

## SEEZEICHEN – Tracer-Methoden zur Identifizierung von Grundwasser- und Zuflusseinschichtungen und deren Einfluss auf Wasserqualität und Trinkwassergewinnung

Das Projekt beschäftigt sich mit wesentlichen Eintragspfaden von Wasserinhaltsstoffen in Seen, wobei grundwasserbürtige Einträge, Flusswasserfahnen und oberflächliche Einträge betrachtet werden. Durch die Kombination von Mess-, Auswerte- und Modellkonzepten sollen diese detektiert, quantifiziert und Impaktzonen ausgewiesen werden. Der Forschungsschwerpunkt des Projekts liegt auf Arbeiten im Bodensee. Ergänzend werden Ammersee und Steißlinger See betrachtet, wobei der Fokus auf dem Eintragspfad Grundwasser liegt.

### KERNBOTSCHAFTEN

- Zur vollständigen Beschreibung der Stofftransportwege in Seen wurde erstmals ein gekoppeltes Modellsystem aus numerischem Grundwasser- und hochaufgelöstem 3-dimensionalen (3-dim) hydrodynamischen Seemodell entwickelt. Es dient der Untersuchung und Quantifizierung von Zuströmen, Transportwegen, Verweilzeiten und Interaktionsbereichen im hydrogeologischen Kontext und im See selbst.
- Eine Methoden-Toolbox zur Detektion und Quantifizierung von Grundwasser in Seen wurde entwickelt. Mit ihr können Grundwasserzutritte identifiziert, lokalisiert und quantifiziert werden.
- Eine wichtige Rolle bei der Betrachtung verschiedener Eintragspfade kommt dem Konzept der Wasserkörpersignaturen („fingerprint“) zu, die aus den biologischen, chemischen, physikalischen und isopenanalytischen Eigenschaften eines Wasserkörpers gebildet werden.
- Räumlich hochaufgelöste 3-dim. hydrodynamische Modelle wurden u. a. eingesetzt, um punktuelle Messungen zu interpretieren, Ausbreitungspfade zu bestimmen und ein Prozessverständnis für die komplexen Mischungs- und Transportvorgänge zu erhalten.

### HINTERGRUND UND FORSCHUNGSFRAGEN

Der Bodensee unterliegt, wie auch die beiden anderen untersuchten Seen Ammersee und Steißlinger See, einem großen anthropogenen Nutzungsdruck. Dabei gilt es, diese einzigartigen Naturräume langfristig durch vorsorgenden Gewässerschutz zu bewahren. Dies ist auch die Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Trinkwasserversorgung.

Seen allgemein sind in ein komplexes hydro(geo-)logisches System eingebettet. Die unterschiedlichen Eintragspfade, wie Flüsse, Grundwasserzutritte und atmosphärische Einträge, beeinflussen durch die Zusammensetzung ihrer Wasserinhaltsstoffe die Wasserqualität von Seen entscheidend.

Das Projekt SEEZEICHEN hat sich zum Ziel gesetzt, die Einflussbereiche dieser unterschiedlichen Eintragspfade als Impaktzonen zu identifizieren, zu charakterisieren und deren Bedeutung für den Gewässerschutz und die Trinkwasserversorgung zu beurteilen. Die Arbeitshypothese des Projekts besagt, dass sich jeder Eintragspfad physikalisch, chemisch und biologisch vom Seewasser unterscheidet, d. h. eine spezifische Wasserkörpersignatur besitzt („fingerprint“). Diese spezifischen Wasserkörpersignaturen können genutzt werden, um die Interaktion zwischen den jeweiligen Eintragspfaden und dem See zu beschreiben und Transport- und Mischungsprozesse zu quantifizieren.

### ERGEBNISSE

Basierend auf der Implementierung und Validierung eines einzugsgebietsweiten Grundwassermodells für den Bodensee konnte erstmalig die Grundwasserexfiltration für den gesamten See auf etwa  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  bestimmt werden.

Erstmals wurde eine operative Kopplung eines Grundwassermodells mit einem 3-dim hydrodynamischen Seemodell realisiert. Dies gestattet eine integrative modelltechnische Betrachtung des Gesamtsystems sowie des hydrogeologischen Kontexts (Abb. 1).

Mit umfangreichen Messkampagnen wurden der hydrogeologische Kontext und die Zuflüsse des Bodensees näher untersucht und die zeitlich hochvariablen Wasserkörpersignaturen für wesentliche Eintragspfade – oberirdische Zuflüsse und Grundwasserleiter – bestimmt.

Durch seeweite Messkampagnen, wie auch lokal hochverdichtete Messraster im Bereich von Flussmündungen, konnten sowohl seeweite Ausbreitungsprozesse als auch die auf kleinen Raum-Zeitskalen stattfindenden Transport- und Mischungsprozesse für die über unterschiedliche Eintragspfade eingebrachten Wasserinhaltsstoffe bestimmt werden. Anhand der Wasserkörpersignaturen werden mit qualitativen und quantitativen statistischen Methoden und chemischen Simulationsmodellen (PHREEQC) Transport- und Mischungsprozesse von Wasserinhaltsstoffen analysiert.

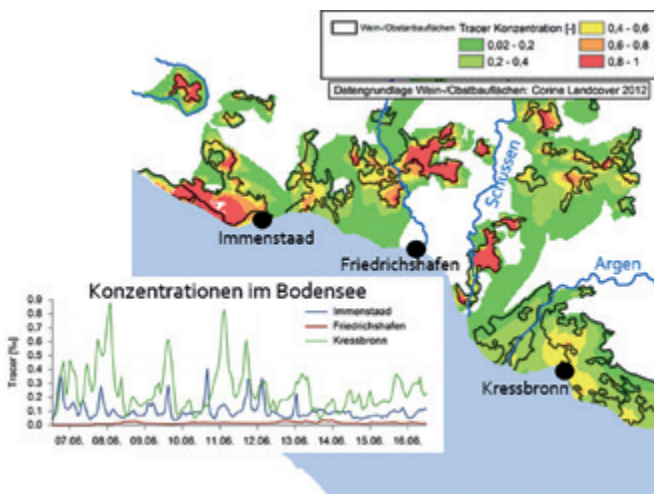


Abb. 1: Berechneter Anteil an Neubildungswasser aus Wein- und Obstbauflächen im Einzugsgebiet des Bodensees und berechneter Anteil des Grundwassers an drei ufernahen Standorten im Bodensee. Grafik: SEEZEICHEN-Konsortium

Im Bodensee wurden in den zwei sehr unterschiedlichen Arealen Birnau (Steilhang, tertiärer Grundwasserleiter) und Mehrerau (Flachwasserzone, quartärer Grundwasserleiter) Werkzeuge der Methoden-Toolbox Grundwasser (Messmethoden, Auswertekonzepte und numerische Modelle) angewandt und Grundwasserzutritte detektiert. Um punktuelle Messungen in den raum-zeitlich hochvariablen Kontext der Seedyndynamik zu stellen und besser interpretieren zu können, wurde ein 3-dim hydrodynamisches Modell (Gitterweite  $dx=10$  m) für diese Standorte aufgesetzt. Damit kann der sehr kleinräumige Einflussbereich des Grundwassers in Mehrerau an zwei Baggerlöchern auch flächig sichtbar gemacht werden. Mit einem 3-dim hydrodynamischen Modell wurde mit einem inversen Simulationsensemble der Grundwasserzufluss mit etwa jeweils 100 l/s bestimmt. Dieser Wert stimmt gut mit lokalen Ergebnissen des einzugsgebietsbasierten Grundwassermodells überein, die eine Grundwasserexfiltration von etwa 400 bis 500 l/s für den Bereich Bregenz-Mehrerau ergeben.

Ein großes Potential zur Detektion von Flusswasserfahnen im seeweiten Kontext haben die stabilen Isotope  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta\text{D}$ . Mit einem gekoppelten Modellsystem (3-dim hydrodynamischen und Tracertransport-Modell) können Transport- und Mischungsprozesse von Flusswasserkörpern im seeweiten Kontext simuliert werden.

Zudem besteht die Möglichkeit, Ausbreitungsprozesse für sehr unterschiedliche Stoffklassen mit Tracerkaskaden-Simulationen detailliert abzubilden und Impaktzonen auszuweisen. Die entsprechende Methodik wird für das operative Online-Informationssystem BodenseeOnline ([www.bodenseeonline.de](http://www.bodenseeonline.de)) angepasst und implementiert.



Abb. 2: Mit dem Forschungsschiff Kormoran auf der Suche nach anderen Wasserkörpern im Bodensee. Foto: LUBW

## FAZIT

Das Projekt SEEZEICHEN hat einen umfangreichen Kanon von Mess-, Auswerte- und Modellkonzepten auf drei sehr unterschiedliche Seen – Bodensee, Ammersee, Steißlinger See – angewandt. Die betrachteten Methodenkombinationen wurden entwickelt, um wesentliche Eintragspfade von Wasserinhaltsstoffen in Seen zu detektieren und entsprechende Ausbreitungsprozesse und Einflussbereiche quantifizieren zu können. Eine „Methoden-Toolbox Grundwasser“ liefert umfassende Informationen, um das komplexe Thema Grundwasserexfiltration in Seen qualitativ und quantitativ zu betrachten und steht für weitere Anwendungen in der wasserwirtschaftlichen Praxis bereit. Eine kompakte Dokumentation der Ergebnisse und Weiterverbreitung in die wasserwirtschaftliche Praxis wird in Zukunft im Rahmen der neu gegründeten DWA-Arbeitsgruppe „Grundwasser See Interaktionen“ erfolgen.

## KONTAKT

Landesanstalt für Umwelt,  
Messung und Naturschutz Baden-Württemberg  
Institut für Seenforschung  
Dr. Thomas Wolf | Tel.: +49 75 43 30 42 15  
[thomas.wolf@lubw.bwl.de](mailto:thomas.wolf@lubw.bwl.de)

[www.seezeichen-bodensee.de](http://www.seezeichen-bodensee.de)  
Projektlaufzeit: 01.04.2015 – 30.09.2018  
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 56