

Mittlere Abflusssspende pro km², simuliert für den Zeitraum 1995-1999

	[m³/sec*km²]	[m³/Tag*km²]	[l/sec*km²]
	0 - 0,0025	0 - 216	0 - 2,5
	>0,0025 - 0,005	> 216 - 432	>2,5 - 5,0
	> 0,005 - 0,0075	> 432 - 648	>5,0 - 7,5
	>0,0075 - 0,01	> 648 - 864	>7,5 - 10
	> 0,01 - 0,015	> 864 - 1.296	> 10 - 15
	> 0,015 - 0,02	>1.296 - 1.728	> 15 - 20
	> 0,02 - 0,025	>1.728 - 2.160	> 20 - 25
	> 0,025 - 0,03	>2.160 - 2.592	> 25 - 30
	> 0,03 - 0,04	>2.592 - 3.456	> 30 - 40
	> 0,04 - 0,05	>3.456 - 4.320	> 40 - 50
	> 0,05 - 0,06	>4.320 - 5.184	> 50 - 60
	> 0,06 - 0,07	>5.184 - 6.048	> 60 - 70

*Nebenkarte:
Güte der Gerinneabflussmodellierung mit DAFLOW für das Jahr 1995.

Als Eingangsdaten werden die an den jeweiligen Oberliegerpegeln gemessenen Abflussdaten verwendet und zu dem zugehörigen Unterliegerpegel mittels DAFLOW geroutet (siehe Abbildung 2.3.1.1).

Als Gütekriterium wird der Nash-Sutcliffe-Koeffizient ermittelt, der Werte zwischen minus Unendlich (keine Anpassung) und Eins (exakte Anpassung) annehmen kann. DAFLOW erzielt hier überwiegend gute bis sehr gute Ergebnisse.

GLOBAL CHANGE ATLAS
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

2.3.1 Teilprojekt Oberflächengewässer
Abflusssspende und Gewässerbeschaffenheit

Rastergröße: 1 x 1 km²
Maßstab: 1: 1.700.000



Datengrundlage:
DANUBIA-Digitales Geländemodell und daraus abgeleitetes Gewässernetz
DANUBIA-Rivernetzwerk
Nebenkarte - gemessene Abflussdaten:
Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU, Augsburg, 1995
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft BMLFUW, Wien, 1995
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW, Karlsruhe, 1995

Autoren:
W. Willems, G. Kasper, P. Klotz, K. Stricker, A. Zimmermann
Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik, IAWG, Ottobrunn

Grafik:
V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung, Ludwig-Maximilians-Universität München

2.3.1 Teilprojekt Oberflächengewässer - Abflusspende und Gewässerbeschaffenheit

1. Einleitung

Globale Änderungen des Klimas und der Landnutzung beeinflussen Oberflächengewässer in qualitativer und quantitativer Hinsicht. Änderungen der Gewässerbeschaffenheit oder der Anzahl, Dauer und Intensität von Hoch- und Niedrigwasserphasen haben Auswirkungen auf die Nutz- und Verfügbarkeit von Wasser. Dies betrifft den industriellen, öffentlichen und landwirtschaftlichen Bedarf, die Schifffahrt, sowie die mit dem Gewässer in Verbindung stehenden Ökosysteme. Die Hochwasserkatastrophen der letzten Jahre zeigen, dass planerische und bautechnische Anpassungen an die Abflussverhältnisse notwendig sind, um kostenintensive Notfall- und Wiederaufbaumaßnahmen zu minimieren. Aber auch bei weniger extremen Situationen, beispielsweise bei längerfristigen Änderungen der Abflussmengen oder bei jahreszeitlichen Verschiebungen des Abflussverhaltens sind Auswirkungen auf Mensch und Natur zu erwarten.

Im Teilprojekt Oberflächengewässer werden Abfluss- und Wasserbeschaffenheitsparameter für das Gewässernetz im Donau-Einzugsgebiet bis zum Pegel Achleiten mittels der *Rivernetwork*-Komponente berechnet und anderen Modellen, z.B. *Economy*, *Tourist* und *Biological* zur Verfügung gestellt. Die Eingangsdaten für *Rivernetwork* stammen im Wesentlichen von den Komponenten *Landsurface* (Oberflächen- und Zwischenabfluss), *Groundwater* (In- und Exfiltration in Gewässer) und *Household* (Abwasser aus privaten Haushalten).

Nach dem GLOWA-Danube-Konzept wird die laterale Wasserbewegung sämtlicher Proxel von der *Rivernetwork*-Komponente modelliert. Kopfgebiete und Gewässer mit kleinen Einzugsgebieten werden dabei mit einfacheren Modellen abgebildet als die größeren Gewässer.

2. Datenaufbereitung

Die zentrale räumliche Bezugsbasis für sämtliche Modellierungen des Teilprojektes Oberflächengewässer ist das aus dem Höhenmodell (siehe Kapitel 1.1) abgeleitete Gewässernetz. Trotz einer für Gewässernetz-Extraktionen groben Höhenmodell-Auflösung (Kantenlänge 1 km) besteht eine gute Übereinstimmung zwischen dem realen und dem aus dem Höhenmodell extrahierten Gewässernetz. Entscheidend für die Anwendbarkeit der weiter unten erläuterten Modelle ist deren realistische Parametrisierung. Dabei darf die Parametrisierungsstrategie nur auf Daten aufsetzen, die flächendeckend für das gesamte hier betrachtete Einzugsgebiet verfügbar sind. Wesentliche Eingangsdaten sind dabei neben dem Höhenmodell und daraus abgeleiteter Datensätze wie z.B. der Fließrichtung auch Landnutzungsinformationen (siehe Kapitel 1.3) sowie regionalisierte Kennwerte pegelbezogener Abflusszeitreihen (siehe Kapitel 1.11).

3. Modellbeschreibung

3.1 Modellierung der Wasserflüsse

a) Mittlere und große Gewässer: Zur Modellierung der Wasserflüsse in den mittleren und großen Gewässern (Gesamtlänge ca. 2000 km) wird das vom US Geological Survey entwickelte Modell DAFLOW (Diffusion Analogy Flow) verwendet und auf die hier erforderliche, rasterbezogene Abarbeitung umgestellt.

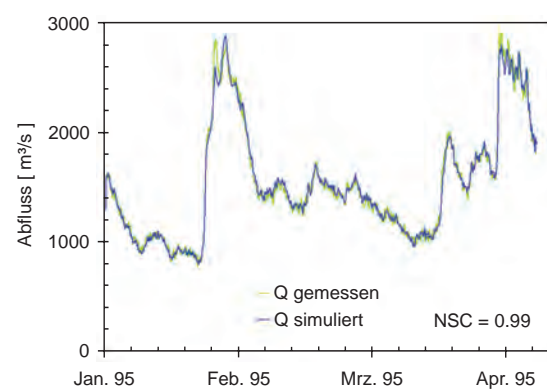


Abbildung 2.3.1.1: Gemessener und modellierter Abfluss am Pegel Achleiten, Routing von 8 Oberliegerpegeln

Diesem liegt als Modellkonzept die sogenannte Diffusionsanalogie zugrunde (Jobson, 1989; Dyck, 1980). Als Ausgabegrößen stellt dieses Modell neben dem Abfluss auch hydraulische Parameter wie Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit zur Verfügung, die für die nachgeschaltete

Wasserbeschaffenheitsmodellierung erforderlich sind. Die Parametrisierung erfolgt auf der Grundlage einer hier neu entwickelten (Willems, 2004), auf der Regimetheorie (Leopold, 1994) aufsetzenden Strategie. Die Parametrisierung führt zu überwiegend gut bis sehr gut nachgebildeten Abflüssen, wie der Vergleich gemessener und modellierter Abflüsse am Pegel Achleiten mit einem Nash-Sutcliffe-Koeffizienten von 0,99 zeigt (siehe Abbildung 2.3.1.1 und siehe Verteilung der Nash-Sutcliffe-Koeffizienten in der Nebenkarte). Der Nash-Sutcliffe-Koeffizient (NSC) kann Werte von minus Unendlich (keine Übereinstimmung) bis Eins (exakte Übereinstimmung) annehmen.

b) Kopfgebiete und kleine Gewässer: Die Wasserflüsse in Kopfgebieten und kleinen Gewässern werden innerhalb des Rivernetwork-Objektes mit Hilfe des Muskingum-Ansatzes modelliert, dessen Parametrisierung auf den Ansätzen von Cunge erfolgt (Anderson and Burt, 1985). Die Ermittlung der Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen für alle Proxel basiert auf einer Implementierung des "topologischen Sortierens".

c) Städtische Kanalnetze: Die Beschreibung der Wasserflüsse in städtischen Kanalnetzen erfordert ein modifiziertes Modellkonzept. Dazu werden die Kanalnetze mittels eines neu entwickelten Generierungsverfahrens synthetisch erzeugt (Rödder und Geiger, 1996), wobei als Grundlegenden Informationen zur Lage von ca. 460 Kläranlagen (z.B. aus GIS_Was, bayerisches Landesamt für Umwelt), ca. 1400 Gemeindegrenzen und zur Bevölkerungsdichte einfließen und Bemessungsregeln (ATV, 1999) in stark vereinfachter Form berücksichtigt werden.

d) Seen: Zur Nachbildung der Retentionswirkung von Seen (z.Zt. Chiemsee und Ammersee) wird die Kontinuitätsgleichung numerisch gelöst und der Abfluss Q über die Abflusskurve $Q = a H^b$ mit der Seespiegelhöhe H in Beziehung gesetzt. Die Ermittlung der Koeffizienten a und b erfolgt durch Optimierung. Am Chiemsee wird somit beispielsweise zwischen dem gemessenen und modellierten Abfluss im Jahre 1995 ein Nash-Sutcliffe-Koeffizient von 0,95 erreicht.

e) Talsperren: Das Talsperrenmodell bildet die Auswirkung der Retention und der wichtigsten bei Ostrowski und Lohr (2002) beschriebenen Betriebsregeltypen auf den Abfluss nach. Neben dem aktuell modellierten Sylvensteinspeicher sind acht weitere in Vorbereitung.

f) Überleitung: Durch die Donau-Main-Überleitung wird Wasser über die natürlichen Einzugsgebietsgrenzen hinweg in das Maingebiet transferiert. Die zugrunde liegenden Betriebsregeln, die u.a. auf Wasserständen im Altmühl-, Roth- und Brombachsee sowie Abflüssen in Regnitz, Altmühl und Donau basieren, werden hier vereinfacht nachgebildet. Da der für die Steuerung maßgebliche Pegel Hüttendorf/Regnitz außerhalb des Donaeinzugsgebietes liegt, werden dessen Abflussdaten durch Regression auf Abflüsse von Proxeln erzeugt, die nahe an der Einzugsgebietsgrenze liegen und hoch mit Hüttendorf korreliert sind ($r^2=0,87$).

3.2 Modellierung der Wasserqualität

a) Mittlere und große Gewässer: In den mittleren und großen Gewässern des Einzugsgebietes der Oberen Donau erfolgt eine Wasserbeschaffenheitsmodellierung mit dem Branched Lagrangian Transport Model (BLTM) (Jobson and Schoellhamer, 1987). Folgende sieben Parameter werden modelliert: Wassertemperatur, gelöster Sauerstoff, Summenparameter zum Sauerstoffbedarf, organischer Stickstoff, Nitrat (siehe Abbildung 2.3.1.3), Nitrit und Ammonium.

Der originäre BLTM-Ansatz wurde um eine hier entwickelte Korrektur der Wintertemperaturen ergänzt, deren Wirksamkeit in Abbildung 2.3.1.2 gut erkennbar ist. Zur Kalibrierung des Modells kommt das auf der Evolutionsstrategie basierende "Shuffled Complex Evolution" Verfahren zum Einsatz (Duan and Qingyun, 1992).

b) Kopfgebiete und kleine Gewässer: Die Randbedingungen für die deterministische Gewässerbeschaffenheitsmodellierung, also die Ganglinien der Gewässerbeschaffenheitsparameter an den „Anfangsknoten“ des mit BLTM modellierten Gewässernetzes, werden mittels eines eigens entwickelten statistischen Ansatzes zur Verfügung gestellt. Dieser Ansatz basiert auf der zeitvarianten Erweiterung eines von Kishi (2000) vorgeschlagenen und auf dem sogenannten Group

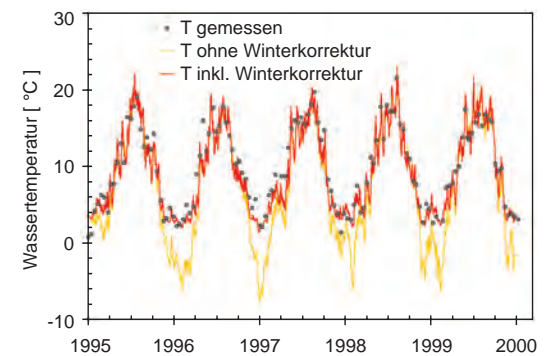


Abbildung 2.3.1.2: Modellierter und gemessener Wassertemperatur am Pegel Fischen/Ammer

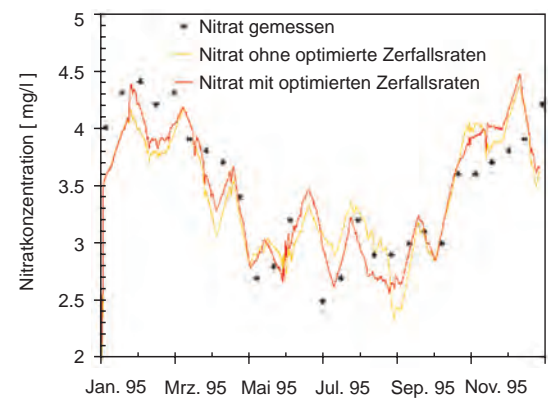


Abbildung 2.3.1.3: Nitratkonzentration am Pegel Passau-Kachlet

Method Data Handling-Verfahren (GMDH, Ivachnenko and Ivachnenko, 1995) aufsetzenden multivariaten statistischen Regionalisierungsmodells. Dabei werden die Wasserbeschaffenheitsparameter (Zielvariablen) als Linearkombination von Gebietsmerkmalen (erklärende Variablen) vorhergesagt. Der GMDH-Algorithmus dient hierbei der möglichst geeigneten Auswahl der erklärenden Variablen (hier: Einzugsgebietsgröße, Bevölkerungsdichte, Nadelwaldanteil, jährlicher Niederschlag).

4. Darstellung der Ergebnisse

Die Hauptkarte zeigt die mittlere geroutete Abflusspende im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Zeitraum 1995-1999. In der räumlichen Verteilung der Abflusspende prägt sich der durch Translations- und Retentionseffekte des Gerinnes modifizierte Prozess der Abflussbildung durch (siehe Kapitel 2.1.2). Für den Gebietsauslass Achleiten ergibt sich für den modellierten Zeitraum eine mittlere Abflusspende von $20,9 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ ($1590 \text{ m}^3/\text{s}$). Dies deckt sich hinreichend genau mit der im Zeitraum 1901-2000 gemessenen mittleren Abflusspende von $18,5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ ($1420 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Nebenkarte zeigt die überwiegend zufriedenstellende Validierung des DAFLOW-Modells für das Jahr 1995 auf der Grundlage von Nash-Sutcliffe-Koeffizienten. Beide Karten beruhen auf einem Modelllauf, bei dem nur die Teilmodelle 3.1a und 3.1b implementiert waren. Daher treten auf der Nebenkarte an den Teilstücken der nicht modellierten Seen und Talsperren größere Abweichungen auf.

Literatur

- Anderson, M.G. & Burt, T.P. (1985, Herausg.): *Hydrological Forecasting*. John Wiley & sons, New York, 605 pp.
- ATV (1999): *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*. Arbeitsblatt A 118, Hennef.
- Dyck, S. (1980): *Angewandte Hydrologie*. Teil2, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Duan, Q. & Qingyun, V. (1992): *The Shuffled Complex Evolution (SCE-UA) Method*. Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona Tucson.
- Ivachnenko, A.G. & Ivachnenko, G.A. (1995): *The review of problems solvable by algorithms of the Group Method Data Handling (GMDH)*. Pattern Recognition and Image Analysis, 5, p. 527-535.
- Jobson, H.E. (1989): *Users manual for an open-channel stream flow model based on the diffusion analogy*. U.S. Geological Survey WRI, 89-4133, 73 p.
- Jobson, H.E. & Schoellhamer, D.H. (1987): *Users manual for a branched Lagrangian transport model*. U.S. Geological Survey WRI, 87-4163, 80 p.
- Kishi, R. T. (2000): *Modellierung stofflicher Parameter mit Hilfe raumbezogener Daten*. Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Bd. 9.
- Leopold, L. (1994): *A View of the River*. Cambridge, London.
- Ostrowski, M. & Lohr, H. (2002): *Modellgestützte Bewirtschaftung von Talsperrensystemen*. Wasser und Abfall, Heft 1-3, Seiten 40-45.
- Rödder, A. & Geiger, W.F. (1996): *Berechnungsgrundlagen für Schmutzfrachtberechnungen zur regionalen Darstellung des Stoffaustauschs aus Kanalisationen*. In: Beichert, J., Hahn, H.H. und Fuchs, St. (Hrsg.): *Stoffaustausch aus Kanalisationsnetzen*. Hydrologie bebauter Gebiete. DFG Forschungsbericht. Weinheim.
- Willems, W. (2004): *DANUBIA Software-Dokumentation*. GLOWA-Danube Papers, Techn. Rel. No. 12, Rel.: 0.92_13.