

Ulrich Lang, Helmut Kobus und Hans Mehlhorn

BodenseeOnline als Entscheidungs-Unterstützungssystem

Zur Entscheidungsunterstützung bei Störfällen und Extremereignissen wurde das Informationssystem BodenseeOnline in einem Forschungsverbundvorhaben entwickelt, welches 2005 bis 2008 gemeinsam von BMBF und DFG gefördert wurde. Es liegt ein einsatzbereiter Prototyp vor, für den bereits in ersten Anwendungen die Praxistauglichkeit nachgewiesen wurde. Neben der aktuellen seeweiten Zustandsbeschreibung bietet BodenseeOnline ein breites Anwendungsspektrum mit Kurzfristprognosen für die zahlreichen Nutzer am See sowie eine gute Basis für weitergehende Betrachtungen zur Mittel- bis Langfristprognose.

1 Nutzer

Das Informationssystem BodenseeOnline dient der Entscheidungsunterstützung bei Störfällen oder bei wasserwirtschaftlichen Fragestellungen vorrangig für die lokalen Wasserwirtschaftsbehörden in den Landratsämtern, die Wasserschutzpolizei oder den Katastrophenschutz sowie für die Wasserversorgung. Darüber hinaus kann BodenseeOnline zukünftig auch allgemeine Informationen für Touristen, Segler, Schifffahrt oder Fischer liefern [1]. Alle potenziellen Nutzer sind in **Bild 1** in der Übersicht dargestellt.

BodenseeOnline enthält eine täglich aktualisierte Daten- und Methodenbank. Es liefert eine stets aktuelle seeweite Zustandsbeschreibung sowie Kurzfristprognosen des dynamischen Seezustands, die nicht nur bei Störfällen oder Extremereignissen von großer Bedeutung sind, sondern auch für vielfältige Nutzungen am See [2].

Für das Störfallmanagement werden die Entscheidungen der Nutzer mit Kurzzeitprognosen für die Strömungsverhältnisse und die zu erwartenden meteorologischen Verhältnisse unterstützt. Die Nutzer haben damit Zugang zu allen wichtigen Daten, die eine detaillierte Einschätzung der

jeweiligen Situation ermöglichen. Außerdem können alternative Maßnahmen hinsichtlich der zu erwartenden Auswirkungen auf den See abgewogen werden. Nach Schiffs- oder Badeunfällen lässt sich z. B. mit individuellen Berechnungen zur Verdriiftung von Wasserinhaltsstoffen oder Gegenständen auf dem See die Suche von Vermissten unterstützen.

Bei der Nutzung von BodenseeOnline können sowohl aktuelle Informationen oder Prognosen zur Verfügung gestellt werden als auch Daten zu den Strömungsverhältnissen, zur Meteorologie oder Wasserqualitätsinformationen aus der Vergangenheit für individuelle Fragestellungen geliefert werden. Mit der zentralen Datenbank stehen diese Informationen jederzeit über das Internet abrufbereit zur Verfügung.

Den lokalen Behörden am Bodensee oder der interessierten Öffentlichkeit der Bodenseeanrainer können Informationen zu den Strömungs- und Windverhältnissen, zu den Wassertemperaturen oder den Wellenhöhen aktuell zur Verfügung gestellt werden. Damit lassen sich beispielsweise Bootsausfahrten, Regatten oder auch Messkampagnen im Vorfeld optimal mit der Kenntnis zu den Wind-, Wellen- oder Strömungsverhältnissen planen.

Neben den in der Datenbank gespeicherten aktuellen Informationen können die Modelle aus BodenseeOnline als Basissystem für weitergehende Fragestellungen eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang sind zu nennen:

- Auswirkungen durch Einleitungen, z. B. geklärtes Abwasser, thermische Nutzungen, Verbringung von Sediment etc.,



Bild 1: Potenzielle Nutzer von BodenseeOnline

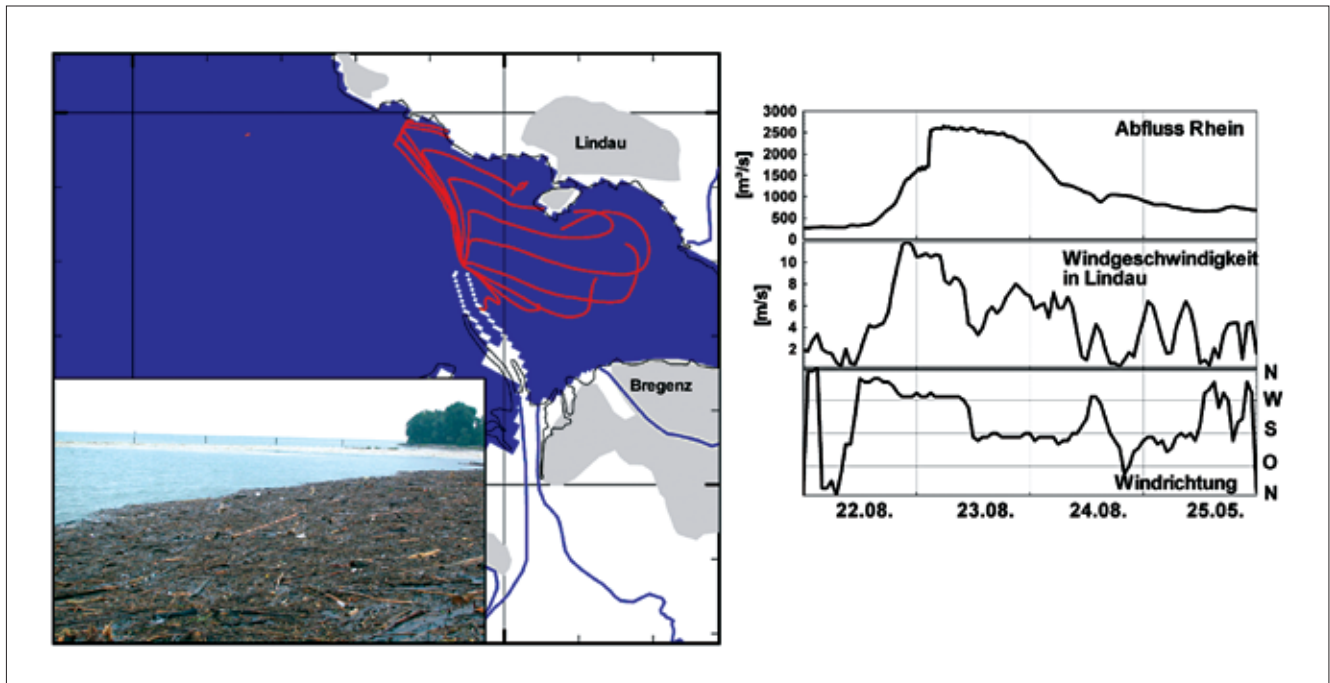


Bild 2: Berechnung von Treibholzpfaden nach dem Starkregenereignis im August 2005 bei starkem Westwind

- Veränderung der lokalen Seegeometrie, z. B. Hafeneinfahrten, Morphologieänderungen etc. und
- langfristige Entwicklungen, z. B. Änderung der Wasserqualität, Auswirkungen durch geänderten Nährstoffeintrag, Austrag von Wasserinhaltsstoffen etc.

2 Anwendungsbeispiele

2.1 Extremereignisse

Insbesondere während Extremereignissen infolge besonderer meteorologischer oder hydrologischer Verhältnisse kann es zu Gefährdungen für die zahlreichen Nutzungen des Sees kommen. Extreme Windergebnisse führen zu außergewöhnlichen Strömungsverhältnissen und sind mit großen Oberflächenwellen sowie großen internen Wellen bei geschichteten Verhältnissen verbunden, die eine verstärkte Vermischung verursachen können. Die Prognose dieser Verhältnisse, die von BodenseeOnline zur Verfügung gestellt wird, ist vor allem für die Schifffahrt von großer Wichtigkeit.

Starkregenereignisse und Hochwässer führen zu außergewöhnlichen Verhältnissen, wie dies das Hochwasser 1999 [3] und das Starkregenereignis 2005 im Alpenraum [4], [5] in jüngster Zeit gezeigt haben. Über die Zuflüsse werden einerseits erhöhte Frachten an Sediment und andererseits auch sehr viel Treibholz dem Bo-

densee zugeführt. Die hohen Sedimentfrachten führen zu starken Trübungen des Seewassers, die insbesondere auf die Trinkwasserentnahmestellen Auswirkungen haben können, wenn die suspendierten Anteile bis in den Bereich der Wasserfassungen horizontal transportiert werden oder infolge von Sedimentation in die Entnahmetiefen gelangen [5]. Für das Starkregenereignis 2005 wurden diese Prozesse von Eder et al. [4] modelliert.

Eingetragenes Treibholz wird durch die Strömungen an der Seeoberfläche und insbesondere durch den Wind transportiert. Treibholz kann zu Schäden im Uferbereich führen und es können enorme Kosten für die Beseitigung des angelandeten Treibholzes entstehen. Mit BodenseeOnline können nun die Bewegungen von Treibholzfeldern berechnet sowie über die nächsten 3 Tage prognostiziert werden und so ggf. die Treibholzfelder auf dem See lokalisiert werden. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, das Treibholz rechtzeitig noch vor Erreichen des Ufers zu entnehmen.

Hierzu ist als Beispiel in **Bild 2** der berechnete Weg von Treibholz aus dem Alpenrhein bei dem Starkregenereignis im August 2005 dargestellt. Das Treibholz wird in Strömungsrichtung des Alpenrheins an der Seeoberfläche in Richtung des nördlichen Ufers transportiert. Durch den starken Westwind, der während des Starkregens herrschte, wird das Treibholz

dann in die Bregenzer Bucht verfrachtet und sammelt sich hier am Nordufer im Bereich Lindau.

2.2 Störfälle

Das Informationssystem BodenseeOnline ist auch für den operationellen Einsatz bei Störfällen im Bodensee konzipiert. Das bedeutet, dass beispielsweise bei Ölfällen Informationen zur Verdriftung der Schadstoffe über BodenseeOnline bereit gestellt werden. Mit dem Online-Modell werden die Strömungsverhältnisse jeweils aktuell berechnet und über die nächsten 78 h prognostiziert. Daraus lassen sich die Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten im See ableiten. Anhand von Transportbetrachtungen kann auch die Bewegung von Schadstoffwolken prognostiziert werden.

Am Beispiel eines theoretischen Unfalls am Pfändertunnel, durch den z. B. Öl in die nahe gelegene Bregenzerach gelangen könnte, wurde untersucht, wie sich das potenziell verschmutzte Wasser der Bregenzerach im Bodensee verteilt. **Bild 3** zeigt die oberflächennahe Verteilung des Wassers aus der Bregenzerach 4 Tage nach dem angenommenen Unfalltermin (02.07.2007). In Folge der sommerlich geschichteten Verhältnisse im Bodensee und der warmen Zuflusstemperaturen (14 bis 16 °C) bleibt das Wasser aus der Bregenzerach im Epilimnion. Aufgrund der seeweiten Strömung fließt das potenziell verunreinigte

Wasser der Bregenzerach am Nordufer entlang und reicht bis in den Raum Friedrichshafen. Unterhalb der Thermokline ist kein Wasser aus der Bregenzerach zu diesem Zeitpunkt zu finden.

Als weiteres Beispiel, bei dem BodenseeOnline bereits eingesetzt wurde, ist ein Schiffsunglück vor Friedrichshafen im Sommer 2007 zu nennen. Nachdem das Schiff gesunken war, wurde mit Modellbetrachtungen untersucht, wohin möglicherweise austretende Schadstoffe z. B. aus dem Tank transportiert werden. Es hat sich gezeigt, dass sich diese nur sehr langsam bewegen, aber eine Gefährdung der nahe gelegenen Trinkwasserentnahme in Friedrichshafen nicht auszuschließen war. Auch aus diesem Grund wurde das Schiff im Herbst 2007 gehoben. Dafür wurde zusätzlich mit BodenseeOnline eine mögliche Gefährdung während der Hebung des Schiffes im Vorfeld der Maßnahme abgeschätzt.

3 Mittel- und langfristige Auswirkungen des Klimawandels

Mit BodenseeOnline liegt ein Instrument zur Interpretation der aktuellen hydrodynamischen Verhältnisse und der Wasserqualität am Bodensee vor. Im Hinblick auf einen vorsorgenden Gewässerschutz und vor dem Hintergrund der zu erwartenden Klimaänderung stellt sich auch die Frage nach den Auswirkungen des sich ändernden Klimas auf den See. Dazu muss das

bestehende Werkzeug für die mittel- bis langfristige Prognose erweitert werden.

Es ist vorgesehen, unter Berücksichtigung der Änderungen der meteorologischen Verhältnisse Prognosebetrachtungen für die zu erwartenden Klimawirkungen durchzuführen. Dabei stehen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie ändern sich die Antriebskräfte (Wind, Wärmeaustausch, Zuflüsse ...) für die Seeströmung?
- Wie ändert sich die Wassergüte langfristig?
- Welche saisonalen Verschiebungen sind zu erwarten?
- Wie wird die Tiefenwassererneuerung durch das Klima beeinflusst?
- Welche Auswirkungen sind für die Flachwasserzone und die Wechselwirkung mit dem Freiwasser zu erwarten?
- Wie ist das Langzeitverhalten von anthropogenen Wasserinhaltsstoffen?

Erste Untersuchungen zeigen, dass es zu saisonalen Verschiebungen kommen wird. Beispielfhaft wurden die Lufttemperaturen um 2 °C erhöht und in einer weiteren Betrachtung auch der Phosphoreintrag um 50 % erhöht, um die Wirkung auf die Schichtung und die Algenentwicklung mit Hilfe des in BodenseeOnline entwickelten 1-D-Modells zu untersuchen [6]. **Bild 4** zeigt, dass es im Vergleich zur Referenzsituation zu einer um ca. 7 Tage frühzeitigeren Algenblüte kommt. Ebenso beginnt die Schichtungsphase etwas früher. Ähnliche Untersuchungen von Peeters et al. [7] zeigen, dass bei 4 °C Temperaturer-

höhung die Algenblüte ca. 14 Tage früher anfängt. Dies verdeutlicht, dass schon moderate Änderungen deutliche Auswirkungen im See zeigen.

Eine wichtige Fragestellung bei den Klimafolgenbetrachtungen wird sein, wie sich die Temperaturen im Tiefenwasser des Bodensees entwickeln und ob eine vollständige Durchmischung und die damit verbundene Tiefenwassererneuerung seltener vorkommen wird als bisher. Wenn die Mischungsprozesse im See deutlich verändert werden, kann dies gravierende Konsequenzen für die Wasserqualität nach sich ziehen.

4 Zusammenfassung

Mit dem Abschluss des Verbundforschungsprojektes BodenseeOnline liegt ein einsatzbereites Entscheidungsunterstützungssystem für den Bodensee vor, das auch auf andere Seen übertragbar ist. Mit der täglichen Aktualisierung der seeweit erhobenen Daten und der Prognose über die nächsten 78 Stunden können aktuelle Fragestellungen bei Extremereignissen und Störfällen kurzfristig beantwortet werden. BodenseeOnline kann auch als Basissystem eingesetzt werden (ggf. in Kombination mit örtlich verfeinerten Modellen) für lokale Untersuchungen zur Bearbeitung gewässerrelevanter Problemstellungen und deren potenzielle seeweite Auswirkungen.

Danksagung

Das Verbundforschungsvorhaben wurde in den Jahren 2005 bis 2008 gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell gefördert. Hierfür gilt dem BMBF und der DFG der Dank aller Forschungspartner. Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe wurde vom Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg und der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) sowie lokalen und regionalen Datenbesitzern unterstützt. Der Dank für die Bereitstellung täglicher Online-Daten gilt insbesondere:

- dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung der meteorologischen Messdaten und der Prognosen,
- der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg mit dem Institut für Seenforschung für die Bereitstellung der hydro-

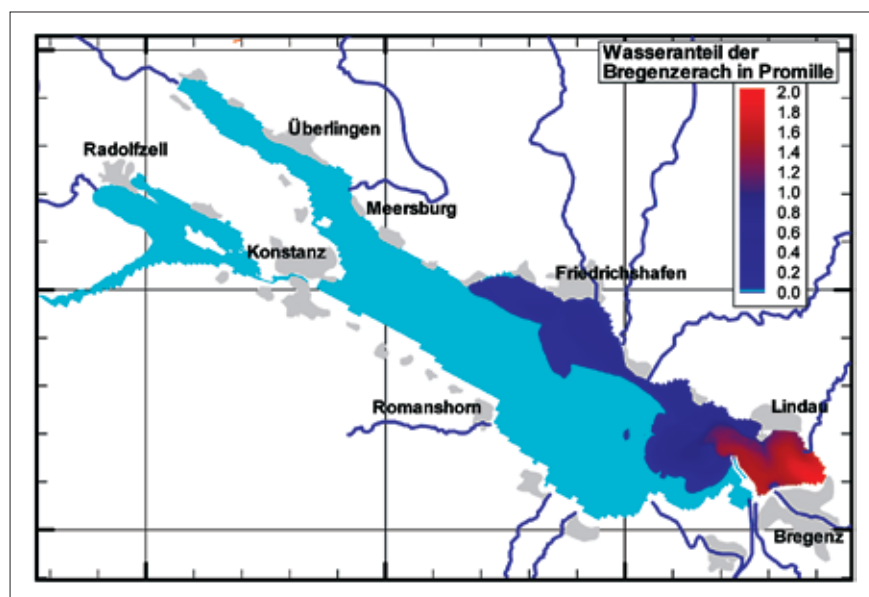


Bild 3: Verteilung des Wassers aus der Bregenzerach an der Seeoberfläche 4 Tage nach einem potenziellen Ölunfall am 02.07.2007 an der Bregenzerach

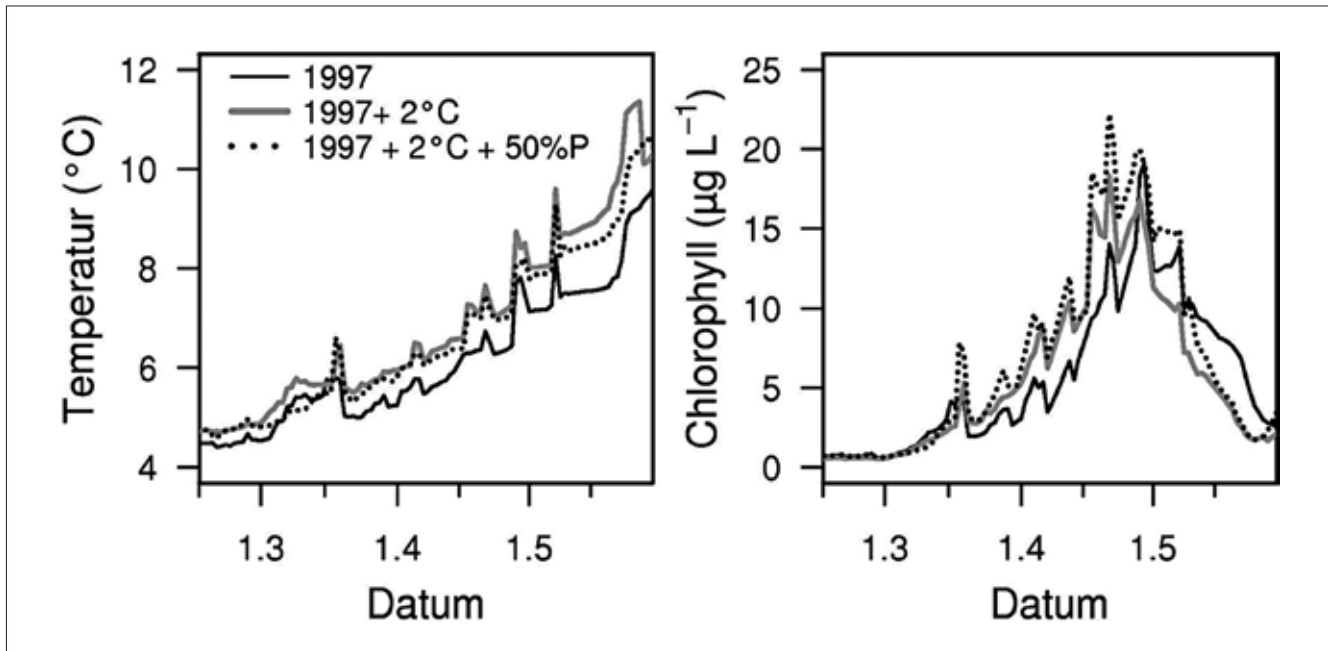


Bild 4: Zeitliche Entwicklung der Temperaturverhältnisse und der Chlorophyllkonzentration für 1997 mit den tatsächlichen meteorologischen Verhältnissen (Referenzsituation) und einer um 2 °C erhöhten Lufttemperatur sowie einem um 50 % erhöhten Phosphorzufluss bei gleichzeitiger Temperaturerhöhung um 2 °C, jeweils in 10 m Tiefe

logischen Zuflussgrößen und Wasserqualitätsdaten,

- dem Amt der Vorarlberger Landesregierung und dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt für die Bereitstellung der jeweiligen hydrologischen Zuflussgrößen,
- den Seewasserwerken für die Bereitstellung der Wasserqualitätsdaten und meteorologischen Messgrößen.

Mit den langjährigen Messreihen zur Wasserqualität, die von der IGKB erhoben werden und dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurden, konnte vor allem das Gelingen der Wasserqualitätsmodellierung sichergestellt werden.

Autoren

Dr.-Ing Ulrich Lang

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH
Wilhelmstr. 11
70182 Stuttgart
Lang@kobus-partner.com

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. h. Helmut Kobus, Ph. D.

Institut für Wasserbau
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61
70569 Stuttgart
Helmut.Kobus@iws.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Hans Mehlhorn

Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung

Hauptstraße 163
70563 Stuttgart
Hans.Mehlhorn@zvbwv.de

Literatur

- [1] Mehlhorn, H.; Kobus, H.; Schick, R.; Lang, U.: Naturschatz und Ressource Bodensee – eine wasserwirtschaftliche Herausforderung. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 12-15.
- [2] Lang, U.; Paul, T.: Zustandsbeschreibung und Prognose mit der Daten- und Methodenbank BodenseeOnline. In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 39-44.
- [3] IGKB: Das Bodenseehochwasser im Frühsommer 1999 Erfahrungsbericht, Seespiegel, <http://www.seespiegel.de/bodenseehochwasser99/index.htm>.
- [4] Eder, M.; Kobus, H.; Helmig, R.: Dreidimensionale Modellierung der Hydrodynamik im Bodensee In: Wasserwirtschaft 98 (2008), Heft 10, S. 16-21.
- [5] Kempke, S.; Fleig, M.; Lang, U.; Faißt, M.; Schick, R.: ‚Bodensee-Online‘ – ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen – Anwendungsbezogene Aspekte aus der Sicht der Wasserversorgung. In: 37. Jahresbericht der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) (2005), S. 107-138.
- [6] 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.
- [7] Peeters, F.; Livingstone, D. M.; Goudsmit G. H.; Kipfer, R.; Forster, R.: Modeling 50 years of historical temperature profiles in a large central European lake. In: Limnol. Oceanogr. 47 (2002), Nr. 1, S. 186-197.

Ulrich Lang, Helmut Kobus and Hans Mehlhorn

BodenseeOnline – a Decision Support System

The decision support system BodenseeOnline was developed in a cooperative research project, which was jointly sponsored since 2005 by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and the German Research Foundation (DFG). A prototype of the DSS BodenseeOnline for accidents, disturbances or extreme events has been developed and tested. The suitability of the decision support system for practical uses has been demonstrated in first applications. The web-based information system offers up to date information and short-term predictions for a broad spectrum of applications to local water authorities, drinking water supply companies and various users in the three riparian countries. Password protected information for the short term development is delivered to the users. Also, a basis for middle to long term prediction considerations is provided.