

# Karstwasserschutz und Vulnerabilität – Entwicklung eines Modells in den Karnischen Alpen

Georg CICHOCKI, Hartmut ZOJER & Hans ZOJER

## 1. Zielsetzung

In der Hydrogeologie spielt die Infiltration von Wasser in den Untergrund und die Exfiltration eine bedeutende Rolle. Vor allem im Bereich der Trinkwasserversorgung – im speziellen in der Festlegung von Schutz- und Schongebieten – ist die Kenntnis über den Wasser- und Stofftransport sehr wichtig. Deshalb werden schon seit Jahrzehnten Untersuchungen über die Sickerwege und –geschwindigkeiten von Wasser durchgeführt. Im Hinblick auf die Sicherung und den Schutz der Resource Wasser gewinnen insbesondere Kluft- und Karstgebiete eine immer größere Bedeutung für die Wasserversorgung. Eine Dimensionierung des Quellschutzgebietes ist aber bekanntlich in Gebieten mit Karstwasservorkommen aufgrund der schnellen Fließbewegung des Wassers nicht immer einfach. Die Auslegung der „60 Tage – Grenze“ für die Dimensionierung der Schutzzone II ist allerdings in diesem Aquifer zumeist nicht anwendbar und wird deshalb seit den letzten Jahren mit Hilfe der Frage der Vulnerabilität eines Gebietes neu bewertet.

Das Ziel dieses Projektes ist es, ein für alpine Räume gängiges Vulnerabilitätsmodell zu entwickeln. Dadurch soll die Frage der Dimensionierung von Schutz- und Schongebieten neu überarbeitet und verbessert werden. Zusätzlich wird dadurch die Landnutzung in alpinen Räumen optimiert und dadurch das Schadenspotential für Karstgrundwasserkörper minimiert.

## 2. Vulnerabilität

Die Frage der Vulnerabilität steht seit den letzten Jahren immer mehr im Mittelpunkt der internationalen hydrologischen Forschungen. Es wurden auch bereits mehrere Methoden zur Vulnerabilitätskartierung entwickelt (z.B.: EPIK, GERMAN APROACH), die allerdings entweder noch nicht ausreichend getestet wurden, oder deren Anwendung sich nur auf spezielle Untersuchungsgebiete beschränkt. Um nun eine Vulnerabilitätskartierung in hochalpinen Karbonatgesteinen durchführen zu können, wurde in Österreich im Zuge der Diplomarbeiten von G. Cichocki und H. Zojer ein erstes Konzept mit folgenden Bewertungskriterien erarbeitet:

- Boden
- Hangneigung
- unkonsolidierter Fels
- Infiltration
- konsolidierter Fels
- Exfiltration
- Verweilzeit des Wassers

Dem 1995 von der Europäischen Kommission abgeschlossenen Projekt zum Karst- und Grundwasserschutz „COST action 65“ folgte 1997 das Projekt „COST action 620“, das sich zum Ziel gesetzt hat, Methoden zur Bewertung und Kartierung der dem jeweiligen Gestein eigenen Vulnerabilität zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurden das von DOERFLIGER, N. & F. ZWAHLEN (1997) für den Schweizer Jura entwickelte Konzept EPIK und die in Deutschland herausgearbeitete Methode von HOYER, M. VON & B. SÖFNER (1998) sowie die österreichische Methode (CICHOCKI G. & H. ZOJER) ins Leben gerufen. Diese Konzepte werden laufend weiterentwickelt und ihre Anwendung getestet. Ein aktueller Beitrag liegt von GOGU, R.C. & A. DASSARGUES (2000) vor.

Diese Methode zur Bewertung der Vulnerabilität wird nun als Grundlage für weitere Überlegungen eingesetzt. Der Unterschied des österreichischen Ansatzes zu den anderen Konzepten liegt in der genaueren Bewertung der Infiltration und Exfiltration, wodurch die Grundwasserwege in Karbonatgesteinen besser und objektiver erfaßt werden sollen.

Für das Projektgebiet wurden zwei Testgebiete in den östlichen Karnischen Alpen herangezogen, die unterschiedlichen ökologischen Beeinflussungen ausgesetzt sind:

- Anthropogen beeinflusste Region:

Schiregion Naßfeld-Rudnigalm: An den Quellen im Bereich von Schipisten soll der anthropogene Einfluss durch die Änderung mitberücksichtigt und analysiert werden. Die Geologie besteht in diesem Bereich vorwiegend aus mesozoischen Kalken, die von „wasserstauenden“ Schiefergesteinsschichten unterlagert werden. In einigen Bereichen wird diese Gesteinsabfolge durch Blockschutt- und Moränenablagerungen überprägt.

- Anthropogen unbeeinflusste Region:

Gebiet nördlich des Trog- und -Zweikofels: Dieses Gebiet blieb bislang von anthropogenen Einflüssen (die Landnutzung betreffend) verschont und weist eine ähnliche Geologie wie im Bereich der Schiregion Naßfeld-Rudnigalm auf.

### 3. Grundlagen des österreichischen Methodenansatzes für hochalpine Bereiche

#### a) *ein besseres Verständnis der Infiltration von Wasser in Karbonatgesteinen:*

Dabei werden vor allem die Veränderungen der chemisch – physikalischen Eigenschaften und die unterschiedlichen Sickerwege und –geschwindigkeiten der Infiltrationswässer vom Eintritt in die Bodenzone bis zum Austritt an Quellen untersucht. Überdies wird angestrebt, Kenntnisse über den Wassertransport unter bestimmten Infiltrationsbedingungen (Gegensatz von anthropogen beeinflussten Bereichen zu natürlich belassenen Arealen) in Karbonatgesteinen und deren Überdeckungen zu erlangen.

*b) eine Überprüfung der Infiltrationsbedingungen durch Beobachtung der Exfiltration:*

Mittels mehrerer Messreihen von aus Niederschlagsereignissen gewonnenen Ganglinien werden die Abflusskomponenten separiert und Aussagen zum Speicherverhalten des Systems getroffen, woraus sich ein Konnex zu den Ergebnissen der Infiltration ableiten lässt.

*c) eine kritische Diskussion über die Anwendbarkeit bisheriger Speichermodelle für Karbonatgesteine:*

Dabei soll mit Hilfe bereits bestehender Wassertransport-, Speicher- und Mischungsmodelle die Dynamik von Wasser in Karbonatkomplexen dargestellt und deren Grenzen aufgezeigt werden.

*d) ein auf andere Gebiete übertragbares Konzept einer Vulnerabilitätsbewertung für hochalpine Karbonatregionen:*

Eine anfängliche Idee wurde bereits im Zuge der Diplomarbeiten von G. CICHOCKI und Ht. ZOJER entwickelt. In einem synoptischen Ansatz wird eine genaue Bewertung dieses Konzeptes vorgenommen und die Anwendbarkeit überprüft. Die Abstufung eines Gebietes in unterschiedlich verletzbare Bereiche soll schließlich für eine Beurteilung und Festlegung einer nachhaltigen Bewirtschaftung stark belasteter Hochgebirgsregionen herangezogen werden.

#### **4. Methodische Schritte**

Um die Dynamik des Wassers in einem Karbonatkomplex genau untersuchen zu können, müssen jene Parameter gemessen werden, die zum einen den Wassertransport und zum anderen den Stofftransport repräsentieren. Dafür eignen sich vor allem Isotopen- und chemische Analysen.

Zusätzlich werden Tracertests durchgeführt, um einen Überblick über die Verweilzeit des Wassers in Abhängigkeit zur Größe des Einzugsgebietes zu erlangen. Alle diese Untersuchungen können z.B. im Bereich des Rudniggrabens dazu führen, festzustellen, welche Quellen von anthropogenen Einflüssen, wie etwa Kunstschneeauftrag an Skipisten oder Almwirtschaft, betroffen sind. Diese Kenntnis ist vor allem für die Fragestellung wichtig, inwieweit derartige Naturveränderungen den Wasserhaushalt verändern.

Unter Berücksichtigung der Verdunstung und Vegetation werden die Isotope im Wasser zur Beschreibung der Infiltration herangezogen. Dadurch ist es möglich, den Wassertransport im Gesamtsystem Überdeckung – konsolidierter Fels abzuschätzen und die Herkunft der Quellwässer und deren Beeinflussung durch Niederschlagsereignisse genauer zu bestimmen.

Anhand eines neuen Konzeptes soll die Verkarstung und Trennflächenausbildung im Karbonatgestein mit Hilfe der Hydrogeologie im Vergleich zur Strukturgeologie untersucht werden. Um eine subjektive Beurteilung der Wasserwegigkeit über Klüfte

und korrosive Erweiterungen einer geologischen Einheit zu umgehen, wird versucht, durch die Beziehung zwischen Anzahl/Dichte der Quellen und der Fläche der geologischen Einheit auf das Trennflächengefüge rückzuschließen.

Einen weiteren Schwerpunkt zur Untersuchung des Wasserhaushaltes von Karbonat-aquiferen stellt die Exfiltration von Grundwassersystemen dar. Insbesondere können Ganglinien Hinweise zum Speicherverhalten von Grundwasserkörpern im Festgestein geben. Mittels erweiterter Berechnungsmethoden des Auslaufkoeffizienten (vergl. Auslaufkoeffizient  $\alpha$  nach MAILLET) soll der Zwischenabfluss nach mathematischer Analyse vom Basisabfluss abgetrennt werden. Einzelne Abflussereignisse werden ausgewählt und Abflussganglinien in Bezug zum Niederschlag gestellt. Abflussganglinienseparation und stoffbezogene Komponententrennung sollen Hinweise auf die Wasserzirkulation und die jeweiligen Abflussanteile (Basisabfluss, Zwischenabfluss, Direktabfluss) im System geben. Dabei wird nicht nur der Ganglinienabfall (die Entleerung des Systems) beobachtet und ausgewertet, sondern auch der Anstieg der Kurve (die Auffüllung des Wasserspeichers) analysiert.

## 5. Ergebnisse aus dem Naßfeldgebiet

### a) Boden

Zur Beurteilung des Faktor Boden wird die nutzbare Feldkapazität (nFK) herangezogen. Die Bodenkennwerte wurden aus der Bodenkarte Österreichs (Maßstab 1:100.000) entnommen und mit den unterschiedlichen Gesteinseinheiten korreliert. In den Dolomiten und Kalken, die meist von Rendsinen überlagert werden, wird die nFK mit sehr gering bis gering geschätzt. Eine geringe bis mittlere nutzbare Feldkapazität ist Rankern und seichtgründigen silikatischen Braunerden eigen, meistens assoziiert mit Schiefen und Sandsteinen. Rendsinen und Braunerden hingegen, die über Moränen lagern, weisen örtlich, besonders über silikatischen Moränen, eine hohe Feldkapazität auf.

### b) Hangneigung

Im Rahmen der Vulnerabilitätsbewertung spielt die Hangneigung eine beachtliche Rolle, weil sie andere Parameter, wie z.B. Boden und Infiltration, beeinflusst. Die Steilheit der Hänge im Untersuchungsgebiet bedingt einen nennenswerten Oberflächenabfluss bei Starkregen, der in weiten Bereichen in den anlagernden Schuttfächern versickert.

### c) unkonsolidierte Überdeckung

Die Korngrößenverteilung, die Kompaktion der Mineralien, der geologische Inhalt (im Hinblick auf den Ionenaustausch) und damit die Wasserdurchlässigkeit im Untersuchungsgebiet bilden die Grundlage für eine Bewertung, wobei folgende Klassen, bezogen auf eine einheitliche Mächtigkeit, unterschieden werden können:

- Blockschutt
- Hangschutt mit Kalkkomponenten
- Hangschutt mit Dolomitkomponenten
- Hangschutt mit Schieferkomponenten
- quartäre Ablagerungen mit einem karbonatischen Hauptgemengeanteil
- quartäre Ablagerungen mit einem silikatischen Hauptgemengeanteil

Die Schwierigkeit, ähnlich wie beim Faktor Boden, liegt in der Abschätzung der Sedimentmächtigkeit. Sie muss für den Vulnerabilitätsansatz in jedem Fall berücksichtigt werden, denn je länger das Sickerwasser in dieser Zone verweilt, desto stärker können mechanische, physikochemische und mikrobiologische Prozesse auf das Wasser einwirken und daher besser Schadstoffe abbauen.

#### *d) Infiltration*

Der Parameter Infiltration wird vor allem über die Wasserbilanzgleichung bestimmt. Für die Berechnungen wurden die Niederschlagsstationen Förolach und Naßfeld sowie die Abflusskennwerte Garnitzenbach und Oselitzenbach herangezogen. Die Verdunstung wurde nach mathematischen Verfahren mit 21% bestimmt und der unterirdische Abfluss, gleichgesetzt mit der Infiltration, über die Abflussrezession an den beiden Bächen berechnet. Die mittlere Infiltrationsrate liegt knapp über 500 mm.

#### *e) konsolidierter Fels*

Grundlage für diese Bewertung sind das Trennflächengefüge, Karsterscheinungen und Massenbewegungen. Um eine subjektive Beschreibung der Klüftigkeit zu umgehen, wird versucht, durch die Beziehung zwischen der Quelledichte und den geologischen Einheiten auf das Trennflächengefüge zu schließen.

#### *f) Exfiltration*

Die mathematische Analyse von Abflussereignissen führt zur Berechnung des Speicherverhaltens von Aquifern. Somit kann auf die Wasserwegigkeit des gesamten Gebietes ohne Unterscheidung der Einzelparameter Boden – Überdeckung – Fels geschlossen werden. Unter Berücksichtigung des Auslaufkoeffizienten wurde berechnet, dass bei monatlichem Niederwasser (MoMNQ) etwas mehr als 2 Mio m<sup>3</sup> als auslaufbares Volumen unterirdisch gespeichert sind. Weitere Ansätze für die Exfiltration sind Dauerbeobachtungen ausgewählter Parameter bei Quellen, die auch die jahreszeitliche Dynamik des Abflusses einschließen.

#### *g) Verweilzeit des Wassers*

Dieser Faktor dient lediglich der Kontrolle der anderen Parameter.

## 6. Zusammenfassung

Die in der österreichischen Methode zur Bestimmung der Vulnerabilität verwendeten Untersuchungskriterien unterscheiden sich in einigen Punkten von den bereits bestehenden Konzepten:

### *a) Boden*

Schweiz (EPIK): Aussagen über Bohrlochbeschreibungen und Auswertung von Bodenproben

Deutschland: nutzbare Feldkapazität und bodenkundliche Kartierungen

Österreich: nutzbare Feldkapazität und bodenkundliche Kartierungen

### *b) Hangneigung*

Schweiz (EPIK): Computermodelle über Hangneigung; Verbindung zur Infiltration

Deutschland: geht nicht ein; Annahme einer horizontalen Fläche

Österreich: über Karten und GIS

### *c) unkonsolidierte Überdeckung*

Schweiz (EPIK): ähnlich wie bei der Beschreibung des Bodens

Deutschland: Kationenaustauschvermögen

Österreich: Ionenaustausch; Unterscheidung der Ablagerungen und deren Mächtigkeit

### *d) Infiltration*

Schweiz (EPIK): wird über die Hangneigung berechnet

Deutschland: berechnet über die Wasserbilanz und Neubildungsrate

Österreich: Bestimmung über die Wasserbilanz und über das MoMNQ

### *e) konsolidierter Fels*

Schweiz (EPIK): Epikarst und Kluftnetz

Deutschland: Gesteinsstruktur

Österreich: Gesteinsstruktur und Quelldichte/Schüttung

### *f) Exfiltration*

Schweiz (EPIK): nicht erwähnt

Deutschland: nicht erwähnt

Österreich: Schwankungen von Messparametern; Rezessionsanalyse des Abflusses

### *g) Verweilzeit*

Schweiz (EPIK): nicht erwähnt

Deutschland: Isotopenmessungen zur Berechnung des Wasseralters

Österreich: Isotopenmessungen zur Berechnung des Wasseralters

## Literatur

- CICHOCKI, G. (1999): Zur Hydrogeologie der östlichen Karnischen Alpen (Egger Alm – Poludnig – Oisternig) Untersuchungen zur Vulnerabilität von (Karst-) Aquiferen. Diplomarbeit an der K.F.-Uni Graz.
- DOERFLIGER, N. & F. ZWAHLEN (1997): Méthode de détermination des zones de protection en régions karstiques, Cartographie multicritère de la vulnérabilité (méthode EPIK. Rapport pour le service Hydrogéologique et Géologique National (OFEFP).
- DOERFLINGER, N., P.-Y. JEANNIN et.al. (1999): Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, Springer Verlag, 1999.
- GOGU, R. C. & A. DASSARGUES (2000): Sensitivity analysis for the EPIK method of vulnerability assessment in a small karstic aquifer, Southern Belgium. *Hydrology Journal* (2000) 8: 337-345. Springer Verlag.
- VON HOYER, M. & B. SÖFNER (1998): COST Action 620: Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate Areas of Germany- BA für Geowissenschaften u. Rohstoffe Hannover, Archiv Nr.117 854, Hannover 1998.
- ZOJER, H. et al. (1996): Erfahrung mit dem Einsatz von Umwelttracern in der Abflußanalyse. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, (Zur Interpretation in Garmisch – Partenkirchen), Heft 5/6, Springer, Wien – New York 1996.
- ZOJER, Ht. (1999): Hydrogeologische Untersuchungen in den Karnischen Alpen zwischen Rudnigbach und Garnitzenbach – Vulnerabilitätskartierung alpiner (Karbonat-) Aquifere. Diplomarbeit an der Karl-Franzens und Technischen Universität Graz.

### Autoren:

Mag. Georg CICHOCKI  
Mag. Hartmut ZOJER  
Univ.Prof.Dr. Hans ZOJER

Joanneum Research Graz  
Institut für Hydrogeologie und Geothermie  
ihg @ joanneum.ac.at