

Kaltlöcher im Ostalpenraum

Wolfgang PUNZ, Helmuth SIEGHARDT, Rudolf MAIER,
Manfred ENGENHART & Erhard CHRISTIAN

Als *Kaltlöcher* werden Lokalitäten mit sommerlichem Kaltluftaustritt aus einem eng-räumigen Hohlraumssystem in Fest- oder Lockergestein bezeichnet. Daten von 43 Kaltloch-Standorten in den Ostalpen werden zusammengefasst und geomorphologische, mikroklimatische, ökophysiologische, floristisch/vegetationskundliche und zoologische Forschungsdefizite aufgezeigt. Floristische Angaben sind für die Hälfte, zoologische Befunde für ein Sechstel der Standorte verfügbar. Charakteristisch ist das azonale Auftreten von Pflanzen sowie die Besiedlung durch psychro-hygrophile und cavernicole Tiere.

PUNZ W., SIEGHARDT W., MAIER R., ENGENHART M. & CHRISTIAN E., 2005: Kaltloch sites in the Eastern Alps.

The term *Kaltloch* (pl. *Kaltlöcher*) refers to a site with aestival exhalation of cold air from narrow-spaced cavities in solid or loose rock. We compile data on 43 East Alpine Kaltloch sites and point out research deficits with regard to geomorphology, microclimatology, ecophysiology, vegetation and zoology. Floristic information is available for half the sites, zoological information for one sixth. Common features are the azonal appearance of plants and the presence of psychro-hygrophilous and cavernicolous animals.

Keywords: Eastern Alps, scree slopes, chimney effect, cold air streams.

Einleitung

Der Terminus *Kaltloch* soll Lokalitäten mit sommerlichen Kaltluftaustritten aus eng-räumigen wetterführenden Hohlraumssystemen in Fest- oder Lockergestein bezeichnen, der Begriff *Warmloch* die korrespondierenden, höher gelegenen Stellen mit Warmluftaustritten in der kühlen Jahreszeit. Ausdrücke wie *Bocca di vento*, *eisführende Schutthalde*, *Eisloch*, *Eiskeller*, *Eisstandort*, *Frostboden*, *Grotto*, *Hypothermie*, (*unterirdischer*) *Kaltluftstau*, *Kalkkeller*, *Kantine*, (*perennierendes*) *Eisvorkommen*, *Permafrostboden*, *unterkühlte (Block-)Schutthalde Ventarola*, *Windloch*, *Windröhre*, *Wetterloch* beziehen sich lediglich auf Teilaspekte oder aber auf Höhlen (nach menschlichen Dimensionen große und somit prinzipiell „befahrbare“ Gesteinshohlräume), die hier nicht berücksichtigt werden. Unbefahrbare Hohlraumssysteme gesondert zu behandeln erscheint willkürlich, ist aber gerechtfertigt, weil sich die Speläologie nur am Rande mit dem Phänomen Kaltloch befasst. Kaltlöcher sind einerseits vom *Permafrost* abzugrenzen (Lithosphärenmaterial, das während der Dauer von mindestens einem Jahr Temperaturen unter null Grad aufweist: LIEB 1996), andererseits von den so genannten *Frostlöchern* (stabilen abflusslosen Kaltluftseen, häufig in Dolinen: AICHINGER 1933, WALTER 1960, ELLENBERG 1982).

Obwohl die Altvorderen von der Kühlwirkung solcher Standorte wussten, sind Belege aus historischer Zeit selten (FURRER 1961). Zu den ersten diesbezüglichen Autoren zählt CYSAT (1661), der in seiner Schilderung der Umgebung des Vierwaldstättersees schreibt: „Es haben auff denselbigem Allpen hin unnd wider ... vil Windlöcher ... die von welchem Bergwind so kalt werden ... und man die Milchkeller bawet ... welches den Bergleüthen unnd Sennen zu grossem nutzen reicht, und ihnen die Milch nicht sawr werden noch gerinnen lasse“. Ein weiterer Hinweis findet sich bei SCHEUCHZER (1723b). Über die Eisnutzung nahe Leitmeritz in Böhmen wird nach Angaben von FISER (1968) schon 1741, später von PLEISCHL (1838) berichtet. Zur Milchkühlung, als Weinkeller oder zur Bierlagerung

zog man Kaltlöcher aber mit Sicherheit schon wesentlich früher heran; der Name der 1475 gegründeten Brauerei Kaltenhausen bei Hallein weist darauf hin.

Von der naiven Beobachtung bis zur wissenschaftlichen Untersuchung dauerte es lange, und noch länger blieb die Entstehung des Kaltluftstroms umstritten. Bereits DE SAUSSURE (1796) erörtert dieses Phänomen und berichtet über eine lateinische Inschrift an den *Bocche di venti di Cesi* (zitiert nach FUGGER 1892 und BALCH 1900):

*Abditus hic ludit vario discrimine ventus
Et faciles miros exhibit aura jocos.
Nam si bruma riget, quaecumque objeceris haurit.
Evomit aestivo cum calet igne dies.*

Zahlreiche weitere Autoren traten mit Beschreibungen und Theorien an die Öffentlichkeit, darunter JOLY (1779, zitiert bei BALCH 1900), PARROT (1815), KELLER (1839), CANAVAL (1893) und CRAMMER (1899). Der Salzburger Realschullehrer Eberhard Friedrich FUGGER (1891, 1892, 1893, 1894) dokumentierte vorwiegend aus Mitteleuropa rund einhundertsechzig Standorte inklusive der „gewöhnlichen“ Eishöhlen. Auf dieser Grundlage fasste BALCH (1900) das Wissen der Zeit auf 337 Seiten (mit einem vierzigseitigen Überblick über die „*opinions about glaciers*“ sowie vierzehn Seiten Literatur) zusammen – auch die Forschungen in der Alten Welt, was bei einem amerikanischen Autor Erwähnung verdient. Im zwanzigsten Jahrhundert kamen Beiträge u. a. von BOCK (1913), KYRLE (1923), PFAFF (1933a, b), WEISS (1958), GRESSEL (1962), SCHAEFTLEIN (1962, 1963), HÖLZEL (1963), FURRER (1961, 1966), WIGLEY & BROWN (1976), SCHINDLER et al. (1976), ZIMMERMANN (1976), BÖGLI (1978), FINK (1989), JUNGMEIER (1990), STEINER (1992), FRANEK (1995) und DELALOYE & LAMBIEL (2005) hinzu. WAKONIGG (1996) unternahm eine kritische Revision der unterschiedlichen Erklärungsversuche.

Nach heutigem Wissensstand fließt sommerliche Kaltluft aus Hohlraumssystemen, die eine Niveaudifferenz zwischen den Tagöffnungen aufweisen (vgl. PARROT 1815, KELLER 1839, TRIMMEL 1968, SCHAEFTLEIN 1962, FURRER 1966). Ist das System, wie in den meisten Fällen, in Blockschutthalden entwickelt, so können sich die Öffnungen nahe der Oberkante und am Fuß der Halde diffus über eine größere Fläche verteilen. Eine oberflächliche Abdichtung der Halde dürfte von Bedeutung sein. Im Winter entweicht aus den oberen Öffnungen warme und (im Vergleich zur Außenluft) leichte Luft, wodurch Kaltluft durch die unteren Öffnungen ins Innere gesogen wird. Das unterkühlte Gestein speichert Kälte, die das vorhandene oder zur Schneeschmelze einsickernde Wasser gefrieren lässt. Sobald sich der Luftstrom im Frühjahr umkehrt, kommt es zum Schmelzen des subterranean Eises. Da dieser Vorgang beträchtliche Wärmemengen benötigt, strömt die schwere, kalte Luft oft über Monate aus den unteren Öffnungen. In den Übergangsjahreszeiten kommt es in der Regel zu einem tagesperiodischen Richtungswechsel des Luftzugs.

Die von WAKONIGG (1996) erschöpfend zusammengefassten Erkenntnisse zum Windröhrenphänomen (*chimney effect*) modifizieren jene Hypothese, die als *Balch effect* seit hundert Jahren bekannt ist: *The cold air of winter ... permeates the cave, and in course of time freezes up all the water which, in the shape of melting snow or cold winter rain or spring water, finds its way in* (BALCH 1900; ähnlich FUGGER 1894). HARRIS & PEDERSEN (1998) betonen weiterhin die Möglichkeit einer sommerlichen Evaporationskühlung (wenn auch nicht unter den klimatischen Bedingungen der Alpen) und fügen einen möglichen Kühlungseffekt durch *continuous air exchange with the atmosphere* hinzu, vor allem bei Blockhalden ohne nennenswerte winter-

liche Schneebedeckung. Weitere Ergänzungen zum Thema wurden in jüngster Zeit von RIST (2002) unter dem Aspekt der Energiebilanz beigetragen. Demnach würde die im Vergleich zu einem „normalen“ Waldboden dünne Deckschicht der Blockschutthalden eine geringere Wärmeisolation und einen höheren Wärmeverlust in der kalten Jahreszeit bedingen. Überdies komme es durch Konvektionsströmungen zu einer Umverteilung der Wärmeenergie zwischen Ober- und Unterhalde nach dem Prinzip des Thermosiphons (GODIN 1996).

Später noch als Geländekunde und Meteorologie nahmen sich die biologischen Disziplinen des Phänomens Kaltloch an. Ab der Mitte des 20. Jahrhunderts mehrten sich die Befunde, dass diese Biotope hoch spezialisierte Organismen und Organismengemeinschaften beherbergen. Wichtige Arbeiten wurden im außeralpinen Mitteleuropa durchgeführt (HEMP 1997, MÖSELER & MOLENDEN 1999). MOLENDEN (1996b) behandelt in seiner zoogeographisch orientierten Arbeit neben Kaltlöchern in Trentino/Südtirol zehn Standorte in den Regionen Schwarzwald, Vogesen, Westerwald, Hessische Rhön, Ardennen/Hohes Venn, Harz und Weserbergland. Weitere Angaben liegen aus der Eifel und der Frankenalb vor (STEINBACH 1954, WUNDER & MÖSELER 1996, HEMP & HEMP 1996, HEMP 1999). Tschechien hat nicht nur die seit Jahrhunderten bekannten und auch von Goethe besuchten Eislöcher in Panna bei Třebušín (Triebtsch) nahe Litoměřice (Leitmeritz) und die Frainer Eisleiten bei Znaim (Ledové sluje/Vranov: JARZ 1882, WITTINGHAUSEN 1895, WAKONIGG 1998) zu bieten, sondern entwickelte sich in den letzten Jahren zu einem Zentrum der zoologischen Kaltlochforschung (vgl. KUBÁT 1999, 2000, RŮŽIČKA 1999).

Während sich außeralpine Blockhalden im Landschaftsbild sowie durch ihre Vegetation und Fauna scharf von der Umgebung absetzen, stellt der Biotop Blockhalde – der nur unter bestimmten Bedingungen Kaltluftaustritt generiert – im Alpenraum keine Besonderheit dar. Immer wieder wurde anekdotisch von Kaltlöchern berichtet, eine systematische Erkundung der meist unspektakulären Kaltlöcher ließ jedoch auf sich warten (frühe Überblicksarbeiten etwa FUGGER 1894, BALCH 1900). Aus der Schweiz, die eine beachtenswerte Tradition bei der Erforschung der „Windlöcher“ und „Kälteflora“ aufweist (so FURRER 1961 unter Verwendung von CYSAT 1661, SCHEUCHZER 1723a, b, DE SAUSSURE 1796, PICTET 1822, KELLER 1839 und HEER 1846), kamen in jüngster Zeit mikroklimatische, floristisch-vegetationskundliche und anatomisch-ökophysiologische Forschungsarbeiten über „Hexenwäldli“ (krüppel- und zwergwüchsige Bäume auf Grund der Unterkühlung), die insgesamt 36 Schweizer Vorkommen dokumentieren (BAUERMEISTER 2002, RIST 2002, SCHUDEL 2002). Für Österreich bzw. den Ostalpenraum findet sich eine knappe Zusammenstellung von „Frostlöchern“ mit Kaltluftaustritt bei SCHAEFTLEIN (1962). PUNZ et al. (1989) geben 14 Kaltlöcher an, WAKONIGG (1996, mit mikrometeorologischem Schwerpunkt) nennt 16 Standorte.

Engräumige wetterführende Hohlraumssysteme sind durch ihre abiotische Differenzierung in erwärmte und unterkühlte Habitate (LÜTH 1990, HEMP 1999) von großer Bedeutung sowohl für die Erhaltung der Biodiversität als auch für den überregionalen Natur- und Landschaftsschutz. Sie treten als (vorwiegend zoologische) Reliktstandorte immer deutlicher hervor und bieten ein terrestrisches Modellsystem für das Studium evolutionsbiologischer Prozesse unter dem Einfluss der Verinselung. Das interdisziplinäre Forschungsprogramm SCREECOS soll die geologischen, geomorphologischen und mikroklimatischen Parameter von Schutthaldeökosystemen mit Kennwerten der Biodiversität verbinden (vgl. etwa GÜDE et al. 2003).

Die vorliegende Dokumentation gibt eine Übersicht der bisher bekannten ostalpinen Kaltlöcher und eine knappe Darstellung des aktuellen Wissens. Dabei wurden einzelne botanische und zoologische Daten ergänzt sowie etliche bisher unbekannte Lokalitäten eingefügt. Die Arbeit soll damit eine Grundlage für weitere Forschungen in allen Fachbereichen liefern.

Methodik

Zur Sichtung der vorhandenen Information wurden Fachkollegen kontaktiert und umfangreiche Recherchen in Bibliotheken und im Internet sowie einzelne Begehungen durchgeführt.

Am Standort Eppan wurde statt einer konventionellen Vegetationsaufnahme ein Transekt gezogen (weil bei der Wahl zu großer Quadranten ganze Vegetationskomplexe erfasst werden, bei kleinen Quadranten dagegen der Zufall eine große Rolle spielt): in Höhenabständen von 4 Metern vom Kesselgrund bis zum Kesselrand wurden die Höheren Pflanzen jeweils auf einer Fläche von $5 \times 5 \text{ m}^2$ erfasst.

Ergebnisse

Zu den alphabetisch gereihten Kaltloch-Standorten des Ostalpenraumes (vgl. Abb. 1) werden, sofern vorhanden, folgende Informationen gegeben: Bezeichnung der Lokalität; Bundesland, Provinz oder Kanton/Staat; geographische Lage (latNxlongE); Seehöhe; Exposition; Kurzcharakteristik; Angaben zu Mikroklima (TBS: tiefste beobachtete Temperatur im Sommerhalbjahr), Ökophysiologie, Flora/Vegetation, Zoologie; (weitere) Literatur.

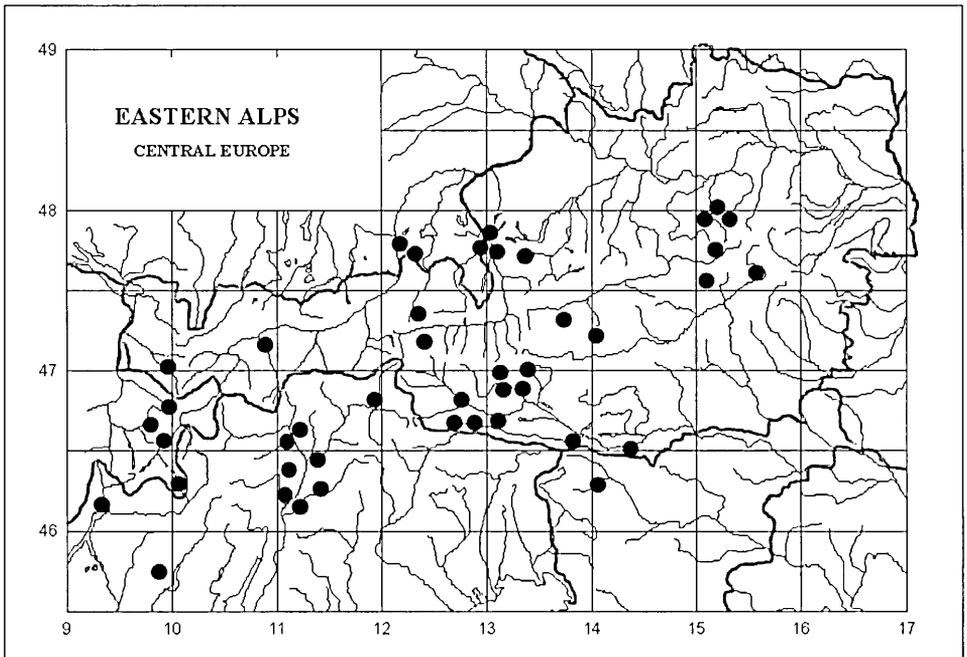


Abb. 1: Kaltloch-Standorte im Ostalpenraum. Beschreibung im Text. – *Kaltloch* sites in the Eastern Alps. See text for descriptions.

Ainet/Lienz (Tirol/A) 4652 × 1241 ca. 720 m SW

„Eislöcher“. Teilweise gemauerte Kühlkeller. Kühleffekt zweifelhaft. Keine Angaben zu Flora und Fauna. SCHWALBE (1887), KRAUS (1894), WAKONIGG (1998): TBS 7,1 °C.

Ameiskogel/Weichselboden (Niederösterreich/A) 4741 × 1509 ca. 700 m N

Kondenswassermoor bei Rotmoos. ULLMANN (1970), ZIMMERMANN (1976), STEINER (1992), WAKONIGG (1998): TBS 3,5 °C.

Batmund/St. Gallenkirch (Vorarlberg/A) 4702 × 0957 ca. 800 m

„Naturciskeller“ und „Sommercislöcher“ in Bergsturzgebiet. Keine weiteren Angaben vorhanden. BLUMRICH (1935).

Bever/Taverna (Graubünden/CH) 4633 × 0951 1710 m NNE

Unterkühlte Schutthalde mit Hexenwäldli. KNEISEL et al. (2000), RIST (2002), BAUERMEISTER (2002).

Boden/Matzen (Kärnten/A) 4631 × 1422 ca. 1100 m ENE

Auch „Eiskeller in der Matzen/Gotschuchen“ bei Ferlach. Permafrostboden und eisführender Hangschutt aus Wettersteinkalk. Kondenswassermoor mit Krüppelwald. Umfangreiche mikroklimatische und ökophysiologische Messungen bei SCHINDLER et al. (1976): Temperaturprofile im Tagesverlauf, Evaporation; Transpiration, Boden- und Pflanzenchemismus, Wassersättigungsdefizit, Stamm- und Blattanatomie, Blattflächenentwicklung, großflächige Vegetationsaufnahme; TBS 0,9 °C. Lichenologische Angaben bei REZNIK (1963). HÖLZEL (1963) meldet erste zoologische Daten, u. a. Nachweise des kälteliebenden Diplopoden *Tylogonium hoelzeli* (locus typicus!) und des blinden Höhlenaaskäfers *Aphaobius milleri*. Die Schneckenfauna (MILDNER 1984) zeigt keine Besonderheiten. Fallen im vereisten Schutt (CHRISTIAN 1985, 1987, 1989) brachten Massenfänge des Höhlenkäfers sowie der troglobionten Collembolen *Onychiuroides vornatscheri* und *Deuteraphorura mildneri* (locus typicus!). CANAVAL (1893), GRESSEL (1962, 1965), SCHIEERPELTZ (1963), MOSER (1966), ENGEL & ENGEL (1982).

Brandeben (Niederösterreich/A) 4754 × 1516 ca. 1060 m NNE

Südlich von Puchenstuben am Nordabhang des Turmkogels. Ehemals ganzjähriges Vorkommen von Bodeneis. Der Standort wurde ungeachtet der Erklärung zum Naturdenkmal durch Materialabbau entwertet. Mikroklimatische Angaben bei FINK (1989) und WAKONIGG (1998: TBS 2,1 °C). Subalpiner Blockfichtenwald, mächtiges *Sphagnum*-Vorkommen (Kondenswassermoor: STEINER 1992). Aus der Collembolenfauna (CHRISTIAN 1993) ragen *Pseudosinella duodecimpunctata* (troglöphil) und *Bonetogastrura spelicola* (vermutlich troglobiont) heraus.

Brandgegend (Niederösterreich/A) 4754 × 1514 ca. 655 m SW

Unbefahrbarer Windröhre im Hang der Brandmauer gegen das Erlaufstal. Mikroklimatische Messungen (TBS 2,6 °C) und Angaben zur Collembolenfauna bei CHRISTIAN (1993): erwähnenswert v.a. *Micraphorura melittae*, die hier den locus typicus und einzigen bekannten Fundort hat, sowie die regional troglobionte Art *Bonetogastrura cavicola*.

Brusio/Puschlav (Graubünden/CH) 4616 × 1007 730 m

Grotti. Subalpine Kälteflora, nach BECHERER (1952) u. a. mit *Poa alpina* und *Alchemilla alpina*.

Chiavenna (Sondrio/I) 4619 × 0926

Fugger (1892) zitiert verschiedene Autoren, welche Kaltluftaustritte in den Bergen oberhalb von Chiavenna beschreiben; diese würden durch Anbau von Hütten zur Kühlung

Tab. 1: Höhere Pflanzen entlang eines Höhentransekts durch die Eppauer Eislöcher. Die Standorte A (Kesselgrund) bis H (Kesselrand, Übergang zur Vegetation der Umgebung) entsprechen Flächen von $5 \times 5 \text{ m}^2$ im Höhenabstand von 4 m. – Higher plants along a transect from the bottom (A) to the surrounding vegetation at the seam (H) of the cauldron “Eppaner Eislöcher”. Letters A–H represent $5 \times 5 \text{ m}^2$ areas at vertical intervals of 4 m.

	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Asplenium trichomanes</i>								+
<i>Asplenium septentrionale</i>								+
<i>Cynanchum vincetoxicum</i>							+	
<i>Ostrya carpinifolia</i>						+	+	+
<i>Geranium robertianum</i>						+	+	+
<i>Solanum dulcamara</i>						+		
<i>Mycelis muralis</i>						+		
<i>Sambucus nigra</i>						+		
<i>Moehringia muscosa</i>					+		+	
<i>Maianthemum bifolium</i>					+			
<i>Fragaria vesca</i>					+			
<i>Quercus petraea</i> agg.				+				+
<i>Tilia cordata</i>				+	+		+	+
<i>Fraxinus ornus</i>				+	+	+	+	+
<i>Castanea sativa</i>				+	+	+	+	+
<i>Convallaria majalis</i>				+	+	+	+	
<i>Amelanchier ovalis</i>				+			+	
<i>Goodyera repens</i>				+	+	+		
<i>Fagus sylvatica</i>				+				
<i>Abies alba</i>				+				
<i>Sorbus aria</i> agg.			+	+	+	+		+
<i>Picea abies</i>			+	+	+	+	+	
<i>Carex montana</i>			+	+	+	+	+	
<i>Corylus avellana</i>			+	+	+		+	
<i>Berberis vulgaris</i>			+	+			+	
<i>Pinus sylvestris</i>			+		+	+	+	
<i>Prenanthes purpurea</i>			+	+	+			
<i>Erica carnea</i>			+	+	+			
<i>Valeriana tripteris</i>			+		+			
<i>Melampyrum pratense</i>			+	+				
<i>Polypodium vulgare</i> agg.		+	+	+	+	+	+	+
<i>Lonicera nigra</i>		+	+		+	+	+	
<i>Rosa pendulina</i>		+				+		
<i>Veronica urticifolia</i>		+	+	+	+			
<i>Sorbus aucuparia</i>		+	+	+	+			
<i>Hieracium sylvaticum</i>		+	+	+				
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>		+	+					
<i>Brachypodium sylvaticum</i>		+	+					
<i>Clematis alpina</i>		+						
<i>Rhododendron ferrugineum</i>		+						
<i>Rubus saxatilis</i>		+				+		
<i>Luzula nivea</i>	+		+	+				
<i>Vaccinium myrtillus</i>	+	+	+	+				
<i>Oxalis acetosella</i>	+	+	+					
<i>Rubus idaeus</i>	+	+						
<i>Poa alpina</i>	+							
<i>Taraxacum alpinum</i> agg.	+							
<i>Carex digitata</i>	+							
<i>Anthoxanthum odoratum</i> agg.	+							
<i>Leontodon autumnalis</i>	+							
<i>Plantago major</i>	+							

Weiters wurden gefunden: *Alchemilla* sp. (A), *Poa nemoralis* agg. (B), *Melica nutans* agg. (C), *Viola* sp. (D)

genutzt (vgl. auch SCHEUCHZER 1723a, DESAUSSURE 1796). Weitere derartige Standorte sollte es bei Menaggio und Dongo am Westufer des Comersees wie auch an zahlreichen anderen Lokalitäten Insubriens geben. Keine weiteren Angaben vorhanden.

Eppaner Eislöcher (Südtirol/I) 4627 × 1115 ca. 550 m E

Kessel am Fuß einer grobblockigen Schutthalde (Eppaner Gand). Mikrometeorologische Daten u. a. bei PFAFF (1933a), MORTON (1958a, 1959, 1962), PUNZ et al. (1989), WAKONIGG (1996: TBS 1,8 °C, 1998: TBS 0,0 °C), MOLENDI (1996b: TBS -1,0 °C). Mikroklimamessungen über 25 Jahre und ausführliche Beschreibungen der Vegetation bei PFAFF (1933a). Höhenstufen-Umkehr vom Orno-Ostryctum über Piceetum subalpinum myrtilletosum zum Poion alpinae im Kesselboden. Der ergänzend zu den vorhandenen floristischen Befunden aufgenommene Transekt ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Tatsächlich gibt es nur drei subalpin/alpine Arten: *Poa alpina*, *Taraxacum alpinum*, *Rhododendron ferrugineum*. Die meisten Arten besitzen ein breites Höhenspektrum (collin bis [sub]alpin: 13, collin bis montan: 9); umgekehrt ist die Zahl der collin-submontan verbreiteten Arten gering (4). Ökophysiologische Untersuchungen (Temperaturresistenz, Transpiration, Xylemsaugspannung) bei PUNZ et al. (1989), anatomische Studien daselbst sowie bei REIMITZ (1988) und SIEGHARDT et al. (2000). MOLENDI (1996b) wies 12 Käferarten nach, darunter den montan-alpinen Staphyliniden *Eudectus giraudi*. SAUTER (1838), STAFFLER (1846), HEUFLER (1851, 1860), HAUSMANN (1854), BAIL (1860), ARNOLD (1872), NIESSL (1872), AMTHOR (1879), FREYN (1887), FUGGER (1892), WARNSTORF (1900), DALLA TORRE & SARNTHEIN (1900ff), MATOUSCHEK (1901, 1902a, b), MAGNUS (1926), MORTON (1958b), FRENZEL (1962), PEDROTTI (1980), WAKONIGG (1998), BURGA & VOSER (2002), VOSER (2003).

Gargazon/Meran (Südtirol/I) 4636 × 1113

„Eisloch“ am Panoramaweg. Keine weiteren Angaben vorhanden.

Grödig (Salzburg/A) 4744 × 1302

Kalkteller. HELL 1943. Keine weiteren Angaben vorhanden.

Habichen/Tumpen (Tirol/A) 4711 × 1054 ca. 900 m WNE

„Kalte Keller“: teilweise gemauerte Kühlkeller am Fuß von Schutthalden. Episodische Beobachtungen (PATZELT unveröff.) und mikrometeorologische Messungen (WAKONIGG 1998: TBS -0,7 °C). Keine Angaben zu Flora und Fauna.

Heidnische Kirche (Salzburg/A) 4711 × 1232 ca. 1450 m W

Windlöcher im Amertal. Keine Angaben zu Flora und Fauna. STÜBER & WINDING (1993).

Hundsgraben/Gaming (Niederösterreich/A) 4855 × 1510 ca. 570 m NW

Kaltluftaustritt mit starken Kondensationserscheinungen und üppigem Moosbewuchs. BAUMGARTNER & TIPPELT (1995).

Ingridhütte (Kärnten/A) 4639 × 1244 ca. 1640 m

Kondenswassermoor: STEINER (1992).

Kaltenbrunn (Südtirol/I) 4620 × 1124 ca. 1080 m

Naturdenkmal „Eislöcher“ bei Unterradein oberhalb von Kaltenbrunn im Gemeindegebiet von Montan (AMTSBLATT 2000). Keine weiteren Angaben vorhanden.

Kaltenhausen (Salzburg/A) 4742 × 1124 ca. 450 m E

Auch „Kalte Keller“, „Windröhren im Barmstein“, „Windröhrenfeld Götschen-Dürrenberg“. Zahlreiche, früher von einer Brauerei genutzte unterkühlte Keller zwischen Kal-

tenhausen und Hallein. Fundort des troglobionten Collembolen *Pseudosinella christiani*, der bisher nur von hier und aus drei Salzburger Höhlen gemeldet wurde (STOMP 1986). FUGGER (1892), SCHWALBE (1887), HELL (1936), KLAPPACHER & KNAPCZYK (1979; hierin auch Zitate von Zeitungsmeldungen).

Karneid/St.Veit (Südtirol/I) 4620 × 1124

„Eiskeller; Eislöcher und Felsblockhalde“. UVS (2003), <http://www.schule.suedtirol.it/ssp-karneid/GS-Karneid/Eisloecher/Eiskeller.htm>. Keine weiteren Angaben vorhanden.

Kartitscher Sattel (Tirol/A) 4642 × 1234 ca. 1520 m WNW

Kondenswassermoor im Leitner Tal: STEINER (1992). WAKONIGG (1998): TBS 3,8 °C.

Kitzbrunn (Kärnten/A) 4659 × 1313 ca. 1500 m NNW

Windröhren im Dösender Tal. WAKONIGG (1996): TBS 1,0 °C. Keine Angaben zu Flora und Fauna.

Klammhöhe/Tragöß (Steiermark/A) 4733 × 1504 ca. 950 m WNW

Hochmoor auf Bergsturzgelände (Kondenswassermoor). STEINER (1992), ELLMAUER & STEINER (1992), ELLMAUER (1989): TBS 0,6 °C; WAKONIGG (1996): TBS 1,4 °C.

Laubenstein (Bayern/D) 4745 × 1217 1250 m

Aus Ponoren gespeister Kaltluftsee in einem Polje. Vegetationsumkehrphänomen. Sonst keine Angaben zu Flora und Fauna. BLIMETSRIEDER (1994).

Leonburg/Lana (Südtirol/I) 4637 × 1109

Naturdenkmal „Eislöcher“ bei Ackpfeif im Gemeindegebiet von Lana (AMTSBLATT 2004). Keine weiteren Angaben vorhanden.

Lueg (Salzburg/A) 4745 × 1322 ca. 550 m

Kalkkeller am Abersee. HELL 1937. Keine weiteren Angaben vorhanden.

Moosboden/Obervellach (Kärnten/A) 4658 × 1317 ca. 1950 m N

Kondenswassermoor im Kaponigtal. STEINER (1992), WAKONIGG (1998): TBS 3.7 °C.

Mühlhörndl/Sachranger Tal (Bayern/D) 4742 × 1218 ca. 970 m

Lokale Kaltluftaustritte in grobblockigem Bergsturzgelände in den Chiemgauer Alpen. Blockfichtenwald (*Asplenio-Piceetum*). MAYER (1961): TBS 2.6 °C; MAYER (1984).

Penon/Kurtatsch (Südtirol/I) 4618 × 1112 ca. 700m ENE

Teilweise gemauerte Kühlkeller. Episodische Beobachtungen und mikrometeorologische Messungen (WAKONIGG 1998: TBS 6,0 °C). Keine näheren Angaben zu Flora und Fauna.

Pflüghof/Maltatal (Kärnten/A) 4659 × 1327 ca. 850 m

Unterkühlte Schutthalde, mikroklimatische Messungen laufend (WAKONIGG, schriftl. Mitt.). Keine Angaben zu Flora und Fauna.

St. Georgen (Südtirol/I) 4649 × 1155

„Eiskeller“ bei St. Georgen, Gemeinde Bruneck (AMTSBLATT 2002). Keine weiteren Angaben vorhanden.

St. Nikolai/Sölkatal (Steiermark/A) 4707 × 1402 1260–1700 m E

Moore, Blockschutthalde beim Kreuzsteg. Episodische Beobachtungen und mikrometeorologische Messungen (FRANEK 1995, WAKONIGG 1998: TBS 2,5 °C). Keine Angaben zu Flora und Fauna.

Schellenbergkogel (Salzburg–Tirol/A) 4720 × 1226 ca. 1800 m

Kondenswassermoor: STEINER (1992).

Schütt (Kärnten/A) 4634 × 1346 ab ca. 520m vorwiegend S
Bergsturzgebiet unter der Südwand des Dobratsch bei Villach. Eisvorkommen Anfang Juni, azonale Florenelemente wie *Dryas octopetala* und *Tetraplodon mnioides* (STARLINGER, NIKLFIELD, mdl. Mitt.). KOMPOSCH et al. (1998) melden das Auftreten des Riesenwebknechts *Gyas annulatus* an „Eisloch“-Standorten.

Seebachtal (Kärnten/A) 4701 × 1313 ca. 1300 m NNW
„Eisloch“ (WAKONIGG 1998: TBS 5,0 °C). Keine Angaben zu Flora und Fauna. JUNGMEIER (1990).

Silberberg (Graubünden/CH) 4643 × 0945 ca. 1310 m WNW
Unterkühlte Schutthalde mit Hexenwäldli: RIST (2002).

Soteska (Gorenjska/SLO) 4618 × 1403 ca. 600 m
Kaltluftaustritte mit *Linnaea borealis* (als Glazialrelikt aufgefasst: WRABER 1963). NIKLFIELD, mdl. Mitt.

Steiner Alm (Kärnten/A) 4642 × 1303 ca. 1800m NNW
Eisführende Schutthalde am Jauken. Keine Angaben zu Flora und Fauna. WEISS (1958), STEINER (1992), WAKONIGG (1998).

Toteisboden/Schladming (Steiermark/A) 4721 × 1342 ca. 1060 m NNE
Hochmoor (Kondenswassermoor) auf Bergsturzgelände im Untertal. Aperiodische Beobachtungen und mikrometeorologische Messungen (SCHAEFTLEIN 1962, WAKONIGG 2001, 1998: TBS 0,3 °C). „Riesenwuchs“ von Flechten (*Cladonia rangiferina* mit 27 cm Höhe; TÜRK, mdl. Mitt.). Angaben zur Flora (u. a. *Betula nana*) bei SCHAEFTLEIN (1962) und STEINER (1992).

Untersberg (Salzburg/A)
Fugger (1892) verzeichnet zahlreiche Standorte am Untersberg sowohl mit Kaltluftaustritten als auch mit warmen Luftströmen. Eine rezente Bestätigung dieser Erscheinungen ist ausständig.

Usser Rüchi (Graubünden/CH) 4651 × 0958 ca. 1470 m NNW
Unterkühlte Schutthalde mit Hexenwäldli: RIST (2002).

Val Cavallina (Bergamo/I) 4547 × 1002 ca. 360 m
Dolinenartiges Tal am Fuß einer Bergsturzmasse, Kaltluft aus Windröhren. Vereinzelt Gebirgspflanzen. FENAROLI (1962), SCHAEFTLEIN (1962), ZAMBELLI (1968), FURLANETTO (2002).

Val Fredda/Lases (Trento/I) 4608 × 1114 ca. 750 m
„Buche di ghiaccio“ mit Kälteflora auf Blockhalde. Höhenstufen-Umkehr von Orno-Ostryetum bis Piccetum subalpinum myrtilletosum. Floristisch-soziologische Beschreibung bei FRONZA (1979). MOLENDI (1996a: TBS 5.0 °C) gibt eine Liste von Arthropodenarten, welche 17 Spinnen (mit der an Blockhalden und Höhlen gebundenen Baldachspinne *Lepthyphantes notabilis*), 6 Tausendfüßer (mit außergewöhnlich tief gelegenen Nachweisen der Diplopoden *Atractosoma meridionale* und *Dactylophorosoma nivisatelles*) und 17 Käfer (darunter *Nebria germari*) enthält. PFAFF (1933a, b), SALCHEGGER (1999).

Zerbenkogelmoos (Steiermark/A) 4739 × 1535 ca. 840 m NNW
Kondenswassermoor (?) bei Arzbach/Neuberg. ULLMANN (1970), ZIMMERMANN (1976), STEINER (1992), WAKONIGG (1998).

Neben den hier zusammengestellten Lokalitäten finden sich bei FUGGER (1892) Angaben zu „Windröhren“, welche „an Schutthalden und Bergabstürzen in den Alpen häufig [vorkommen]“. Diesen zum Teil recht präzisen Hinweisen wäre nachzugehen. Darüber hinaus existieren in der Literatur noch zahlreiche Standorte mit der Bezeichnung Eisloch oder Windloch.

Diskussion

Die vorliegende Arbeit verzeichnet 43 Kaltloch-Standorte im Ostalpenraum. Vier Lokalitäten (Chiavenna, Grödig, Lueg, Untersberg) wurden nur auf Grund alter Hinweise aufgenommen, zu weiteren fünf (Gargazon/Meran, Kaltenbrunn, Karneid/St.Veit, Leonburg/Lana, St. Georgen) konnten keine wissenschaftlichen Angaben gefunden werden. Von zehn Standorten sind lediglich mikroklimatische Messungen dokumentiert, von den restlichen liegen Daten zur Flora/Vegetation vor. Zoologische Informationen gibt es einstweilen nur zu den Kaltlöchern Boden/Matzen, Brandeben, Brandgegend, Eppaner Eislöcher, Kaltenhausen, Schütt und Val Fredda.

Die meisten Kaltlöcher treten in Blockhalden und in nördlichen Expositionen auf. Dies entspricht den Beobachtungen von RIST (2002) an sechsunddreißig schweizerischen Hexenwäldli: *Hangexposition maximal 90° von N abweichend*. RIST (2002) gibt als mittlere Seehöhe 1000 m an, die Standorte des gesamten Ostalpenraums liegen im Mittel etwas tiefer. Für eine generelle Aussage hinsichtlich weiterer Parameter (RIST 2002: Poren- und Korngröße, Anteil offener Blockschutt, Einstrahlung, Neigung, Deckungsgrad) fehlen vergleichende Untersuchungen.

Das theoretisch mit jedem Kaltloch korrespondierende Warmloch ist lediglich für den Standort Toteisboden/Schladming dokumentiert. Scheinbar isolierte Warmlöcher – die wohl ebenfalls mit sommerlichen Kaltluftexhalationen in Verbindung stehen – wurde nicht in die Liste aufgenommen, obwohl sie als potentielle Mikrohabitate wärmeliebender Arten von Interesse sind. Als Beispiele aus dem Ostalpenraum seien die Warmlöcher bei den Rosszähnen südlich der Leuchtenburg bei Mitterberg/Pfatten (Südtirol; ANDERGASSEN 1981, 1988) und die Nebellöcher bei Gainfarn und Hafnerberg (Niederösterreich) genannt. Auch für außeralpine Mittelgebirge liegen entsprechende Nachweise vor (KUBÁT 1999).

Pflanzenökologisch/ökophysiologische und pflanzenanatomische Untersuchungen wurden bisher nur an den Standorten Boden/Matzen, Eppaner Eislöcher und Klammhöhe/Tragöß durchgeführt. Die Böden sind tendenziell nährstoffärmer und etwas alkalischer (SCHINDLER et al. 1976; ähnlich die Ergebnisse der schweizerischen Untersuchungen: BAUERMEISTER 2002, SCHUDEL 2002). Transpiration und Saugspannung passen sich den kühleren Bedingungen an, die Pflanzen können aber keinen winterlichen Härtungszustand aufrechterhalten (PUNZ et al. 1989). Anatomische Besonderheiten (SIEGHARDT et al. 2000) sind weniger bei den Blättern als bei den Sprossen ausgeprägt; hier zeigt sich eine Tendenz zur Vermehrung des sekundären Rindengewebes sowie zu schmäleren Jahresringen (SCHINDLER et al. 1976, PUNZ et al. 1989, SCHUDEL 2002). Morphologisch ist fallweise Riesenwuchs von Flechten belegt (TÜRK, mdl. Mitt.). Ökologische Untersuchungen an Kaltlochstandorten mit Hilfe von Zeigerwerten oder Lebensformtypen (vgl. BAUERMEISTER 2002 für die Schweiz) fehlen im Ostalpenraum.

Floristische Besonderheiten im Sinne von exklusiven Pflanzenarten sind von Kaltlöchern nicht zu erwarten, wohl aber trifft man immer wieder auf azonal vorkommende Arten.

Unterschiede zwischen den untersuchten Standorten werden bei PUNZ et al. (1989) diskutiert. So sind die Eppaner Eislöcher durch Kaltluft im Kessel bei nur streng lokaler Unterkühlung geprägt, während am Standort Boden/Matzen unter einem gut ventilierten offenen Hang großflächig Bodeneis ansteht. Wie auch der Höhen transekt (Tab. 1) zeigt, treten in Eppan nur wenige Arten, die sonst auf die alpine Stufe beschränkt sind, im eigentlichen Sinn azonale auf. Als Grund hierfür wird der lediglich lokale Kaltauftaustritt angesehen: sommerliches Bodeneis oder unterkühltes Substrat ist offenbar nicht vorhanden, und die Lufttemperatur steigt bereits in geringer Höhe über dem Kesselgrund rasch an.

Pflanzensoziologisch sollen nach WALLNÖFER (1993a, b) zwei Waldgesellschaften mit Kaltlochstandorten in Beziehung stehen: der Kalkblockfichtenwald (Asplenio-Piceetum KUOCH 54: *artenreicher, kleinräumig strukturierter, oft als „Märchenwald“ beschriebener Fichtenwald der Montanstufe, der auf ruhenden, grobblockigen Hartkalk-Bergstürzen ausgebildet ist, wobei das pflanzliche Wachstum durch unterkühlte Bodenluft und Kaltluft-Austritte stark beeinträchtigt ist*; WALLNÖFER 1993b) und der Bärlapp-Spirkenwald (Lycopodio annotini-Pinetum uncinatae STARLINGER 92 corr WALLNÖFER 93). Für die Schweiz wird der Bärlapp-Bergföhrenwald genannt (Lycopodio selago-Pinetum mugo: RICHARD 1961; vgl. Lycopodio annotini-Mugetum piceetosum „Krüppelfichtenwald mit Bergkiefer“; MAYER 1984). Obwohl die genannten Gesellschaften nicht ausschließlich auf Halden mit nachgewiesenem Kaltauftaustritt beschränkt sind (WALLNÖFER, mdl. Mitt.), sollten bei der Suche nach Standorten dieser Gesellschaften weitere Kaltlöcher oder diffuse Kaltauftaustritte entdeckt werden, eventuell in Abhängigkeit vom Gesteinstyp: grobblockiger Kalk- versus feinerer Dolomitschutt (STARLINGER, mdl. Mitt.). In Deutschland sind für unterkühlte Blockschutthalde neben zahlreichen anderen Gesellschaften vor allem der Peitschenmoos-Fichtenwald (Bazzanio-Piceetum), der Karpatenbirken-Ebereschen-Blockwald (Betula carpaticae-Sorbetum aucupariae) und die Saxifraga sponhemica-Gesellschaft typisch (MAYER 1984, MOLENDEN 1996a, WUNDER & MÖSELER 1996, BOHN & LOHMEYER 1999).

Auch das so genannte Kondenswassermoor, welches von STEINER (1982, 1992) beschrieben wurde (vgl. auch ELLMAUER 1989, ELLMAUER & STEINER 1992), ist in den Kontext der Kaltlöcher zu stellen. Hier wird das Wachstum der (Torf-)Moose durch Kaltauftaustritt aus einer Blockhalde und die damit verbundene Kondensationsfeuchtigkeit begünstigt. Auch bei Kondenswassermoores kann von keiner spezifischen Pflanzengesellschaft gesprochen werden. Häufig ist die Artenvielfalt der Torfmoose reduziert (STEINER, mdl. Mitt.), während deutlich mehr Nicht-Torfmoosarten rund um die Austrittsstellen der Kaltluft wachsen (ZECHMEISTER, mdl. Mitt.). ELLMAUER (1989) beschreibt mehrere Moos-Synusien der Windlöcher, unter anderem den *Hylocomium-Tetraphis*-Verein.

Aus zoologischer Sicht sind Windröhren sowie wetterführende Schutt- und Blockhalden Sonderformen eines Lebensraumtyps, den JUBERTHIE et al. (1980) als *milieu souterrain superficial* bekannt gemacht haben. Der Terminus verweist auf die Beziehung zur Höhlenfauna in den tiefen unterirdischen Lebensräumen. Subterrane Landarthropoden wurden in Österreich in Kaltloch-Biotopen nachgewiesen, die mit dem Karsthohlraumssystem in wegsamer Verbindung stehen (CHRISTIAN 1985, 1987, 1993). Darunter fanden sich Arten, die nur aus Höhlen bekannt waren. Sie hatten Augen und Pigmente reduziert, jedoch die Körperanhänge nicht in der für „echte“ Höhlenarthropoden typischen Weise verlängert. Der geringe Porendurchmesser im Lückensystem der Kaltlöcher scheint Tiere mit größerem Raumanspruch auszuschließen (CHRISTIAN 1999). *Troglocheles aggerata*, eine Milbe aus der engsten Verwandtschaft einiger Höhlenbewohner, wurde aus einem subniva-

len Schuttmantel im Ötztal beschrieben (ZACHARDA 2000). Auch diese Art erscheint mit ihren ungewöhnlichen Körperproportionen eher an ein engräumiges Porensystem angepasst. Umgekehrt können Arthropoden aus Blockhalden-Populationen im Vergleich zu ihren oberirdisch lebenden Artgenossen eine Verlängerung der Extremitäten aufweisen, wie RŮŽIČKA (1998) am Beispiel von Spinnen aus dem Thaya-Nationalpark gezeigt hat.

Von jungen Bergstürzen abgesehen, entstanden Kaltluft führende Blockhalden in tiefen Lagen Mitteleuropas vorwiegend unter periglazialen Bedingungen, die mit den heutigen Gegebenheiten im Hochgebirge vergleichbar sind. Die dynamische Bewetterung schafft ein Eigenklima mit steilen Temperatur- und Feuchtegradienten zwischen Oberfläche und Haldenkörper ebenso wie im Inneren des Systems zwischen der Oberkante und dem Haldenfuß (RŮŽIČKA et al. 1995, MOLENDÁ 1996b). Dadurch erhöhen Schutt- und Blockhalden die örtliche Biodiversität, weil hier wärme- und kälteliebende Tiere nebeneinander entsprechende Kleinlebensräume finden. Kaltstenotherme feuchteliebende Arten können am Fuß der Halden in weit vorgeschobenen Populationen auftreten, die als Glazialrelikte gedeutet werden (MOLENDÁ 1999). So liegt der tiefste Fundort des hochalpinen Laufkäfers *Nebria germari* auf 700 Meter Seehöhe in den Blockhalden des Val Fredda/Lases (MOLENDÁ 1996b).

Der Überblick über die bekannten ostalpinen Kaltlochstandorte lässt geomorphologische, mikroklimatische, ökophysiologische, floristisch/vegetationskundliche und zoologische Forschungsdefizite erkennen. Vor allem aus evolutionsbiologischer und naturschutzfachlicher Sicht ist es geboten, das Phänomen der Kaltluftaustritte und die dadurch bedingten Veränderungen von Flora und Fauna gründlich zu untersuchen.

Dank

Mag. Dr. Thomas ELLMAUER, Univ.-Prof. Dr. Harald NIKLFELD, Univ.-Prof. Dr. Wolfgang PFEILER, Univ.-Prof. Dr. Wolfgang PÜSCHL, Dipl.-Ing. Dr. Franz STARLINGER, Univ.-Prof. Dr. Gert Michael STEINER, Univ.-Prof. Dr. Roman TÜRK, Univ.-Ass. Dr. Susanne WALLNÖFER, Univ.-Prof. Dr. Herwig WAKONIGG, Univ.-Doz. Mag. Dr. Harald ZECHMEISTER

Literatur

- AICHINGER E., 1933: Vegetationskunde der Karawanken. Fischer Jena.
- AMTHOR E., 1879: Bozen und Umgebung, ein Führer durch die Stadt und auf kleineren und größeren Ausflügen. Amthor Gera.
- AMTSBLATT, 2000: Amtsblatt der Autonomen Region Trentino-Südtirol 52 (23), 13–20.
- AMTSBLATT, 2002: Amtsblatt der Autonomen Provinz Südtirol 17/I–II vom 23. 4. 2002, 48–51.
- AMTSBLATT, 2004: Amtsblatt der Autonomen Provinz Südtirol 38/I–II vom 21. 9. 2004, 49–57.
- ANDERGASSEN G., 1981: Die Warmlöcher auf dem südlichen Ausläufer des Mitterberges bei Pfäfen. Der Schlern 55, 158–159.
- ANDERGASSEN G., 1988: Das Geheimnis der Warmlöcher. Dolomiten Nr. 70 (24. 3. 1988), 25.
- ARNOLD F., 1872: Lichenologische Ausflüge in Tirol. Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien 22, 279–314.
- BAIL T., 1860: Herbarium mycologicum typicum. Österr. Bot. Z. (Jg. 1860), 101–114.
- BALCH E. S., 1900: Glacières or freezing caverns. Allen, Lane & Scott Philadelphia.

- BAUERMEISTER R., 2002: Azonale Vegetation auf unterkühlten Schutthalden. Diplomarbeit ETH Zürich.
- BAUMGARTNER B. & TIPPELT W., 1995: Ötscher-Führer. Verlag NÖ Pressehaus St. Pölten.
- BECHERER A., 1952: Eine Kälteflora im Bereiche der Brusaker Grotti (Puschlav). *Ber. schweiz. bot. Ges.* 62, 664.
- BLIMETSRIEDER K., 1994: Der Eiskeller im Laubensteingebiet. *Jb. Ver. Schutz Bergwelt* 59, 91–101.
- BLUMRICH J., 1935: Sommereislöcher in Vorarlberg. *Bl. Naturkunde Naturschutz* 22, 6–8.
- BOCK H., 1913: Mathematisch-physikalische Untersuchung der Eishöhlen und Windröhren. In: BOCK H., *Höhlen im Dachstein*, Graz, 102–147.
- BÖGLI A., 1978: Karsthydrographie und physische Speläologie. Springer Berlin, Heidelberg, New York.
- BOHN U. & LOHMEYER W., 1999: Wälder, Mantel- und Saumgesellschaften auf Blockhalden und in deren Kontaktbereich. In: MÖSELER B. M. & MOLENDI R. (Hg.): *Lebensraum Blockhalde. Decheniana-Beihefte (Bonn)* 37, 27–41.
- BURGA C. A. & VOSER N., 2002: Die Eppaner Eislöcher – eine Kälteinsel im Weinbaugebiet Südtirols. *Zoologische und Botanische Forschung in Südtirol (Tagungsband)*, Naturmuseum Südtirol, Bozen, 5–6.
- CANAVAL R., 1893: Ein Eiskeller in den Karawanken. *Carinthia* II 167/87, 178–180.
- CHRISTIAN E., 1985: Zur Collembolenfauna eines Permafrostbodens in der Karawanken-Nordkette. *Carinthia* II 175/95, 141–149.
- CHRISTIAN E., 1987: Composition and origin of underground arthropod fauna in an extrazonal permafrost soil of central Europe. *Biol. Fert. Soils* 3, 27–30.
- CHRISTIAN E., 1989: Höhlenfauna. Österreichs subterrane Landarthropoden. Film C 1920. ÖWF Wien.
- CHRISTIAN E., 1993: Collembolen aus zwei Windröhren des Ötscherlandes (Niederösterreich). *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 130, 157–169.
- CHRISTIAN E., 1999: Vom Sandlückensystem zur Riesenhöhle: Subterrانبologie in Österreich. In: MÖSELER B. M. & MOLENDI R. (Hg.): *Lebensraum Blockhalde. Decheniana-Beihefte (Bonn)* 37, 121–126.
- CRAMMER H., 1899: Eishöhlen- und Windröhren-Studien. *Abhandl. d. K. K. Geogr. Ges. in Wien*, H. 1, 15–76
- CYSAT J. L., 1661: Beschreibung dess Berühmbten Lucerner- oder 4-Waldstättesees. *Hautten Luzern*.
- DALLATORRE K. W. & SARNTHEIN L., 1900–1913: *Flora von Tirol, Vorarlberg und Liechtenstein*. Wagner Innsbruck.
- DELALOYE R. & LAMBIEL C., 2005: Evidences of winter ascending air circulation throughout talus slopes and rock glaciers situated in the lower belt of alpine discontinuous permafrost (Swiss Alps). *Norsk geogr. Tidsskr.*, 59, 149–156.
- DESAUSSURE H. B., 1796: *Voyage dans les Alpes*. Bd. 3. Fauche Neuchatel.
- ELLENBERG H., 1982: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Ulmer, Stuttgart.
- ELLMAUER T., 1989: *Vegetationsökologische Untersuchungen an einem Kondenswassermoor in Tragöß (Steiermark)*. Diplomarbeit Univ. Wien.
- ELLMAUER T. & STEINER G. M., 1992: *Vegetationsökologische Untersuchungen an einem Kondenswassermoor in Tragöß (Steiermark)*. *Ber. Naturwiss.-Med. Ver. Innsbruck* 79, 37–47.

- ENGEL H. & ENGEL M., 1982: Zum Vorkommen von *Cortinarius canabara* MODER bei Gotschuchen in den Karawanken, Kärnten. *Carinthia* II 172/92, 253–254.
- FENAROLI L., 1962: Una stazione di piante microtermitiche in Val Cavallina (Prealpi Bergamasche). *Fondazione per i problemi Montani dell'Arco Alpino*, Publ. 45, Bergamo.
- FINK M. H., 1989: Ein Permafrostboden in den Kalkvoralpen bei Puchenstuben (Niederösterreich). *Die Höhle* 40, 95–98.
- FISER F., 1968: Ze starých kronik. *Vlastived. Sborn. Litomericko* 1968, 65–66.
- FRANEK W., 1995: Kondenswassermoore im Naturpark Sölkäler – eine ökologische Rarität. *Naturschutzbrief (Graz)* 106, 15–16.
- FRENZEL W., 1962: Die Eislöcher bei Eppan – ein wenig bekanntes Naturschutzgebiet in Südtirol. *Natur und Land* 48, 21.
- FREYN J., 1887: Meine dritte Tiroler Fahrt. *Österr. Bot. Z. (Jg. 1887)*, 313–329.
- FRONZA M. T., 1979: Flora e vegetazione delle buche di ghiaccio di Lases. Diplomarbeit Univ. Padua.
- FUGGER E., 1891: Eishöhlen und Windröhren. *Jahresbericht der k. k. Oberrealschule in Salzburg* 24: 1–70.
- FUGGER E., 1892: Eishöhlen und Windröhren. *Jahresbericht der k. k. Oberrealschule in Salzburg* 25, 71–134.
- FUGGER E., 1893: Eishöhlen und Windröhren. *Jahresbericht der k. k. Oberrealschule in Salzburg* 26, 135–223.
- FUGGER E., 1894: Eishöhlen und Windröhren. *Mitt. k. k. Geogr. Ges. Wien* 37, 97–134.
- FURLANETTO D., 2002: La valle de freddo. *Provincia di Bergamo*.
- FURRER E., 1961: Über „Windlöcher“ und Kälteflora am Lauerzsee (Schwyz). *Ber. geobot. Inst. Rübel* 32, 83–96.
- FURRER E., 1966: Kümmerfichtenbestände und Kaltluftströme in den Alpen der Ost- und Inner-schweiz. *Schweiz. Z. Forstwesen* 117, 720–733.
- GODIN R., 1996: Thermosyphon heat transfer. http://www.arctic-fnd.ca/general_info/heat_transfer/heat_transfer.html
- GRESSEL W., 1962: Eisvorkommen in der Matzen in Kärnten. *Die Höhle* 13, 88–90.
- GRESSEL W., 1965: Perennierendes Eisvorkommen in der Matzen in Südkärnten. *Carinthia* II, SH 24, 280–282.
- GUDE M., DIETRICH S., MÄUSBACHER R., HAUCK C., MOLENDEN R., RŮŽIČKA V. & ZACHARDA M., 2003: Probable occurrence of sporadic permafrost in non-alpine scree slopes in central Europe. *Proc. 8th International Conference on Permafrost Zürich*, 331–336.
- HARRIS S. A. & PEDERSEN D. E., 1998: Thermal regimes beneath coarse blocky material. *Permafrost Periglac. Process.* 9, 107–120.
- HAUSMANN F., 1854: *Flora von Tirol*. Wagner Innsbruck.
- HEER O., 1846: Wind- oder Wetterlöcher. In: HEER O. & BLUMER-HEER J. J., *Der Kanton Glarus*. St. Gallen, 21–22.
- HELL M., 1936: Die kalten Keller von Kaltenhausen bei Hallein in Salzburg und das Windröhrenphänomen. *Speleolog. Jahrb.* 15/17, 49–57.
- HELL M., 1937: Keller mit Windröhrenkühlung bei St. Gilgen. *Salzburger Chronik* 138, 19. 6. 1937, 3–4 (= Die Windröhrenkeller in Luog am Abersee. *Salzburger Volksblatt* 138, 19/20. 6. 1937).
- HELL M., 1943: Die Salzburger „Naturkeller“. *Salzburger Zeitung* 233, 25.8.1943, 4.

- HEMP A. & HEMP C., 1996: Kalkschuttfuren und Blockhaldenwälder. Der Lindenberg bei Hohenstadt und seine außergewöhnliche Vegetation und Fauna. ANL-Berichte 20, 139–175.
- HEMP A. (Hg.), 1997: Das Blockschutthaldden-Symposium am 6. und 7. September in Bayreuth. Hoppea 58, 313–356.
- HEMP A., 1999: Die Vegetation offener Kalkschutthaldden der Nördlichen Frankenalb. Tuexenia 19, 241–304.
- HEUFLE L. J., 1851: Die Laubmoose von Tirol, geographisch erläutert. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien (Jg. 1851), 169–196.
- HEUFLE L. J., 1860: Untersuchungen über die Hypneen Tirols. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien (Jg. 1860), 383–502.
- HÖLZEL E., 1963: Tierleben im Eiskeller der Matzen in der Karawankennordkette. Carinthia II 153/73, 161–187.
- JARZ K., 1882: Die Eishöhlen bei Frain in Mähren. Peterm. Geogr. Mitt. 28, 170–176.
- JUBERTHE C., DELAY B. & BOUILLON M., 1980: Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d'un nouveau milieu et son peuplement par les Coléoptères troglobies. Mém. Biospél. 7, 19–52.
- JUNGMEIER M., 1990: Naturführer Seebachtal. Naturkundlicher Führer zum Nationalpark Hohe Tauern Bd. 7, Innsbruck.
- KELLER F., 1839: Bemerkungen über die Wetterlöcher und natürlichen Eisgrotten in den Schweizer Alpen. Neujahrsbl. Naturf. Ges. Zürich.
- KLAPPACHER W. & KNAPCZYK H. (Hg.), 1979: Salzburger Höhlenbuch, Band 3. Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg.
- KNEISEL C., HAUCK C. & VONDER MÜHLL D., 2000: Permafrost below the timberline confirmed and characterised by geoelectrical resistivity measurements, Bever Valley, Eastern Swiss. Permafrost and Periglacial Processes 11, 295–304.
- KOMPOSCH C., HOLZINGER W., NEUHÄUSER-HAPPE L. & PAILL W., 1998: Spinnentiere und ausgewählte Insekten. In: JUNGMEIER M. & SCHNEIDERGRUBER M. (Hg.), Bergsturzlandschaft Schütt. Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Klagenfurt, 98–115.
- KRAUS F., 1894: Höhlenkunde. Wege und Zweck der Erforschung unterirdischer Räume. Wien.
- KUBÁT K., 1999: Luftströmung in den Blockhalden des Böhmisches Mittelgebirges als ein mikroklimatischer Faktor. In: MÖSELER B. M. & MOLENDÁ R. (Hg.): Lebensraum Blockhalde. Decheniana-Beihefte (Bonn) 37, 81–84.
- KUBÁT K. (ed.), 2000: Stony debris ecosystems. Acta Univ. Purkyn. Stud. Biol. (Ústí n. L.) 4.
- KYRLE G., 1923: Grundriß der theoretischen Speläologie. Speläologische Monographien Bd. 1, Wien.
- LIEB G. K., 1996: Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz 33, 9–125.
- LÜTH M., 1990: Moosgesellschaften und Gesellschaftskomplexe auf Blockhalden im Südschwarzwald in der Umgebung Freiburgs. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württ. 58, 1–88.
- MAGNUS P., 1926: Nachtrag zur Flora von Tirol (DALLATORRE & SARNHUBER). Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 50, 1–315.
- MATOUSCHEK F., 1901: Beiträge zur Moosflora von Tirol und Vorarlberg I. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 25, 71–89.
- MATOUSCHEK F., 1902a: Beiträge zur Moosflora von Tirol und Vorarlberg II. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 26, 1–56.

- MATOUSCHEK F., 1902b: Beiträge zur Moosflora von Tirol und Vorarlberg III. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 26, 87–110.
- MAYER H., 1961: Märchenwald und Zauberwald im Gebirge. Zur Beurteilung des Blockfichtenwaldes (*Asplenio-Piceetum*). Jb. Ver. Schutz Alpenpflanzen und -tiere 26, 22–37.
- MAYER H., 1984: Wälder Europas. Fischer Stuttgart.
- MILDNER P., 1984: Zur Molluskenfauna im „Eiskeller“ der Matzen, Karawanken. Carinthia II 174/94, 237–242.
- MÖSELER B. M. & MOLEND A. R. (Hg.), 1999: Lebensraum Blockhalde. Zur Ökologie periglazialer Blockhalden im außeralpinen Mitteleuropa. Decheniana-Beihefte (Bonn) 37.
- MOLEND A. R., 1996a: Das Ökosystem „Kaltluft erzeugende Blockhalde“. Natur- und Kulturlandschaft 1, 133–136.
- MOLEND A. R., 1996b: Zoogeographische Bedeutung Kaltluft erzeugender Blockhalden im außeralpinen Mitteleuropa: Untersuchungen an Arthropoda, insbesondere Coleoptera. Verh. Naturwiss. Ver. Hamburg (NF) 35, 5–93.
- MOLEND A. R., 1999: Die Rolle von Blockhalden bei der Entstehung disjunkter Areale: zoogeographische Aspekte. In: MÖSELER B. M. & MOLEND A. R. (Hg.): Lebensraum Blockhalde. Decheniana-Beihefte (Bonn) 37, 161–170.
- MORTON F., 1958a: Die Eislöcher von Eppan in Überetsch. Natur und Volk 88, 413–420.
- MORTON F., 1958b: Bei den Eislöchern von Eppan. Universum, Natur und Technik 13, 268–270.
- MORTON F., 1959: Mikroklimatische Untersuchungen am *Rhododendron ferrugineum* L. im Bergsturzgebiet der Eppaner Gand. – (Arb. aus d. Botan. Station in Hallstatt, Nr. 198) Der Schlern 33, 233–234, 339–342, 424–426.
- MORTON F., 1962: Die Eislöcher bei Eppan. Natur und Land 48, 46.
- MOSER M., 1966: Einige interessante Pilzfunde aus dem Gebiet der Gotschuchen. Carinthia II 156/76, 28–33.
- MÜLLER G., 1995: Die Gewinnung und Verwendung von Natureis. Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde 135, 773–802.
- NISSL G., 1872: Beiträge zur Kenntnis der Pilze. Verh. naturf. Ver. Brünn (Jg. 1872), 153–217.
- PARROT G. F., 1815: Grundriss der Physik der Erde und Geologie. Riga und Leipzig.
- PEDROTTI F., 1980: Guida all'escursione della Società Botanica Italiana in Val d'Adige e nel Parco nazionale dello Stelvio (27.–30. giugno 1980). Centro Stampa Università Camerino, 1–63.
- PFÄFF W., 1933a: Die Eislöcher in Überetsch. Ihre Vegetationsverhältnisse und ihre Flora. Schlern-Schriften (Innsbruck) 24, 1–72.
- PFÄFF G. [= W.], 1933b: Le „Buche di ghiaccio“ di Lases e la loro flora. Studii Trentini Sci. Nat. 14, 177–187.
- PICTET M. A., 1822: Mémoire sur les glaciers naturels qu'on trouve dans quelques grottes du Jura et des Alpes. Bibliothèque universelle Genève 20, 261–284.
- PLEISCHL A., 1838: Über das Eis im Sommer zwischen den Basaltstücken bei Kameik nächst Leitmeritz in Böhmen. Beitr. Physikal. Geogr. Böhmens I. Lieferung.
- PUNZ W., MAIER R., SIEGHARDT H., ENGENHART M., NAGL A., DOMSCHITZ E., NEUMANN G. & KOVACS G., 1989: Mikrometeorologische und ökophysiologische Untersuchungen in den Eppaner „Eislöchern“. Der Schlern 63, 261–278.
- REIMITZ R., 1988: Auswirkung ausgewählter Streßfaktoren auf die pflanzliche Anatomie. Diplomarbeit Univ. Wien.

- REZNIK H., 1963: Über die Flechten-Vegetation in der Gotschuchen (Karawanken). *Carinthia II* 153/73, 221–226.
- RICHARD J. L., 1961: Les forêts acidophiles du Jura. *Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz* 38, 1–164.
- RIST A., 2002: Unterkühlte Blockschutthalden mit Hexenwäldli. Diplomarbeit TU München-Weihenstephan.
- RŮŽICKÁ V., 1998: The subterranean forms of *Lepthyphantes improbulus*, *Theonoe minutissima* and *Theridion bellicosum* (Araneae: Linyphiidae, Theridiidae). In: SELDEN P. A. (Hg.), *Proc. 17th Europ. Coll. Arachnology, Edinburgh 1997*, 101–105.
- RŮŽICKÁ V., 1999: The freezing scree slopes and their arachnofauna. In: MÖSELER B. M. & MOLENDAR R. (Hg.): *Lebensraum Blockhalde. Decheniana-Beihefte (Bonn)* 37, 141–147.
- RŮŽICKÁ V., HAJER J. & ZACHARDA M., 1995: Arachnid population patterns in underground cavities of a stony debris field (Araneae, Opiliones, Pseudoscorpionidea, Acari: Prostigmata, Rhagidiidae). *Pedobiologia* 39, 42–51.
- SALCHEGGER H., 1999: Naturräumliche Aspekte eines Landschaftspflegeplanes für die Gemeinde Lona-Lases. Diplomarbeit Univ. Bodenkultur Wien.
- SAUTER A. E., 1838: Bemerkungen über mehrere Pflanzen der südwestlichen Gebirgskette. *Flora (Jg. 1838)*, 259–272.
- SCHAEFTLEIN H., 1962: Ein eigenartiges Hochmoor in den Schladminger Tauern. *Mitt. Naturw. Ver. Steiermark* 92, 104–119.
- SCHAEFTLEIN H., 1963: Windlöcher, Eislöcher und Frostböden in den Alpen. *Natur und Land* 49, 114–118.
- SCHIERPELTS O., 1963: Eine neue Art der Untergattung *Podoxya* Mulsant-Rey der Gattung *Oxypoda* Mannerheim aus Kärnten (Col. Staphyl.). *Carinthia II* 153/73, 188–191.
- SCHUECHZER J. J., 1723a: *Aerographia Helvetica I. Tiguri, Officina Gesneriana*.
- SCHUECHZER J. J., 1723b: *Ouresiphonites Helveticus, sive Itinera per Helvetiae alpinas regiones. Lugduni Batavorum*.
- SCHINDLER H., KINZEL H., BURIAN K., ALBERT R., ALTGAYER M., BOLHAR-NORDENKAMPF H., DRAXLER G., ENGENHART M., GSCHLIFFNER C., JAKISCH H., JANAUER G., KARTUSCH B., KARTUSCH R., KINZEL R., MAIER R., PUNZ W., ROTHSCHEDL R., SAUKEL J., SIEGHARDT H., SLAD H., STEINER M., WINTER C., 1976: Ökophysiologische Untersuchungen an Pflanzen der Matzen-Eisstandorte. *Carinthia II* 166/86, 269–307.
- SCHUDEL K., 2002: Hexenwäldli. Dendroökologie von Kümmerfichtenbeständen auf unterkühlten Schutthalden. Diplomarbeit ETH Zürich.
- SCHWALBE B., 1887: Übersichtliche Zusammenstellung litterarischer Notizen über Eishöhlen und Eislöcher nebst einigen Zusätzen. *Mitt. d. Section f. Höhlenkunde des OeTC (Wien)* 6, 13–39.
- SIEGHARDT H., PUNZ W. & REIMITZ R., 2000: Vergleichend-anatomische Studien an Pflanzen der Eppaner „Eislöcher“. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 137, 255–264.
- STAFFLER J. J., 1846: *Tirol und Vorarlberg, statistisch und topographisch mit geschichtlichen Bemerkungen*. Innsbruck.
- STEINBACH A., 1954: Beobachtungen und Messungen an Eishöhlen im Westerwald und in der Eifel. *Jb. Nass. Ver. Naturkde.* 91, 8–36.
- STEINER G. M., 1982: *Österreichischer Moorschutzkatalog*. Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, Wien.
- STEINER G. M., 1992: *Österreichischer Moorschutzkatalog*. Moser Graz.

- STOMP N., 1986: Le groupe de *Pseudosinella vandeli* (Insectes, Collemboles) dans les Alpes orientales. In: DALLAI R. (Hg.), Second International Seminar on Apterygota. University of Siena, Italy, 85–91.
- STÜBER E. & WINDING N., 1993: Naturführer Felber- und Amertal, Hintersee. Salzburger Nationalparkfonds Neukircher.
- TRIMMEL H., 1968: Höhlenkunde. Die Wissenschaft Bd. 126, Vieweg Braunschweig.
- ULLMANN H., 1970: Vegetation und Klima des Hochmoores Rotmoos bei Weichselboden in der Obersteiermark. Diss. Univ. Wien.
- UVS, 2003: Umweltverträglichkeitsstudie Eisenbahnachse Verona–München. Im Auftrag d. Rete Ferroviaria Italiana. Amt für überörtliche Raumordnung der Provinz Bozen.
- VOSER N., 2003: Das Phänomen der Eppaner Eislöcher in Südtirol. Vom Wein- zum Tundra-Klima. Diplomarbeit Universität Zürich.
- WAKONIGG H., 1996: Unterkühlte Schutthalden. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz 33, 209–223.
- WAKONIGG H., 1998: Neue Beobachtungen an unterkühlten Schutthalden. Mitt. Österr. Geograph. Ges. 140, 115–130.
- WAKONIGG H., 2001: Ergebnisse von Temperatur-Dauerregistrierungen am „Toteisboden“ im Schladminger Untertal. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark 131, 41–56.
- WALLNÖFER S., 1993a: Erico-Piceetea. In: MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Hg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs III. Wälder und Gebüsche. Fischer Jena, 283–337.
- WALLNÖFER S., 1993b: Vaccinio-Piceetea. In: MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Hg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs III. Wälder und Gebüsche. Fischer Jena, 244–282.
- WALTER H., 1960: Standortslehre. Einführung in die Phytologie III/3, Ulmer Stuttgart.
- WARNSTORF C., 1900: Beiträge zur Kenntnis der Moosflora von Südtirol. Verh. Zool. Bot. Ges. Wien 50, 6–24.
- WEISS E. H., 1958: Eine Eis führende Schutthalde in den Gailtaler Alpen. Carinthia II 148/68, 62–63.
- WIGLEY T. M. L. & BROWN M. C., 1976: The Physics of Caves. In: FORD T. D. & CULLINGFORD C. H. D. (Hg.), The Science of Speleology. Academic Press London, 329–357.
- WITTINGHAUSEN E. F. v., 1895: Die Frainger Eisleiten. Mitt. Section Naturkunde des ÖTC 7, 57–60.
- WRABER T., 1963: *Linnaea borealis* (L.), planta rediviva slovenske flore. Biol. vestnik 11, 43–48.
- WUNDER J. & MÖSELER B. M., 1996: Kaltluftströme auf Basaltblockhalden und ihre Auswirkungen auf Mikroklima und Vegetation. Flora 191, 335–344.
- ZACHARDA M., 2000: New species of the genus *Troglocheles* (Acari: Prostigmata: Rhagidiidae) from Oetzal Alps, Tyrol, with a key to adult species of the genus. J. Nat. Hist. 34, 463–478.
- ZAMBELLI R., 1968: Sorgenti di aria gelida in provincia di Bergamo e loro interpretazione. Rassegna Speleologica Italiana 20(1).
- ZIMMERMANN A., 1976: Über Wesen und Entstehung von Waldmooren in Hanglage. Naturfreunde Steiermark, natur + landschaft + mensch 1976/2, 1–14.

Manuskript eingelangt: 2005 06 28

Anschrift:

ASS.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ, Univ.-Prof. Dr. Helmuth SIEGHARDT, Univ.-Prof. Dr. Rudolf MAIER, Dr. Manfred ENGENHART: Department für Ökophysiologie und funktion-

nelle Anatomie der Pflanzen, Fakultätszentrum Ökologie der Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien.

Univ.-Prof. Mag. Dr. Erhard CHRISTIAN, Department für Integrative Biologie der Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Früher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [142](#)

Autor(en)/Author(s): Punz Wolfgang, Sieghardt Helmuth, Maier Rudolf, Engenhardt Manfred, Christian Erhard

Artikel/Article: [Kaltlöcher im Ostalpenraum - Kaltloch sites in the Eastern Alps. 27-45](#)