

Hans Mehlhorn, Helmut Kobus, Roland Schick und Ulrich Lang

Naturschatz und Ressource Bodensee – eine wasserwirtschaftliche Herausforderung

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens BodenseeOnline wurde ein Online-Informationssystem mit dem Ziel entwickelt, die im Bodensee beobachteten Strömungs- und Transportprozesse und den Stoffhaushalt nachzubilden. Als Grundlage für eine Vielzahl an Fragestellungen können damit nicht nur Entscheidungen im Bereich des vorsorgenden Gewässerschutzes, der Trinkwasserversorgung und der Wasserwirtschaft unterstützt, sondern vielmehr auch Prozessabläufe im Zusammenhang mit geogen, klimatisch und zivilisatorisch bedingten Auswirkungen auf den Bodensee erfasst werden.

1 Naturschatz und Ressource Bodensee

Der Bereich des Bodensees, der seine heutige Form durch die glaziale und fluviatile Erosion vor 20 000 bis 10 000 Jahren erlangte, wurde bereits vor ca. 7 000 Jahren besiedelt und hat seit den bronzezeitlichen Uferbesiedelungen (Pfahlbauten) über die im Mittelalter entstandenen Städte und Dörfer bis hin zu den heutigen intensiven Nutzungen des Sees und seines Einzugs-

gebiets in steigendem Maße Veränderungen erfahren. Hierbei waren im Laufe der Zeit auch verstärkt anthropogene Eingriffe in das System „Bodensee“ und seine Kompartimente zu beobachten. Darüber hinaus macht aber auch täglich eine Vielzahl von Beispielen deutlich, wie sehr die Folgen von Naturkatastrophen, Unfällen oder unvorhersehbaren Ereignissen unser tägliches Leben bestimmen. Beispielsweise sei hier das „Jahrhunderthochwasser 1999“, der „Jahrhundertssommer 2003“,

das Starkregenereignis 2005 im nördlichen Alpenraum oder der Flugzeugabsturz im Jahr 2002 nahe Überlingen genannt.

Der Bodensee (**Bild 1**) ist mit einer maximalen Tiefe von 254 m, einer Oberfläche von ca. 535 km² und einem Gesamtvolumen von annähernd 50 km³ der größte Voralpensee am Nordrand der Alpen. Traditionell wird er in den tiefen Obersee mit dem Überlinger See und in den wesentlich flacheren Untersee mit den See-teilen Rheinsee, Gnadensee und Zellersee unterteilt. Sein ca. 11 500 km² großes, meist alpin geprägtes Einzugsgebiet umfasst dabei Länder bzw. Kantone der Schweiz, Italiens, Liechtensteins, Österreichs und Deutschlands. Die Wasserbilanz bzw. der Wasserstand des Sees wird daher überwiegend durch die meteorologischen Verhältnisse in den Alpen und die damit verbundenen Abflüsse des Alpenrheins, der Bregenzerach und der Dornbirnerach geprägt. Die restlichen Zuflüsse tragen lediglich mit ca. 18 % zur Wasserbilanz bei. Im langjährigen Mittel werden dem Bodensee insgesamt etwa 11,6 Mrd. m³ Wasser pro Jahr zugeführt. Der Wasserspiegel (im Mittel: 395 m ü. NN) kann hierbei innerhalb eines Jahres über 3 m schwanken.

Neben seiner Bedeutung als Natur- und Lebens- und Kulturraum trägt seine ausgewogene Wasserbeschaffenheit in nicht unerheblichem Maße dazu bei, dass der Bodensee vor allem im Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgung eine he-

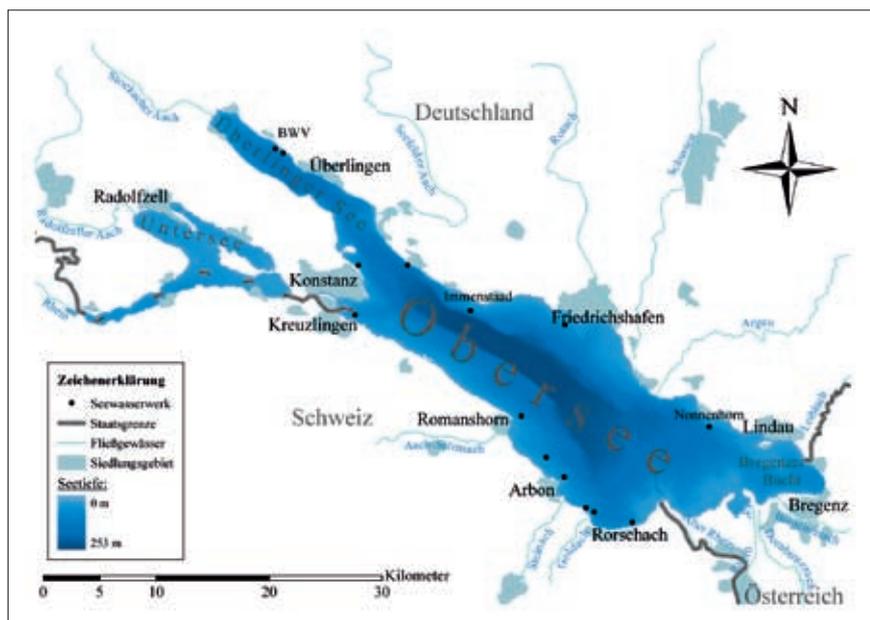


Bild 1: Der Bodensee, bei dem es zwischen den drei Anrainerstaaten Deutschland, Österreich und Schweiz keine Hoheitsgrenzen auf dem Wasser gibt (Kondominium)

rausragende Rolle spielt: Er ist einer der größten Trinkwasserspeicher Europas. Bereits 1894/1895 wurden von den Städten Romanshorn und St. Gallen die ersten Seewasserwerke in Betrieb genommen. Heute werden dem See jährlich etwa 170 bis 180 Mio. m³ Wasser in Tiefen zwischen 40 und 60 m zur Trinkwasserversorgung von ca. 5 Mio. Menschen entnommen. Das aus dem Hypolimnion gewonnene Wasser weist neben einer gleichbleibend niedrigen Temperatur von ca. 4 bis 6 °C einen ausgewogenen Gehalt an ionogenen Inhaltsstoffen (z. B. Calcium, Magnesium, Natrium, Hydrogencarbonat, Sulfat, Chlorid) und eine vergleichsweise geringe Konzentration an Nitrat (ca. 4,8 mg/l) auf. Mit ca. 1,6 mmol/l CaCO₃, entsprechend ca. 8,9 °dH, ist es gemäß dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz dem Härtebereich „mittel“ zuzuordnen. Darüber hinaus sind Schwermetalle und anthropogene Mikroverunreinigungen nicht bzw. nur im Spurenbereich nachweisbar.

2 Die wasserwirtschaftliche Herausforderung

Die Reinhaltung der Gewässer stellt einen wichtigen Eckpunkt zur Bewahrung der Lebensgrundlagen des Menschen und eines intakten Ökosystems dar. Vor diesem Hintergrund hat sich die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) sowie die Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) in vielfacher Hinsicht für den Schutz des Bodensees und seines Einzugsgebietes eingesetzt [1], [2]. Trotz aller Erfolge und Behebung entscheidender Defizite in der Vergangenheit sind die Aufgaben zur Reinhaltung des Bodensees keineswegs abgeschlossen, um die Funktionsfähigkeit der vielfältig genutzten Systemeinheit „Bodensee“ auch für zukünftige Generationen sicher zu stellen.

Um die ökologische Stabilität des Bodensees zu erhalten sowie den zukünftigen Anforderungen der Trinkwasserversorgung, des Gewässerschutzes und der Wasserwirtschaft gerecht zu werden, bedarf es international koordinierter und regional/lokal abgestimmter Anstrengungen. Es gilt, gemeinsam Defizite zu erkennen, integrale Lösungsansätze zu erarbeiten und die notwendigen Maßnahmen den sich ändernden Rahmenbedingungen anzupassen. Beispielhaft sind in **Tabelle 1** etliche Anforderungen und

Tab. 1: Anforderungen und Fragestellungen aus der Praxis an ein Online-System am Bodensee

Gewässerschutz, Wasserwirtschaft (Internationale Vereinigungen, nationale Behörden der Anrainerländer/-kantone, Städte- und Gemeindeverwaltungen, wissenschaftliche Institutionen, Interessenverbände, z. B. Abwasser, Industrie, Wasserkraftwerke, Medien, interessierte Bürger, ...)

- Auswirkungen möglicher punktförmiger und diffuser Schadstoffeinträge
- Prognose von Langzeitveränderungen der Gewässerbeschaffenheit, z. B. in Folge von Temperatur- und Windverhältnissen oder Nährstoffimporten, z. B. Klimawandel, Reoligotrophierung
- Beurteilung des Einflusses der thermischen Schichtung auf die Stoffumsetzungsprozesse
- Aussagen zur Ablagerung von hochwasserbürtigen Sedimentfrachten
- Auswirkungen des Klimawandels auf die saisonalen Strömungsprozesse und die Wasserqualität
- Modellunterstützte Optimierung von Messprogrammen
- Abschätzung der Auswirkungen von Eingriffen in den See (Einbauten, Veränderungen der Häfen, Rheinvorstreckung etc.)
- Entscheidungshilfe für die Planung von Baggergutverbringungen; Impaktzonen von Sedimentfahnen
- Prognose von Treibholzverfrachtung im Falle eines Hochwassers

Gefahrenabwehr / Katastrophenschutz (Wasserschutzpolizei, Feuerwehr, Technisches Hilfswerk, Einrichtungen des Katastrophenschutzes, ...)

- Unterstützung von Rettungs- und Suchmaßnahmen
- Suche von Objekten, Drift von Schifffahrtshindernissen
- Rekonstruktion bzw. Vorhersage von Driftwegen, z. B. im Zusammenhang mit Schiffshavaristen (wind- und strömungsbedingte Drift)
- Rekonstruktion von Schadensereignissen
- Beurteilung von Gefährdungen in Folge von Kontaminationen
- Beurteilung und Prognose von Strömungs- und Windfeldern, Seegangsvorhersage
- Prognose der Ausbreitung von Schadstoffen, z. B. im Rahmen der Ölwehr
- Modellunterstützte Anordnung von Ölsperren auf Grund prognostizierter Strömungsfelder

Wasserversorgung

- Gefährdung von Wasserfassungen nach Kontaminationen durch wassergefährdende Stoffe
- Vorhersagen von Ausbreitungs- und Umsetzungsprozessen in Abhängigkeit vom Stoffeintrag und den aktuellen Strömungsverhältnissen
- Beurteilung des Einflusses von thermischer Schichtung auf die Stoffumsetzungsprozesse
- Auswirkungen von Schwebstofffahnen der Zuflüsse

Schifffahrt und Wassersport

- Allgemeine und detaillierte Prognose der Wind- und Strömungsverhältnisse
- Seegangsvorhersage
- Vorbereitung von Regatten
- Auswirkungen von Hochwasser und allgemeinen Pegelstandsänderungen auf Häfen
- Prognose von Treibholzverfrachtung im Falle eines Hochwassers
- Verdriftung von Schifffahrtshindernissen

Fischerei

- Kurz- und Langzeitprognose der Strömungs-, Nährstoff- und Temperaturverteilung im See
- Aufklärung und besseres Verständnis für fischereiliche Aspekte

Tourismus

- Prognose der Temperatur- und Qualitätsverhältnisse im Bereich von Badestellen
- Auswirkungen von Schadensfällen auf Badestellen
- Wind-/Unwetterwarnung und Starkwindvorhersage (DWD)
- Informationszentrum über die Seeströmungen
- Populärwissenschaftliche Aufbereitung und Bereitstellung der Informationen für interessierte Touristen

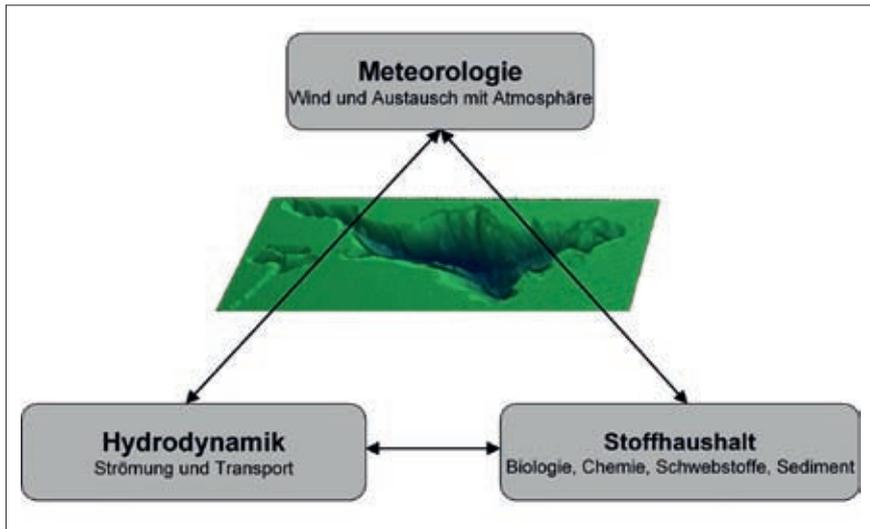


Bild 2: Prozesse und Antriebsgrößen im BodenseeOnline-System

Fragestellungen aus der Praxis aufgelistet, die sich für den See und seine vielfältigen Nutzungen ergeben.

Vor diesem Hintergrund wird sowohl von Partnern aus Wissenschaft, Politik und Verwaltung als auch seitens der Praxis seit langem die Notwendigkeit eines Online-Informationssystems zur integralen Beurteilung des Seezustands und der maßgeblichen Prozesse im Bodensee betont. Neben einer Erfassung und Beurteilung des jeweiligen Ist-Zustands ist es hierbei von besonderer Bedeutung, auch kurz- bis längerfristig zu erwartende Veränderungen prognostizieren zu können.

Eine ganzheitliche Betrachtung des dynamischen Systems „Bodensee“ muss gleichzeitig die meteorologischen Antriebskräfte, die Hydrodynamik und den Stoffhaushalt des Sees erfassen sowie deren gegenseitigen Wechselwirkungen berücksichtigen (**Bild 2**).

Die Seeströmung und damit der Stoff- und Wärmetransport im Wasserkörper werden hauptsächlich durch Wind, Sonneneinstrahlung und den Austausch von Wärmeenergie zwischen dem Wasserkörper und der Atmosphäre sowie durch den Energieeintrag über die Zuflüsse, insbesondere des Alpenrheins, bestimmt. Im See entstehen so Temperaturschichtungen, Windwellen und windbedingte Strömungen an der Oberfläche, die auch die Strömungen in größerer Tiefe antreiben. Für den Betrachter nicht direkt wahrnehmbar kommt es darüber hinaus zu großräumigen „internen Wellen“ im Metalimnion, also im Grenzbereich zwischen dem Epilimnion (d. h. dem oberflächennahen, erwärmten Wasserkörper) und dem Hypolimnion

(d. h. dem tiefen, ca. 4 bis 6 °C kühlen Wasserkörper). Diese „internen Wellen“ können vertikale Auslenkungen von mehreren Zehnermetern sowie typische Perioden von einigen Tagen aufweisen und hierbei große Wassermassen (und ggf. auch Schadstoffe) seeintern verfrachten.

Die Erfassung all dieser Strömungs-, Transport- und Stoffumsetzungsprozesse und ihre Auswirkungen auf Sedimente und Wasserqualität erfordert einen interdisziplinären Ansatz und ein System verschiedener, miteinander gekoppelter Modelle, wie dies im Modellsystem BodenseeOnline entwickelt wurde.

Unerlässliche Voraussetzung für die Entwicklung realitätsnaher Modelle ist dabei die Verfügbarkeit von Messdaten, die rund um den See von Wasserwirt-

schaftsbehörden und Wasserversorgungsunternehmen erhoben werden. Dies ist an einem vielseitig genutzten internationalen Gewässer keine leichte Aufgabe, deren Lösung u. a. die aktive Mitwirkung der AWBR und die tatkräftige Unterstützung durch die IGKB erforderte, deren Mitglieder rund um den See ihre Messdaten in die gemeinsame Datenbank eingebracht haben. Darüber hinaus wurde die Einsatzfähigkeit und Aussagekraft der Modellinstrumente mit einer breit angelegten seeweiten Messkampagne im Frühjahr 2007 erfolgreich getestet.

3 Der Forschungsverbund BodenseeOnline

Angesichts der großen Herausforderung für Wissenschaft und Praxis, die der Bodensee darstellt, hat sich seit einem Jahrzehnt aus laufenden Forschungsaktivitäten und wasserwirtschaftlichen Untersuchungen am Bodensee, die an verschiedenen Stellen liefen, ein Kooperationsnetzwerk entwickelt, das sich die interdisziplinäre Verbundforschung und Kooperation zum integrierten Gewässerschutz am Bodensee zum Ziel gesetzt hat.

Unter dem Titel „BodenseeOnline – Ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen“ wurde die in **Bild 3** dargestellte Konzeption für ein Modellsystem entwickelt und ein Verbundforschungsprojekt für eine gemeinsame Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und die Deutsche For-

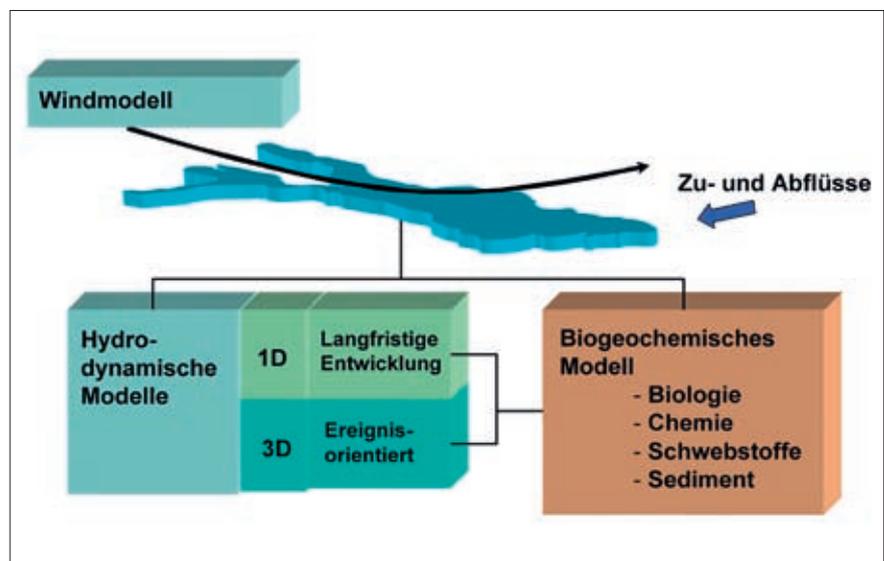


Bild 3: BodenseeOnline-Modellsystem

schungsgemeinschaft (DFG) konzipiert. Seit Anfang 2005 werden die grundlagenorientierten Teilprojekte bei der DFG sowie die Methodenentwicklungen und Modellierungen beim BMBF gemeinsam finanziell gefördert. Mit insgesamt fünf Teilprojekten waren als Projektpartner die Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein, die Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner, das Institut für Wasserbau sowie das Institut für Kernenergie und Energiesysteme der Universität Stuttgart sowie das Limnologische Institut der Universität Konstanz beteiligt. Darüber hinaus ist das in Langenargen ansässige Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) direkt eingebunden. Außerdem wurde das Projekt durch das Umweltministerium Baden-Württemberg, den Deutschen Wetterdienst, das Amt der Vorarlberger Landesregierung und das schweizerische Bundesamt für Umwelt unterstützt. Insgesamt hat sich damit ein gut funktionierendes Kooperationsnetzwerk aus Forschung, Verwaltung und Praxis mit seeumfassender internationaler Beteiligung entwickelt.

In dreijähriger Teamarbeit der Projektpartner wurde in der Pilotphase auf der Basis von mathematisch formulierbaren Sachverhalten (Simulationsmodellen) das Planungs- und Steuerungsinstrument BodenseeOnline aufgebaut. Mit BodenseeOnline lassen sich die hydraulischen Verhältnisse im geschichteten und ungeschichteten Zustand erfassen und prognostizieren. Zudem ist es mit diesem Modellpaket möglich, denkbare Entwicklungen bezüglich der Wasserbeschaffenheit in Abhängigkeit von den meteorologischen Einflüssen, den Stoffeinträgen, den Zuflussverhältnissen sowie ausgewählten Trans-

port- und Stoffwechselfvorgängen zeitnah zu beschreiben und zu quantifizieren. Die einzelnen Elemente des Systems sind in den nachfolgenden Beiträgen der Ausgabe der WasserWirtschaft [3] bis [8] beschrieben. Von Lang et al. [9] wird zudem das Gesamtsystem sowie der Nachweis der Funktionsfähigkeit und der Praxistauglichkeit dargestellt. Damit ist das Entscheidungs- und Unterstützungssystem (EUS) BodenseeOnline als ein neues Instrument der Störfallvorsorge und der gezielten Gefahrenabwehr bei Unfällen oder Extremereignissen fertiggestellt. Es steht nicht nur den Wasserversorgungsunternehmen als Entscheidungshilfe zur Verfügung. Vielmehr kann es auch als Grundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen im Sinne des vorsorgenden Gewässerschutzes eingesetzt werden. Weitere Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich im Bereich des Hochwassermanagements sowie bei der Abklärung verschiedener Fragestellungen u. a. im Zusammenhang mit der Fischerei, der Schifffahrt oder der Wasserschutzpolizei.

Die im Forschungsvorhaben BodenseeOnline erarbeiteten Möglichkeiten, die beobachteten und zu erwartenden Vorgänge im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise modelltechnisch zu erfassen, haben sich stets an den Belangen und Handlungserfordernissen für den Naturschutz und die Ressource „Bodensee“ orientiert. Damit liefert BodenseeOnline einen Meilenstein im Zusammenhang mit der Entschlüsselung des „sensiblen Chaos“ im Bodensee und wird zukünftig eine zentrale Rolle für den Gewässerschutz am Bodensee einnehmen.

Danksagung

Dem Bundesministerium für Bildung und Forschung danken wir für die Förderung

dieser Arbeit (Kennzeichen: 02WT0552), die im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens BodenseeOnline durchgeführt wurde.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Hans Mehlhorn

Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung
Hauptstraße 163
D-70563 Stuttgart
hans.mehlhorn@zvbvw.de

Prof. Dr. Dr. Helmut Kobus Ph. D.

Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau
Pfaffenwaldring 61
D-70550 Stuttgart
kobus@iws.uni-stuttgart.de

Dr.-Ing. Roland Schick

Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung
Betriebs- und Forschungslabor
Süßenmühle
78354 Sipplingen
roland.schick@zvbvw.de

Dr.-Ing. Ulrich Lang

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus
und Partner GmbH
Wilhelmstraße 11
D-70182 Stuttgart
lang@kobus-partner.com

Literatur

- [1] Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): Der Bodensee – Zustand, Fakten, Perspektiven. Januar 2004.
- [2] Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR): Jahresberichte 1968 bis 2007.
- [3] Eder, M.; Kobus, H.; Helmig, R.: Dreidimensionale Modellierung der Hydrodynamik im Bodensee. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 16-21.
- [4] Scheuermann, W.; Schmidt, F.; Krass, C.: Modellierung des Windfeldes als Antriebskraft für die interne Strömung im Bodensee. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 22-25.
- [5] Rinke, K.; Rothhaupt, K.-O.: Das ökologische Modell des Bodensees: Konzept, Simulation und Test an Langzeitdaten. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 26-30.
- [6] Kempke, S.; Schick, R.; Rinke, K.; Rothhaupt, K.-O.: Biogene Calcitfällung im Bodensee – Prozessverständnis und Modellierung. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 31-33.
- [7] Eder, M.; Rinke, K.; Kempke, S.; Huber, A.; Wolf, T.: Seeweite Bodensee-Messkampagne 2007 als Test für BodenseeOnline. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 34-38.
- [8] Lang, U.; Paul, T.: Zustandsbeschreibung und Prognose mit der Daten- und Methodenbank BodenseeOnline. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 39-44.
- [9] Lang, U.; Kobus, H.; Mehlhorn, H.: BodenseeOnline als Entscheidungs- und Unterstützungssystem. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 45-48.

Hans Mehlhorn, Helmut Kobus, Roland Schick and Ulrich Lang

Nature Treasure and Resource Lake of Constance – A Challenge for Water Resources Management

The interdisciplinary research project BodenseeOnline has focused on the development of a numerical online information system, which allows numerical simulation of the flow and transport processes and some major biogeochemical processes of dissolved substances and sediments in Lake Constance. It provides a decision support tool for a variety of application-oriented questions related to precautionary water resources protection, drinking water supply and water resources management. Furthermore, it may help to quantify the effects on the lake caused by natural, climatic or man-made changes in the catchment.