

BodenseeOnline

Verbundforschungsvorhaben für ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen am Beispiel des Bodensees

U. Lang; T. Paul

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH

Wilhelmstr. 11

70182 Stuttgart

W. Scheuermann

Universität Stuttgart

Institut für Kernenergetik und Energiesysteme

Pfaffenwaldring 31

70569 Stuttgart

T. Wolf

Institut für Seenforschung

der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Argenweg 50/1

88085 Langenargen

H. Kobus

Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau

Pfaffenwaldring 61

70550 Stuttgart

K.O. Rothhaupt

Universität Konstanz, Limnologisches Institut

Mainaustraße 252

78464 Konstanz

H. Mehlhorn

Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee - Rhein

Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung

Süßenmühle 1

78354 Sipplingen

1. EINFÜHRUNG UND AKTUELLER PROJEKTSTAND.....	123
2. AUFBAU DES ONLINE-INFORMATIONSSYSTEMS	124
3. EINBINDUNG DER POTENZIELLEN NUTZER VON BODENSEEONLINE	125
4. ONLINE-MESSDATEN UND PROGNOSEINFORMATIONEN	127
4.1 ÜBERSICHT MESSDATEN.....	127
4.2 PROGNOSEDATEN DES DWD	128
5. ONLINE-MODELL	128
5.1 HYDRODYNAMISCHES MODELL.....	129
5.2 WINDMODELL	131
5.3 ÖKOLOGISCHES MODELL	131
6. MESSKAMPAGNE 2007.....	132
7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	133
8. LITERATUR.....	134

1. Einführung und aktueller Projektstand

BodenseeOnline ist ein gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Verbundforschungsprojekt. Von den Projektpartnern der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (kup), dem Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE), dem Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart (IWS), dem Limnologischen Institut der Universität Konstanz (ILK) und der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee–Rhein (AWBR) wird ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen am Beispiel des Bodensees entwickelt. Das Verbundforschungsprojekt ist in 5 Teilprojekte untergliedert und hat eine Laufzeit bis Mitte 2008. Es ist davon auszugehen, dass sich an diese Phase I von BodenseeOnline eine Phase II anschließt, in der der entwickelte Prototyp als Basissystem im Routinebetrieb eingesetzt wird und parallel dazu Weiterentwicklungen im Hinblick auf die Mittel- und Langfristvorhersage sowie die individuellen Nutzerinteressen und die Anwenderfreundlichkeit durchgeführt werden.

Die Aufgabe von BodenseeOnline besteht in der Beschreibung, Quantifizierung und Prognose der Auswirkungen anthropogener Eingriffe. Damit wird ein umfassendes Instrument zur Beurteilung der nachhaltigen Bewirtschaftung des Bodensees erstellt. BodenseeOnline stellt dazu über das Internet Mess- und Rechendaten in standardisierter Form und mit einer für die jeweilige Verwendung charakteristischen Zeitauflösung zur Verfügung. Die Daten beschreiben erstmals den Zustand des Sees in einer konsistenten Weise und über einen längeren Zeitraum. Im Rahmen des Projektes wurden zunächst die an verschiedenen Stellen erhobenen Daten gesammelt und werden in einem Online-Betrieb dem Informationssystem zu Verfügung gestellt. Von den Seewasserwerken wurden eigene Messstationen errichtet, die die wasserwerksrelevanten Parameter kontinuierlich erfassen und regelmäßig (10-minütig bis täglich) an die gemeinsame Datenbank übermitteln.

Ein Prototyp für das Informationssystem wurde bereits aufgebaut und wird derzeit getestet. Zunächst wurden bestehende Modelle, die vom Center of Water Research der University of Western Australia entwickelt wurden, verwendet. Mit diesen Modellen werden die Strömung im Bodensee und auch der Nährstoffkreislauf mathematisch beschrieben. Die Modelle werden im Online-System durch aktuelle Messdaten angetrieben. Mit Hilfe von Prognosewerten zu den meteorologischen Verhältnissen erfolgen auch Vorhersagen über die nächsten 78 h.

In den einzelnen Teilprojekten wurden die Modelle weiter entwickelt und für die Verhältnisse am Bodensee angepasst. Diese Anpassungen wurden sukzessive in das laufende System eingebunden. Ebenso wurde auf die Interessen der Nutzer eingegangen und Wünsche z.B. zur Ausbreitung des geklärten Abwassers im Bodensee in die Berechnungen mit aufgenommen. In den einzelnen Teilprojekten liegt derzeit folgender Projektstand vor:

Teilprojekt 1: Datenbank und Online Modell (kup):

- Online-Erfassung der wichtigsten Antriebsgrößen und Prognosedaten des DWD
- Einbindung der Daten in die Datenbank
- lauffähiger Prototyp für die Modellierung der Hydrodynamik und Wasserqualität
- Prototyp eines Web-basierten Auswerte- und Visualisierungstools

Teilprojekt 2: Simulationsplattform und Bereitstellung Meteorologischer Randbedingungen (IKE)

- Abgeschlossener Test von unterschiedlichen Windmodellen
- Überprüfung des ausgewählten Windmodells anhand der Messdaten 2001

Teilprojekt 3: Hydrodynamik und Transport von Wasserinhaltsstoffen (IWS):

- Vorgaben für die räumliche Diskretisierung zur Berücksichtigung der Flusswasser-einströmungen, der Flachwasserzone und der vertikalen Durchmischung
- Optimierung der Anfangsbedingungen
- Testrechnungen unter Berücksichtigung des Sedimenteinflusses durch den Alpenrhein

Teilprojekt 4: Biologie, Chemie und Sediment (ILK):

- Weiterentwicklung des Modellinstrumentariums für die Beschreibung der lang- und kurzfristigen biologischen, chemischen und sedimentologischen Prozesse:
- Test der Weiterentwicklungen für den Zeitraum 1995 bis 1997
- Messkampagne zur Erfassung der dreidimensionalen Verteilung des Phytoplanktons

Teilprojekt 5: Anwendungsbezogene Fragestellungen aus Sicht der Wasserversorgungsunternehmen (AWBR):

- Definition der Anforderungen an das System
- Erhebung von Messdaten und Informationen für den Online Betrieb
- Weiterentwicklung des Prozessverständnisses für den partikelgebundenen Schadstofftransport im Bodensee

2. Aufbau des Online-Informationssystems

Am Beispiel des Bodensees (Obersee, d. h. Hauptbecken und Überlinger See) wird ein Online Informationssystem zur Vorhersage des hydrodynamischen Verhaltens und der Wasserqualität von Seen entwickelt. Der prinzipielle Aufbau des Informationssystems ist in Abb. 1 dargestellt. Im Zentrum des Informationssystems steht die Datenbank [5], in der sowohl die Messdaten als auch die Berechnungsdaten der verwendeten Modelle gespeichert werden. Auf diese Datenbank greifen die Modelle und das Web-basierte Zugangssystem zurück. Zur Simulation werden die erforderlichen Modelleingangsdaten aus den Messdaten aufbereitet und die Ergebnisse wieder abgespeichert. Über das Zugangssystem lassen sich dann sowohl die aktuellen Messwerte als auch die Ergebnisse der Simulationen visualisieren und auch herunterladen, um damit eigene Auswertungen durchzuführen. Die Zugriffsrechte auf die Daten sind abhängig vom angemeldeten Nutzer. So hat die Öffentlichkeit nur Zugang zu

wenigen Parametern wie die Wassertemperatur. Die Projektpartner dagegen können auf alle Informationen zurückgreifen.

Im Rahmen der Simulationsrechnungen werden die in Abb. 1 dargestellten Modelle verwendet. Zur Beschreibung kurzfristiger Prozesse kommen bei der Online-Betrachtung das Windmodell und das dreidimensionale Modell für die Hydrodynamik und das Wasserqualitätsmodell zur Anwendung. Für langfristige Fragestellungen wird der Bodensee eindimensional, vertikal differenziert betrachtet. Mit dem eindimensionalen Modell lassen sich Zeiträume von mehreren Jahren oder Jahrzehnten simulieren. Damit lassen sich mit dem eindimensionalen Modell hauptsächlich langfristige wasserwirtschaftliche Fragestellungen zur Entwicklung der Wasserqualität beantworten. Ein Online-Einsatz mit täglicher Aktualisierung ist in der derzeitigen Projektphase noch nicht vorgesehen. Erst wenn in einer weiteren Projektphase mittelfristige oder saisonale Prognosen durchgeführt werden sollen, ist ein Online-Modelleinsatz notwendig.

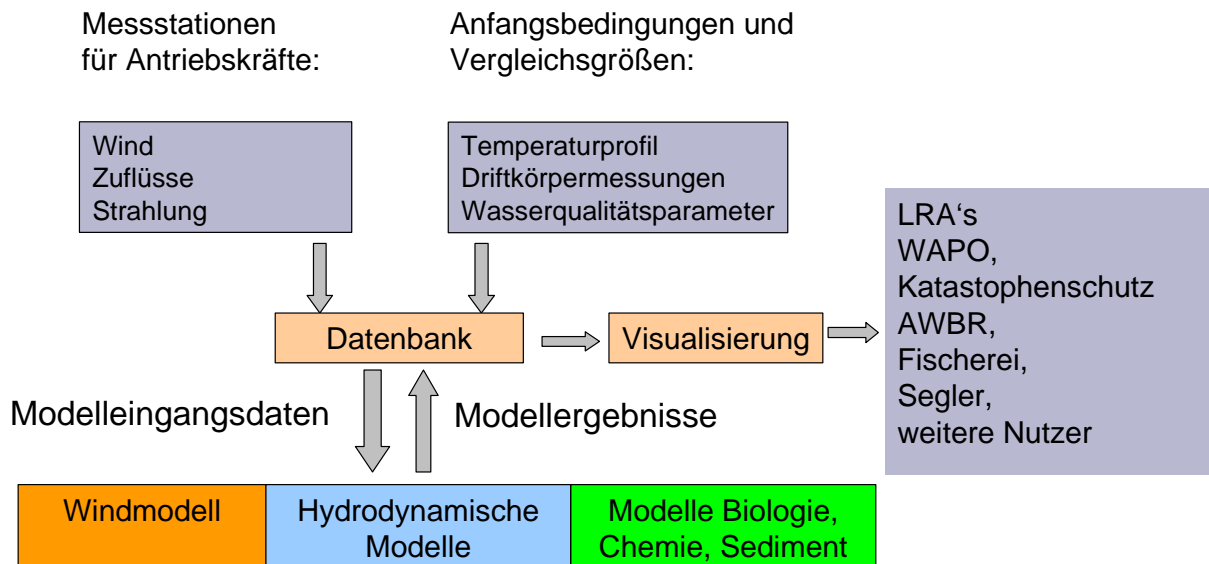


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus von BodenseeOnline

3. Einbindung der potenziellen Nutzer von BodenseeOnline

BodenseeOnline wird so aufgebaut, dass die Interessen von zahlreichen Nutzern am Bodensee abgedeckt werden können. Dazu fand auf Initiative des Umweltministeriums Baden-Württemberg am 22.05.2007 eine Informationsveranstaltung für die potenziellen Nutzer von BodenseeOnline am Institut für Seenforschung in Langenargen statt. Es haben insgesamt ca. 30 Interessenten teilgenommen und folgende hauptsächlich Nutzungsanforderungen diskutiert.

Anforderung, Fragestellung	Nutzergruppe
Ausbreitungs- und Stoffumsetzungsprozesse in Abhängigkeit vom Eintrag und den Strömungsverhältnissen	Gewässerschutz, Wasserversorgung
Modellunterstützte Prognose von Langzeitveränderungen der Gewässerqualität z.B. in Folge von Temperatur- und Windverhältnissen	Gewässerschutz
Beurteilung von Eingriffen in den See (Einbauten, Veränderungen der Häfen, Rheinvorstreckung etc.)	Gewässerschutz, Gemeindeverwaltung
Auswirkungen des Klimawandels auf die saisonalen Strömungsprozesse und die Wasserqualität	Gewässerschutz, Wasserversorgung
Modellunterstützte Rückverfolgung von Kontaminationen	Wasserschutzpolizei
Beurteilung und Prognose von Strömungs- und Windfeldern im Vorfeld von extremen Witterungsbedingungen	Wasserschutzpolizei
Unterstützung von Rettungs- und Suchmaßnahmen	Wasserschutzpolizei, Feuerwehr, Schifffahrt und Wassersport
Beurteilung von Gefährdungen in Folge von Kontaminationen	Wasserschutzpolizei, Feuerwehr
Prognose von Treibholzverfrachtung im Falle eines Hochwassers	Wasserschutzpolizei, Schifffahrt und Wassersport
Seegangsvorhersage	Wasserschutzpolizei, Schifffahrt und Wassersport
Verdriftung von Schifffahrtshindernissen	Wasserschutzpolizei, Schifffahrt und Wassersport
Gefahrenabwehr – Informationen zu evtl. durch Schadstoffeinträge beeinträchtigten Seeteilen	Gewässerschutz, Gemeindeverwaltung, Wasserschutzpolizei, Feuerwehr, Fischerei, Tourismus, Schifffahrt und Wassersport
Gefährdung von Wasserfassungen nach Kontaminationen von wassergefährdenden Stoffen	Wasserversorgung
Auswirkungen von Hochwasser und allgemeinen Pegelstandsänderungen auf Hafen- und Slipanlagen	Schifffahrt und Wassersport
Verlandung und Sedimenttransport im Bereich von Fahrrinnen und Hafeneinfahrten	Schifffahrt und Wassersport
Kurz- und Langzeitprognose der Strömungs-, Nährstoff- und Temperaturverteilung im See	Fischerei
Prognose der Temperatur- und Qualitätsverhältnisse im Bereich von Badestellen	Tourismus

Tabelle 1: Hauptsächliche Anforderungen der Nutzergruppen

Die Diskussion mit den potenziellen Nutzern hat auch gezeigt, dass möglichst aktuelle Informationen benötigt werden, d.h., dass die Messwerte - sofern von den Betreibern zur Verfügung gestellt - auch aktuell in BodenseeOnline für die Nutzer zur Verfügung stehen. Für die Ergebnisse der Modellbetrachtung ist dies aufgrund der Online-Berechnung der Ist-Situation und Prognose bereits gegeben.

4. Online-Messdaten und Prognoseinformationen

In BodenseeOnline werden die aktuellen Messwerte zur Hydrologie, Meteorologie und ausgewählte Wasserwerksparameter in der zentralen Datenbank gespeichert und als Grundlage für die Modelleingangsgrößen bei der Online-Simulation verwendet. Die Daten werden von folgenden Institutionen erhoben und kostenfrei zur Verfügung gestellt:

- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
- Deutscher Wetterdienst
- Amt der Vorarlberger Landesregierung
- Private Betreiber: Seewasserwerke, Hafengesellschaft der Stadt Bregenz, Gemeinde Arbon

Für die Prognose der Seeströmung in BodenseeOnline werden die Modellergebnisse des Deutschen Wetterdienstes über die nächsten 78 Stunden verwendet. Diese werden zwei Mal täglich zur Verfügung gestellt: um 6:00 Uhr und um 18:00 Uhr

4.1 Übersicht Messdaten

Die aktuellen Messwerte vom Bodensee werden individuell von den einzelnen Betreibern der Messstationen abgeholt bzw. auf dem FTP-Server von BodenseeOnline abgelegt. Die aktuellsten Messwerte sind von den Messstationen des Bregenzer Hafens und von Arbon erhältlich. Hier werden die Messdaten in einem 10-minütigen Abstand erfasst und in BodenseeOnline als Stundenwerte abgelegt. Die übrigen Messdaten werden derzeit einmal täglich aktualisiert, um insbesondere die Modelleingangsdaten für die Online-Modellierung zu erstellen.

Das eingesetzte Datenbanksystem „MySQL 5“ verwaltet in BodenseeOnline drei Datenbanken (DB):

- Input-DB (alle Informationen zu den Messwerten)
- Result-DB (alle Informationen zu den berechneten Ergebnissen)
- WWW-DB (alle Informationen zu projektrelevanten Daten, z.B. Kontaktdaten der Projektpartner, Veranstaltungstermine, Protokollverwaltung).

Aufgrund der großen Datenmengen, ca. 130 GB bereits zur Hälfte des Projektzeitraumes, müssen vor allem Daten aus der Result-DB ausgelagert werden. Dazu bietet es sich an, die gesamten Ergebnisse eines Quartalsrechenlaufes aus der Datenbank herauszuziehen und diese auf externen Festplatten zu archivieren. Damit der Datenbankspeicher auch verkleinert wird, werden nur Tabellen vom Typ „MyISAM“ eingesetzt, denn die MyISAM-Daten werden als einzelne Dateien im Dateisystem abgelegt, welche beim Löschen von Daten auch gelöscht werden. Im Gegensatz dazu werden die Daten von InnoDB-Tabellen in einem virtuellen Dateisystem (Tablespace) gespeichert, welcher beim Löschen von Daten nicht verkleinert werden kann. Der Hauptnachteil der MyISAM-Tabellen, z.B. keine Transaktionssicherheit bei Veränderungen von Daten, ist hier nicht relevant, da die Daten hauptsächlich eingefügt (INSERT) und nicht oft verändert (UPDATE) werden müssen.

4.2 Prognosedaten des DWD

Über das Lokalmodell des Deutschen Wetterdienstes werden Prognoseinformationen zu den meteorologischen Größen über die nächsten 78 h geliefert. Die Prognosewerte sind in einem Raster von 33 Spalten und 17 Zeilen für den Bodenseeraum erhältlich. Dies entspricht bei einer Zellgröße von 4,8 km x 7 km einer Gesamtabmessung von 153,6 km x 112 km. Der Bodensee befindet sich mittig im Raster (siehe Abb. 2). Folgende Parameter der DWD-Prognoserechnung werden für die Online-Simulation verwendet:

- Windgeschwindigkeit und Richtung
- Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftdruck
- Globalstrahlung
- Niederschlag und Wolkenbedeckung

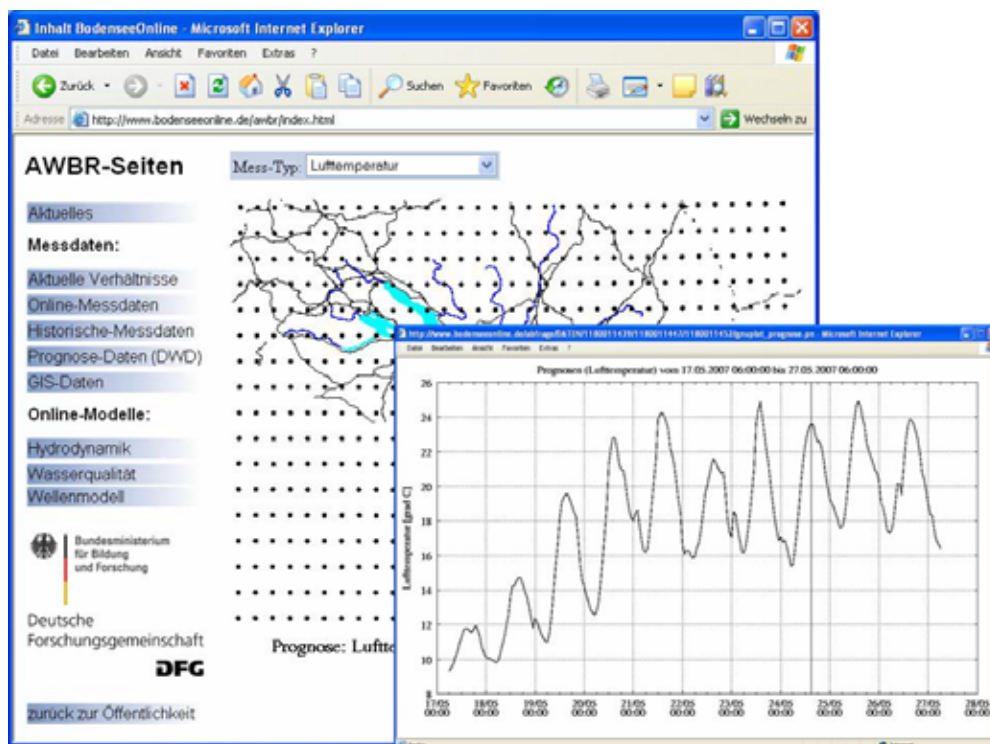


Abbildung 2: Gitterknoten von DWD-Prognoserechnungen und Beispiel der prognostizierten Lufttemperatur in BodenseeOnline

5. Online-Modell

Bei der Online-Modellierung werden zunächst die aktuellsten Messdaten abgerufen und dann wird die Online-Modellierung durchgeführt. Die Online-Modellierung unterteilt sich in zwei Phasen:

- Simulation der aktuellen Verhältnisse (Analyse): Anhand der aktuellen Messwerte wird die Strömung im See bis zum Ende der verfügbaren Online-Messdaten geführt.
- Prognose der Verhältnisse über die nächsten 78 h: Im Anschluss an die Analysesimulation erfolgt die Prognose mit den Prognosedaten des DWD.

Der Ablauf der Simulationen geht aus Abb. 3 hervor. Zunächst werden die aktuellen Messdaten von den Online-Messstationen abgeholt. Danach kann die Analysesimulation für den vergangenen Tag erfolgen. Nachdem die Simulation beendet ist, werden die Ergebnisse in der Datenbank abgespeichert. Es werden die dann zur Verfügung stehenden Prognosedaten des DWD abgerufen und in der Datenbank abgespeichert. Mit dem Ergebnis des letzten Zeitschritts der Analyserechnung wird die Prognoserechnung angestartet, die die Verhältnisse über 78 h simuliert. Die Ergebnisse der Prognoserechnung werden ebenfalls in der Datenbank abgespeichert. Die in der Datenbank gespeicherten Ergebnisse werden jeweils mit denen der aktuellen Analyse- und Prognoserechnung überschrieben.

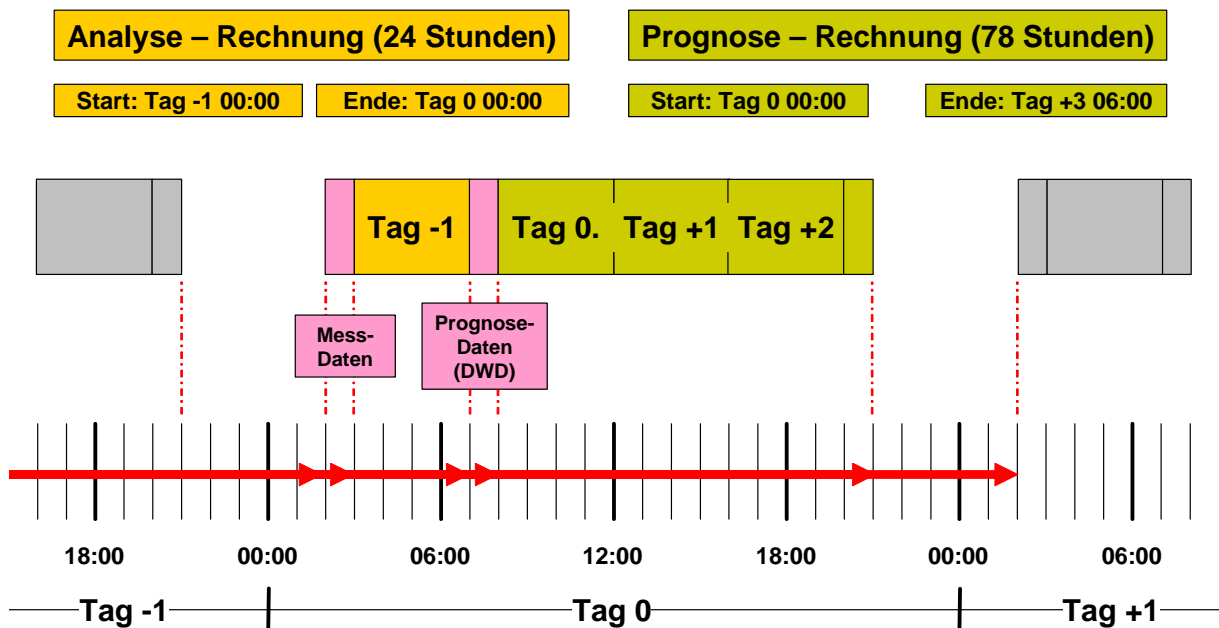


Abbildung 3: Workflow des Online-Modells

Da die Analysesimulation jeweils mit den aktuellen Messwerten durchgeführt wird, spielen die Ungenauigkeiten aufgrund der Prognosebetrachtungen keine Rolle. Das Prognosemodell wird jeweils durch aktuelle Rechenergebnisse initialisiert. Dadurch pflanzen sich Fehler infolge ungenauer Prognose bei der Analyserechnung nicht fort.

5.1 Hydrodynamisches Modell

Bei der hydrodynamischen Modellierung kommt das vom Center of Water Research der University of Western Australia (CWR) entwickelte Programm ELCOM /1/ zum Einsatz. Das hydrodynamische Modell simuliert die dreidimensionalen Strömungsverhältnisse im Bodensee unter Berücksichtigung folgender Prozesse:

- Dichteunterschiede infolge der Wassertemperatur und der Salinität
- Windinduzierte Strömungen
- Einströmungsprozesse infolge der Zuflüsse zum Bodensee und der Einleitungen infolge geklärtem Abwasser
- Energieeintrag infolge thermodynamischer Prozesse an der Seeoberfläche
- Dichteunterschiede infolge der Einströmung von schwebstoffhaltigem Flusswasser aus dem Alpenrhein
- Ausbreitung der Flusswasserfahnen und der Einleitung von geklärtem Abwasser als konservativer Tracer

Das hydrodynamische Modell basiert auf dem Finite-Differenzen-Verfahren. Deshalb ist der Bodensee in ein zeilen- und spaltenorientiertes Modellnetz mit 98 Spalten und 248 Zeilen unterteilt. Im Bereich der Zuflüsse, hier insbesondere des Alpenrheines, der Abwassereinleitungen und der Entnahmen durch die Seewasserwerke ist das Modellnetz auf Zellgrößen von 100x100 m verfeinert. Das Basisnetz weist eine Diskretisierung von 400x400 m auf. In vertikaler Richtung werden 58 Modellschichten verwendet, um die vertikalen Mischungsprozesse zu simulieren. Oberflächennah bis in eine Tiefe von 50 m sind die Schichtmächtigkeiten 2,5 m, darunter vergrößert sich die vertikale Diskretisierung bis auf maximale Schichtmächtigkeiten von 10 m. Mit dem hydrodynamischen Modell werden die instationären Strömungsprozesse bei der derzeitigen horizontalen Diskretisierung mit Zeitschrittlängen von 40 Sekunden berechnet. Dies erfordert bei der zurzeit verfügbaren Rechnerkapazität Rechenzeiten von ca. 4 Stunden für die Simulation eines Tages.

Die Ergebnisse der hydrodynamischen Modellierung werden für ausgewählte Parameter in der zentralen Datenbank gespeichert. Diese sind:

- Wassertemperatur
- Anteil von Wasser aus dem Alpenrhein
- Anteil von Wasser aus den übrigen kleinen Zuflüssen
- Anteil von geklärtem Abwasser
- Salinität bzw. Schwebstoffkonzentrationen
- Strömungsgeschwindigkeiten

Darüber hinaus lassen sich die instationären Strompfade von Wasserinhaltsstoffen in unterschiedlichen Tiefen auswerten. Damit kann identifiziert werden, wohin Wasserinhaltsstoffe oder mit der Strömung treibende Gegenstände transportiert werden bzw. woher diese kommen.

Aufgrund der großen Datenmengen werden nur ausgewählte Schnitte in horizontaler und vertikaler Richtung und an vorgegebenen Punkten für die Auswertung der Seeströmung zur Verfügung gestellt.

Das hydrodynamische Online-Modell wird jeweils zu Quartalsbeginn mit der aktuellen vertikalen Temperaturverteilung initialisiert. Ebenso werden die Konzentrationen der Zuflüsse zur Initialisierung zu Null gesetzt.

5.2 Windmodell

Die wichtigsten Antriebskräfte für die hydrodynamischen Prozesse in Seen sind die oberflächennahen Winde. Diese werden mit Hilfe eines dreidimensionalen massenkonsistenten Windmodells für das dreidimensionale hydrodynamische Modell berechnet. Da die Windgeschwindigkeit und -richtung stark von der Topographie des Bodensees und seiner Umgebung (siehe Abb. 4) beeinflusst wird, ist diese als untere geometrische Randbedingung bei der Modellierung zu berücksichtigen.

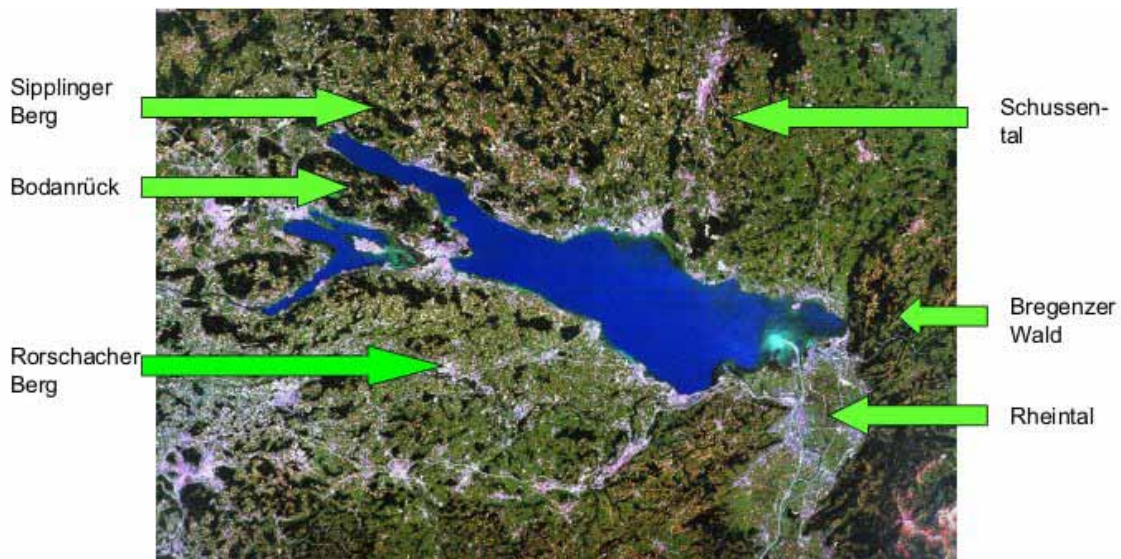


Abbildung 4: Orographie des Bodensees mit seinen topographischen Besonderheiten

Als Modelle für die Windfeldberechnung kommen zwei diagnostische Strömungsmodelle zum Einsatz: Zum einen das Modul WINDO, welches auf einem Gitter mit konstanter vertikaler Maschenweite aufbaut, und zum anderen das Modul MCF, welches auf einem geländefolgenden Gitter basiert. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Bezugssysteme unterscheiden sich die Modelle erheblich in der Art der Initialisierung des Windfeldes, was Einfluss auf das resultierende vertikale Windprofil hat. Vergleichsrechnungen mit gemessenen Windwerten auf dem Bodensee aus der Messkampagne 2001 zeigen, dass das Windmodell MCF besser geeignet ist, die gemessenen Windverhältnisse auf dem See nachzubilden, als das Modul WINDO.

5.3 Ökologisches Modell

Das Ziel der ökologischen Modellierung ist die Nachbildung der Nährstoffentwicklung und des Algenwachstums im Bodensee entsprechend den saisonalen Verhältnissen. Dazu wird das von CWR entwickelte ökologische Modell CAEDYM /2/ verwendet. Das Modell lässt sich sowohl an das eindimensionale hydrodynamische Modell DYRESM /1/ als auch das dreidimensionale Modell ELCOM /3/ ankoppeln. Beim ökologischen Modell werden für die Algen 4 funktionelle Typen unterschieden (siehe Abb. 5), die sich in große und kleine Diatomeen bzw. nicht-Diatomeen unterscheiden. Außerdem werden die für das Algenwachstum wichtigsten Nährstoffe wie der Phosphor, das Silizium und der Stickstoff mitberücksichtigt. Der

Fraß des Phytoplanktons über das Zooplankton bleibt bislang noch unberücksichtigt, ebenso die Fische, die das Ende der Nahrungskette im Bodensee darstellen.

Die Parameterkonfiguration des ökologischen Modells wurde zunächst zusammen mit dem eindimensionalen hydrodynamischen Modell für den Zeitraum 1995 bis 1997 ermittelt. Für diesen Zeitpunkt liegen aus den intensiven Messkampagnen der IGKB vergleichsweise gute Informationen zu den zufließenden Nährstofffrachten und dem Algenwachstum vor. Nachdem der Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Algenverteilungen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung gezeigt hat, wurde das ökologische Modell mit dem dreidimensionalen hydrodynamischen Modell gekoppelt und in der Messkampagne 2007 getestet.

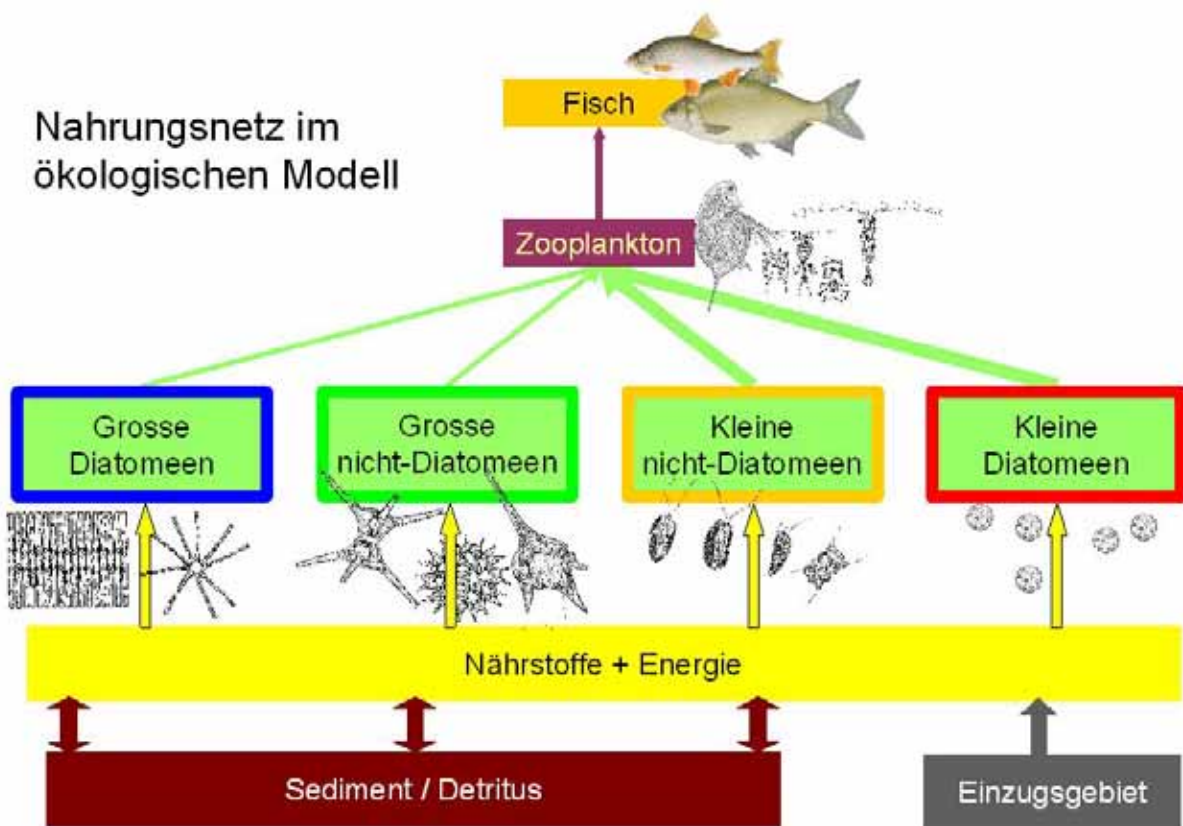


Abbildung 5: Nahrungskette des ökologischen Modells in BodenseeOnline

6. Messkampagne 2007

Die Messkampagne im Frühsommer 2007 wurde vom Verbundprojekt BodenseeOnline initiiert und gemeinsam von den Universitäten Konstanz und Stuttgart, dem Institut für Seenforschung in Langenargen und dem Zweckverband Bodenseewasserversorgung durchgeführt. Das Ziel der Messkampagne war die Erfassung der dreidimensionalen Verteilung der Algen und des Zooplanktons, Charakterisierung der dominierenden Strömungsverhältnisse und damit die Verifizierung des Modellsystems über die vertikale Temperaturverteilung, die Driftkörperbewegungen und die Phytoplanktonverteilung.

Die Messkampagne fand zwischen dem 7.5. und 11.5.2007 statt. Während des Messzeitraumes hat ein Windereignis aus Westen die hydrodynamischen Verhältnisse, wie in Abb. 6 gezeigt, maßgeblich beeinflusst. So erfolgte eine starke Durchmischung des oberflächennahen Epilimnions, das in den gemessenen und berechneten Temperaturprofilen sehr gut sichtbar ist.

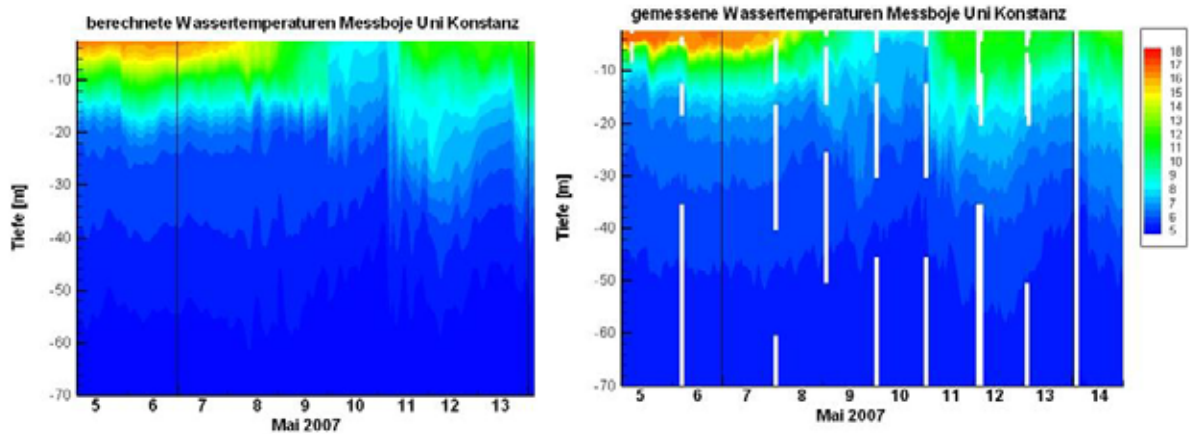


Abbildung 6: Vergleich gemessener und berechneter Temperaturprofile im Überlinger See

Auch die gemessenen Driftkörperbewegungen konnten näherungsweise mit dem Modellsystem nachgebildet werden. So zeigen die berechneten und gemessenen Driftkörperbewegungen dieselbe Strömungsrichtung, die sich um 90° von der gemessenen Windrichtung unterscheidet, und auch in etwa dieselbe Transportentfernung. Die Modellrechnungen und Messungen zum Phytoplankton- und zum Zooplanktonverteilung werden zwar derzeit noch ausgewertet, aber anhand erster Ergebnisse ist zu erwarten, dass in etwa dieselben Verteilungsmuster mit ähnlichen Chlorophyll-A-Konzentrationen in Messung und Rechnung vorhanden sind. Mit diesen Beobachtungen und der modelltechnischen Nachbildung der dreidimensionalen Verteilung des Phytoplanktons im Bodensee ist damit wissenschaftliches Neuland beschriftet worden.

7. Zusammenfassung und Ausblick

BodenseeOnline ist ein gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes interdisziplinäres Verbundforschungsprojekt. In BodenseeOnline wurde eine gemeinsame Datenbank für Mess- und Modelldaten aufgebaut. Anhand von numerischen Modellen werden die Strömungsverhältnisse und die Verhältnisse zur Wasserqualität analysiert und prognostiziert.

In einem Online-Betrieb werden die aktuellen Messdaten erfasst, als Modelleingangsdaten aufbereitet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Das Online-Modell beschreibt die dreidimensionalen hydrodynamischen Prozesse und die Entwicklung der Wasserqualität im Hinblick auf die wichtigsten Nährstoffe und das Algenwachstum. Anhand einer Messkampagne im Frühsommer 2007 wurde das Modellsystem erstmals hinsichtlich Hydrodynamik, dominanter Strömungsverhältnisse und Verteilung des Algenwachstums überprüft. Trotz meteorologisch extremer Verhältnisse konnten in der Messkampagne und im Vergleich zwischen Messung und Rechnung sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

Mit einem vom Umweltministerium Baden-Württemberg veranstalteten Informationsgespräch konnten die potenziellen Nutzer von BodenseeOnline informiert werden und deren Anregungen und Anforderungen von BodenseeOnline aufgenommen werden. Es ist geplant, aus diesem Nutzerkreis einen begleitenden Beirat für BodenseeOnline zu gründen.

Mit der Messkampagne, dem erfolgreichen Einsatz des Online-Modells während der Messkampagne und der zeitnahen Einbindung der potenziellen Nutzer konnten alle im Projektantrag definierten Meilensteine, die nach dem zweiten Projektjahr vorgesehen sind, erreicht werden und erfolgreich abgeschlossen werden.

Es ist geplant, in einer Phase II ab Mitte 2008 das Basissystem kontinuierlich zu betreiben und das Modellsystem insbesondere hinsichtlich der Mittel- und Langfristvorhersage auch unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen weiterzuentwickeln.

Das Verbundprojekt BodenseeOnline ist abgestimmt mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg (UM) und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Die LUBW mit dem Institut für Seenforschung (ISF) in Langenargen unterstützt das Verbundprojekt insbesondere durch die Bereitstellung von Daten und Informationen und wird sich im Rahmen der Phase II mit einem eigenen Teilprojekt beteiligen. Wegen der besonderen Bedeutung für die Umweltinformatik wurde BodenseeOnline in die bundesweite Kooperation Umweltinformationssysteme /6/ auf Antrag des UM am 21.09.2005 aufgenommen. Das Verbundprojekt wird unter der Beteiligung der Internationalen Bodenseekonferenz (IBK) und der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) bearbeitet.

8. Literatur

- /1/ Hamilton, D.P., Schladow, S.G. (1997): Prediction of water quality in lakes and reservoirs: Part I - Model description, Ecological Modelling.
- /2/ Hipsey, M.R., Romero, J.R., Antenucci, J.P., Hamilton, D. (2007): Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM v2, v2.2 Science Manual.
- /3/ Hodges, B.R., Imberger, J., Saggio, A., Winters, K.B. (2000): Modeling basin-scale internal waves in a stratified lake, Limnol. Oceanogr. 45(7).
- /4/ Kempke, S., Fleig, M., Lang, U., Faißt, M., Schick, R. (2005): 'Bodensee-Online' ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen - Anwendungsbezogene Aspekte aus der Sicht der Wasserversorgung - 37. Jahresbericht der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR), Seite 107-138.
- /5/ Lang, U., Breiting, T., Scheuermann, W., Achenbach, J., Obad, R., Kuhn, G., Felix, M., Rinke, K., Kempke, S.: (2006): „BodenseeOnline - Verbundforschungsvorhaben für ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen am Beispiel des Bodensees. In Mayer-Föll, R., Keitel, A., Geiger, W., Hrsg.: F+E-Vorhaben KEWA. Kooperative Entwicklung wirtschaftlicher Anwendungen für Umwelt und Verkehr in neuen Verwaltungsstrukturen. Phase I 2005/2006. Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7250., <http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/uis/kewa1/15-kup/kewa1-kup.html>
- /6/ Vereinbarung zwischen dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Umweltministerium Baden-Württemberg sowie 15 weiteren Obersten Umweltbehörden der Länder über die Kooperation bei Konzeptionen und Entwicklungen von Software für Umweltinformationssysteme (VKoopUIS) vom Dezember 2001.