

# Konzept zur skalenspezifischen Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes im Projekt FLUMAGIS

## A concept for the scale-specific simulation of water-bound material fluxes in the project FLUMAGIS

G. Schmidt<sup>2\*</sup>; O. Gretzschel<sup>1</sup>; M. Volk<sup>2</sup> & M. Uhl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachbereich Bauingenieurwesen, Labor für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Fachhochschule Münster, [gretzschel@fh-muenster.de](mailto:gretzschel@fh-muenster.de), [uhl@fh-muenster.de](mailto:uhl@fh-muenster.de)

<sup>2</sup>UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Angewandte Landschaftsökologie, Leipzig, [gschmidt@alok.ufz.de](mailto:gschmidt@alok.ufz.de), [volk@alok.ufz.de](mailto:volk@alok.ufz.de)

\* Corresponding author

### Zusammenfassung

Im Projekt FLUMAGIS wird ein modellunabhängiges Konzept zur skalenspezifischen Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes entwickelt. Entsprechend der planungsspezifischen Relevanz werden die Maßstabebenen der Mikro-, Meso- und Makroskala definiert. Sie bilden die Grundlage zur Auswahl der für die Beschreibung des landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushaltes einzusetzenden Modelle NASIM (Mikroskala), ArcEGMO (Mikro- bis Makroskala) sowie ABIMO und SWAT (Meso- bis Makroskala). Ziel der Verwendung verschiedener Modellsysteme ist die Überprüfung der Übertragbarkeit von Simulationsergebnissen in die nächst höheren bzw. niedrigeren Maßstabebenen. Des Weiteren soll das im Rahmen des Projektes zu entwickelnde Instrument für andere Modellsysteme offen gehalten werden. Der Skalenübergang und damit der Informationsaustausch zwischen den Modellen erfolgt skalenspezifisch unter Verwendung zustandsbeschreibender Indikatoren. In der ersten Phase wird ein relativer Modellvergleich durchgeführt, der anhand synthetischer Einzugsgebiete die Parametersensitivität und die Vergleichbarkeit der Zustandsindikatoren abklären soll.

### Abstract

In order to reach the environmental targets of the EC water framework directive on different scale levels, a concept for the scale specific simulation of water-bound fluxes in the project FLUMAGIS is presented. According to the interdisciplinary relevance scale levels have been defined which comprises the micro-, meso- and macroscale. Thus, for the description of the water balance and matter fluxes within the landscape the models NASIM (microscale), ArcEGMO (micro- to macroscale), ABIMO and SWAT (meso- to macroscale) have been selected. The usage of all these models aims to the examination of the transferability and applicability of the simulation results to the next higher or lower scale level, as well as holding the system open for other model systems. The scale transition and thus the information exchange between the models occurs scale-specific under the application of a compilation of existing parameters and indicators. During the

<sup>2</sup>UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Angewandte Landschaftsökologie, 04318 Leipzig, Permoserstr. 15, [gschmidt@alok.ufz.de](mailto:gschmidt@alok.ufz.de)

first working phase, the behaviour and sensitivity of the models on different frame conditions and factors is checked out and possibly adapted by using artificial areas. At first, the models NASIM and ABIMO have been tested. Despite the basically different model concepts and the temporal differentiation of the input parameters the results show an acceptable accordance.

## **1 Einleitung und Ziele**

Mit der Veröffentlichung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Rates und Parlamentes (im Folgenden EG-WRRL) wurde der Ordnungsrahmen für die Maßnahmen zur Europäischen Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik geschaffen. Die Richtlinie definiert die zu erreichenden Umweltziele für die Gewässer im Geltungsbereich der Europäischen Union. Als zentrales Instrument zur Umsetzung der Richtlinie dient der Bewirtschaftungsplan für Flussgebiete. Der Bewirtschaftungsplan soll eine Beschreibung des IST-Zustandes der Gewässer, die Definition der regionsspezifischen Umweltqualitätsziele sowie ein Maßnahmenprogramm zur Beseitigung der Defizite zwischen Zustand und Entwicklungsziel enthalten. Dabei wird die Einbeziehung von gesamten Gewässereinzugsgebieten in die Maßnahmenprogramme sowie die Beteiligung *"...aller interessierten Stellen an der Umsetzung dieser Richtlinie, insbesondere an der Aufstellung, Überprüfung und Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete"* gefordert (EG Wasserrahmenrichtlinie, 2000).

Das Anliegen des Projektes FLUMAGIS ([www.flumagis.de](http://www.flumagis.de)) im Forschungsschwerpunkt Flussgebietsmanagement des BMBF ist es, einen wesentlichen Beitrag zur stärkeren Umsetzung partizipatorischer Ansätze bei der Bewirtschaftungsplanung zu leisten. Im Zentrum des Vorhabens steht die Entwicklung von interdisziplinären Methoden und Werkzeugen zur Planung und Kontrolle von Maßnahmen für das Flusseinzugsgebietsmanagement. Diese sollen auf der Basis von Geoinformationssystemen entstehen.

Die Modellierung des Einflusses der Landnutzung auf den landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushalt stellt neben vegetationskundlich-floristischen Arbeiten, limnologischen Untersuchungen, Arbeiten zur benthischen Besiedlung sowie der Betrachtung soziologischer und ökonomischer Aspekte eine wesentliche Grundlage zur Erstellung einer entsprechenden Wissensbasis für dieses System dar.

Ein grundsätzliches Problem hinsichtlich der planerischen Umsetzung der Anforderungen der EG-WRRL stellt die mangelnde räumliche Differenzierung von Planungs- bzw. Maßnahmeebenen dar. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) gibt als einheitliche Basis den Maßstab von 1:500.000 für das Berichtswesen vor, den sogenannten Berichtsmaßstab (LAWA, 2002). Eine nachvollziehbare Planung von Gewässerschutzmaßnahmen erfordert vor allem im Hinblick auf eine regionalspezifische Differenzierung die Ausweisung von weiteren Maßstabsebenen. Dem wird mit der Planung einer hierarchisch genesteten Herangehensweise bei der Flussgebietsbetrachtung

Rechnung getragen. Bedingt durch Maßstabsproblematik und den konkreten Raum-/Ortsbezug von Bewirtschaftungsmaßnahmen war es notwendig ein Konzept zur skalenspezifischen Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes zu erarbeiten. Dies und die geplante weitere Vorgehensweise zur Wasser- und Stoffhaushaltsmodellierung innerhalb FLUMAGIS soll im Folgenden dargestellt werden.

## **2 Das Untersuchungsgebiet**

Als Untersuchungsgebiet für das Vorhaben fungiert das Einzugsgebiet der Oberen Ems, mit einer Fläche von 3740 km<sup>2</sup>. Das gesamte Einzugsgebiet der Ems unterliegt einer starken landwirtschaftlichen Nutzung und gehört aktuell zu den am intensivsten genutzten Agrarräumen Europas. Dies führt zu entsprechenden Umweltproblemen und Nutzungskonflikten. Innerhalb des Untersuchungsgebietes befinden sich die Teileinzugsgebiete von Eltingmühlenbach (160 km<sup>2</sup>), Ladberger Mühlenbach (350 km<sup>2</sup>) und der Münsterschen Aa (173 km<sup>2</sup>), an denen detailliertere Untersuchungen vorgenommen werden. Die Emsaue zwischen Telgte und Greven (13,5 km<sup>2</sup>) bildet ein weiteres Teilgebiet, auf das sich zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Untersuchungen konzentrieren.

## **3 Konzept zur Skalenspezifischen Modellierung**

### **3.1 Wahl der Maßstabsebenen**

Zunächst wurden entsprechend der hydrologischen und landschaftsökologischen Relevanz sowie der Größe der Untersuchungsgebiete Maßstabsebenen definiert, die die Mikro-, Meso- und Makroskale (Abbildung 1) umfassen. Dabei sollte vor allem die Relevanz und Abbildbarkeit von Maßnahmen zum Gewässerschutz und deren Effekte Berücksichtigung finden. Dieser Festlegung entsprechend erfolgte die Auswahl der für die Beschreibung des Wasser- und Stoffhaushaltes einzusetzenden Simulationsmodelle. Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz entsprechender Modellsysteme besteht darin, dass diese skalenspezifisch verwendbare Ergebnisse liefern. Die Übertragbarkeit von Aussagen in die nächst höhere bzw. nächst niedrigere Maßstabsebene und somit der Maßstabswechsel erfolgt durch Indikatoren. Dadurch wird eine Abhängigkeit des Konzepts von zum Einsatz kommenden Modellsystem vermieden.

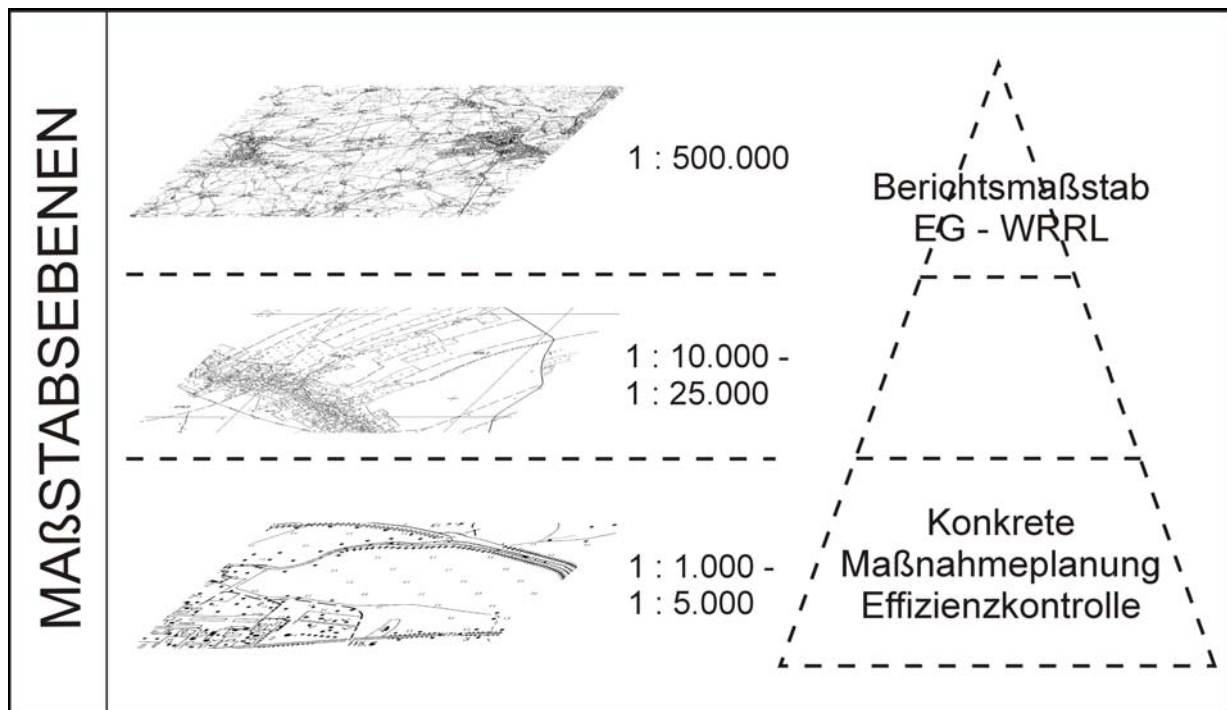


Abbildung 1: Maßstabsebenen zur Beschreibung des Wasser- und Stoffhaushaltes in FLUMAGIS

### 3.2 Konzept zur Parameter- und Indikatorenauswahl

Der Skalenübergang und damit der Informationsaustausch zwischen den Modellen soll über Parameter und Indikatoren unter Angabe von Schwankungsbreiten im Bereich von Gebietsauslässen (Vergleich von Aggregationsniveaus) erfolgen. Eine wesentliche Grundlage dafür ist die Entwicklung eines regional- und maßstabsspezifischen Indikatorensystems zur Beschreibung und Bewertung des Wasser- und Stoffhaushaltes im Untersuchungsgebiet. Hierzu werden existierende Indikatorensysteme auf ihre Eignung zur (ökologischen) Bewertung im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie überprüft (vgl. Abbildung 2).

Hinsichtlich der hydrologischen und hydraulischen Gewässereigenschaften liegt in der Literatur eine Vielzahl von Indikatoren und Parametern vor. Die sogenannten Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) stellen eine Methode zur Charakterisierung der Abflussdynamik in Gewässern dar

Eine abschließende Festlegung auf die das hydrologische Leitbild bestimmenden Parameter ist dort noch nicht vorgenommen worden. Diese Parameter werden eine wesentliche Basis hinsichtlich der hydrologischen Bewertung der Fließgewässer bilden. Weitere Indikatoren für Fließgewässer ergeben sich aus dem BWK-Merkblatt 3 (BWK, 2001). Sie spielen insbesondere in von städtischen Gebieten beeinflussten Fließgewässern eine Rolle. Gerade dort sind die Belastungen durch Einleitungen erheblich. Diese Gruppe von Parametern dient unter anderem dazu, Auswirkungen von Niederschlags- und Mischwassereinleitungen auf die Gewässer zu beurteilen. Darauf aufbauend wird zur Zeit ein detailliertes Nachweisverfahren entwickelt, in dem weitere Indikatoren zur hydrologischen und hydraulischen Belastung von Fließgewässern durch Misch- und Niederschlagswassereinleitungen berücksichtigt werden.

Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, erfolgt eine Prüfung der Parameter und Indikatoren durch Fachleute. Die aus existierenden Systemen und Konzepten zu extrahierenden Informationen müssen jedoch den Zielstellungen der EG-WRRL entsprechend, einer Vielzahl von Anforderungen genügen. Dies wird unter anderem durch die geforderte Partizipation, die Skalenspezifität sowie die Modellauswahl und -anwendung begründet. Nach der Passage dieses Filters steht ein Indikator- und Parameterpool zu Verfügung, für den die Modelle in Form von direkt verwertbaren Ergebnissen bzw. durch ein anschließendes Postprocessing den relevanten Input liefern. Fachleute und Laien dient dieser Pool zur Bewertung von Fließgewässern und Einzugsgebieten auf unterschiedlichen Maßstabsebenen.

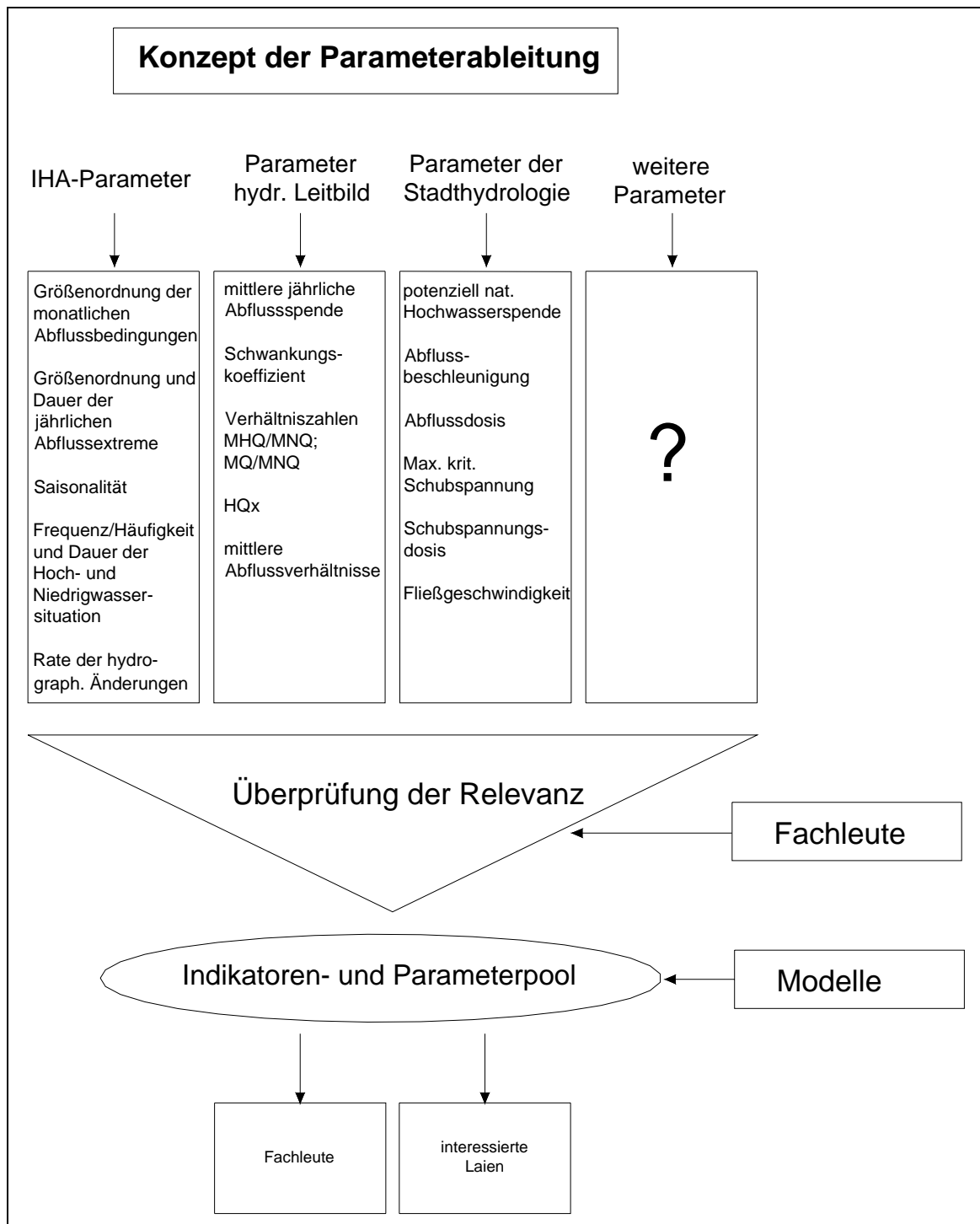


Abbildung 2: Schematische Vorgehensweise der Indikatorenauswahl zum Skalenübergang

Wichtig ist, dass neben den fachspezifischen Kenngrößen auch Indikatoren integriert sind, die der interessierten Öffentlichkeit die Differenz zwischen Zustand und Entwicklungsziel der Gewässer plausibel machen. Dies trägt wesentlich zur Nachvollziehbarkeit und Akzeptanz und damit letztendlich auch zur erfolgreichen Implementierung von

\*UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Angewandte Landschaftsökologie, 04318 Leipzig, Permoserstr. 15, [gschmidt@alok.ufz.de](mailto:gschmidt@alok.ufz.de)

Bewirtschaftungsmaßnahmen bei. Andererseits ist es von grundlegender Bedeutung für die Effizienzkontrolle und das Monitoring Indikatorensätze zu wählen, die eine skalenspezifische Aussagerelevanz besitzen. Hierzu werden die zusammengestellten Indikatoren in eine Matrix überführt.

Dies geschieht durch eine Überprüfung der Indikatoren auf ihre Eignung und Aussagefähigkeit für eine bestimmte Skale. Aus der so entstehenden Matrix ergibt sich die durchgängige Skalenrelevanz bzw. die Einsatzbeschränkung auf bestimmte Skalen. Das Prinzip soll an Hand der Parameter MQ und  $HQ_1$  erläutert werden. Der Parameter MQ ist (wie Indikator A in Tabelle 1) für den Einsatz in allen Skalen geeignet, da er aus der Bilanzgröße Jahresabfluss abgeleitet werden kann.  $HQ_1$  hingegen ist nur bei ausreichender zeitlicher Auflösung genau erfassbar und somit auf die Mikroskale begrenzt (vgl. Indikator C), wo er Aussagen zu kurzfristigen, z.B. in der Stadthydrologie relevanten, Abflussereignissen erlaubt. Tabelle 1 zeigt die schematische Vorgehensweise bei der skalenspezifischen Definition von Indikatoren.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Oberfläche der Skalenmatrix zur Identifikation der skalenspezifischen Aussagefähigkeit von Indikatoren

| Indikator                               | <b>Indikator A</b> | <b>Indikator B</b> | <b>Indikator C</b> |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| Skale                                   |                    |                    |                    |
| <b>MIKROSKALE</b><br>1 : 5.000 - 1.000  | +                  | -                  | +                  |
| <b>MESOSKALE</b><br>1 : 25.000 - 10.000 | +                  | +                  | -                  |
| <b>MAKROSKALE</b><br>1 : 500.000        | +                  | -                  | -                  |

### 3.3 Skalenübergang

Die mit der oben beschriebenen Vorgehensweise ermittelten Indikatoren bilden die Basis für den Skalenübergang zwischen den Modellen. Aus den Simulationsläufen der Modelle resultieren die Indikatoren bzw. Parameter unmittelbar oder lassen sich durch ein Postprocessing (Häufigkeits-, Extremwertstatistik, Zeitreihenanalysen) ermitteln. Damit soll eine Verknüpfung von "Top Down-" und "Bottom Up Ansatz" (Steinhardt/Volk 2000, Volk/Steinhardt 2001) gewährleistet werden, was auch zur Überprüfung der Qualität von Modellaussagen beitragen kann. Entsprechend der jeweiligen Problemstellung ist es somit möglich, die Beschreibung und Bewertung von Prozessen und Zuständen auf unterschiedlichen Ebenen durchzuführen und zueinander in Beziehung zu setzen. Hieraus sind dann vor allem Erkenntnisse zur Wirkung und Effizienz von konkreten Bewirtschaftungsmaßnahmen (Mikroskale) auf das Gesamtgebiet ableitbar. Des Weiteren ermöglichen makroskalige Untersuchungen eine räumliche Differenzierung und Ausweisung von Gebieten mit ökologischem Konfliktpotenzial. Auf diese Bereiche können dann die stärker differenzierten Modellanwendungen fokussiert werden. Der parameterbasierte Skalenübergang ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Dabei bildet der Berechnungsknoten die zentrale Schnittstelle für den Maßstabswechsel. Die

Berechnung der Parameter erfolgt auf der Basis der Modellergebnisse. In Abhängigkeit vom Parametertyp ist nun eine Beschreibung und Bewertung über alle Skalengrenzen hinweg (Typ A) oder aber nur über bestimmte Skalen möglich (Typ B und C). Nicht dargestellt sind Parameter, die nur auf einer Skale zum Einsatz kommen können. Zur Umsetzung dieser Strategie muss jedoch gewährleistet sein, dass die eingesetzten Modellsysteme untereinander hinsichtlich der durchgängigen und teildurchgängigen Parameter realitätsnahe Ergebnisse erzeugen. Dies ist vor allem hinsichtlich der Nutzung von quantitativen Indikatoren zur Beschreibung und Bewertung von Zuständen notwendig.

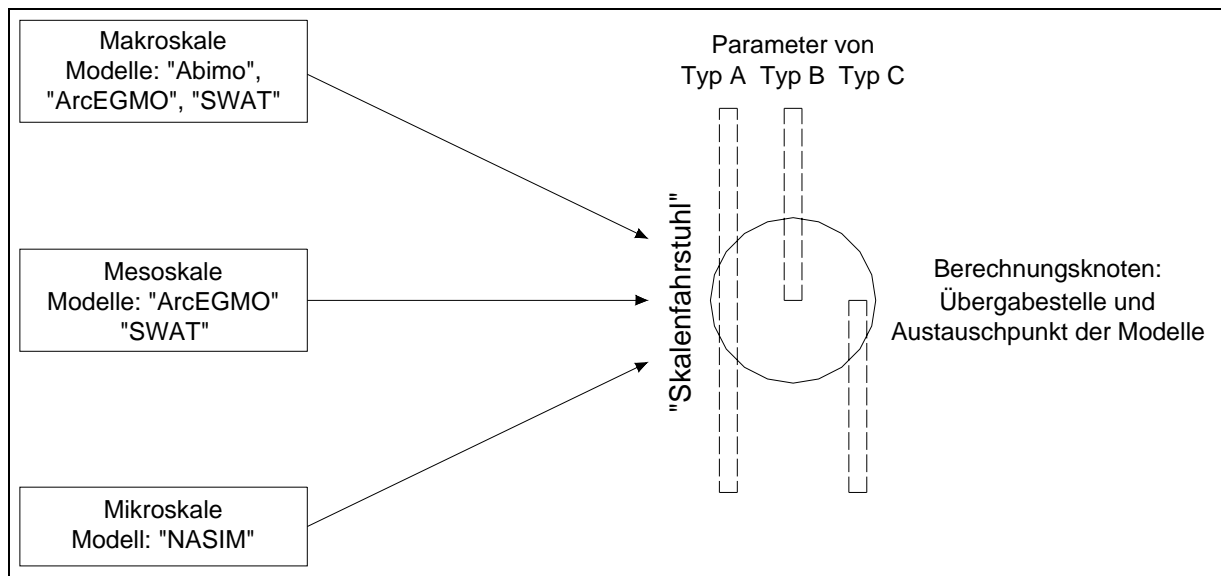


Abbildung 3: Schematische Darstellung des parameterbasierten Skalenübergangs in FLUMAGIS

Mit dieser Herangehensweise wird das Ziel verfolgt, das zu entwickelnde Werkzeug für die Implementierung unterschiedlicher Modellsysteme offen zu halten. Dies ist vor allem unter dem Gesichtspunkt einer Übertragung des Ansatzes auf andere Gebiete von grundsätzlicher Bedeutung.

## 4 Anwendung von Simulationsmodellen zur Beschreibung und Bewertung des Wasserhaushaltes

### 4.1 Modelle und Modellvergleich

Entsprechend den inhaltlichen und skalenspezifischen Anforderungen des Vorhabens ist der Einsatz von mehreren konzeptionellen und physikalisch basierten Simulationsmodellen geplant. Dies sind NASIM 3.10 (HYDROTEC 2001), ArcEGMO 2.3 (PFÜTZNER ET AL 2001), SWAT 2000 (ARNOLD ET AL 1993, 1998, NEITSCH ET AL 2001) und ABIMO 2.1 (GLUGLA, FÜRTIG 1997, RACHIMOV 1996). Die Auswahl wird vor allem durch die skalenspezifische Anwendbarkeit, Datenverfügbarkeit und die Erfahrungen der Bearbeiter bestimmt. Der spezifische Ansatz und der unterschiedlich strukturierte Aufbau



(vgl. Tabelle 2, zeitliche und räumliche Auflösung, Parametrisierung), der verwendeten Simulationsmodelle macht eine Überprüfung der Modelle hinsichtlich deren Vergleichbarkeit erforderlich.

In der ersten Phase des Projektes wird ein relativer Vergleich von Modellen zur Wasserhaushaltsberechnung in unterschiedlichen Skalen durchgeführt. Basis hierfür sind unterschiedlich differenzierte synthetische Einzugsgebiete. Diese Herangehensweise soll Erkenntnisse zur Vergleichbarkeit der Modelle liefern und somit die Modellauswahl bestätigen bzw. die Prüfung und Einbindung anderer Modellsysteme in FLUMAGIS motivieren.

Tabelle 2: Modelltypen und zeitliche Auflösung verwendeter Zeitreihen

| <b>Modell</b>       | <b>NASIM</b>                     | <b>ABIMO</b>  | <b>SWAT</b>                      | <b>ARC/EGMO</b>                  |
|---------------------|----------------------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Typ</b>          | physik. basiert mit konz. Anteil | konzeptionell | physik. basiert mit konz. Anteil | physik. basiert mit konz. Anteil |
| <b>Niederschlag</b> | 6 min                            | langj. Mittel | Tageswerte                       | Tageswerte                       |
| <b>Temperatur</b>   | Tageswerte                       | -             | Tageswerte                       | Tageswerte                       |
| <b>Verdunstung</b>  | Tageswerte                       | langj. Mittel | Tageswerte                       | Tageswerte                       |

In der ersten Phase des relativen Modellvergleichs zeichnen sich die synthetischen Einzugsgebiete durch wenige homogene Parameter aus (vgl. Tab. 3). Das Spektrum der Ausprägung jedes einzelnen Parameters orientiert sich dabei an der gegebenen Merkmalsausprägung im Untersuchungsraum (Einzugsgebiet der oberen Ems). Es wurden homogene Relief- und Bodenparameter (ungeschichtete Böden) gewählt, und die Landnutzung durch unterschiedliche Szenarien abgebildet. Die Klimaparameter gehen mit modellspezifisch differenzierten Zeitreihen ein (vgl. Tabelle 2). So soll die Wirkung von bestimmten Landnutzungsmustern auf den Wasserhaushalt sowie dessen modellspezifische Abbildbarkeit und skalenspezifische Relevanz bestimmt werden.

Tabelle 3: Aufbau der synthetischen Flächen für einen Modellvergleich

| <b>Inputzeitreihen</b>  | <b>Eigenschaften (variabel)</b>  | <b>Eigenschaften (fix)</b>  |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niederschlag</li> <li>• Verdunstung</li> <li>• Temperatur</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Landnutzung</li> <li>• Versiegelung</li> <li>• Böden</li> <li>• Relief</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• mittiges Gerinne</li> <li>• naturnahes Querprofil</li> <li>• Geometrie HRU: 2,5 x 4 km<sup>2</sup></li> <li>• A = 10 km<sup>2</sup></li> </ul> |

Außerdem ist es möglich, mit dieser Vorgehensweise die besonders sensitiv auf das Modellergebnis wirkenden Eingangsparameter zu evaluieren und so die Anforderungen an die räumliche und zeitliche Diskretisierung der Eingangsdatensätze zu präzisieren.

In den Phasen 2 und 3 der Sensitivitätsanalyse und des Modellabgleichs werden dann komplexere synthetische Modellgebiete konstruiert. Diese sind durch geschichtete Böden, differenzierte Landnutzung und wechselnde Reliefverhältnisse charakterisiert (Abbildung 5). Auf der Basis der zunehmend komplexen Gestaltung der synthetischen Einzugsgebiete erfolgt die Annäherung der Simulationsrechnungen an die Verwendung von Realdaten. Der Vergleich der Simulationsergebnisse für synthetische Gebiete und der daraus ableitbaren Parameter soll dazu dienen, die skalenspezifische Relevanz von Parametern zu identifizieren.

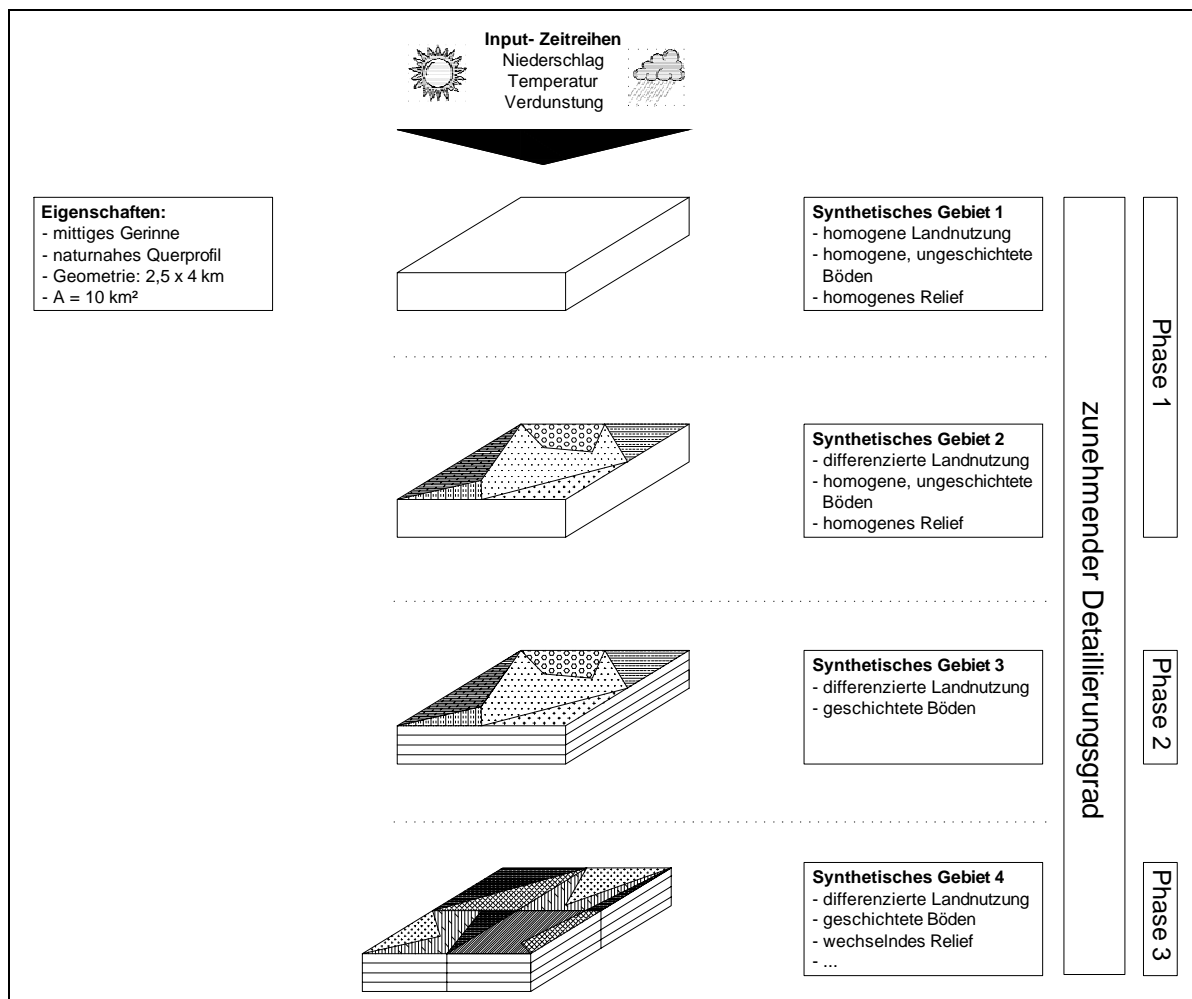


Abbildung 5: Vorgehensweise der weiteren Differenzierung der synthetischen Einzugsgebiete

## 4.2 Erste Ergebnisse des relativen Modellvergleichs

Im Verlauf der bisherigen Arbeiten wurden insgesamt 12 Szenarien (je sechs Nutzungsszenarien auf 2 unterschiedlichen Böden) mit den Modellsystemen NASIM 3.10 und ABIMO 2.1 berechnet. Die Ergebnisse sollen hier am Beispiel des Indikators mittlerer Durchfluss (MQ) kurz dargestellt und diskutiert werden. Das synthetische Einzugsgebiet ist 10 km<sup>2</sup> groß und weist eine einheitliche Hangneigung von 5° auf. Der

Boden ist homogen und ungeschichtet mit den Bodenarten schwach lehmiger Sand (S12) und stark toniger Schluff (Ut4). Hinsichtlich de

Differenzen weniger als 10%. Die Reaktion des Abflusses auf die zunehmende Versiegelung des Einzugsgebietes wird von beiden Modellen vergleichbar abgebildet.

## **5 Ausblick**

Im Rahmen der nächsten Phasen des relativen Modellvergleichs erfolgt die weitere Gestaltung und Differenzierung der synthetischen Einzugsgebiete. Hierbei ist zuerst die Einbeziehung von ArcEGMO 2.3 und SWAT 2001 vorgesehen. Mit dem vollständigen Modellvergleich (4 Modelle, alle Indikatoren, stärker differenzierte synthetische Einzugsgebiete) sollen die Grundlagen für plausible und sichere Prognosen zu den Effekten von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushalt gelegt werden.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Suche nach Möglichkeiten zur Anbindung der Modellsysteme an die zu entwickelnde Arbeitsoberfläche von FLUMAGIS. Hier steht vor allem die Frage nach der notwendigen Komplexität bzw. möglichen Einfachheit der Gestaltung, mit dem Ziel dem in der EG-WRRL geforderten partizipatorischen Ansatz gerecht zu werden, im Vordergrund. Zentrale Aufgaben sind dabei die Festlegung der Qualität von Modellanbindungen und die Entwicklung skalenspezifischer Visualisierungstechniken.

Weiterhin muss überprüft werden, inwiefern der Ansatz zur Ableitung von Parametern und Indikatoren der Zustandsbewertung und Beschreibung auf andere Gebiete übertragbar ist. Hierzu wird die Zusammenarbeit mit anderen Projekten im Rahmen des Schwerpunktprogramms Flussgebietsmanagement angestrebt.

## **6 Literatur**

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. & J.R. Williams (1998): Large area hydrologic modeling and assessment, Part I: Model development. *J. Am. Water Resources Assoc.* 34, 1, 73-89
- Arnold, J.G., Allen P.M & G. Bernhardt (1993): A comprehensive surface groundwater flow model, In: *Journal of Hydrology*, 142, 47 - 68
- BWK (2001): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter der Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. In: *BWK Merkblatt. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V., Düsseldorf*, pp. 40
- EG Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000, pp. 72
- Ehlert T. & A. van den Boom. (1999): Leitbilder für kleine bis mittelgroße Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. In *Merkblätter 17, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen*, pp. 87
- Glugla, G. & G. Fürtig (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Berlin, pp. 37

- Hydrotec (2001): Niederschlags-Abfluss-Modell NASIM - Programmdokumentation. Hydrotec, Aachen, pp. 554
- LAWA (2002): LAWA-Arbeitshilfe zur Umsetzung der WRRL. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - Unterausschüsse des EU-Kontaktausschusses Vorarbeiten zur fachlichen und rechtlichen Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie, pp. 124
- Leibundgut C., Eisele M., Hildebrand A. and Steinbrich A. (2001): Einzugsgebietsbezogene Bewertung der Abfluss- und Stoffdynamik als Grundlage eines Bewertungsverfahrens "Hydrologische Güte" zum operationellen Einsatz im nachhaltigen Flussgebietsmanagement. Institut der Hydrologie der Universität Freiburg, Freiburg, pp. 151
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. & J.R. Williams (2001): SWAT- Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation Version 2000, Temple, 458
- Pfützner, B, Becker, A, Lahmer, W & B. Klöcking (2001): ArcEGMO, Version 2.3 - GIS - gestützte hydrologische Modellierung, Berlin, pp. 250
- Rachimow, C. (1996): ABIMO2.1 - Abflußbildungsmodell - Algorithmus zum BAGROV-GLUGLA-Verfahren für die Berechnung langjähriger Mittelwerte des Wasserhaushalts (Version 2.1), Berlin, pp. 37
- Richter B. D., Baumgartner J. V., Powell J. & D. P. Braun (1996): A method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. In: Conservation Biology, pp. 1163-1174.
- Steinhardt, U. & M. Volk (2000): Von der Makropore zum Flußeinzugsgebiet – Hierarchische Ansätze zum Verständnis des landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushaltes. – Petermann's Geographische Mitteilungen 2/2000: 80-91.
- Volk, M. & U. Steinhardt (2001): Landscape balance. – In: Krönert, R., U. Steinhardt & M. Volk (Eds. 2001): Landscape balance and landscape assessment. – Springer: 163-202
- Zepp, H. (2002): Entwicklung und Regionalisierung Hydrologischer Leitbilder für NRW. Projektkurzbezeichnung „IV B 8-2500“, Ruhr-Universität Bochum