

# Hydrogeologische Untersuchungen am Stoderzinken: kombinierte Analyse von Infiltrations- und Entwässerungsvorgängen in einem Karstaquifer

Von Daniel ELSTER<sup>1</sup>, Steffen BIRK<sup>1</sup>, Markus HERNDL<sup>2</sup> & Gerfried WINKLER<sup>1</sup>  
Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle

Angenommen am 26. September 2012

**Summary: Hydrogeological investigations at the Stoderzinken: combined analysis of infiltration and drainage processes of a karst aquifer.** – Karst aquifers are important for the global and national drinking water supply. Storage capacity and drainage dynamics of those aquifers can vary over a wide range of magnitude based on geology and different types of carbonate rocks. Different investigation methods enable the characterization of complex karst aquifers as shown by the example Stoderzinken. The drainage system of the Stoderzinken was investigated using an integrated methodology comprising hydrogeological field mapping, hydrograph analyses and hydrochemical analyses of selected springs. In combination with a water balance (groundwater recharge), it was possible to identify different drainage systems. A conceptual hydrogeological model was developed considering the geology of the investigation area. The north and the east part of the Stoderzinken belong to the Gröbmingbach catchment and are dominated by Dachstein limestones while the southern and western part, drained by the Gradenbach are dominated by Wetterstein dolomite. The Dachstein limestone was characterized as a typical karst aquifer with a low storage capacity and the Wetterstein dolomite as a slightly karstified fissured aquifer with a higher retention potential. In addition it was shown, that just a very small part of the groundwater recharge in the Gröbmingbach catchment is drained by the Gröbmingbach. However, the remaining part is drained by a wide spread karst system to the north. The yearly discharge of the Gradenbach has a much higher percentage of the estimated yearly groundwater recharge of the catchment and shows smaller recession coefficients than the Gröbmingbach. This indicates nearly no or just a local karstification. The results of this study support similar observations in neighbouring catchments.

**Zusammenfassung:** Karstgrundwasserleiter sind für die globale und nationale Trinkwasserversorgung von großer Bedeutung. In Abhängigkeit der geologischen Verhältnisse und der unterschiedlichen Karbonatgesteine können die Speicherfähigkeit und die Entwässerungsdynamik der Grundwasserleiter stark variieren. Unterschiedliche Untersuchungsmethoden ermöglichen eine Beschreibung komplexer Karstsysteme, wie am Beispiel Stoderzinken gezeigt werden kann. Das Entwässerungssystem des Stoderzinkengebietes wurde mit Hilfe hydrogeologischer Geländeaufnahmen, Hydrographenanalysen und hydrochemischer Daten ausgewählter Quellwässer charakterisiert. In Kombination mit einer Wasserbilanz konnten unterschiedliche Entwässerungssysteme für das Karstsystem Stoderzinken differenziert werden. Die Verbindung mit der Kenntnis des geologischen Aufbaus ermöglichte die Erstellung eines konzeptionellen Entwässerungsmodells. Es zeigte sich, dass die Entwässerung nördlich bis östlich des Stoderzinken über den Gröbmingbach von Dachsteinkalk und westlich und südlich des Stoderzinken über den Gradenbach von Wettersteindolomit dominiert ist. Der Dachsteinkalk konnte als Karstaquifer mit einem viel geringeren Retentionsvermögen und der Wettersteindolomit als gering verkarsteter Kluftaquifer mit besseren Speichereigenschaften klassifiziert werden. Es zeigte sich auch, dass das infiltrierte Wasser im Einzugsgebiet Gröbmingbach nur zu einem sehr geringen Teil über diesen entwässert, fast der gesamte Teil fließt vermutlich über ein weitreichendes Karstsystem nach Norden ab. Der jährliche Abfluss des Gradenbachs entspricht einem wesentlich größerem Teil der jährlichen Grundwasserneubildung

<sup>1</sup> Daniel ELSTER, Steffen BIRK, Gerfried WINKLER, Institut für Erdwissenschaften, Universität Graz, Heinrichstraße 26, 8010 Graz.

E-Mail: elster.d@gmail.com, steffen.birk@unig-graz.at, gerfried.winkler@uni-graz.at

<sup>2</sup> Markus HERNDL, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, 8952 Irdning.

E-Mail: markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at

des Einzugsgebietes und weist wesentlich kleinere Auslaufkoeffizienten auf, was auf eine geringe und nur sehr kleinräumige Verkarstung hinweist. Diese Erkenntnisse bestätigen Untersuchungsergebnisse aus benachbarten Gebieten.

## 1. Einleitung

1995 lebten noch 7% der Weltbevölkerung in Ländern mit Wassermangel. Prognosen für das Jahr 2025 weisen bereits zwischen 35% und 52% aus, ohne die Auswirkungen der Klimaänderung einzuberechnen (ARNELL 2002). Der theoretische nutzbare erneuerbare Süßwasservorrat Österreichs beträgt derzeit etwa 84 Mrd. m<sup>3</sup>/a bei einem Verbrauch von nur 2,6 Mrd. m<sup>3</sup>/a (BRANDSTETTER & al. 2007). Etwa 50% des österreichischen und etwa 25% des globalen Trinkwassers wird aus Karstgrundwasserleitern (Karstaquifern) entnommen. Besonders die Nördlichen Kalkalpen tragen erheblich zur regionalen aber auch überregionalen Trinkwasserversorgung in Österreich bei. Für den Schutz und für die nachhaltige Nutzung dieser Wasserressourcen ist das Verständnis des Prozesses und der Dynamik der Grundwasserneubildung (Infiltration) und der Entwässerungsdynamik (Exfiltration) unumgänglich.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein komplexes Karstsystem am Beispiel Stoderzinken hydrogeologisch zu charakterisieren und somit Grundlagen für ein besseres Verständnis der Grundwasserneubildungsdynamik zu erarbeiten. Zu diesem Zweck werden grundlegende Daten sowohl zu Infiltrations- wie Entwässerungsvorgängen erhoben, aufbereitet und ausgewertet. Um ein hydrogeologisches System zu charakterisieren und die Fließdynamik des Aquifers verstehen zu lernen, müssen sowohl seine „statischen“ als auch seine „dynamischen“ Komponenten erfasst werden (REICHL & al. 2002). Der geologische und tektonische Aufbau mit unterschiedlichen Gesteinseinheiten und deren hydraulischen Eigenschaften bildet den „statischen“ Festkörper, der vom Wasser, der „dynamischen“ Komponente, durchflossen wird. Das Abflussverhalten sowie die hydrochemische und isotopenhydrologische Zusammensetzung der austretenden Grundwässer (meist Quellwässer) ermöglichen Rückschlüsse über Speicherverhalten sowie Grundwasserneubildungs- und Entwässerungsdynamik in den Einzugsgebieten (z. B. LANGGUTH & VOIGT 2004, SCHWARTZ & ZHANG 2003). Gekoppelt mit den geologischen Gegebenheiten können die tatsächlichen Einzugsgebiete und regionalen Entwässerungsrichtungen bestimmt werden. Die Infiltrationsprozesse können mit Hilfe von Lysimetern qualitativ und quantitativ erfasst werden. Im Juli 2005 wurde an der Westseite des Stoderzinkens eine Gebirgsl lysimeterstation (1830 m ü. A. Seehöhe) errichtet, welche einen wägbaren, monolithischen Lysimeter sowie Bodenwassersammler und eine Wetterstation beinhaltet (HERNDL & al. 2009). Mit Hilfe der Gebirgsl lysimeterstation können Sickerwassermengen und damit Grundwasserneubildungsraten punktuell in einer mit feinklastischen Sedimenten verfüllten Eintiefung quantifiziert werden. Die punktuell ermittelten Parameter werden für das Untersuchungsgebiet in der weiteren Auswertung als repräsentativ angenommen, im Wissen der damit verbundenen relativ großen Unsicherheiten. Somit können neben den Niederschlagsdaten auch die Wasserbilanzparameter wie Verdunstung und Grundwasserneubildungsraten für ein repräsentatives Almgebiet in den Nördlichen Kalkalpen quantifiziert werden.

## 2. Grundlagen und Methodik

Das Untersuchungsgebiet Stoderzinken liegt in der Obersteiermark, ca. 5 km WNW von Gröbming. Es ist dem südöstlichen Teil der Dachsteinregion und dem südwestlichen Teil des Kemetgebirges zuzuordnen und weist in diesem Bereich vier Hauptentwässerungssysteme auf. Der westliche Teil des Stoderzinkens wird über den Gradenbach ent-

wässert, der südliche Teil alimentiert in die periodisch wasserführenden Bäche Dürnbach und Feisterbach, die ihrerseits in den Gröbmingbach münden. Der östliche bis nordöstliche Teil des Stoderzinken wird vom Gröbmingbach entwässert, der wie der Gradenbach im Süden in die Enns mündet. Der Lysimeterstandort liegt im Grenzbereich der Einzugsgebiete Gröbmingbach und Gradenbach.

## 2.1 Geologische und tektonische Grundlagen

Das Untersuchungsgebiet ist dem südöstlichen Teil der Dachsteinregion zuzuordnen, welche zu den Nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin) gehört (Abb. 1, Abb. 2). Diese stellen die hangendste tektonische Einheit der Ostalpen aus triassischen und jurassischen Sedimenten dar (z. B. MANDL 2000). Zusammengefasst sind der Wettersteinkalk, Wettersteindolomit, Hauptdolomit und der bis zu 1000 m mächtige Dachsteinkalk die wichtigsten Einheiten der Nördlichen Kalkalpen und somit auch der Dachsteinregion. Die mächtigen vorwiegend karbonatischen Gesteine der Dachsteindecke und des Mandlingzuges fallen nach Norden mittelsteil ein (Abb. 2) und bilden bedeutende Karstgrundwasserleiter. Die beiden Einheiten sind stratigraphisch zu trennen, wobei zwischen Trias und Ende Eozän die Dachsteindecke über den Mandlingzug geschoben wurde und somit diesen überlagert (z. B. TOLLMANN 1981, 1986). Im Liegenden zu den Karbonatgesteins-

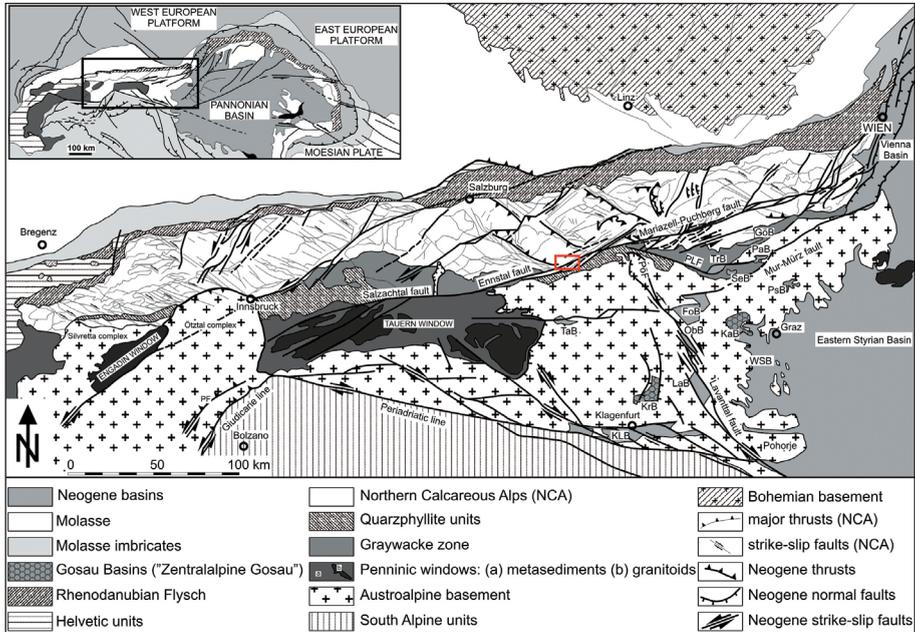


Abb. 1: Ostalpen mit der Lage des Untersuchungsgebietes (modifiziert nach LINZER & al. 2002); PLF: Palten-Liesing-Störung; PöF: Pöls-Störung; GöB: Görlicher Becken; PaB: Patschluger Becken; SeB: Seegrabener Becken; PSB: Passailer Becken; FoB: Fohnsdorfer Becken; ObB: Obdacher Becken; LaB: Lavantaler Becken; TaB: Tamsweger Becken; TrB: Trofaiacher Becken; KLB: Klagenfurter Becken; WSB: Weststeirisches Becken; KrB: Krappfelder Gosau Becken; KaB: Kainacher Gosau Becken.

Overview of the Eastern Alps with the position of the investigation area (modified after LINZER & al. 2002) PLF: Palten-Liesing Fault; PöF: Pöls Fault; GöB: Görlicher Basin; PaB: Patschluger Basin; SeB: Seegrabener Basin; PSB: Passailer Basin; FoB: Fohnsdorfer Basin; ObB: Obdacher Basin; LaB: Lavantaler Basin; TaB: Tamsweger Basin; TrB: Trofaiacher Basin; KLB: Klagenfurter Basin; WSB: Weststeirisches Basin; KrB: Krappfelder Gosau Basin; KaB: Kainacher Gosau Basin.

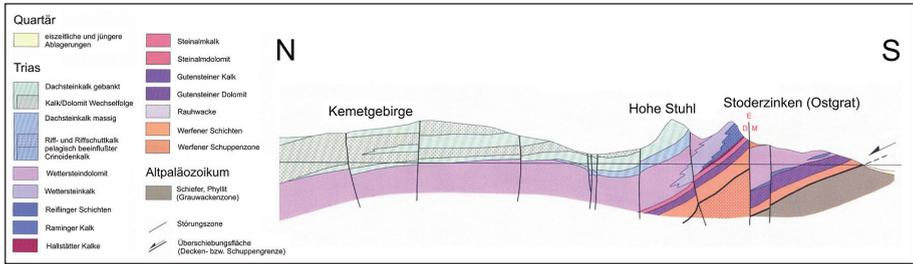


Abb. 2: Geologisches Querprofil durch das Untersuchungsgebiet; E: Ennstalstörung, D: Dachsteindecke, M: Mandlingzug (modifiziert nach MANDL 2001).

Geological cross section of the investigation area; E: Ennstal fault, D: Dachstein nappe, M: Mandlingzug (modified after MANDL 2001).

einheiten stehen die Werfener Schichten (Werfener Schiefer, Quarzite und Kalke) an, welche in regionalem Maßstab hydrogeologisch einen Wasserstauer bilden. Hierbei handelt es sich um triassische, transgressive Ablagerungen im küstennahen bis Flachwasserbereich am inneren Schelf des Tethysrandes. Die südliche Begrenzung des Untersuchungsgebietes Stoderzinken wird durch ein Teilstück der Salzach- Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung (SEMP) gebildet (Abb. 2, Abb. 3). Die sinistrale SEMP ist eine der Hauptstörungen der Ostalpen an der Nordbegrenzung eines sich nach Osten öffnenden Keils. Der Keil wird im Wesentlichen durch W-E streichende Seitenverschiebungen begrenzt, die bei der orogen-parallel-ostwärtigen Extrusion der Ostalpen ab dem Oligozän aktiviert wurden (RATSCHBACHER & al. 1991). Die SEMP weist Verschiebungen im Zehnerkilometer-Bereich auf. Die heutige Anordnung der geologischen Einheiten wurde durch die alpidische Gebirgsbildung vom Zeitraum Perm bis Eozän (ca. 290 Mio. a – ca. 35 Mio. a) geschaffen. Der Mandlingzug und die Dachsteindecke werden von altpaläozoischen Schiefen der oberostalpinen Grauwackenzone unterlagert, welche ein Relikt der variszischen Gebirgsbildung sind. Diese sind im Untersuchungsgebiet aufgrund der oben genannten steil stehenden Störungslinie der SEMP nicht aufgeschlossen.

Die Kohlenserie (Paläogen-Neogen) der Stoderalm stellt das höchstgelegene Kohlevorkommen der Ostalpen dar (z. B. MANDL 2001). Das Vorkommen wurde 1845 entdeckt und bis 1903 mit Unterbrechungen abgebaut. Großflächige Ablagerungen von Augensteinen (2–3 cm großes, quarzreiches Schottersediment) nordwestlich des Stoderzinkens erfolgten durch die Überschotterung der Kalkalpen, die aufgrund der aufsteigenden Zentralalpen bis in das Miozän stattfand. Auf der heutigen Karstoberfläche kommen Augensteinsedimente noch als Reliktsedimente vor.

Quartärgeologisch sind im Untersuchungsgebiet Hangschutt, Schwemmkegel, Moore, Massenbewegungen (vor allem in den Tonschiefern), Eisrandsedimente und diverse Moränen von Bedeutung. Das Ennstal war während der Würmvergletscherung mit einem bis auf 2000 m Seehöhe mächtigen Eisstrom gefüllt (VAN HUSEN 1987). Die Vergletscherung führte zu Gletscherschliffen, Rundhöckern und Zurundungen der Hänge. Die glazialen Moränenablagerungen stammen von der Würmvereisung sowie jüngeren Rückzugsstadien. Massenbewegungen an der Südseite des Feistergrabens und Terrassen am Ausgang des Gradenbaches sind auf den Eisrückzug zurückzuführen.

## 2.2 Hydrogeologische Kartierung und hydrochemische Analysen

Für eine kombinierte Analyse von Infiltrations- und Exfiltrationsvorgängen muss die Entwässerungscharakteristik des Untersuchungsgebietes erfasst werden. Zu diesem Zweck wurden die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen des Gebiets erfasst

und untersucht, insbesondere Quellen als Grundwasseraustritte. An den Quellen wurden Schüttung und physiko-chemische Parameter (Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit) der Wässer mittels Handmessgerät (WTW CON340i) erhoben. Ergänzend wurden Massenbewegungen und Störungen im Gelände aufgenommen.

In weiterer Folge wurden ausgewählte Quellwässer hydrochemisch untersucht, um Rückschlüsse auf ihre Einzugsgebiete zu erhalten. Im Zuge der hydrochemischen Untersuchungen wurden neben den Feldparametern Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert die wichtigsten Kationen (Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium) und Anionen (Sulfat, Chlorid, Nitrat, Nitrit, Hydrogenkarbonat) ermittelt. Hierfür wurden drei hydrochemische Probenahmen an ausgewählten Quellen durchgeführt und im Labor des LFZ Raumberg-Gumpenstein sowie im Labor des Institutes für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Graz analysiert.

### 2.3 Wasserbilanz/Abflussberechnungen

Für die Wasserbilanzparameter Niederschlag und Verdunstung standen Klimadaten der Messstationen Stoderzinken (Seehöhe 1830 m ü. A.) und Gröbming (Seehöhe 770 m ü. A.) von November 2009 bis Juni 2011 zur Verfügung. Die Daten der Klimastation Gröbming wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zur Verfügung gestellt. GRITSCH et al. (2011) beschreiben und vergleichen verschiedene Ansätze zur Quantifizierung der Wasserbilanzgrößen Niederschlag und Verdunstung an der Gebirgslismeterstation Stoderzinken für das Jahr 2007. Dabei zeigt sich, dass die Niederschlagsmessung insbesondere während Schneeschmelz- und Akkumulationsperioden mit hohen Unsicherheiten behaftet ist. Ein Vergleich von nach Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998) und HAUDE (1955) berechneten Tageswerten der Verdunstung zeigt zwar teilweise ebenfalls erhebliche relative Abweichungen von den aus den Lysimeterdaten ermittelten Verdunstungsraten. Bei Betrachtung längerer Zeiträume verringert sich der Fehler jedoch und fällt angesichts der an diesem Gebirgsstandort hohen Niederschlagssummen in der Ermittlung der Wasserbilanz weit weniger ins Gewicht als der Fehler der Niederschlagsmessung. Für die Ermittlung der Gebietswasserbilanz, in die Daten der Klimastation Gröbming einbezogen wurde, wurde daher die Ermittlung der potentiellen Verdunstung nach Haude als ausreichend erachtet. Die potentielle Gebietsverdunstung ( $ET_{pot}$ ) wurde in weiterer Folge sowohl basierend auf der linearen Interpolation der Ergebnisse beider Klimastationen als auch über die empirisch ermittelte Höhenkorrelation für den österreichischen Alpenraum (HAÖ 2007),

$$ET_{pot} = 690,6 - (0,068 \times H) - (1,581 \times 10^{-08} \times H^3)$$

berechnet, wobei  $H$  der Seehöhe entspricht.

Die Niederschlagssummen wurden an beiden Messstationen gemessen und ergaben für den Untersuchungszeitraum November 2009 bis Oktober 2010 und Oktober 2010 bis Juni 2011 Werte für den Stoderzinken von 1996 mm bzw. 1518 mm und für die Messstation Gröbming 1095 mm bzw. 488 mm. Daraus lässt sich ein Höhengradient von ca. 90 mm Niederschlagszunahme pro 100 m Seehöhenanstieg ableiten. Dieser Niederschlagsgradient liegt über dem in der Literatur angegebenen mittleren Gradienten für die Obersteiermark von 72 mm/100 m (WAKONIGG 2010). Aufgrund der regionalen Unterschiede und tendenziell höheren Niederschlagsraten im Norden der Steiermark wurde der Niederschlagsgradient von 90 mm/100 m Seehöhe als repräsentativer Wert für das Untersuchungsgebiet herangezogen und für die weiteren Berechnungen verwendet.

Die Wassermenge aller Quellaustritte eines Einzugsgebiets kann mit Hilfe automatisierter Pegelstationen an Oberflächengerinnen, die aus den Einzugsgebieten fließen, zeitlich hoch aufgelöst erfasst werden. Im Gebiet Stoderzinken wurden an den zwei größ-

ten nach Süden entwässernden Oberflächengerinnen Gradenbach und Gröbmingbach Monitoringsysteme installiert, um zeitlich hoch aufgelöste Schüttungsdaten zu erhalten. Es liegen Schüttungsdaten für den Gröbmingbach seit November 2009 und für den Gradenbach seit Oktober 2010 vor. Mit Hilfe der klimatischen Wasserbilanz kann die theoretische Wassermenge (= Abfluss) eines orographischen Einzugsgebietes berechnet werden ( $A=N-V$ ), sofern die Niederschlagsmengen und die Verdunstung bekannt sind und keine Speicheränderung für diesen Zeitraum vorliegt. Bei kurzen Beobachtungszeiträumen (ein hydrologisches Jahr) wie in den gegenständlichen Untersuchungen ist die Annahme des konstanten Speichers jedoch ein Unsicherheitsfaktor. Der Vergleich der gemessenen Abflussmenge und der theoretischen Abflussmenge lässt in weiterer Folge Schlüsse über die Dimensionen des orographischen und des tatsächlichen Einzugsgebietes zu. Gekoppelt mit der Kenntnis des geologischen, lithologischen Aufbaus können auch Rückschlüsse über die Richtung der unterirdischen Entwässerung gezogen werden. In weiterer Folge wurden die Einzugsgebiete mittels Hydrograph-Analysen (z. B. HÖLTING & COLDEWAY 2005) und statistischer Auswertung der Schüttungsverteilungen über definierte Zeiträume charakterisiert, um das Speicherverhalten der beiden Einzugsgebiete zu erfassen und vergleichen zu können.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Hydrogeologische Kartierung und hydrochemische Analyse

Im Zuge der hydrogeologischen Kartierung wurden 69 Quellen, Vernässungszonen und Interaktionen zwischen Vorfluter und lokalen begleitenden Grundwasserkörpern in den Einzugsgebieten erhoben. Davon weisen 58 Quellen eine Schüttung über 0,1 l/s zur Zeit der Aufnahme auf (Tab. 1). Die Lage der Quellen und ihre elektrischen Leitfähigkeiten unterteilt in 5 Klassen kann Abb. 3 entnommen werden. Einige der Quellen entsprechen den bereits erhobenen Quellen aus der Arbeit von ZÖTL (1957), wobei die Zuordnung zu den Quellen dieser Arbeit erhebliche Unsicherheiten aufweist und daher nicht durchgeführt wurde.

Die orographischen Einzugsgebiete Feisterbach und Dürenbach im südlichen Bereich des Stoderzinkens (Tab. 1) weisen Einzugsgebietsflächen von ca. einem bzw. ca. drei Quadratkilometern auf. Die orographischen Einzugsgebiete des Gradenbachs und des Gröbmingbachs liegen deutlich über zehn Quadratkilometern. Die kleineren Einzugsgebiete (Feisterbach und Dürenbach) zeigen eine deutlich höhere Quelldichte (Quellen pro km<sup>2</sup>), die Quellen sind über die gesamten Einzugsgebiete verteilt und ihre Schüttungsmengen sind deutlich geringer als bei den Quellen der beiden größeren Einzugsgebieten (Tab. 1, Abb. 3). Die Quellaustritte in den Einzugsgebieten Gradenbach und Gröbmingbach sind auf einige wenige Teilgebiete konzentriert, weshalb größere Einzugsgebietsflächen keine Quellen aufweisen.

Tab. 1: Quellenverteilung und -parameter der 4 Einzugsgebiete.  
Spring distribution and spring parameters of the 4 catchments.

Einzugsgebiet	Quellen	Schüttung max.	Schüttung min.	elektr. Leitfähigkeit min.	elektr. Leitfähigkeit max.	Fläche	Quellen pro km <sup>2</sup>
(EZG)	(n)	(l/s)	(l/s)	(µS/cm)	(µS/cm)	(km <sup>2</sup> )	gerundet
Gröbmingbach	20	2	0,1	221	330	16,94	1
Gradenbach	15	10	0,5	231	315	12,87	1
Dürenbach	14	0,75	0,1	214	593	2,82	5
Feisterbach	9	0,5	0,1	202	468	0,91	10

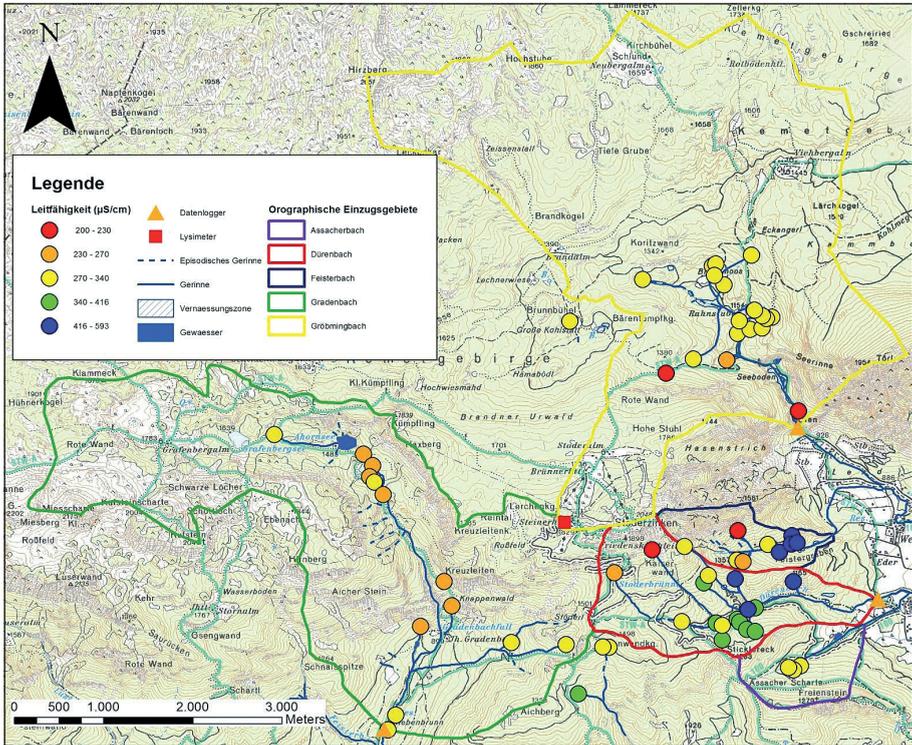


Abb. 3: Die Positionen und elektrischen Leitfähigkeitswerte ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) aller Quellen.  
Position and electric conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) of the springs.

Aufgrund der Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung und der damit verbundenen Erhebung der Feldparameter wurden 20 Quellen ausgewählt, die hydrochemisch untersucht wurden (Abb. 4). Anhand der hydrochemischen Analyseergebnisse können die Quellen in drei Gruppen unterteilt werden, die die lithologischen Einheiten in den Einzugsgebieten widerspiegeln (Abb. 4). Über das Ca/Mg-Verhältnis, errechnet aus dem Äquivalentverhältnis, lässt sich klar zwischen den Quellen aus Einzugsgebieten mit überwiegend Dolomit- oder überwiegend Kalkgestein unterscheiden. Werte zwischen 10–35 der Quellwässer des Gröbmingbachs deuten auf eine ausschließlich im Dachsteinkalk stattfindende Mineralisation hin (Abb. 4, Abb. 5).

Die Mg-reichen Wässer des Gradenbach-Oberlaufs können dem Wettersteindolomit zugeordnet werden, diese vermischen sich auf Talniveau mit Ca-reichem Wasser von Quelle Me204, die am Fuß der schroffen Felswand des Aicher Steins (Wettersteinkalk) entspringt. Eine ähnliche Durchmischung findet im Dürenbach statt: Das Stoderbrünnl (Me085) und Me084 versorgen den Dürenbach mit Ca-reichem Wasser am Ursprung, die restlichen Quellen entspringen jedoch in Mg-reicheren Lithologien, vor allem Dolomit (Abb. 4). Auffallend ist das niedrige Ca/Mg-Verhältnis (0,53–2,06) der Quellen des Sulfat-Typs. Die Quellen Me59, Me67, Me077 und Me090 zeigen Sulfatgehalte zwischen 27,06 und 48,14 mg/l, was die hohen elektrischen Leitfähigkeitswerte dieser Quellen erklärt (Abb. 3).

Die stark schwankenden hydrochemischen Zusammensetzungen der Quellwässer im Feisterbach und Dürenbach und ihre verhältnismäßig geringen Schüttungswerte weisen auf kleinräumige, heterogene Quelleinzugsgebiete hin. Die orographischen Einzugsge-

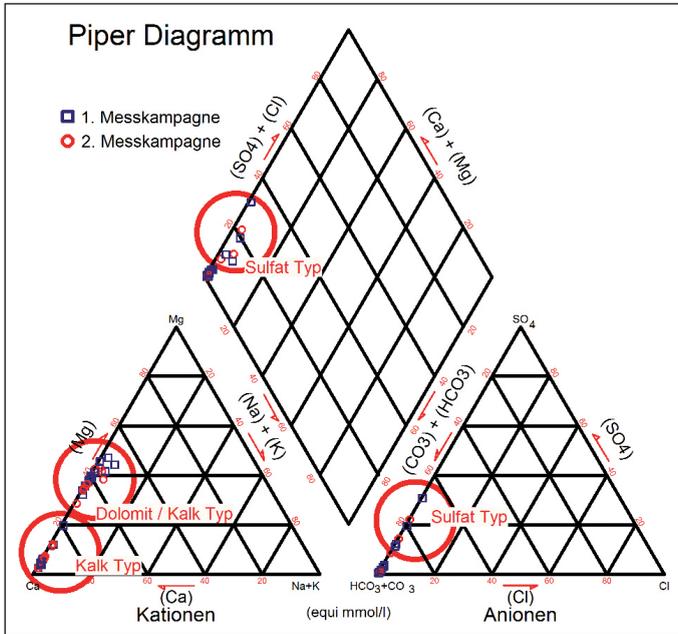


Abb. 4a: Piper Diagramm, hydrochemische Charakterisierung der Quellwässer: Kalzittyp, Dolomittyp, Sulfattyp.  
 Piper diagram, hydrochemical characterization of the spring waters: Calcite type, dolomite type and sulfate type.

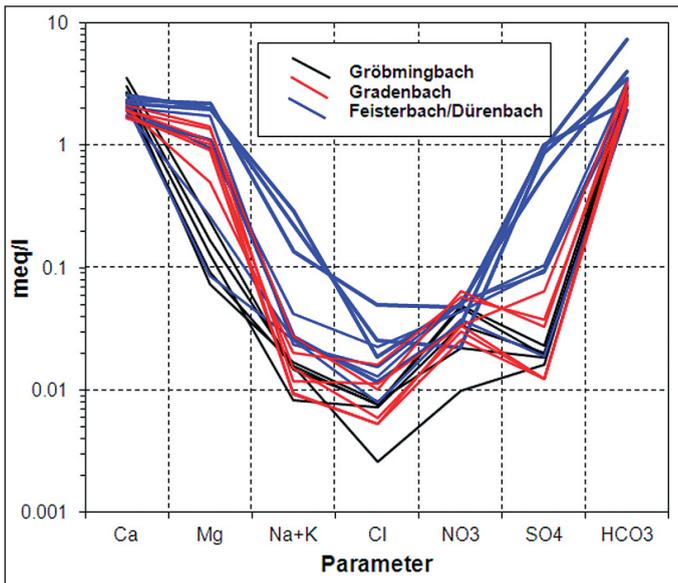


Abb. 4b: Konzentrationsverteilung der Hauptkationen der Quellen im semilogarithmischen Vertikaldiagramm unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Einzugsgebiete.  
 concentrations of the main cations and anions in a semilogarithmic diagram sorted by their catchments.

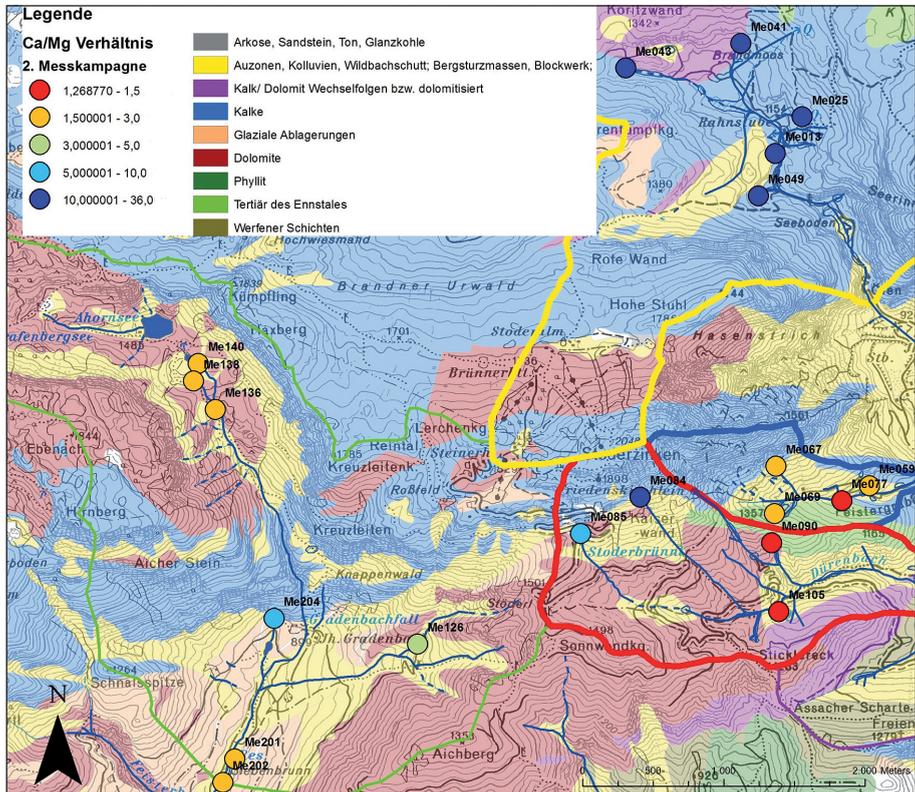


Abb. 5: Ca/Mg-Verhältnis der Quellwässer in Abhängigkeit der geologisch-lithologischen Einheiten. Schwarze strichlierte Linie: Ennstalstörung, nördlich davon Dachsteindecke und südlich davon Mandlingzug.

Ca/Mg relation of the spring waters in combination with the geologic-lithologic units. Black dashed line: Ennstal fault, northern Dachstein nappe and southern Mandlingzug.

biere Feisterbach und Dürenbach weisen einen komplexen geologischen Aufbau auf und verlaufen im Wesentlichen entlang eines Teilstücks der SEMP-Störungszone, welche eingeschuppte, gipsführende Gesteinsschichten, Dolomit- aber auch Kalkgesteine führen kann, die teilweise vom Ennstaler Tertiär überlagert sind.

### 3.2 Wasserbilanz und Abflussverhalten Gradenbach/Gröbmingbach

Die Hydrograph-Analysen des Graden- und Gröbmingbachs zeigen, dass der Auslaufkoeffizient ( $\alpha$ ) für den Gröbmingbach nach Unwettern (Starkniederschlagsereignisse) in den Sommermonaten von 2010 zwischen 0,24 und 0,28 l/Tag liegt. Während der Gröbmingbach im Winter zumeist trockenfällt, eignet sich diese Zeit beim Gradenbach gut, um vorherrschende Bedingungen ohne Grundwasserneubildung zu untersuchen. Die  $\alpha$ -Werte reichen von 0,01 bis 0,05 l/Tag und indizieren ein hohes Retentionsvermögen, welches beim Gröbmingbach nicht ersichtlich ist. Hier muss aber darauf hingewiesen werden, dass vor allem für den Gradenbach nur eine sehr kurze Zeitreihe (8 Monate) zur Verfügung stand. Die Boxplots in Abb. 6 veranschaulichen das unterschiedliche Auslaufverhalten der beiden Vorfluter. Während die monatlichen Vergleichswerte für den Gradenbach deutlich weniger gestreut sind, variieren jene für den Gröbmingbach enorm.

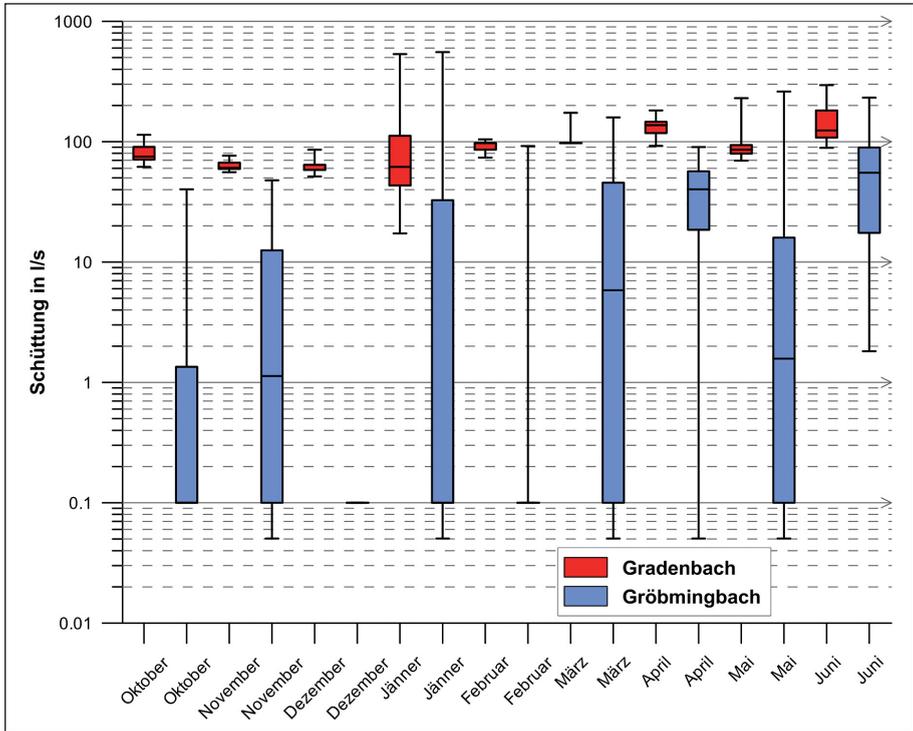


Abb. 6: Boxplot der monatlichen Schüttungsverteilungen der Oberflächengerinne Gröbmingbach und Gradenbach für den Zeitraum Oktober 2010 bis Juni 2011.

Box plot of monthly discharge distribution of the streams Gröbmingbach and Gradenbach for the time period October 2010 to June 2011.

Die Ergebnisse der Wasserbilanzen der orographischen Einzugsgebiete Gradenbach und Gröbmingbach ergaben für beide Einzugsgebiete, dass die theoretisch errechneten Abflussmengen deutlich über den aus gemessenen Schüttungsdaten ermittelten Abflussmengen liegen. Für das hydrologische Jahr 2009/2010 fließen nur ca. 10% des theoretisch berechneten Abflusses aus dem orographischen EZG Gröbmingbach. Für den kurzen Zeitraum Oktober 2010 bis Juni 2011, in dem für beide Messstellen Abflusswerte vorliegen, entsprechen die aus den gemessenen Werten ermittelte Abflussspenden der EZGs Gröbmingbach und Gradenbach nur ca. 3% bzw. ca. 20% der aus der Wasserbilanz errechneten Abflussspenden. Obwohl nur sehr kurze Datenreihen für beide EZGs und somit große Unsicherheiten aufgrund nicht berücksichtigter Speicheränderungen vorliegen, zeigen die Ergebnisse, dass das orographische EZG Gradenbach einen deutlich höheren Anteil der aus gemessenen Werten ermittelten Abflussspende aufweist.

### 3.3 Unsicherheiten der Wasserbilanzkomponenten

Die **Niederschlagsberechnungen** stützen sich auf die Messstationen Gröbming und Bergslysimeter Stoderzinken, welche nur den südlichen Teil des Untersuchungsgebietes abdecken. Für den Nord-, West- und Nordwestteil des Untersuchungsgebietes (Grafenbergalm, Kemetgebirge) gibt es keine Niederschlagswerte, was als Unsicherheit zu werten ist. Der **Abfluss** wurde bei beiden Vorflutern mit einer hohen zeitlichen Auflösung von 15 min aufgezeichnet. Die Unsicherheiten beschränken sich daher vor allem auf die

Schüttungskurve und die Pegelstandskorrekturen. Die Berechnungen der **potentiellen Verdunstung** (ETp) nach HAÖ und HAUDE unterscheiden sich nur geringfügig. Für den Zeitraum Oktober 2010 bis Juni 2011 beträgt die Verdunstung nach HAUDE 107% jener nach dem HAÖ. Für das hydrologische Jahr 2010–2011 sind die Berechnungen exakt gleich. In niederen Höhenlagen liegen die Berechnungen nach Haude über jenen vom HAÖ und bei 1550–1800 m ü. A. (je nach zeitlicher Auflösung) befindet sich der Knickpunkt.

#### 4. Interpretation und Schlussfolgerungen

Die in diesem Projekt genauer untersuchten Einzugsgebiete Gröbmingbach und Gradenbach unterscheiden sich in erster Linie aufgrund ihrer Lithologien. Dachsteinkalk dominiert im Einzugsgebiet Gröbmingbach und Wettersteindolomit im Einzugsgebiet Gradenbach. Die unterschiedlichen Lithologien spiegeln sich auch in der hydrochemischen Zusammensetzung der Quellwässer wider. Die Ergebnisse der Hydrograph-Analysen zeigen, dass der Gröbmingbach ein viel geringeres Retentionsvermögen als der Gradenbach besitzt, was ebenfalls auf die unterschiedlichen Lithologien in den Einzugsgebieten zurückgeführt werden kann. Der Wettersteindolomit zeigt ein wesentlich höheres Retentionsvermögen als der Dachsteinkalk. Trotzdem konnte auch beim Gradenbach nach Starkregenereignissen ein ähnliches Auslaufverhalten wie beim Gröbmingbach beobachtet werden, was auf den verkarsteten Wettersteinkalk an der SW-Seite des Stoderzinkens (Knappenwald, Stöderl) und beim Aicher Stein im südlichen Teil des Einzugsgebiets Gradenbach zurückgeführt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass der Dachsteinkalk als Karstaquifer und der Wettersteindolomit als geringer verkarsteter Kluftaquifer klassifiziert werden kann, was Untersuchungsergebnisse in benachbarten Gebieten bestätigt (MANDL 2001).

Die Wasserbilanz zeigt, dass große Teile beider Einzugsgebiete nach Norden entwässern. Sie zeigen aber deutliche Unterschiede im Vergleich zueinander. Im Gegensatz zum Einzugsgebiet Gröbmingbach (3–10%) entwässert das Einzugsgebiet Gradenbach zu einem wesentlich höheren Anteil nach Süden. Die Ursachen liegen hierfür an den unterschiedlichen Lithologien in den Einzugsgebieten und dem unterschiedlichen geologisch-tektonischen Aufbau. So wird das Einzugsgebiet Gröbmingbach überwiegend aus verkarstem Dachsteinkalk aufgebaut, der Oberlauf des Gradenbachtals aus Wettersteindolomit. Des Weiteren verläuft im Bereich südlich der Schmalspitze, Gradenbachfall bis Stoderl die SW-NE streichende Ennstalstörungszone, welche die tektonischen Einheiten Dachsteindecke und Mandlingzug trennt und als Wasserstauer angesehen werden kann. Der Feistergrabenbach und der Dürenbach konnten im Rahmen dieser Arbeit mit Hydrograph-Analysen nicht untersucht werden. Bei den hydrochemischen Untersuchungen fiel jedoch eine sulfatreiche Formation zwischen Feistergraben und Dürenbach auf. Sulfatkonzentrationen von 0,4–1,045 meq/l, Ca-Sättigungsgrade von 1,4–6,5 und erhöhte Kaliumkonzentrationen von 0,026–0,052 meq/l deuten auf Gips/Anhydrit hin. Einzig der hohe Magnesiumgehalt ist untypisch. Möglicherweise handelt es sich um ein Auftreten des Haselgebirges, welches aufgrund der SEMP innerhalb der Störungszone eingeschuppt sein könnte. Als weitere Herkunftsmöglichkeit der erhöhten Sulfatgehalte können Kohle-führende Schichten des Ennstaler Tertiär gesehen werden, eine detaillierte Analyse der Schwefelisotope kann wichtige Hinweise zur Herkunft der erhöhten Sulfatwerte geben.

Zusammenfassend bestätigen die Untersuchungsergebnisse der Einzugsgebiete im Bereich Stoderzinken im Wesentlichen die Erkenntnisse aus den Großraumstudien über das Dachsteinmassiv von BAUER (1989) und in weiterer Folge von SCHUBERT (2001). Es zeigt sich eine Hauptentwässerungsrichtung nach Norden. Die Ergebnisse zeigen aber

auch, dass die von BAUER (1989) ausgewiesene Grenze für die südliche Entwässerung des Dachsteingebietes im Bereich Stoderzinken nach Süden korrigiert werden muss. Ein Großteil des Grundwassers der Nordseite des Stoderzinkens entwässert nach Norden. Die Wasserbilanzberechnungen zeigen, dass die nach Süden entwässernden Gewässer für ihre orographischen Einzugsgebiete zu geringe Abflussmengen aufweisen, vor allem die Nord- und Ostseite des Stoderzinkens entwässert fast zur Gänze nach Norden. An der Westseite des Stoderzinkens sind sowohl die vom Wettersteindolomit dominierten Bereiche als auch die Ennstalstörungszone (Teil der SEMP) für das hydrogeologische System von großer Bedeutung. Zudem ist zu vermuten, dass die Wasserbilanzen für den Dürenbach und Feisterbach ausgeglichen sind, da hier einerseits Dolomite die dominierende Lithologie sind und andererseits die Einzugsgebiete zur Gänze innerhalb der SEMP-Störungszone liegen und somit geologisch-tektonisch sehr heterogen und komplex aufgebaut sind.

Installationen weiterer Datenlogger in den Vorflutern Dürenbach und Gradenbach sowie eine mehrjährige Hydrographen-Analyse für Vergleichswerte wären vorteilhaft, um jährliche Variationen zu beschreiben. Die mittlere Verweilzeit der Quellwässer sowie die mittlere Höhe der Einzugsgebiete könnten zusätzlich über kontinuierliche Delta-<sup>18</sup>O/<sup>2</sup>H-Quellwasseranalysen bestimmt werden.

## Dank

Der hier vorliegende Beitrag stellt im Wesentlichen die Ergebnisse der Masterarbeit von Daniel Elster am Institut für Erdwissenschaften an der Karl-Franzens-Universität Graz dar. Die Autoren bedanken sich bei den Labormitarbeiterinnen des Instituts für Angewandte Geowissenschaften der TU Graz und des LFZ Raumberg-Gumpenstein für die Unterstützung bei den hydrochemischen Analysen. Die meteorologischen Daten der Klimastation Gröbming wurden dankenswerterweise von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zur Verfügung gestellt. Ralf Benischke sei für die Durchsicht des Manuskripts und die hilfreichen Anregungen herzlichst gedankt.

## Literatur

- ALLEN R. G., PEREIRA L. S., RAES D. & SMITH M. 1998: Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. – FAO Irrig. and Drain. Paper 56, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, 300 pp.
- ARNELL N. W. 2002: Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. – *Global Environmental Change* 14(1): 31–52.
- BAUER F. 1989: Die unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz, Reports UBA-89–28, Wien.
- BRANDSTETTER S., EISENHUT M. & GAUL A. 2007: Wasser in Österreich – Zahlen und Fakten, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien: 24 pp. URL [http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/wasserwirtschaft\\_wasserpolitik/wasser\\_in\\_oesterreich-zahlen\\_und\\_fakten.html](http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/wasserwirtschaft_wasserpolitik/wasser_in_oesterreich-zahlen_und_fakten.html) (13. 11. 2012)
- GRITSCH M., WINKLER G., HERNDL M. & BIRK S. 2011: Niederschlag und Verdunstung am Gebirgslysimeter Stoderzinken. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, Lysimeter in der Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft, 39–44.
- HAO 2007: Hydrologischer Atlas Österreichs. Kapitel 3.3: Mittlere jährliche aktuelle Gebietsverdunstung aus der Wasserbilanz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW).
- HAUDE W. 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes* 11.
- HERNDL M., BOHNER A. & KANDOLF M. 2009: Gebirgslysimeterstation am Stoderzinken – Erste Ergebnisse. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, 111–116.
- HÖLTING B. & COLDEWAY W. G. 2005: Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. 6. Auflage. – Elsevier, München. 326 pp.

- LANGGUTH H.-R. & VOIGT R. 2004: Hydrogeologische Methoden. 2. Auflage. – Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 1005 pp.
- LINZER H. G., DECKER K., PERESSON H., DELL'MOUR R., FRISCH W. 2002: Balancing lateral orogenic float of the Eastern Alps. – *Tectonophysics* 354: 211–237.
- MANDL G. 2000: The Alpine sector of the Tethyan shelf – Examples of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the Northern Calcareous Alps. – *Mitteilungen der österreichischen geologischen Gesellschaft* 92: 61–77.
- MANDL G. 2001: Kapitel 2: Geologie der Dachstein Region. – In: SCHEIDLEDER A., BOROVICZENY F., GRAF W., HOFMANN T., MANDL G., SCHUBERT G., STICHLER W., TRIMBORN P. & KRALIK M. Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“, Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung 21: 13–42 (= UBA Monographien 108: 13–42).
- RATSCHBACHER L., FRISCH W., LINZER H.-G., MERLE O. 1991: Lateral extrusion in the eastern Alps, Part 2: Structural analysis. – *Tectonics* 10(2): 257–271.
- REICHL P., STROBL E. & WINKLER G. 2002: Hydrogeologische Systembeschreibung – Eine Grundlage für die Bewertung umweltrelevanter Auswirkungen von Untertagebauwerken. – *Felsbau. Rock and Soil Engineering. Fachzeitschrift für Ingenieurgeologie, Geomechanik und Tunnelbau* 5: 112–120.
- SCHUBERT G. 2001: Kapitel 6: Hydrogeologie der Dachsteinmassivs. – In: SCHEIDLEDER A., BOROVICZENY F., GRAF W., HOFMANN T., MANDL G., SCHUBERT G., STICHLER W., TRIMBORN P. & KRALIK M. 2001: Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“, Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. *Archiv für Lagerstättenforschung* 21: 111–125 (= UBA Monographien 108: 111–125).
- SCHWARTZ F. W. & ZHANG H. 2003: *Fundamentals of Ground Water*. – Wiley, New York. 592 pp.
- TOLLMANN A. 1981: Oberjurassische Gleittektonik als Hauptformungsprozeß der Hallstätter Region und neue Daten zur Gesamttektonik der Nördlichen Kalkalpen in den Ostalpen. – *Mitteilungen der österreichischen geologischen Gesellschaft* 74: 167–195.
- TOLLMANN A. 1986: *Geologie von Österreich: Band III*. – F. Deuticke, Wien. 718 pp.
- VAN HUSEN D. 1987: Zur Entwicklung des Oberen Ennstales im Pleistozän. – *Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 127 Schladming*: 86–92.
- WAKONIGG H. 2010: *Klimaatlas Steiermark, Kapitel 4: Niederschlag* 147 pp. URL [http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10741599\\_16178332/56180d1d/4\\_NIEDERSCHL%C3%84GE%20-%20Vers\\_2.0\\_.pdf](http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10741599_16178332/56180d1d/4_NIEDERSCHL%C3%84GE%20-%20Vers_2.0_.pdf) (13.11.2012)
- ZÖTL J. 1957: Hydrologische Untersuchungen im östlichen Dachsteingebiet. – *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark* 87: 182–205.

Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark	Bd. 142	S. 58	Graz 2012
--	---------	-------	-----------

## Buchbesprechung / Book Review

SCHLÜSSLMAYR Gerhard 2011. Soziologische Moosflora des Mühlviertels (Oberösterreich). – Stapfia 94, 22 × 27,5 cm, 480 Seiten, 144 Farbfotos, zahlreiche S/W-Abbildungen und Zeichnungen, gebunden, ISSN 0252-192X. € 50,–.

Was ist das bryologisch am besten untersuchte Gebiet von Österreich? Die Nationalparke? Die Hochalpen? Der Lungau? Nach dem 2011 von Gerhard Schlüsslmayr vorgelegten hier zu besprechenden Buch könnte man wohl davon ausgehen, dass es das Mühlviertel ist.

In akribischer Arbeit hat der Autor ein umfassendes Werk über die Moosflora und Moosvegetation eines Gebietes vorgelegt, was immerhin ein Viertel der Fläche Oberösterreichs umfasst.

Einführend wird der Leser mit dem Untersuchungsgebiet bekannt gemacht, mit seiner geologischen und naturräumlichen Gliederung, seinem Klima und – als Zusammenfassung seiner fünfjährigen floristischen Untersuchungen – seiner Moosflora. Ein weiteres Kapitel – Bryologische Besonderheiten ausgewählter Naturräume – führt in bryologisch besonders interessante Gebiete des Mühlviertels. In einem angenehm lesbaren Stil, ähnlich eines guten botanischen Reiseberichts, führt uns der Autor dabei in die Zusammenhänge zwischen Naturraum, Standort und Moosflora ein – ein Lesegenuss! Das Kapitel ist nicht nur mit Fotos, sondern auch, als eine besonders gute bildliche Veranschaulichung der standörtlichen Zusammenhänge, mit zeichnerischen Standortskizzen des Autors illustriert.

Auch der nun folgende spezielle Teil des Buches ist didaktisch hervorragend aufgebaut und gut zu lesen. Zu jeder Art werden Synonyme, Angaben zur Verbreitung, Ökologie und Soziologie sowie zu historischen und aktuellen Funden (sehr häufig mit genauen Koordinaten) im Gebiet gemacht. Zu jeder Art gibt es eine Verbreitungskarte, zu einigen Arten Schwarzweiß-(Mikro-)Fotos und exzellente Zeichnungen des Autors. In kleinen Tableaus werden die Gefährdung (im Mühlviertel nach Einschätzung des Autors und in Österreich nach aktueller Roter Liste) und die ökologischen Zeigerwerte sichtbar gemacht. Das Kapitel umfasst 545 Moosarten, wobei *Dicranella howei* und *Hedwigia stellata* erstmalig für Österreich aus dem Mühlviertel genannt werden. Neufunde für Oberösterreich verzeichnet die Arbeit 30, für das Mühlviertel 109 Taxa.

An den speziellen Teil schließen sich 24 Farbtafeln mit je 6 Fotos an, wobei die Motive von Habitaten bis zu wichtigen mikroskopischen Merkmalen reichen.

Der letzte Teil ist dann der Bryosoziologie gewidmet, basierend auf 1042 Vegetationsaufnahmen des Autors. Der Leser findet hier ausführliche Beschreibungen der insgesamt 84 Assoziationen, 122 Subassoziationen und 2 Varianten des Mühlviertels nebst den dazugehörigen höheren Syntaxa, wieder gut illustriert mit Stetigkeitstabellen, Fotos und den schon am Anfang als Besonderheit des Buches angenehm aufgefallenen Habitatskizzen. Die Vegetationstabellen mit den Einzelaufnahmen gibt es zum download auf den Seiten des Biologiezentrums am Oberösterreichischen Landesmuseum.

Das Literaturverzeichnis ist kurz und erinnert den Leser daran, wie wenig bryologische Literatur es in Österreich gibt. Das von Gerhard Schlüsslmayr vorgelegte Buch nimmt hier jetzt einen gebührenden Platz ein, liefert es doch morphologische, biogeographische, ökologische und phytozoologische Informationen, die weit über das Mühlviertel hinausgehen. Jeder, der sich für Moose interessiert, wird in diesem Buch interessante Informationen und Neuigkeiten finden.

Auch dem Biologiezentrum des Oberösterreichischen Landesmuseum gilt hier einmal der besondere Dank, solche für Botaniker in ganz Österreich bedeutenden Publikationen – es ist ja schon das zweite Buch von Gerhard Schlüsslmayr in der Reihe Stapfia – in hoher Qualität und zum erschwinglichen Preis herauszugeben.

Christian BERG, Graz