

# **Aufbau des Karstwasser-(G)IS im Nationalpark Berchtesgaden**

## **Einsichten in die Blackbox Karstwasser**

Inga KOSAK, Sabine HENNIG und Hans KRAFFT

### **Zusammenfassung**

Grundwasser ist eine wichtige Trinkwasserquelle. In Karstgebieten ist seine Qualität besonders bedroht. Gründe sind das häufige Fehlen einer Bodendecke, die generell geringe Filterleistung des Gesteins und die schnellen Durchflusszeiten im Untergrund. Die Aufklärung der subterranean Fließwege des Wassers ermöglicht es, Maßnahmen zu dessen Schutz zu ergreifen. In diesem Zusammenhang wird in der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden das *Karstwasser-(G)IS* aufgebaut: Um Aussagen über unterirdische Fließwege zu machen – derzeit liegen keine direkten Informationen zum Verhalten des Wassers im Untergrund vor – kommt der Integration von Daten zu Naturraumausstattung und Naturereignissen sowie der generalisierten Repräsentation der Fließwege in GIS große Bedeutung zu.

## **1 Schwierige Daten – fehlende Informationen: Karst und GIS**

GIS dient der Eingabe, Verwaltung, Analyse und Ausgabe von Geodaten. Bisher werden vor allem Phänomene der Erdoberfläche oder der nahen Erdoberfläche berücksichtigt (LONGLEY et al. 2001). Mittlerweile erlauben die erweiterten Möglichkeiten von GIS und 3D-Modellierungs-Werkzeugen die Integration unterirdischer Erscheinungen. Dies betrifft u.a. Bergbau, Geologie und Spezialthemen, wie z.B. Karstformen (vgl. FLOREA et al. 2002; OHMS und REECE 2002). Dabei ist die Verwendung von GIS besonders in der Karstforschung als relativ neuer (vgl. SZUKALSKI 2002), aber schnell wachsender Bereich zu bewerten (vgl. URL 1; URL 2).

Während der oberirdische Karstformenschatz (Dolinen, Ponore usw.) und vermessungstechnisch zugängliche Höhlensysteme durch ihren direkt zu beobachtenden Raumbezug (u.a. mittels Fernerkundung) ohne Probleme in GIS modellierbar sind (SZUKALSKI 2002) und derzeit im Mittelpunkt stehen (vgl. LYEW-AYEE 2003), gestaltet sich die Erfassung und computergestützte Verarbeitung unterirdischer Phänomene schwieriger.

Hierzu gehören Karstwasser und seine Fließwege. Das unterirdische, durch erweiterte Klüfte und Gangsystemen in verkarsteten Gebieten verlaufende, oft lösungsaggressive Wasser bildet in Europa etwa 30 % des Trinkwassers (vgl. URL 4). Seine Wege im Untergrund sind oft unbekannt und können bei wechselnden Rahmenbedingungen (z.B. Wettersituation) unterschiedlich verlaufen. Trotz des Wissens um die Existenz der subterranean Fließwege ist die konkrete Lokalisierung und der tatsächliche Verlauf im Raum bzw. im Untergrund entweder aufwändig, kompliziert oder gar nicht zu erfassen. Daten und Informationen sind in

den meisten Fällen nur unvollständig vorhanden. Eine lückenlose räumlich-dreidimensionale Kenntnis über geologische Strukturen, Störungen, Schichtungen und Höhlen wäre notwendig, um den umfassenden Schutz dieser Ressource zu ermöglichen.

## 2 Karstwasser-Markierungen im Nationalpark Berchtesgaden

Um dennoch Einsicht in die hydrologisch-hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Grundlagen des Systems Karstwasser zu gewinnen, ist die Identifizierung der bestehenden „unterirdischen Fließwege“ ein wichtiger Schritt. Die Erfassung erfolgt durch Markierungsversuche (vgl. MULL et al. 1988). Sie helfen, das unterirdische komplexe Netzwerk der Fließwege durch das Aquifer zu verstehen (MEIMANN, GROVES, HERSTEIN 2001; URL 3). Im Nationalpark Berchtesgaden, Bestandteil der Nördlichen Kalkalpen, werden seit 1989 solche Versuche durchgeführt. Die systematischen Untersuchungen der unterirdischen Fließwege des Wassers – bisher sieben Markierungsversuche – werden in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Geologischen Landesamt (GLA) an verschiedenen Gebirgsstöcken im Nationalpark Berchtesgaden vorgenommen.

Bei Karstwasser-Markierungen werden an vorgegebenen Punkten Tracer in den Untergrund eingespeist. Nach der Probenahme, die in bestimmten zeitlich variierenden Intervallen an ausgesuchten Quellen und Fließgewässern erfolgt, werden die jeweiligen Tracer-Konzentrationen im Labor ermittelt und entsprechende Berechnungen durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse beziehen sich u.a. auf Strömungsrichtungen, Abstandsgeschwindigkeiten, Verweilzeiten im Untergrund, durchflossene Grundwasserleiter, Rückgewinnungsmengen der Tracer, hydrochemische Charakterisierung und daraus abgeleitet auf Wasserqualität und -nutzbarkeit. Einblick in die Datengrundlage gibt Tabelle 1.

**Tabelle 1:** Datengrundlage Karstwasser-Untersuchungen

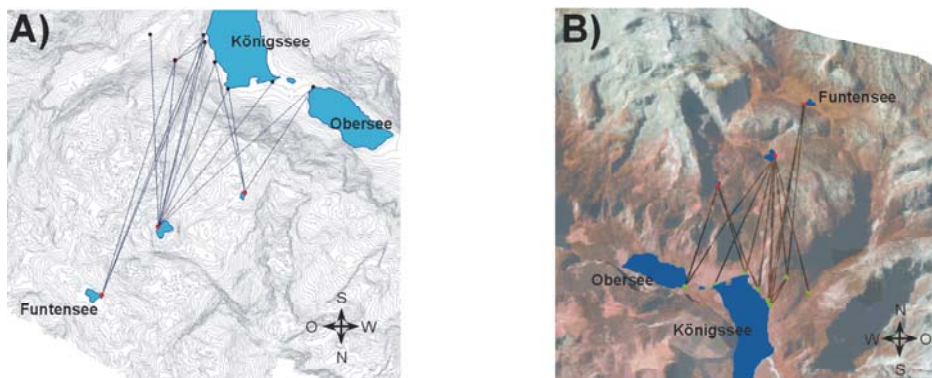
<b>Daten bzgl.</b>	<b>Beschreibung</b>
Farbeinspeisung	Einspeisepunkte, Einspeisezeiten, Tracer-Mengen etc.
Probenahme	Probepunkte/-zeiten, Tracer-Konzentr., Quellschüttungen etc.
Hydrochem. Quellbeprobungen	Probezeiten und Inhaltsstoffe etc.
Ermittelte Werte	Abstandsgeschwindigkeiten, Verweilzeiten im Untergrund, Rückgewinnungsmengen der Tracer etc.

### 3 Aufbau des Karstwasser-(G)IS

Wie bereits dargestellt, sind die genauen Verhältnisse im Untergrund unbekannt. Tracer-Versuche ermöglichen lediglich Aussagen zu den Auswirkungen der bestehenden Verhältnisse: Tracer-Auftreten und -Werte dienen als Grundlage der Identifikation und Charakterisierung der Fließwege. Durch den Aufbau eines *Karstwasser-(G)IS* wird in der Nationalparkverwaltung versucht, weitere Einblicke in die „Blackbox“ des unterirdischen Karstwasser-Systems zu geben. Grundlagen im Bereich der Hydrogeologie über das Untersuchungsgebiet sind zu schaffen und in aktueller Form mittels GIS anschaulicher darzustellen, auszuwerten und zugänglich zu machen. Der Aufbau des *Karstwasser-(G)IS* erfolgt auf Basis des bestehenden „Arbeitsumfeldes“ in der Nationalparkverwaltung u.a. mit dem (Geographischen) Informationssystem ArcGIS und dem RDBMS Oracle (vgl. StMLU 2002). Die Umsetzung wird in drei Arbeitsschwerpunkten zur Datenvisualisierung, -integration und -bereitstellung durchgeführt. Es soll zudem in das Modell der ökosystemaren Umweltbeobachtung (vgl. SCHÖNTHALER et al. 2003) der Nationalparkverwaltung einbezogen werden.

#### 3.1 Erzeugen von Geometriedaten

Um aus den im Rahmen der Karstwasser-Beprobung gewonnenen Daten und Informationen bestmögliches Wissen zu gewinnen, müssen diese für visuelle Darstellungen und räumliche Analysen aufbereitet werden. Hinsichtlich der computergestützten Umsetzung werden die Objekte der Untersuchung (Einspeise- und Probenahmepunkte, Fließwege) in GIS mittels verschiedener Geometrien repräsentiert (vgl. Abb. 1).



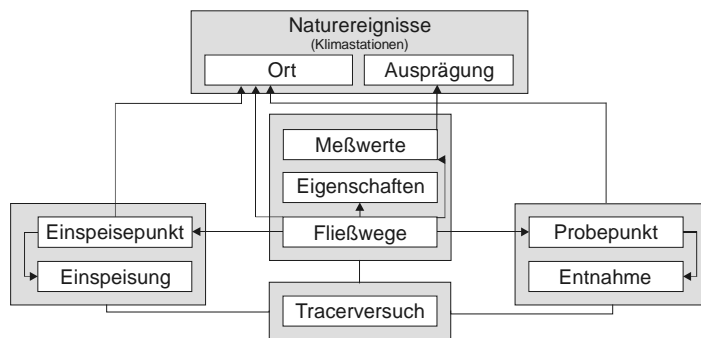
**Abb. 1:** Geometrien zur GIS-Umsetzung der Tracer-Untersuchungen bzgl. identifizierter unterirdischer Fließwege, Einspeise- und Probenahmepunkte (A: 2-dimensionale Darstellung; B: 3-dimensionale Darstellung)

Während Einspeise- und Probenahmepunkte mittels der durch GPS erfassten Punktgeometrien repräsentiert werden, sind die Tracer-Driftrichtungen, also der Fließweg zwischen den Einspeise- und Probenahmepunkten, als linienhafte Objekte zu verstehen. Das konkrete Gewässernetz im Untergrund ist unbekannt. Daher erfolgt die Transformation der Informationen zu den einzelnen Fließwegen, in starker Generalisierung der Realität, reduziert auf

die kürzeste Verbindung zwischen Einspeise- und Probenahmepunkten. Diese Umsetzung in GIS ist angelehnt an lineare Kartogramme und Netzwerke.

### 3.2 Datenmodell Tracer-Untersuchungen

Die im Rahmen der Karstwasser-Untersuchungen erhobenen und ermittelten Sachdaten (vgl. Tabelle 1), die primär in Abhängigkeit der Fließwege stehen, werden in RDBMS Oracle durch ein eigenes Datenmodell verwaltet (vgl. Abb. 2).



**Abb. 2:** Schematisiertes Datenmodell der Tracer-Untersuchungen

Das Datenmodell muss hinsichtlich der zeit- und ortsabhängigen Tracer-Konzentrationen einen Datenzugriff nach Einspeisepunkt, Probenahmepunkt, Zeitpunkt und Messwert ermöglichen. In verschiedenen Tabellen und Views werden Informationen für die Charakterisierung der verschiedenen Fließwege zwischen Einspeise- und Probenahmepunkten (Tracer-Driftrichtung), wie z.B. maximale Tracer-Konzentration, Zeitpunkt des ersten Auftretens, Dauer des Farbdurchgangs (kontinuierlich oder sporadisch) und Tracer-Rückgewinnungsmenge bereitgestellt. Ihre Visualisierung ist anhand der verschiedenen im GIS vorliegenden Geometrien (Einspeise- und Probenahmepunkte, Fließwege) möglich.

### 3.3 Integration von Daten zu Naturraum und Naturereignissen

Die Bereitstellung zusätzlicher Daten und Informationen wird benötigt. Der unterirdische Fließweg des Wassers ist in seiner räumlichen und zeitlichen Ausprägung von der naturräumlichen Ausstattung sowie Naturereignissen abhängig. Die im Rahmen der Tracer-Versuche gewonnenen Daten sind im Hinblick auf eine Interpretation mit diesen in Zusammenhang zu stellen.

#### 1. Daten zum Naturraum

Im *Karstwasser-(G)IS* werden zum einen bestehende relevante Geo-Daten zur naturräumlichen Ausstattung (vgl. STONE & SCHINDEL 2002) in ArcGIS bereitgestellt. Zum anderen werden unter Verwendung des Moduls „Arc Hydro“ in ArcGIS die für die Charakterisierung der hydrologischen Gegebenheiten an der Oberfläche benötigten Daten ermittelt (vgl. MAIDMET 2002). Tabelle 2 gibt hierzu einen Einblick.

**Tabelle 2:** Daten der naturräumlichen Ausstattung

Daten bzgl.	Beschreibung
Gelände	Höhenstufen, Exposition, Neigung, DGM usw.
Geologie	Störungen, anstehende Gesteine, Karstformenschatz, Höhlen(-eingänge) usw.
Hydrologie	Fließgewässer, stehende Gewässer, Quellen, Einzugsgebiet usw.
Klimatologie	Niederschlag, Temperatur, Schneeverhältnisse usw.
Andere	Böden, Vegetation usw.

Die Bereitstellung der Geometrien (Einspeise-, Probenahmepunkte, Fließwege) erlauben die Darstellung der im RDBMS Oracle verwalteten Sachdaten zur Charakterisierung der Tracer-Driftrichtung, der Einspeise- und Probenahmepunkte in GIS. Zudem können die hydrologischen, geologischen und klimatologischen Themen (vgl. Tabelle 2) zur Diskussion der ermittelten raum- und zeitabhängigen Fließeigenschaften herangezogen werden. Dabei bietet die 3-dimensionale Darstellung eine besondere Unterstützung zur Interpretation (vgl. Abb. 1). Es wird das Prinzip der „Scientific Visualization“ (ViSc) genutzt. Durch computergestützte Visualisierung von Datenmengen werden geeignete Repräsentationen erzeugt und somit effektivere Auswertungen ermöglicht (vgl. URL 5).

## 2. Daten zu Naturereignissen

Während die Modellierung des Raumes hinreichend in der Fachliteratur beschrieben wird, ist die Zeit als weitere Dimension häufig vernachlässigt. Für Monitoring und Verständnis ökologischer Aspekte ist die Integration temporaler Konzepte als elementar anzusehen (ROOSMAN et al. 2004). Die unterirdische Fließbewegung als naturräumlicher Prozess mit zeitlicher und räumlicher Komponente ist nicht nur von der Naturausstattung abhängig, sondern wird auch von naturräumlichen Ereignissen mit temporaler Erscheinung (Beginn und Dauer) sowie Ausprägung und Lokalisierung beeinflusst. Die Vernetzung mit anderen Datenressourcen (Naturereignisse) – vorrangig Klimadaten, insbesondere Niederschlag – wird in Abhängigkeit der zeitlichen Komponente als wichtiger Faktor für das Verständnis der „Blackbox“ Karstwasser angesehen. Abbildung 2 verdeutlicht dies beispielhaft: Über die Lokalisierung einzelner Klimastationen – in Verbindung mit dem Zeitintervall der Probenahme bzw. der zu bestimmten Zeitpunkten ermittelten Tracer-Konzentration – können die Niederschlagsverhältnisse zur Interpretation der Fließwege und deren Eigenschaften hinzugezogen werden.

## 4 Ausblick

Das *Karstwasser-(G)IS*, primär in Funktionen zur Interpretationsunterstützung, dient dem Aufbau eines Planungswerkzeuges „Karstwasser-Management“. Unter Beachtung von Expertenwissen sind bedingt räumliche Analyseverfahren möglich. Angestrebt wird, die zeitliche Komponente u.a. der Tracer-Konzentrationen und Naturereignisse weitergehend auch in GIS zu integrieren. Festzuhalten ist, dass das „Zusammenspiel“ von GIS und Karst(-wasser) erst am Anfang steht. Bisherige Überlegungen und Umsetzungen sind als ein erster Schritt zu werten.

## Literatur und URL-Liste

- FLOREA, L. J., PAYLOR, R. L., SIMSON, L. & J. GULLEY (2002): Karst GIS Advances in Kentucky. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1), 58-62
- LONGLEY, P., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J. & D. W. RHIND (2001): *Geographic Information Systems and Science*. John & Sons
- LYEW-AYEE, P. (2003): *The Karst Geomorphology of the Cockbit Country Region, Jamaica*. International Conference on Karst Hydrology and Ecosystems, Bowling Green, Kentucky, USA
- MAIDMENT, D. R. (2002): *Arc Hydro. GIS for Water Resources*. ESRI Press, Redlands
- MEIMANN, J., GROVES, C. & S. HERSTEIN (2001): *Cave Dye Tracing and Drainage Basin Divides in the Mammoth Cave Karst Aquifer, Kentucky*.  
[http://water.usgs.gov/ogw/karst/kigconference/jm\\_incavedye.htm](http://water.usgs.gov/ogw/karst/kigconference/jm_incavedye.htm)
- MULL, D. S., LIEBERMANN, T. D., SMOOT, J. L. & L. H. WOOSLEY (1988): *Application of Dye-Tracing Techniques for Determining Solute-Transport Characteristics of Groundwater in Karst Terranes*. <http://www.karstwaters.org/files/dyetracer.pdf>
- OHMS, R. & M. REECE (2002): *Using GIS to Manage Two Large Cave System, Wind and Jewel Caves, South Dakota*. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1), 4-8
- ROOSMAN, R., NICKEL, S., BUSCH, W., GORCZYK, J., MAUERSBERGER, F. & P. VOSEN (2004): *GIS-Einsatz im Rahmen eines Monitorings bergbaubedingter Umwelteinwirkungen*. In: SCHRENK, M. (Hrsg.): *CORP 2004 & Geomultimedia 04*. Wien
- SCHÖNTHALER, K., MEYER, U., POKORNY, D. et al. (2003): *Ökosystemare Umweltbeobachtung. Vom Konzept zur Umsetzung*. Erich-Schmidt-Verlag, Berlin
- STMLU – BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (2002): *Nationalparkplan*.  
<http://www.habitalp.de/nationalparkplan/index.html>
- STONE, D. & G. SCHINDEL (2002): *The Application of GIS in Support of Land Acquisition for the Protection of Sensitive Groundwater Recharge Properties in the Edwards Aquifer of South-Central Texas*. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1), 38-44
- SZUKALSKI, B.W. (2002): *Introduction to Cave and Karst GIS*. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1)
- URL 1: <http://www.conservationgis.org/cave.html>
- URL 2: [http://www.esri.com/industries/cavekarst/cavekarst\\_eneews\\_0601.html](http://www.esri.com/industries/cavekarst/cavekarst_eneews_0601.html)
- URL 3: <http://www.uky.edu/KGS/water/research/kaatlas.html>
- URL 4: [http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt\\_naturschutz/bericht-17554.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-17554.html)
- URL 5: <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de>