



Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.

**BMBF-Forschungsprojekt GLOWA**  
**"Integrierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf  
die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA-Elbe)"**

Förderkennzeichen: 07GWK03

**Teilprojekt 3**  
**“Das Unstrutgebiet**  
**als Beispiel für einen durch intensive Landwirtschaft geprägten funktionalen**  
**Landschaftstyp im Mittelgebirgsvorland”**

**SCHLUSSBERICHT**

**Einzelvorhaben: 3.3**  
**„Modellierung der Auswirkungen von Landnutzungs- und**  
**Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt des**  
**Einzugsgebietes der Elbe (Teil Grundwassermodellierung)“**

Berichtsautor: Dr. rer. nat. Thomas Sommer

Unter Mitwirkung von: Dipl.-Ing. C. Schmidt  
Dipl.-Ing. M. Müller M.Sc.

Dresden, den 31. Oktober 2003

## **I – Kurzdarstellung**

### **1. Aufgabenstellung**

Innerhalb des Verbundprojektes GLOWA-Elbe, TP 3 – Unstrut, standen beim DGFZ die folgend genannten Aufgaben. Sie orientierten sich an der innerhalb des Teilprojektes vorgenommenen Raumgliederung mit den Untersuchungsräumen:

Raum I	Unstrut-EZG bis Pegel Oldisleben
Raum II	Unstrut-TEZG bis Pegel Nägelstedt
Raum III	Nebeneinzugsgebiet der Unstrut am Nordmaar

Im Ergebnis eines TP-orientierten Workshops wurden die Untersuchungen im Raum III zugunsten der gemeinsam mit dem Projektpartner TLL vorzunehmenden Stofffluss-Untersuchungen im Feldmaßstab bei Altengottern zurückgestellt.

Die Arbeiten des DGFZ teilten sich dabei inhaltlich in die folgenden 5 Teilaufgaben:

- Untersuchungen zur regionalen Grundwasserdynamik und zum Stofftransport (Raum II und III)
- Aufbau des hydrogeologischen Modells (Raum II)
- Parametrisierung und Validierung des Grundwassermodells (Raum II)
- Modellkopplung mit Gebietsmodell (Raum II)
- Simulationen zur Impaktanalyse (Raum II)

Kern der Arbeiten sollte dabei die Kopplung eines GW-Modells auf der Grundlage des Softwaresystems MODFLOW (MCDONALD & HARBAUGH, 1988) mit dem NA-Modell ArcEGMO<sup>®</sup> (BECKER *et al.* 2002, PFÜTZNER *et al.* 2002) darstellen.

### **2. Voraussetzungen, unter denen der FE-Auftrag durchgeführt wurde**

Das Vorhaben wurde als Einzelvorhaben 3.2 innerhalb des Teilprojektes 3 – Unstrut – im Projektverbund „GLOWA Elbe“ durchgeführt. Im Teilprojekt 3, das das Einzugsgebiet der Unstrut bis zum Pegel Oldisleben betrachten sollte, standen vor allem Fragen der Auswirkungen des Globalen Wandels innerhalb eines durch intensive Landwirtschaft geprägten funktionalen Landschaftstyps im Mittelgebirgsvorland im Mittelpunkt. Weitere beteiligte Partner des Teilprojektes 3 waren:

- Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) mit Modellierung des einzugsgebietsbezogenen Wasser- und Stoffhaushaltens sowie Teilprojektleitung und –koordination
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) mit Stofftransportuntersuchungen im Feldmaßstab und agrarökonomischen Berechnungen und Entwicklungen von Landnutzungszenarien
- Büro für Angewandte Hydrologie (BAH) mit programmtechnischen Entwicklungsarbeiten am Niederschlagsabflussmodell und zur Kopplung des NA-Modells mit dem Grundwassermodell

Die Unstrut ist das zentrale Fließgewässer des Thüringer Beckens. Nach einer Lauflänge von 189 km mündet sie bei Naumburg links in die Saale, einem der Hauptnebenflüsse der Elbe. Das gesamte Einzugsgebiet der Unstrut beträgt 6.313 km<sup>2</sup> und ist topographisch und klimatologisch stark differenziert. Die Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet der Unstrut zeigt deutlich die Luv- und Lee-Wirkung umliegender Höhenzüge, so dass Jahresniederschläge zwischen 450 und 600 mm im Zentralteil und bis zu 1.000 mm in den Randbereichen auftreten können (mittlerer Jahresniederschlag in Thüringen: 693 mm). So gehört die Unstrut-Helme-Niederung mit Gebietsniederschlägen von 450 mm zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands (Gebietsdurchschnitt alte Bundesländer: 873 mm).

Innerhalb des Untersuchungsgebietes des GLOWA-Verbundprojektes "ELBE" liegt das Einzugsgebiet der Unstrut im Übergangsbereich vom Mittelgebirge (Thüringer Wald) und Mittelgebirgsvorlandbereich zum Thüringer Becken, wobei die beiden letztgenannten Bereiche durch intensive Landwirtschaft als Haupterwerbszweig der Region mit allen daraus resultierenden Problemen für die Umwelt, speziell die Wasserqualität und die Wirksamkeit der Retentionspotentiale der Auen, gekennzeichnet sind. Es entspricht damit dem funktionalen Landschaftstyp "Raum mit intensiver Land- und Forstwirtschaft" im Mittelgebirgsvorland mit seiner typischen Wasserhaushalts- und Stoffaustragsproblematik. Auf Grund seiner Struktur und des Vorhandenseins verschiedener Daten aus früheren und laufenden Projekten, stellte es ein geeignetes Beispielsgebiet zur Durchführung genesteter Untersuchungen in Flussteilgebieten unterschiedlicher Größe dar, in denen Untersuchungen zur Übertragung der Forschungsergebnisse auf größere Raumeinheiten möglich sein sollten.

Das Einzugsgebiet der Unstrut ist bedingt durch seine Gebietseigenschaften eine hochgradig verwundbare Region bezüglich ihrer sozio-ökonomischen und naturräumlich-ökologischen Situation. Die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen im landwirtschaftlichen Sektor und von Klimaveränderungen, bedingt durch den Globalen Wandel, auf den Wasser- und Stoffhaushalt sowie auf die gesamte wirtschaftliche Situation der Region sollten untersucht werden. Dazu wurde ein integrativer und interdisziplinärer Forschungsansatz angewendet, der auf einem ausgewogenen Verhältnis von Wirtschaftsanalysen, Modellsimulationen, Messungen und Wirtschaftsprognosen beruht.

Das Unstrutgebiet sollte somit innerhalb des Projektverbundes GLOWA-ELBE als Beispielsgebiet für den Übergangsbereich von Mittelgebirge und Mittelgebirgsvorlandbereich mit intensiver Landwirtschaft als Haupterwerbszweig der Region mit allen daraus resultierenden Problemen für die Umwelt dienen.

### **3. Planung und Ablauf des Auftrages**

Planung und Ablauf der Projektarbeiten wurden im Verlaufe der Bearbeitung immer wieder neu abgeglichen. Modifizierungen mussten hinsichtlich der Zeitaufwendungen für die Kopplungsarbeiten und den Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells vorgenommen werden. Beide Bearbeitungsschritte haben wesentlich mehr Zeit in Anspruch genommen als ursprünglich geplant. Ein aktualisierter Projekt-Ablaufplan ist in Abb. 1 beigefügt. Die Arbeiten lassen sich im Wesentlichen wie folgt dargestellt den Projektjahren zuordnen.

## 1. Jahr

- Durchführung von Datenrecherchen und Datenaufbereitung zum Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells
- Stakeholdergespräche zur Wasserversorgungssituation im Untersuchungsgebiet (Trinkwasserzweckverbände, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) und Staatliche Umweltämter (SUÄ)).
- Einrichtung des Datenmessnetzes im TEZG Nägelstedt

## 2. Jahr

- Durchführung von Feldmessungen im TEZG Nägelstedt zu Wasserhaushalt und Nährstoffbelastungen im Grundwasser
- Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells
- Regionalisierung von Parametern für die Grundwassermodellierung
- Erarbeitung der methodischen Grundlagen für die Modellkopplung an einem Testgebiet im Quellbereich der oberen Unstrut

## 3. Jahr

- Kalibrierung des Grundwassermodells,
- Umsetzung der Modellkopplung zwischen Grundwassermodell und NA-Modell am TEZG Pegel Nägelstedt und Simulationsrechnungen
- Auswertung der Messergebnisse und Aufbereitung für die Bewertung,
- Erstellung des Ergebnisberichtes

Auf Grund personeller Veränderungen im PIK wurden darüber hinaus kostenneutral ab 1. Juli 2002 durch das DGFZ notwendige Koordinierungs- und Leitungsaufgaben des Teilprojektes mit wahrgenommen.

## 4. **Wissenschaftlicher und technischer Stand vor dem Vorhaben**

Für die Beschreibung einzelner Teilprozesse des Landschaftswasserhaushalts eines Flusseinzugsgebietes existieren bislang leistungsfähige Modellfamilien, die den Fokus bei der Abbildung der Realität auf bestimmte Teilprozesse setzen, während andere nur vereinfacht abgebildet oder als Randbedingung berücksichtigt werden. Diese lassen sich nachfolgenden Modellfamilien zuordnen:

- Niederschlag-Abfluss-Modellen (NA-Modell) für die Simulation der Abflussbildungs- und Abflusskonzentrationsprozesse, die in verschiedenen räumlichen Skalen auf der Basis hydrologisch gleichwertiger Hydrotope arbeiten und durch die Nutzung des GIS eine breite Anwendung gefunden haben. Die Abbildung lateraler Fließwege im Grundwasserbereich erfolgt in den NA-Modellen stark vereinfacht durch konzeptionelle Modellansätze (Speicheransätze);
- Grundwassermodellen (GW-Modell), die mit Hilfe von Finite-Differenzen bzw. Finite-Elemente-Lösungen die Grundwasserströmung hinreichend genau beschreiben. Sowohl die Grundwasserneubildung als auch die Wasserstände in den Gewässern gehen als langzeitliche Mittelwerte oder zeitlich stark aggregiert in diese Modellen als Randbedingungen ein;

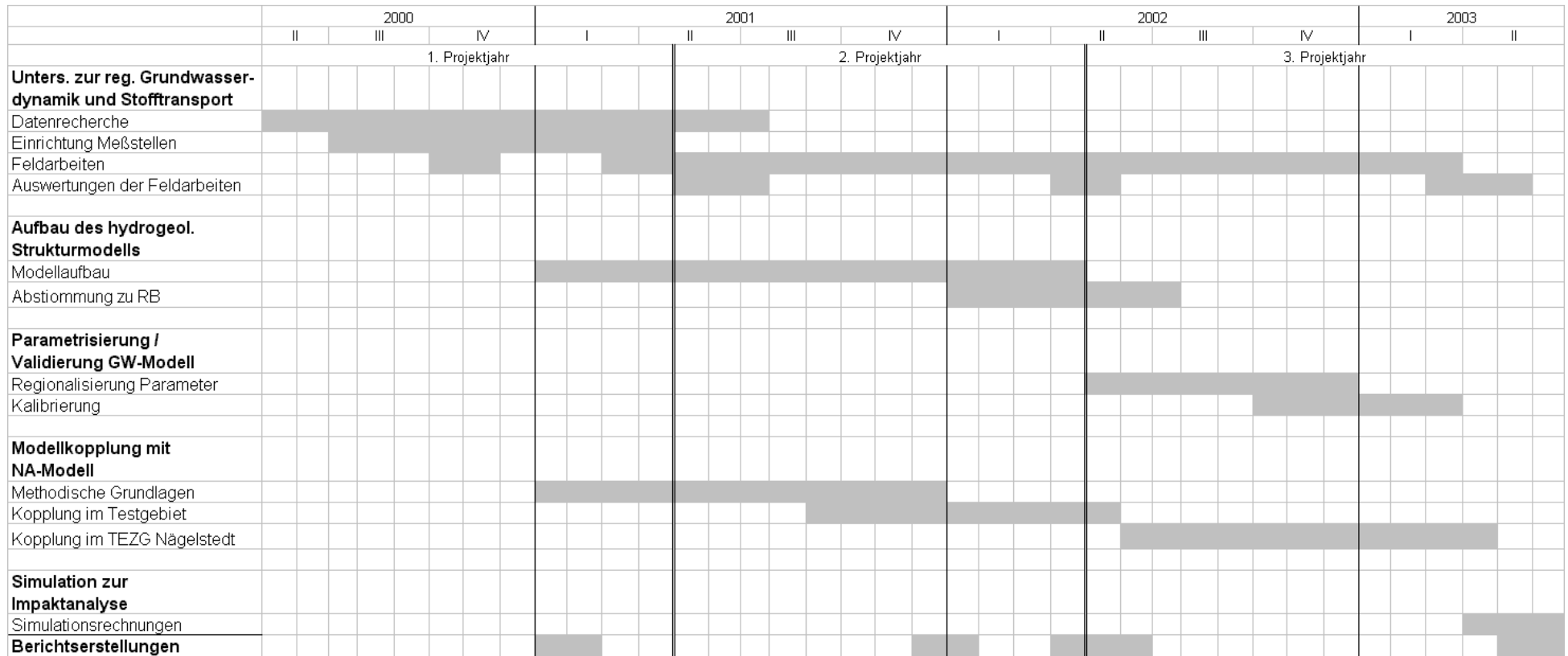


Abbildung 1: Aktualisierter Projekt-Ablaufplan

- Hydrologischen oder hydraulischen Flusslaufmodellen für die Simulation der Konzentrations- und Retentionsprozesse in den Gewässern.

Zur Zeit verfügbare gekoppelte Modelle entstanden zumeist zur Lösung einer speziellen Aufgabenstellung bzw. wurden für ein abgegrenztes Gebiet entwickelt (REFSGAARD *et al.*, 1995, DIERSCH, 1998). Die dabei entwickelten kommerziellen Programmsysteme erlauben nur bedingt eine Erweiterung bzw. den Austausch einzelner Programmelemente.

Das Ziel der Arbeiten innerhalb des Forschungsprojektes war die Entwicklung eines prognosefähigen gekoppelten Flussgebietsmodells, das für die Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen von Flusseinzugsgebieten mit einer Größe von bis 5.000 km<sup>2</sup> handhabbar wird und die Prozesse der oberirdischen und unterirdischen Abflussbildung hinreichend genau abbildet. Mit einer Kopplungssoftware auf der Basis des public domain sollte ein robustes Managementinstrument geschaffen werden, das einen Austausch von Teilprozessmodellen erlaubt, in unterschiedlichen Gebieten einsetzbar ist und die Verknüpfung verschiedene Modelle in einer offenen Programmstruktur erlaubt.

Bezogen auf das Untersuchungsgebiet der Unstrut mit Modellaufbau und Stoffstromuntersuchungen konnte von den Ergebnissen des Forschungsprojektes Revitalisierung der Unstrut-Aue (SOMMER *et al.* 2000) und vorangegangener Großraum-Erkundungen (TREFFURT 1982) ausgegangen werden.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die enge Zusammenarbeit zwischen den Kooperationspartnern innerhalb des Teilprojektes sowie mit Fach- und Vollzugsbehörden im Untersuchungsgebiet war wesentliche Voraussetzung für die Bearbeitung des Projektes. Die Teilnehmer des Teilprojektes wurden bis zu einem personellen Wechsel beim Teilprojektpartner PIK zentral koordiniert. Neben den unter 2. aufgeführten Partnern des Teilprojektes 3 wurde im Rahmen des Forschungsprojektes mit folgenden Stellen zusammen gearbeitet, die im Folgenden mit den entsprechenden Schwerpunkten der inhaltlichen Zusammenarbeit aufgelistet sind:

- Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie; Ref. Archiv, Ref. Hydrogeologie; Referat Wasser:  
Daten zur Struktur- und Hydrogeologie, Erkundungsberichte, hydrogeologische Parameter
- Staatliches Umweltfachamt Sondershausen, Ref. Oberflächenwasser, Referat Grundwasser:  
Messstellen und Grundwasserganglinien; Wasserfassungen und dazugehörige Mengenangaben
- Staatliches Umweltfachamt Erfurt, Ref. Oberflächenwasser, Referat Grundwasser:  
Messstellen und Grundwasserganglinien; Wasserfassungen und dazugehörige Mengenangaben
- Trinkwasserzweckverbände im Unstrut-Hainich-Kreis und im Lkrs. Eichsfeld:  
Wasserfassungen und dazugehörige Mengenangaben (kommunale Wasserfassungen)
- Untere Wasserbehörde Lkrs. Unstrut-Hainich-Kreis:  
Wasserfassungen und dazugehörige Mengenangaben (industrielle Wasserfassungen)

## Literatur:

- BECKER, A., BEHRENDT, H. (1999). Auswirkung der Landnutzung auf den Wasser- und Stoffhaushalt der Elbe und ihres Einzugsgebietes. BMBF Projekt, Zwischenbericht 1999.
- BECKER, A., KLÖCKING, B., LAHMER, W., PFÜTZNER, B., (2001): The Hydrological Modelling System ARC/EGMO. In: Mathematical Models of Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P., Frevert, D. and Meyer, S.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado (in press).
- BEHRENDT, H., HUBER, P., KORNMILCH, M., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G. UND UEBE, R. (1999): Nährstoff-bilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. UBA-Berichte, 288 S.
- BREITSCHUH, G.; ECKERT, H.; ROTH, D. (1994): EULANU; Effiziente und umweltverträgliche Landnutzung. Hrsg. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft; Schriftenreihe Heft 10/1994
- CHRISTOPHER, T.W. (2002): Python Programming Patterns. Prentice Hall PTR Upper Saddle River 2002.
- DIERSCH, H-J.G. (1998): Gekoppelte numerische Modelle: Möglichkeiten und Grenzen. In: igi Niedermeyer Institute (Hrsg.): Hydrogeologische und numerische Modelle in der Wasserwirtschaft - Tagungsband 2 zum Westheimer Forum. Westheim, 1998, S. 7/1 - 14.
- HOLZHEY, G. (1976): Hydrogeologische Dokumentation der Bohrung Hy Großengottern 15/76 (Betonwerk). (unveröff. Archiv d. TLG, Nr. 2170/1976) Erfurt 1976
- HUCK (1973): Hydrogeologische Stellungnahme zur Trinkwassererschließung für die LPG 7. Oktober und das Kinderheim 'Florian Geyer' in Seebach (Krs. Mühlhausen) (unver-öff., Archiv d. TLG, Nr. 2267/1973) Erfurt 1973.
- JENTER, H.L. & SIGNELL, R.P. (1999): NetCDF: A Public Domain-Software Solution to Data-Access Problems for Numerical Modelers. U.S. Geological Survey, 1999. Forschungsbericht.
- KNAUF, D., (2000). Anwenderbeschreibung HYDRA-WSP - Wasserspiegellagenberechnung für gegliederte Flussprofile unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen; Programm-Service-Wasserwirtschaft Knauf.
- PFÜTZNER, B., W. LAHMER UND B. KLÖCKING, (2002): ArcEGMO-homepage. <http://www.arcegmo.de>
- REFSGAARD, J.C., B. STORM AND A. REFSGAARD (1995). Recent developments of the Système Hydrologique Européen (SHE) towards the MIKE SHE. IAHS Publication No 231, 427-434.
- REISINGER, E. (1995): Die Revitalisierung der Unstrut – Modellprojekt des Freistaates Thüringen. Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 32. Jahrgang, Heft 4, S. 85-91

- SCHLEGELMILCH, V. (1982): Hydrogeologische Kartierung der DDR. Blatt Bad Langensalza - 2662. Berlin 1982.
- SCHLEGELMILCH, V. (1983): Hydrogeologisches Gutachten zur Ersatzwasserversorgung für die Gemeinde Heroldshausen. (unveröff., Archiv der TLG, Nr. 2441/1983) Erfurt 1983.
- SCHLEGELMILCH, V. (1985): Hydrogeologische Abschlußdokumentation der Wassererschließungsbohrung Hy Großengottern 17/84. (unveröff., Archiv der TLG, Nr. 2139/1985) Erfurt 1985.
- SCHLEGELMILCH, V. (1987): Hydrogeologische Kurzdokumentation der Wassererschließungsbohrung Hy Großengottern 1/86. (unveröff., Archiv der TLG, Nr. 2188/1987) Erfurt 1987.
- SCHLEGELMILCH, V. (1988): Hydrogeologische Abschlußdokumentation des Leistungs-PV in Altbrunnen der Malzfabrik Thamsbrück. (unveröff., Archiv der TLG, Nr. 2174/1988) Erfurt 1988.
- SCHLEGELMILCH, V. (1989): Hydrogeologische Abschlußdokumentation der Wassererschließungsbohrung Hy Schönstedt 1/88. (unveröff., Archiv der TLG, Nr. 2149/1989) Erfurt 1989.
- SCHÖNIGER, M. (1990): Beitrag zur Abflußbildung und Grundwasserneubildung im paläozoischen Festgestein (Lange Bramke, Ostharz). Technische Universität Braunschweig, Inst. f. Geographie u. Geoökologie, Dissertation 1990.
- SCHREIBER, D. (1989): Hydrogeologische Studie - Vorerkundung Bad Langensalza. (unver-öff. Ergebnisbericht - Archiv Thür. Landesanst. f. Geol. - Weimar) Nordhausen 1989.
- SCHREIBER, D. (1989): Hydrogeologische Studie - Vorerkundung Bad Langensalza. (unver-öff. Ergebnisbericht - Archiv Thür. Landesanst. f. Geol. - Weimar) Nordhausen 1989.
- SOMMER, T. & LUCKNER, L. (2000): Analyse und Modellierung von Grundwasserdynamik und Beschaffenheit. Abschlußbericht des TP 1 - BMBF-Forschungsprojekt „Revitalisierung Unstrutaue“. Dresden 2000.
- SOMMER, TH.; HESSE, G.; LUCKNER, L.; BÜCHEL, G. (2000): Grundwasserströmung und Stoffwandlung in Flußauen am Beispiel der Unstrut. In: Friese, K., Witter, B., Miehlich, G. u. Rode, M. (Hrsg.): Stoffhaushalt in Auenökosystemen, Springer-Verlag, S. 139-148, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- TEICHMÜLLER, U. (1991): Ergebnisbericht der Vorerkundung Sömmerda. (unveröff., Archiv TLG) Nordhausen 1991.
- TREFFURT, D. (1982): Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsnachweis Dingelstedt. (unveröff., Archiv d. TLG) Nordhausen 1982.



## II. Eingehende Darstellung

### 1. Erzielte Ergebnisse

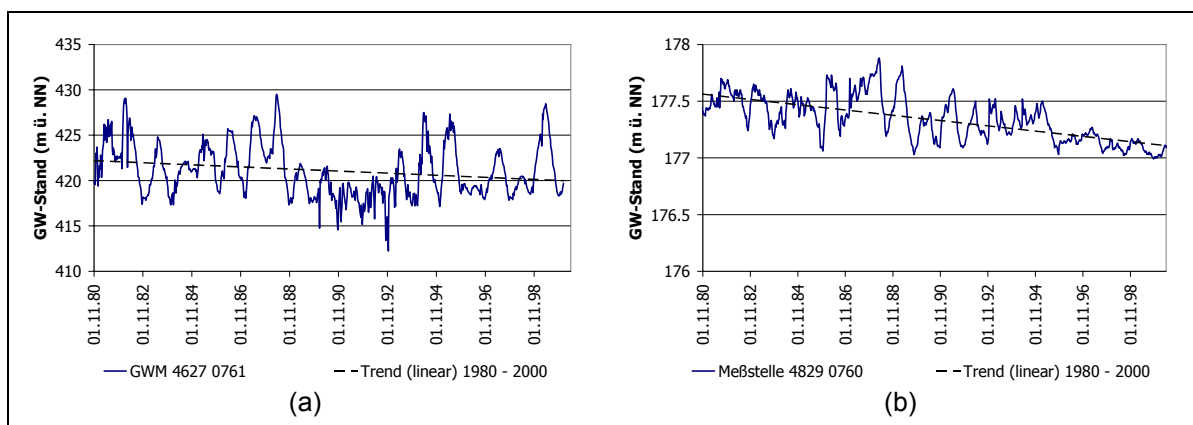
Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist dem Bericht zum Teilprojekt 3 „Unstrut“ zu entnehmen. In dem Schlussbericht zum Vorhaben soll hier deshalb nur eine kurze Zusammenstellung der wesentlichen im DGFZ erzielten Ergebnisse erfolgen.

- (a) Untersuchungen zur regionalen Grundwasserdynamik und zum Stofftransport  
 (Raum II und III)

Die Untersuchungen zur Grundwasserdynamik erfolgte durch Auswertung der Grundwassermessstellen regional (Strömungsverhältnisse) und nach langen Zeitreihen (Trendanalyse), ergänzt durch eigene Messungen.

Die zentralen Bereiche des Thüringer Beckens wirken als Entlastungsgebiete für den regionalen GW-Strom. Durch den aufwärts gerichteten Druck-Gradienten wirken sich die Grundwasserstände der liegenden Schichten direkt auf die Grundwasserstände in der Aue aus, wie die Detailmessungen im Altengotternschen Ried gezeigt haben. In Flurabstandsbereichen unterhalb von 140 cm wirken jedoch die Einflüsse auf Grund der Nutzung in der Aue.

Die Trendanalyse einzelner Grundwassermessstellen ergab, dass sowohl in den Speisungsgebieten des unterirdischen Einzugsgebietes als auch in dem Entlastungsgebiet in den letzten 20 Jahren die Grundwasserstände gesunken sind (s. Abbildung 2). Hydrogeologisch bedingt sind ist der Betrag der Abnahme in den Entlastungsgebieten geringer als in den Speisungsgebieten.



**Abbildung 2: Langjähriger Trend der Grundwasserstände in Speisungsgebiet (a) und Entlastungsgebiet (b) (Beachte Teilung der Ordinate!)**

Die Untersuchungen zur Hydrochemie wurden sowohl im Raum II als auch im Raum III durchgeführt. Hier kam es vor allem auf die räumliche der wesentlichen Nährstoffparameter im Einzugsgebiet und vertikale Verteilung in den Entlastungsgebieten an. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass in den Speisungsgebieten die agrarisch genutzten, flurferneren Standorte aktuelle Nitratgehalte von unter 25 mg/L aufweisen. Die flurfernen Standorte mit waldreichem Einzugsgebiet liegen bei unter 10 mg/L, während die

flurnäheren, agrarisch genutzten Standorte in der unmittelbaren Umgebung der Unstrutau Nitrat über 50 mg/L, mit Spitzen bis 200 mg/L aufweisen. In den Auensedimenten zeigt sich ein Nitratbaupotenzial, das die Nitratgehalte bis unter 10 mg/L sinken lässt. Die Untersuchungen zur Stoffumwandlung in den Auensedimenten wurden gemeinsam mit der TLL durchgeführt und werden im gemeinsamen Abschlussbericht näher beschrieben.

### (b) Aufbau des hydrogeologischen Modells (Raum II)

Neben den Arbeiten zur Kopplung des Grundwassermodells mit dem NA-Modell war der Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells für das Einzugsgebiet bis Pegel Nängelstedt ein Schwerpunkt der Arbeiten des Vorhabens 3.3. Auf der Grundlage von 514 hydrogeologischen und 355 sonstigen geologischen Erkundungs-Bohrungen wurde für die Grundwassermodellierung ein hydrogeologisches Strukturmodell aufgebaut. Entsprechend des geologischen Aufbaus des Untersuchungsgebietes wurde das Modell vertikal in insgesamt 6 Layer eingeteilt (s. Abbildung 3).

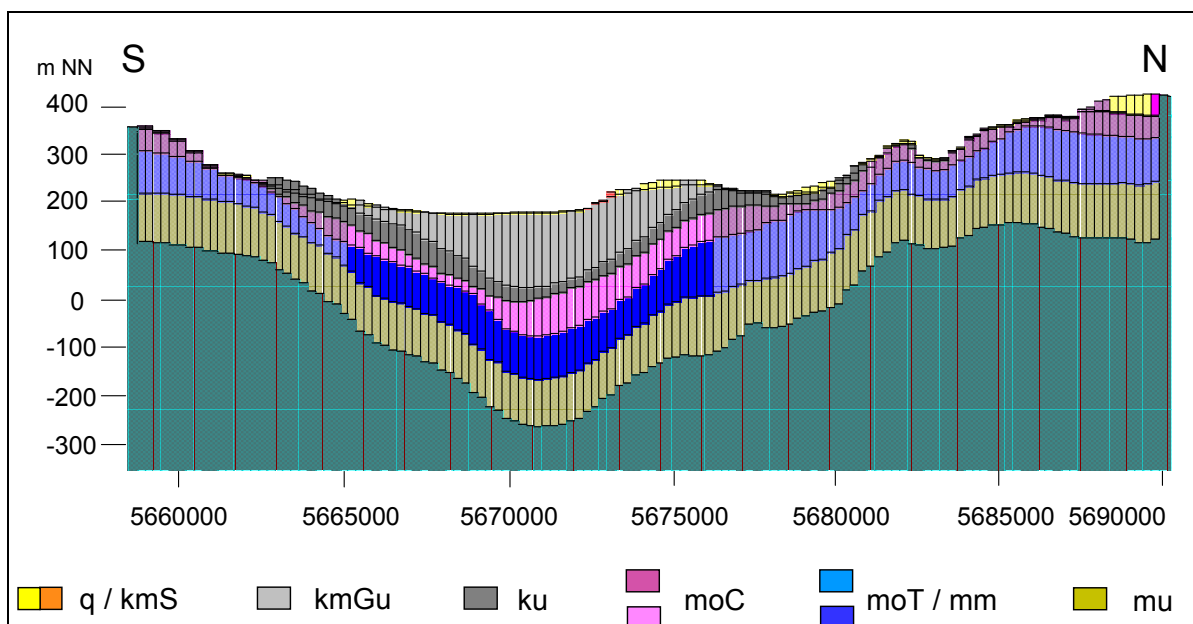


Abbildung 3: Modellschnitt mit Permeabilitätsbarriere (15-fach überhöht)

Die Anwendung des Programm MODFLOW für die Grundwasserströmungsmodellierung im Gebiet der Unstrut erfolgt mit einer horizontale Diskretisierung in Form eines quadratischen Gitternetzes der Gitterweite von 200 x 200 m. Die vertikale Diskretisierung richtet sich nach den lithostratigraphischen Einheiten und deren hydrogeologischen Parametern. Je nach Durchströmverhältnis und Gewässeranschluss wird zwischen aktiven, inaktiven und trockenen Zellen sowie zwischen aktiven und inaktiven Gewässerzellen unterschieden.

### (c) Parametrisierung und Validierung des Grundwassermodells (Raum II)

Für die hydraulischen Parameter der einzelnen Schichten wurden Daten aus dem Datenspeicher FIS Hydrogeologie der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie übernommen. Für das gesamte Untersuchungsgebiet standen ca. 145 Datensätze zur Verfügung. Dabei handelt es sich überwiegend um T-Werte. Zusätzlich zu diesen Datensätzen konnten durch Auswertung alter Pumpversuche nochmals ca. 25 T-Werte nach den o.g. Beziehungen errechnet werden. In einem Teil der Datensätze der TLUG waren nur E-Werte angegeben. Da zu den Datensätzen, bei denen der E-Wert angegeben wurde, die Original-Pumpversuchsdaten nicht vorlagen, wurden aus den E-Werten nach LANGUTH & VOIGT (1980) zusätzlich die T-Werte ermittelt.

Die Validierung des GW-Modells erfolgte zunächst für einen stationären Zustand im Jahr 1990. Die Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der stationären Kalibrierung.

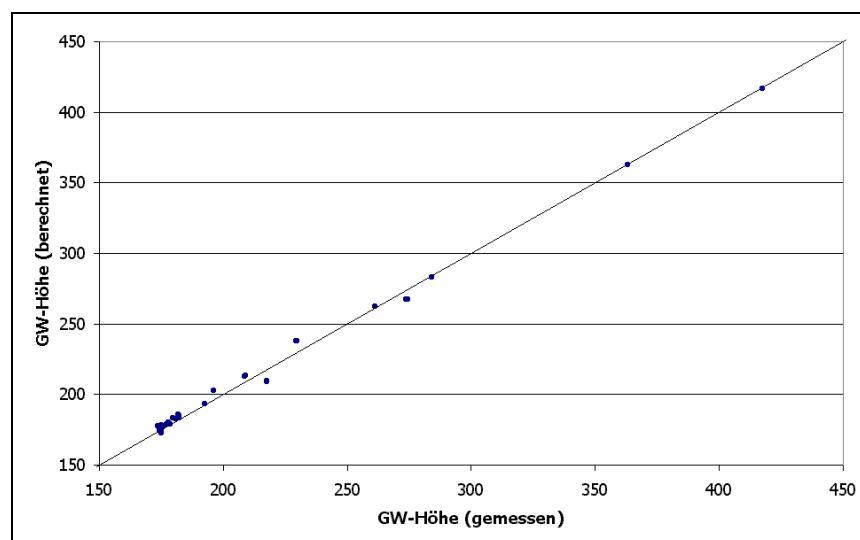


Abbildung 4: Ergebnis der stationären Kalibrierung GW-Modell Raum II

### (d) Modellkopplung mit Gebietsmodell (Raum II)

Die rechentechnische Realisierung erfolgte nicht über die Entwicklung eines geschlossenen Systemmodells, sondern über die Verbindung von existierenden Modellen innerhalb eines offenen Systems. Mittels einer Shell in der objektorientierten script-Sprache Python werden die einzelnen Komponenten des Systems (GW-Modell, NA-Modell und Transferzonenmodell) angesteuert und notwendige Datenkonvertierungen zwischen den Modulen vorgenommen. Somit können je nach Einsatz und Entwicklungsstand einzelnen Systemkomponenten ausgetauscht bzw. das System um neue Komponenten erweitert werden. Die technische Umsetzung erfolgte objektorientiert mit dem Programmsystem PYTHON (VAN ROSSUM, 1999; CHRISTOPHER, 2002) unter Anwendung von netCDF-Dateistrukturen (JENTER & SIGNELL, 1999). Das Schema der Kopplung ist in Abbildung 5 dargestellt.

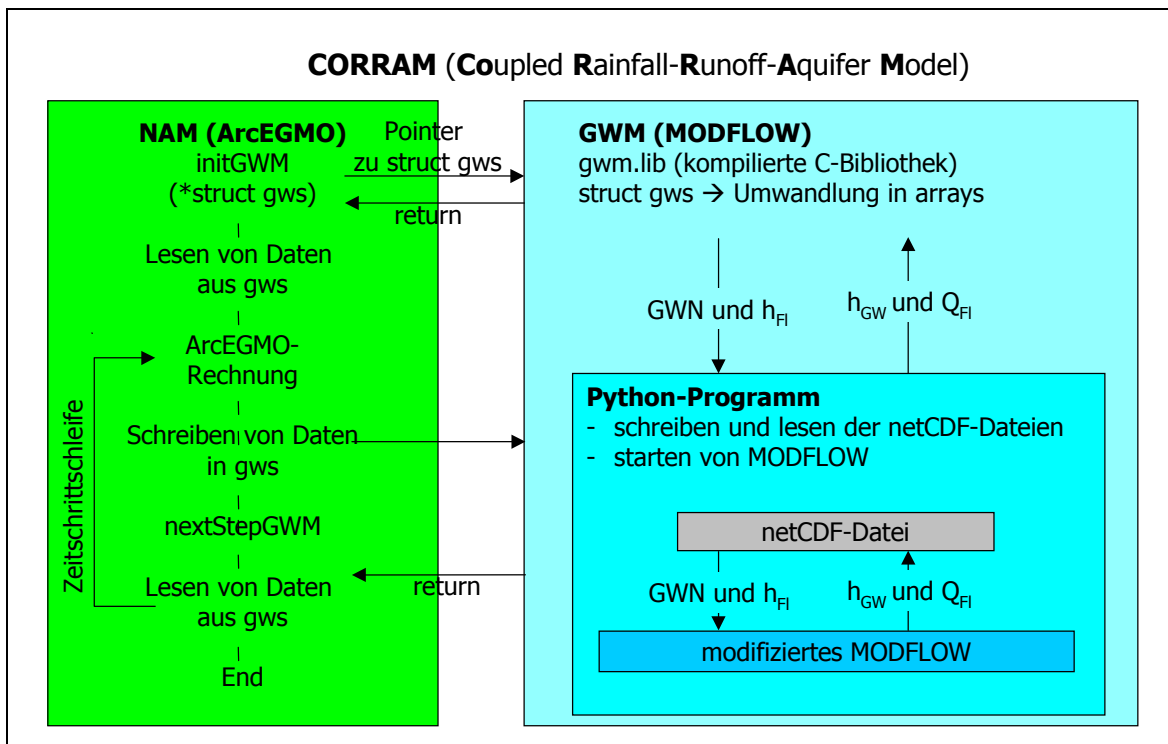


Abbildung 5: Schema der Modellkopplung GW-Modell – NA-Modell

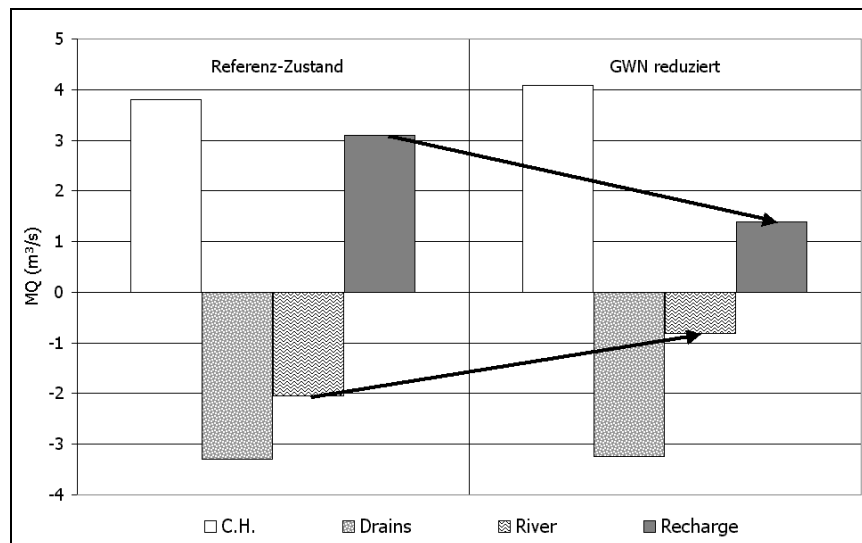
(e) Simulationen zur Impaktanalyse (Raum II)

Für im Teilprojekt Unstrut vorgesehenen Impact-Analysen wurden Modelle für die verschiedenen Untersuchungsräume erstellt, deren Bestandteil die Kopplung des NA-Modells mit dem Grundwassermodell für den Raum bis Pegel Nängelstedt ist. Der Modellaufbau und die Basisparametrisierung des NA-Modells, das mit dem GW-Modell gekoppelt wurde, lag federführend beim PIK und wurde durch das BAH unterstützt.

Die durchgeführten Analysen fokussierten vor allem auf:

- die Gewässerretention, die zeigte, wie sich Ausuferungshäufigkeiten unter geänderten klimatischen Randbedingungen verändern können und
- die Entwicklung der Grundwasserneubildung, die als Randbedingungen für den Grundwasserhaushalt wirkt sowie der Abflussverhältnisse im Gebiet und den daraus resultierenden Wahrscheinlichkeiten einer nicht mehr gesicherten Bedarfsdeckung bei Brauchwassertalsperren unter geänderten klimatischen Randbedingungen.

Die Grundwassermodellierung ergab mit der für den kritischen Zeitraum 2018 – 2022 vom NA-Modell errechneten Reduzierung der Grundwasserneubildung auf 44% eine mittlere Abnahme des grundwasserbürtigen Zuflusses zum Gewässer von 38,9% (s. Abbildung 6). Weiterhin ist damit zu rechnen, dass die mittleren Grundwasserstände in den Speisungsgebieten um ca. 4,2 m zurückgehen, während in den Entlastungsgebieten mit einem Absinken der mittleren Grundwasserstände um ca. 25 cm zu rechnen ist.



**Abbildung 6: Bilanzgrößen der Grundwassermodellierung im Vergleich zwischen Referenz-Szenario und kritischem Zeitraum 2018 und 2022**

Die derzeitige technischen Kapazität zu kommunalen Grundwassernutzung im gesamten Einzugsgebiet Nägelstädt beträgt ca. 0,5 m<sup>3</sup>/s, wovon jedoch gegenwärtig nur 36% genutzt werden, da die Region überwiegend an die Fernwasserversorgung angeschlossen ist. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass trotz einer Reduzierung des unterirdischen Abflusses um ca. 40 % die Bereitstellungssicherheit somit auch in kritischen Perioden noch gegeben ist, so dass die Bereitstellungsdefizite, die durch verringerten Oberflächenwasserabfluss ausgewiesen werden (s. Bericht BAH), durch Grundwasserförderung ausgeglichen werden können.

## 2. Bekanntgewordene Ergebnisse an anderen Stellen

Während der Bearbeitung wurde an keiner anderen Stelle versucht, den Grundwasserhaushalt für das untersuchten Gebiet für verschiedene Entwicklungsszenarien (Klima, Landnutzung) zu ermitteln.

Die Programmphilosophie der offenen, objektorientierten Kopplung ist, bezogen auf die Kopplung eines Grundwassermodells mit einem NA-Modell von keiner anderen Stelle bekannt.

Die Komplexität der Aufgabe stellte erhöhte Ansprüche an die softwaremäßige Umsetzung der Arbeiten. Die Verwendung von objektorientierter Funktionen (CHRISTOPHER, 2002) hat bei der Organisation der Softwareentwicklung einen wichtigen Beitrag geleistet.

Erkenntnisse dazu aus dem internationalen Bereich konnten durch den Besuch von Workshops zur Modellierung und des Projektmitarbeiters in den USA durch Herrn Dipl.-Ing. M. Müller unmittelbar in das Projekt einfließen.

### 3. Voraussichtliche Nutzung, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Verwertung der Ergebnisse des Einzelvorhabens 3.3 sind wie folgt zu beschreiben:

- Das Grundwassermodell kann für weitere Wasserhaushaltsbetrachtungen im Einzugsgebiet der Unstrut genutzt werden. Vor allem die Behandlung von Fragen der Landesentwicklung vor dem Hintergrund des Klimawandels kann mit dem Modell unterstützt werden.
- Das entwickelte Programm zur Kopplung eines NA-Modells mit einem Grundwassermodell ist gebietsunabhängig, da es sich um eine offene Programmstruktur handelt; es bietet sich insbesondere zur Abschätzung der Auswirkungen des globalen Wandels auch Feuchtgebiete an.
- Die Programmkopplung ist bereits bei weiteren Forschungsvorhaben in der Anwendung und für die Umsetzung mit anderen Modellierungsprogrammen in der Planung.

### 3. Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Bisher wurden Teile der Forschungsergebnisse in folgenden Publikationen veröffentlicht:

#### Schriften:

**SOMMER, TH. & HESSE, G.** (2002): Hydrogeologie einer anthropogen überprägten Flußlandschaft – das Unstruttal zwischen Quelle und Sömmerda (Thüringer Becken). In: Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. **84**, S. 241-256, Stuttgart 2002.

**KLÖCKING, B., FEIGE, H., KNOBLAUCH, S., SOMMER, TH., PFÜTZNER, B. & LEINHOS, S.** (2002): Impact of Global Change on an Agricultural Region in the Mountain Forelands of Thuringia. In: GSF München (Hrsg.): GLOWA - German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle, Status Report 2002, S. 22-24.

**B. KLÖCKING, B. PFÜTZNER, TH. SOMMER, C. SCHMIDT** (2002): Kopplung des Einzugsgebietsmodells ArcEGMO mit einem Grundwassermodell auf der Basis von MODFLOW. In: Wittenberg, H., Schöniger, M.: "Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern" Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Heft 1, 2002, ISBN: 3 - 936514 - 22 - 4, S. 77-82.

**SOMMER, TH., B. KLÖCKING & B. PFÜTZNER** (2002): Aufbau eines Grundwassermodells im Einzugsgebiet der Unstrut und Kopplung an ein hydrologisches Flussgebietsmodell. In: „Grundwasserressourcen im Spannungsfeld zwischen Erschließung und Naturschutz.“ Fachtagung der FH-DGG, 9. – 11. Mai 2002, - Tagungsband, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, H. 19 S. 25, Hannover 2002, ISBN 3-932537-19-X

#### Poster:

**KLÖCKING, B., H. FEIGE, S. KNOBLAUCH, TH. SOMMER, B. PFÜTZNER & S. LEINHOS** (2002): Impact of Global Change on an agricultural region in the mountain if Thuringia. GLOWA-Statuskonferenz 3. – 5. Mai 2002, München. Download <Poster\_TP3\_Muenchen.pdf>: <http://elise.bafg.de/servlet/is/3517>

**H. FEIGE, B. KLÖCKING, S. KNOBLAUCH, U. MAIER, M. MÜLLER, B. PFÜTZNER, TH. SOMMER** (2002): Die Wirkung des Klimawandels auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Unstrut-Einzugsgebiet. 9. Dresdner Grundwasserforschungstage 6. – 9. Oktober, Dresden Download <GLOWA-Unstrut-Poster.pdf>: <http://elise.bafg.de/servlet/is/3517>

Weiterhin ist eine Publikation (Broschüre) unter Herausgabe des TMLNU zu den Ergebnissen des GLOWA-Projektes im Unstrutgebiet geplant.

### **III – Erfolgskontrollbericht**

#### **1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse und gesammelte Erfahrungen**

Das wesentliche technische Ergebnis der Forschungsarbeiten besteht in der Entwicklung des Kopplungs-Moduls CORRAM (Coupled Rainfall-Runoff-Aquifer Model), das in seiner offenen, objektorientierten Programmstruktur die Verknüpfung verschiedener Wasserhaushalts- und Grundwassermodelle geeignet ist. Es besteht die Möglichkeit, weitere Module (Transferzone und Stofftransport) dem Programm hinzuzufügen.

Die wesentlichen inhaltlichen Ergebnisse zum Wasser- und Stoffhaushalt im Unstrut-EZG sind in Abschnitt II.2 beschrieben.

#### **2. Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen**

Das Kopplungs-Modul CORRAM wird als public domain geführt; eine Schutzrechtsanmeldung ist dafür nicht erfolgt.

#### **3. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende**

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten beziehen sich vor allem auf Planungsvorhaben des Freistaates Thüringen. Im Ergebnis der Forschungsarbeiten sind dabei folgende Sachverhalte relevant:

- den mittel- und langfristigen Landes-Planungen des Freistaates kann ein wissenschaftlich begründeter Rahmen im Hinblick auf den zu erwartenden Wasserhaushalt gegeben werden,
- Grundwasser- und Flußgebietsmodelle können als Planungshilfe für den Freistaat genutzt werden.

#### **4. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende**

Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende werden in folgenden Punkten gesehen:

- Die Darstellung der lateralen Abflüsse aus dem Einzugsgebiet und damit den Speisungsgebieten erfolgt durch Kopplung des Grundwassermodells mit dem NA-Modell und geht damit über den konzeptionellen Ansatz eines NA-Modells hinaus,
- die objektorientierte Programmierung der Kopplung gewährleistet eine Erweiterung um weitere Module (Transferzone und Stofftransport), die für die unterirdischen Abflussprozesse relevant sind.

#### **5. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Für die Projektergebnisse wird vor allem eine wissenschaftliche Anschlussfähigkeit gesehen. Diese besteht in der weiteren Anwendung und dem Ausbau des Kopplungs-

Programms zu einem vielfältig einsetzbaren Werkzeug der Verknüpfung verschiedener Modellfamilien mittels objektorientierter Programmierung.

Dies erfolgt bereits in dem BMBF-Forschungsprojekt „Flusseinzugsgebietsmanagement Unstrut“ und ist für weitere Vorhaben der Modellkopplung (z.B. in der Hochwasserforschung) vorgesehen.

Eine Fortsetzung der Arbeiten im Unstrut-Einzugsgebiet im Rahmen von GLOWA II ist nicht vorgesehen.

## **6. Arbeiten, die zu keiner Lösung führten**

Auf Grund des hohen Aufwandes für die Erstellung des Gebietsmodells und die methodischen Arbeiten zu Modellkopplung, der zu Projektbeginn so nicht vorausgesehen wurde, wurden die Schwerpunkte der Arbeiten zugunsten dieser wesentlichen Projektinhalte konzentriert. Dies betrifft

- die Ergebnisse der Beschaffenheitsmessungen, für die die Modellierung einen Basisansatz zur modellmäßige Umsetzung bieten. Es besteht hierzu der Bedarf, die aus den Modellierungen gewonnenen Erkenntnisse auf die Beschaffenheit modellierungsseitig zu übertragen.
- die Modellierung, mit der die Eckdaten zur Entscheidungsfindung in Thüringen geschaffen worden sind. Es besteht im Weiteren der Bedarf, mit weitergehenden Modellansätzen einzelne und konkrete Entscheidungsprozesse zu untersetzen.

## **7. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Präsentationen finden innerhalb der geplanten Auswertungen des Gesamtprojektes GLOWA I statt.

## **8. Einhaltung des Kosten- und Zeitplanes**

Die Einhaltung des Kostenplanes wurde durch einen einfachen Verwendungsnachweis gegenüber dem Auftraggeber nachgewiesen.

Der Zeitplan wurde, abgesehen von projektinternen zeitlichen Verschiebungen und einer mit dem Auftraggeber abgestimmten kostenneutralen Projektverlängerung um 2 Monate, eingehalten.