

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

### DEM BODENSEE AUF DEN GRUND GEHEN

Die Beibehaltung einer guten Wasserqualität im Bodensee ist besonders im Hinblick auf eine langfristige Sicherung der Trinkwasserqualität sowie des nachhaltigen Gewässerschutzes von großer Bedeutung. Die Herausforderung zur Erreichung dieses Ziels besteht jedoch darin, dass der drittgrößte See Mitteleuropas starken anthropogenen Einflüssen unterliegt. Neben direkten Stoffeinträgen in den See (z. B. Einleitung von Abwasser) gibt es auch indirekte Einträge, die über verschiedene Eintragspfade – Grundwasser, Flusswasser und Atmosphäre – in den See gelangen. Die übergeordneten Ziele des Projektes SEEZEICHEN sind daher, die Eintragspfade und deren Impaktzonen im See zu charakterisieren und den Einfluss der indirekten Einträge auf den gesamten See abzuschätzen. Die Arbeitshypothese des Projekts besagt, dass jeder Eintragspfad sich biologisch, chemisch und physikalisch vom Seewasser unterscheidet, d.h. eine spezifische Wasserkörpersignatur („fingerprint“) besitzt. Diese spezifischen Signaturen sollen genutzt werden, um die Interaktion zwischen dem See und den verschiedenen Eintragspfaden zu beschreiben.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Beim Projekt „Tiefenschärfe“ (ISF, 2013 – 2016) wurden topographische Strukturen am Grund des Bodensees lokalisiert, welche auf potenzielle Grundwasserzutritte hindeuten. Diese Standorte bilden im Projekt SEEZEICHEN die Schwerpunkte für die Untersuchung des Grundwassereinflusses auf die Wasserqualität des Bodensees. Eine Untersuchung der Artenzusammensetzung von Muschelkrebse (Ostrakoden) an der Sediment-Wasser-Grenze in der ersten Projekthälfte lieferte Hinweise auf Grundwasserexfiltration. An drei Standorten (Mehrerau, Birnau, Überlingen) wurden grundwasseranzeigende Arten gefunden, welche an anderen Strukturen nicht angetroffen wurden. In Mehrerau wiesen außerdem Wasserproben, welche unmittelbar über dem Seesediment entnommen wurden, typische Grundwassersignaturen von stabilen Isotopen (Wasser- und Sauerstoff) und Radon auf. Allerdings zeigte sich, dass der unterirdische Zustrom jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Daher wurden alle relevanten Standorte quartalsweise beprobt. Ergänzend wurden Wasserproben auf weitere chemische Parameter untersucht (Kationen, Anionen, Härte, seltene Erden), um zuströmendes Grundwasser umfassender charakterisieren zu können.



Messkampagne im Bereich der Flusswasserfahne der Schussen, Foto: LUBW



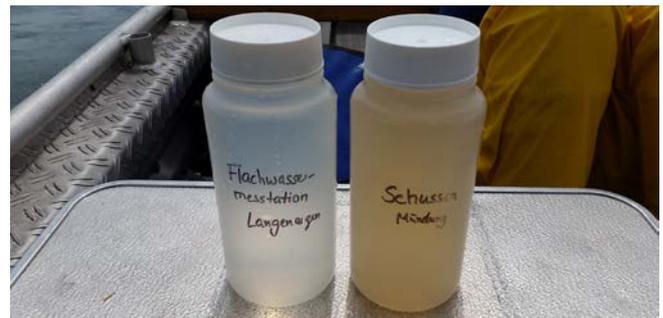
Zudem wurde eine neue Methode zur flächigen Kartierung von Temperaturanomalien am Seegrund – der thermale Kartierer – entwickelt, getestet und erfolgreich eingesetzt. Basierend auf der Annahme, dass die Grundwassertemperatur ganzjährig konstant ist, die Seewassertemperatur jedoch saisonalen Schwankungen unterliegt, sollten Standorte, an denen Grundwasser in den See exfiltriert, abweichende Temperaturen im Vergleich zur Umgebung aufweisen. Der Seegrund wurde gezielt nach Bereichen mit erhöhtem unterirdischem Zustrom abgesucht, um hier weitere quali- und quantitative Untersuchungen durchzuführen. Neben den seeseitigen Untersuchungen wurde begonnen, ein numerisches Grundwassermodell zu erarbeiten, welches eine quantitative Abschätzung des langjährigen mittleren Grundwasserzustroms in den Bodensee ermöglichen soll. Die Basis hierfür bildet die Entwicklung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells für den Bodenseeraum in dem alle systemrelevanten hydrogeologischen Parameter erfasst und charakterisiert werden.

Die Hauptlieferanten von Wasser- und Stofffrachten in den Bodensee sind die oberirdischen Zuflüsse. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristik ihrer Einzugsgebiete hinsichtlich Abflusssdynamik, Geologie und anthropogener Prägung weist jeder Fluss eine spezifische, sich vom See unterscheidende Signatur auf. Fünf repräsentative Zuflüsse (Alpenrhein, Bregenzer Ach, Argen, Schussen, Seefelder Aach) wurden quartalsweise hinsichtlich Temperatur, Leitfähigkeit, An- und Kationen, Härte, Nährstoffe, seltener Erden und Isotope beprobt. Damit soll die jahreszeitliche Dynamik identifiziert und die Kombination der Parameter ermittelt werden, welche am besten geeignet ist, den Ausbreitungsbereich der verschiedenen Flüsse im See zu beschreiben.

An der Schussen wird außerdem der Bereich, in dem eine Fluss-See-Interaktion stattfindet, direkt untersucht. Der Fluss wurde ausgewählt, da er in eine für den Bodensee ausgedehnte Flachwasserzone mündet und stark anthropogen belastet ist. Anhand eines festgelegten Messrasters wurden monatlich Temperatur- und Leitfähigkeitstiefenprofile gemessen. Diese Daten wurden anschließend für verschiedene Tiefenstufen räumlich interpoliert, um die Ausbreitung des Flusswassers darzustellen. Basierend auf den Messungen an der Schussen wurde ein numerisches Pilotmodell implementiert, welches es erlaubt, die kontinuierliche Ausbreitung der Flusswasserfahne zu beschreiben.

Außerdem wurde ein dreidimensionales hydrodynamisches Bodensee-Modell aufgesetzt, welches die Zuflüsse und die meteorologischen Steuerungsgrößen in unter-

schiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung betrachtet. In einer umfangreichen Sensitivitätsstudie wurden die Ergebnisse verschiedener Modellläufe mit gemessenen Wasserständen und Temperaturen verglichen. Damit liegt nicht nur ein Werkzeug für Langzeitsimulationen vor, sondern es können außerdem Verweilzeiten ermittelt und Ausbreitungsmuster von Stoffeinträgen aus Fluss- und Grundwasser identifiziert werden.



Wasserproben aus dem Bodensee und der Flusswasserfahne der Schussen, Foto: LUBW

## AUSBLICK

Im weiteren Projektverlauf wird die saisonale Beprobung des Bodensees und der Grundwasserzutritte mit einer Erweiterung des Methodenspektrums (z. B. Isotopen Online Screening im Bodensee, Porenwasserbeprobungen) fortgeführt. Darüber hinaus werden die gewonnenen Daten zusammengeführt und durch multiparametrische statistische Verfahren analysiert. Diese dienen zusätzlich der Optimierung und Weiterentwicklung der Modelle. Die im Rahmen des Projektes entwickelten Methoden zur Detektion von Eintragsquellen und Transportprozessen werden derzeit an anderen Seen (Steißlinger See) getestet und etabliert.

### KONTAKT

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

www.seezeichen-bodensee.de  
Projektlaufzeit: 01.04.2015 – 31.03.2018  
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 52