkarten werden über verschiedene im Model verfügbare Pedotransferfunktionen die bodenhydraulischen Parameter geschätzt.

Anwendungsbeispiele/Validierung

Nach Auffassung der Modellverfasser ist eine Validierung von N-Modellen generell unmöglich. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Modelkombinationen in ExpertN wurden nicht alle Kombinationsmöglichkeiten überprüft. Jedoch werden in ExpertN einige fest vorgegebene auswählbare Gesamtmodelle (NSIM, LEACH) vorgeschlagen, die anhand umfangreicher Datensätze überprüft worden sind. Die Modelle werden darüberhinaus im Rahmen des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM) angewandt und getestet.

Messdatenvergleich

ExpertN verfügt über eine Struktur zur Parameterermittlung durch Anpassen an Messwerte (fitting), so dass einzelne Teilmodelle oder Parametersätze anhand entsprechender Datensätze geschätzt werden können (Methode der kleinsten Quadrate). Darüberhinaus können mit Ausgabe-Grafiken (auch während des Simulationsvorgangs) Simulations- und Messergebnisse miteinander verglichen werden.

Verfügbarkeit (Quellcode)

Der Sourcecode der Modellkomponenten ist in C (ANSI-Standard) verfasst und kann über die Verfasser bezogen werden. Ab Juli 97 ist ein englisch dokumentierter Sourcecode auch über WWW abrufbar.

Sonstiges

WWW-Adresse <http://www.gsf.de/iboe/expertn/>

Von dieser Adresse kann auch das ausführbare Programm "expertn.exe" heruntergeladen werden (anonymous ftp). ExpertN V2.0 nutzt die Windows-Oberfläche und benötigt die PC bzw. Workstation-Betriebssysteme Windows 95 bzw. Windows NT. Die Modelldokumentation ist als online Hilfe einsehbar und wird über die Help-Funktion unter Windows aufgerufen.

Einordnung

ExpertN ist kein spezifisches Modell, sondern eine grafische Oberfläche für die Betriebssystem-Derivate von Microsoft Windows. Es hat damit mehr den Charakter eines Modellservers. ExpertN wurde für die landwirtschaftliche betriebliche Praxis entwickelt und stellt dem Nutzer eine einfach zu bedienende grafische Oberfläche zur Verfügung auf der verschiedene Modelle bzw. Modellansätze modular für die eigenen Zwecke flexibel zusammengeführt werden können. Angesichts der praxisnahen Herkunft werden bisher nur vertikale Prozesse modelliert. Angesichts der benutzerfreundlichen Oberfläche und der nach aussen offenen Struktur wäre eine Erweiterung von ExpertN für die Zwecke der Elbeökologie durchaus praktikabel. Dadurch würde auch für die Planung ein nutzbares Werkzeug zur Verfügung stehen.

2.7 GIS-basierter Ansatz der Nitratverlagerung zum Grundwasser und in die Oberflächengewässer (ZALF)

Autoren

Quast, J.; Dannowski, R.

Kurzbeschreibung

Im Rahmen des *TRANSFORM*-Vorhaben "Quantifizierung diffuser Stoffeinträge in der Gewässer im Einzugsgebiet der Oder und der Pommerschen Bucht mit dem Ziel der Erarbeitung von Entscheidungshilfen für den integrierten Gewässerschutz" wird am Institut für Hydrologie im ZALF, Müncheberg ein Modellansatz entwickelt, der die diffusen Einträge für große Gebiete (bis 100.000 km²) über eine statische Modellierung in ihrer Differenziertheit charakterisieren soll. Dazu wird das komplette Modell in eine GIS-Umgebung integriert¹⁵ (s. Tab. 2.1). Ausgangspunkt der Modellierung ist ein flächig differenzierter Stickstoffüberschuss der über die Grundwasserneubildung der Flächen abzüglich einiger Stickstoffverluste zum Grundwasser transportiert wird. Ziel ist es mit diesem einfachen großskaligen Modell den Entscheidungsträgern ein Instrument zur Bearbeitung großer, räumlich verteilter Daten zur Verfügung zu stellen.

Literatur

- [1] UBA-*Transform*-Vorhaben: Abschlussbericht der ersten Phase, April - Dezember 1996
- [2] MÜLLER, L.; Dannowski, R.; SCHINDLER, U.; EULENSTEIN, F.; MEISSNER, R. (1996): Gebietsabflüsse aus Agrarlandschaften Nordost- und Mitteldeutschlands. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 40(9), 1-8
- [3] DANNOWSKI, R.; QUAST, J.; BALLA, H.; MÜLLER, L. (1995): Estimating water courses diffuse nitrogen load from groundwater discharge within the North-East German loose rock portions of the Elbe and Baltic Sea watersheds. DIFusePOL '95 - 2nd International IAWQ Specialised Conference and Symposia on Diffuse Pollution, Brno and Prague, Czech Republic, August 13-18, 1995. - Proceedings Part II, 626-627
- [4] WENDLAND, F.; ALBERT, H.; BACH, M.; SCHMIDT, R. (1993): Atlas zum Nitratstrom in Deutschland. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 96 S.

Einsatzbereich

ganze Einzugsgebiete (- 100.000 km²)

GIS-Kopplung

ARC/INFO

Datenbank-Kopplung

k.A.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Einen Überblick über die thematischen Karten und die digitale Daten gibt Tabelle 2.1. Die zeitliche Auflösung beträgt 1 Jahr

¹⁵ d.h. das GIS ist die eigentliche Arbeitsgrundlage und nicht ein fertiges Modell mit einer GIS-Schnittstelle

Modellierung (Bodenwasser und Stofftransport)

Für die Modellierung (Oder-Einzugsgebiet) werden langjährige Mittelwerte (30 Jahre) für das Verhalten der Landschaft hinsichtlich der diffusen Einträge ins Grundwasser und später auch auf weiteren Wege in die Oberflächengewässer. Bisher wird nur bis zur Grundwasseroberfläche modelliert.

Ausgangspunkt ist ein flächendifferenziert ermittelter Stickstoff-Überschuss¹⁶. Die klimatische Wasserbilanz oder eine genauere Differenz zwischen Niederschlägen und realer Verdunstung wird für die Berechnung der Grundwasserneubildung bzw. Gesamtabfluss herangezogen. Die Grundwasserneubildung wird bisher nach dem Modell von GUGLA (1988) kalkuliert. Über den Grundwasserflurabstand wird die Verweilzeit in der durchlüfteten Bodenzone¹⁷ abgeschätzt und damit auch die Zeit für den Nitratabbau. Diese Eingangsgrößen bestimmen damit den Stickstoff-Transport zum Grundwasser.

Die Fortschrittsgeschwindigkeit einer Lösungsfront im vertikalen Profil wird aus der Grundwasserneubildung und der Feldkapazität, die hier auch auf den Unterboden übertragen wurde, abgeschätzt. Zusammen mit der Kenntnis des Grundwassers-Flurabstand kann so die Durchgangszeit für die Stickstoff-Front berechnet werden (s. Abb. 2.13)

Die Denitrifikation im *Oberboden* kann

1. nach der Methode von KÖHNE und WENGLAND (1992) oder
2. nach Michaelis-Menten Kinetik

abgeschätzt werden.

Die Denitrifikation im Unterboden wird mit einem Ansatz 1. Ordnung abgeschätzt, der aber noch nicht verifiziert wurde¹⁸

¹⁶ statistische Daten stehen zumindestens in Nord-Osten Deutschlands bis 1989 zur Verfügung

¹⁷ Bereich zwischen Boden- und Grundwasseroberfläche

¹⁸ es wird mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren gerechnet

	Map	Source	Scale level	Theme	Methodical basis	Categories/ units	Remarks
1	Potential evapotranspiration (long-term mean)	KORTÜM (1965), IMGW, series 1951/60	Grid: 500 m	Depth of PET	Calculated from data of 124 meteorological stations, spatial interpolation	mm/a	elaborated for the whole Odra catchment
2	Precipitation (long-term mean)	DWD, IMGW, series 1951/80	Grid: 500 m	Precipitation depth	About 677 precipitation stations, spatial interpolation	mm/a	
3	Sub-catchments	Hydrographic maps	1 : 200 000	Water divides	Digitised analogous maps	(-)	
4	Rivers	Hydrographic maps	1 : 200 000	Rivers	Digitised analogous maps	(-)	
5	Soil covering	German Federal Agency of Statistics	1 : 100 000	Land use	Remote sensing, topographic maps	44	elaborated for the German Part of the Odra catchment
6	Depth to groundwater table	(-)	Grid: 500 m	Depth	Calculated from 8 and 9	m	
7	Medium-scale agricultural site mapping (MMK)	BGR, countries Sa, BB, MV	1 : 100 000	Dominant soil texture	Site mapping	about 270	
8	Groundwater recharge	(-)	Grid: 1 km	Groundwater recharge	Calculated from 1 - 4 by means of 'GWD'	mm/a	
9	Medium-scale agricultural site mapping (MMK)	BGR, countries Sa, BB, MV	1 : 100 000	Subsoil field capacity	Remapping	about 270	
10	Digital elevation model	WASY Ltd.	1 : 200 000 Grid: 500 m	Topographic height	Topographic contour lines, spatial interpolation	m above sea level	
11	Groundwater table	WASY Ltd.	1 : 500 000 Grid: 500 m	Height	Groundwater contour lines, spatial interpolation	m above sea level	

Tabelle 2-1: Thematische Karten und digitale Datenbasis für das Oder-Einzugsgebiet (deutscher Teil)

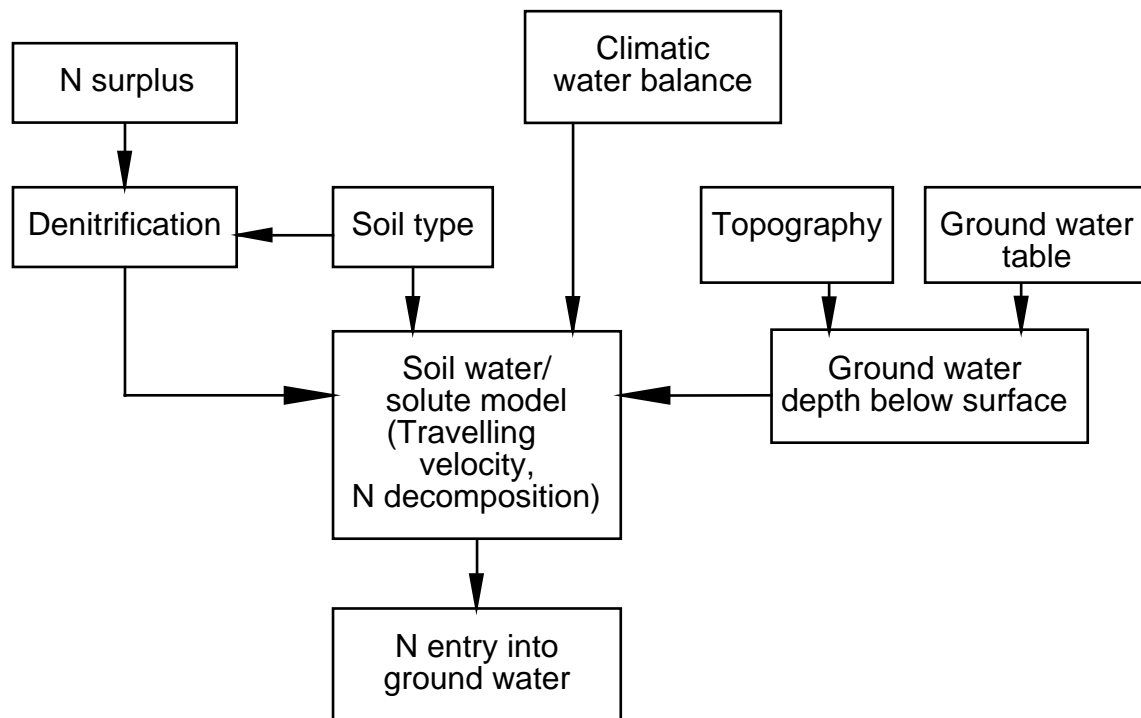


Abbildung 2-13: Schema der Modellierung des Stickstoff-(Nitrat)-Eintrags von landwirtschaftlich genutzten Flächen in das Grundwasser

Lateralfloss/Grundwasseranbindung

noch nicht eingebunden (bis 1998 geplant)

Eingangsdaten

Folgende Eingangsgrößen (aus amtlichen Daten) werden benötigt:

- ET_p
- Niederschlag
- Landnutzungsverteilung
- Höhe des Grundwasserflurabstandes
- Bodenkarte

Präprozessing/Parametrisierung

Die Abbildung 2.14 zeigt die Überlagerung der verwendeten Karten.

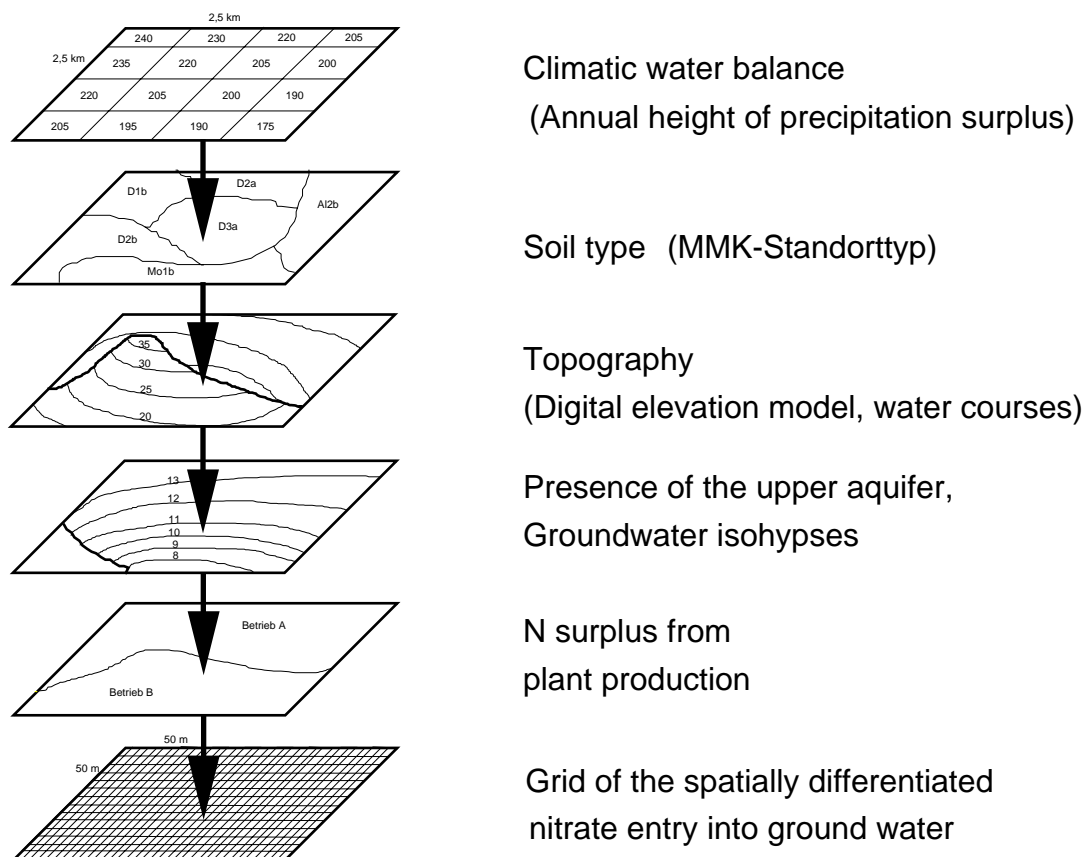


Abbildung 2-14: GIS-basierte, sich überlagernde Informationen zur Abschätzung der Nitrat-Einträge in das Grundwasser auf Einzugsgebiets-Skala (ZALF-Ansatz)

Anwendungsbeispiele/Validierung

Bisher wurde dieser Ansatz im Einzugsgebiet der Oder im Rahmen des *TRANSFORM*-Vorhabens angewandt.

UBA-*Transform*-Vorhaben: Abschlussbericht der ersten Phase, April - Dezember 1996.

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

k. A.

Einordnung

Der vorgestellte Modellansatz liegt im Grenzbereich zwischen der Meso- und Makroskala. Es ist ein statischer Ansatz (ähnlich dem Modell WENDLAND) und entspricht damit nicht den Anforderungen an eine mesoskalige Stickstoff-Modellierung für die Elbe-Ökologie. Er kann aber evt. dazu dienen sogenannte empfindliche¹⁹ Gebiete im Vorfeld herauszufiltern, ähnlich wie der Ansatz von WENDLAND.

Eine Modellierung findet bisher nur bis zur Grundwasseroberfläche statt. Geplant ist die weitere Modellierung des Weges vom Eintritt ins Grundwasser bis zum Fliessgewässer. Ungelöst sind

¹⁹ im Sinne Nitrataustrag

allerdings noch die Diskrepanz zwischen dem zum Grundwasser eingetragenen Nitratmenge und der in den Flüssen gefundenen. Hierbei scheint das Weg-Zeit-Verhalten die entscheidende Größe zu sein.

Eine Bewertung von Niederungsflächen findet in dem statischen Ansatz nicht statt, da es hier zu einer negativen Wasserbilanz kommt, die zeitlich nicht aufgelöst werden kann. Schnelle Einträge, wie z.B. über Dräne werden aus dem gleichen Grunde nicht betrachtet.

Die Einbindung lateraler Flüsse sind bis 1998 geplant. Dies soll über Informationen aus hydrogeologische Karten (Abstandsschätzung zwischen Eintrittsort und Fliessgewässer) erreicht werden.

Oberflächliche Einträge werden bisher nur für Phosphor abgeschätzt.

2.8 HERMES

Autoren

Kersebaum, K.C.; Richter, J.

Kurzbeschreibung

Das Modell simuliert folgende Prozesse (s. Abbildung 2.15): Netto-Mineralisation, Wasserhaushalt und -flüsse, Nitratverlagerung, Denitrifikation, Pflanzenwachstum/-entwicklung und N-Aufnahme durch die Pflanze. Eine Düngungsempfehlung kann aufgrund einer vorhergehenden vergleichenden Simulation der Stickstoffversorgung des Bodens und der Pflanzennachfrage getroffen werden. Dafür können Wetterszenarien benutzt werden, die auf mittleren Wetterdaten einer bestimmten Fläche beruhen. Folgende Modellprinzipien sind in HERMES implementiert:

- Wasserhaushalt: modifiziertes Kapazitätsmodell (Plattenmodell)
- Nitratverlagerung: Konvektions-Dispersionsgleichung
- Netto-Mineralisation: 2 Pools pot. mineralisierbares N mit kinetischer Reaktion 1. Ordnung in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchte
- Denitrifikation: Michaelis-Menten-Kinetik abh. von Nitratgehalt, Größe der wassergefüllten Poren und Temperatur
- Pflanzenwachstum: Brutto-Photosynthese und Atmung basierend auf das SUCROS-Modell
- Pflanzenentwicklung: biologische Zeit basierend auf Wärmezeit, Vernalisation und Tageslänge.

Das Modell kann mit einer kommerziellen Datenmanagement-Umgebung der Firma PCAGRAR in Pfarrkirchen verbunden werden.

Literatur

- [1] PC-AGRAR (1994): Handbuch zum Stickstoffsimulationsmodell "Hermes" Manual, PC-Agrar Informations- und Beratungsdienst, 21 Seiten
- [2] KERSEBAUM, K.C. (1997): GIS-gestützte Modellierung der N-Dynamik bei unterschiedlicher Bodendatenaggregation für die Agrarlandschaft Chorin. Archiv für Naturlands. (im Druck)
- [3] KERSEBAUM, K.C., K.-O. WENKEL (1996): Modelling water and nitrogen dynamics at three different spatial scales - influence of different data aggregation levels on simulation results

Einsatzbereich

Schlag- und Gebietsebene

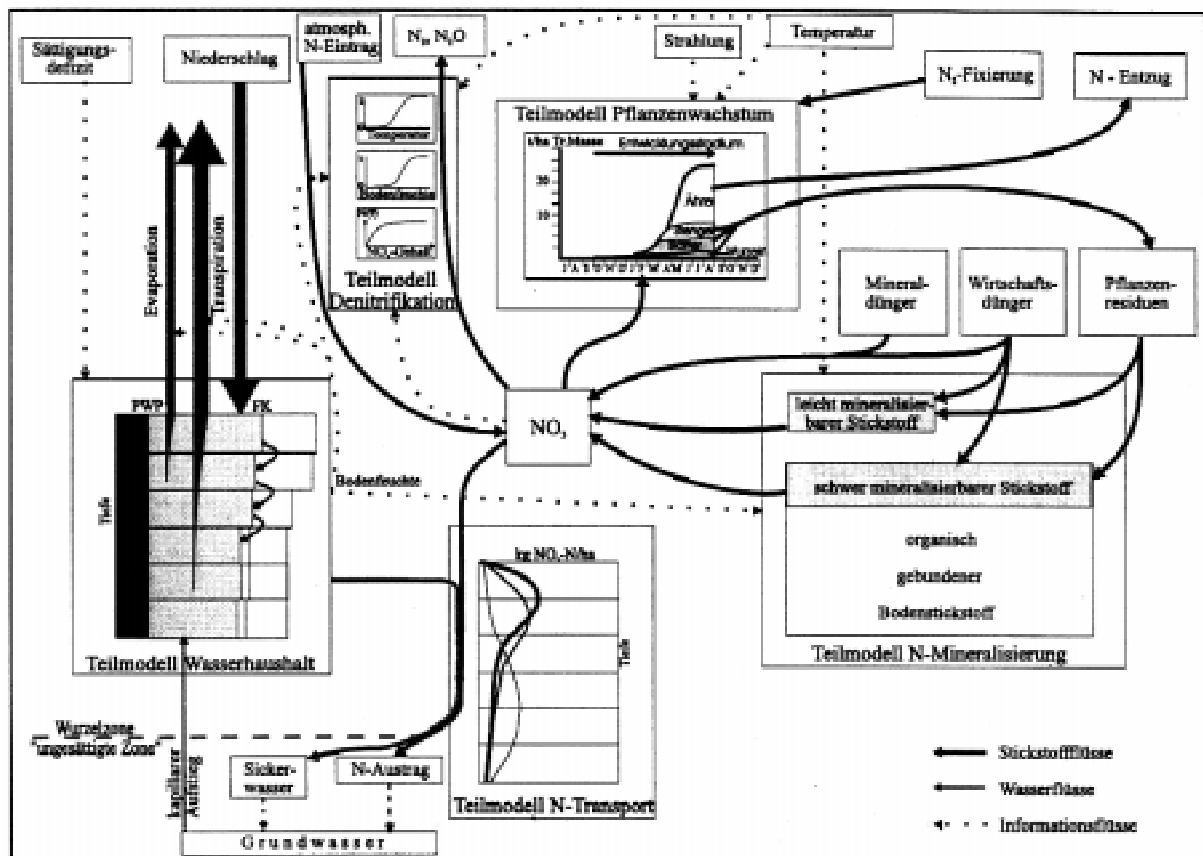


Abbildung 2-15: Schema des Stickstoffs simulationsmodells (Kersebaum 1997)

GIS-Kopplung

ARC/INFO

Datenbank-Kopplung

k. A.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Durch die Verschneidung der von Bodenprofil- und Anbauverfahrensdaten im GIS werden Einzelpolygone gebildet, für die dann jeweils eine eindimensionale Modellierung durchgeführt wird. Die Wetterdaten wurden repräsentativ für das ganze Gebiet angenommen.

Zeitschritt: 1 Tag

Wasser-Modellierung

Die Simulation des Wasserhaushaltes geschieht mit einem einfachen Kapazitätsmodell (Plattenmodell), da die dafür notwendigen Kapazitätsparameter (FK und PWP) sich relativ einfach anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung im wesentlichen aus der Textur und dem Humusgehalt abschätzen lassen. Parameter und Algorithmen für die Körnungsklassen sind schon an das Modell gekoppelt; es erfolgt nur die Eingabe der Bodenart. Der Wasserfluss wird durch täglichen Niederschlag abzüglich der aus dem aktuellen Wassergehalt abgeleiteten aktuellen Verdunstung initiiert.

Lateralfluss/Grundwasseranbindung

nicht implementiert

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Folgende Prozesse werden im Teilmodell N-Mineralisierung bearbeitet:

- Netto-Mineralisation: 2 Pools pot. mineralisierbares N mit kinetischer Reaktion 1. Ordnung in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchte
- Denitrifikation: Michaelis-Menten-Kinetik abh. von Nitratgehalt, Größe der wassergefüllten Poren und Temperatur

Für das Teilmodell N-Transport wird nur die Nitratverlagerung mit der klassischen Konvektions-Dispersionsgleichung simuliert.

Pflanzenmodell

Folgende Prozesse werden im Teilmodell Pflanzenwachstum simuliert:

- Pflanzenwachstum: Brutto-Photosynthese und Atmung basierend auf das SUCROS-Modell
- Pflanzenentwicklung: biologische Zeit basierend auf Wärmezeit, Vernalisation und Tageslänge.

Erforderliche Eingangsdaten

Eingabedaten sind:

- Wetterdaten:
 - tägl. Niederschlag
 - Sättigungsdefizit
 - Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer
 - Tagesmitteltemperatur
- Bodendaten:
 - Horizontierung mit Texturklasse und Humusgehalt
 - sonst Ableitung aus Bodenkarten (entsprechende Algorithmen sind eingebaut)
- Bewirtschaftungsdaten:
 - Anbaukultur
 - Aussaat- und Erntetermin
 - N-Düngertermine und -menge
 - optional: Ertrag

Präprozessing/Parametrisierung

Die Datengrundlage gliedert sich in Witterungs-, Boden- und Bewirtschaftungsdaten. Die Bewirtschaftungsdaten auf Schlagebene werden durch Befragung (Schlagkartei) erhoben. Die Witterungsdaten werden über eine repräsentative Wetterstation für das Gesamtgebiet bezogen. Die Bodendaten müssen, wenn sich nicht punkt- oder schlagspezifisch sind aus einer Bodenkarte abgeleitet werden. Es wurden bisher zwei Gebietssimulationen auf zwei verschiedenen Aggregationsebenen der Bodeninformation durchgeführt:

1. Bodenkarte der Reichsbodenschätzung (1:5000) mit 49 Klassifizierungseinheiten

2. mittelmaßstäbige Bodenkarte (MMK: 1:100.000) mit aggregierten Bodeneinheiten mit 8 Klassifizierungseinheiten

Anwendungsbeispiele/Validierung

Das beschriebene Modellsystem HERMES mit GIS-Anbindung wurde bereits in mehreren Arbeiten angewendet und auf Funktionsfähigkeit geprüft. Beispiele hierfür sind in der folgenden Literatur zu finden:

KERSEBAUM, K.C. (1997): GIS-gestützte Modellierung der N-Dynamik bei unterschiedlicher Bodendatenaggregation für die Agrarlandschaft Chorin. Archiv für Naturlands. (im Druck)

Überprüfung

k. A.

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

Programmiersprache: TRUE-BASIC V.2.02

Computer: PC, mindestens 80286; MS-DOS

WWW-Adresse:

<http://www.gsf.de/UFIS/ufis/modell47/modell.html>

http://dino.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/hermes.html

Einordnung

Hermes ist ein relativ altes Modellsystem, das sich im Einsatz auf der Schlagebene bewährt hat. Es ist als sehr robust zu bezeichnen und modelliert vertikale Prozesse, die für die Nitratverlagerung in Richtung Grundwasser bedeutend sind. Es ist für verschiedene Standorte validiert. Trotz der GIS-Anbindung ist eine Weiterentwicklung nicht geplant.

2.9 IGB-Ansatz zur Abschätzung des Dränabflusses

Autoren

Behrendt, H., Scholz, G.

Kurzbeschreibung

Bei der Analyse der Stickstoffbelastung der Flussgebiete von Mecklenburg-Vorpommern wurde abgeschätzt, dass in den meisten Flussgebieten die Stickstoffeinträge über Dränsysteme die Hauptquelle der diffusen N-Belastung darstellen. Für größere Flussgebiete kann dieser Eintrag aus Zeit- und Kostengründen nicht über detaillierte Dränkarten- oder kataster quantifiziert werden. Am Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) wird deshalb ein Ansatz vertreten, der den Anteil der gedränten Flächen über die als vernässt oder entwässerungsbedürftig eingestuften Böden ermöglicht. Basis dieses Ansatz ist der festgestellte Zusammenhang zwischen den beobachteten Stickstoffkonzentrationen und dem Anteil von vernässen Böden am Einzugsgebiet.

Literatur

- [1] BEHRENDT, H. (1996): Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus Flussgebieten des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Materialien zur Umwelt in Mecklenburg-Vorpommern, Heft 2/1996, 77S.
- [2] GELBRECHT, J., DRIESCHER, E., BEHRENDT, H. et al. (1996): Untersuchungen zu Stoffeinträgen in Oberflächengewässer sowie zu Stoffumsetzungsprozessen in Fließgewässern im Einzugsgebiet der Unteren Spree als Grundlage von Sanierungskonzepten. Berichte des IGB, Heft 2, 148 S.
- [3] SCHOLZ, G. (1997): Quantifizierung des Einflusses von Dränen auf die Nährstoffbelastung von Flussgebieten. Diplomarbeit, FU-Berlin, (in Vorb.)

Einsatzbereich

ganze Flusssysteme

GIS-Kopplung

keine

Datenbank-Kopplung

keine

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Eine Klassifikation der relevanten Standorttypen (vernässt) ist auf der Basis der flächendeckend für die neuen Bundesländer digital vorliegenden MMK und wahrscheinlich auch über die für ganz Deutschland verfügbare Bodenübersichtskarte (BÜK 1000) möglich.

Modellansatz

Das Modell geht davon aus, dass sich die an einem Gütepegel beobachtbare Gesamtstickstoffkonzentration unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der gemessenen Konzentrationen aus der Summe der Einträge aus dem Grundwasserpfad, aus den punktuellen Quellen und aus Dränsysteme ergibt. Der Anteil des Dränabflusses am Gesamtabfluss lässt sich aus dem Verhältnis zu den anderen Einträgen (Konzentration • Delta Abflussmenge) abschätzen.

Lateralabfluss/Grundwasseranbindung

nicht implementiert

Erforderliche Eingangsdaten

- mittlere N-Konzentrationen:
 - des Basisabflusses
 - der Dränabflüsse
 - der Punktquellen
- Wassermenge der Punktquellen

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

nicht implementiert

Pflanzenmodell

nicht implementiert

Anwendungsbeispiele/Validierung

SCHOLZ, G. (1997): Quantifizierung des Einflusses von Dränen auf die Nährstoffbelastung von Flussgebieten. Diplomarbeit, FU-Berlin, (in Vorb.)

Überprüfung

k.A.

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

k. A.

Einordnung

Die Modellvorstellung des IGB eignet sich für die kurzfristige Beschaffung von Eingangsdaten für solche Modelle die Dränabflüsse berechnen können. Die abgeleitete Beziehung kann nur den Anteil von Dränsystemen am Abfluss und an der Stoffbelastung eines Flussgebietes abschätzen, bietet aber den Vorteil dies relativ schnell mit allgemein verfügbaren Daten Ergebnisse liefern zu können, die gerade die Lücken in der Kenntnis des Dränsystems schliessen. Die Wichtung der verschiedenen Standorttypen bez. ihres Eintragspotentials ist nur über Stichproben möglich. Weiter sind Dräneinträge sehr stark ereignisabhängig (vor allen Niederschlagsintensität im Winterhalbjahr), sodass Stichproben nur bedingt aussagekräftig sind.

2.10 MINERVA

Autoren

BEBLIK, A.J.; KERSEBAUM, K.C.; RICHTER, J.

Kurzbeschreibung

MINERVA ist ein deterministisches Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in landwirtschaftlich genutzten Böden. Es enthält Teilmodelle zum Wasser-, und Stickstoffhaushalt sowie zum Pflanzenwachstum. Durch Anbindung an Parameterdatenbanken und seine flexible Programmstruktur lässt es sich je nach Standortsituation mit unterschiedlich komplexen Teilmodellen betreiben. Das Standortmodell kann teilschlagbezogen (Prozessstudien, Düngeberatung), auf Basis verteilter Parameter (Sensitivitätsanalyse) und durch die integrierte ArcInfo-Schnittstelle auch mesoskalig eingesetzt werden.

Im Ursprung geht dieser Ansatz auf das von Kersebaum (1989) veröffentlichte N-Haushaltsmodell (später: HERMES) zurück und wurde seit 1992 am Institut für Boden- und Gewässerschutz in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig zu einem modernen Beratungsinstrument ausgebaut. (siehe Abb. 2.16)

Literatur

- [1] BEBLIK, A.J. (1992): MINERVA - Das N-Haushaltsmodell aus dem Institut für Boden- und Gewässerschutz (iBUG). Programmbedienung und Befehlsreferenz. Braunschweig (iBUG) [5. Au. age 1997, 201 p].
- [2] BEBLIK, A.J. (1996): Beschreibung des Modells MINERVA zur Simulation des N-Haushalts. In: RICHTER, G.M. & BEBLIK, A.J. (1996): Nitrataustrag aus Ackerböden ins Grundwasser unterschiedlich belasteter Trinkwassereinzugsgebiete Niedersachsens. Abschlussbericht - Ergebnisteil. Braunschweig (Inst. f. Geographie und Geoökologie), p5 - 32.
- [3] KERSEBAUM, K.C. (1989): Die Simulation der Stickstoff-Dynamik von Ackerböden. Dissertation, Universität Hannover. [180 p].
- [4] VAN KEULEN, H.; PENNING DE VRIES, F.W.T.; DREES, E.M. (1982): A summary model for crop growth. In: PENNING DE VRIES AND VAN LAAR (eds.). Simulation of plant growth and crop production. Wageningen (Pudoc). p 87-97.

Einsatzbereich

Empfehlungen zur standort- und pflanzenbedarfgerechten Stickstoffdüngung, Vergleichende Prognose gebietsbezogener Bewirtschaftungsänderungen, Prozessanalyse.

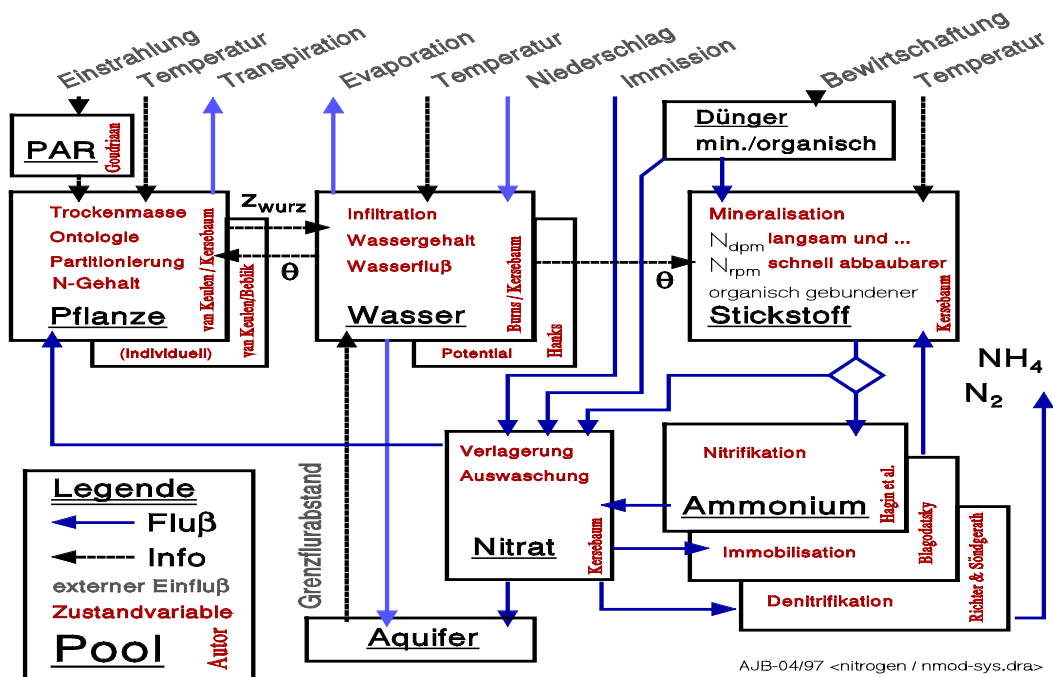


Abbildung 2-16: Struktur des N-Haushaltsmodells MINERVA

GIS-Kopplung

Die Kopplung zwischen Geographischem Informations-System (GIS) und Standortmodell erfolgt über eine Polygon-Attribut-Tabelle (PAT), in der jeder homogenen Teilfläche numerische Attribute (Merkmale) zugeordnet sind. Für kleinste Geometrien werden durch Definition von Regionaltypen bis zu 28 gebietsrelevante Eigenschaften (Regionalvariable) beschrieben. In jeder Dimension des Regionaltypen (z.B. Fruchtfolge-Index, Kennziffer des Leitprofils) können bis zu 44656 Varianten (Regionalwerte) repräsentiert sein. (siehe Abb. 2.18). Im Übergang von ortsgetreuen zu gebietsrepräsentativen Regionaltypen lassen sich Detailinformation unterschiedlicher Komplexität berücksichtigen. Alle Modellzustandsgrößen können wahlweise für die kleinsten Geometrien oder das Gesamtgebiet in eine Ergebnisdatenbank überführt werden. Der zeitliche Bezug dieser Ausgaben erfolgt wahlweise zu Stichtagen, in regelmäßigen Zeitabständen oder ereignisabhängig.

Datenbank-Kopplung

MINERVA bezieht seine Informationen zum größten Teil aus dBase-kompatiblen Modellparameterdateien. Witterungs-, Berechnungs-, Bewirtschaftungs- und Messdaten sowie simulierte Tageswerte von Modellzustandsvariablen werden ebenfalls im dBase-Format verwaltet. Die Konfiguration dieser Modellumgebung erfolgt anhand einer spezifischen Script-Sprache, die beim Betrieb über die integrierte Acker-Schlag-Kartei im Hintergrund (ohne Beteiligung des Benutzers) automatisch eingesetzt wird. (siehe auch Abb. 2.17)

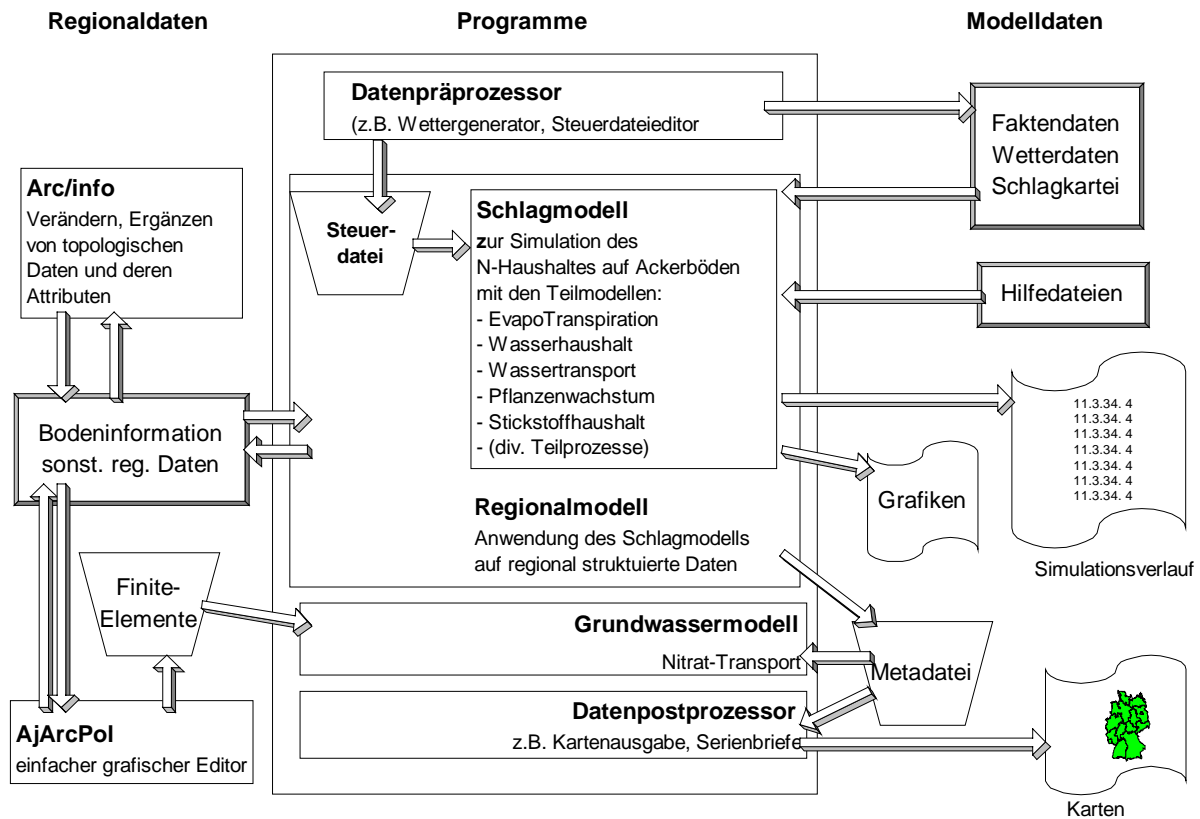


Abbildung 2-17: Kopplung des N-Haushaltsmodells mit einem GIS und Integration in ein Modellsystem zur Simulation komplexer Umweltsituationen (MINERVA)

Die Modellparameterdatenbanken sind nach folgenden Themen geordnet und können mit Hilfe des im Programmpaket enthaltenen Datenmanagers leicht ergänzt werden.

- Bodenarteneigenschaften (Soil\$.DBF): Für alle Kurzbezeichnungen der Bodenkundlichen Kartieranleitung und verschiedene Lagerungsdichten sind Porenraumvolumina, Korngrößenzusammensetzungen und Durchwurzelungseigenschaften erfasst.
- Korrekturwerte für Porenräume (Plus\$.DBF): Entsprechend dem Humus- und Tongehalt sind für die bodenartabhängigen Kapazitätswerte verschiedene Zu- und Abschläge festgelegt.
- Residuenabhängige Eigenschaften (Crop\$.DBF): Für eine Vielzahl von Ackerfrüchte sind Trockenmassen, Stoffgehalte und Mineralisationsfaktoren zusammengestellt. Diese bestimmen die Zuordnung von Ernteresiduen zu modellinternen Mineralisationspotentialen. Außerdem sind darin Indexeinträge zur Auswahl verschiedener Pflanzenwachstumsmodelle enthalten.
- Düngerabhängige Eigenschaften (Dung\$.DBF): In dieser Datenbank sind Stoffgehalte mineralischer und organischer Düngemittel zusammengefasst, welche den Zuwachs modellinterner Mineralisationspools steuern.
- Bestandsabhängige Verdunstungsfaktoren (Evap\$.DBF): Zu jeder Hauptfrucht sind monatsabhängige Korrekturfaktoren (HEGER) für die Übertragung der über Grasflächen gemessenen Referenzverdunstung enthalten.
- Wachstumsparameter (Biom\$.DBF): Bei Verwendung des konfigurierbaren, pflanzenspezifischen Wachstumsmodells werden Kenndaten zur Entwicklung von Phänologie und Trockenmasse sowie Angaben zu phasenspezifischen N-Gehalten der Pflanze benötigt.
- Witterungsdaten (Wett\$.DBF, Rain\$.DBF, Nass\$.DBF): Die Simulation basiert auf täglichen Witterungswerten (Lufttemperatur, Niederschlag, Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer,

Sättigungsdefizit oder Verdunstung, ggf. Minimum/Maximum der Lufttemperatur). Zusätzlich können Datenbanken mit kleinräumigen Niederschlagswerten und Beregnungsdaten berücksichtigt werden.

- Polygon-Attribut-Tabelle (Regi\$.DBF, Rego\$.DBF): Über diese Datenbanken wird auf die Attribute der kleinsten GIS-Geometrien zugegriffen. Nach einem regionalen Modellauf enthält die Eingabedatei zusätzlich die Kennziffern des Regionaltupels, die mittels eines SQL-Join mit der zweiten Datenbank verbunden werden. Dadurch können alle Simulationsergebnisse im GIS weiterverarbeitet werden.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Der externe Modelltakt (Ein/Ausgabe) ist der Tagesschritt. Intern werden die Zeittakte entsprechend der Teilmodellkonstellation angepasst: Wasser (flussabhängig), Pflanze (Tagesschritt), mikrobielle Biomasse (1/100 Tag). Modellzustandsgrößen (z.B. Bodenwasser oder N_{\min} -Gehalt) und kumulative Modellergebnisse (z.B. Nitrataustrag) können zur Darstellung bzw. Dateiausgabe mit wählbaren Zeitintervallen ausgegeben werden. Die Simulationsdauer ist quasi unbeschränkt und wurde bei der Auswertung von Dauerversuchen bereits über mehr als 90 Jahre ausgedehnt. Im GIS-Modul wird je nach Fragestellung auf der Ebene des Teilschlages bis hin zu aggregierten, repräsentativen Regionalstandorttypen gerechnet. Die Flächenzahl ist nur durch die Kapazität der Datenbank beschränkt. Es können bis zu 28 Regionalvariable (z.B. Bodenartenabfolge, Fruchtfolge, Düngenniveau, Bewirtschaftungsmuster, Witterung, etc.) benutzt werden, die jeweils bis zu 44656 verschiedene Ausprägungen (Regionalwerte) annehmen dürfen. (siehe Abb. 2.18)

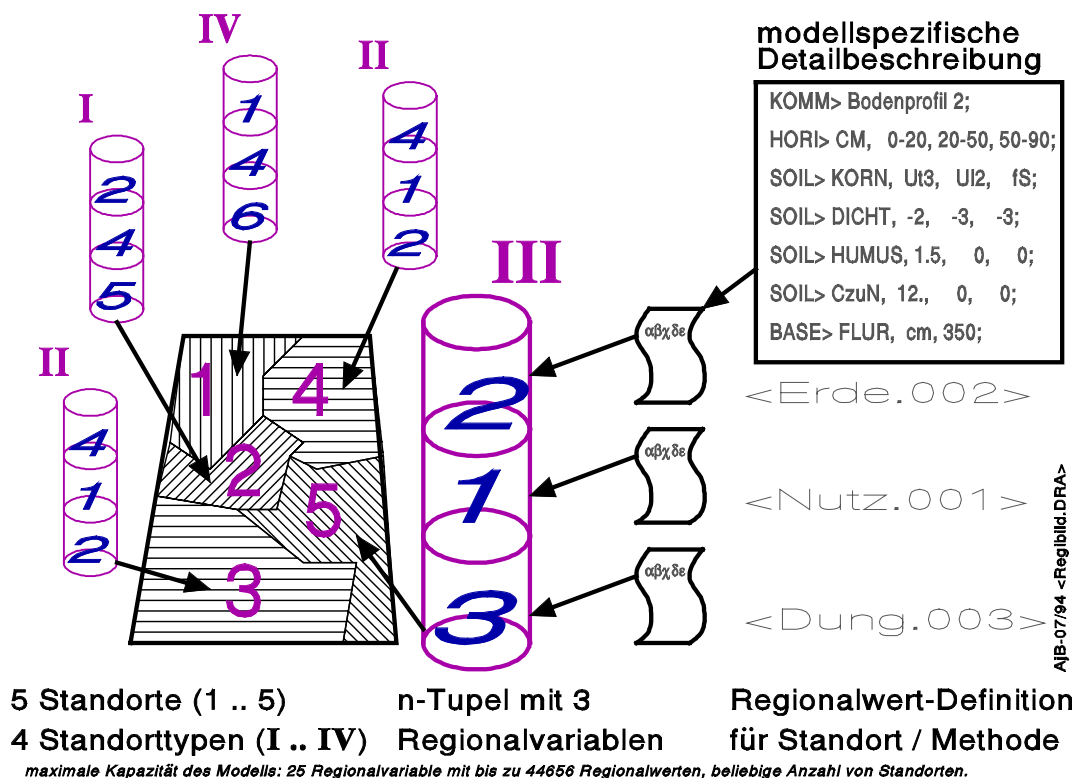


Abbildung 2-18: Beschreibung von Gebietseigenschaften durch Regionaltupel, -variable und -werte

Wasser-Modellierung

Das Kapazitätsmodell (s. Abb. 2.19) wird durch die bestandsabhängige Nettoinfiltration angetrieben. Die Berechnung des Wassertransports erfolgt entsprechend dem Gradienten bei Überschreiten der

Feldkapazität durch abwärtsgerichteten Überlauf bzw. einer Evaporationsfunktion, die mit der Tiefe exponentiell abnimmt. Die Transpiration wird entsprechend der Wurzelverteilung und dem tatsächlichen Wasservorrat ebenfalls über das Bodenprofil verteilt. Zur Parametrisierung der einzelnen Kompartimente reichen im wesentlichen die Angaben von Bodenart und Humusgehalt entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung. Durch zusätzliche Berücksichtigung eines ggf. schwankenden Grundwasserspiegels erfolgt unterhalb des Pflughorizontes eine dynamische Anpassung der nutzbaren Feldkapazität entsprechend dem Grenzflurabstand. Verzögertes Abschmelzen einer Schneedecke wird nach KOITSCH (1990) abgebildet. Bei Bodenprofilen mit sehr geringer nutzbarer Feldkapazität wird mit einem 2- bis 4-fach höherem internen Zeittakt simuliert.

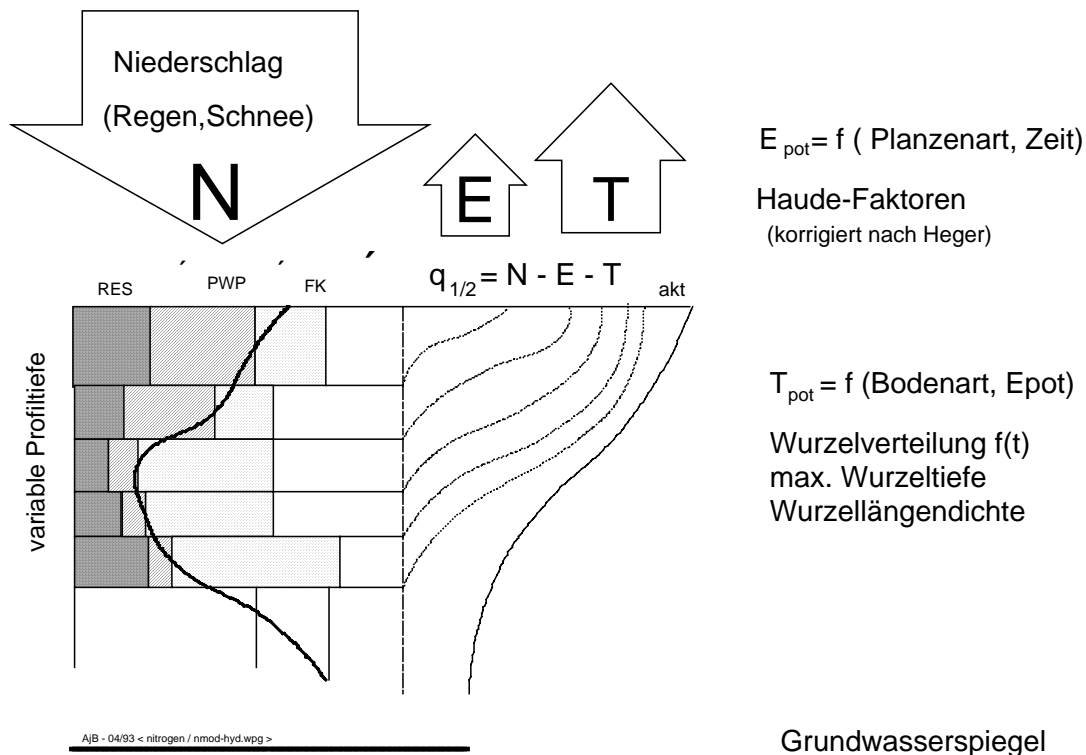


Abbildung 2-19: Schema des Kapazitätsmodell in MINERVA

Lateralfloss/Grundwasseranbindung

Laterale Flüsse sind in MINERVA bisher nicht berücksichtigt worden. Zur Berechnung des Oberflächenabflusses wird über die optionale Kopplung mit einem einfachen Digitalen Höhen-Modell (DHM) aus eigenem Hause nachgedacht. Die als Basisabfluss interpretierbare Sickerwasserspende kann in wählbarer räumlicher und zeitlicher Auflösung mittels Metadateien an ein eigenständiges Grundwassermodell übergeben werden. Für diese Zwecke steht ein einfacher Netzgenerator (finite Elemente) zur Verfügung, der jedoch während der Modellentwicklungsphase nur in geringem Umfang getestet worden ist.

Stofftransport

Das N-Haushaltsmodell simuliert in seiner Grundkonfiguration nach Kersebaum (1989) die Nettomineralisation von Stickstoff (Kinetiken 1. Ordnung für zwei Pools mit unterschiedlich schnellem Abbau), Entzug durch den Pflanzenbestand (phänologisch gesteuerte Funktion von Pflanzentrockenmasse und N-Gehalt) und die Nitratverlagerung (Konvektions-Dispersions-Gleichung). Je nach Standort werden zusätzliche Teilprozesse wie Nitrifikation (Hagin et al. 1984), Urease-Aktivität (Roelcke, 1994; Sadeghi et al., 1988), Denitrifikation (Schneider et al., 1991) und

Immobilisation (Blagodatsky, 1996) automatisch berücksichtigt. Im Teilmodell 'Mikrobielle Aktivität' sind Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik (Exudatstrom, Mineralisation und Immobilisation) bereits gekoppelt. Damit lassen sich zwei unterschiedlich leicht verfügbaren C-Substrate und Freisetzung von wasserlöslichem Kohlenstoff (DOC) darstellen.

Durch Berücksichtigung der Bewirtschaftung (Informationen über Düngungen und Pflanzenaufwuchs bzw. Erntemengen) kann die an Potentiale geknüpfte N-Dynamik der organischen Substanz auch über lange Zeiträume gut wiedergegeben werden.

Pflanzenmodell

Zur Simulation der Bestandwirkung (N-Entzug, Ertrag, Transpiration) sind verschieden komplexe Pflanzenwachstumsmodelle implementiert. Für Zwischenfrüchte reicht ein einfacher Temperatursummenansatz (Q10). Für Getreide - und auch für weitere Hauptfrüchte - kann mit dem von Kersebaum (1989) kalibrierten Weizenmodell simuliert werden.

Darüber hinaus stehen Parametersätze für ein phänologisch kontrolliertes, pflanzenartsspezifisches Wachstumsmodell vom SUCROS-Typ (van Keulen et al., 1982; Beblik, 1996) zur Verfügung, mit denen Trockenmassebildung und Stickstoffentzug in Abhängigkeit des Energie-, Wasser- und Nährstoffangebots simuliert werden können. Bisher sind Parameter für Weizen, Gerste, Roggen, Mais, Winterraps, Kartoffeln und einige Zwischenfrüchte kalibriert und überprüft worden: Datensätze für Feld-, Sojabohnen, Reis, Sonnenblumen und Zuckerrüben sind in Vorbereitung.

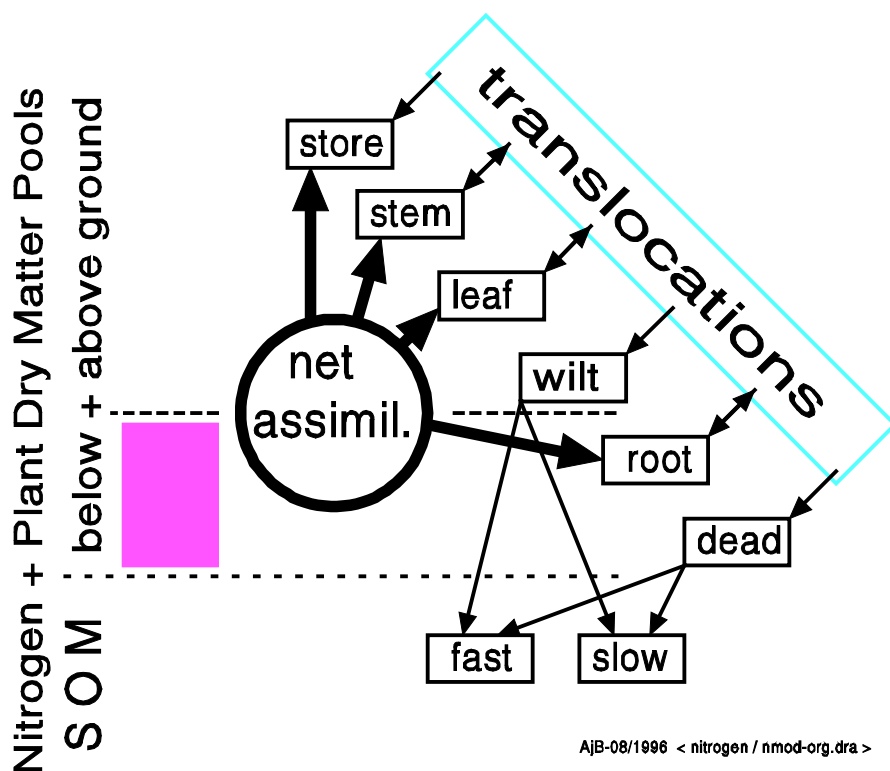


Abbildung 2-20: Kompartimentierung des Teilmodells "Pflanzenwachstums"

Erforderliche Eingangsdaten

Die Datenbasis kann mit wachsenden Genauigkeitsansprüchen angepasst werden. In der folgenden Auflistung sind notwendige Daten mit \diamond , weiterhin hilfreiche Angaben mit * markiert, Einheiten in eckigen Klammern [] angegeben. Termine sind als Kalenderdatum anzugeben. Witterungsdaten und Regionaldaten sollten möglichst als dBase-Datei vorliegen.

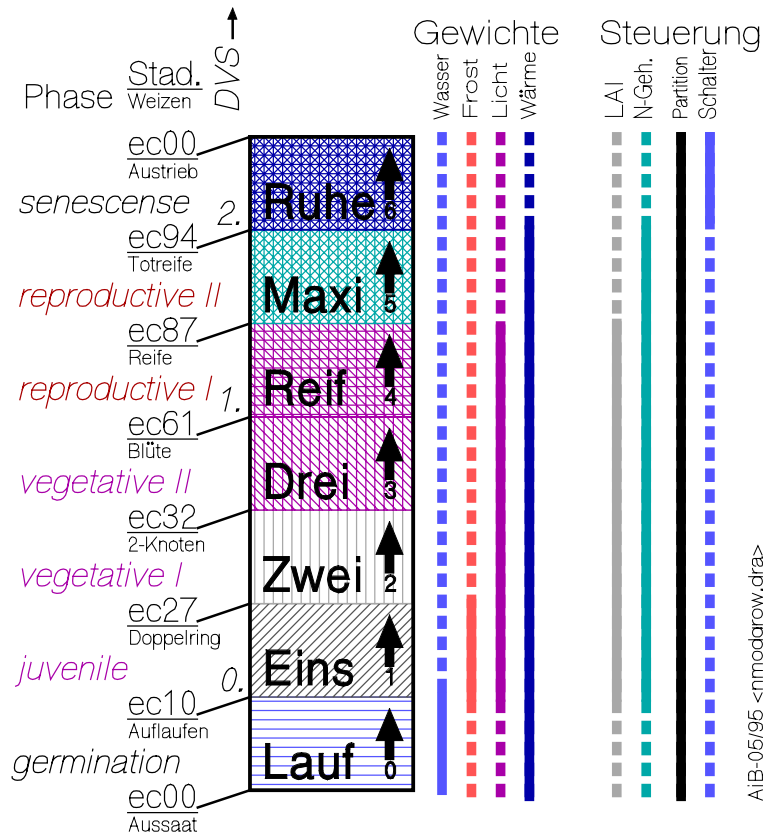


Abbildung 2-21: Kompartimente des Teilmodells "Pflanzenwachstum"

Schlagspezifische Simulation

- Witterungsdaten (tägliche Werte)
 - Niederschläge [mm]
 - mittlere Lufttemperatur [$^{\circ}$ C], ggf. auch minimale und maximale Lufttemperatur [$^{\circ}$ C]
 - Sättigungsdefizit der Luft um 14 Uhr oder rel.Luftfeuchte [%] und -temperatur 14 Uhr [$^{\circ}$ C] oder HAUDE-Verdunstung [mm/d] über Gras
 - Sonnenscheindauer [h/d] oder Globalstrahlung [$J/cm^2/d$]
- Bodendaten
 - Bodenart nach Bodenkundlicher Kartieranleitung für den oberen Meter, möglichst mit Angabe der Horizontmächtigkeiten [cm].
 - Lagerungsdichte [g/ccm oder LD1..5], Staunässe [0..5], Grundwasserstand [cm]
 - Humusgehalte [Gew% oder 1..5], C:N-Verhältnis
- Bewirtschaftung

- Vorfrucht [Klartext] Art, Erntetermin, Ertrag (Frisch, Trocken), Verbleib der Ernterückstände, Einarbeitungstiefe, -zeitpunkt
- Hauptfrucht [Klartext] Art, Saat- bzw. Pflanztermin, ggf. Saat- oder Pflanzgutaufwand
- Zwischenfrucht [Klartext] Art, Entwicklungsstand, Erntemenge, ggf. Einarbeitungszeitpunkt, -tiefe
- Düngungsaufwand [kg/ha, l/ha, t/ha, m³/ha] Art und Zeitpunkt, Aufwandmengen evtl. N-Gehalte (Gülleanalysen der Betriebe)
- N_{min}-Gehalte [kgN/ha/-z], möglichst nach Ernte oder im Frühjahr, Angaben für Schichten je 30cm oder genauer, ggf. differenziert nach Nitrat (NO₃) und Ammonium (NH₄).
- Bodenfeuchte [Vol% oder Gew%], kann oftmals aus N_{min}-Messberichten (Anteil der Trockensubstanz) abgeleitet werden.

Regionalsimulation

- Bodenkarten
 - Möglichst neu, sonst revidierte Fassung der Reichsbodenschätzung (1:5000)
- Nutzungskarten
 - Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau, Viehbesatz
 - Grünlandumbruch (Termin)
- Pachtverhältnisse
 - Düngungsstrategien [GVE bzw. Dung-Einheiten/ha]
 - Stilllegungen, Mistarten.
- Hydrologische Daten
 - Entwicklung der Rohwasserqualität, Analysen in Peilbrunnen,
 - Grundwasserstände im WGG,
 - geologische Aufschlüsse (Brunnen, etc.)

Bei gebietsbezogener Simulation muss die Datengrundlage folgende Mindestanforderungen erfüllen:

1. Bodenartenabfolge (nach Bdkdl.KA), möglichst mit Angabe von Humusgehalt und hydromorphen Eigenschaften (Stau/Grundwasser),
2. Bewirtschaftungsdaten (Fruchtfolge, Düngung), ggf. auch in Form pauschalierter, fruchtfolgeabhängiger Managementdaten.
3. Wetterdaten (Lufttemperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Sättigungsdefizit)

Präprozessing/Parametrisierung

Die Angaben werden in der modelleigenen Acker-Schlag-Kartei oder in sogenannten Regionalwertdateien (ASCII-Typ, z.B. Beschreibung des Bodenprofils) verwaltet. Nach Generierung der kleinsten Geometrien (Preprocessing im GIS) greift MINERVA direkt auf die Polygon-Attribut-Tabelle zu und berechnet für alle distinkten Fälle in wählbaren Zeitintervallen Simulationsergebnisse (s. Abb. 2.22). Nach allen Standortsimulationen werden gebietsbezogene Mittelwerte der Modellergebnisse kalkuliert und für sämtliche Polygone des Untersuchungsgebietes die Ergebnisse der entsprechenden Regionaltupel in die GIS-Datenbank zurückgeschrieben. Abschließend können die Simulationsergebnisse (z.B. Nitrataustrag) als GIS-Karte dargestellt werden.

Im schlagbezogenen Modus lässt sich MINERVA zur visuellen Kontrolle von Modelergebnissen, optional auch anhand von Messergebnissen (z.B. Verlauf von Bodenfeuchte, N_{min}, Pflanzeigenschaften) überprüfen. "MINERVA for Windows" integriert sämtliche Dateiein- und -ausgaben sowie verschieden komplexe Oberflächen des Simulationsmodells ("classic" als

Modellmonitor bzw. "light" als Darstellung der Wasser-, Stickstoffdynamik und Pflanzenentwicklung mit festem Layout).

Anwendungsbeispiele/Validierung

MINERVA Standortmodell ist validiert und in verschiedenen Regionen (Deutschland, Holland, Italien, China, Russland) eingesetzt worden. Einige spezialisiertere Teilmodelle (z.B. Denitrifikation, Stickstoffimmobilisierung) sind zwar anhand einiger Datensätze sorgfältig kalibriert, befinden sich aber noch in der Validierungsphase. Die Pflanzenmodell-Parameter wurden in Studien - vor allen in Norddeutschland - entwickelt bzw. überprüft und finden in verschiedenen Forschungs- und Beratungseinrichtungen bereits Anwendung in der Praxis.

- [1] BEBLIK, A.J., A. WILLENBOCKEL & J. RICHTER (1997): Modellrechnung "Nitrat auswaschung aus dem Boden" im Rahmen des Pilotvorhabens "Landwirtschaftliche Bodennutzung und Grundwasserschutz in ausgewählten Wasserschutzgebieten Niedersachsens". Braunschweig (iBUG). 65p.
- [2] BEBLIK, A.J., T. LICKFETT & T. HARDEN (1996): A multicase optimization procedure for fitting plant growth parameters in the SUCROS based N dynamics model MINERVA. - Usability studies for simulation of oilseed rape growth on farming plots. In: Transactions of the 9th Nitrogen Workshop, Braunschweig, September 1996. Braunschweig (TU Braunschweig), p79 - 82.
- [3] RICHTER, G.M. & A.J. BEBLIK (1996): Nitrat austrag aus Ackerböden ins Grundwasser unterschiedlich belasteter Trinkwasser-Einzugsgebiete Niedersachsens. BMBF F+E-Vorhaben BEO 0339121 C [Abschlussbericht, Ergebnisteil]. Braunschweig (Inst.f. Geographie und Geoökologie). 253p.
- [4] RICHTER, G.M., A.J. BEBLIK & J. RICHTER (1996): Optimizing N fertilizer supply of winter rye through quantitative modeling - Calibration and practical application. In: 4th Congress 7-11 July, 1996 Veldhoven - Wageningen. European Society for Agronomy. p491-491.
- [5] RICHTER, G.M. & O. RICHTER (1995): Vergleich des N-Haushalts von Rotations- und Dauerbrache im Hinblick auf den Nitrat austrag - Simulation von schlagspezifischen und regionalen Szenarien. Braunschweig (Inst.f. Geographie und Geoökologie). 22p.

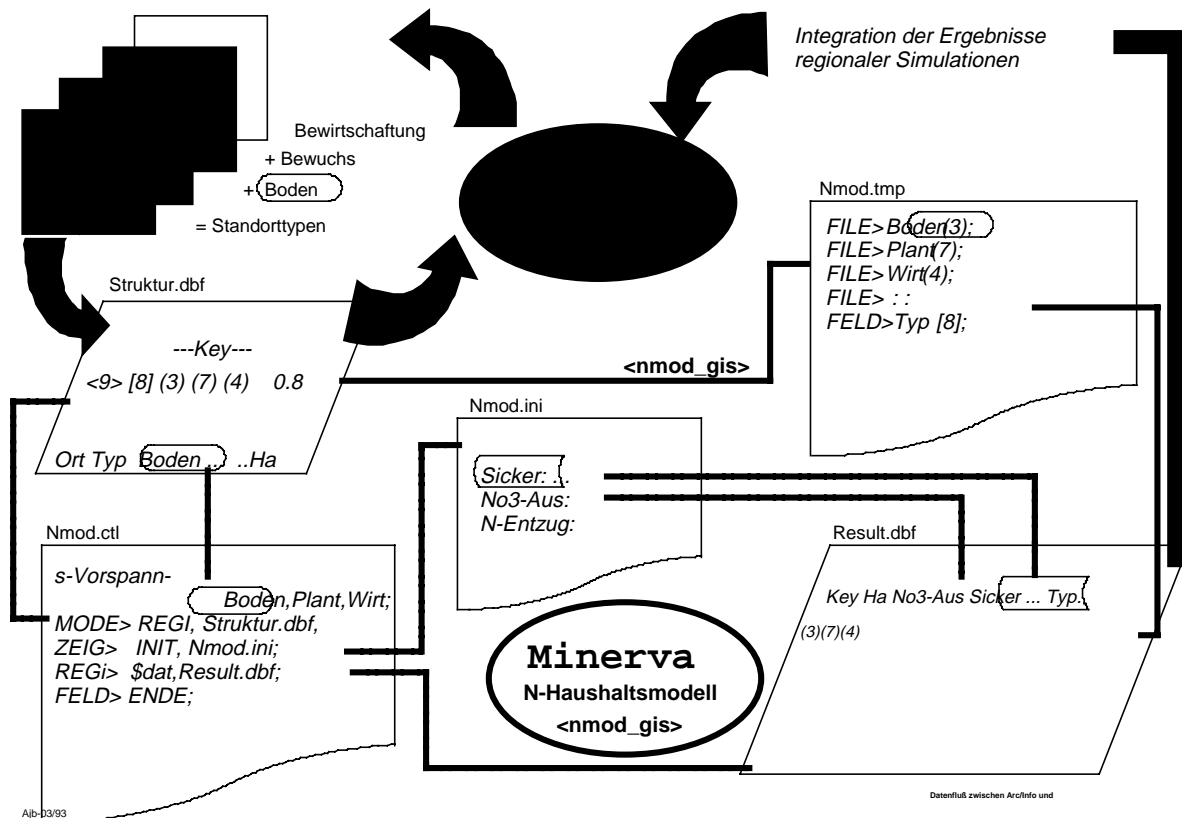


Abbildung 2-22: Datenfluss zwischen ARC/INFO und MINERVA

Überprüfung

In Verbindung mit dem Optimierungsprogramm NPAR (BEBLIK et al., 1996) werden zahlreiche Versuchsdaten zur Überprüfung und Kalibrierung der Pflanzenmodell-Parameter herangezogen. Mit dieser multitemporalen, auf verschiedenen Standorten basierenden Anpassung können unter Beachtung aller Modelldetails szenariofähige Beschreibungen von Pflanzenbestandseigenschaften erreicht werden.

Verfügbarkeit

Die vollständige Liste der hier zitierten Literaturstellen kann bei den Autoren angefordert werden.

Kontakt: Andreas J. Beblík , e-mail: A.Beblik@tu-bs.de

iBUG - Inst. für Boden- und Gewässerschutz, Postfach14 19, 38004 Braunschweig.

Sonstiges

Das Modellpaket MINERVA ist in der Programmiersprache C formuliert und ist durch seinen modularen Aufbau sowie die Verwendung von Quasi-Standards für Ein- und Ausgabedateien (dBase-kompatible Datenbanken, Arc/Info-PAT-Schnittstelle, Wetterdaten in 4 bundesweit üblichen Formaten) sehr migrationsfreundlich. Die Portierung erfolgte bereits auf verschiedene Betriebssysteme (unter Verwendung verschiedener Grafikschnittstellen) und mehrere Compiler (siehe unten) bei 100% Kompatibilität aller Modellparameterdatenbanken und Ausgaben. Die Benutzeroberfläche für MS-Windows steht mit deutschen und englischen Dialogen und Protokolldateien zur Verfügung. Das System ist mittlerweile in mehr als 50 Installationen vorwiegend für Beratungs- und Forschungszwecke im Einsatz. Zur Einführung in die Arbeit mit dem Modell stehen neben der wissenschaftlichen Dokumentation (Beblik, 1996) noch folgende Unterlagen zur Verfügung: Benutzerhandbuch, Tutorial, diverse Broschüren mit Beispielen und Beschreibung der Programmoberfläche.

WWW-Adressen:

<http://www.gsf.de/UFIS/ufis/modell52/modell.html>

<http://dino.wiz.uni-kassel.de/model.db/mdb/minerva.html>

Tabelle 2-2 : Portierung von MINERVA auf verschiedene Betriebssysteme

DOS 3.3 oder höher	(VGA-Modus)	MSC 7.0a	1992 - 1997
Linux 1.2	(OpenGL)	GCC 2.7.1	1994 - 1996
Solaris 2.3	(OpenGL)	GCC 2.6.2	1995 - 1996
MicroSoft Win3.x	(Windows API)	MSC 7.0a	1996 - 1997
MicroSoft Win95	(Windows API)	MS VC 1.52b	1997 - 1997
MicroSoft WinNT	(Windows API)	MS VC 4.0	ab 11/1997

Einordnung

Ähnlich wie HERMES ist MINERVA ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in landwirtschaftlich genutzten Böden. Die Prozesse der Mikroskala werden über die ARC/INFO-Schnittstelle auf die Mesoskala aufgesetzt. Eingesetzt werden kann MINERVA für die Prognose landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsänderungen auf den vertikalen Stickstoff-Transport in Richtung Grundwasser. Es ist damit wie HERMES geeignet auf ausgewählten Flächen (im Rahmen des "Hydrologischen Standortkonzeptes") komplexere Modellierungen zur Problematik der Nitratverlagerung zu ermöglichen und erforderliche Informationen für die Typisierung der Flächen und Vereinfachung der Modelle zu liefern.

2.11 SIMULAT

Autoren

DIEKKRÜGER, B., RICHTER, O., NÖRTERSCHÄUSER, P.

Kurzbeschreibung

Das Modellsystem SIMULAT ist ein Standortmodell und beschreibt eindimensional vertikale Verlagerungsprozesse. Es beschreibt neben dem Transport auch die Umsetzung von Agrochemikalien. Es beinhaltet z.Z.:

- Wasser- und Stofftransport in der Bodenmatrix und in den Makroporen
- Oberflächenabfluss
- Interflow
- Drainageabfluss
- Evapotranspiration und Interzeption
- Bodentemperatur
- Dynamik von Pflanzenschutzmitteln
- Stickstoffdynamik
- Schwefeldynamik
- Pflanzenwachstum

Die betrachtete Bodensäule kann sich aus verschiedenen Bodenhorizonten zusammensetzen. Diese Horizonte werden in numerische Kompartimente unterteilt, für die Zustandsvariablen berechnet werden. Sowohl die Anzahl als auch die Mächtigkeit der numerischen Kompartimente sind vom Benutzer frei wählbar.

Die Kopplung der Transportmodelle mit den Teilmodellen zur Berechnung der Dynamik von Stickstoff, Pestiziden und Schwefel erfolgt explizit, d.h. die Lösung der gewöhnlichen Differentialgleichungen zur Berechnung der Dynamik erfolgt getrennt von der Berechnung der partiellen Differentialgleichungen des Transportes.

Literatur

- [1] DIEKKRÜGER, B.: Systemhandbuch und Benutzerhandbuch für SIMULAT 2.2 und Demonstrat 2.2
- [2] RICHTER, O.; D. SÖNDERGRATH und B. DIEKKRÜGER (Hrsg) (1996): Sonderforschungsbereich 179 "Wasser- und Stickstoffdynamik in Agrarökosystemen" Abschlussbericht Band 1-3. Landschaftsökologie und Umweltforschung. Inst. für Geographie und Geoökologie. TU Braunschweig

Einsatzbereich

kleinere Wassereinzugsgebiete (Größe Weiherbach)

GIS-Kopplung

ARC/INFO

Datenbank-Kopplung

k. A.

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Grundlage ist die Berechnung punktueller Wasserbilanzen, deren Ergebnisse auf homogene Teilflächen extrapoliert werden. Die homogenen Flächen werden dargestellt durch die Ökotope, die durch Verschneidung der Bodenkarte mit der Landnutzungskarte entstehen. Repräsentativ für diese Ökotope werden Simulationen der Leitprofile mit dem entsprechenden Pflanzenbestand durchgeführt. Laterale Abflusskomponenten werden bei gegebener geringer Hangneigung vernachlässigt.

Wasser-Modellierung

- Wassertransport: Richards-Gleichung, Ansatz van Genuchten und Ansatz Smith
- Infiltrationsrate und Oberflächenabfluss: Neumann- und Dirichlet-Randbedingung
- Drainageabfluss: nach Houghoudt und Ernst. Drainageabfluss als Senkenterm
- Interflow: vereinfachte Annahme: lateraler Abstrom gleich Senke bei der Richards-Gleichung
- Makroporen: Wasseraustausch zwischen 2 Porensystemen. Wasserfluss in die Makroporen nur bei Oberflächenabfluss
- Evaporation/Interzeption: Penman-Monteith-Gleichung (Epot), Ansatz Feddes (Takt)

Lateralfloss/Grundwasseranbindung

Es ist kein eigenständiges Grundwassermodell implementiert. Im SFB 179 sind aber verschiedene Grundwassermodelle untersucht worden (ROCKFLOW, FEFLOW). Diese können über Datenbankanbindung mit SIMULAT verbunden werden. Die mit der eindimensionalen Simulation erzielte flächenhafte Grundwasserneubildungsrate dient dann als obere Randbedingung für ein 3-D-Grundwasserströmungsmodell.

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Das N-Modell stellt die Dynamik der mikrobiellen Biomasse in den Mittelpunkt. Es enthält eine Mikroorganismen-Population, die je nach Umweltbedingungen eine variierende Aktivität (C- und N-Immobilisierung und Mineralisation) zeigt. Das Modell besteht aus einem System nichtlinearer, gekoppelter Differentialgleichungen, die als eigenständiges Teilmodell in SIMULAT eingebunden sind. Über SIMULAT ist das N-Modell mit einem Pflanzen-Modell, dem Wasser- und Stofftransport-Modell und einem Bodentemperatur-Modell verbunden. Jede Zustandsgröße des N-Modells wird für ein als homogen angenommenes Boden-Kompartiment wählbarer Mächtigkeit in kg/ha berechnet. So wird die zeitliche Dynamik der interessierenden Größen als Punktmodell simuliert. Durch die Kopplung des N-Modells mit den Prozessen Wurzelwachstum (s. Pflanzen-Modell) und Stofftransport (NO₃-Auswaschung) ist auch eine eindimensionale Betrachtungsweise möglich.

Folgende Prozesse werden simuliert:

- Aktivität der mikrobiellen Biomassepopulation in Abhängigkeit der C- und N-Verfügbarkeit, Temperatur und Bodenfeuchte
- Entwicklung der mikrobiellen Biomassepopulation in Abhängigkeit vom C-Kreislauf
- N-Dynamik:
 - N-Mineralisierung/Immobilisierung
 - Nitrifikation
 - Denitrifikation
 - NH₄-Sorptions

Durch Kopplung des N-Modells mit dem Pflanzen-Modell kann die Pflanze im N-Modell folgende Hauptfunktionen ausüben:

1. Sie ist Hauptkonsumentin des mineralischen Stickstoffs während der Vegetationsperiode (Die Modellierung des N-Entzugs wird im Pflanzen-Modell beschrieben.
2. Die Pflanze stellt während der Vegetationsperiode eine langsam aber stetig fließende Quelle schnell abbaubarer organischer Substanzen in Form von Wurzel-Exsudaten und absterbender Wurzelbiomasse dar.
3. Ernterückstände und tote Wurzelbiomasse stellen einen C- und N-Speicher dar, der nach der Vegetationszeit zur Verfügung steht.

Pflanzenmodell

Das in SIMULAT implementierte Pflanzenwachstumsmodell befindet sich zur Zeit noch in der Entwicklung. Das Modell unterscheidet verschiedene Kompartimente (siehe Abb. 2.23):

1. Pflanzenorgane (Blatt, Halm, Frucht, Wurzel)
2. Kohlenhydratpool
3. Photosynthese

Jedes einzelne Kompartiment wird durch Differentialgleichungen beschrieben und sind von Umweltfaktoren abhängig (Wasser, Nährstoffe, biologische Zeit etc.).

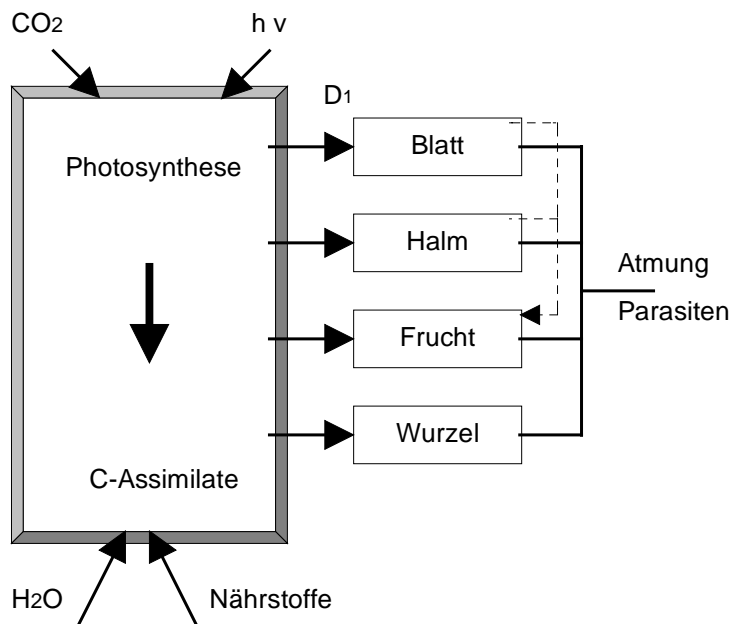


Abbildung 2-23: Kompartmentenschema für den Massenfluss in der Pflanze [2.]

Erforderliche Eingangsdaten

(nicht vollständig)

- Bodendaten: (Porenvolumen, Bodenart)
- Anfangswerte für Stickstoff und Humus
- Bewirtschaftungsdaten (Saat- und Erntetermin, Düngerform (mineralisch, organisch), Düngemenge und -termin, Bodenbearbeitung)
- Wetterdaten
- Pflanzenparameterset (LAI, Stomatawiderstand etc.)

Präprozessing/Parametrisierung

Als Datenbasis für die Simulation werden digitale Bodenkarte, Wetterdaten in stündlicher Auflösung sowie Landnutzungsdaten von Feldbeobachtungen (Kartierungen) und Umfragen - schlagweise aufgelöst - verwendet. Die Parameter, die die Retentions- und Leitfähigkeitseigenschaften des Bodens des Leitprofils beschreiben werden mit der Pedotransferfunktion nach Rawls & Brakensiek²⁰ (1985) aus Bodenart und Porenvolumen bestimmt. Die Unterteilung der Schläge in Teilflächen bleibt konstant über alle Jahre, ebenso das Management des Schläges. Das Verdunstungsmodell benötigt Pflanzenparameter-Sets.

Anwendungsbeispiele/Validierung

Die Anwendungen von SIMULAT im Einzugsgebiet des Krummbachs und des Eisenbachs werden in [2.], Band 1, beschrieben. Allerdings wurde dort kein Stofftransport simuliert, sondern nur die Grundwasserneubildung. Ansonsten wird auf die Originalpublikationen verwiesen z.B.: Diekkrüger, B. & H.R. Bork (1994): Temporal variability of soil surface crust conductivity

DIEKKRÜGER, B. & M. ARNING (1995): Simulation of water fluxes using different methods for estimating soil parameters

DIEKKRÜGER, B.; KUHN, M.; FLAKE, M. & D. SÖNDERGRATH (1996): Effects of small scale spatial variability on water transport processes and yield. Journal of Nutrient Cycling in Agroecosystems. Eingereicht zur Veröffentlichung.

Überprüfung

k. A.

Verfügbarkeit (Quellcode)

k. A.

Sonstiges

PC, MS-DOS 4.0 oder höher

WWW-Adressen: <http://www.gsf.de/UFIS/ufis/modell65/modell.html>

Einordnung

SIMULAT versucht weitgehend vollständig Stoffverlagerungen innerhalb eines Einzugsgebietes zu beschreiben inklusive lateraler Flüsse. Eine Validierung liegt bisher nur für den Stofftransport vor.

Eine weitere Einordnung kann nicht erfolgen, da die Autoren sich an der Erstellung dieser Studie nicht beteiligt haben. SIMULAT ist aber aufgrund seiner Bedeutung für ökologische Fragestellung innerhalb eines Wassereinzugsgebietes mit aufgenommen worden.

²⁰ RAWLS, W.J. & BRAKENSIEK, D.L. (1985): Prediction of soil water properties for hydrological modelling. Proceedings of the symposium watershed management in the eighties, 293-299, Denver.

2.12 SWIM

Autoren

V. KRYSANOVA; D.-I. MÜLLER-WOHLFEIL; A. BECKER

Kurzbeschreibung

Das im Rahmen des PIK²¹-Kernprojektes RAGTIME²² entwickelte Wassereinzugsgebietsmodell SWIM²³ (Soil and Water Intergrated Model) ist aus zwei vorher entwickelten Modellen hervorgegangen - SWAT²⁴ und MATSALU²⁵. Der Anwendungsbereich liegt bei mesoskaligen Wassereinzugsgebieten von 100 bis zu 20.000 km². SWIM integriert Hydrologie, Erosion, Pflanzenwachstum und Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) auf einer Wassereinzugsgebietskala. Anwendungsziele des SWIM-Modells sind: den Wasserkreislauf, die Erosion und die N- und P-Kreisläufe in mesoskaligen Einzugsgebieten mit einer zufriedenstellenden Genauigkeit unter Verwendung regional verfügbarer Daten nachzubilden und ein Werkzeug zur Untersuchung der Auswirkungen veränderter Klima- und Landnutzungsverhältnisse zur Verfügung zu haben. Bei der Modellierung des Gesamt-Wassereinzugsgebietes erfolgt eine Gebietsuntergliederung (Disaggregation) nach Teileinzugsgebieten und Hydrotopen.

Literatur

über MATSALU: (*Estonian Ac. Sci.*)

- [1] KRYSANOVA, V., MEINER, A., ROOSAARE, J. & VASILYEV, A. (1989): Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed. *Ecological Modelling*, 49, 7-29
- [2] KRYSANOVA, V. & LUIK, H. (1989): Simualtion modelling of a system watershed - river - sea bay. Tallinn, Valgus, 428 pp (in Russian)

über SWAT: (*USDA ARS & Texas A&M University*)

- [3] ARNOLD, J.G., ALLEN, P.M., BERNHARDT, G. (1993): A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 142, 47-69.
- [4] ARNOLD, J.G., J.R. WILLIAMS, R. SRINIVASAN, K.W. KING, and R.H. GRIGGS (1995): SWAT - Soil and Water Assessment Tool: Draft Users Manual, USDA-ARS, Temple, TX.
- [5] SRINIVASAN, L.K. & ARNOLD, J.G. (1993): Basin scale water quality modelling using GIS. *Proceedings, Application of Advanced Inform. Technologies for Manag. of Nat. Res.*, June 17-19, Spokane, WA, USA, 475-484

über SWIM: (*PIK*)

- [6] KRYSANOVA, V., MÜLLER-WOHLFEIL, I., BECKER, A. (1996): Integrated Modelling of Hydrology and Water Quality in Mesoscale Watersheds. *Proceedings, Third International Conference on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling*, January 21-25, Santa Fe, US.
- [7] KRYSANOVA, V., D.-I. MÜLLER-WOHLFEIL, A. BECKER (1996): Integrated Modelling of Hydrology and Water Quality in Mesoscale Watersheds. *PIK Report No.18*, July 1996, 32p.
- [8] KRYSANOVA, V., D.-I. MÜLLER-WOHLFEIL, A. BECKER (1996) Entwicklung eines integrierten Modells zur Hydrologie und Gewässergüte in mesoskaligen Einzugsgebieten und dessen Anwendung in

²¹ Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.

²² RAGTIME: *Regional Assessment of Global Change Impacts Through Integrated Modelling in the Elbe River Basin*

²³ nicht zu verwechseln mit SWIM (Soil Water Infiltration and Movement) der CRISCO, Division of Water Resources, Australia

²⁴ SWAT = Soil and Water Assessment Tool

²⁵ MATSULA - besteht aus vier gekoppelten Modellen, die für das landwirtschaftlich genutzte Flussgebiet Matsula und das Ökosystem der Matsula-Bucht in Estland zur Steuerung der Eutrophierung entwickelt wurden

Teileinzugsgebieten der Elbe, Tagungsband zum Vorseminar "Gewässer - Informationssysteme" - Datenmanagement und Modellierung von Stromlandschaften, Budweis, Tschechische Republik, 82-84.

Einsatzbereich

100 - 20.000 km²

GIS-Kopplung

GRASS

Die Grundkarten kann man leicht von ARC/INFO nach GRASS übertragen und dann für SWIM-Modellierungen verwenden.

Datenbank-Kopplung

keine

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

SWIM verwendet ein Dreistufen-Konzept zur Flächendisaggregation: Gesamteinzugsgebiet, Teileinzugsgebiete, Hydrotone, sowie eine vertikale Bodenaufteilung in maximal 10 Schichten. Die horizontale Disaggregation wurde von MATSALU übernommen. Es werden Teileinzugsgebiete ausgegliedert und zwar unter Berücksichtigung der Topographie und des Grundwasserspiegels. Die Karte mit Teileinzugsgebietsgrenzen kann übernommen oder mit Hilfe von GRASS (aus DHM) erzeugt werden. Ein Hydrotone in SWIM besteht aus räumlich voneinander unabhängigen Einheiten mit gleicher Landnutzung und gleicher Bodeneigenschaften in einem Teileinzugsgebiet. Die Größe der Teileinzugsgebiete soll ca. 10 bis 100 km² möglichst nicht überschreiten, damit eine gesonderte Modellierung der teilgebietsinternen Wirkung des Gewässernetzes entfallen kann und die getrennte Modellierung der Hydrotone in den Teilgebieten unproblematisch erfolgen kann. Die zeitliche Auflösung ist 1Tag.

Wasser-Modellierung

Folgende hydrologische Prozesse werden in SWIM modelliert (s. Abbildung 2.24):

- Niederschlag: Niederschlagsmodell - reale Daten oder ein Wettergenerator (nach NICKS (1974)) als Markow Ketten-Modell 1. Ordnung
- Schneeschmelze: entspricht dem einfachen Tagesgrad-Verfahren in CREAMS (KNISEL, 1980)
- Evapotranspiration: Die potentielle Verdunstung kann nach der Priestley-Taylor-Methode (Sonnenstrahlung, Lufttemperatur) oder Penman-Monteith bestimmt werden. Die Abschätzung der aktuellen Verdunstung erfolgt nach dem Konzept von RITCHIE (1973).
- Oberflächenabfluss: Modifikation der Soil Conservation Service Curve Number Methode (USDA-SCS, 1972) ähnlich dem Vorgehen in MATSALU und SWAT (s.u.)
- Versickerung zum Grundwasser: Bodenwasserspeicher-Router-Verfahren aus SWRRB (ARNOLD ET AL., 1990)
- Interflow (s. u.)
- Grundwasserzufluss zum Fluss (s. u.)
- Abflussrouting im Flusssystem: [Modifiziertes ROTO-Model (ARNOLD ET AL., 1990)]

Lateralflüsse/Grundwasseranbindung

Die Ermittlung des Oberflächenabflusses erfolgt unter Verwendung einer modifizierten Form der "Curve number" - Methode. Der Oberflächenabfluss ergibt sich als eine nichtlineare Funktion des

Niederschlags und des Retentionskoeffizienten. Der Retentionskoeffizient ist seinerseits eine Funktion des Bodenwassergehalts, der Landnutzung und der Bodentypen. Die Retentionsparameter variieren zwischen: RET_1 (maximaler Wert), wird erreicht beim permanenten Welkepunkt, und RET_3 (minimaler Wert), wird erreicht bei der Feldkapazität. Es ist möglich, die Abhängigkeit von der "Curve Number" außer Acht zu lassen. Dann ergibt sich der Oberflächenabfluss als eine nichtlineare Funktion des Niederschlags, des Bodenwassergehalts, und der Bodenparameter.

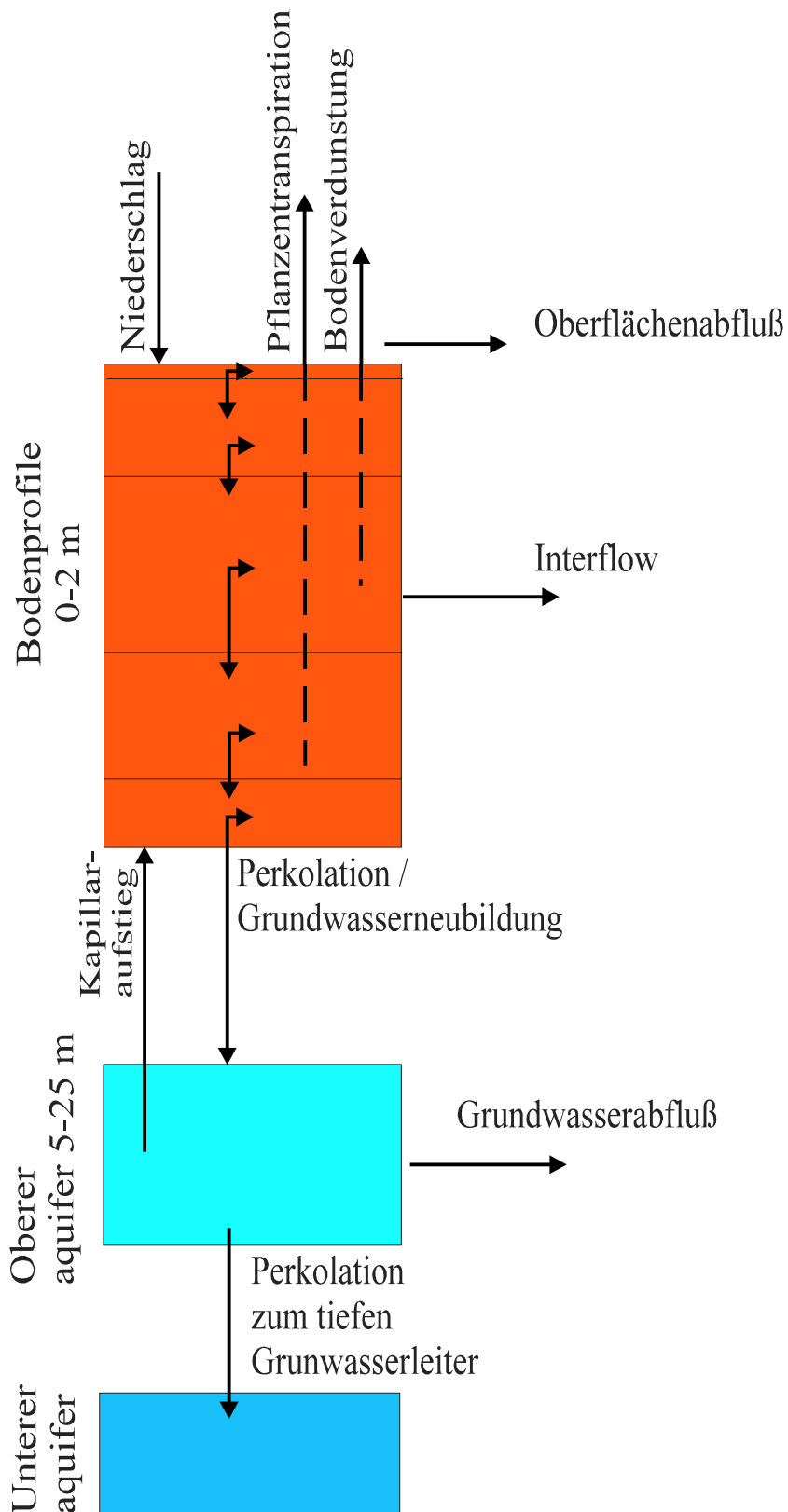


Abbildung 2-24: Flussbild zur hydrologischen Modellierung in SWIM

Der *laterale unterirdische Abfluss* (Interflow) wird parallel zur Versickerung in jedem Zeitschritt berechnet (Methode von FREEZE und CHERRY). Der Interflow entsteht bei perkulationsbedingter Überschreitung der Speicherkapazität einer Bodenschicht über die Feldkapazität hinaus. Die Fließzeit

für den Lateralfloss wird mit Hilfe einer nichtlinearen Funktion aus der gesättigten Leitfähigkeit und der vertikalen äquivalenten hydraulischen Leitfähigkeit abgeschätzt.

Die Gleichung geht davon aus, dass durchlässige Bodenschichten oberhalb einer weniger durchlässigen Schicht (oder eines Wasserstauers) kleinere mittlere Verweilzeiten haben und Interflow erzeugen. Demzufolge ist dieser kurzfristige unterirdische Abfluss in solchen Böden von Bedeutung, in denen eine höhere hydraulische Leitfähigkeit oberhalb undurchlässiger bis teildurchlässiger Schichten auftritt.

Das *Grundwassermodell* wurde aus SWAT übernommen (nach der Methode von SMEDEMA and RYCROF (1983)). Das simulierte hydrologische System besteht aus 4 Kontrollvolumen: der Bodenoberfläche, der Wurzelzone, dem oberflächennahen Aquifer und dem tiefen Aquifer. Die Versickerung aus dem Bodenprofil dient der Auffüllung des oberflächennahen Aquifers. Nur der oberflächennahe Aquifer trägt zur Speisung der Gewässer bei. Das Wasser, das in den tiefen Aquifer versickert, kann an geeigneter Stelle dem Oberflächengewässersystem mit entsprechender Zeitverzögerung zugeführt werden.

Die Gleichung zur Berechnung des Grundwasserabflusses basiert auf der Annahme, dass Änderungen dieses Abflusses in einer linearen Beziehung stehen zu Änderungsraten des Grundwasserstandes. In endlichen Differenzen ausgedrückt ist der Grundwasserabfluss eine nichtlineare Funktion der Grundwasserneubildung und des Reaktionsfaktors α , mit dem der Grundwasserabfluss auf die Wiederauffüllung reagiert. Dieser Reaktions-Faktor α kann in Abflussrückgangsperioden aus der Basis-Abflusskurve abgeschätzt werden.

Erforderliche Eingangsdaten für die Wassermodellierung

Die Schnittstelle zwischen SWAT und GRASS wurde in SWIM übernommen, um die räumlich verteilten Parameter (Höhe, Landnutzung, Bodenarten und Grundwasserspiegel) bereitzustellen. Die erforderlichen digitalen Karten sind

- ein digitales Höhenmodell (DHM) (mit einer geeigneten Auflösung),
- eine Landnutzungskarte,
- eine Bodenkarte,
- eine Karte mit Teileinzugsgebietsgrenzen (sollte bereitgestellt oder mit Hilfe von GRASS erzeugt werden),

Zusätzlich zu den aus den Karten gewonnenen Daten benötigt SWIM folgende Bodendaten für jede der maximal zehn Bodenschichten:

- Tiefe der Bodenschicht
- Körnung
- Lagerungsdichte
- Porosität
- nutzbare Feldkapazität
- Feldkapazität
- Gehalt an org. Kohlenstoff
- Gehalt an org. Stickstoff
- Erodibilität
- gesättigte Wasserleitfähigkeit

Wenn die gesättigte Leitfähigkeit nicht verfügbar ist, kann sie aus Körnung, Lagerungsdichte und Gehalt an organischen Kohlenstoff abgeschätzt werden (wie in OPUS²⁶).

Bei den meteorologischen Daten kann der Nutzer wählen zwischen Messdaten oder einem Wettergenerator. Die folgende meteorologischen Daten werden benötigt als aktuelle Wetterdaten:

- tägliche Niederschläge (so viele Stationen wie möglich),
- die Lufttemperatur (min, max, mittel),
- die Nettostrahlung.

Für den Wettergenerator werden Monatswerte der Klimadaten einer oder mehrerer Stationen benötigt.

Für die Validierung des hydrologischen Modells werden Messwerte des Durchflusses benötigt.

Stofftransport/Stickstoffmodellierung

Erosion:

Der Sedimenttransport wird für jedes Teileinzugsgebiet mit der MUSLE-Gleichung berechnet (beide in SWAT und MATSALU enthalten). Der Phosphateintrag in die Gewässer wird über Sedimenttransport, Adsorption und Desorption abgeschätzt.

Stickstoff:

Mineralisation: Es wird ein Ansatz verwendet, der sowohl in CREAMS als auch in MATSALU enthalten ist. Der Stickstoff des Bodenumus wird in einen aktiven und einen stabilen Pool eingeteilt. Die Mineralisation erfolgt nur im aktiven Pool und wird als Funktion von org. Stickstoff, Bodentemperatur und Wassergehalt simuliert. Ein Teil des Stickstoffs aus dem stabilen Teil kann langsam in den aktiven Teil wandern. Der organische Stickstofffluss zwischen den aktiven und stabilen Pools wird an Hand der Gleichgewichtsbedingung abgeschätzt. Ein Überblick über die N-Modellierung gibt das Flussbild in Abbildung 2.25.

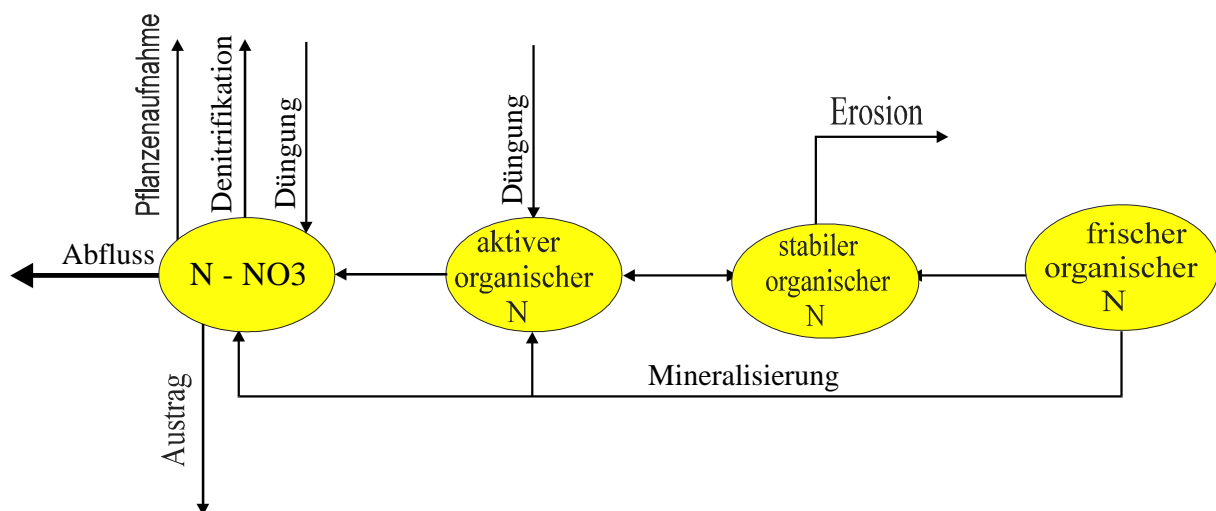


Abbildung 2-25: Flussbild zur N-Modellierung in SWIM

Denitrifikation: Die Denitrifikation wird mit einem empirischen Ansatz wie in CREAMS und MATSALU beschrieben. Die Denitrifikationsrate wird als Exponentialfunktion aus Bodentemperatur, organischer Substanz, Bodenfeuchteffizient und Gehalt an mineralischen Stickstoff abgeschätzt.

²⁶ SMITH, R.E. (1992): Opus, An Integrated Simulation Model of Transport of Nonpoint-Source Pollutants at the Field Scale: Volume 1 & 2. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-98

Nitrifikation: Die Umwandlung von Ammonium- zu Nitratstickstoff wird wie in MATSALU mit der empirischen Formel von Bieleck²⁷ berechnet. Fracht: Der Transport im Oberflächenabfluss, Interflow und in der Versickerung wird als einfaches Produkt aus Wassermenge und durchschnittlicher Konzentration berechnet.

Pflanzenmodell

Pflanzenwachstum: Es wird ein vereinfachter EPIC-Ansatz²⁸ verwendet wie in SWAT. Dabei wird eine spezielle landwirtschaftliche Datenbasis benutzt, mit deren Hilfe verschiedene Pflanzenarten modelliert werden können (Weizen, Gerste, Mais, Kartoffeln, Raps, etc.), sowie auch natürliche Vegetationsbestände (Nadelwald, Grasland). *Pflanzenaufnahme*: Es wird ein "Angebot und Bedarf"-Ansatz verwendet. Der tägliche N- und P-Bedarf wird als Produkt aus Biomassewachstum und optimaler Nährstoffkonzentration in der Pflanze abgeschätzt. Letztere hängt vom Wachstumsstadium ab. Das Bodenangebot wird durch den aktuellen Nährstoffgehalt in der Wurzelzone bestimmt.

Erforderliche Eingangsdaten für N-Modellierung

- Anfangswerte für die zwei N-Pools oder Anfangswerte für den gesamten organischen N sowie mittlerer Anteil des mineralisierbaren Stickstoffs im Boden
- Bewirtschaftungsdaten
- Düngermenge
- Messwerte der Nährstoffkonzentration.

Präprozessing/Parametrisierung

Das SWIM Modell verfügt über eine aus dem SWAT/GRASS-Interface abgeleitete GRASS-Schnittstelle. Diese GRASS-Schnittstelle (SWIM/GRASS Interface) dient zur Initialisierung des Modells unter Nutzung der räumlich verteilten Daten zu

- Topographie,
- Landnutzung,
- Böden,
- Klima-/Niederschlagsstationen,
- Gewässernetz.

Dieses Interface erstellt eine Reihe von Eingabe-Files für das Einzugsgebiet und die Teileinzugsgebiete und die Hydrotopstruktur.

Um das Interface zu starten werden mindestens 4 Karten-Layer eines Einzugsgebietes benötigt (Höhen, Landnutzung, Boden, Teileinzugsgebietsgrenzen). Die Teileinzugsgebietskarte muss im Vorfeld erstellt werden. Die Grundkarten kann man leicht von ARC/INFO nach GRASS übertragen und dann für SWIM-Modellierungen verwenden.

Modellierungsschritte unter Nutzung der SWIM/GRASS-Schnittstelle sind:

1. Teileinzugsgebiete: Extraktion der Flächengrößen und interner Grenzen der Teileinzugsgebiete
2. Hydrotopstruktur: Die Einzugsgebietsstruktur ergibt sich durch die Verschneidung von Karten der Teileinzugsgebiete mit Karten der Landnutzung und der Böden
3. Topographische Attribute: Auf der Basis eines digitalen Höhenmodells (DHM) berechnet das Programm Flusslänge, Hangneigung, geomorphologische Parameter der Flüsse, Exposition, und Akkumulationsflächen

²⁷ Balance of Nitrogen and its transformation in soil, Pushino, USSR Acad. Sci., 162 p (in russisch)

²⁸ WILLIAMS, J.R., RENARD, K.G. & DYKE, P.T. (1984): EPIC a new model for assessing erosion's effect on soil productivity. Journal of Soil and Water Conservation 38(5), 381-383

4. Witterungs- und Klimabedingungen: Den Teileinzugsgebieten wird die nächstgelegene Klima- / Niederschlagsstation zugeordnet
5. Grundwasser-Attribute: Die Bestimmung der Grundwasserparameter erfolgt mittels der Rezessionsparameterkarte
6. Routing - Struktur (Abflusskonzentration): Für die Teileinzugsgebiete wird unter Nutzung des digitalen Höhenmodells (DHM) ein virtuelles Gewässernetz erzeugt.

Die GRASS-Schnittstelle erleichtert die Anwendbarkeit des Modells mit relativ geringen Anforderungen an die Inputdaten.

Anwendungsbeispiele/Validierung

Das beschriebene Modellsystem wurde in dieser Form bezüglich des Wasserhaushaltes in fünf Teileinzugsgebieten der Elbe angewendet (s. Tabelle 2.3).

Der für das Einzugsgebiet der Weißen Elster durchgeführte Modellierungstest besitzt einen vorläufigen Charakter, da die verwendeten Datensätze (DHM, Bodenkarte) eine unzureichende Konsistenz aufweisen.

Mit der ersten vorläufigen Anwendung des Stofftransportes wurde im Stepenitzgebiet begonnen.

Tabelle 2-3: Beschreibung der bisher mit SWIM modellierten Gebiete

Einzugsgebiet	Pegel	Fläche (km ²)	Auflösung (m)	Höhe von-bis (m)	Landnutzung: Landwirt. % Grünl. % Wald %
Buckener Au	Innien	64	100	12 - 93	43:30:22
Obere Dahme	Märkisch Buchholz	535	200	40 - 160	35:8:47
Nuthe	Babelsberg	1876	200	33 - 162	37:11:33
Weiße Elster	Zeititz	2504	1000	168 - 826	60:0:33
Stepenitz	Wolfshagen	574	200	40 - 150	68:12:10

Einzugsgebiet	Boden	Teileinzugsgebiete - Zahl & mittl. Fläche	Hydrotöpfe - Zahl & mittl. Fläche
Buckener Au	Sandige Feuchtgeb. +	9 7,1 km ²	72 0,9 km ²
Obere Dahme	Sandige Feuchtgeb. +	9 60 km ²	217 2,5 km ²
Nuthe	Sandige + Sandlöß (9%)	27 69 km ²	766 2,4 km ²
Weiße Elster	Löß + Tonboden	50 50 km ²	315 7,9 km ²
Stepenitz	Sandige Geschiebelehm +	64 9 km ²	658 0,9 km ²

Überprüfung

Eine Überprüfung erfolgt über statistische Methoden. Es wird zum Beispiel eine Effizienz nach Nash und SCUTCLIFF²⁹ für die Buckener Au mit 4-jähriger Simulation und zeitlicher Auflösung von einem Tag mit 0,68 - 0,72, für die Dahme bei zweijähriger Simulation mit 0,67 - 0,80 angegeben.

Verfügbarkeit (Quellcode)

Der Quellcode ist prinzipiell übertragbar, zur Zeit wird aber noch an einer Beschreibung des Codes in einer übergabereife Form gearbeitet und eine Distributionsversion vorbereitet.

Sonstiges

WWW-Adressen:

<http://www.pik-potsdam.de/cp/ragtime/e/vkpaper.htm>

<http://dino.wiz.uni-kassel.de/model.db/mdb/swim.html>

<http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA.FE/CD-ROM/main.html>

Einordnung

SWIM ist das einzige der hier vorgestellten Modelle, das eine mesoskalige Modellierung der Hydrologie, einschließlich der Lateralflüsse, sowie der Stickstoffdynamik und der Pflanzenwachstums komplexer Flußgebiete ermöglicht. Es kombiniert hydrotopbezogene detaillierte Prozeimodelle zur Bodenwasserdynamik, Verdunstung, Interflowbildung, Grundwasserneubildung in die die realen Vegetations- und Bodenkennwerte (differenziert nach max. 10 Schichten) direkt eingehen, mit mesoskalig einsetzbaren, physikalisch begründeten kontieptionellen Modellen für die lateralen Abflüsse sowie mit einigen empirischen Ansätzen für einzelne Teilprozesse (z.B. MUSLE für Erosion). Es stellt damit im Interesse der mesoskaligen Anwendbarkeit eine Kombination von Bottom-up und Top-down Ansätzen dar. Durch die Anbindung von SWIM an das GIS GRASS können viele Arbeitsabläufe, speziell bei der Modellparameterermittlung und Modellanwendung, rationell durchgeführt werden, und zwar unter direkter Nutzung der unter GIS allgemein verfügbaren Daten (DHM, Lannutzung, Böden).

²⁹ nach NASH, J.E. & SCUTCLIFF, J.V. (1979): River flow forecasting through conceptual models, 1. A. discussion of principles. J. of Hydrology., 10, 282-290

2.13 WASMOD/STOMOD

Autoren

E.W. Reiche

Kurzbeschreibung

Bei dem Modellsystem WASMOD/STOMOD handelt es sich um ein modular aufgebautes System, das die Wasser- und Stickstoffdynamik in terrestrischen Ökosystemen beschreibt und flächenhaft bilanziert. Bei der Entwicklung dieses Modells stand die möglichst breite Einsetzbarkeit und Übertragbarkeit bei unterschiedlicher Eingangsdatenlage im Vordergrund. Wichtige Parameterableitungen sind deshalb in den Modellablauf integriert, so dass auch bei geringer Datendichte ein Modelleinsatz möglich ist.

Literatur

- [1] REICHE, E.-W. (1991): Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Modellsystems zur Beschreibung und flächenhaften Bilanzierung der Wasser- und Stickstoffdynamik in Böden. Geographisches Institut der Universität Kiel, Kieler geographische Schriften, Band 79.
- [2] REICHE, E.-W. (1993): (unveröffentlicht): REIBOTRA. Ein Programm zur Übersetzung der Bodenschätzung. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- [3] REICHE, E.-W. (1994): Modelling water and nitrogen dynamics on catchmentscale. Ecological Modelling 75/76: 371-384.
- [4] REICHE, E.-W. (1995): WASMOD Teilmodell eines gebietsbezogenen Simulationssystems zur Erstellung von regionalen Wasser- und Stoffbilanzen. -Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme B42, 85-100.
- [5] REICHE, E.-W. (1996): WASMOD{ Ein Modellsystem zur gebietsbezogenen Simulation von Wasser- und Stoffflüssen - Darstellung des aktuellen Entwicklungsstandes -. ECOSYS 4, 143 - 164.

Einsatzbereich

0 - 1000 km²

GIS-Kopplung

ARC/INFO

Datenbank-Kopplung

ORACLE; dBASE

Räumliche und zeitliche Diskretisierung

Durch die Verschneidung von Relief-, Boden- und Nutzungskarten im GIS werden Pedo-Hydrotope gebildet, für die dann jeweils eine vertikale Modellierung durchgeführt wird und zwischen denen laterale Flüsse modelliert werden. Die Zeitschritte sind modellintern variabel von 200/Tag bis 10/Tag. Die Ausgabe erfolgt wahlweise als Tageswerte, Wochen- oder Jahresbilanzen.

Wasser-Modellierung (Teilmodell WASMOD)

- Interzeption: in Abhängigkeit vom BFI nach HOYNINGEN-HUENE (1983)
- Transpiration: potentiell: Haude; aktuell: abhängig von Durchwurzelung und Bodenfeuchte nach BRAUN (1975)

- Oberflächenabfluss: abhängig vom Bewuchs und Bodenfeuchte bei Gefälle >2%
- Wasserfluss vertikal: Lösung der Richards-Gleichung über 15 Kompartimente (finite Differenzen-Methode, DUYNISVELD 1984; BENNECKE 1984)
- Untere Randbedingung: unterstes Bodenkompartment ist immer Grenze zum gesättigten Bereich (variable Kompartimentdicke). Wird best. Mindestmächtigkeit der Kompartimente unterschritten, so kann der gesättigte Bereich auch in die Bodenschichten reichen.

Lateralfluss

Das Teilmodell Zwischenabfluss beschreibt die laterale Wasserbewegung und damit verbundene Stofftransportprozesse, die unterhalb der Bodenoberfläche aber oberhalb des Grundwasserbereichs stattfinden. Zwischenabfluss wird simuliert, wenn Wassersättigung in einem Bodenkompartment eintritt, welches durch ein Mindestgefälle in Abflussrichtung zum Nachbarpolygon gekennzeichnet ist. Die pro Zeitabschnitt abfließende Wassermenge wird in Abhängigkeit vom Kf-Wert und dem Gefälle berechnet. Der Wasser- und Stoffeintrag wird dem Kompartiment zugerechnet, welches von unten in aufsteigender Richtung gesehen sich durch "Nicht-Sättigung" auszeichnet. Ist das gesamte Profil gesättigt, werden die entsprechenden Wasser- und Stoffeinträge als Oberflächenwasser (Speicher oberhalb der Bodenoberfläche) bilanziert.

Drainage

Der Dränabfluss wird in Abhängigkeit vom mittleren Dränabstand, der Dräntiefe, der mittleren berechneten Grundwasserspiegelaufwölbung zwischen den Dränsträngen und den kf-Werten der wassergesättigten Schichten ermittelt. Die Berechnung lehnt sich an das Verfahren von HOOGHOUDT (1936) an. Für die Bodensäule oberhalb des wirksamen Drändurchmessers kommt ein zusätzlicher Berechnungsmodus zum Einsatz. Dabei wird der vertikale Fluss direkt in den Drän entsprechend dem oben beschriebenen Wassertransport nach der Richards-Gleichung berechnet.

Grundwasseranbindung

Es wird stark vereinfachend in Abhängigkeit von der Höhendifferenz zum Vorfluter und einer angenommenen mittleren Durchlässigkeit des Grundwasserleiters nach Darcy bestimmt

Erforderliche Eingangsdaten

Für jeden Modellauf werden 4 Parameterdateien eingelesen. Der Inhalt dieser Dateien wird im folgenden kurz beschrieben.

- Bodendatei: Sie beinhaltet folgende bodenphysikalischen und bodenchemischen Kennwerte für 15 vertikal angeordnete Kompartimente:
 - Kompartimenttiefe in cm
 - Humusgehalt in % d. TS
 - Tongehalt in % d. TS
 - Schluffgehalt in % d. TS
 - effektive Lagerungsdichte in g cm^{-3}
 - kf-Wert in cm d^{-1}
 - Wassergehalt in Vol% bei den pF-Stufen 0, 1.8, 2.5, 3.5 und 4.2
 - pH-Werte
 - Anfangsbodenfeuchten in Vol%

Zusätzlich sind die in Tabelle 2.4 dargestellten topographische Angaben enthalten.

- Nutzungs- und Phänologiedatei:
für jede Kultur- und Nutzungsvariante ist eine Tabelle mit folgendem Inhalt aufzustellen:

Tabelle 2-4 Topographische Angaben in der Bodendatei (WASMOD)

Polygonnummer	Codenummer	ermöglicht den Bezug zu Einzelflächen der in ARC/INFO digital verwalteten Karten
Flächengröße	m ²	wird aus einer ARC/INFO-Datei übernommen
Höhe über N.N. des Fl.schw.pkt.	in m	wird über vorhandene Informationen zum Gewässernetz und zur Wasserleitfähigkeit abgeleitet
Nutzung und Fruchtfolge	Codenummer	wird ermittelt durch Kartierung, Luftbildauswertung und Befragung
Vorfluter f. Grundwasserabfluss	Codenummer	wird über vorhandene Informationen zum Relief u. Gewässernetz ermittelt
Entfernung zum Vorfluter (GA)	in m vom Flächenschwerpunkt	wird über vorhandene Informationen zum Relief u. Gewässernetz ermittelt
Höhe ü. N.N. d. Vorfluter (GA)	in m	wird über vorhandene Informationen zum Relief u. Gewässernetz ermittelt
Höhe ü. N.N. d. Vorfluter (OA)	in m	wird über vorhandene Informationen zum Relief u. Gewässernetz ermittelt
zugeordnete Nachbarfläche	Codenummer	bezeichnet die Nachbarfläche in die Oberflächenabfluss gelangt
Länge der Oberflächenabfluss	in m	Bezug: entweder Schwerpunkt der Nachbarfläche oder zugeordneter Vorfluter
Vorfluter f. Oberflächenabfluss	Codenummer	wird über vorhandene Informationen zum Relief u. Gewässernetz ermittelt
Entfernung z. Vorfluter (OA)	in m vom Flächenschwerpunkt	wird über vorhandene Informationen zum Relief u. Gewässernetz ermittelt
Gefälle für Oberflächenabfluss -	in %	Bezug: entweder Schwerpunkt der Nachbarfläche oder zugeordneter Vorfluter
Abflussbarriere	ja=1 nein=0	ja, wenn Oberflächenabfluss durch ein linienhaftes Element unterbrochen wird
Dräntiefe	in cm	Angabe nur, wenn Dränabfluss berechnet werden soll
Dränabstand	in cm	Angabe nur, wenn Dränabfluss berechnet werden soll
Drändurchmesser	in cm	Angabe nur, wenn Dränabfluss berechnet werden soll

- Durchwurzelungstiefe in cm unter Flur zur Berechnung der relativen Wurzel erteilung
- Pflanzen- und regionsspezifische Haundefaktoren zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration
- Blattflächenindex zur Berechnung des Interzeptionsverlustes
- Stickstoffeintrag durch Düngung in kg N ha⁻¹
- Düngerart (Zahlencode für verschiedene organische und mineralische Düngerformen)
- Bearbeitungsmainahme (Zahlencode z.B. für Ernte)

Die genannten Parameter sind in die Datei für ein Jahr in einer zeitlichen Auflösung von halben Monaten (bzw. 15 Tagen) einzutragen. Angaben zur Herkunft der Werte für

Durchwurzelungstiefe, Haundefaktoren und Blattflächenindizes sind bei REICHE (1991) nachzulesen.

- Klimadatei:
Folgende Daten werden in Form von Tageswerten der nächstgelegenen DWD-Station in Datenbankdateien gespeichert:
 - Niederschlagssumme in mm
 - maximale Lufttemperatur in C°
 - minimale Lufttemperatur in C°
 - Sättigungsdefizit der Luft um 14 Uhr in mm Hg

Letzteres muss zunächst aus relativer Luftfeuchte und Temperatur abgeleitet werden. Wenn Niederschlagsdaten nur in Tagesauflösung angegeben werden, liegt praktisch keine Information über die Niederschlagsintensität vor. Diese ist aber Voraussetzung für eine realistische Abschätzung des Oberflächenabflusses. Deshalb wird anhand der Wetterdaten hinsichtlich der Aufteilung der Tagesniederschlagssummen auf einzelne Rechenschritte zwischen 3 Niederschlagstypen unterschieden:

- Kaltfrontwetterlage: Der Niederschlag verteilt sich auf zeitlich nicht aufeinanderfolgende Zeitschritte, die in der Summe einen Zeitraum von 4 Stunden ausmachen.
- Warmfrontwetterlage: Der Niederschlag verteilt sich auf zeitlich aufeinanderfolgende Zeitschritte, die in der Summe einen Zeitraum von 8 Stunden ausmachen.
- Gewitterwetterlage: Der Niederschlag verteilt sich auf zeitlich aufeinanderfolgende Zeitschritte, die in der Summe einen Zeitraum von einer Stunde ausmachen.

Stickstoffmodellierung (Modellteil STOMOD)

Im Stofftransportmodell STOMOD wird zusätzlich zur häufig angewendeten Konvektions-Dispersionsgleichung (CDE) eine Differenzierung zwischen mobiler und immobil Wasserfraktion als wesentlich prozessbestimmende Variable angesehen. Die Differenzierung dieser beiden Fraktionen erfolgt dabei anhand der pF-WG-Beziehung. Für jedes Bodenkompartment wird der Stoffaustausch zwischen den einzelnen Wasserfraktionen berechnet. Daraufhin werden die Konvektion und hydrodynamische Dispersion in Anlehnung an DUYNISVELD (1984) berechnet. Zur Beschreibung der De- und Adsorption an die Bodenmatrix werden Freundlich-Faktoren verwendet. Da die Bodentemperatur einen entscheidenden Einfluss auf die Stickstoffumsetzungsprozesse im Boden ausübt, wird diese in einem eigenen Bodentemperaturmodul in Anlehnung an PATRON & LOGON (1980) berechnet. In die Berechnung der Stickstoffmineralisation, Nitrifikation und Denitrifikation gehen neben der Bodentemperatur und dem Bodenwassergehalt aus dem Wassermodul der Gehalt an organischem Kohlenstoff und die unterschiedlichen C- und N-Fractionen aus der Bodenstickstoffdatei, sowie der pH-Wert aus der Bodendatei ein. Die Gleichungen zur Berechnung der Nitrifikation, Denitrifikation, Ammoniak-Verdunstung und Gülleinfiltration wurden von HOFFMANN (1989) übernommen. Die Umsetzungen in der organischen Substanz werden in einem eigenen Teilmodell beschrieben, das sich im wesentlichen an die Vorgehensweise von HANSEN ET AL. (1990) anlehnt.

Erforderliche Eingangsdaten

Zusätzlich zu den bei der Modellierung des Wasserhaushaltes notwendigen Eingangsdaten wird bei Stickstoffmodellierung eine Bodenstickstoffdatei eingelesen. Diese Datei enthält für jedes Kompartiment Anfangswerte für 3 verschiedene Kohlenstoff-Pools. Diese teilen nach einem Konzept von JENKINSON ET AL. (1987) die organische Substanz ein in:

- zugeführte, frische organische Substanz
- mikrobielle Biomasse

- längerfristig wenig mobiler Anteil

Jeder dieser Pools wird zusätzlich in zwei Teil-Pools aufgeteilt, und zwar jeweils in einen leichter- und in einen schwerer abbaubaren Teil. Außerdem enthält die Bodenstickstoffdatei Anfangswerte für den organischen Stickstoffgehalt sowie für den Gehalt an Ammonium und Nitrat. Auch diese Eingangsdatei kann bei fehlenden Messwerten mittels eines Unterprogrammes zunächst aus der Bodendatei abgeleitet werden. In diesem Fall empfiehlt sich ein Modellvorlauf von einigen Fruchtfolgen, so dass sich die einzelnen Parameter einstellen können.

Pflanzenmodell/Organ. Substanz

Die phänologische Pflanzenentwicklung wird nicht mit einem Pflanzenmodell abgebildet, sondern in Tabellenform für jede Kultur- und Nutzungsvariante eingelesen (siehe Datenbedarf Wassermodell). Der Verlauf der Pflanzenentwicklung, und damit die Wasser- und Nährstoffaufnahme, wird aus dieser Datei jedoch nicht starr übernommen, sondern abhängig vom Temperaturverlauf im jeweiligen Jahr angepasst, wenn dieser vom langjährigen mittleren Temperaturverlauf in Schleswig-Holstein abweicht.

Die Umsetzungen in den in 6 Kohlenstoff-Pools werden wie oben beschrieben in Anlehnung an HANSEN ET AL. (1990) in einem gesonderten Teilmodell berechnet.

Präprozessing/Parametrisierung

Ableitung der Bodendaten:

Die Parameter der Bodendatei werden wahlweise als Messwerte oder als aus der Bodenansprache bzw. Bodenschätzung abgeleitete Werte eingetragen. Liegen für die pF-WG-Beziehung keine Messwerte vor, so leitet das Programm die Werte aus empirisch ermittelten Regressionen ab. Bei der Nutzung der Daten aus der Bodenschätzung wird folgendermaßen vorgegangen:

Der Inhalt der vom zuständigen Finanzamt bzw. von der Oberfinanzdirektion erhältlichen Feldschätzungsbücher wird zunächst ohne Korrektur oder Interpretation über eine eigens entwickelte Eingabemaske in das Datenbanksystem dBASE eingegeben. Im Hinblick auf die fehlende Vorinterpretation unterscheidet sich die Vorgehensweise von derjenigen von FLEISCHMANN ET AL. (1979) und BENNE ET AL. (1990), die ansonsten ähnlich ist. Die uninterpretierte Eingabe hat Vorteile bei Modifikationen der Übersetzungsregeln.

Die Weiterverarbeitung der nun in der Datenbank vorliegenden Bodenschätzungsdaten gründet auf ein von CORDSEN (1990, 1993) ausgearbeitetes und an die Arbeiten von FLEISCHMANN ET AL. (1979) angelehntes Verfahren. Hierbei werden die Grablochbeschreibungen der Bodenschätzung in das Vokabular der wissenschaftlichen Bodenkunde übersetzt, sowie wichtige bodenphysikalische Kenngrößen abgeleitet. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass lokale, naturräumliche Besonderheiten in Schleswig-Holstein und die damit verbundenen Bedeutungsunterschiede in den von den Bodenschätzern verwendeten Bezeichnungen in die Übersetzung Eingang finden. In die Übersetzung der Grablochbeschreibungen gehen auch Daten zur Hangneigung und zum Grundwasserflurabstand ein, welche sich aus dem digitalen Höhenraster ableiten. Um diese Angaben wird die dBASE-Datei mit den Grablochbeschreibungen erweitert.

Daraufhin kommt das Programm REIBOTRA (REICHE, 1993) zum Einsatz, welches die "horizontkennzeichnenden Merkmale" als wesentliche Grundlage der Übersetzung verwendet (FLEISCHMANN ET AL., 1979). Diese beinhalten Angaben zur Horizontmächtigkeit, Bodenfarbe, Humusgehalt, Eisenausfällungen, Kalkgehalt, Bodenfeuchte, Lagerungsdichte, Zersetzungsgrad von Torfen sowie Grobboden- und Feinbodenanteil, wobei die Bezeichnungen in den Feldschätzungsbüchern z.T. stark von den heute angewendeten abweichen. Daraus werden horizontweise zunächst die heute gebräuchlichen Bezeichnungen für die jeweiligen Angaben der Bodenschätzung abgeleitet. Hieraus wiederum leitet das Programm die jeweiligen

Horizontbezeichnungen und aus deren Kombinationen den Bodentyp entsprechend den Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung AG BODENKUNDE 1982) ab.

Weiterhin werden bodenphysikalische Parameter, wie die Lagerungsdichte, effektive Durchwurzelungstiefe, kf-Wert und die Wassergehalte bei den pF-Stufen 0, 1,8 2,5 und 4,2 abgeschätzt. Grundlage dafür bilden wiederum die Schätztabelle der Bodenkundlichen Kartieranleitung. Die Ergebnisse dieser Ableitungsprozeduren werden in einer Datenbankdatei abgelegt. Damit stehen sie sowohl zur Verwendung als Eingangsdaten für eine Gebietsmodellierung, als auch für Inhalte unterschiedlicher Themenkarten zur Verfügung. Für detailliertere Informationen über die Übersetzungs- und Ableitungsregeln sei auf REICHE (1993) und KASKE (1996) verwiesen.

GIS-Kopplung:

Das oben beschriebene Modellierungsverfahren beschreibt zunächst - bezogen auf Einzelstandorte - die vertikale Bewegung des Bodenwassers bzw. der im Bodenwasser gelösten Stoffe. Um Wasser- und Stoffbilanzen für größere Räume bzw. Einzugsgebiete zu berechnen werden die Prozesse ein- bzw. zweidimensional berechnet und durch deren räumliche Kombination eine Quasi-Dreidimensionalität hergestellt.

Dies geschieht in einer Reihe von Prozeduren, die mit dem Geographischen Informationssystem ARC/INFO durchgeführt werden bzw. deren Daten das GIS verwaltet. Ziel dieser im folgenden kurz beschriebenen Prozeduren ist es, das zu modellierende Gebiet in Flächen möglichst gleicher Eigenschaften zu diskretisieren, also quasihomogene Flächeneinheiten (sog. kleinste gemeinsame Geometrien, KGGn, oder auch Pedohydrotope) zu generieren, für welche jeweils die Modellrechnung abläuft. Die topographische Grundlage kann zum einen eine digitalisierte topographische Karte sein (z.B. DGK 5). Zum anderen wurde ein Verfahren entwickelt, das die bereits digital verfügbaren Informationen der ATKIS-Karten nutzt. Aus diesen Grundlagenkarten wird die Lage des Gewässernetzes und andere hydrologisch relevante Struktureinheiten (z.B. Straien oder Knicks als Abflussbarrieren).

TOPNEW

Dieses Programm dient der Auswertung von digitalen Höhenmodellen (DHM), wie sie von den Landesvermessungsämtern vorgehalten werden. Im ersten Programmschritt werden aus den Höhendaten die Abflussrichtungen und das maximale Gefälle berechnet. Der nächste Schritt beinhaltet die Festlegung von lokalen Höhenminima (Senken) und den dazugehörigen Teileinzugsgebieten. Dabei wird jeder Rasterfläche eine Einzugsgebietsnummer zugeordnet. Desweiteren werden die Rasterflächen in Senken, Hänge und sonstige Flächen eingeteilt. Die Definition für Senken und Hänge ist im Programmablauf wählbar. Als Hang wird eine Fläche definiert, die mindestens 4 hangabwärts aneinander grenzende Rasterflächen mit einer Neigung von mindestens 2 % in die gleiche Richtung aufweist. Ein weiterer Programmschritt gibt zu jeder Rasterfläche die Anzahl der hangaufwärts gelegenen Rasterflächen an, die in das betreffende Raster entwässern.

Um die KGG-Karte zu generieren wird die mit TOPNEW erzeugte Reliefkarte mit der bestehenden Boden-Nutzungskarte verschnitten, d.h. es werden Polygone mit identischer Bodenbeschreibung, Nutzung, Einzugsgebietsnummer und Hangcharakteristik erzeugt.

CASCADE

Dieses Programm beinhaltet einen Algorithmus zur Festlegung der Oberflächenabflusspfade auf Grundlage der oben beschriebenen KGG-Karte. Als Eingabedaten wird hierfür der Output aus dem vorher beschriebenen Programm TOPNEW und eine Exportdatei der KGG-Karte benötigt. Das Programm überprüft alle Linien (Arcs) der Karte auf deren Hauptgefällerrichtung und deren Zugehörigkeit zu Nachbarpolygonen. D.h. es wird ermittelt, ob das linksseitige Polygon in das

rechtsseitige entwässert oder umgekehrt. Zusätzlich werden alle Arcs, die mit einer Gewässerkennung (stehende und fließende Gewässer) versehen sind, aussortiert.

TOPTRA

Auf der Grundlage der Ergebnisse der zuvor beschriebenen Programmroutinen dient das Programm TOPTRA der Aufbereitung von Geometriedaten als Eingabeparameter für das Modellsystem WASMOD/STOMOD. Dabei werden folgende Zuordnungs- und Ableitungsprozeduren durchgeführt:

- Höhenbestimmung für die Flächenschwerpunkte der Einzelpolygone
- Höhenbestimmung für jeden Gewässerteilabschnitt
- Berechnung der mittleren Grundwassertiefe für jeden Flächenschwerpunkt unter Zugrundelegung eines mittleren k_f -Wertes des Grundwasserleiters, der mittleren Grundwasserneubildungsrate, des Gefälles zum jeweiligen Vorfluterabschnitt, sowie einer geschätzten Grundwasserzuflussrate. (Diese Information wird vom Programm REIBOTRA im übrigen zur Differenzierung der Bodentypen herangezogen)
- Festlegung der Oberflächenabfluss-Reihenfolge und Zuordnung zu den betreffenden Vorfluterabschnitten unter Berücksichtigung der abflusshemmenden Funktion bestimmter Arcs (Straien, Knicks, etc.)

TOPNET

Dieses Programm übt folgende Funktionen aus:

- Bestimmung des niedrigsten Randarcs jedes Teileinzugsgebietes
- Bestimmung des niedrigsten Vorfluters im betreffenden Teileinzugsgebiet
- Zuordnung der Teileinzugsgebiete zu Vorfluternummern, die in der Abfluss Kaskade einen Vorfluter besitzen

Aggregation der o.g. Teileinzugsgebiete und deren Zuordnung als "Teileinzugsgebietsverbände" zu den jeweiligen Vorfluterteilabschnitten und zu Randarcs, denen kein Vorfluter zugeordnet werden kann bzw. deren Oberflächenabfluss, durch die Topologie bedingt, über den Kartenrand hinaus geht.

MODAUF

Das letzte Programm dieser Reihe fasst alle vorher berechneten Standortparameter zu einer Modell-Input-Datei zusammen. Es erzeugt dabei die Tabellenstruktur, die das Modell zum Einlesen braucht. Die Profile werden hierbei in jeweils 15 Horizonte mit unterschiedlicher Mächtigkeit unterteilt. Wird nicht schon in der Bodendatei eine Dränung explizit angegeben, so nimmt dieses Programm bei Ackernutzung und einem Grundwasserstand von weniger als einem Meter unter Flur automatisch eine Dränung an und ordnet sie den entsprechenden Polygonen mit einer vorgegebenen Drändichte und Dräntiefe zu.

Anwendungsbeispiele/Validierung

Das beschriebene Modellsystem, bzw. Teilmodule hiervon, wurden bereits in mehreren Arbeiten angewendet und auf Funktionsfähigkeit geprüft. Beispiele hierfür sind in der folgenden Literaturliste zu finden:

- [1] GÖBEL, B. (1997): Wasser- und Stofftransport auf zwei Maistabebenen (Messung und Modellierung des flächenhaften Wasser- und Stofftransports aus landwirtschaftlich genutzten Flächen auf zwei Maistabebenen unter besonderer Berücksichtigung der Bereitstellung bodenkundlicher Daten für die Modellrechnung). EcoSys, Suppl.-Bd. 19, 135 S. (in Druck).
- [2] REICHE, E.-W. (1991): Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Modellsystems zur Beschreibung und flächenhaften Bilanzierung der Wasser- und Stickstoffdynamik in Böden. Geographischen Institut der Universität Kiel, Kieler geographische Schriften, Band 79.

[3] Reiche, E.W. (1994): Modelling water and nitrogen dynamics on catchment scale.- Ecological Modelling 75/76, 371-384.

[4] RINKER, A. (1997): Modellsimulationen zur Wasser- und Stickstoffdynamik im Einzugsgebiet des Stöpper. Diplomarbeit, Kiel.

Überprüfung

Die Ausgabemöglichkeiten des Modellsystems WASMOD/STOMOD sind sehr flexibel. Prinzipiell können alle intern berechneten Zwischenergebnisse auch ausgegeben werden. Es können auch flächenmäßig aggregierte Ergebnisse, z.B. für bestimmte Teileinzugsgebiete oder Vorfluterabschnitte, ausgegeben werden. Damit ist die Überprüfung des Modelloutputs anhand von integrierenden Größen wie z.B. die Abflussmenge und -qualität an einer Pegelstation möglich.

Verfügbarkeit (Quellcode)

Der Sourcecode ist in Fortran77 verfasst und über den Verfasser zu beziehen.

Sonstiges

WWW-Adressen:

<http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de/~martin/kap5.htm>

http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de/PZ/Forsch_liste/Pop_wissen/studiel-7.html

Einordnung

Das Modellsystem WASMOD/STOMOD ist in der Lage vertikale und laterale Wasserund Stofftransportprozesse für Einzugsgebiete bis zu einer Größe von mehreren hundert Quadratkilometern zu beschreiben. Charakteristisch für diesen Ansatz ist eine konsequente "bottom-up" Vorgehensweise, d.h. die Prozessbeschreibung wurde zunächst für Einzelstandorte bzw. kleine Teileinzugsgebiete entwickelt und nach umfangreicher Testung für den großräumigen Einsatz ausgebaut. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit eines relativ feinen Auflösungsgrades bei der räumlichen und zeitlichen Diskretisierung, was den Parameterisierungsaufwand erhöht.

Sowohl die lateralen Abflußkomponenten (Oberflächenabfluss, Dränabfluss, Interflow) als auch der Grundwasserabfluss werden berücksichtigt. Die mikrobiologisch gesteuerten Prozesse des Stickstoffhaushaltes werden in enger Abhängigkeit zu den Kohlenstoff- Umsetzungsprozessen beschrieben. Das Modellsystem beschreibt auch langfristige Systemveränderungen, indem beispielsweise die Abhängigkeit bodenphysikalischer Eigenschaften vom Humusgehalt Berücksichtigung findet.

Die Anbindung umfangreicher Parameterisierungswerkzeuge an WASMOD & STOMOD ergeben ein System, welches mit seinen Schnittstellen zu einer Datenbank und zum ARC/INFO GIS die Arbeitsabläufe von der Datenbeschaffung bis zur eigentlichen Modellsimulation standardisiert und weitgehend automatisiert ablaufen lassen. Wichtige Datengrundlagen sind die von den entsprechenden Behörden einzelner Bundesländer angebotenen Datensätze zur Topographie (ATKIS), Höhenstruktur (DHM), digitale Karten der Bodenschätzung mit Profilbeschreibungen und Nutzungs- und Vegetationsinformationen aus entsprechenden Erhebungsprogrammen bzw. Luftbild- und Satellitenbildserien.

Der Einsatz dieses Modellsystems bietet sich an, wenn es um die komplexe Analyse und Prognose von Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffumsetzungs- und -transportprozessen innerhalb von Einzugsgebieten geht. Damit ist es besonders für die Testung unterschiedlicher Nutzungs- bzw. Planungsszenarien geeignet.

3 Diskussionsergebnisse des Workshops

Vom 7. bis zum 8. April fand in Berlin in der Bundesanstalt für Gewässerkunde ein Workshop zur vorliegenden Machbarkeitsstudie "Darstellung und Bewertung von mesoskaligen dynamischen Stickstoffmodellen" statt. Neben der Präsentation bestehender Stickstoffmodelle aus dem deutschsprachigen Raum, die in der Fläche eingesetzt werden können, stand die Diskussion über Anforderungen und Möglichkeiten der mesoskaligen Stickstoffmodellierung für die Elbeökologie mit den beteiligten Modellentwicklern und -nutzern im Vordergrund. Die dabei sich aufzeigenden Unterschiede aber auch die Gemeinsamkeiten in den Vorstellungen und Ansichten sollen nachfolgend dargestellt werden.

3.1 Das Problem des Maßstabes (Skala)

Die Wahl des geeigneten Maßstabes ist abhängig von der Thematik der Modellierung. So wird beispielsweise bei der Modellierung der möglichen Klimaveränderung ein wesentlich größerer Raumabschnitt berücksichtigt, als bei der Modellierung von Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwurzel und Bodenwasser.

Unter dem Begriff *mesoskalige Modellierung* sollten im Rahmen der Elbeökologie die Modellansätze verstanden werden, welche Aussagen für Gebietsgrößen treffen, die zwischen dem landwirtschaftlichen Einzelschlag (Mikroskala) und dem Gesamteinzugsgebiet eines größeren Flusssystemes (Makroskala) liegen. Im Sinne der im ersten Kapitel genannten Anforderungen der Elbeökologie kommen Modellansätze in Betracht, die die Wasser- und Stofftransport- und transformationsprozesse für Flächengrößen von 1 km² (Ufer-Ökoton) bis 10.000 km² (Gesamteinzugsgebiet mittlerer Flüsse) beschreiben können.

Die Betrachtung des Einzelschlages steht im Mittelpunkt vieler der hier vorgestellten Modelle (CANDY, HERMES, EXPERT-N etc.), die für Fragestellungen der landwirtschaftlichen Praxis entwickelt wurden und die für diese Skala als robust zu bezeichnen sind. Die obere Begrenzung der Mesoskala wird durch großräumige Ansätze wie die von Wendland³⁰ gegeben. Modelle wie ASGI, SWIM und WASMOD betrachten von ihrer Zielsetzung mesoskalische Flächengrößen mit Landschaftsbezug. Der Übergang von der Mikroskala auf die Mesoskala stellt den Modellierer vor folgende Probleme:

- Welche Zeiträume müssen betrachtet werden, um Kausalitäten zwischen Nutzung und Stoff-Input auf der einen Seite und vorflutbezogenen Stofffrachten auf der anderen Seite adäquat abzubilden?
- Welche Prozesse sind zusätzlich zu beschreiben, weil sie in größeren Zeit- und Raumskalen von entscheidender Bedeutung sind (z.B. laterale Flüsse)?
- Welche Nutzungs- bzw. Ökosystemtypen sind neu in die Modellierung aufzunehmen, weil sie einen erheblichen Einfluss auf Stoffumsatz und Gebietsbilanzen haben (z.B. Wald, Feuchtgebiets- und Niedermoorflächen, versiegelte Flächen)?
- Können bestimmte Prozesse ausser Acht gelassen werden, wenn größere Flächen bearbeitet werden sollen (z.B. die Dynamik des Kohlenstoff-Pools)? Gehen dabei wichtige Informationen verloren?
- Sind die angenommenen Erhaltungssätze der Mikroskala auf die Mesoskala zu übertragen oder gehen Kausalzusammenhänge beim "Upscaling" vielleicht verloren?

³⁰ WENDLAND, F.; ALBERT, H.; BACH, M.; SCHMIDT, R. (1993): Atlas zum Nitratstrom in Deutschland. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 96 S.

Unter anderem stellt sich damit die Frage nach dem **Komplexitätsoptimum** für die Modellierung spezifischer Maßstabebenen. Auf der einen Seite sollte der Grad der Komplexität das notwendige Maß nicht überschreiten, andererseits lässt sich die Validität einer vereinfachten Prozessbeschreibung nur durch einen Vergleich mit einer komplexen Variante nachweisen. Über das Problem des "Up-Scaling" hat Götz Richter, TU Braunschweig, auf dem Workshop ein Statement gegeben, welches im Anhang als Originalbeitrag aufgeführt ist. Dabei macht er deutlich, dass Upscaling immer auch ein Abwägen von Modellkomplexität, Inputgenauigkeit Validierbarkeit und Szenarienfähigkeit beinhalten muss.

Als ein Ergebnis des Workshops kann festgehalten werden, dass es ein Ausschlusskriterium bei der Auswahl mesoskaliger Modelle für die ELBE- ÖKOLOGIE sein sollte, die Auswirkungen von Mangementmaßnahmen quantitativ abbilden zu können. Um die Anbindung an makroskalige Modelle (z.B. Wendland-Modell³¹), sollte die Größe des dem gewählten Vorfluterabschnitt zugeordneten Einzugsgebiets mindestens 200 - 400 km² erreichen.

3.2 Das Problem der Lateralflüsse

Bei den meisten vorgestellten Stickstoff-Modellen wurde ein Defizit ausgemacht, da diese mehr oder weniger ausführlich nur vertikale Flüsse beschreiben. Lateralflüsse bereiten erhebliche Schwierigkeiten aufgrund der Skalierungsproblematik (Skalierung bestimmter Landschaftsattribute und Parametrisierung der entsprechenden Modelle). Aufgrund der z.T. langen Retentionzeiten (Jahrzehnte) scheinen Kausalzusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung sehr fraglich; dies gilt insbesondere für den Lockergesteinsbereich. Die Anwendung eines bestimmten Modells richtet sich somit auch nach dem Standort.

3.3 Das Problem der Datengrundlage

Beherrschendes Problem der mesoskaligen Modellierung ist die Verfügbarkeit der Daten und die Frage, wie die Modelle damit umgehen. Makroskalige Modelle setzen auf statistische Daten und vorhandenes Kartenmaterial. Mesoskalige Modelle brauchen je nach Komplexizität Flächendaten, die oft noch nicht vorhanden sind. Eine Befragung der Landwirte im zu untersuchenden Gebiet von 1000 km² über die Bewirtschaftung ist unrealistisch und ein typisches Beispiel, wie in der Mikroskala erhältliche Daten in der Mesoskala nicht mehr oder nur noch schwer zu erhalten sind. Nicht nur die Möglichkeit der Erstellung digitaler Karten mittels GIS-Schnittstelle, sondern auch das Vorhandensein von geeigneten Parametrisierungsverfahren bestimmen die Eignung der Modelle für die Mesoskala.

3.4 Das Problem der Zieldefinition

Eine Hauptanforderung an eine mesoskalige Modellierung ist, dass die Modelle den Ist-Zustand bezogen auf Wasser- und Stickstoffhaushalt räumlich aufgelöst und überprüfbar darstellen können. Weiterhin aber sollen die Ergebnisse einer mesoskaligen Stickstoff-Modellierung Wissenschaftlern, Planern und Entscheidungsträgern auch Aussagen über Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten geben, damit bestimmte Aussagen über Möglichkeiten der Verbesserung einer gegebenen Ausgangssituation gemacht werden können (Szenariofähigkeit). Die Eignung und der Einsatz bestimmter Modelle für die Planung wird daher entscheidend bestimmt durch:

- Welche Steuerungsmöglichkeiten sind vorhanden?
- Wer ist der Adressat? Wer greift ein? Wer macht die Planung?

³¹ WENDLAND berichtete auf dem Workshop, dass er bis zu Flächengrößen unter 400 km² heruntergehen kann

Beide Fragen sind nicht unabhängig voneinander. Ein Landwirt hat auf seiner Fläche andere Steuerungsmöglichkeiten (Produktionstechnik) als z.B. die Ämter der Wasserwirtschaft, die das wasserwirtschaftliche Management eines Fluss-Systems z.B. durch Einstau beeinflussen können.

Folgende Eingriffs- und Steuermöglichkeiten wurden auf dem Workshop ausgemacht (in Ergänzung zu den Ausführungen auf Seite 5).

- Fruchtfolgen
- Landnutzungsumstellung (Acker, Grünland, Forst, Sukzession, Urban, Feuchtgebiet)
- Wasserwirtschaftliches Management (Regime)
- Produktionstechnik (z.B. Düngung: min. und org.)
- Kulturtechnik

Weiterhin sind im Vorfeld die Fragen nach dem Ort des Eingriffs bzw. der Maßnahme und dem Akteur zu beantworten. Daraus ergibt sich die Zuordnung spezifischer Planungsebenen mit unterschiedlichen Fragestellungen.

Entsprechend dieser Anforderungen lassen sich Aussagen über den Grad der Eignung der unterschiedlichen Modellansätzen formulieren (s. Tabelle 3.1). Als Resultat scheint daher ein "genesteter" Ansatz geeignet, der durch die Integration von auf unterschiedlichen Skalenebenen anzuwendenden Modellen charakterisiert ist.

3.5 Schlussfolgerung

Durch die Diskussion mit Modellentwicklern und Nutzern wurde bestätigt, dass es kein adäquates mesoskaliges Modell für die dynamische Stickstoff-Modellierung mit den geforderten Anforderungen gibt. Eine Vielzahl von eindimensional vertikalen Modellen stammen aus der Mikroskala, wo sie robust arbeiteten, doch durch das Upscaling entstehen Probleme, die noch nicht hinreichend gelöst sind. Einige Modelle hingegen, die auch laterale Flüsse auf der Mesoskala berechnen können, sind z.T. noch in der Entwicklung oder besitzen noch kein Stickstoff- /Pflanzenmodul (z.B. ASGi).

SWIM hingegen kann ganze Flußgebiete modellieren (bis 10.000 km²). Es kombiniert dazu eine Reihe hydrotopbezogener detaillierter Prozeimodelle mit mesoskalig einsetzbaren, physikalisch begründeten konzeptionellen Modellen sowie einigen empirischen Ansätzen für einzelne Teilprozesse, z.B. Erosion. WASMOD/STOMOD versucht im Gegensatz dazu möglichst alle relevanten Prozesse einzubinden und ist daher sehr parameterintensiv. Trotzdem konnte dieser Ansatz schon erfolgreich für Flächengrößen von mehr als 200 km² eingesetzt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Aufgabenstellungen, die sich aus den Steuerungsmöglichkeiten und -erfordernissen ergeben (s. o.), erscheint es empfehlenswert, die beschriebenen Modelle hinsichtlich ihres jeweilig optimalen Arbeitsmaßstabes hierarchisch zu ordnen. Hieraus kann ein genester Ansatz entwickelt werden, in dem z.B. Ergebnisse der schlagbezogenen Modellierung (z.B. HERMES, MINERVA etc.) Datengrundlagen für die Betrachtung der Landschaftsebene liefern. Diese wiederum sind dann in der Lage wichtige Grundinformationen für makroskalige Modelle zur Verfügung zu stellen ("bottom-up"-Ansatz).

Tabelle 3-1: Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften der dargestellten Modelle

Kriterium	Modell										
	ASGI	CANDY	DYNAMIT	MESCO-N	Expert-N	HERMES	MINERVA	SIMULAT	SWIM	WASMOD	
Wasserhaushalt											
Bodenwasserhaushalt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Grundwasseranbindung	+	-	0	0 ²	-	-	-	+	+	+	
Laterale Flüsse	+	-	0	+	-	-	-	-	+	+	
Vorfuteranbindung	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	
Stickstoffumsetzung											
Pflanzenaufnahme	³	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Mineralisation	³	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Immobilisation	³	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Denitrifikation	³	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Stickstofftransport											
Wurzelzone		+	+		+	+	+	+	+	+	
bis zum GW											
bis zum Vorfuter	³			+				+	+	+	
Kohlenstoffhaushalt	-	+		+	-	-	-	+	-	+	
GIS-Anbindung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Parametrisierungstools	+	+	+	k.A.	+	-	+	+	+	+	

¹ vollständig mit Interzeption, Evapotranspiration und Sickerung
² Anwendung im Festgesteinsbereich
³ Stickstoffmodell geplant

+ vorhanden
- nicht vorhanden
0 z.T. vorhanden
k.A. keine Angaben

In Ergänzung hierzu ist dann im Sinne eines "top-down" -Ansatzes ein hydrologisches Standortkonzept einsetzbar (s. Abbildung 3.1). In diesem Konzept können über entsprechende (vielleicht sogar statische) Ansätze Flächen differenziert werden, welche aufgrund des Weg-Zeitverhaltens durch lange (slow response) bzw. kurze (quick response) Retentionszeiten gekennzeichnet sind. Hierauf aufbauend wird die Identifizierung sensibler Gebiete ("hot spots") möglich. Diese sind durch kurze Retentionszeiten gekennzeichnet; die Wahrscheinlichkeit, dass es zu hohen Stickstoffumsetzungs- und -verlagerungsraten kommt, ist hoch. Für Beispielsgebiete, die mit solchen Flächen ausgestattet sind, sollten Fallstudien durchgeführt werden. In diesem Rahmen wird die Anwendung komplexerer Modellansätze notwendig, so dass die Auswirkungen langfristiger Systemveränderungen (z.B. Torfmineralisation, Wiedervernässung) abbildbar werden. Dies stellt die Datengrundlage für einen größere Gebiete umfassenden "bottom-up-Ansatz" dar.

Hydrologisches Standortkonzept

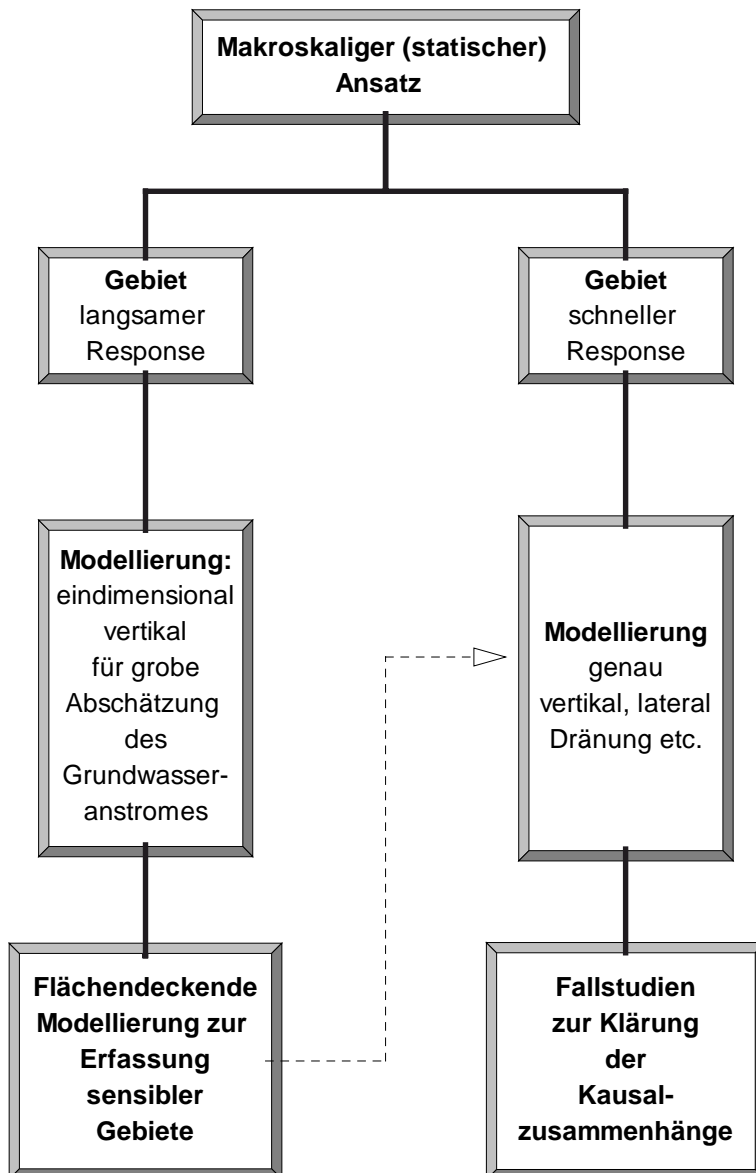


Abbildung 3-1: Hydrologisches Standortkonzept

4 Anhang

"Up-scaling" von Modellen zum Wasser- und Stofftransport (G. Richter)

Einleitung

Die auf dem Workshop vorgestellten Modellansätze unterscheiden sich in der Komplexität einzelner Modellbausteine, wurden aber alle auf der lokalen Betrachtungsebene validiert und dann auf größere Gebiete übertragen. Dabei wird aber darauf verzichtet, inwieweit bei einer Vergrößerung der Betrachtungsgebiete und Verringerung der Informationsdichte die Komplexität der Modellansätze angepasst werden können. Fragen der Modellgenauigkeit und -sensitivität gegenüber strukturellen (Prozessanzahl) und konzeptionellen (Modelltyp) Veränderung der Modelle bleiben ebenso unberücksichtigt, wie die Auswirkung unterschiedlicher Datenqualität und -herkunft. ADDISCOTT (1995) stellt zur Übertragung der Modelle auf andere Skalenbereiche einen Fragenkatalog zu den Gültigkeitskriterien auf, der im folgenden an einigen Beispielen erläutert wird.

Postulat gleichzeitiger Entwicklung und Anwendung

RICHTER (1997) skizziert die Nutzung von Modellen als "Decision Support Tool" auf den verschiedenen Betrachtungsebenen als gleichzeitige Systembeschreibung (wissenschaftlich) und Systemoptimierung (praktisch). Der Schritt von der ökotop/hydrotopbezogenen Anwendung (z.B. zur Gefährdungsabschätzung) zum Feld erfordere eine Bewertung der Aussagesicherheit auf der Basis der Input-Genauigkeit (Quelle, Auflösung) oder ihrer Wahrscheinlichkeit. Modellierung zur Planung der Landnutzung (regionalen Ebene) habe weitgehend hypothetischen Charakter, Kalibrierung erfolge mit historischen Daten und sei im Prinzip nur lokal, nicht aber in Einzugsgebieten validierbar.

Hierarchie und Modellreduktion

Einen systematischen Überblick hierzu geben HOOSBEEK und BRYANT (1993). Danach sind mit zunehmender Aggregation der Betrachtungsebene (Molekül - Feld - Hydrotop / Hydrotopkollektion - Einzugsgebiet - Region) die Modelle in zweifacher Hinsicht zu vereinfachen:

1. Quantitative Ansätze werden zu qualitativen, mechanistische Modelle werden zu funktionellen. Die von SMITH (1996) systematisierte Anpassung der Modellkonzepte an die Problemstellung, Zielsetzung und an Datenverfügbarkeit lässt sich auf die hier angesprochenen Fallbeispiele erläutern: Die Notwendigkeit der Simulation von Interflow und Dränabfluss bedarf einer standortbezogenen Sensitivitätsanalyse (WHITMORE 1991), möglicherweise mit dem Ergebnis, dass es in 90 % der Fälle ausreichend ist, den Transport nur 1-D vertikal zu beschreiben. Ähnliches ließe sich für die komplexen und schlecht zu parametrisierenden Ansätze zu Mineralisation in den Modellen CANDY (FRANKO 1993) und DAISY (HANSEN ET AL. 1991) sagen.
2. Die ebenfalls von SMITH (1996) thematisierte Fehlervermehrung muss in den Zusammenhang mit der Modellkomplexität gestellt werden: Grundsätzlich gilt, je komplexer das Modell, desto größer wird der auf der Parameterschätzung basierende Fehler. Gleichzeitig mag der strukturbedingte Fehler zurückgehen. Jedes Modell wäre auf das kombinierte Fehlerminimum (Struktur, Parameter) zu überprüfen.

Beispiele für praktische Modellanwendungen

Modellkomplexität - Inputgenauigkeit

LEENHARDT ET AL. (1994) zeigen anhand der für 20 Jahre simulierten und gemessenen Evapotranspiration den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Genauigkeit der Simulation. Die mittlere Varianz nimmt während des Simulationszeitraumes zu und ist grundsätzlich höher bei geringer aufgelöster Datengrundlage zu Bodeneigenschaften. Letzteres bestätigt die Ergebnisse von

KERSEBAUM und WENKEL (1996). Ferner ist die Varianz für diesen Vergleich geringer, wenn ein Modell geringerer Komplexität verwendet wird.

Übertragbarkeit

Zur Validierung auch einfacherer Ansätze gibt es zahlreiche Hinweise, dass bereits ein Bestimmtheitsmaß von 60 % für den Vergleich gemessener und simulierter Werte sehr hoch ist (RICHTER und BEBLIK 1996). Die Voraussage des Pflanzenwachstums, z.B. von Winterroggen, kalibriert in einer relativ homogenen Region, kann für den Versuchsstandort auch in anderen Jahren präzise sein, an einem weiteren Standort das Wachstum aber zu 30 % überschätzen. Dieses liegt möglicherweise an dem Einfluss von mikroklimatischen Unterschieden (z.B. Grundwassernähe = Kälte).

Notwendigkeit regionaler Szenarien

An einem weiteren Beispiel zeigen RICHTER ET AL. (1997), dass, die in der Feldbetrachtung eindeutige Aussage zur ökologischen Wirkung (Nitrat austrag) von Rotations- und Dauerbrache in der auf das Einzugsgebiet bezogenen Betrachtung stark relativiert wird. In der langjährigen Simulation beider Stilllegungsvarianten war die mittlere Nitratkonzentration im Gebiet nahezu gleich.

Schlussfolgerungen

Eine Verwendung lokal validierter Ansätze bedarf einer Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Notwendigkeit von Modellkomponenten und Genauigkeit der Eingangsgrößen. Es gilt insgesamt: nur so mechanistisch wie nötig, so einfach wie möglich. Hier ist auch die Kostenfrage (WÖSTEN ET AL. 1987) zu bedenken, die aber auch bedeutet, dass man nur soviel bekommt wie man auch bezahlt!

Literatur

- [1] ADDISCOTT, T.M., 1995. Modelling the fate of crop nutrients in the environment: problems of scale and complexity. *Eur. J. Agron.*, 4:413-417.
- [2] HOOSBEEK, M.R., BRYANT, R.B., 1993. Towards the quantitative modeling of pedogenesis: a review. *Geoderma*, 55:183-210.
- [3] LEENHARDT, D., VOLTZ, M., BORNAND, M., 1994. Propagation of the error of spatial prediction of soil properties in simulating crop evapotranspiration. *European Journal of Soil Science*, 45:303-310.
- [4] RICHTER, G.M. 1997. Modeling plant growth, water and nutrient flux at the catchment and regional scale - upscaling necessities. Presentation at the KVL Copenhagen, unpublished manuscript.
- [5] RICHTER, G.M., BEBLIK, A.J., SCHMALSTIEG, K., RICHTER O., 1997. N-dynamics and nitrate leaching under rotational and permanent setaside - A case study at the field and catchment scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (revised submitted). Smith, J.U., 1996. *Models and Scale: Up- and Down-Scaling*. (In Press)
- [6] WHITMORE, A.P., 1991. A method for assessing the goodness of computer simulation of soil processes. *Journal of Soil Science*, 42:289-299.
- [7] WÖSTEN, J.H.M., BANNINK, M.H., BOUMA, J., 1987. Land evaluation at different scales: You pay for what you get! *Soil Survey and Land Evaluation*, 7:13-24.

Teilnehmerliste

1. Dr. J. Abraham Universität Halle-Wittenberg
2. Dr. A. Becker Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
3. Beblík TU Braunschweig
4. Dr. H. Behrendt Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin
5. Dr. D. Bornhöft Projektgruppe Elbe-Ökologie
6. Dr. P. Braun Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft
7. Dr. R. Dannowski ZALF e.V.
8. Dr. T. Engel TU München
9. Dr. I. Fitting Projektträger BEO
10. Dr. N. Fohrer Universität Gießen
11. Gayler GSF-Bodenkunde
12. Dr. B. Göbel Ökologiezentrum Kiel
13. Dr. S. Heldt Universität Halle-Wittenberg
14. Prof. Dr. B. Huwe Universität Bayreuth
15. Jasper Universität der Bundeswehr, München
16. Ketelsen Universität Kiel
17. Dr. V. Krysanova Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
18. Michaelsen Universität Kiel
19. Müller TU Braunschweig
20. Nebe Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin
21. Prof. Dr. Quast ZALF e.V.
22. Dr. E.W. Reiche Ökologiezentrum Kiel
23. Dr. F. Reinstorf Inst. f. Grundwasserwirtschaft, TU Dresden
24. Dr. G. Richter TU Braunschweig
25. Dr. W. Rolland BTU Cottbus
26. Dr. Schwarze TU Dresden
27. Dr. M. Sommer Universität Hohenheim
28. Frau Steinhart UFZ Leipzig-Halle GmbH
29. Dr. J. Steidel ZALF e.V.
30. Dr. H.-G. Starck Universität Kiel
31. Dr. W. Windhorst Ökologiezentrum Kiel
32. Dr. F. Wendland Forschungszentrum Jülich GmbH