

NATIONALPARK KALKALPEN
(OBERÖSTERREICH)
KARSTDYNAMIK

Das Nationalpark - Karstprogramm 1994-1997

SCHLUSSBERICHT
(VORAUSEXEMPLAR)

Harald Haseke, Februar 1998

Also available as the Internet Site:

<http://ftp-waldoek.boku.ac.at/kalkalp/>

Mitarbeiter

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, seien hier einige Projektbeteiligte und Unterstützer am Nationalpark Karstprogramm 1994-1997 genannt:

Nationalpark oö. Kalkalpen GmbH (vormals Verein Nationalpark Kalkalpen, Auftraggeber): Geschäftsführer Dr. Erich MAYRHOFER; Dr. Roswitha SCHRUTKA, DI Andreas GÄRTNER (Medien, Forschungsleitung); Ing. Hartmann PÖLZ (Öffentlichkeit, Ausstellungen); Norbert STEINWENDNER (EDV-GIS); Mag. Siegfried ANGERER†; Ing. Elmar PRÖLL; Lotte GÄRTNER (Forschungslabor); Kurt BUCHNER, Roland MAYR, Andreas RUSSMANN (alle Forschungszentrum)

Bundesministerium für Umwelt: Ing. Friedrich KNAPP; DI Michael MIRTL, Dr. Martin KRALIK (Umweltbundesamt)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: Dr. Gerhard VÖLKL (Hydrographisches Zentralbüro)

Amt der oberöstr. Landesregierung: Ing. Max WIMMER, Christian WAKOLBINGER (Hydrographischer Dienst), Dr. Harald WIMMER (Geologischer Dienst)

Projektpartner: Mag. Manfred BOGNER, Thomas LEHNER (Bogner&Lehner OEG), Mag. Günter MAHRINGER (Flugwetterdienst Linz/ Horsching); Dr. Klaus KATZENSTEINER, DI Franz MITTERBÖCK, DI Peter NEMESTHOTY, DI Christian FUXJÄGER, DI Josef LECHNER, Dr. Franz OTTNER, DI Peter HOLUBAR, Sabine HEURITSCH (alle BOKU Wien); Ralf Benischke, Dr. Hermann STADLER (Joanneum Research Graz); Dr. Susanne SCHMIDT (Inst.f. Hygiene Univ. Graz); Prof. Franz GRIMS; DiplBiol. Benjamin MENNE & Sandra MENNE (BIUS Mühlacker/BRD); Willibald STICHLER (GSF München); Dr. Erich WEIGAND (UBA Wien), Mag. Michaela PANZENBÖCK, Mag. Gabriele WEIGELHOFFER (Zoolog. Inst./Studienkoordination Ökologie Uni Wien); Dr. Klement TOCKNER (EWEAG Zürich); Dr. Martin HAASE (Univ. Basel); Josef WEICHENBERGER (Linz)

Wissenschaftliche Assistenz: Doris PENNETZDORFER (Wien), Birgit VOGEL (Salzburg/Wien), Inge HOFER (Enns), Nick und Herbert HAFNER (Molln), Mag. Sigrid HILGER (ANL Laufen), Dr. Michael STOCHOWITSCH (Wien)

Kooperationen: DiplBiol. Herbert P. FRANZ (Nationalpark Berchtesgaden)

Mediale Umsetzung: Franz Xaver WIMMER (Steyr), VOGEL AUDIOVISION (Linz), SCIENCE & VISION (Graz), RAG Design (Graz/Hinterstoder)

Koordination: Dr. Harald HASEKE (Salzburg/Molln)

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	4
Einführung	6
Meteorologie und Klimatologie: Datensupport und regionales Messnetz	19
Implementierung und Bewertung naturräumlicher Grundlagendaten für die Einzugsgebiets-Abschätzung	26
Geochemisch-Mineralogische Analysen von Gesteinen, Böden und Höhlensedimenten	35
Sukzessionsdynamik und Verkarstung ausgewählter Almen im Sengsengebirge.....	54
Pilotstudie Karbonatböden.....	58
Die Einflüsse von Vegetation und Boden auf den Wasserhaushalt des Karstsystems ...	72
Kartierung der Geomorphologie und Hydrologie.....	98
Karstquellen-Monitoring und Ereigniskampagnen.....	108
Karstquellen-Dokumentation.....	193
Boden-Erosionsmonitoring mit Hilfe von bodenspezifischen Mikroorganismen – Verwendung von dNA-Hybridisierungstechniken (Pilotstudie)	200
Myxobakterien: Unterirdische Verbreitung als stygofaunistische Biozönosen	209
Quellökologie, Biozönosen und Biodiversität in den Quellökosystemen des Nationalparkes	218
Hydrographie: Wasserbilanzen, Quellschüttungen und Messreihen am Karstwasserspiegel	230
Limnologisches Monitoring Hinterer Rettenbach	239
Speleologische Forschungen	248
Karstwasser-Markierungsversuche.....	258

KURZFASSUNG

Im Rahmen der Schaffung des Nationalparks Kalkalpen im südlichen Oberösterreich, Raum Steyrtal-Ennstal-Windischgarsten, wurde von 1994-1997 ein umfangreiches Karstprogramm durchgeführt. Die Finanzierung war aus Mitteln der Nationalpark oö. Kalkalpen GmbH (vormals Verein NP Kalkalpen) und des Bundesministeriums für Umwelt gesichert. Das Projekt wurde in Kooperation zwischen dem Nationalpark Forschungszentrum und einer Reihe werkvertraglich beauftragter Fachleute durchgeführt.

Eine 1993/94 eigens erstellte Projektstudie definierte die Interessensschwerpunkte. Der erste Projektabschnitt war der Vervollständigung und Zusammenführung flächendeckender Gebiets-Charakteristiken wie Geologie, Hydrologie, Vegetationsdeckung und Geomorphologie und ihrer integrierten Verarbeitung mit GIS-Unterstützung gewidmet.

Der zweite Teil, der ab 1995 in Angriff genommen wurde, widmete sich speziellen karsttypischen Vorgängen auf kleinen begrenzten Arealen. Den Vorrang bekamen Studien über die Boden- und Vegetationsentwicklung auf sensiblen Standorten und die Schwerpunktuntersuchung einiger Karstquellen.

Die waldökologisch-bodenkundlichen Testreihen belegten die wichtige Funktion eines gesunden Mischbestandes für die Erhaltung der ökologischen Stabilität. Der Niederschlag wird unter Schirm sehr effizient gebremst und die Ausspülung und Auslaugung ist auf Kahlflächen problematischer AC-Böden deutlich höher. Erstmals ist es gelungen, auf den sehr flachgründigen Karstböden überhaupt erfolgreiche Meßreihen zustande zu bringen.

Die Karstquellen des Nationalparks entsprechen chemisch allen Reinheitsnormen, sind aber durch Trübungen und mikrobiologische Frachten belastet. Mit vierteljährlichen Monitoring-Kampagnen und intensiven Meßreihen bei bestimmten Witterungssituationen wurde dieser Qualitätsentwicklung nachgegangen. In Übereinstimmung mit den Analysen des Bodenwasserhaushalts zeigte sich ein ziemlich hoher Austrag von erodierten Bodenpartikeln im Wasser. Der Prozeß der „fortschreitenden Verkarstung“, der mit der Alm- und Forstnutzung der vergangenen Nutzungsperioden einher ging, ist jedenfalls noch nicht zum Stehen gekommen.

Sehr überraschend waren die Ergebnisse der mikrobiologischen und quellökologischen Erhebungen. In weit größerem Ausmaß als bisher angenommen zeigen sich die Karstgewässer innen und außen von Lebensgemeinschaften besiedelt, die auch unterirdisch ihre Umwelt aktiv mitgestalten. Hervorzuheben sind die neuen Aspekte für die Karstwissenschaft mit dem Nachweis von mikrobiellen „Biofilmen“ im Karstgrundwasser und der enorme Artenreichtum der Quellöffnungen an Tieren.

Eine Weiterführung des Karstprogrammes bietet sich auf zwei Ebenen an:

1. Die Ergebnisse der Langfristbeobachtungen sollten im Interesse und zur Unterstützung des Nationalpark-Managements gezielt noch weiter ausgewertet und in Folge ausgebaut bzw. beibehalten werden. Gemeinsam mit der Naturraum-Stichprobeninventur ist damit eine effiziente Erfolgskontrolle für Rückführungsmaßnahmen möglich. Dies wurde bereits in einem LIFE-Projektantrag für die Erlangung von EU-Förderungsmittel festgehalten.
2. Die mikro- und makrobiologischen Arbeiten brachten bedeutende Fortschritte für die Wissenschaft, die weit über den regionalen Aspekt des Nationalparkes hinausgehen. Die weitere Erkundung der Biodiversität und der Rolle der unterirdischen Biofilme für die Karstentwicklung und die Wasserqualität rechtfertigen jedenfalls eine Vertiefung der Studien, für die auch verstärkt Doktoranden eingesetzt werden sollten.

EINFÜHRUNG

DER NATIONALPARK KALKALPEN - SCHUTZGEBIET IN EINER SENSIBLEN BERGLANDSCHAFT

Karstgebiete finden weltweit Beachtung durch ihre oft skurrilen Landschaftsformen, und sie stellen eine bedeutende Facette des globalen Artenreichtums dar. So betrachtet ist es kein Wunder, daß überproportional viele Karstgebiete in Nationalparks integriert sind. „Karst“ bedeutet, daß die landschaftsformenden Prozesse hauptsächlich durch die Auflösung des Grundgesteines unter dem Niederschlagswasser gesteuert werden. Da dieser Prozeß nur zu sehr karger Bodenbildung führt, sind Karstgebiete schwer oder nur kurzfristig nutzbar, und die Oberfläche kann rasch kahl werden – womit der populäre Begriff der „Verkarstung“ angeschnitten ist. Karstgebiete bedürfen also eines besonders verantwortungsbewußten Managements.

In Anlehnung an die CNPPA Working Group innerhalb der IUCN sind zwei essentielle Dinge zu beachten, wenn man Schutzvorschläge und Schutzstrategien entwickelt:

- Die „Integrität“, sprich ein ökologisch stabiles System, kann nur erhalten bleiben, wenn man den Wasserhaushalt in Ordnung hält;
- Karst ist gegenüber einer Reihe von Umwelteingriffen, die anderswo verkraftbar sind, extrem empfindlich.

Systemanalytisch betrachtet, sind im Konzept „Karst“ so viele Einflußfaktoren vernetzt, daß zum Verständnis der Vorgänge eine interdisziplinäre Teambildung notwendig ist. Dieser Ansatz der Karstforschung zieht sich wie ein roter Faden durch die Geschichte, realisiert wurde er nur selten – wahrscheinlich weil er schwer finanzierbar und ausführbar ist. Umso höher ist hier das Engagement des Nationalparks Kalkalpen zu bewerten, der zumindest den ersten Projektteil über vier Jahre konsequent durchgezogen hat.

Wenn die CNPPA – Workgroup schreibt:

„As in many aspects of protected area management, the establishment of protected areas is not enough in itself. The management of karst demands specific interdisciplinary expertise and this is in the early stages of development in most countries. Management agencies should recognise the importance of this expertise and take advantage of inter-agency or international cooperation in order to enhance their own capabilities.“

so ist dies nur zu unterstreichen. Österreich hat eine vorzeigbare Tradition in der Karstforschung und der Nationalpark Kalkalpen hat sie aufgegriffen. Die Formulierung des Managementplanes für das nunmehr akkreditierte NATURA 2000 – Gebiet, im

Zuge eines LIFE-Projektantrages, beweist, daß das Karstprogramm keine akademische Spielwiese war. Die Umsetzung vieler Projektmodule in konkrete Vorgangsweisen und Evaluationsprogramme ist beispielhaft und könnte dazu beitragen, die Erforschung und das Management von Karst – Nationalparks weltweit zu befruchten. Die 1998/99 beschlossene Kooperation mit den Karst-Nationalparks Berchtesgaden (D) und Bükk-Gebirge (H) liegt auf dieser Linie.

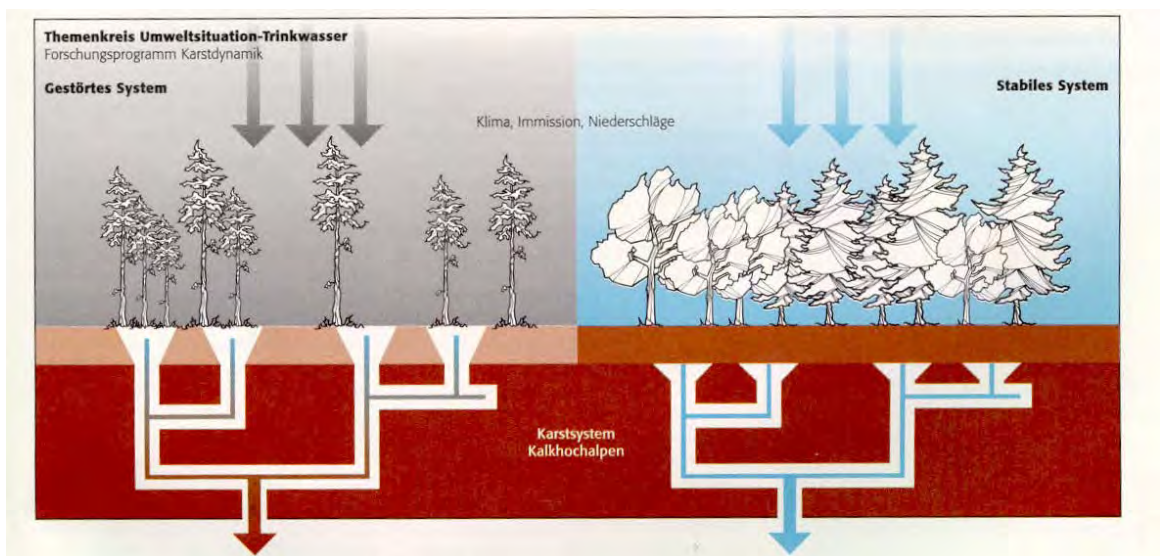


Fig. 000-1: Zum ökologischen Ansatz des Karstprogrammes. Die hauptsächlichsten Untersuchungen widmeten sich den „Schnittstellen“ zwischen Oberfläche und Untergrund: Dem Klima-Vegetation-Boden-Subsurface-System in den Einzugsgebieten und den Quell- und Gebirgsbächen im Anschluß an die seichtphreatische und krenale Zone. Dabei wurde versucht, die verschiedenen Methoden der Bio- und Geowissenschaften miteinander zu verknüpfen.

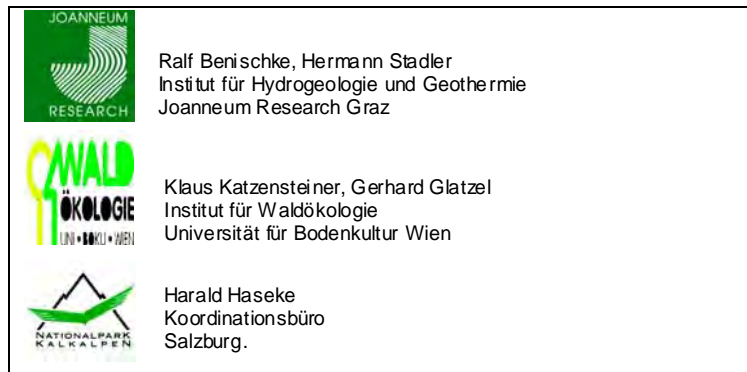
DAS KARSTPROGRAMM: TEIL DER NATIONALPARKFORSCHUNG

Konzeption und Ablauf

Das interdisziplinäre Projekt „Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen“ wurde als Kooperation zwischen der Nationalpark-Geschäftsstelle und dem Bundesministerium für Umwelt in die Wege geleitet. Ausgeführt wurde es von vertraglich gebundenen Experten und Angehörigen der Nationalpark-Forschungsstelle in Molln, vereinigt unter einer gemeinsamen Leitlinie und Koordination. Weitere naturwissenschaftliche Schwerpunktprogramme mit Finanzierung und/oder Unterstützung des Nationalparks sind:

- Meteorologieprogramm
- Naturraum – Stichprobeninventur
- Biotopkartierung
- Integrated Monitoring (IM) Zöbelboden

Das Gesamtkonzept des Karstprogrammes¹ wurde 1993/94 von einem Projektteam entworfen:



Der erste Projektteil ist als „Einzugsgebiets-Studie“ charakterisiert. Die Hauptarbeit lag zunächst auf der Erhebung, Vervollständigung und Evaluation flächig-regionaler Daten und Kartierungen. Darunter fielen Gebietskarten der Geologie, Hydrologie und Geomorphologie, Ergänzungen zum Aufbau des meteorologischen Meßnetzes, quellökologisch-limnologische Stichprobenerhebungen, Nutzungskartierungen, Übersichtsanalysen der Substrateigenschaften und Böden, hydrographische Kampagnen, Quellmeßkampagnen, Karstwasser-Markierungsversuche und luftbild- bzw. DGM-basierte GIS-Auswertungen. Einige dieser Primärdaten sind in Form von Themenatlanten² bereits verfügbar oder werden laufend in Form von GIS-Exponaten ediert und nachgeführt.

1 BENISCHKE/GLATZEL/HASEKE/KATZENSTEINER/STADLER (1994): Projekt Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen. - A) Zusammenfassung (HASEKE, H.): 41 Seiten, Grafiken und Abb. - Molln-Graz-Salzburg-Wien März 1994. - B) Fachbereich Hydrologie und Hydrogeologie (BENISCHKE, R. und STADLER, H.): 50 Seiten, Grafiken und Abb. - Graz, März 1994. - C) Fachbereich Bodenkunde und Ökologie (GLATZEL, G. und KATZENSTEINER, K.): 26 Seiten, Grafiken und Abb., Wien, März 1994.

2 ANGERER, S.. et al (1996): Atlas der Hydrologie 1:20.000, Nationalpark Kalkalpen, Mai 1996. --
GÄRTNER, A. et al (1994): Atlas der Geologie 1:20.000, Nationalpark Kalkalpen, September 1994. -
HASEKE, H. (1994b): Atlas der Geomorphologie und Hydrologie 1: 20.000, Dezember 1994.

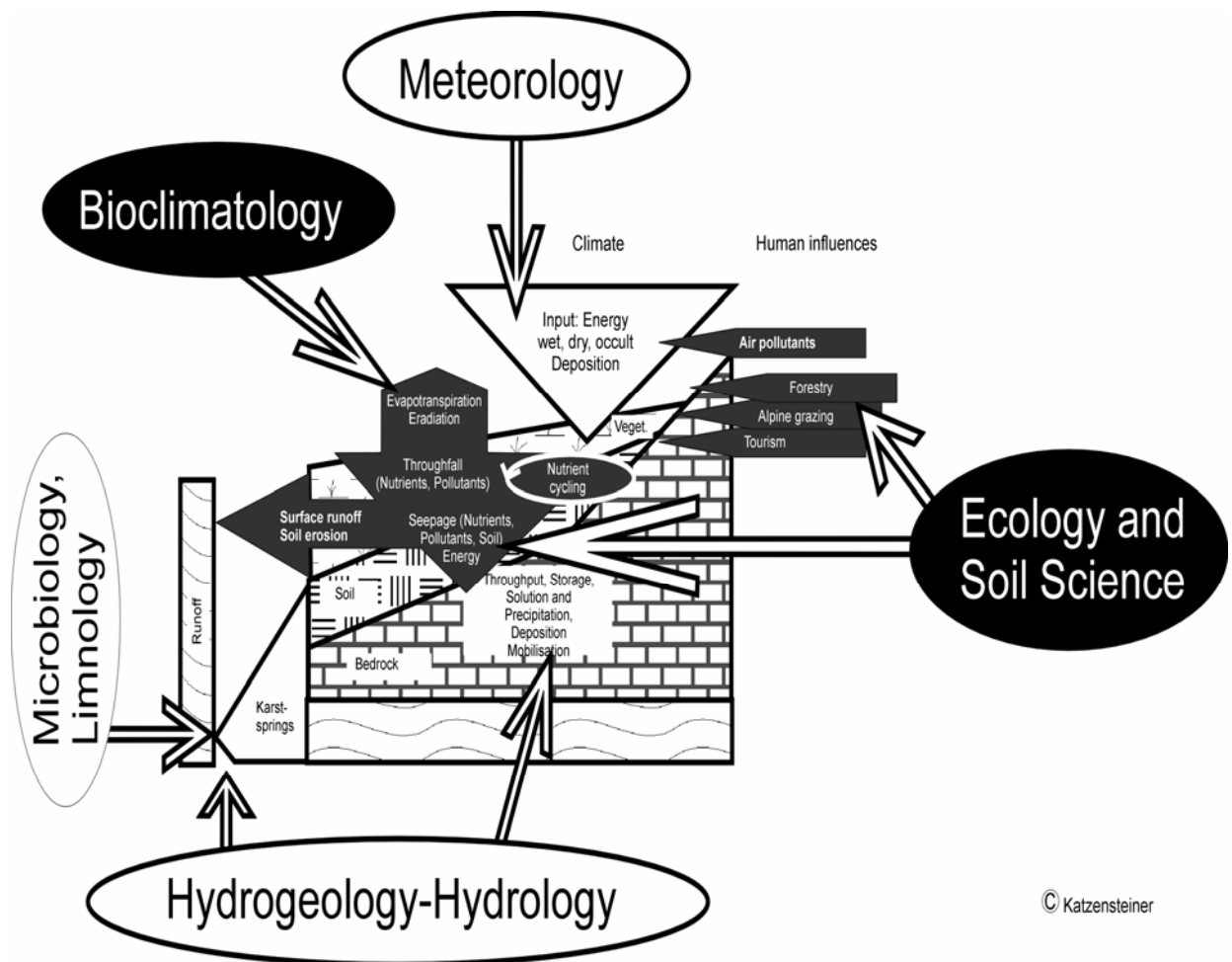


Fig. 000-2: Übersichtsschema der wissenschaftlichen Ansätze und der Teilstudien des Nationalpark Karstprogrammes, aus der schwerpunktmäßigen Sicht der Bodenkunde.

Der zweite Projektschritt des Karstprogrammes sieht intensive Forschungen auf kleinen Karst-Einzugsgebietsflächen vor, deren optimale Auswahl nach der Einzugsgebietsstudie festgelegt werden sollte. Wie sich aber zeigte, war eine strikte zeitliche Trennung von der ersten Projektphase nicht notwendig, da bald ein Überblick der möglichen, sprich auch realistisch betreibbaren „Testflächen“ hergestellt war. Nach methodisch-logistischen Testreihen am Mieseck (Ebenforst, Hintergebirge nahe IM Zöbelboden) wurde ein Transekt über die höchste Erhebung des Sengsengebirges eingerichtet. Die beiden Karstriesenquellen Steyernquelle und Rettenbachquelle sind die Eckpunkte und Outputs dieses von 550 bis 1970m Seehöhe reichenden Profiles. Vier Dauerbeobachtungsflächen und einige Intensivkampagnen an den Quellen ergänzten einander.

Diese „Ereigniskampagnen“ sollten dazu beitragen, die sehr komplexen Zusammenhänge und Austauschprozesse zwischen Oberfläche und Untergrund oder, der herrschenden Lehrmeinung zufolge, zwischen „biotischem“ und „abiotischem“

Milieu zu erkunden. Nach den (stygo-)faunistischen und mikrobiologischen Erkenntnissen sind wir nicht mehr überzeugt, daß diese Trennung zwischen den Karstsphären legitim ist. Wahrscheinlich ist dies die bedeutendste wissenschaftliche Erkenntnis aus dem Karstprogramm des Nationalparks; sie wurde schon mehrfach auf Tagungen und Kongressen vorgebracht³.

Wissenschaftliche Grundlagen und Prämissen

1. Black Box, GIS und Naturrauminventur

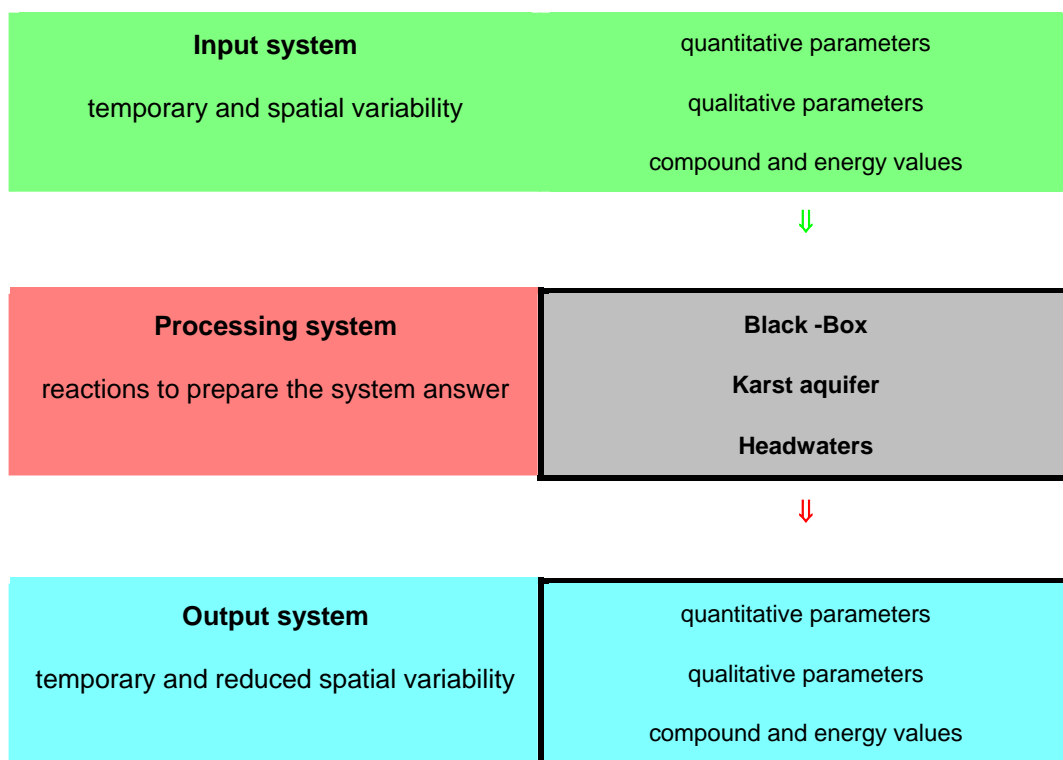


Fig. 000-3: Black-Box-Modell als einfacher Forschungsansatz der Hydrologie. Der flächig verteilte Input wird unterirdisch in der „Blackbox“ der unterirdischen Karstes gesammelt und verändert. An den Outputs können die so veränderten Parameter nur als punktuelle, codierte Informationen angetroffen werden. In diesem Modell wird Karstwasser also als „Systemantwort“ auf vielfache Einflüsse, Veränderungen und auch Störungen in den Einzugsgebieten verstanden.

³ z.B. : NATIONALPARK KALKALPEN GmbH (1998, Veranstalter): Symposium Hydrogeologie und Hydrobiologie. Biotische Prozesse an benetzten Gesteinsoberflächen im Untergrund. Windischgarsten, Oktober 1998. - MENNE, B. (1997d): 12.Int.Congress of Speleology 1997, La-Chaux-de Fonds. --MENNE, B. und VÖLKL, G. (1997): Neue Wege in der karsthydrologischen Forschung. Barbara-gespräche 1997, 4.-5.12.1997, Payerbach. -- KATZENSTEINER, K. (1998): Research and Monitoring as Key Elements for Sustainable Development in the Limestone Alps – European Strategies, October 11-13, Bled, Slovenia (1998)

Die erste Grundüberlegung war, wie man methodisch im Rahmen einer Einzugsgebiets-Studie und mit GIS-Unterstützung an die Charakteristik von Karstgebieten herangehen könnte. Karst zählt aufgrund seiner Komplexität und der vergleichsweise großen Zone relativer Unbeobachtbarkeit („Black Box“) bis heute zu den am schwierigsten zu untersuchenden Landschaften. Vergleiche mit der Tiefsee, den großen Wüsten, den Polkappen oder gar mit der Oberfläche des Mondes wurden immer wieder angestellt. Zu den methodischen Problemen der Messungen an einer sehr kargen Biosphäre kommen die schwierige Zugänglichkeit und Unwegsamkeit der alpinen Karstlandschaften, der am wenigsten genutzten und erschlossenen Lebensräume Österreichs.

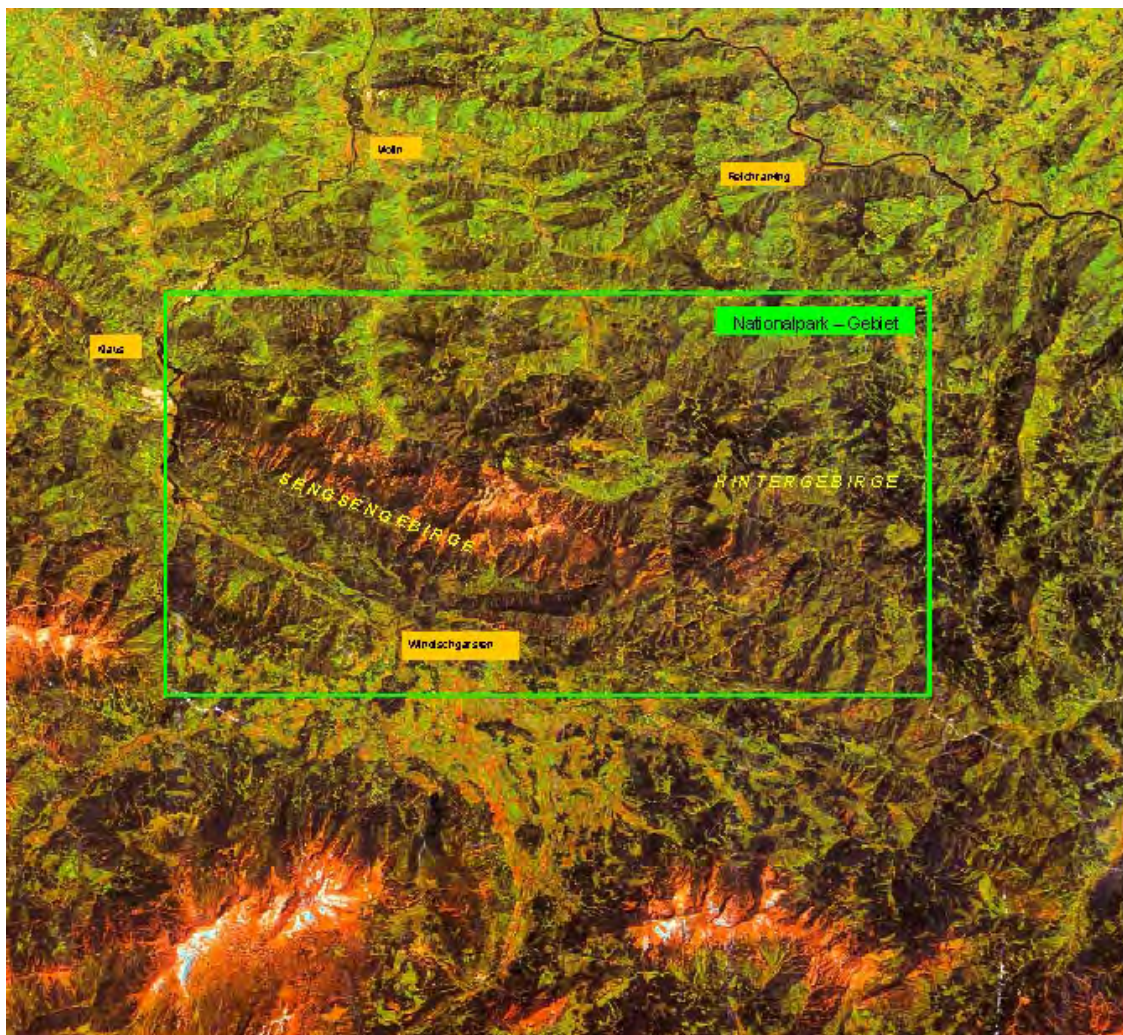


Fig. 000-4: Satellitenbild der Nationalpark-Region mit den wichtigsten Hauptorten. Man erkennt den Nationalpark als überwiegend bewaldetes, kaum besiedeltes Areal im Norden der eigentlichen Kalkhochalpen (Warscheneck, Bosruck).

Der Terminus „Hydrotop“ wurde in der Karstforschung als hypothetisches „Minimal Catchment“ eingeführt, um den kleinsten gemeinsamen Nenner hydraulischer Gebietseigenschaften festzulegen. Dies sollte parallel zum Terminus „Physiotop“ als

kleinste Landschaftseinheit oder zum bekannten Begriff „Biotop“ stehen. Einige Studien – und nicht zuletzt auch die vorliegende – zeigten aber, daß solche Klassifikationsversuche meist viele Einzelflächen ohne irgendwelche Homogenitäten erzeugten. Der „fraktalen Dimension“ einer Karstlandschaft werden Standardisierungsversuche wenig gerecht, auch wenn dies im Zeitalter des Normungswahnes modern ist. Somit fällt auch die Nutzung eines GIS (Geographisches Informationssystem) für die methodische Beherrschbarkeit eines Karstsystems ziemlich flach. Mit Hilfe von GIS lassen sich Themenkarten und gute Statistiken schneller und variabler herstellen; eigenständige wissenschaftliche Erkenntnisse dürfen aus diesem Instrument nicht erwartet werden. GIS ist somit eher ein Planungsinstrument - wenn es effizient eingesetzt wird.

Die im Nationalpark seit 1994 laufende Naturraum-Stichprobeninventur trägt diesen Schwierigkeiten insofern Rechnung, als sie auf eine komplette Flächendeckung verzichtet und ökologische Trends anhand eines genügend großen Aufnahmeflächen-Samples (300 Meter Raster) nachvollzieht. Die Verbindung zum Karstprogramm wurde schon in der Entwicklungsphase hergestellt und wird noch äußerst interessant werden, wenn das Sample groß genug ist.

2. Konvergenzansatz und „Hydrologische Codierung“

Der „Konvergenzansatz“ in der Hydrologie setzt voraus, daß die gesamte Information aus dem Einzugsgebiet im entwässernden Vorfluter oder in der Karstquelle verschlüsselt enthalten ist. Bis zu einem gewissen Punkt ist dies decodierbar, z.B. auf Basis der Hydrochemie oder der Isotopengehalte des Quellwassers. Es ist mit diesem Ansatz möglich und legitim, Veränderungen im Quellwasser auf Vorgänge im Einzugsgebiet zurückzuführen – was vor allem für die Managementplanung entscheidende Wichtigkeit haben kann, weil eine Quelle als „qualitative Kontrollinstanz“ für den ökologischen Trend an der Oberfläche dienen kann. Für das 1999 eingereichte LIFE-Managementprojekt⁴ sollen vor allem die Quellen aus überschaubaren Flächen eine wichtige Rolle in der Maßnahmen-Bewertung spielen. Ähnliches gilt für den methodischen Ansatz der „Integrated Monitoring“ – Fläche am

⁴ „Größflächig ausgebildete Fichtenforste sind anfällig für Windwurf- und Schädlingskalamitäten, in deren Folge es jederzeit zur Verstärkung des Bodenabtrages und einer massiven Belastung des Karstwassernetzes, der Quellen und Fließgewässer durch freigesetzte Trüb- und Nährstoffe kommen kann. Tatsächlich sind viele Quellen des Natura 2000-Gebietes in einem schon bedenklichen Ausmaß durch jährlich wiederkehrende Verkeimungs- und Eintrübungsperioden gezeichnet. Die Veränderungen der Karstwasserqualität führen letztlich zu negativen Konsequenzen für die Lebewelt und Quellen, Bächen und Kleingewässern, z.B. durch Verschlammung der Mikrohabitate. “.- Projektantrag LIFE-Natur-99 der Nationalpark Kalkalpen GmbH vom 15.12.1998, pg. 10/1.

Zöbelboden/Hintergebirge, dem österreichischen Beitrag zu einem europäischen Verbundsystem zur Frage der Hintergrundbelastung.

Doch ist hier Vorsicht angebracht: Bei großen bis sehr großen Quellen wird der Rückschluß vom Quellwasser auf den Zustand der Karstlandschaft aufgrund der Einzugsgebietsgröße und der Mischungseffekte aus verschiedenartigen Catchments immer schwieriger.

Dies ist bei den Rettenbachquellen aus der einheitlichen reinen Wettersteinkalkmasse des Sengsengebirges weniger störend als z.B. bei den Großquellen aus dem Ebenforst- und Feichtaubereich, die auch Ponorwasser aus mergeligen Halbkarst- bis Nichtkarstzonen ausbringen. Wieweit hier vorhandene Trends als „Störung“ interpretiert werden dürfen oder einfach einen quasinatürlichen Zustand höherer Grundbelastung widerspiegeln, ist im Einzelfall zu hinterfragen.

3. Karst-Biozönosen als „Störfaktor“ oder Bewertungs-Option?

Die im Rahmen des Karstprogrammes festgestellte Belebtheit des Quell- und Karstgrundwassers rät außerdem zur Vorsicht. Der in den Wasserhöhlen haftende "Biofilm" bringt neue Aspekte in die Diskussion um die karst-interne Zwischenspeicherung wie auch um die Stoffumsätze.

Es ist bekannt, daß Höhlen bedeutende Sedimentlager sind: Bis heute werden große Mengen umgelagerter Tertiärböden ausgeschwemmt und können anhand der Mineralspektren identifiziert werden. Neueste Forschungen zeigen, daß Ähnliches (wenn auch in kürzerem Zeitrahmen) für die mikrobielle Karstwasserfracht gelten kann. Die KBE/CFU-Bakterienfracht und damit auch die TOC-Rate ist nicht automatisch als aktuelle Durchspülung von der Oberfläche aufzufassen. Bei Hochwässern reißen sich auch Teile des karstinternen Biofilmes los und kommen in den Quellen als „biologische Fracht“ zutage. Hochinteressant ist die diesem Zusammenhang der Nachweis adsorbierter E.Coli-Keime an Sedimentpartikeln und am subterranean Biofilm, wobei Überlebensraten („starvation survival“) laut Literatur bis über 200 Tage möglich sind!

Der für Hydrogeologen neuartige „Belebtheitsansatz“ kann aber andererseits auch als zusätzliche Option zur besseren Beurteilung des Karstwassersystems genutzt werden: Biozönosen reagieren oft viel eindeutiger auf Veränderungen als rein meßtechnische Parameter. In den Nationalparks Berchtesgaden⁵ und oö. Kalkalpen wurden bereits erste makrobiologische Monitoringsysteme an Quellen eingerichtet.

⁵ CENTRO DI ECOLOGIA ALPINA (1997): A research on benthonic and interstitial fauna in Alpine and pre-Alpine springs. Report N. 8, Trento 1996. - GERECKE, R. (1995): Untersuchungen zur Fauna von vier ausgewählten Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Abschlußbericht, NP Berchtesgaden.

Kurzübersicht der Teilprojekte

Im Sinne der eingangs vorgestellten Grafiken ist auch die Abhandlung der Teilprojekte gegliedert: Die Projektreihung beginnt mit dem Input aus der Atmosphäre (Meteorologie) und endet nach Durchlauf der Bio- und Lithosphäre an den Quellen und Vorflutern.

Die Meteorologen stellen einerseits regionale Klima- und Wetterdaten (TP. 1.1), andererseits lokalklimatische Kennwerte über eigene Kleinklimastationen bereit (TP 1.2). Ein Netzwerk von Stationen über das gesamte Nationalpark- und Umgebungsgebiet erlaubt eine detailreiche Tageswetterlagen-Beschreibung. Auf Testflächen des Programmes werden vor Ort die Parameter Niederschlag, Luftfeuchte und Temperatur erfaßt.

Der Freiland-Niederschlag kann sich gerade im Karst stark vom Regen unterscheiden, der durch das Kronendach durchschlägt und auf den Boden trifft. Die bestandesklimatisch – bodenökologische Studie erfaßt diese Transformationsprozesse und den Übergang des Regens zum Bodensickerwasser bis in die oberste Eindringungszone des Karstes (Subsurface). Die Interzeption (TP. 2) hängt von der Bestandesart (Buchen- oder Fichtenwald, Kahlschlag, Jungwuchs), der Transpiration der Baumarten und der Speicherfähigkeit des Boden-Gestein-Verbundes ab (TP. 3.2). Mit wöchentlich beprobten BULK-Sammlern aus Regen, Traufwasser, Lysimetern und Höhlen des „ungesättigten“ Karstes geht man in einem umfangreichen Meßprogramm auch den chemischen Veränderungen des Wassers nach (TP. 5).

Wesentlich in diesem Zusammenhang ist die Intensität heutiger und früherer Nutzungen. Das Karstprogramm steuerte zu diesem Problemkreis, der naturgemäß im zentralen Interesse des Nationalpark-Managements liegt, eine spezielle Studie über die Almentwicklung im Hochkarst bei (TP. 4). Geomorphologische, hydrologische und geologische Kartierungen und eine umfassende Quellaufnahme stellen den Rahmen für Flächenanalysen her (TP. 6). Die Daten sind zum Großteil auch im Geo-Informationssystem (TP. 12, GIS) des Nationalparks verfügbar und werden neben vielen anderen Flächenparametern in einer Einzugsgebiets-Studie vereinigt (TP. 3.1).

Das Sickerwasser zieht von der Subsurface in den großteils unzugänglichen Karstkörper („Black Box“) ab und ist nur fensterartig in Wasserhöhlen als seichtphreatische Siphonzone zugänglich. Meist ist man bei der Beobachtung des System-Outputs auf die Quellen angewiesen (TP. 7 und 8). Ausgewählte Quellen

werden vierteljährlich im Rahmen des Karstquellen-Monitorings aufgesucht (TP. 7.1), einige wenige auch in Form von „Ereigniskampagnen“ in Kurzintervallen gemessen (TP. 7.2). Zusätzlich laufen an einigen Großquellen automatisch registrierende DKM-Stationen (Digitales Karstquellen-Meßnetz, TP. 7.7 und 8.1). Die bei den Kampagnen erfaßten Werte gehen weit über gängige hydrologische Messungen hinaus, sie umfassen unter anderem Trübstoffanalysen (TP. 3.2), mikrobiologische Frachten auch abseits der hygienischen Zeigerkeime (TP. 7.5), Isotopen (TP. 8.2) und die Makrobiozöosen der Quellen (TP. 7.6).

Die Höhlenforschung oder Speleologie (TP. 10) stellt als einzige Schlüsseldisziplin direkte Bezüge zur Blackbox her. Hydrologische Meßstationen im unterirdischen Karst (TP. 8.1), makro- und mikrobiologische Analysen (TP. 7.5 und 7.6) und Sedimentanalysen (TP. 3.2) stehen im Zusammenhang mit diesem Fachbereich. Einige Markierungsversuche tragen dazu bei, die hydrogeologischen Verhältnisse des Nationalparkes besser verstehen zu lernen (TP. 11).

Das Nationalpark-Karstprogramm befaßte sich auch mit den Quellbächen, die in mehrfacher Hinsicht interessant sind: Die Abflußquoten der meist karstbeeinflußten Vorfluter lassen Rückschlüsse auf die Einzugsgebiete zu und wurden in zwei Kampagnen flächig gemessen, dazu kommen einige Schreibpegelstationen (TP. 8.1). Sehr interessant und in dieser Form neuartig ist die biozönotische Längsgliederung des Systems Karstwasserspiegel (Klasal)- Quelle (Krenal) – Gebirgsbach (Epirithral). Ökologische Erstaufnahmen und ein Biomonitoring widmen sich einerseits dem Schwerpunkt Quelle (TP. 7.6), andererseits dem Problem intermittierender Karstbäche (Austrocknungsphasen, TP. 9).

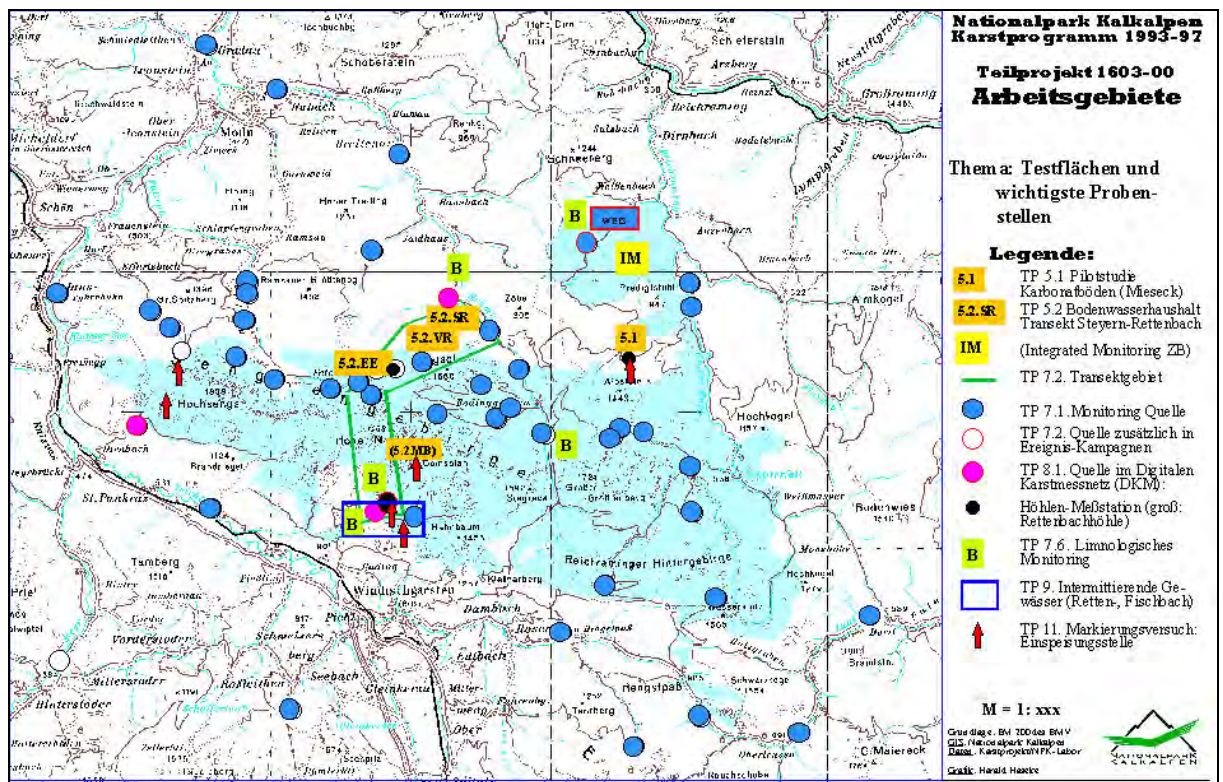


Fig. 000-5: Lage-Übersicht einiger Teilprogramme des Nationalpark-Karstprogrammes. Projektmodule, die nur sehr kleine Aufsamlungsflächen oder das gesamte Areal erfaßten, sind hier nicht dargestellt.

Alle Projekte sind ständig untereinander verbunden gewesen, um einen optimalen Datenaustausch zu garantieren. Die Koordination (TP. 13) bemühte sich v.a. um den gemeinsamen Stationsaufbau unter verschiedenen Gesichtspunkten, um den Datentransfer und Informationsfluß sowie – last but not least – um die Herstellung von zeitgleichen Einsätzen bei den Schwerpunktkampagnen. Über alle eingebrachten Datenbestände wurde auf Standardisierung, Qualitätskontrolle und Evaluierung geachtet, um verlässliche Vergleichswerte und Zeitreihen zu erhalten. Der Nationalpark Kalkalpen unterhält ein eigenes Forschungszentrum mit Hydrologie-Labor und einem Geo-Informationssystem. Nicht zu vergessen das einsatzfreudige und wetterfeste Personal in Gestalt von Kurt Buchner, Roland Mayr und Andreas Rußmann, das die wöchentliche Durchführbarkeit der umfangreichen Messungen gewährleistete!

Wissenschaftlicher Mitarbeiterstab

Participant project	CONTRACTORS
1. Meteorology and Climatology	Mag. Manfred Bogner/ Thomas Lehner OEG m-bogner@ping.at Mag. Günther Mahringer guenter.mahringer@ccgate.austrocontrol.co.at
3.1. Assessment of watershed approach	DI Dr. Klaus Katzensteiner, DI Franz Mitterböck; katz@mail.boku.ac.at , mitter@h415.BOKU.ac.at
3.2. Soil, sediment and rock analyses	Dr. Franz Ottner, ottner@edv1.boku.ac.at
4. Alpine meadows karstification	DI Dr. Klaus Katzensteiner, DI Josef Lechner katz@mail.boku.ac.at , lechner@h415.boku.ac.at
5.1. Pilot study carbonate soils	DI Dr. Klaus Katzensteiner, DI Nemesthoty, Dr. Franz Ottner. - katz@mail.boku.ac.at , nemestot@woek.BOKU.ac.at
5.2.&2. Forest ecology and soil hydrology	DI Dr. Klaus Katzensteiner, Prof. Dr. Gerhard Glatzel; DI Christian Fuxjäger. - katz@mail.boku.ac.at , Glatzel@woek.boku.ac.at
6. Geomorphological and hydrological mapping	Dr. Harald Haseke, h-haseke@apanet.at
7.1. Karst spring monitoring, Event campaigns	Dr. Harald Haseke, h-haseke@apanet.at
7.3. Karst spring documentation	Dr. Harald Haseke, h-haseke@apanet.at
7.4. Supplementary water analytics	NPK Laboratory, Ing. E. Pröll elmar.proell@merlin.at
7.5.1. Microbial analytics I: Hygienical approach	Mag. Dr. Susanne Schmidt sschmidt@ml.BioMerieux.fr
7.5.2. Microbial analytics II: Soil bacteria	DI Peter Holubar holubar@mail.boku.ac.at
7.5.3. Microbial analytics III: Stygian bacteria (Myxobact.)	DI Benjamin Menne BenMen@t-online.de
7.6. Spring ecology	Dr. Erich Weigand, Mag. Michaela Panzenböck, Dr. Klement Tockner, Dr. Martin Haase et al. weigand@ubavie.gv.at , tockner@eawag.ch , MICHA@pflaphy.pph.univie.ac.at , haase@ubaclu.unibas.ch
(7.7. Contribution: Digital karst spring measurement)	Ing. Max Wimmer, Fed. Hydrographic Office Linz maximilian.wimmer@ooe.gv.at
(8.1. Contribution: Discharge measurement, water balance)	Ing. Max Wimmer, Fed. Hydrographic Office Linz maximilian.wimmer@ooe.gv.at
8.2. Hydrological data: statistics and evaluation	Ralf Benischke, Joanneum Research ralf.benischke@joanneum.ac.at
9. Intermittent stream research: Rettenbach	Mag. Gabriele Weigelhofer, Dr. Klement Tockner gweigel@pflaphy.pph.univie.ac.at tockner@eawag.ch
(10. Contribution: Speleological support)	Ing. Josef Weichenberger, Phone: +43 0732 307 571

11. Karst water tracing	Harald Haseke h-haseke@apanet.at
12. Geographic Information System NPK-GIS	DI Andreas Gärtner, N. Steinwendner, Federal NPK Off. natur@kalkalpen.at
13. Scientific Co-ordination	Co-ordination office Dr. Harald Haseke h-haseke@apanet.at
14. National Park Research Center, scientific support	NPK Laboratory, Ing. Elmar Pröll elmar.proell@merlin.at , natur@kalkalpen.at NPK GIS & Science, DI Andreas Gärtner NPK-GIS & EDV, Norbert Steinwendner natur@kalkalpen.at NPK Research Center, technical specialists: Kurt Buchner, Roland Mayr, Andreas Rußmann

Tabelle 000-1: Teilprojekte und ihre Bearbeiter im Nationalpark Karstprogramm. In der Hypertext-Variante können ab hier und an vielen anderen Stellen die Links und Mailadressen benutzt werden, um ohne weitere Verzögerung direkt in Teilprojekte einzusteigen oder mit den Autoren Kontakt aufzunehmen.

METEOROLOGIE UND KLIMATOLOGIE: DATENSUPPORT UND REGIONALES MESSNETZ

Teilprojekte AZ 1.1. und 1.2.

METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY: DATA SUPPORT AND REGIONAL MEASUREMENT NETWORK

Participant Projects: 1603-1.1 and 1.2.

Support: Meteorological Program 1993-1998

Das Meteorologieprojekt des Nationalparkes Kalkalpen ist derzeit eines der dichtesten regionalen Beobachtungsnetze der Nordalpen. Als eigenständiges Projekt ist seine Erläuterung im Rahmen des Karstprogrammes nicht vorgesehen.

KLIMACHARAKTERISTIK

Die Lage des Nationalparkes im Nordstau der Alpen, deren [Relief](#) hier von 400 bis knapp 2000 Meter über Adria reicht, bestimmt das Wettergeschehen. Das Klima ist gemäßigt-feucht mit starken ozeanischen Einflüssen. In der häufig auftretenden Nordwestströmung werden reichlich Niederschläge aus der aufsteigenden Luft ausgeschieden. Die Situation der Nordstauzone entlang der Nördlichen Kalkalpen ist insgesamt dadurch charakterisiert, daß sie bei nur 20% der Landesfläche Österreichs ca. 50% der Niederschläge abfängt („Prallhang Europas“). Die Witterung der Bergregionen zeigt eine starke „orographische“ Abhängigkeit von der Höhenlage und Exposition, was sich vorrangig in den Temperaturen, den Niederschlagsmengen, der Schneebedeckung, der Windverteilung und der Einstrahlung äußert.

Die durchschnittlichen Jahresmitteltemperaturen sinken von rund 8°C in den Tälern auf 1°C auf den höchsten Gipfeln. Die jährlichen Niederschlagsmengen erreichen an den Meßstellen 1.300 bis 1.800mm, überschreiten auf den Berghöhen aber oftmals 2.000mm. Obwohl das Klima ganzjährig humid ist, treten die Niederschlagsspitzen zwischen Juni und August im Gefolge der Gewitterfronten auf. Die jährliche Dauer der Schneebedeckung reicht von 60 Tagen in den nördlichen Tallagen (400m üA), über rund 100 Tage in den inneralpinen Tälern (600m üA) bis zu 190 Tagen in 1500m Seehöhe, mit großen Differenzen zwischen Nord- und Südexpositionen. Die

Sonnenscheindauer liegt zwischen 1500-1600 h/a in den Tallagen und 1700-1800 h/a auf den Bergen, wo zwischen Oktober und März weniger Nebel auftritt.

METEOROLOGISCHE BEOBACHTUNGEN UND DOKUMENTATION

Schon 1990 wurde das meteorologische Meß- und Forschungsprojekt im Nationalpark Kalkalpen begonnen. Zunächst wurden alle verfügbaren Daten gesammelt und verarbeitet. Seit 1993 wurden eigene Meteorologiestationen an den folgenden Standorten aufgebaut:

- Schoberstein (1285m) - Wind, Temperatur, Feuchte, Luftdruck, Einstrahlung, Niederschlag, Fernsicht, Wolkenbildungen, Wetterlage.
- Hinterer Rettenbach (610m) - Temperatur, Feuchte, Niederschlag.
- Zöbelboden (900m), wie ab 1996 Feichtaualm (1350m) - Wind, Temperatur Feuchte, Niederschlag.
- Kogleralm (1240m), Temperatur Feuchte, Niederschlag.
- Feichtausee (1400m) und Hagler (1590m) – Niederschlagssummen.

Zusätzliche Stationen wurden zeitweilig für den Bedarf des Karstprogrammes betrieben. Die statistische Auswertung der Klimadaten umfaßt einerseits tägliche, monatliche oder jährliche Charakteristiken der Witterungssituationen, andererseits auch die zeitlich hochauflösende topoklimatische Kennzeichnung bestimmter Standorte zu bestimmten Zeiträumen, wie z.B. für die 3stündlichen Beprobungen der Ereigniskampagnen oder bei Markierungsversuchen. Solche z.B. in Diagrammform sehr aufschlußreiche und zu Quellmeßdaten parallelisierbare Klimadatenreihen werden auf Anforderung bereitgestellt.

Eigenständige Klimaforschungen umfassen Themen wie:

- Starkregenereignisse und ihr Impact auf die Biosphäre,
- Regionale Niederschlagsverteilung und Modellierung (z.B. als Isohyeten) für Wetter-Simulations-Modelle,
- Lokale Niederschlagsverteilung in bestimmten Einzugsgebieten, um einen Bezug zu Abflußquoten aus Vorflutern und Quellen herstellen zu können.

Auf der Basis mobiler Niederschlags-Meßkampagnen wurde ein hochauflösendes Netzwerk von Regenmeßstationen entwickelt, das seit 1997 während der wärmeren Jahreshälfte (Mai bis Oktober/November) betrieben wird. Es umfaßt derzeit 31 RAin LOgger (=RALO) Stationen zusätzlich zu den vier Wetterstationen. Die RALO's sind leicht transportierbare, kostengünstige automatische Meßstationen aus eigener Entwicklung und decken rund 200 km² Fläche mit rund 3 km Abstand ab. Die meisten der Stationen liegen über 1.200 Meter Seehöhe, die Summenbildung erfolgt alle 10 Minuten. Für künftige Nationalpark-Karstforschungen ist dieses Meßnetz eine nicht hoch genug zu schätzende Basis.

Im Nationalpark Karstprogramm war die Meteorologie mit den folgenden Modulen vertreten:

- Tageswetterlagenbeschreibung und Klimadaten
- Topoklimatologie mit örtlichen Meßstationen

Tageswetterlagen-Beschreibung

Die Tagesdokumentationen für ausgewählte Perioden geben den auf aktuelle meteorologische Daten angewiesenen Teilprojekten eine übersichtliche Information als Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse oder als Hintergrund- und Begleitinformation.

Die Beschreibung der Wetterlagen erfolgt auf der Basis der "Flugwetterübersichten für Oberösterreich" der Flugwetterdienststelle Linz (Austro Control GmbH), der eigenen Interpretation der Daten aller Beobachtungs- und Meßstellen in der Region und der "Monatsübersichten der Witterung in Österreich" der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Sie enthält die bestimmende Wetterlage sowie möglichst detaillierte Angaben über Bewölkung, Niederschlagsverhältnisse, Windrichtung und -stärke sowie Temperatur in ihrem zeitlichen Verlauf.

Die Tabellen enthalten folgende Kenndaten:

- Tagessummen des Niederschlages (7 Uhr bis 7 Uhr Folgetag)- Neuschneehöhen (7 Uhr bis 7 Uhr Folgetag) und Gesamtschneemengen (7 Uhr)- Tagesmittel, Tagesmaxima und Tagesminima der Temperatur- Tagesmittel der relativen Feuchte- Tagessummen der Sonnenscheindauer
- Tagesmittel und Tagesspitzen der Windgeschwindigkeit
- Hauptwindrichtung auf den Bergen
- mittlere Bewölkungsverhältnisse

Basis der Tabellen:

- Meßdaten der nationalparkeigenen Meßstellen in Form von 10-Minutenmittelwerten und ereignisbezogenen Werten
- Meßdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Stundenmittelwerte bzw. Stundensummen und 3mal täglich Klimadaten)
- Meßdaten des Hydrographischen Dienstes Oberösterreich (Tagessummen) und der Flugwetterdienststelle Linz (tagsüber stündliche Meldungen von Beobachtern, METAR-Meldungen)

Die Meßdaten wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen und mit Softwareprogrammen zu den Kenndaten weiterverarbeitet. Die Mittel- und Summenbildung wurde gemäß ÖNORM M 5866 durchgeführt.

Beispiel (für Karstquellen-Monitoring 1/95):

4. März 1995 Störungseinfluß. Nach Durchzug einer Kaltfront mit Niederschlägen (siehe Vortag) war es ganztags stark bewölkt, Berge in Wolken. Ganztags Niederschläge mit Schneefall bis in die Niederungen. Schwach windig und Temperaturrückgang.

Station	NS	Sges	Sneu	Tmit	Tmax	Tmin	RF	Son	WGmit	WGmax	HWR	Bew
Feuerkogel	33.4	100	45	-6.2	-4.1	-8.0	97	0.0	2.8	6.4	NW	inW
Schoberstein	---			-4.3	-2.0	-6.0	97		1.1	7.4	NW	inW
Zöbelboden				-2.7	-0.4	-4.5	94		0.5	4.6	calm	
Windischgarsten	7.7	2	6	1.0	2.6	-0.7	96	0.0	1.6	7.6	NW	
Rettenbach				0.5	1.5	-0.9	93					
Hagler				-6.4	-3.8	-8.6	93					
Molln	21.3	0	14									
Breitenau	18.9	5	10									
Bodinggraben	18.2	25	25									
Klaus	10.8	0	5									
St.Pankraz	9.5	2	5									
Linzerhaus	10.2	135	20									
KleinPyhrgas	11.0	12	12									
Pyhrnpaß												inW

Tab. 1.1-1: Tageswetterlagen-Beschreibung vom 4.3.1995 (Beispiel)

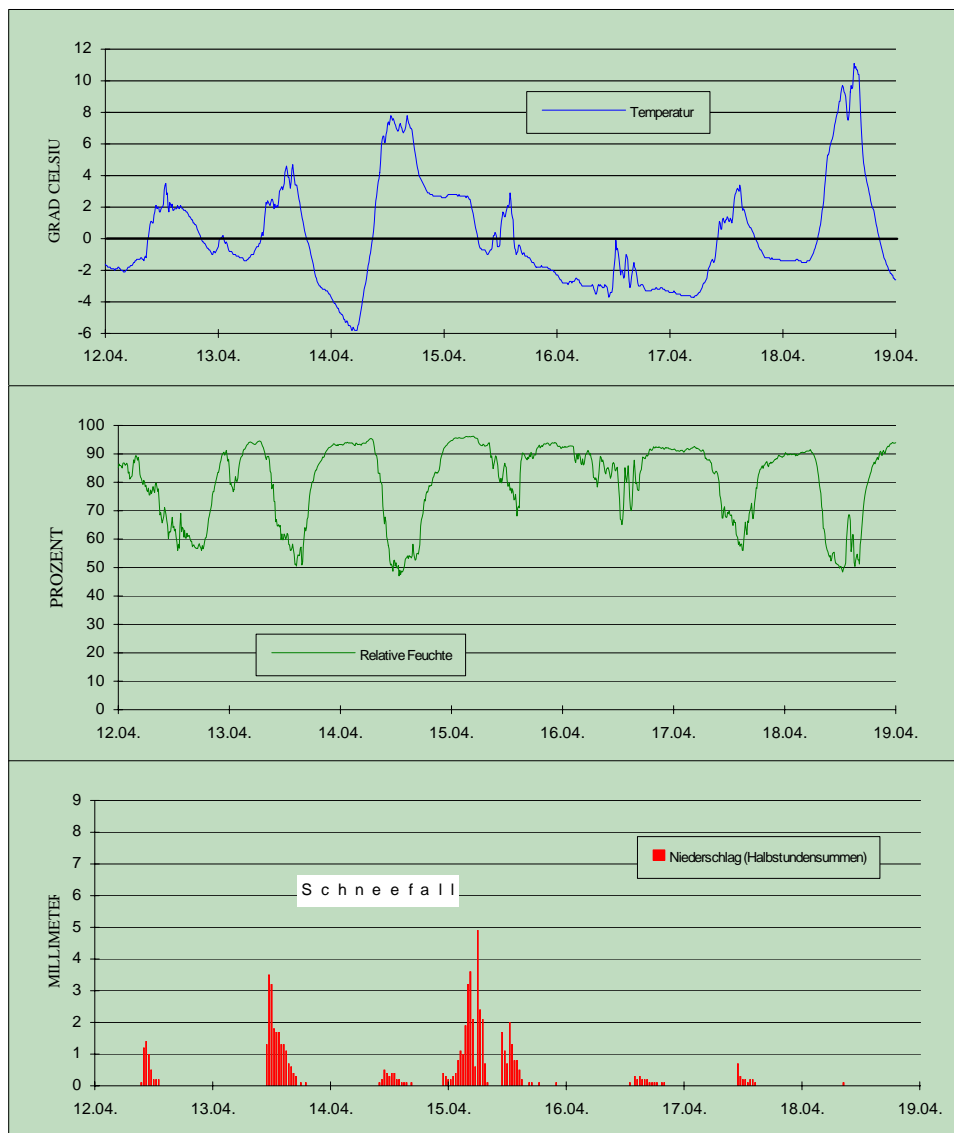


Fig. 1.1-1: Beispiel für den klimatischen Projektbeitrag zu Quellmeßkampagnen: Witterungsverlauf vom 12.-19.4.1996 (=Ereigniskampagne 1/96)

Topoklimatologie

Topoklimatologie Testfläche Mieseck

Im Rahmen der Pilotstudie Karbonatböden wurde im Zeitraum von 5. Juni bis 31. Oktober 1995 eine meteorologische Meßstation betrieben. Der Standort Mieseck befand sich im Reichraminger Hintergebirge in 1220 m Seehöhe, bei nördlicher geographischer Breite von 47°49'00" und östlicher Länge von 14°25'26".

Die Meßstelle wurde mittels Solarenergie und Pufferbatterie betrieben. Die Kapazität des Hauptspeichers betrug bei den gewählten Abfrage- und Speicherintervallen etwa 5 Wochen und die Daten wurden in regelmäßigen Abständen mittels Laptop ausgelesen.

Das Datenregistriersystem (DRS 4) bot Anschlußmöglichkeiten für 4 digitale und 2 analoge Kanäle. Folgende Parameter wurden kontinuierlich registriert:

Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit: Kombinationsgerät Rotronic MP 100, in einer Wetterhütte 2 Meter über Boden montiert. Signalintervall 10 Sekunden, Umwandlung in physikalische Größen, arithmetische Berechnung von 10-Minutenmittelwerten, welche im Hauptspeicher des DRS 4 abgelegt wurden.

Niederschlag: N-Mengenmeßgerät der Type Paar, Abstand von 3 Meter zu der übrigen Meßanordnung, gemäß ÖNORM M 9490 1,5 Meter über Grund. Auffangfläche 500 cm², Doppelwippe mit einer Auflösung von 0,1mm. Jeder Wippenschlag wird zum Datenlogger geführt und dort als Summenwert abgespeichert.

Bodentemperaturen: PT100-Sensoren in 15 cm Tiefe auf der Schlagfläche neben der Meßstation und in 15 cm Tiefe im etwa 50m entfernten Waldbestand. Die Meßwerte wurden alle Minuten an die Datenerfassungsanlage weitergegeben und als Stundenmittelwerte abgespeichert.

Topoklimatologie Transekt Steyern - Rettenbach

Im Rahmen des Teilprojektes „[Wasser- und Nährstoffhaushalt ausgewählter Waldstandorte...](#)“ sowie des Höhentransektes der Ereigniskampagnen wurden für 1996 und 1997 meteorologische Meßeinrichtungen installiert. Aus den erhobenen Daten wurden für jeden Tag der Zeiträume Mai bis Oktober 1996 und 1997 Auswertungen der meteorologischen Kenngrößen erstellt.

Stationen

Steyernquelle: Standort am Beginn des Klausgrabens in 550m Seehöhe, bei nördlicher Breite von 47°49'32" und östlicher Länge von 14°21'22. Es wurden ab 18.4.1996 die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und der Niederschlag kontinuierlich registriert. Anfang Juli 1996 wurde ein zweites Niederschlagsmeßgerät (RAin LOgger) im Rahmen des Meteorologieprojektes "Niederschlagsmeßnetz im Nationalpark Kalkalpen" in Betrieb genommen. Zusätzlich wurden Probensammlungen des Niederschlagswassers mittels Bulksammler für Isotopenuntersuchungen im Rahmen des Karstprogrammes durchgeführt.

Vorderreutherstein: Standort auf der Lichtung nördlich des Vorderreuthersteins in 925m Seehöhe, bei nördlicher Breite von 47°49'10" und östlicher Länge von 14°21'26. Von 5.7.1996 bis 6.11.1996 wurden Niederschlagsmessungen durchgeführt.

Eiseneck: Standort an der Abzweigung der Forststraße Schwiedwiesenstraße (Eiseneck/Jaidhaustal) zur Stichstraße Farntal in 1300m Seehöhe bei nördlicher Breite

von 47°48'29" und östlicher Länge von 14°20'17". Niederschlagsmessungen im Zeitraum 5. Juli 1996 bis 6. November 1996 und April bis Oktober 1997.

Feichtaualm: Standort Feichtaualm nahe Almhütte Polz in 1370m Seehöhe bei nördlicher Breite von 47°47'08" und östlicher Länge von 14°19'24". Messung von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit und Niederschlag (nur Sommerhalbjahr) seit Juni 1996. Zusätzlich Messung der Niederschlagsmengen mittels Totalisator.

Merkensteinbründl: Nordöstlich der Quelle „Merkensteinbründl“ S Hohe Nock in 1600m Seehöhe bei nördlicher Breite von 47°46'36" und östlicher Länge von 14°19'34". Während des Zeitraumes 10. Juli 1996 bis 5. November 1996 wurden Niederschlagsmessungen durchgeführt.

Liste der Teilberichte

BOGNER, M. und MAHRINGER, G. (1994): Tageswetterlagenbeschreibung für Karstprogramm 1994. - Beilage zu HASEKE (1994c), Linz-Wien, 1994.

BOGNER, M. und MAHRINGER, G. (1995): Tageswetterlagenbeschreibung für Karstprogramm 1995. - Beilage zu HASEKE (1995d), Linz-Wien, März 1996.

BOGNER, M. & LEHNER, T. & MAHRINGER, G. (1995): Topoklimatologische Charakteristik der Testfläche der Pilotstudie Karbonatböden. 48. S., Tabellen. - Linz/Wien, Dezember 1995.

BOGNER, M. & LEHNER, T. & MAHRINGER, G. (1996): Topoklimatologische Charakteristik des Geländeprofiles zwischen Steyernquelle und Rettenbach. - Kampagnenbezogene Tageswetterlagen 1996. 73 S., Tabellen und Diagramme.- Endbericht Karstprogramm 1603-1.2./1996, Linz, Dezember 1996.

BOGNER, M. & LEHNER, T. & MAHRINGER, G. (1997): Topoklimatologische Charakteristik des Geländeprofiles zwischen Steyernquelle und Rettenbach.- 53 S., Tabellen und Diagramme.- Endbericht Karstprogramm 1603-1.2./1997, Weichstetten, Februar 1998.

BOGNER & LEHNER OEG
Weichstetten Ost 1
A - 4502 St. Marien
m-bogner@ping.at

Mag. Günter MAHRINGER
Lärchenauerstraße 57
A-4020 Linz
guenter.mahringer@ccgate.austrocontrol.co.at

IMPLEMENTIERUNG UND BEWERTUNG NATURRÄUMLICHER GRUNDLAGENDATEN FÜR DIE EINZUGSGEBIETS- ABSCHÄTZUNG

Teilprojekt AZ 3.1.

ASSESSMENT OF THE WATERSHED APPROACH

Participant Project: 1603-3.1. / feat. Atlas of Hydrology

EINLEITUNG

Einer der Forschungsansätze für eine zweite Phase des Karstprogrammes sind karstbezogene Studien in ausgewählten Testgebieten. Vor allem wurde überlegt, ein oder mehrere Einzugsgebiete für längerfristige Untersuchungen auszuwählen, in welchen Beziehungen zwischen Maßnahmen und deren Auswirkungen im Einzugsgebiet und Wasserqualität und Schüttung am Vorfluter aufgedeckt werden sollten. Aufgrund der komplexen hydrologischen Verhältnisse in Karstgebieten ist die Identität zwischen orographischem und tatsächlichem Einzugsgebiet die Ausnahme. Trotzdem sollte es möglich sein, eine Vorklassifizierung der Einzugsgebiete als Basis für intensivere Untersuchungen, Markierungsversuche etc. zu treffen. Dies wurde im Karstprogramm in zwei Studien versucht:

Ein Vorläuferprojekt (HASEKE 1995b) erstellte die Gebietstypisierung auf hydrographisch-deskriptiver Basis, das Zwischenergebnis war der 1996 edierte „Atlas der Hydrologie“ (GÄRTNER et al. 1996).

Die Abschlußstudie wurde an der Universität für Bodenkultur Wien (KATZENSTEINER & MITTERBÖCK 1998) in Kooperation mit dem Verfasser erarbeitet. Für das Gebiet des Nationalpark Kalkalpen lag mit Beendigung des Karstprogrammes 1997 eine Vielzahl flächendeckender naturräumlicher Informationen vor. Ziel des Teilprojektes war eine Zusammenführung dieser Daten, eine Grobtypisierung der Gebiete nach dem Verkarstungsaspekt und eine übersichtliche Gebietscharakterisierung. Die Reihung von Wassereinzugsgebieten nach dem Verkarstungsaspekt kann als Entscheidungshilfe für Managementmaßnahmen herangezogen werden.

TYPISIERUNG DER EINZUGSGEBIETE NACH DEM VERKARSTUNGSASPEKT

Die gelb unterlegten Zellen wurden rein nach der EDV-Clusteranalyse anders eingestuft als nach der evaluierten Gesamtanalyse. Grund dafür sind Schwächen in den GIS-Eingangfiles (z.B. unverifizierte Inhalte in der kompilierten Geologie nach LUEGER).

Österr. Flußverzeichnis	Name des Einzugsgebietes (Flußabschnitt)	Gebietstyp Clusteranalyse	Einzugs- gebietstyp
----------------------------	--	------------------------------	------------------------

Einzugsgebietstyp A: Starke Oberflächenverkarstung

35-20E	Vorderer Rettenbach	B	A
36-12-01	Fischbach bis zum Budergraben	A	A
36-12-02	Budergraben r. (Pudergraben, Rettenbachquellen)	A	A
36-12-03	Fischbach vom Budergraben bis zum Dürrengaben	B	A
36-12-04	Dürrengaben (Rießtal Bach) r.	A	A
36-12-06	Höllgraben	A	A
37-03	Krumme Steyrling von Vereinigung der Quellbäche bis Blöttenbach	B	A

EINZUGSGEBIETSTYP B: SCHWACHE OBERFLÄCHENVERKARSTUNG LOKAL KLUFTWASSERFÜHRUNG

33-138-07W	Laussabach vom Hinteren Pölzenbach bis Saubodengraben	B	B
33-138-09W	Laussabach vom Saubodengraben bis Holzgraben	B	B
33-138-10	Holzgraben I.	D	B
34-02-04-01	Sitzenbach I. ("Zizelsbach", Hetzgraben) bis zum Jörglgraben	B	B
34-02-04-01-A	Steffl Graben I.	B	B
34-02-04-02	Jörglgraben (Pölzlgraben) I.	B	B
34-02-04-03	Sitzenbach vom Jörglgraben bis zum Haselbach (Häuselbach)	B	B

34-06	Rabenbach	D	B
34-07	Reichramingbach von Rabenb.- Ebenforster B.	B	B
34-08	Ebenforster Bach	B	B
35-21E	Steyr Stausee	B	B
35-23E	Steyr Stausee	B	B
35-24	Wallergraben (Walchengraben) r.	B	B
35-34-01	Paltenbach (Niklbach) von Feichtau bis Kaltwasser	B	B
35-34-02	Kaltwasser I.	B	B
35-34-04	Urlachgraben I.	B	B
35-34-05	Paltenbach vom Urlachgraben bis Dirnpaltengraben	D	B
36-06-14-A	Patzlgraben	B	B
37-02	Rumpelmayrgraben	B	B
37-03-A	Weingart Bach	B	B
37-04	Blöttenbach (Plöttenbach)	B	B
37-07	Krumme Steyrling bis Sulzgraben	D	B
37-08	Eselgraben (Sulzgrabenbach)	D	B
37-09	Krumme Steyrling bis Leonsteiner Bach	B	B
37-11	Leonsteiner Bach (Reuter Graben)	D	B
Einzugsgebietstyp C: Mässig verkarstungsanfällig kluftwasserführend (Dolomit dominierend)			
33-138-11-A	Großer Quenbach I.	C	C
33-138-11N	LAUSSABACH VOM HOLZGRABEN BIS TEUFELSGRABEN	C	C
33-138-11N2	Laussabach	C	C
33-138-12	Teufelsgrabenbach I.	C	C

34-01-06	Saigrinnen Bach I. (= Saigerin Bach)	C	C
34-01-07	Weisswasser (Schwarzer Bach) vom Saigrinnenbach bis Haselbach	C	C
34-02-01	Ameisbach (Haselbach) bis Klausbach	C	C
34-02-02	Klausbach (Zorngraben) I.	C	C
34-02-03	Haselbach von Klausbach bis Sitzenbach (Hetzgraben)	C	C
34-02-05	Haselbach vom Sitzenbachzufluß bis zum Weißwasser	C	C
34-03	Reichramingbach von Vereinigung der Quellbäche bis Föhrenbach	C	C
34-04	Föhrenbach	C	C
34-09	Reichramingbach vom Ebenforster Bach bis Wilder Graben	C	C
34-10	Wilder Graben	C	C
34-11	Reichramingbach vom Wilden Graben bis Pleissabach	C	C
34-16-01	Großer Weissenbach bis Mündung Kl. Weissenbach	C	C
35-34-03	Paltenbach von Kaltwasser bis zum Urlach Bach	C	C
35-34-06	Dirnpaltengraben r. ("Tiboltsengraben")	C	C
36-06-03N	Dambach (Rußbach) vom Hanslgraben bis zum Rosenauer Bach	C	C
36-06-05N	Dambach vom Rosenauer Bach bis Rettenbach	C	C
37-01	Schafgraben (Krumme Steyrling)	C	C
EINZUGSGEBIETSTYP D: KAUM VERKARSTET			
		DOLOMITE, MERGEL;	
SICKERWASSERSTRÄNGE IM SEDIMENT ODER GRUNDWASSERFÜHREND			
33-138-01N	Laussabach (Rotkreuzbach) bis zum Hinterkarbach	D	D
33-138-03N	Laussabach vom Hinterkarbach bis Pölzbach	D	D
33-138-05N	Laussabach vom Pölzbach bis zum Hinteren Pölzenbach	D	D

33-138-13N	Laussabach vom Teufelsgraben bis Schwabbach	D	D
34-01-05	Weißwasser vom Sonnbergbach bis Saigrinnenbach	D	D
34-01-07-A	Lahngraben	D	D
34-05	Reichramingbach von Föhrenbach bis Rabenbach	D	D
35-25E	Steyr vom Wallergraben über Pegel Klaus zum Gröbnergraben	D	D
36-06-02	Hanslgraben r.	D	D
36-06-06	Rettenbach r.	D	D
36-12-05	Fischbach von Dürrengraben bis zum Höllgraben	D	D
37-05	Krumme Steyrling bis Bodinggraben	D	D
37-06	Bodinggraben Bach	D	D

Tabelle 3.1-1: Gliederung der orographischen Einzugsgebiete in Einzugsgebietstypen nach multivariaten und evaluierten Auswertungsläufen.

Die Reihung der Einzugsgebiete nach Gebietstypen kann gleichzeitig als Reihe der Sensitivität gegenüber externen Einflüssen gesehen werden. Die Einzugsgebiete auf der Sengsengebirgssüdseite und der Bereich des Krestenberges sind am stärksten verkarstet. Dies sind auch jene Bereiche, welche als Folge intensiver Beweidung in der Vergangenheit deutlich degradiert und denudiert sind. Die Einzugsgebiete auf der Nordseite des Sengsengebirges sowie einzelne Bereiche des Hintergebirges sind schwächer verkarstet, was nicht bedeutet, daß nicht Teilflächen erosionsgefährdet sein können. Eine Besonderheit stellt der Bereich des Ebenforstplateaus dar, in welchem verkarstete Kalke und mergelige Schichten (Roßfeldschichten) abwechseln. An den Schichtgrenzen versickern die Oberflächengerinne häufig in Ponoren. Die Einzugsgebiete mit dominierendem Hauptdolomit zählen zum ‚Kluftwassertypus‘. Gebiete in denen Mergel und/oder Talfüllungen dominieren zählen zum Typ D und führen nur Sickerwasserstränge im Sediment oder (meist spärliches) Grundwasser.

Die Einzugsgebiete im Gebietstyp A fallen erwartungsgemäß durch niedrige Gewässerdichten und Quellanzahlen auf. In der Hauptsache ist es die Sengsengebirgs-Südabdachung mit den Vorflutern Vorderer und Hinterer Rettenbach, die das Prädikat der starken Verkarstung trägt. Eine Ausnahme ist das Gebiet 37-03 (Krumme Steyrling von der Vereinigung der Quellbäche bis Blößenbach) welche ein deutlich größeres Gebiet als das orographisch ausgeschiedene Einzugsgebiet entwässern dürfte. Die Gebiete auf der Sengsengebirgs-Südseite entwässern in der

Regel über wenige Großquellen (z.B. Teufelskirche). Eines dieser Einzugsgebiete wäre sicherlich als Modellgebiet für weiterführende Studien geeignet. Dabei sind natürlich auch logistische Fragen, wie Zugänglichkeit etc. zu prüfen.

Die Gebietstypen C und D erscheinen für die Untersuchung karstspezifischer Fragestellungen wenig geeignet.

Nachfolgend ein Beispiel für die Charakterisierung eines Einzugsgebietes im Nationalpark (35 Steyrfluß, 20 Vorderer Rettenbach) nach den beiden Teilstudien:

Vorderer Rettenbach (35-20)

E _{inzugsgebiet}	1.957,1 ha
H _{Mittlere Höhe ü.A.}	1.056 m
H _{Max}	1.838 m
H _{Min}	474 m
GEW _{gesamte Gerinnelängen}	18.623 m
GEW _{/km²}	952 m
GEW _{111=perennierende Kleingerinne}	13%
GEW _{112=intermittierende Kleingerinne}	60%
ENT _{WÄSSERUNG DURCH GROSSQUELLEN:}	35-20-BB, Rettenbachquelle/Teufelskirche

Die Tiefenlinie des weitläufigen Einzugsgebietes folgt der Streichrichtung der parallelen "Teichlstörung" und damit dem südlichen Antiklinalflügel der Tirolischen Decke. Das E erstreckt sich nördlich in die Karren- und Dolinenzonen des Sengsengebirgs-Kammes aus Wettersteinkalk und südlich auf die Kammlinie des vorgelagerten dolomitischen Massivs. Man beachte die sehr geringen spezifischen Gewässerlängen (unter 1000m Gewässerstrecke pro km²), die hauptsächlich vom dolomitischen Vorbergzug Brandriegel-Rohrauer zustande kommen, während das Karstmassiv kaum oberirdische Abflußlinien hat.

Das Gebiet wird wahrscheinlich zur Gänze von der Riesenquelle bei der Teufelskirche entwässert. [Seit dem [Markierungsversuch ÖSAG 1/1997](#) ist bekannt, daß die Quelle sogar Wasser aus dem nördlichen Sengsengebirgs-Abhang bis an die Deckengrenze abzieht (Roßau)]. In Relation dazu steht der kärgliche Anteil von frei spiegelnden Zubringern, auf weite Strecken ist der meist trockene "Lange Graben" das einzige Gewässermorphem. Zusammenfassend ist das Gelände ein typisches Karstgebiet, mit abflußlosen Großmulden wie den "Gruben" in den Hochlagen.

Tabelle 3.1-2: Deskriptiv-tabellarische Einzugsgebietstypisierung nach hydrographischen Merkmalen. Basis: GIS-Auswertungen und Kartierung. – Aus: HASEKE (1995b).

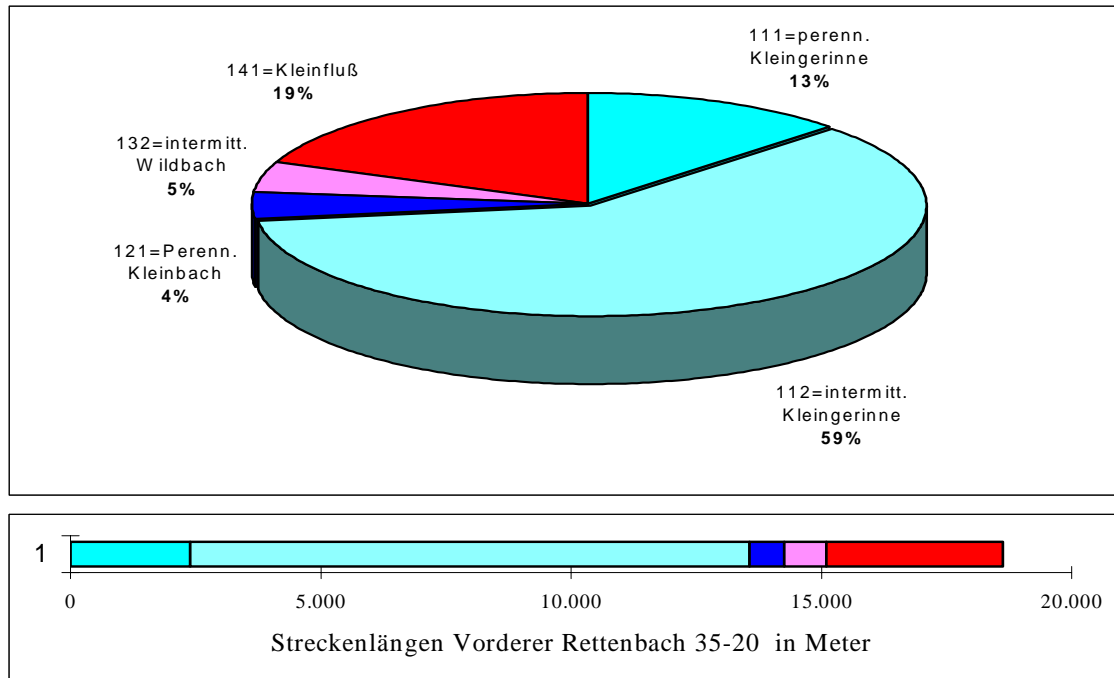


Fig. 3.1-1: Einzugsgebiet 35-20 Vorderer Rettenbach, Typisierung nach hydromorphologischen Merkmalen der Gewässerstrecken (perennierend-intermittierend und Größenklassen). – Basis: GIS-Auswertung der digitalisierten Gewässerstrecken. – Aus: HASEKE 1995b, ANGERER et al. 1996.

Tabelle 3.1-3: Gesamt-Charakterisierung des Einzugsgebietes 35-20 Vorderer Rettenbach (aus KATZENSTEINER&MITTERBÖCK 1998)

Projektausführung, Methodik

Die im Nationalpark digital verfügbaren Informationen über den Naturraum (Geländemodell, Geologie, Geomorphologie, Luftbildinterpretation der Vegetation, permanente Naturraumstichprobeninventur, Gerinnetypisierung, Quelltypisierung, Abflußmeßkampagnen) wurden in der Endstudie zusammengefaßt. Die Attribute wurden teilweise direkt übernommen (i.e. geomorphologische Informationen), teilweise wurden hochaggregierte Kennzahlen abgeleitet (i.e. Interzeption der Vegetation, Wasserspeicherfähigkeit der Böden). Alle Kennzahlen wurden in Klassen eingeteilt. Für alle im Nationalparkgebiet gelegenen Einzugsgebiete, für welche eine ausreichende Gebietsüberdeckung der Informationen vorlag, wurden in weiterer Folge Einzugsgebietsstatistiken errechnet und als Gebietscharakteristika für jedes Gebiet ausgedruckt. Weiters wurden die Einzugsgebiete auf Basis dieser Attribute mittels Clusterverfahren und Diskriminanzanalysen nach dem Verkarstungsaspekt gruppiert.

Eine Überprüfung und Verbesserung dieser Gruppierung wurde von der Projektleitung vorgenommen. Die Klassifizierung der Typen nach dem Verkarstungsgrad kann gleichzeitig als Sensitivitätsgliederung (Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen) der Einzugsgebiete angesehen werden. Details finden sich im Bericht von KATZENSTEINER & MITTERBÖCK (1998).

Kartenverzeichnis

- Karte 1: Höhenstufen
- Karte 2: Exposition
- Karte 3: Neigungsstufen
- Karte 4: Klassifikation der geologischen Substrate
- Karte 5: Hydrologische Klassifikation der geologischen Substrate
- Karte 6: Aggregierte geomorphologische Karte
- Karte 7: Abflußmessungen des hydrographischen Dienstes
- Karte 8: Quellklassifizierung nach Schüttungsklassen
- Karte 9: Wasserspeicherfähigkeit der Böden zwischen Sättigung und $-1,5$ MPa
- Karte 10: Wasserspeicherfähigkeit der Böden zwischen $0,01$ MPa und $-1,5$ MPa
- Karte 11: Wasserspeicherfähigkeit der Böden zwischen Sättigung und $-0,01$ MPa
- Karte 12: Einstrahlungsverhältnisse zur Sommersonnenwende
- Karte 13: Vegetationstypen
- Karte 14: Geschätzte Interzeptionsverdunstung während der Vegetationsperiode
- Karte 15: Verkarstung und Weidenutzung
- Karte 16: Verkarstung und Vegetationstypen
- Karte 17: Verkarstung, Weidenutzung und Vegetationstypen

Liste der Teilberichte

ANGERER, S. et al (1996): Atlas der Hydrologie 1:20.000, Nationalpark Kalkalpen - 1. Verordnungsabschnitt. - 21 Teilblätter, allgemeiner Teil. Texte, Grafiken, Diagramme: H. Haseke. - Nationalpark Kalkalpen GmbH, limitierte Auflage im Eigenverlag, Leonstein, Mai 1996.

HASEKE, H. (1995b): TP 1603-13./94&95: Zwischenbericht der Koordination 1994 - 1995 zum ersten Abschnitt der "Einzugsgebietshydrologischen Studie. Statistische Angaben I zu den Einzugsgebieten.- Nationalpark - Karstprogramm, Teilprojekt Nr. 1603-13./94 und 1603-13./95. - 120 Seiten, 7 Tabellenbeilagen. Oktober 1995.

KATZENSTEINER, K. und MITTERBÖCK, F. (1998): Implementierung und Bewertung naturräumlicher Grundlagendaten. – Projekt KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-3.1/95. - 162 S., Tabellen, GIS-Kartenteil. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1998.

Dr.DI Klaus KATZENSTEINER
DI Franz MITTERBÖCK
Universität für Bodenkultur, Institut für Waldökologie
Peter Jordan Straße 82
A-1190 Wien
mitter@h415.BOKU.ac.at
katz@mail.boku.ac.at

GEOCHEMISCH-MINERALOGISCHE ANALYSEN VON GESTEINEN, BÖDEN UND HÖHLENSSEDIMENTEN

Teilprojekt AZ. 3.2.

CHEMICAL AND MINERALOGICAL ANALYSES OF ROCKS, SOILS AND CAVE DEPOSITS

Participant Project: 1603-3.2.

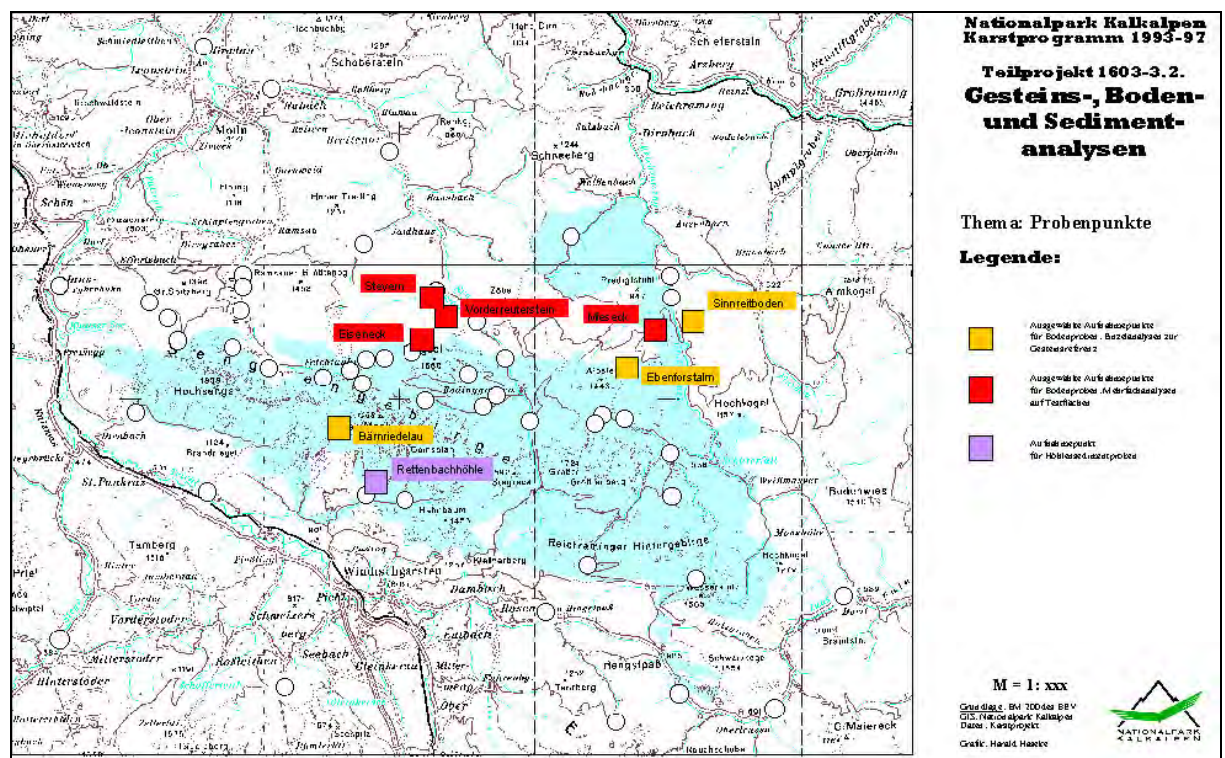


Fig. 3.2-1: Gebietskarte mit Eintragung der wichtigsten in diesem Text erläuterten Probenstellen.

Das Teilprojekt 3.2. widmete sich der Geochemie von repräsentativen Gesteinen, Bodensammelpunkten und Triftpartikeln in Quellwässern des Nationalparks. Es war ursprünglich nur ein Modul der Studie über Waldökologie und Bodenwasserhaushalt auf Karstgesteins-Plots (AZ. 5.1. Pilotstudie und AZ 5.2.). Viele der Ergebnisse dieses Projektes finden sich daher dort verarbeitet. Eine Eigenständigkeit gewann die Untersuchung mit den Sedimentanalysen aus der Rettenbachhöhle und der Bearbeitung von suspendierten Trübstoffen aus den beiden Großquellen des Transektes Steyer-Rettenbach. Mit dem letzteren Aufgabenbereich ergibt sich eine

enge Beziehung zu den Programm-Modulen AZ 7.1. Karstquellen-Monitoring und AZ 7.2. Ereigniskampagnen und das Thema wird dort abgehandelt.

Der Boden stellt als oberste Verwitterungsschicht für den Wasser- und Nährstoffumsatz im Ökosystem das zentrale Element dar. Für ein Verständnis von Karstprozessen ist daher eine Kenntnis seiner Eigenschaften von zentraler Bedeutung. Sowohl im Hinblick auf die Entwicklungsdynamik der darauf siedelnden Vegetation, als auch für die Verweildauer und die chemische Umsetzung des Sickerwassers ist der Aufbau der Bodendecke entscheidend. Auch für die Qualität des Karstwassers ist die Bodendynamik sehr wichtig, da die wesentlichsten Umsetzungsvorgänge vom Niederschlag zum unterirdischen Wasser innerhalb der schmalen Kontaktzone Boden-Subsurface stattfinden.

Da vom Gebiet des Nationalparks bisher nur wenige Informationen über Böden vorliegen, werden in dieser Pilotstudie charakteristische, für größere Bereiche des Untersuchungsraumes repräsentative Boden- und Gesteinsproben mineralogisch wie auch chemisch analysiert. Die Palette der untersuchten Catenen reicht von Alpenmoderrendzinen, braunlehmbeeinflussten Mullrendzinen auf Kalk und Dolomit und Braunlehm auf Kalk bis zu Pseudogleyen auf Mergeln. Aufgrund der makromorphologischen Ansprache und der Analysen worden einerseits Aussagen über die Bodenentwicklungsdynamik getroffen, andererseits wird eine Beurteilung hinsichtlich Nährstoffumsetzungsdynamik, physikochemisches Filtervermögen und Wasserhaushalt der Standorte getroffen. Der Bericht umfaßt die Bodenprofilbeschreibungen und die Ergebnisse der chemischen und mineralogischen Analysen in Tabellenform. Die chemischen Analysen wurden darüber hinaus mit den Ergebnissen der österreichischen Waldbodenzustandsinventur (WBZI) verglichen.

Aus den Untersuchungen wird der dominante Einfluß präholozäner Bodenbildungsvorgänge für die gegenwärtigen Standortsverhältnisse deutlich: Ein großer Teil der Böden auf Kalk und Dolomit zeigt Reliktcharakter, vor allem im Leebereich von Rücken ist auch Staublehmeinfluß möglich. Diese Böden sind bei entsprechender Mächtigkeit gut gepuffert und zeigen ein ausgezeichnetes Wasserspeichervermögen. Dort wo aufgrund des Reliefs auf sehr reinen Kalken eine Anreicherung derartiger Böden fehlt, sind dürrtige Humus-Carbonat-Böden (H-C-Böden) ausgebildet, die sowohl hinsichtlich Wasserhaltefähigkeit als auch hinsichtlich ihres physikochemischen Filtervermögens ungünstig zu beurteilen sind. Darüber hinaus sind natürlich alle Übergangsformen von Rendzinen zu Braunlehmrendzinen anzutreffen.

Einen sehr wesentlichen Einfluß auf die rezente Bodenentwicklung hat das entweder in geschützten Lagen erhaltene, auf Hängen kolluvial eingeregelter oder in Akkumulationslagen durch periglaziales Bodenfließen akkumulierte Reliktbodenmaterial. Dort wo das Relief den Erhalt oder die Akkumulation von

Reliktbodenmaterial nicht erlaubt, kommt dem Grundgestein zunehmende Bedeutung zu. Während mergelige Böden tiefgründig verwittern, stellen tonarme Kalke wie der Wettersteinkalk eine sehr ungünstige Basis für die rezente Bodenbildung dar. Einzig die Akkumulation von Alpenmoor bietet auf diesen Standorten neben Braunlehmresten in Klüften und Spalten der Vegetation einen Wurzelraum. Derartige Böden reagieren gegenüber Störungen extrem sensibel.

Auch in einem Nationalpark ist darauf zu achten, **daß auf diesen Standorten eine dauernde Waldbestockung erhalten bleibt**. Störungen in der Waldverjüngung durch überhöhte Wildstände können zu einem späteren Zeitpunkt zum Zusammenbruch größerer Bestandesteile und nachfolgend intensiver Bodenerosion („Verkarstung“) führen. Bei der Bewirtschaftung von Bewahrungszonen im Almbereich ist darauf zu achten, daß die Boden- und Vegetationsdecke über verkarstungsanfälligem Grundgestein (z.B. Hierlatzkalk im Bereich der Feichtau) geschlossen erhalten bleibt, da die rezente Pedogenese auf diesen Gesteinen keine ausreichende Bodenneubildung bietet. Das bedeutet, und viele Beispiele im Sengsengebirge geben Zeugnis dafür, **daß Bodenverluste über Reinkalken und teils auch Hauptdolomit irreversibel sind**.

BODENENTWICKLUNG

Bodenentwicklung auf reinem Kalk (Wettersteinkalk, Hierlatzkalk)

Wettersteinkalk stellt eines der im Sengsengebirge dominierenden Gesteine dar. Er ist ein beiger, massiger, größtenteils umkristallisierter Kalk, der aus Korallenstücken und Algen (Algenlaminit) aufgebaut ist. Die röntgendiffraktometrische Analyse eines Handstückes von der Bärenriedlau zeigt, daß dieser Kalk praktisch zu 100 % aus Calzit aufgebaut ist. Dieser Kalk enthält keine ausreichenden Gehalte an tonigen Verunreinigungen (<1%), um eine holozäne Bodenentwicklung zu ermöglichen.

<i>Lage:</i>	<i>Rechtswert: Mullrendzinen</i>
--------------	----------------------------------

<i>Horizont</i>	<i>Mächtigkeit [cm]</i>	<i>Beschreibung</i>
<i>L</i>	3,5 (2)	<i>lockere bis schwach verklebte Fichten- und Lärchenstreu, undeutlich übergehend in F</i>
<i>F</i>	4 (7)	<i>kompakt, sehr stark durchwurzelt, mit Arthropoden-feinmoder durchsetzt, unscharf übergehend in H</i>

<i>H</i>	12 (7)	<i>lockerer Arthropodenfeinmoder, übergehend in H/C</i>
<i>H/C</i>		<i>Feinmoder in Spalten</i>

Tabelle 3.2-1: Beschreibung der Profile Bärenriedlau 1b und 1c

Die beiden Profile zeigen einen Alpenmoder mit einem sehr mächtigen Feinmoderhorizont. Dieser Auflagehumus auf reinem Kalk stellt über weite Bereiche den Hauptwurzelraum für die Baumarten dar. Stellenweise finden sich jedoch geringmächtige Braunlehmverfüllungen in Klüften und Spalten, die eine Mullhumusdynamik erlauben. Dies erklärt auch die artenreiche Bodenvegetation die einen eher besseren trophischen Aspekt und ein besseres Wasserhaltevermögen der Böden anzeigt. Diese Braunlehme dürften Reste einer ehemals mächtiger ausgeprägten, aus dem Pliozän stammenden Reliktbodendecke darstellen. Intensive Beweidung bis ins 19. Jahrhundert führte zu ausgeprägter Denudation und Oberflächenverkarstung dieser Flächen (BAUER 1951, LECHNER 1996).

Die horizontweise chemische Analyse dieses Alpenmoders zeigt relativ niedrige pH-Werte, die im unteren Perzentil der im Rahmen der WBZI gemessenen Werte liegen. Die C/N-Verhältnisse, ein Maß für die biologische Aktivität der Humusformen, sind extrem weit, was ungünstige mikrobielle Aktivität signalisiert. Die Streubreite dieser Werte ist aber sehr hoch. Die Schwefelgehalte liegen deutlich über den in der WBZI angegebenen Werten. Ob eine immissionsbedingte Anreicherung vorliegt, könnten nur weiterführende Untersuchungen klären. Mögliche Inversionssituationen könnten durch lokale Emittenten verursachte Emissionen verstärken. Die Phosphorgehalte liegen im für Karbonatböden üblichen Rahmen. Die Kationenaustauschkapazität ist ebenfalls als eher gering einzustufen. Die Ca-, Mg- und K-Sättigung ist aber sehr hoch. Die Mn-Gesamtgehalte der Auflage sind gering, während Kupfer und Zink durchaus in mittleren Gehalten vorliegt.

Insgesamt stellen diese Substrate die nach Gesteinsrohböden empfindlichsten Böden im Hinblick auf Störungen dar. Sie haben insgesamt eine sehr beschränkte Wasserspeicherfähigkeit, und durch ihr geringes Volumen auch nur eine eingeschränkte Filterfähigkeit für Schadstoffe. Im Bezug auf die Baumnährnährung stellt die Stickstoffernährung und eventuell die Manganernährung einen limitierenden Faktor dar. Solange auf derartigen Standorten keine anthropogen induzierten Störungen auftreten, stehen Nährstoffmineralisation und Aufnahme durch die Vegetation im Gleichgewicht. Kahlschlagphasen oder größere Biomasseentnahmen führen einerseits zu Nährstoffentzügen, andererseits führen Erosion und Mineralisation unter solchen Umständen zum Verlust der (durchwurzelbaren) Bodendecke.

Ein ebenfalls sehr reiner Kalk ist der Hierlatzkalk, ein intensiv rot bis gelb gefärbter Lias-Crinoidenkalk. Ein Handstück von der Feichtau zeigt einen 100% -igen

Calzitgehalt, die mächtigen Braunlehmdecken der Almfluren stammen vermutlich aus den vergesellschafteten Mergeln und Hornsteinkalken. Auch dieser Kalk neigt zu intensiver Verkarstung, typische Jurakarstböden vom Eiseneck wurden im Zuge der Waldökologie- und Sickerwasserstudie (AZ 5.2.) analysiert.

Die Böden auf der [Versuchsfläche Eiseneck](#) können als Alpenmoderrendzinen eingestuft werden. Auffällig ist, daß praktisch keine silikatischen Komponenten und auch keine tonigen Verwitterungsrückstände zu finden sind (mit Ausnahme sehr vereinzelter Spaltenverfüllungen). Auch Einträge basischer Stäube müssen sehr gering sein um eine derartige Bodenentwicklung zu gewährleisten. In diesen HC-Böden kommen ausschließlich Humusauf- und abbau, der Bioelementkreislauf und die Kalklösungsverwitterung als bodenbildende Prozesse in Frage, damit sind sie als Modellbeispiele für Verkarstungsphänomene bestens geeignet.

Humustyp: *Alpenmoder (Durchschnittsprofil)*

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Beschreibung
<i>L</i>	<i>1-2</i>	<i>Fichtennadeln, verklebt bis schichtig</i>
<i>F</i>	<i>2-4</i>	<i>schichtig gelagert, mit Feinmoder durchsetzt, stark durchwurzelt, allmählich übergehend</i>
<i>H 1</i>	<i>2-4</i>	<i>locker bis bröckelig, braun, mäßig durchwurzelt, übergehend in H2</i>
<i>H2</i>	<i>> 5</i>	<i>tiefschwarz, bröckelig, kaum durchwurzelt</i>

Tabelle 032-2: Beschreibung der Humusformen der Versuchsfläche Eiseneck, Altbestand und Schlagfläche.

Die Mächtigkeit des Humus reicht von wenigen cm bis zu 30 cm in Spalten. Stellenweise sind die L und F-Schicht verpilzt und plattig gelagert. Die Mächtigkeit der H-Schicht tritt dann deutlich zurück. In diesem Fall kann Rohhumus ausgeschieden werden. Auf der Kulturfläche nimmt die Mächtigkeit der F-Schicht gegenüber der H-Schicht deutlich ab. Stellenweise ist ein Rhizomfilz von *Calamagrostis varia* ausgebildet. Der H-Horizont ist feinkrümelig und ähnelt morphologisch bereits einem Ahb (vererdet!). Grobskelett tritt hier stärker an die Oberfläche, das H-Material verfüllt Spalten zwischen den Blöcken.

Böden auf dolomitisiertem Kalk oder auf Kalk / Dolomit-Kolluvien

Auf der flachen Gipfelkuppe des Mieseck (Hintergebirge, nördliche Randkuppe des Ebenforstplateaus) stellen Verzahnungen von Plattenkalk und Hauptdolomit das Ausgangsgestein für die Bodenbildung dar. Die Übergänge zwischen diesen Gesteinen sind unscharf. Das Gestein ist aus ca. 1/3 Calzit und 2/3 Dolomit aufgebaut. Ob die beiden Facies kolluvial durchmengt vorliegen oder ob ein echter Mischtyp vorliegt, könnten nur weiterführende Untersuchungen klären. Für die Bodengenese ist viel mehr entscheidend, daß im Diffraktogramm keine Spuren von Silikaten aufscheinen (Nachweisgrenze ca 1 %).

Die Analyse eines Bvrel-Horizontes eines reliktschen Braunlehmes von dieser Fläche zeigt mit 28% Quarz, 63% Schichtsilikaten und 3% Feldspäten eine deutlich verschiedene Zusammensetzung vom unterlagernden Gestein. 1% Calzit und 1% Dolomit sind in Form von Gesteinszerreißeln fein im Profil verteilt. Die Zusammensetzung des Ausgangsgesteines läßt es unwahrscheinlich erscheinen, daß eine wesentliche holozäne Bodenentwicklung stattgefunden hat. Vielmehr handelt es sich bei diesem Braunlehm um Relikte pliozäner Bodenbildungsvorgänge auf dieser 'Altlandschaft'. Da das Gebiet im periglazialen Bereich lag, blieben zum Teil ausgeprägte Braunlehmdecken erhalten. Zusätzlich ist Staublehmeinfluß wahrscheinlich, abzuklären wäre dies über Schwermineralanalysen.

Dieser Braunlehm liegt kleinflächig in sehr unterschiedlicher Mächtigkeit vor. Um diesen Mosaikcharakter zu untersuchen, wurden in der Pilotstudie Karbonatböden (Katzensteiner, 1996) eine Reihe von Profilen analysiert. Zusätzlich wurde im Rahmen des laufenden Projektes ein Profil im unmittelbaren Nahbereich der Seelacke chemisch bestimmt.

Den dürrtigiten Profilaufbau zeigt das Profil g8, bei dem Feinmoder in Felsspalten undeutlich in schwach braunlehmbeeinflusstes Ahb-Material übergeht.

Bestand: Fichte/Lärche, 80 % Überschirmung
 Humustyp: mullartiger Moder
 Bodentyp: Rendzina (H-C-Boden)

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Beschreibung
L/F	1	locker bis schwach verklebte Fichten/Lärchenstreu
H/Ahb	3-5 cm in Felsspalte	feinkrümelig

Tabelle 032-3: Beschreibung des Profiles Mieseck g8

Die chemische Analyse dieses Profiles belegt ein relativ enges C/N-Verhältnis und einen hohen pH-Wert im H/Ahb-Übergangshorizont. Die Basengehalte, insbesondere

auch der Kaliumgehalt sind hoch. Die Kationenaustauschkapazität ist ebenfalls sehr hoch, wobei am Austauscher Ca gefolgt von Mg und K dominiert. Auch P liegt zu einem überdurchschnittlichen Anteil vor.

Einen reiferen, stärker vom Untergrund entkoppelten Profilaufbau zeigt das Profil i6:

Bestand: *Fichten/Buchen/Lärchenmischbestand*

Humustyp: *Mull*

Bodentyp: *braunlehmbeeinflusste Rendzina*

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Beschreibung
<i>L</i>	<i>1,5</i>	<i>lockere bis schwach schichtige Buchenstreu, unscharf übergehend in F</i>
<i>F</i>	<i>2</i>	<i>schichtig, scharf absetzend von Ahb</i>
<i>Ahb</i>	<i>10</i>	<i>krümelig, schwach blockig, mittel durchwurzelt, übergehend in Ahb/Bvrel</i>
<i>Ahb/Bvrel</i>	<i>14</i>	<i>5 % Feingrus, krümelig-schwachblockig polyedrisch, mittel durchwurzelt</i>

Tabelle 032-4: Beschreibung des Profiles Mieseck i6

Diese Profile sind biologisch hoch aktiv, was auch hohe pH-Werte und enge C/N-Verhältnisse zeigen. Verglichen mit der WBZI sind die K und P-Gehalte überdurchschnittlich hoch, die Ca- und Mg-Gehalte liegen im üblichen Rahmen. Die Kationenaustauschkapazität ist ebenfalls sehr hoch, wobei wiederum Ca, gefolgt von Mg und K dominiert. Auffällig ist auch der hohe Mn-Gehalt am Austauscher im Vergleich zu den von den sonstigen Standorten analysierten Profilen. Die geringe Streuung der chemischen Kennwerte über den Profilverlauf zeigt die gute biogene Durchmischung an.

Eine deutlich unterschiedliche Bodendynamik zeigt die Braunlehmdecke als Dolinensediment der „Seelacke“, bei der die Bodenentwicklung stark hydromorph überprägt ist. Dieses Profil ist vom anstehenden Plattenkalk stark entkoppelt, die pH-Werte sind für einen karbonatbeeinflussten Boden niedrig. Die Kationenaustauschkapazität ist mit < 100 sehr niedrig, Al nimmt bereits einen wesentlichen Anteil an der Austauscherbelegung ein. Die Corg-Gehalte sind sehr niedrig.

Sehr deutlich kommt in der Analyse die Fe- und Mn-Anreicherung im Bsg-Horizont. Insgesamt sind die Mn-Gehalte wesentlich höher als diejenigen von WBZI-Vergleichsböden.

Lage: Rechtswert: 531600, Hochwert: 297800
Flache, braunlehmverfüllte Doline mit Tümpel im Zentrum (Profil aus dem Randbereich);
Humustyp: Hydromorpher Mull
Bodentyp: Stagnogley

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Beschreibung
<i>L/F</i>	<i>1</i>	<i>lockere Buchenstreu und Moose</i>
<i>Ahbg 1</i>	<i>4</i>	<i>krümelig blockig, schwach humos, zahlreiche Konkretionen; vermutlich überlagert, scharf abgegrenzt von Ahbg 2 (beg)</i>
<i>Ahbg 2 (beg)</i>	<i>5</i>	<i>krümelig-blockig-schwammig, stark humos, zahlreiche Konkretionen, undeutlich übergehend in Eg</i>
<i>Eg</i>	<i>3</i>	<i>fahl, zahlreiche Konkretionen, massige Struktur, tonig, scharf abgegrenzt von Bsg</i>
<i>Bsg</i>	<i>2,5</i>	<i>intensiv rostbraun-schokoladebraun, ortsteinartig verfestigt, scharf abgegrenzt zu P1</i>
<i>P1</i>	<i>8</i>	<i>grobblockig-prismatisch, Grobporen mit Krümeln verfüllt, rostfleckig, zahlreiche Konkretionen allmählich, übergehend in S</i>
<i>S</i>	<i>29</i>	<i>fahl ocker, Rost- und Bleichflecken, strukturlos massig, zahlreiche Konkretionen</i>

Tabelle 032-5: Beschreibung des Profiles Seelacke 1a

Insgesamt sind die am Testplot Mieseck verbreiteten Böden für Verhältnisse auf Kalk sehr günstig zu beurteilen. Trotz des hohen Skelettgehaltes bieten die humosen, gut strukturierten Böden gute Wasser- und Nährstoffspeicherung. Die - wie sich in der Pilotstudie Karbonatböden gezeigt hat - rasche Regeneration der Bodenflora und der Verjüngung, verhindert auch nach Windwürfen Nährstoffverluste. Hinsichtlich der Schadstoffpufferung sind diese Böden günstig zu beurteilen. Einzig

Bodenverdichtung und Erosion durch unpflegliche forstliche Bringungsmaßnahmen oder Nährstoffentzüge durch Vollbaumernte stellen auf derartigen Standorten eine potentielle Gefahr dar.

Bodenentwicklung auf (Haupt-) Dolomit

Große Teile des Nationalparks werden von Hauptdolomit, einem grauweiß bis gelblichweißen, zuckerkörnigen Dolomit aufgebaut. Der untere Dolomit im Grenzbereich zum liegenden Opponitzer Kalk zeigt zum Teil zellige Auflockerungen. Ein mineralogisch sehr reiner Dolomit (100 %) wurde aus dem Bereich des Sinnreitner-Bodens, knapp an der Grenze zum überlagernden Plattenkalk analysiert. Dieser Dolomit zeigt praktisch keine tonigen Verunreinigungen und damit auch eine sehr geringe Kapazität zur Bodenbildung.

Anteile [%]	Quarz	Schichtsilikate	Feldspäte	Calzit	Dolomit
Mieseck i3	28	63	3	1	5
Sinnreitnerboden 1b	18	45	2	0	35

Tabelle 032-6: Röntgendifraktometrische Feinbodenanalyse vom Profil Sinnreitnerboden 1b im Vergleich zum Profil Mieseck i3

Die Analyse des zugehörigen Bodenprofils von kolluvial im Profil eingemengten Bvrel-Material zeigt aber eine deutliche Anreicherung von Quarz, Feldspäten und Schichtsilikaten. Die Relation dieser Komponenten entspricht ungefähr jener des Braunlehms vom oberhalb angrenzenden Mieseck, was auch auf die Herkunft dieses Braunlehmekolluviums rückschließen läßt. Freier Calzit kann in diesem Profil nicht nachgewiesen werden.

Lage:	Rechtswert: 532900, Hochwert 298200 SE-exponierter Mittelhang, ca 35% geneigt
Bestand	Mischbestand mit 70 % Buche, 10 % Bergahorn und 20 % Fichte
Bodenvegetation:	Galium odoratum 1, Helleborus niger +, Senecio ovatus agg.+, Lamiastrum galeobdolon +, Athyrium filix mas +, Sanicula europaea 1, Viola sp. +, Cyclamen purpurascens +, Oxalis acetosella 1, Primula sp. +, Prenanthes purpurea +, Polygonatum multiflorum +, Cardamine trifolia +, Hypericum maculatum +, Fragaria sp. +
Humustyp:	mullartiger Moder (nur bei analysiertem Profil; kleinflächig wechselnd; meist milder Mull)
Bodentyp:	braunlehmbeeinflusste Dolomitrendzina

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Beschreibung
----------	------------------	--------------

<i>L,F</i>	<i>1</i>	<i>Buchenstreu, schichtig</i>
<i>H</i>	<i>bis 4</i>	<i>nestartig, locker bis feinkrümelig, undeutlich übergehend in Ahb</i>
<i>Ahb</i>	<i>8</i>	<i>feinkrümelig sehr stark durchwurzelt, allmählich übergehend in Ahb/Bvrel</i>
<i>Ahb/Bvrel</i>	<i>11,5</i>	<i>krümelig bis polyedrisch feinblockig, Skelettgehalt 10 % Mittelgrus, stark durchwurzelt, übergehend in Ahb/Bvrel/C</i>
<i>Ahb/Bvrel/C</i>	<i>14</i>	<i>Skelettgehalt 60 % Mittel bis Grobgrus, mittel durchwurzelt, scharf absetzend zu Bvrel/C</i>
<i>Bvrel/C</i>	<i>18</i>	<i>>90 % Grobgrus, Braunlehm als 'Coating' auf Gesteinsoberfläche</i>

Tabelle 032-7: Beschreibung des Profiles Sinnreitnerboden 1b

Die Böden dieses und weiterer analysierter Profile sind sehr klüftig und zeigen aufgrund des hohen Skelettgehaltes eine eingeschränkte Wasserspeicherfähigkeit. Die tiefgründig vergrusteten Dolomite sind auch erosionsanfällig. Der auf die oberste Schicht beschränkte Braunlehmeinfluß stellt demnach das einzige 'Kapital' für die Vegetationsentwicklung dar.

Bei laubholzreicher Bestockung zeigen die Böden eine günstige Humusumsetzung. Die C/N-Verhältnisse sind eng, die pH-Werte sind sehr hoch. P, K, Cu und Zn zeigen eine deutliche Anreicherung in den Ahb-Horizonten, was auf eine biogene Anreicherung hindeutet. Die Kationenaustauschkapazität ist in beiden Profilen mittel bis hoch, wobei Mg bis über 25% der Austauscherplätze belegt. Die K-Gehalte am Austauscher sind nur in den stark humosen Profiltteilen hoch, nehmen aber über die Profiltiefe rapide ab.

Die analysierten Profile zeigen die 'Optimalvariante' von Dolomitrendzinen. Bei fehlendem kolluvialen Braunlehmeinfluß stellen Dolomitböden die nährstoffärmsten und trockensten Standorte dar.

Örtlich vorkommende Braunlehme mit Stockwerkscharakter in Akkumulationslagen zählen zu den 'stabilsten' Böden des Untersuchungsgebietes und unterliegen aus diesem Grund seit langem der landwirtschaftlichen Nutzung.

Bodenentwicklung auf Mergeln (Roßfeldschichten, Lunzer Schichten)

Als Beispiel für einen aus Mergeln entwickelten Boden wurde ein Profil aus den Roßfeldschichten der Ebenforstalm erworben. Aus diesem Profil wurde sowohl der P-Horizont, als auch Handstücke von eingeregelter Gestein mineralogisch analysiert. Dabei stellte sich heraus, daß sehr unterschiedliche Gesteine an der Genese des Profils beteiligt gewesen sein dürften:

Lage: *Rechtswert: 531800, Hochwert: 296800*
 5% E-geneigte, flache Mulde (Hochtal des Ebenforstbaches)
Bestand: *Lockerer Fichtenaltbestand (Weidewald, Überschildung 70%),*
Bodenvegetation: *Oxalis acetosella 2, Athyrium filix femina 1, Vaccinium myrtillus 1,*
 Mycelis muralis+, Senecio Fuchsii 1, Urtica dioica +, Fragaria sp.
 1
Zahlreiche Viehtrittstapfen
Humustyp: *Hydromorpher Mull*
Bodentyp: *(Zwerg-)Pseudogley*

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Beschreibung
<i>L</i>	<i><0,5 cm</i>	<i>Fi-nadeln</i>
<i>Ahb(g)</i>	<i>4,0</i>	<i>krümelig-feinblockig, leicht schwammig, übergehend in Eg</i>
<i>Eg</i>	<i>4,5</i>	<i>plattig verdichtet (Viehtritt), fahlbraun, Humus nestartig, zahlreiche Konkretionen, absetzend zu Bsg</i>
<i>Bsg</i>	<i>4,5</i>	<i>rötlich bis rostbraun, Ortssteinbändchen, plattige Struktur, scharf absetzend zu P</i>
<i>P</i>	<i>21</i>	<i>polyedrisch mittelblockig, ockerbraun, zahlreiche Konkretion, schluffig-tonige Textur absetzend zu S</i>
<i>S</i>	<i>4,5</i>	<i>fahl grau-ocker, zahlreiche feine Konkretionen, massig, tonige Textur, scharf absetzend zu Cv</i>
<i>Cv</i>	<i>9</i>	<i>dunkelbraun, lehmig-sandig</i>

Tabelle 032-8: Beschreibung des Profiles Ebenforst 1c

Die Analysen zeigen typische Mergel der Roßfeldschichten mit einem hohen Anteil an Calzit und immerhin bis zu 20% Schichtsilikaten, andererseits in das Bodengerüst eingeregelter Grus, der vorwiegend aus Quarz und Schichtsilikaten besteht. Da diese Sandsteine nicht aufgemüht sind, scheint eine Entkalkung im Zuge der Bodenbildung unwahrscheinlich. Eine weitere Analyse zeigt zur Abrundung einen ebenfalls auf der

Probefläche vorgefundenen intensiv roten und von Calzitadern durchsetzten Kalk (Klauskalk?) mit 99% Calzit und 1% Quarzanteil. Der P-Horizont besteht zu ungefähr gleichen Anteilen aus Quarz und Schichtsilikaten und ca 5% Feldspäten. Auch dieses Profil dürfte ein Resultat periglazialer Umlagerungsvorgänge sein.

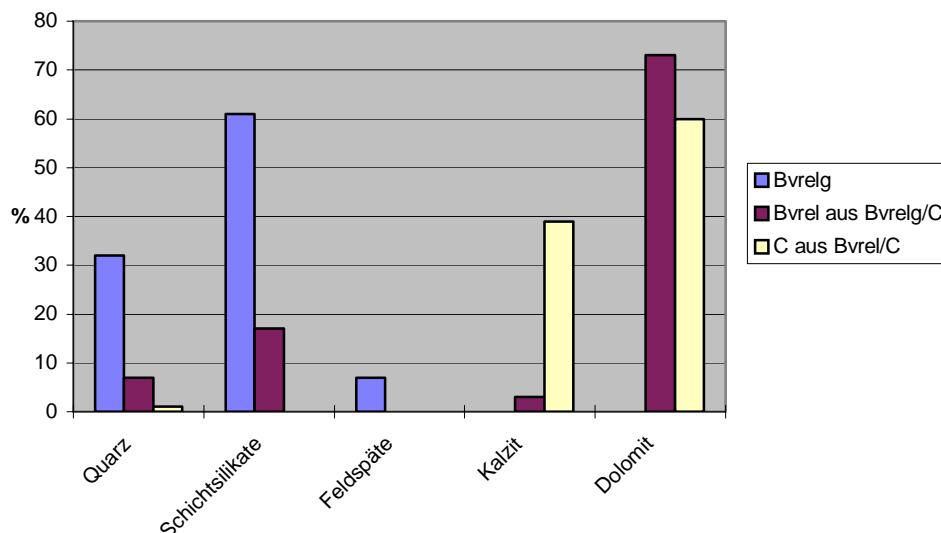


Fig. 032-1: Mineralogische Untersuchung des Profiles Ebenforst 1c

Das Profil ist bis auf eine Tiefe von ca. 40 cm vollständig entbast und zeigt eher niedrige pH-Werte. Sehr auffällig ist die plattige Verdichtung im Oberboden die durch Weideeinfluß hervorgerufen wird. In diesen Viehtrittstapfen führt stehendes Wasser zu reduzierenden Bedingungen und einer deutlichen Mn- und Fe-Verlagerung. Dieser Eg-Horizont ist nur geringmächtig, daran schließt ein ortssteinartiger Sesquioxidanreicherungs-horizont an, der deutliche Mn- und Fe- Akkumulationen zeigt. Erst daran anschließend zeigt sich ein 'normales' Pseudogleyprofil. Die Austauschkapazität ist in allen Profiltteilen eher niedrig, im P-Horizont dominiert sogar Al vor Ca. Nährstoffentzüge durch jahrhundertelange Beweidung dürften mit zur Verarmung dieses Profiles beigetragen haben. Trotzdem sind die Böden in diesem Bereich weitgehend intakt.

Einige Tonmineral-Analysen

Bezeichnung der Probe	Labor Nr.	ART	Smekt.	Illit	Kaol.	Chlorit	Vermik	Mixed Layer
Ebenforst 1c P-Horizont	2464	Pseudo-gley	16	16	7	13	39	9
Mieseck i3 (Bvrel)	2468	Kalk-Rendzina	Sp	14	15	8	49	14
Sinnreitnerboden 1b (Bvrel)	2470	Dolomit-Rendzina	Sp	9	17	9	61	4
Bauernberg 2a Horizont Bvrelg (S23)	2472	Braunlehm	8	25	25	14	24	4
Bauernberg 2a Horizont Bvrelg/C	2473	Braunlehm	Sp	44	25	13	13	5

Tabelle 032-9: Tonmineralanalysen einiger Böden

HÖHLENLEHME DER RETTENBACHHÖHLE

Bezeichnung der Probe	Labor Nr.	Probenart	GMA	TMA	KGA
Profil bei Angstlacke 0-0,5cm	2547	Höhlenlehm	*	*	*
Profil bei Angstlacke Tonklasten	2548	Höhlenlehm	*	*	*
Profil bei Angstlacke 0,5-15cm	2549	Höhlenlehm	*	*	*
Profil bei Angstlacke 15-25cm	2550	Höhlenlehm	*	*	*
Profil bei Angstlacke Grobsed.	2551	Höhlenlehm	*	*	*
Profil bei Angstlacke von Wand	2552	Höhlenlehm	*	*	
Wettersteinkalk Dückenröhre	2553	Kalk	*		
Wettersteinkalk Dückenröhre UR	2553UR	Unlösł.Rückstd.	*	*	*
Kalk + Kruste Dückenröhre	2554	Kalk	*		

Wandbelag Dückenröhre	2555	Höhlenlehm	*	*	
Kruste Lange Kluft	2556	Kalk	*		
Bergmilchsediment Lange Kluft	2557	Höhlenlehm	*	*	*
Höhlenlehm Lange Kluft	2558	Höhlenlehm	*	*	
Höhlenlehm Regenhalle	2559	Höhlenlehm	*	*	

Tabelle 032-10: Kalk und Tonproben aus der Rettenbachhöhle und daran durchgeführte Analysen. GMA= Gesamtmineralanalyse, TMA= Tonmineralanalyse, KGA= Korngrößenanalyse

Bezeichnung der Probe	Labor Nr.	Probenart	Kalzit	Dolom	Quarz	Feldsp	Schi. silik.
Profil bei Angstlacke 0-0,5cm	2547	Höhlenlehm	15	66	9	0	10
Profil Angstlacke Tonklasten	2548	Höhlenlehm	16	65	8	0	11
Profil bei Angstlacke 0,5-15cm	2549	Höhlenlehm	16	62	11	1	10
Profil bei Angstlacke 15-25cm	2550	Höhlenlehm	15	63	9	1	12
Profil bei Angstlacke Grobsed.	2551	Höhlenlehm	15	63	11	1	10
Profil bei Angstlacke von Wand	2552	Höhlenlehm	20	46	14	1	19
Wettersteinkalk Dückenröhre	2553	Kalk	100				
Wettersteink. Dückenröhre U	2553U	Unl. Rückst.			*	(*)	**
Kalk + Kruste Dückenröhre	2554	Kalk	100				
Wandbelag Dückenröhre	2555	Höhlenlehm	20	44	12	1	23
Kruste Lange Kluft	2556	Kalk	100				
Bergmilchsediment Lange Kluft	2557	Höhlenlehm	88	2	3	1	5
Höhlenlehm Lange Kluft	2558	Höhlenlehm	36	16	15	1	32
Höhlenlehm Regenhalle	2559	Höhlenlehm	77	3	3	0	17

Tabelle 032-11: Mineralogische Zusammensetzung der Kalk- und Tonproben aus der Rettenbachhöhle

Bezeichnung der Probe	Labor Nr.	Probenart	Smekt.	Ver-mik.	Illit	Kaol.	Chlorit
Profil bei Angstlacke 0-0,5cm	2547	Höhlenlehm		22	30	16	32
Profil bei Angstlacke Tonklasten	2548	Höhlenlehm		19	35	13	34
Profil bei Angstlacke 0,5-15cm	2549	Höhlenlehm		19	35	14	32
Profil bei Angstlacke 15-25cm	2550	Höhlenlehm		22	30	11	37
Profil bei Angstlacke Grobsed.	2551	Höhlenlehm		14	38	15	33
Profil bei Angstlacke von Wand	2552	Höhlenlehm		12	43	10	35
Wandbelag Dückenröhre	2555	Höhlenlehm		15	35	16	34
Bergmilchsediment Lange Kluft	2557	Höhlenlehm		15	28	21	36
Höhlenlehm Lange Kluft	2558	Höhlenlehm	11	20	31	10	28
Höhlenlehm Regenhalle	2559	Höhlenlehm		18	33	9	40
Wettersteink. Dückenröhre U	2553U	Unl.Rückst.	Sp		75	21	4

Tabelle 0323-12: Tonmineralogische Zusammensetzung der dekarbonatisierten 2µm Fraktion der Höhlenlehme aus der Rettenbachhöhle (Angaben in Massen%)

Die tonmineralogische Zusammensetzung der untersuchten Höhlenlehme lässt keine signifikanten Unterschiede der einzelnen Proben erkennen. Auffällig hoch sind die Mengen an Vermikulit (12-22%). Sie entstehen häufig aus Biotiten oder auch aus Chloriten in gemässigt bis kühlen humiden Klimaten - speziell in Böden (Heim 1990). Illit, das häufigste Tonmineral unserer Breiten, zeigt mit Werten zwischen 30 und 43% keine Auffälligkeiten, ebenso wie Chlorit mit Werten zwischen 28 und 40%.

Das Tonmineral Kaolinit ist ein Verwitterungsprodukt feldspatreicher Gesteine (Gneise, Granite etc.) unter feuchttropischen Klimabedingungen. Kaolinit kann rezent in unseren Klimaten nicht gebildet werden, sondern stammt aus dem Tertiär. Nur in der Probe bei der langen Kluft konnte das Tonmineral Smektit mit 11% nachgewiesen werden. Smektite sind ebenso wie Illite Verwitterungsprodukte von Glimmermineralen und kommen sehr häufig in Böden vor.

Die beprobten Höhlenlehme des kleinen (nur 25 cm mächtigen) Profiles bei der Angstlacke zeigen sowohl mineralogisch als auch tonmineralogisch eine einheitliche Zusammensetzung und damit eine einheitliche Herkunft. Insbesondere der Vermikulit deutet auf eine Umlagerung von Sedimenten hin, die höchstwahrscheinlich pedogenen Prozessen ausgesetzt waren (eventuell Paleosols). Die Korngrößenverteilung ist einheitlich mit allgemein dominierendem Schluffanteil. Die Tonfraktion ist sehr gering vertreten. Gänzlich unterschiedlich ist das Korngrössenspektrum der Bergmilch: Sie weist einen sehr hohen Tonanteil von 84,2 % auf, der Median ist deutlich unter 0,1µm.

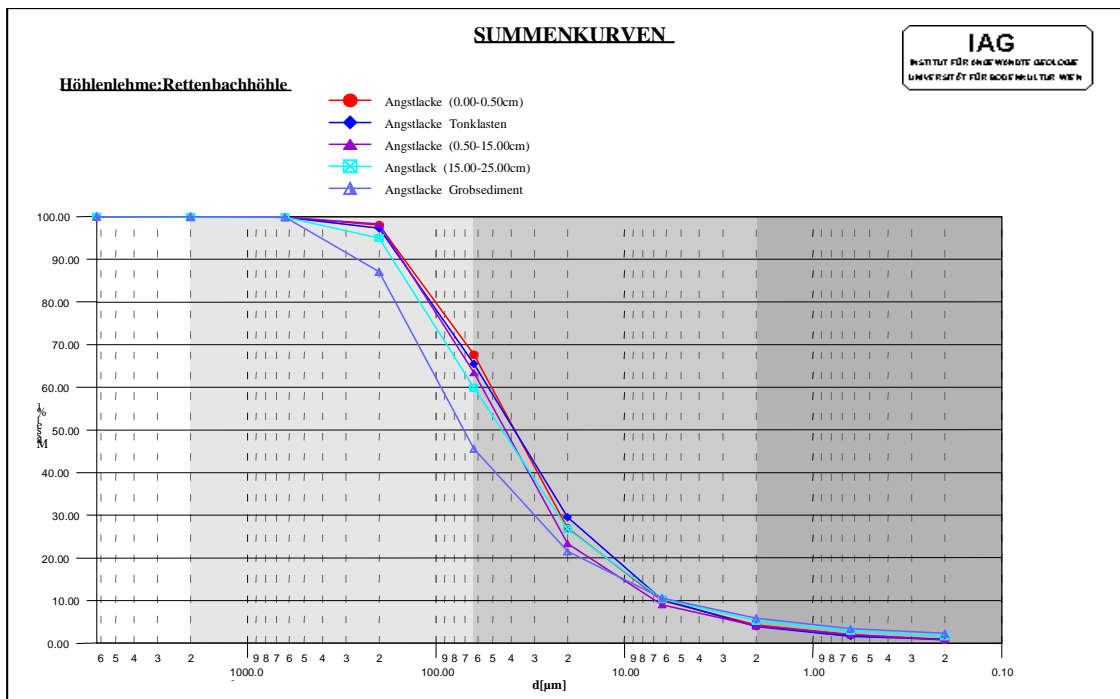


Fig.3.2-2: Summenkurven einiger Höhlenlehme der Rettenbachhöhle

Die mineralogische Zusammensetzung der Höhlenlehme ist relativ einheitlich, mit Ausnahme des Kalzit/Dolomit Verhältnisses: Während die Proben in den hinteren Bereichen der Rettenbachhöhle eine sehr ausgeprägte Dolomitdominanz zeigen, ist in den Tönen des Höhlenvorderteiles eine eindeutige Kalzitvormacht festzustellen. Die Ursache für das Zurücktreten von detritärem Dolomit dürfte in der verstärkten Ausbildung von sekundärem Kalzit (Sinter) im Vorderteil der Höhle sein.

Die Tonminerale können qualitativ als eher einheitlich bezeichnet werden. Neben durchschnittlich 30% Chlorit, 30% Illit und 15% Kaolinit ist der überraschend hohe Anteil von etwa 20% Vermikulit auffällig.

In den Wettersteinkalkproben, dem Muttergestein der Rettenbachhöhle, ist nur Kalzit nachweisbar, alle anderen Minerale liegen unter der Nachweisgrenze der Röntgendiffraktometrie. Als Ausgangssubstrat für die Höhlenlehme kommt der Wettersteinkalk nur zu einem geringen Teil in Frage, weil sich die mineralogische

Zusammensetzung des unlöslichen Rückstandes (75% Illit, 2% Kaolinit und 4% Chlorit) gänzlich unterscheidet und sein Anteil am Gesamtgestein nur 0,07%! ausmacht.

Der Grossteil der Höhlenlehme dürfte somit aus Oberflächensedimenten bestehen, die pedogenetischen Prozessen unterworfen waren (Paläoböden) und in die Karsthohlräume umgelagert wurden. Die Bodenverluste der Sengsengebirgs-Hochflächen waren vor allem in der kurzfristigen Periode der Almbewirtschaftung zwischen 1850 und 1930 beträchtlich.

In der Hinteren Rettenbach Quelle (die teilweise aus der Rettenbachhöhle gespeist wird, vgl. die [Markierungsversuche](#)) zeigen die Schwebstoffe tonmineralogisch eindeutig eine „Höhlenlehmzusammensetzung“, was auf eine Ausschwemmung von Sedimenten aus der Rettenbachhöhle hinweist. Diese Umlagerungsprozesse können in der sedimentarmen Höhle bei jeder Begehung direkt beobachtet werden. Sie betreffen vor allem das hochphreatische Niveau, das im Extremfall fast die ganze begehbare Höhle erfassen kann.

Projektausführung, Methodik

Chemisch-mineralogische Bodenuntersuchungen

7 Profile; 23 Mineralbodenhorizonte und 7 Auflagehumusproben wurden chemisch untersucht. Zusätzlich wurde Schwefel in allen Horizonten analysiert. Auf die Analyse der Elemente Cd und Pb wurde aus analysetechnischen Gründen vorläufig verzichtet. Die L-, F- und H-Horizonte der Auflagen wurden für den Gesamtaufschluß fein vermahlen. Der Gesamtaufschluß dieser Proben erfolgte mit $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$, jener der Mineralbodenproben mit Königswasser. Für die Analyse der austauschbaren Kationen im Bariumchloridauszug wurde unvermahlenes, gesiebtes (2 mm) Feinbodenmaterial verwendet. Der C- und S-Gehalt wurde mit einem Heraeus CS-Analysator durchgeführt, die Gesamtstickstoffgehalte wurden nach einer Mikro-Kjeldahl-Methode bestimmt. - Phosphor wurde photometrisch, die restlichen Elemente (K, Ca, Mg, Na, Mn, Al, Fe, Cu, Zn) wurden flammenphotometrisch mittels AAS bestimmt.

Zusätzlich wurden semiquantitative mineralogische Analysen von ausgewählten Bodenhorizonten und Gesteinen durchgeführt. Dazu wurden die getrockneten und analysenfein in einer Scheibenschwingmühle vermahlenen Proben nach dem Backloading-Verfahren präpariert und in einem Philips Röntgendifraktometer PW 1710 mit Bragg Brentano Geometrie mittels $\text{Cu K}\alpha$ Strahlung (45kV, 40mA) von 2° bis 70° 2θ geröntgt. Aus diesen Aufnahmen wurde der qualitative Mineralbestand ermittelt.

Zur semiquantitativen Abschätzung der Mineralphasen in der Gesamtprobe wurde das Probenmaterial der Pulveraufnahmen mit Kunstharz (Viapal) 1:1 vermischt, bei 80° C ausgehärtet, nochmals vermahlen und geröntgt. Durch die Vermischung mit Kunstharz können die durch Schichtsilikate, Karbonate, Feldspäte usw. verursachten Textureffekte ausgeschaltet werden. Quarz wurde mittels vorhandener Eichkurven, die anderen Minerale nach SCHULTZ (1964) semiquantitativ erfaßt.

Gestein

Für die Gewinnung des Unlöslichen Rückstandes wurden die Proben in einem Backenbrecher kleiner 2mm gebrochen (nicht gemahlen!) und mit Acetatpufferlösung (TRIBUTH 1986) dekarbonatisiert. Der verbliebene Rest wurde gewaschen gefriergetrocknet, gewogen und der Anteil des unlöslichen Rückstandes berechnet. Nach Homogenisierung wurden die Proben weiterbearbeitet.

Höhlensedimente

Gesamtmineralbestand:

Die trockenen und analysenfein in einer Achatreibschale vermahlenden Proben wurden bei Probenmengen von mehr als 100mg nach dem backloading Verfahren präpariert, bei Mengen zwischen 10 und 100 mg auf eine Siliziumunterlage aufgebracht und in einem Philips Röntgendiffraktometer PW 1710 mit Bragg Brentano Geometrie mittels Cu K α Strahlung (45kV, 40mA) von 2° bis 70° 2 Θ geröntgt. Aus diesen Aufnahmen wurde der qualitative Mineralbestand ermittelt. Zur semiquantitativen Abschätzung der Mineralphasen in der Gesamtprobe wurden die Peakintensitäten der Minerale Kalzit, Dolomit, Quarz Feldspäte und Schichtsilikate herangezogen. Die Mengen wurden nach folgendem Schema mit Sternen bewertet:

viel: ***	mittel: **
wenig: *	Spuren:(*)

Tonmineralbestand <2 μ m:

Nach Dispergierung mit verdünntem Wasserstoffperoxid (15%) und Ultraschallbehandlung erfolgte die Gewinnung der Tonfraktion durch Sedimentation (WHITTIG, 1965, TRIBUTH, 1989). Nach Gefriertrocknung wurden die Zwischenschichten der Tone mit 1N MgCl₂ bzw. KCl Lösung belegt. Zur Herstellung bevorzugt orientierter Präparate (Texturpräparate) wurden 15mg der Tonsuspension auf Keramikunterlagen aufgesaugt (KINTER & DIAMOND, 1956) und 7 Tage über gesättigter NH₄NO₃ Lösung im Exsiccator getrocknet. Nach der Röntgenaufnahme von 2°-40° 2 Θ wurden die Proben mit Glycerol, Ethylenglycol bzw. DMSO expandiert, geröntgt und abschließenden Kontraktionstests bei Temperaturen von 375°C und 550°C unterzogen. Die Identifizierung der Tonminerale erfolgte generell nach BRINDLEY & BROWN, 1980, THOREZ, 1975 und MOORE & REYNOLDS, 1989. Die semiquantitative Abschätzung der relativen Anteile einzelnen Tonmineralgruppen erfolgte durch Multiplikation der charakteristischen Peakflächen mit Korrekturfaktoren (RIEDMÜLLER, 1978 und OTTNER et al. 1996). Die Tonproben der Rettensteinhöhle wurden vor der Tonmineralanalyse mit EDTA entkarbonatisiert (KÖHLER & WEVER 1980).

Korngrößenverteilung:

Die Korngrößenverteilung wurde durch Kombination von Naßsiebung der Fraktion >40 μ m und automatischer Sedimentationsanalyse <40 μ m mittels SEDIGRAPH 5000 ET der Firma Micromeritics ermittelt. 1 g der getrockneten Probe wurden mit 15% H₂O₂ zwecks Oxidation organischer Bestandteile und einer guten Dispergierung behandelt. Nach ungefähr 24 Stunden Reaktionszeit wurde im Wasserbad der unverbrauchte Sauerstoff abgeraucht, anschließend mit Ultraschall behandelt und mit einem Siebsatz von 2 mm, 630 μ m, 200 μ m, 63 μ m und 40 μ m gesiebt. Die Grobfractionen wurden bei 105 Grad C getrocknet und in Massenprozent der Einwaage angegeben. Der Anteil <40 μ m wurde im Wasserbad eingedickt, mit 0,5 % Calgon und im Ultraschallbad dispergiert und im Sedigraph mittels Röntgenstrahl nach dem Stoke'schen Gesetz analysiert. Aus der Kornsummenkurve des Sedigraphs und den Siebdaten wurde die Korngrößenverteilung der Gesamtprobe ermittelt.

LISTE DER TEILBERICHTE

KATZENSTEINER, K. (1996a): Pilotstudie Karbonatböden, Abschluß und Auswertung. Im Rahmen des Projektes KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-05./95 und 1603-06/94. - 33 S., zahlr. Abb. und Grafiken. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1995.

KATZENSTEINER, K., Nemesthoty, K. und Ottner, F. (1996): Analyse karstrelevanter Boden- und Gesteinsproben von repräsentativen Standorten des Nationalpark Kalkalpen. Projekt Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-3.2. 32. S., Tabellen und Grafiken. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Oktober 1996.

Dr. Franz OTTNER
Universität für Bodenkultur, Institut für Angewandte Geologie
Peter Jordan Straße 70
A-1190 Wien

Dr.DI Klaus KATZENSTEINER
Universität für Bodenkultur, Institut für Waldökologie
Peter Jordan Straße 82
A-1190 Wien

SUKZESSIONSDYNAMIK UND VERKARSTUNG AUSGEWÄHLTER ALMEN IM SENGENGEBIRGE

Teilprojekt AZ. 4

KARSTIFICATION AND SUCCESSIONAL DYNAMICS OF ALPINE MEADOWS IN THE SENGENGEBIRGE

Participant Project: 1603-4.

In früheren Jahrhunderten führte der Bedarf der „Eisenstraßen“-Region an Feuerholz für ihre Hochöfen zu massivem Schlägerungsdruck auf die Wälder des heutigen Nationalparks. Nach den Kahlhieben legte man häufig Almweiden auf den ehemaligen Waldstandorten an. Wo die Wasserversorgung ausreichte, grasten Rinder, Schafe und Ziegen auf Freiflächen wie auch in den angrenzenden Beständen. Dieses Nutzungsexperiment endete auf den sensiblen Karststandorten, wo außer den dünnen Rendzinen nur Reliktböden den Kalkstein überlagerten, innerhalb weniger Jahrzehnte infolge völligen Bodenverlustes durch Humuszersetzung und Erosion (BAUER, 1953). Auf den aufgegebenen Flächen entwickelten sich Sekundärbestände mit Krummholz (Legföhre) und Lichtbaumarten wie Lärche und Kiefer.

Name der Alpe	Größe	Horn	Schafe	Ziegen
Alpe im Walchergraben, Vordersperring, Gröbel	175	15	0	0
Haidenalpe = Alpe am Sperring	98	30	0	0
Edl - oder Kogleralpe	178	22	10	0
Alpe in der Sperringlahn (Pernkopfalpe)	290	28	0	0
Alpe am Hüttriegel, am Kaltwasser, und am Sperring	370	40	0	0
Fotzenalpe (Sattelbauernalpe)	383	20	50	0
Alpe am Brettstein	209	40	0	0
Sprangriegler Alpe = Alpe im Graben	224	15	0	0
Koppengsolling und Grubalpe	443	5	50	70
Hagler (Schwarzegg und am Wald)	197	12	50	20
Alpe am Schrattenriegel	12	5	0	0
Rieskamp	194	1	19	0
Rettenbacherreith (Alpe im Feuchthale und im 4 Theile Grubalpe)	46	20	0	0
Giererreith, Giereralp und Alpe im Hörnerlahn und	655	25	0	0
Mayrreith, Mayralp, Sigrisalpe, Reith im Vorwald	384	90	70	40
	3859	388	309	130

Tabelle 04-1: Entwicklung der Alm-Bestockungsziffern am Sengengebirge

Anhand des Studiums historischer Dokumente und Akten wurde die Bestoßungsdauer und Beweidungsintensität der Almen im Sengsengebirge rekonstruiert und im GIS verortet. Seit 1880 trachtete die behördliche Almregulierung, die Almnutzungspraxis auf weniger sensible Flächen zu verlagern. Vier Phasen jeweils verringerter Bestoßungs-Intensitäten konnten erhoben werden: In den Jahren 1880, 1900, 1956-60 und 1976.

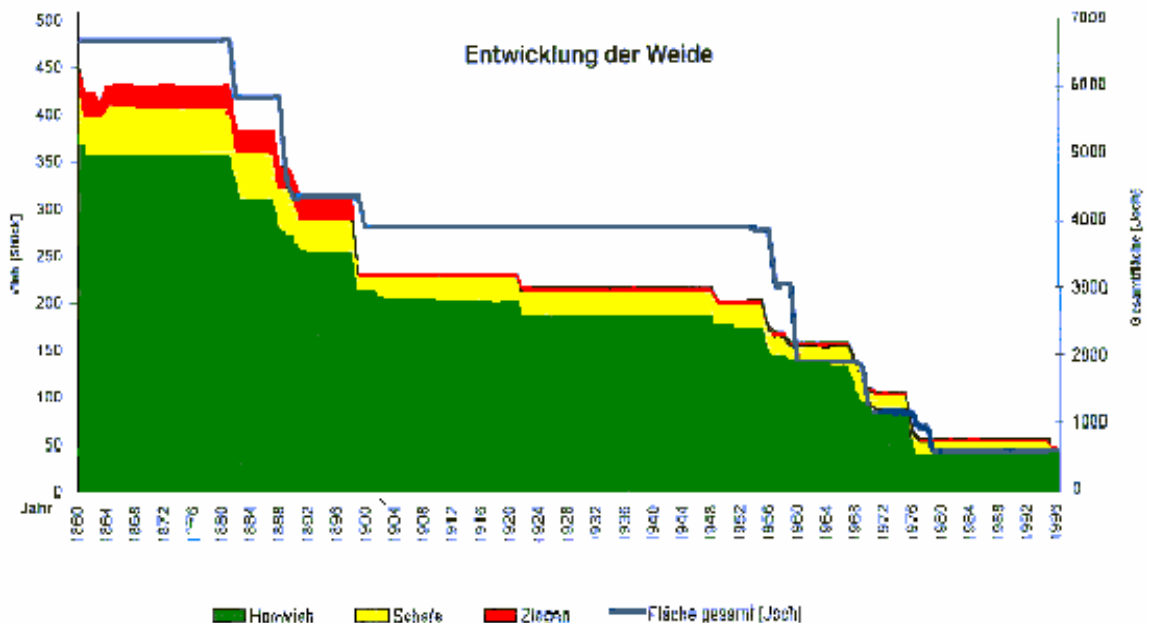


Fig. 04-1: Entwicklung der Alm-Bestoßungsziffern am Sengsengebirge – Grafik über den raschen Niedergang der Almweidewirtschaft im Karst.

Wirtschaftlich mögen die Ablösen nach dem 2. Weltkrieg den Ausschlag gegeben haben. Wahrscheinlich war aber Wasser immer der limitierende Faktor, da einige Almen nur mit Ziegen und Schafen beschickt werden konnten. Die derzeit noch mit Almnutzungs-Berechtigungen ausgewiesenen Flächen werden nur mehr zu einem geringen Teil bestoßen und befinden sich abschnittsweise schon in einem fortgeschrittenen Degradationsstadium. Aufgetrieben wird im Karstbereich nur mehr auf Feichtaualm-Jaidhausgraben und Mayralpe. Die Situation muß vor allem auf ersterer als sehr prekär bezeichnet werden.

Das Aufkommen der Sekundärvegetation wurde an zwei Transekten über aufgegebene Karstalmen studiert. Auch die Regeneration der Waldbestockung wurde anhand von Zuwachsringen und Bestandesstrukturen rekonstruiert. Anhand der Entwicklung der Humusdecke und der bodendeckenden Vegetation ist ein deutlicher Gradient von den Zentren der alten Almflächen zu ihren Rändern erkennbar.

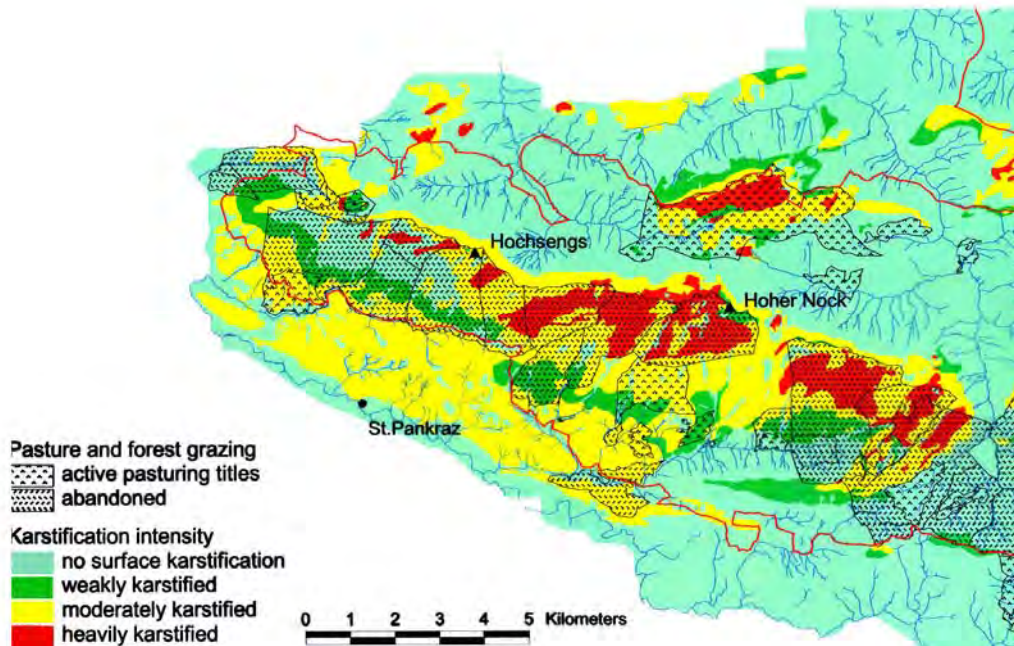


Fig. 04-2: Aktuelle Nutzung der Almflächen am Sengsengebirge (Almerhebungen) und Grad der oberflächlichen Verkarstung (Geomorphologische Karte): die Zusammenhänge sind unübersehbar.

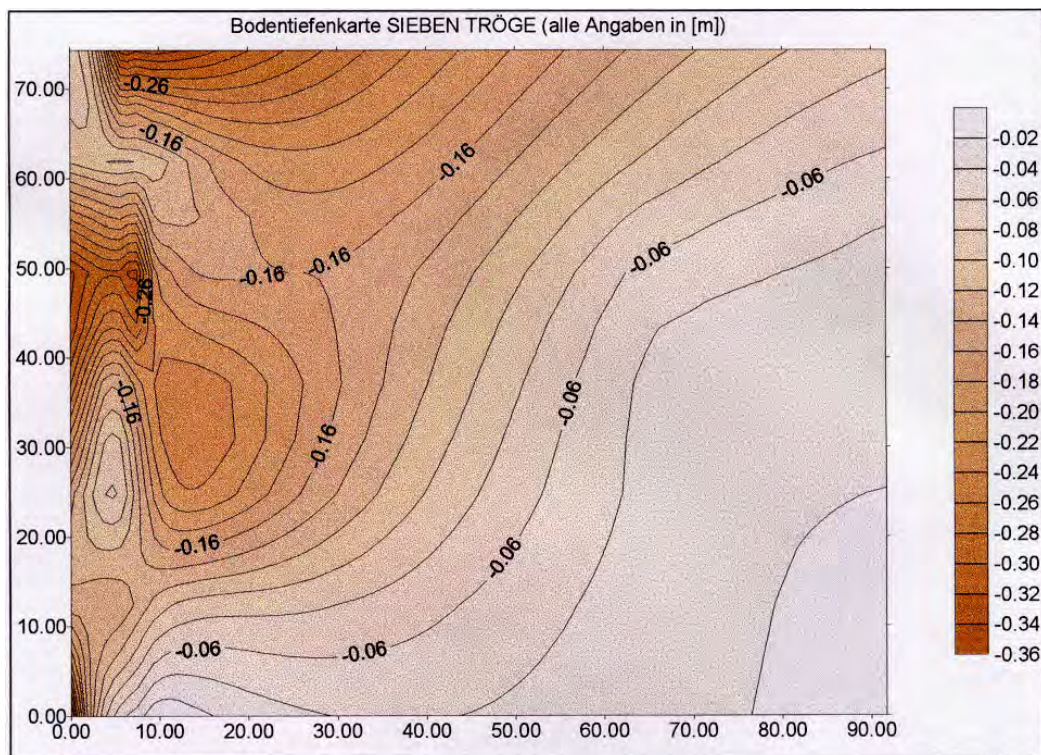


Fig. 04-3: Bodentiefenkarte von der Bärnriedelau (Sengsengebirge).

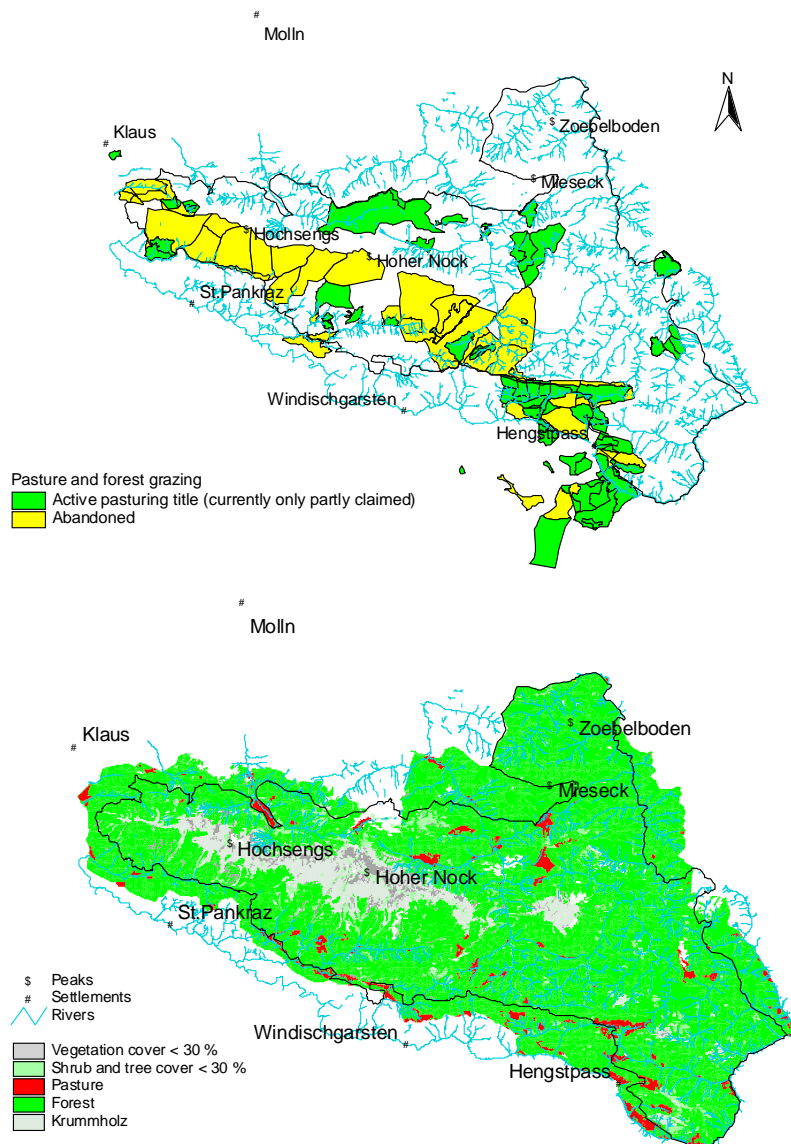


Fig. 04-4 und 04-5: Almentwicklung und Vegetation im Sengsengebirge (Überblick)

LISTE DER TEILBERICHTE

LECHNER, J. (1996): Sukzessionsdynamik und Oberflächenverkarstung ausgewählter Almen im Sengsengebirge: Multitemporale Luftbildauswertung und Geländekartierungen. Karstdynamik 1603, Teilprojekt 4.1. Almnutzung und Sukzession, Teilprojekt-4.2. Multitemporale Luftbildauswertung. 107 S., Tabellen, Grafiken, Fotos, Karten. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Oktober 1996.

PILOTSTUDIE KARBONATBÖDEN

Teilprojekt AZ. 5.1.

PILOT STUDY CARBONATE SOILS

Participant Project: 1603-5.1

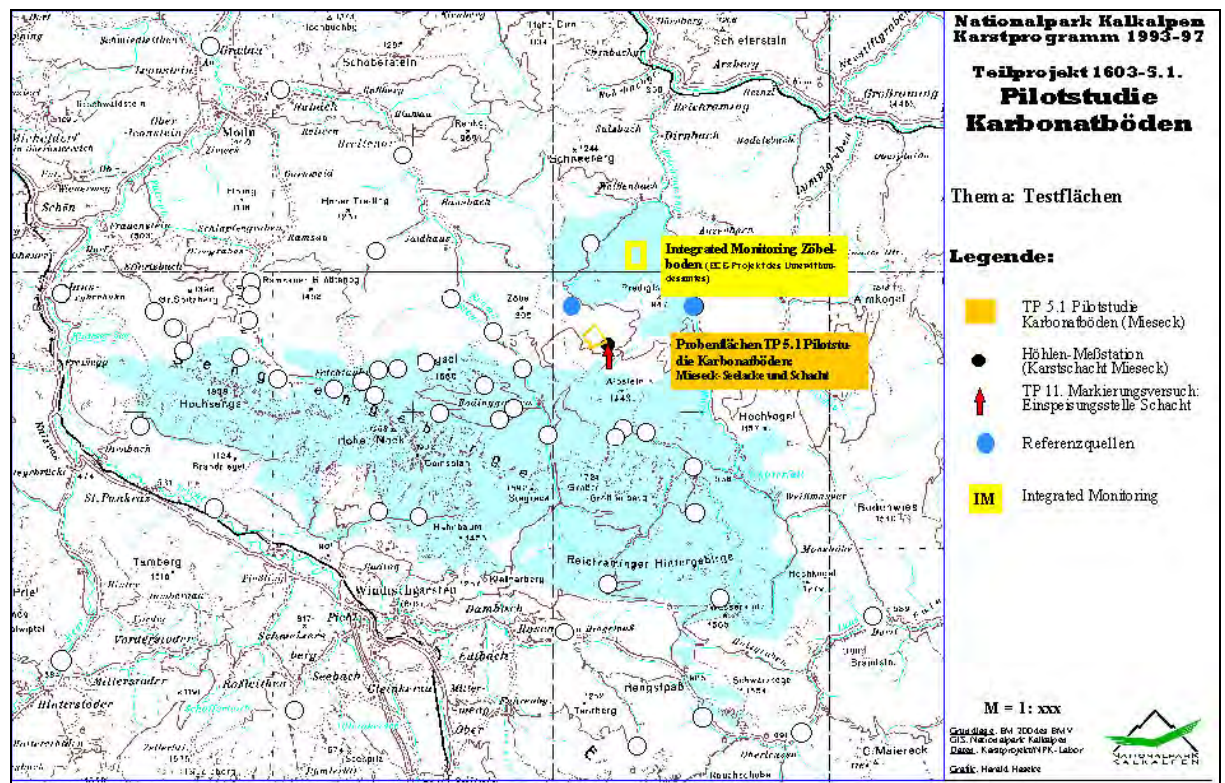


Fig. 5.1-1: Gebietskarte mit Eintragung der Testfläche und zugehörigen Probenstellen.

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Im Forschungskonzept zum Projekt Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen (HASEKE et al., 1994) wurden als zentrale Fragen der Einfluß von Nutzungen und die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf Prozesse im Karstsystem formuliert.

Der Forschungsansatz umfaßt auch prozeßorientierte, eher punktuelle Untersuchungen auf Teilflächen verkarsteter Einzugsgebiete. Als 'Werkzeug' für derartige prozeßorientierte Freilanduntersuchungen steht eine Palette waldökologisch-hydrologischer Feldmethoden zur Verfügung:

- *Messung der Stoffumsätze in Ökosystemen*
- *Sukzessionsdynamik von Ökosystemen*
- *Umlegung der Ergebnisse punktueller Untersuchungen auf die Fläche*
- *Verknüpfung ökosystemarer Studien mit klassischen hydrologischen und hydrochemischen Ansätzen der Karstforschung*

Als praxisorientiertes Kernthema für die Pilotstudie wurde die Auswirkung eines Kahlschlages auf das Bodenwasser und den Nährstoffhaushalt eines montanen Karststandortes ausgewählt.

Ein großer Teil der Feldmethoden wurde für Ökosysteme auf homogenen, tiefgründigen Standorten in eindeutig abgrenzbaren Einzugsgebieten entwickelt. Derartige Randbedingungen sind auf Karststandorten in der Regel nicht vorzufinden. Hohe kleinflächige Variabilität von Boden und Vegetation, extreme Seichtgründigkeit der Böden und steile Gradienten im Chemismus der Bodenhorizonte über das Profil machen eine Anpassung der Methoden notwendig.

In der Pilotstudie 'Karbonatböden' sollten daher bestehende Methoden auf ihre Tauglichkeit in Karstsystemen getestet werden, anhand einer konkreten, managementrelevanten Problematik. Vor allem wurde getrachtet, bestehende Lysimetertypen durch die Integration eines "Naturlysimeters" (oberflächennaher Höhlenraum) zu ergänzen. Im weiteren Verlauf des Karstprogrammes waren Intensivmeßflächen auf anderen problematischen Standorten vorgesehen und wurden auch in Angriff genommen (siehe [AZ. 5.2., Bodenwasserhaushalt...](#)). Die Probestellen wurden Ende November 1994 festgelegt, noch im Dezember 1994 konnten Saugplattenlysimeteranlagen und Kerzenlysimeter eingebaut werden. Der Anschluß der Unterdruckanlagen erfolgte Ende Mai 1995 und die Meßreihen liefen bis Oktober 1995.

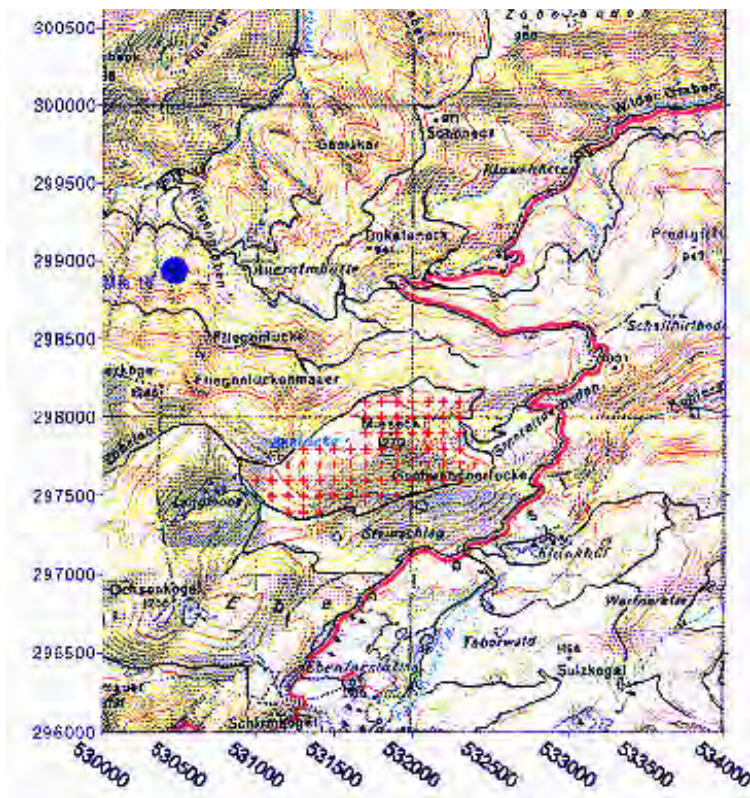


Fig. 5.1-2: Lage der Testfläche: Reichraminger Hintergebirge (47°49' N, 14°25' E) an der nördlichen Grenze des Nationalparks Kalkalpen, in 1080 bis 1270 m Seehöhe.

Nur 2,5 Kilometer nordnordöstlich befindet sich die EC-Integrated Monitoring-Fläche Zöbelboden, eine Fläche, die geologische und bodenkundliche Vergleiche erlaubt und von welcher meteorologisch-immissionsökologische Basisdaten zur Verfügung stehen.

Geologie, Geomorphologie

Das Kartierungsgebiet Mieseck ist aus norisch-rhätischem Plattenkalk im Hangenden des Hauptdolomites aufgebaut. Die Übergänge sind unscharf. Nördlich bricht der Hang steil in die dolomitischen Einzugsgebiete von Weißenbach und wildem Graben ab. Südlich schließen bunte Juraformationen (Hierlatzkalk, stark verkarstet, Liasfleckenmergel und Kalke des höheren Jura) an. Daran grenzen die bunten kretazischen Serien der Ebenforstsynklinale (Roßfeldschichten).

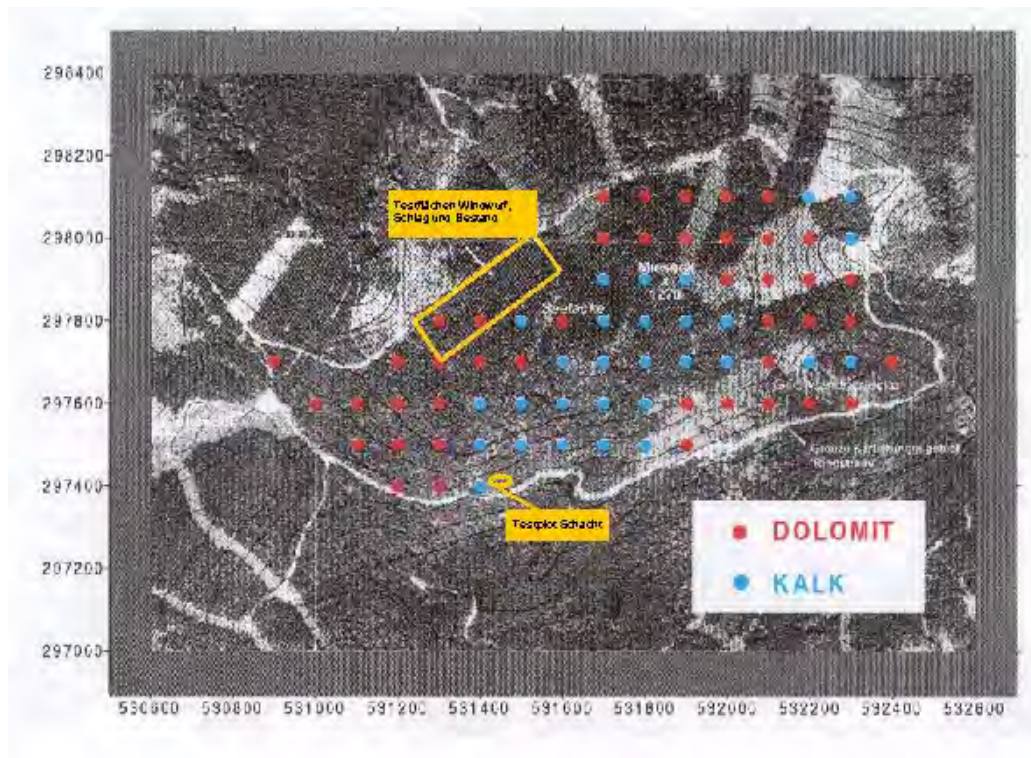


Fig. 5.1--4: Testgebiet Pilotstudie Karbonatböden-Mieseeck, Lage der Testplots und Gestein des Stichproben-Aufnahmesters. Orthofotokarte des Nationalparks.

Das Gebiet entsprach in weiten Bereichen den gestellten Anforderungen:

- Verkarstungsfähiges Gestein: "Dachsteinkalk" bzw. Plattenkalk mit Schichtgrenzen zu Hauptdolomit mit Oberflächenverkarstung (Karren, Dolinen).
- Bestände unterschiedlicher Mischung und unterschiedlichen Alters, darunter frische, geräumte Windwurfflächen
- Gut zugänglicher Schacht zur Erfassung des Sickerwasserabflusses in der ungesättigten Zone
- Gute Erschließung durch Forststraßen und leichte Erreichbarkeit durch die Techniker des Nationalpark-Forschungslabors, um eine Probenahme in engen Intervallen zu gewährleisten. Die Versuchsflächen wurden im Zuge der wöchentlichen Probenahmefahrten zum IMP-Probenareal Zöbelboden regelmäßig aufgesucht.

Hydrologie

Die flache Gipfelkuppe "Mieseeck" (1270m) ist Teil jenes abflußlosen Plattenkalkzuges zwischen Zöbel und Predigtstuhl, der als Hangendes des Hauptdolomites dem Ebenforstplateau nördlich vorgelagert ist. Das Gebiet ist durchwegs mit Mischwald bestockt, der z.T. naturnah aufgebaut ist. Südlich fällt die Flanke rund 100 Meter tief in zerrissene Karstformationen des Hierlatzkalkes ab ("Steinschlag", Klaushof), nördlich bricht der Hang als 200 bis 400 m tiefe Steiflanke in die dolomitischen Quellgebiete von Weißenbach und Wildergraben ab.

Die im Weißenbach und Wildergraben bei 770-900 Meter aufgereihten Quellhorizonte könnten sich zum Teil an einem seichten Bergwasserspiegel im Bereich der Schichtgrenze Plattenkalk - Hauptdolomit orientieren. Allerdings bedecken umfangreiche Blockschuttpolster den Hangfuß der Plattenkalkbarriere, die eine eigenständige Grundwasserführung haben. Darauf weisen örtliche Versinkungen und Wiederaustritte hin.

Im Süden bildet das alte Stockwerk des Ebenforstplateaus einen höher eingespiegelten, über dem Karstkörper "hängenden" Vorfluter. Die obersten, freilich winzigen Quellen entspringen hier schon bei 1085m, also kaum 50 Meter unter den Testflächen, und versinken sofort wieder. Krumme Steyrling und Reichramingbach unterschneiden das Gebiet im Westen und Osten; sie begrenzen in rund 575 Meter (Krumme Steyrling - Messerer) bzw. 450 Meter Seehöhe (Reichramingbach-Wasserboden) das Arbeitsgebiet.

Allein aufgrund der hydrogeologischen Kenntnisse über den Karstrücken war nicht entscheidbar, wohin das Gebiet entwässern würde. Die Wahrscheinlichkeit sprach für den Nordabfluß, da hier große Reliefenergie mit räumlicher Nähe verbunden ist und auch der Gesteinsverbund Plattenkalk-Hauptdolomit für eine regional abgrenzbare Hydrographie zu sprechen schien. Andererseits ist das Ebenforstgebiet von massiven Karstdrainagen untertunnelt, die sich entlang der West-Ost ziehenden Obertrias- und Jurakarbonatserien orientieren dürften. Das Auftreten der großen Höhlenquellen Maulaufloch (Krumme Steyrling, 595m) und Predigtstuhlquelle (Reichramingbach, 445m) sowie das Verschwinden des Ebenforstbaches unter der Klaushofschwelle bei 920m zeugen davon.

Die Frage der Einzugsgebietsabgrenzung bzw. des zugehörigen Karstwasser-Outputs konnte daher a priori nicht beantwortet werden. So wurde 1995 ein [Markierungsversuch](#) durchgeführt (HASEKE 1995a), der einen eindeutigen Farbstoffdurchgang zur Großquelle "Predigtstuhlquelle" (PRED) am Reichramingbach nachwies. Dieses Ergebnis war nicht erwünscht, da die Quelle das gesamte Ebenforstplateau entwässert und es somit nicht möglich war, dem Testplot eine repräsentative Drainage zuzuordnen.

Böden und Vegetation

Im [ersten Abschnitt](#) der Arbeit wurde die im Gebiet auftretende Bodencatena beschrieben. Die Erhebung dieser Catena erfolgte nach einem 100x100 Meter Rasterverfahren (in Anlehnung an die [Naturraum-Stichprobeninventur](#) des Nationalparks) auf einer Fläche von 80 Hektar. Die Auswertung erfolgte mit multivariaten statistischen Methoden. Die Catena reicht von mageren Humuskarbonatböden über gut entwickelte Rendzinen bis zu teilweise stark pseudovergleyten Braunlehmen und Stagnogleyen in Dolinen.

Im [zweiten Abschnitt](#) der Arbeit wird der Einfluß forstlicher Nutzungen auf die Boden- und Wasserhaushaltsdynamik einer begrenzten Testfläche untersucht. Zu diesem Zweck wurde eine in Sukzession begriffene, geräumte Windwurf Fläche mit angrenzenden Bestandesteilen ausgewählt. Auf einem Stichprobenraster von je 20 Flächen im Bestand und auf der Freifläche wurden die Kompartimente Bodenvegetation, Auflagehumus und Boden beschrieben und für Massenbestimmungen und chemische Analysen geworben. Diese Studien sind im Kapitel [„Bodenanalysen..“ \(TP 3.2.\)](#) näher beschrieben. Die Untersuchungen zeigen die Bedeutung der einzelnen Speicherglieder für den Stoffumsatz im System Pflanze/Boden. Für einzelne Elemente wie Kalium stellt die rasch 'explodierende' Schlagflora durchaus einen wichtigen Puffer dar, der beiträgt, Verluste gering zu halten. Bodenbeeinträchtigungen durch die Nutzung konnten nicht nachgewiesen werden, da der Braunlehm in intensivem Kontakt mit dem Plattenkalk sehr günstige Bedingungen für Bodenorganismen und Vegetation bietet. Die hohe biologische Aktivität, welche die Flächen charakterisiert, führt zu einer raschen Regeneration des Nährstoffkreislaufes.

Im letzten Abschnitt werden die auf den Testflächen eingesetzten Methoden zur Erfassung des Wasserumsatzes im Karst diskutiert. Die Untersuchungen zeigen die gute Eignung der TDR-Technologie zur Wassergehaltsbestimmung auch in skelettreichen Karbonatböden. Weiters wurde mit verschiedenen Lysimetermethoden die Veränderung des Sickerwassers bis in das Karstsystem verfolgt. Aus den Untersuchungen sind einerseits Anreicherungsvorgänge von Calcium und Magnesium bei der Passage durch das System gut erkennbar, andererseits werden offensichtlich 'selteneren' Elemente wie Stickstoff und Kalium, auch auf der Schlagfläche effizient im Kreislauf gehalten.

Detailuntersuchungen auf Schlagflächen

Ein Ziel der Untersuchungen war die Erarbeitung von 'karstrelevanten' ökologischen Untersuchungsmethoden zur Abschätzung der Auswirkungen von externen Einflüssen auf das Karstsystem. Als Modellfläche wurde ein 1993 geräumter Windwurf, auf dem die Sukzession bereits fortgeschritten war, mit den angrenzenden Bestandesteilen verglichen. Vor allem Veränderungen bodenchemischer Umsetzungsprozesse waren von zentralem Interesse. Da Bodenwassermonitoring mit Lysimetern aufwendig und teuer ist, sind Kenntnisse über die Heterogenität der Boden- und Vegetationsverhältnisse auf der zu beurteilenden Probestfläche von wesentlicher Bedeutung. Daher wurde die ausgewählte Testfläche nach ähnlichen Kriterien wie die gesamte Gipfelkuppe des Mieseck in einem 15x30 m-Raster feinkartiert, auf jedem Punkt die Bodenvegetation auf 1 m²-Fläche abgeerntet, der Auflagehumus mit einem 30x30 cm Rahmen und Bodenprofile mit einem Hohlkernbohrer geworben.

Die Bestände sind sehr heterogen und teilweise lückig aufgebaut. Die dominierende Baumart stellt die Fichte, wobei kaum Fichtenreinbestände, sondern Mischungen mit Lärche oder mit Tanne und Buche anzutreffen sind. Diese Mischung ist sicherlich für die Höhenlage und die Bodensituation weitgehend naturnah. Daß trotzdem Windwürfe zur Auflösung der Bestände führen, ist zum Teil durch die windausgesetzte Situation des Kuppenbereiches bedingt. Die Bodenvegetation ist artenreich und aus gute Trophie und Feuchte anzeigende Arten aufgebaut. Die Schlagsituation ist durch eine artenreich aufgebaute gemischte Naturverjüngung und stellenweise durch Vergrasung mit sowie typischen Arten der Schlagflora gekennzeichnet.

Wasserhaushaltsuntersuchungen

Im Projekt wurde die Eignung der TDR-Technologie für die Wassergehaltsbestimmung in skelettreichen Karbonatböden getestet. Die Pilotversuche mit TDR-Messungen in unterschiedlichen Bodensituationen am Mieseck zeigten, daß Wassergehalte extrem seichtgründiger Humuskarbonatböden mit dieser Technologie nicht reproduzierbar zu messen sind. Mangelnder Bodenschluß dürfte für diese Fehlmessungen verantwortlich sein. Anders sieht die Situation aus, wenn eine geschlossene Braunlehmdecke oder zumindest Spaltenverfüllungen von Braunlehm vorliegen. Unter diesen Bedingungen ist dieses Verfahren hervorragend zur Messung der Wassergehalte des Feinbodens geeignet. Auch hohe Skelettgehalte stören bei sorgfältigem Einbau der Sonden die Messungen nicht.

In weiterer Folge wurde auf der Schlagfläche ein Meßfeld von 10 Sonden in unterschiedlichen Bodenhorizonten installiert. Die Bodenfeuchtegehalte wurden wöchentlich mit einer tragbaren TDR-Trase gemessen. Zur Errechnung der gesamten Wasserspeicherung des Bodens wurden diese Werte mit den Feinbodenvolumina (inclusive Poren) auf flächenbezogene Werte umgerechnet. Der Verlauf der gespeicherten Wassermengen im Vergleich mit den Niederschlagsmeßdaten des auf der Fläche im Rahmen des Meteorologieprogrammes (AZ. 1.2) installierten Ombrographen ist sehr gut parallelisierbar. Sehr deutlich kommt die schwach ausgeprägte sommerliche Trockenperiode und der Anstieg der Wassergehalte infolge der Schlechtwetterperiode in der zweiten Augushälfte zum Ausdruck. Allerdings ist bei wöchentlicher TDR-Ablesung die Auflösung zu grob, um ein doch sehr wasserwegiges Karstsystem hydrologisch zu erfassen. Will man diese Wassermengen als Kenngröße für hydrologische Bilanzierungen heranziehen, sind engere Meßintervalle nötig.

Chemismus von Sicker- und Quellwässern

Im Rahmen der Pilotstudie wurden auf dem Testplot 1 zwei Lysimeterfelder, eines auf der Freifläche, eines im Bestand installiert. Dabei kamen verschiedene Lysimetertypen zum Einsatz. Neu konstruierte Plattenlysimeter mit Keramikplatten wurden unmittelbar

unter dem Auflagehumus eingebracht, klassische Saugkerzenlysimeter in braunlehmverfüllten Klüften und Spalten installiert. Auf dem Testplot 2, einem Buchenstangenholz auf stark verkarstetem Standort, mit Humuskarbonatboden über Plattenkalk wurde der gleiche Typus eingesetzt. In einer anschließenden braunlehmverfüllten Hangmulde wurden zusätzlich Kerzenlysimeter installiert. Weiters wurde Wasser aus der ungesättigten Gesteinszone in einem darunterliegenden, beim Forststraßenbau angerissenen Schacht gesammelt.

Der Schacht, in den auch die Einspeisung gemacht wurde, liegt am hangseitigen Bankett der Trasse in 1135m Seehöhe. Der kleine Schachtmund ist halb von Versturzböcken überdeckt, die Felsüberlagerung (Gesteinspassage) liegt bei 0.5 bis max. 2 Meter. Die Höhle weitet sich sofort zu einem rundlich auskorrodierten, etwa 2 Meter durchmessenden kluftgebundenen Evakuationsraum und wird in 4 Meter Tiefe von einem Versturzboden abgeschlossen. Humus und Holzreste sind mit den Blöcken vermengt. Die Wände des Raumes sind mit spärlichem Sinter, z.T. auch mit feinlehmigen Korrosionsrückständen bedeckt. Bei stärkerem Regen fällt im Schacht reges Tropf- und Sickerwasser, bei Trockenheit klingt die Wasserführung rasch ab.

Zwei Quellen wurden analytisch erfaßt: Bei MIE 16 handelt es sich um eine Kluftquelle im Fliegengraben, die den Kuppengürtel nordwestlich von Testplot 1 entwässern dürfte, mithin ein Gebiet, das dem Mieseck sehr ähnlich ist. MIE 21, die mächtige "Predigtstuhlquelle" (PRED) entwässert einen großen Teil des Ebenforst und auch das Mieseck. Die Proben der Lysimeter wurden einzeln analysiert, um Informationen über die kleinflächige Streuung der Meßwerte zu erhalten.

Die pH-Werte der Humuslysimeter im Bestand von Fläche 1 zeigen insgesamt die niedrigsten Werte, während jene von Testplot 2 im Mittel beinahe schon im neutralen Bereich liegen. Die Zunahme im Mineralboden ist im Bestand der Testfläche 1 nur schwach ausgeprägt. Dies dürfte durch die Lage der beiden Lysimeter in eher satten, vom Mineralboden entkoppelten Braunlehmdecken begründet sein. Auf den in den unteren Bodenhorizonten bereits karbonatführenden Braunlehm der Freifläche werden bereits nach 30 cm pH-Werte erreicht, wie sie auch im subsurface-flow (Schacht) und in den Quellwässern zu finden sind.

Die TDOC-Gehalte liegen in den Wässern der Humuslysimeter ausgesprochen hoch, ebenso in den Mineralböden der Freifläche, was auf Humusabbau durch Mineralisation hinweist. Im Sickerwasser des Schachtes sackt die Konzentration deutlich nach unten und zeigt sich in den Quellen noch weiter reduziert. Immerhin übertreffen aber die Quellwässer die freien Vorfluter noch beträchtlich (vgl. die Studie über [OC in Quellwässern](#)).

Die Chlorid- und Sulfatwerte sind mit Ausnahme einzelner Ausreißer, die durch Kontaminationen bei der Probenahme zustande gekommen sein könnten, niedrig. Auf

die deutlich verschiedene Herkunft der Wässer der Predigtstuhlquelle weist der hohe Sulfatgehalt hin. Eine beschränkte Anreicherung von SO_4 ist auch in der Kluftquelle im Fliegengraben zu beobachten, wahrscheinlich ebenfalls aufgrund der Gesteinspassage. Die Nitratgehalte liegen in den meisten Proben extrem niedrig. Höchstens in den obersten Auflagehumusschichten treten fallweise Ausreißer auf. Nitrat wird einerseits im System gut gespeichert, andererseits ist das Denitrifikationspotential von Karbonatböden sehr hoch. Auf Kontaminationen deuten die erhöhten Ammoniumgehalte eines Kerzenlysimeters im Bestand der Testfläche 1 hin. Dort erscheint der Eintrag von Fäkalien durch Wildtiere - die nahegelegene Seelacke ist eine begehrte Suhle - als Ursache wahrscheinlicher als eine erhöhte Humusdisintegration.

Von den basischen Kationen zeigen Na, Ca und Mg eine deutliche Anreicherung nach der Passage der Bodendecke. Die Kalziumsättigung ist bereits im subsurface-flow des Schachtes erreicht, einzig Mg wird erst nach der Passage des Hauptdolomit angereichert. Anders verhält sich die Situation bei Kalium. Dieses sehr mobile Nährelement wird effizient im Nährstoffkreislauf gehalten. Während die Sickerwässer unterhalb des Auflagehumus sehr K-reich sind, scheint K in den tieferen Mineralbodenhorizonten nur mehr in geringen Mengen auf. Ähnlich wie K dürfte das Element Mangan im System erhalten bleiben, wobei dieses Element überdies nur im mäßig sauren Bereich oder unter reduzierenden Bedingungen nennenswert von der Austauscheroberfläche der Böden freigesetzt wird. Der Befund erhöhter Gehalte in den Sickerwässern des Bestandes vom Testplot 1 deutet auf derartige Bedingungen in den Braunlehm pseudogleyen hin.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Pilotstudie Karbonatböden bestätigte die methodischen Schwierigkeiten bei der Erfassung von standörtlichen Verhältnisse im Karst. Ökosysteme auf Karst zeigen eine 'fraktale Dimension'. Einerseits treten über große Flächen hinweg lagebedingt deutliche Unterschiede im Humus- und Bodenaufbau auf, andererseits kann man einen großen Teil unterschiedlichster Bodenformen innerhalb weniger Quadratmeter antreffen. Will man diese räumlichen Unterschiede statistisch erfassen, sind sehr hohe Stichprobenanzahlen für die Aufnahmen erforderlich. Noch schwieriger gestaltet sich die Situation für die Planung von Langzeitstudien.

Eine sorgfältige Auswahl von homogenen Dauerversuchsflächen ist die einzige Möglichkeit, um mit vertretbarem Meßaufwand Ökosystemprozesse zu verfolgen. In den Wasserhaushaltsuntersuchungen ist es aber doch gelungen, den 'link' zwischen bodenkundlich orientierter Ökosystemanalyse und klassischer Hydrogeologie zu finden. Die Umsetzungsprozesse in den obersten Bodenhorizonten bis in das Karstsystem können mit der fein entwickelten Methodik zumindest qualitativ gut

verfolgt werden. Dies kann in weiterer Folge zur Untersuchung der Dynamik extremerer Karststandorte eingesetzt werden.

Die Untersuchungen der Schlagflächen zeigen die prinzipielle Regenerationsfähigkeit von Ökosystemen im montanen Karst, sofern der Einfluß von Reliktböden günstige Bedingungen vorgibt. Daraus darf aber nicht der Fehlschluß gezogen werden, daß man auf derartigen Standorten 'alles machen' kann. Viele verkarstete ehemalige Almflächen im Toten Gebirge und im Sengsengebirge beweisen das Gegenteil.

Projektausführung, Methodik

Lysimeteranlagen (Testfläche 1)

Die Saugplattenlysimeter wurden direkt unterhalb der Auflagehumusschicht eingebracht, die Saugkerzen wurden in einer Tiefe von 15 cm (ab Mineralbodenoberkante) in Braunlehmverfüllungen in Felsspalten ($B_{V\ rel\ g}$ -Horizont) eingebracht. Dabei wurden mit einem Bodenbohrer Bohrkerne mit dem Durchmesser der Kerzenlysimeter gewonnen und chemisch analysiert (5 Auflagen, 10 Mineralbodeneinzelhorizonte: pH, C, N).

TDR (Testfläche 1)

Einbau von 10 TDR-Sonden ('buriable Waveguides') zur Messung des Bodenwassergehaltes mit TDR (Time Domain Reflectometry) nur auf der Freifläche (Einbau Ende Mai 1995). Das Meßprinzip der TDR beruht auf einer Geschwindigkeits- bzw. Laufzeitmessung einer elektromagnetischen Welle in Materialien. Die elektromagnetische Welle läuft im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit c_0 . In nicht magnetischen Materialien, wie Böden, kann die magnetische Permeabilität gleich 1 gesetzt werden.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist daher nur mehr von der relativen Dielektrizitätszahl ϵ_r abhängig. Im Umkehrschluß kann man also zur Messung der Dielektrizitätszahl die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle messen. Da Wasser mit $\epsilon_r=81$ gegenüber mineralischen Bodenbestandteilen mit $\epsilon_r=2-3$ und Luft mit $\epsilon_r=1$ die weitaus höchste Dielektrizitätskonstante aufweist, ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle in Böden direkt vom volumetrischen Wassergehalt des Bodens abhängig.

Wenn man eine, von einem Kabeltester ausgesandte, elektromagnetische Welle an zwei oder drei parallele Stäbe fester Länge l (TDR-Sonde) im Boden leitet, wird ein Teil der Energie durch Diskontinuitäten in der Sonde und im umgebenden Material reflektiert, die restliche Energie wird am Ende der Sonde reflektiert und läuft die gleiche Strecke zurück. Die Geschwindigkeitsmessung geht damit in eine Laufzeitmessung (t) über. Mit Kalibrierfunktionen kann danach aus Feldmessungen der Dielektrizitätskonstante von Böden auf aktuelle Bodenfeuchte hochgerechnet werden.

Für die Dauer der Vegetationsperiode kam ein portables TDR-Meßgerät (Trace, Soil Moisture Equ. Corp., Santa Barbara, CA) zum Einsatz, mit dem von 31.5.95 bis 22.11.95 die Bodenwassergehalte wöchentlich bestimmt wurden.

Karstschacht und Überlagerung (Testfläche 2)

Einbau und Betreuung von 2 Saugplattenlysimeteranlagen und Einbau eines Kerzenlysimeters (Dezember 1994), Einbau einer Auffangrinne im Mai 1995 für die Abflußsammlung im Schacht.

Entlang einer 0.5-1 Meter über der Blocksohle verlaufenden Schichtfuge wurde eine Kunststoff - Silikon - Sammelrinne gebaut, die das an den Wänden abtraufende Wasser in einen Sammelkübel leitete. - Ein Probefraktionierer wurde zwar für den Einsatz im Schacht adaptiert, kam aber aufgrund der geringen Abflußmengen nicht zum Einsatz. Wochenmischproben waren für die Frage der Änderung des Sickerwasserchemismus in den obersten Gesteinsschichten ausreichend.

Detailkartierung der Schlagfläche und des angrenzenden Bestandes

Punkterhebungen im 15x30 m Raster: Vegetationsanalyse und Verjüngungsanalyse auf 1 m²-Plots;

Beerntung von 40 Plots (Oberirdische Biomasse der Bodenvegetation mit 900 cm²-Rahmen);

Werbung von Auflagehumusproben auf den identen Plots (ebenso 900 cm² Rahmen; aufgrund der geringen Horizontmächtigkeiten wurden L-, F- und H-Schicht nicht getrennt);

Werbung von 40 Bodenprofilen im Zentrum der Plots mit Bodenbohrrohr (40 cm²);

Kartierung einer Fläche von ca 80 ha nach dem (modifizierten) Schlüssel der Naturrauminventur:

Flächendeckende Erhebung der Geländeformen

Standorts- Boden- und Vegetationserhebungen exakt nach dem Schlüssel der Naturrauminventur Nationalpark Kalkalpen (ECKMÜLLNER et al., 1994) und Erhebung wesentlicher Charakteristika des Baumbestandes (Grundfläche, Baumarten, Oberhöhe) auf 80 Aufnahmepunkten im 100 m-Raster

Der Aufnahmeraster wurde in den Raster der Naturrauminventur eingehängt und die Zentren der Probekreise wurden mit RT-Stahlpflocken fix vermarkt.

Probenahme - Messungen

Die Beprobung der Lysimeteranlagen erfolgte während der Vegetationsperiode wöchentlich durch Roland MAIER und Kurt BUCHNER vom Forschungszentrum Nationalpark Kalkalpen. Die Saugkerzenlysimeter konnten von 3.5.95 bis 22.11.95 beprobt werden, die Saugplattenlysimeter und das Schachtlysimeter aufgrund technischer Schwierigkeiten in der Anfangsphase erst ab 11.7.95 (Platten) bzw. 12.6.95 (Schacht). Aufgrund der räumlichen Inhomogenität der Probeflächen wurden die Lysimeterproben einzeln geworben und nicht wie vorab beabsichtigt zu Mischproben vereinigt.

Analytik Bodenwasser

Die Lysimeterproben wurden im Labor des Nationalparks Kalkalpen nach den Richtlinien des Laborhandbuches aufbereitet und z.T. gemessen.

Analysen des Institutes für Waldökologie:

- TDOC-Bestimmung (Dohrman): 115 Proben
- Al- und Mn-Bestimmung (AAS): 64 Al, 150 Mn Proben
- Pb- und Cd-Bestimmung (HGA): 28 Proben Pb, 10 Proben Cd
- K-, Ca-, Mg-Bestimmung (AAS): 23 Proben (Proben bei denen für die IC-Analyse im NP-Labor die Probemenge zu gering war, und 32 Parallelproben zum Methodenvergleich)
- Cl-, NO₃-, SO₄-Bestimmung: 23 Proben (Proben bei denen für die IC-Analyse im NP-Labor die Probemenge zu gering war)

Analytik Bodenvegetation

Die Vegetationsproben wurden an der Luft vorgetrocknet, nach Wien transportiert, bei 105°C im Trockenschrank getrocknet, die Massen bestimmt und fein vermahlen.

Anhand der Vegetationsaufnahmen wurden die Proben zu Mischproben vereinigt und von 20 Mischproben (Anbot 15 Proben) die Gesamtehalte von N (Mikrokjeldahl), P (Photometrisch im $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ -Aufschluß), K, Ca und Mg (AAS im $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ -Aufschluß) bestimmt.

Analytik Bodenproben

Die Auflagehumusproben wurden nach der Werbung bis zur Aufbereitung bei 4°C gelagert. Aus den Proben wurden lebende Pflanzenteile (Wurzeln) und fallweise eingemengter Grus händisch aussortiert. Nach der Frischmassebestimmung vor und nach der Entnahme von Teilproben für die pH-Wert-Bestimmung wurden die Proben bei 105°C getrocknet, die Trockenmassen bestimmt und anschließend fein vermahlen. Von den Proben wurden anschließend 20 Einzelproben anhand bodendiagnostischer Kriterien ausgewählt und auf ihre Gehalte an C (Leco CS-Analyzer), N, P, K, Ca und Mg (Methodik sh. Pflanzenanalysen) analysiert.

Die Mineralbodenprofile wurden nach der Systematik der Naturrauminventur (Eckmüllner et al., 1994) beschrieben, und in geometrische Horizonte (5,5,10,10,10...-cm-Stufen) getrennt. Von den Proben wurden Wurzeln (getrennt in Fein- und Grobwurzeln) händisch aussortiert. Anschließend wurden die Proben in Feinboden (<2 mm) und Grobboden getrennt sowie die Frischmassen und von Teilproben die Trockenmassen bestimmt. Die pH-Werte wurden an frischen Teilproben bestimmt. Die restlichen Proben wurden luftgetrocknet.

Diese Untersuchungen wurden an 37 Bodenprofilen bzw. 128 Einzelproben durchgeführt.

Entsprechend der Lage und der Profilbeschreibungen wurden 6 Profile für die chemische Analyse ausgewählt (20 Einzelhorizontproben). An diesen Proben wurden folgende Analysen durchgeführt:

- C (LECO CS), N (Mikrokjeldahl), P im HNO_3 -Aufschluß (photometrisch), K, Ca, Mg im HNO_3 -Aufschluß; K, Ca, Mg, Na, Al, Mn und Fe im BaCl_2 -Auszug (bei pH>6: gepuffert für BC); Karbonat (Scheibler)

Datenverwaltung

Die Kartierungsdaten (mit Ausnahme der Vegetationsanalysen) und die chemischen Vegetations- und Bodenanalysedaten wurden in einer Access-Datenbank eingegeben. Die Vegetationsaufnahmedaten wurden in ein eigenes Vegetationsaufnahmeprogramm und die Sickerwasseranalysen in Excel-Spreadsheets eingegeben und ebenfalls in die Access-Datenbank konvertiert.

LITERATUR

ECKMÜLLNER O., GÄRTNER A., KATZENSTEINER K., KOCH G., REIMOSER F. (1994): Naturraum-Stichprobeninventur Nationalpark Kalkalpen. Aufnahmeschlüssel, -anweisung, -formular. Nationalpark Kalkalpen, Jahresberichte 1993.

GÄRTNER A., HASEKE H., SCHRUTKA R. und STEINWENDNER N. (1994): Atlas der Geologie 1 : 20.000 Nationalpark Kalkalpen, 1. Ordnungsabschnitt - Kompilierung: Lueger, 1992J.. Verein Nationalpark Kalkalpen, 20 Kartenblätter, Legende, Textteil.

- HASEKE H. (1993): Atlas der Geomorphologie 1 : 20.000 Nationalpark Kalkalpen - 1. Verordnungsabschnitt. J.. Verein Nationalpark Kalkalpen, 20 Kartenblätter, Legende, Textteil.
- HASEKE H., ANGERER S., BENISCHKE R., STADLER H., GLATZEL G. und KATZENSTEINER K. (1994): Projekt Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen. Projekt Nationalpark Kalkalpen, Jahresbericht 1603-03C/93, 41 S.
- TOPP G.C., DAVIS J.L. and AMANN A.P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. Water Resources Research 16, 574-582.

LISTE DER TEILBERICHTE

- BOGNER, M. & LEHNER, T. & MAHRINGER, G. (1995): Topoklimatologische Charakteristik der Testfläche der Pilotstudie Karbonatböden. 48. S., Tabellen. - Linz/Wien, Dezember 1995.
- HASEKE, H. (1995a): TP 1603-3.3.&11./95: Hydrologie und Markierungsversuch zur Pilotstudie Karbonatböden am Mieseck (Hintergebirge) im Nationalpark Kalkalpen. - Karstprogramm 1995, Teilprojekte Nr. 1603-3.3./95 und 1603-11./95. - 20 Seiten, Tabellen, 1 Kartenbeilage. - H. Haseke, August 1995.
- KATZENSTEINER, K. (1995): Pilotstudie Wasserhaushalt und -chemismus von Karbonatböden im Rahmen des Projektes KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. Einrichtung der Versuchsflächen (...) AZ: 1603-5.1./95. - 13 S., Abb., Grafiken, Tabellen, Karte. Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Oktober 1996.
- KATZENSTEINER, K. (1996a): Pilotstudie Karbonatböden, Abschluß und Auswertung. Im Rahmen des Projektes KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-05./95 und 1603-06/94. - 33 S., zahlr. Abb. und Grafiken. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1995.
- KATZENSTEINER, K., NEMESTHOTY, K. und OTTNER, F. (1996): Analyse karstrelevanter Boden- und Gesteinsproben von repräsentativen Standorten des Nationalpark Kalkalpen. Projekt KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-3.2. 32. S., Tabellen und Grafiken. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Oktober 1996.

Dr.DI Klaus KATZENSTEINER
DI Kasimir P. NEMESTHOTY
Universität für Bodenkultur, Institut für Waldökologie
Peter Jordan Straße 82
A-1190 Wien
katz@mail.boku.ac.at
nemestot@woek.BOKU.ac.at

DIE EINFLÜSSE VON VEGETATION UND BODEN AUF DEN WASSERHAUSHALT DES KARSTSYSTEMS

Teilprojekt AZ. 2.0.: Bestandesniederschlag und Interzeption

Teilprojekt AZ. 5.2.: Wasser- und Nährstoffhaushalt ausgewählter Waldstandorte

INFLUENCE OF VEGETATION AND SOIL ON SEEPAGE WATER OF KARST SYSTEMS

Participant Projects: 1603-2.0. and 5.2.

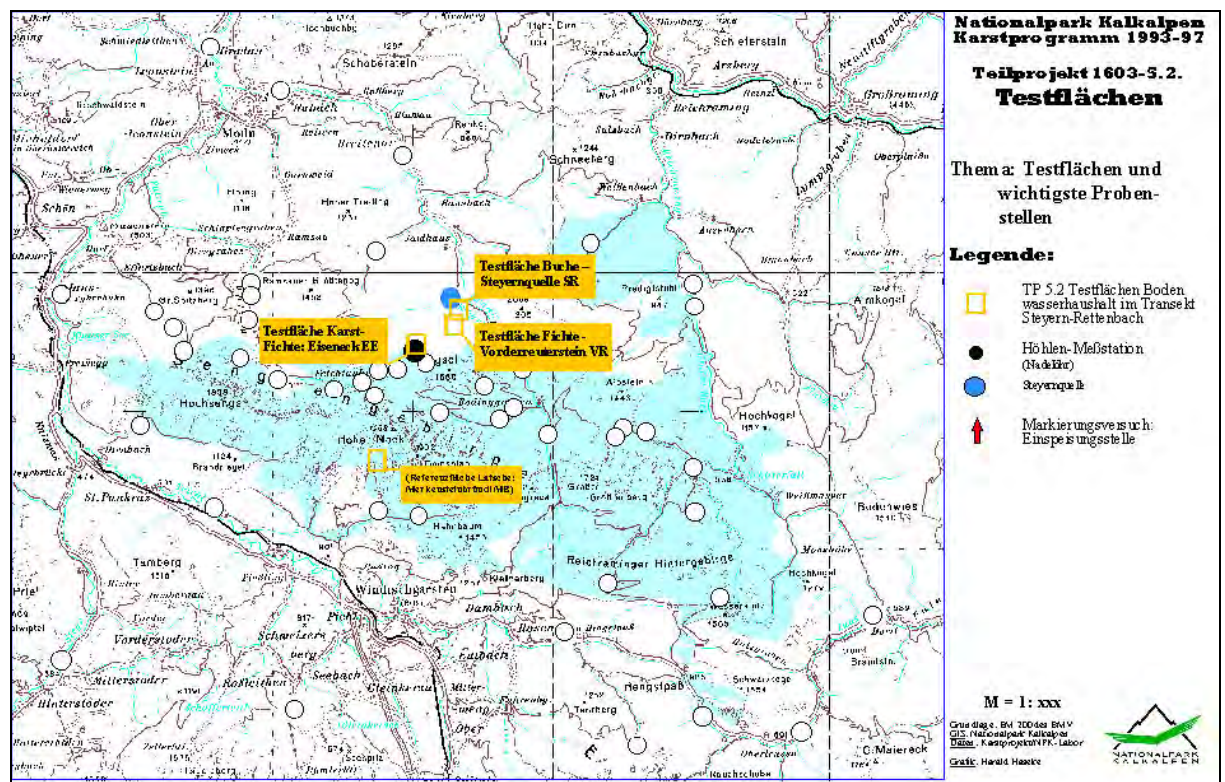


Fig.5.2-1: Lage der Testflächen

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Dieses Teilprojekt war der Nachfolger der „Pilotstudie Karbonatböden“ (AZ.5.1.) und widmete sich ab 1996 den Vollkarstflächen auf Opponitzer- und Hierlatzkalk der Reichraminger Decke. Entlang eines Seehöhentransektes, das die nördlichen Ausläufer des zentralen Sengsengebirges erfaßte, wurden drei Versuchsflächen ausgewählt. Sie sind für unterschiedliche Standortverhältnisse in Karsteinzugsgebieten typisch: ein Buchenbestand und ein Fichtenbestand auf karbonatischen Hangkolluvien in der mittelmontanen Stufe und drei Entwicklungsphasen eines Karst-Fichtenwaldsystems an der Grenze der hochmontanen zur tiefsubalpinen Höhenstufe. Zusätzlich wurde eine *subalpine Pinus mugo* (Latschen-)fläche beim Merkensteinbründl (1600m) betreut. Am Krummholz-Plot wurden aber keine Bodenwasser-Samples genommen; Niederschlag and Eintrag wurden nur während der Meßkampagnen der anderen Teilprojekte abgenommen. Aufgrund der extensiven Beprobungen sind die Daten hier nicht ausgewertet.

Die Probeflächen wurden nur über die Vegetationsperioden Juni-Oktober 1996 und Mai-Oktober 1997 in wöchentlichem Abstand betreut (1996 von Christian Fuxjäger, 1997 hauptsächlich von Andreas Rußmann). Im Winter macht die meterhohe Schneedecke und der mehrstündige Zustieg eine Beprobung illusorisch. Die Karst-Fichtenfläche Eiseneck wurde auch 1998 mit reduziertem Aufwand weiter betrieben.

Der Karst-Fichtenwald-Standort ist ein ‚typischer‘ Karststandort, auf dem ein reiner Humuskarbonatboden ohne meßbare silikatische Komponente entwickelt ist. Da drei Bestandesentwicklungsphasen, vom unmittelbar vor Versuchsanlage durchgeführten Kahlschlag über eine Kulturphase bis zum Altbestand direkt nebeneinander, auf vergleichbarem Standort untersucht werden konnten, lassen sich weitreichende Aussagen über Wasser- und Nährstoffdynamik von Wäldern ableiten. Auch bei diesem Versuchsdesign wurde wieder danach getrachtet, neben den herkömmlichen Lysimetern eine Meßstelle im „Subsurface flow“ zu beproben. Eine sehr brauchbare Position wurde mit dem 12 Meter tiefen „Nadelöhr“-Schacht direkt unter der Fichtenfläche (Altbestand) gefunden.

Plot	Site parameters	Stand parameters
Beech SR Buchen-fläche Steyern- quelle	elevation: 689 m asl. aspect: N, slope: 55 [%] bedrock: limestone (Opponitzerkalk) soil: mosaic of chromic Cambisol and rendzic Leptosol; depth: 35 to 70 cm, coarse fragments: 20 to 50 %	even aged beech stand, crown cover 95 %, leaf area index (LAI) 4.74, stem area 31.1 m ² .ha ⁻¹ height of dominant trees 33.5 m growing stock 492 m ³ .ha ⁻¹

	humus form: Eumull	
Spruce VR Fichten- fläche Vorder- reuter- stein	elevation: 940 m asl. aspect: NW, slope: 32 [%] bedrock: limestone (Opponitzerkalk) with embedded sandstone and marl (Lunzer series) soil: mosaic of chromic Cambisol and Pelosol, partly lateral interflow; depth: 40 to 95 cm, coarse fragments 10 to 15 % humus form: Oligomull to mull like Moder	even aged secondary Norway spruce stand, intermixed European larch, leaf area index 3.14, stem area 62.4 m ² .ha ⁻¹ , height of dominant trees 31.3 m, growing stock: 791 m ³ . ha ⁻¹
Spruce EE Fichten- fläche Eiseneck	elevation: 1300 m asl. aspect: SE, slope: 15 to 30 (50) [%] structured relief with karren, boulders and sinkholes bedrock: limestone (Hierlatzkalk) soil: 1 to 50 cm Moderhumus ('Alpenmoderrendzina'); 40 % bare rock	uneven aged Norway spruce with single beech; scattering of trees; nutrient cycling plot: LAI 5.2, stem area 48 m ² .ha ⁻¹ , height of dominant trees: 26 m, growing stock: 529 m ³ . ha ⁻¹
Regeneration EE Kultur Eiseneck		cultivation of spruce and larch; scattering of trees, maximum height 5 m, dense ground cover vegetation; LAI 1.5
Clearcut (spring 1996) EE Schlag- fläche Eiseneck		ground cover vegetation 1996 less than 10 %, 1997: 30 %
Krummholz MB Latschen- fläche Merken- stein- bründl	elevation: 1600 m asl. aspect: N (uvala/doline, mainly: S), slope: 40 [%] very structured relief with dolines, karren, pits bedrock: limestone (Wettersteinkalk) soil: 1 to 20 cm Moderhumus ('Tangelhumusrendzina'); 60% bare rock	<i>Pinus mugo</i> , intermixed European larch

Tabelle 052-1: Standorttypisierung der Versuchsfächen des Karstprogrammes im Transekt Steyern – Eiseneck/Feichtau.

Die Untersuchungen gliedern sich in eine Inventur der gegenwärtigen Ökosystemzustände (chemische und physikalische Bodeneigenschaften, Vegetationsbedeckung) einerseits und in prozeßorientierte Studien (Wasserumsatz und Nährstoffhaushalt) andererseits.

Geologie, Hydrologie, Geomorphologie

(vgl. HASEKE 1993c)

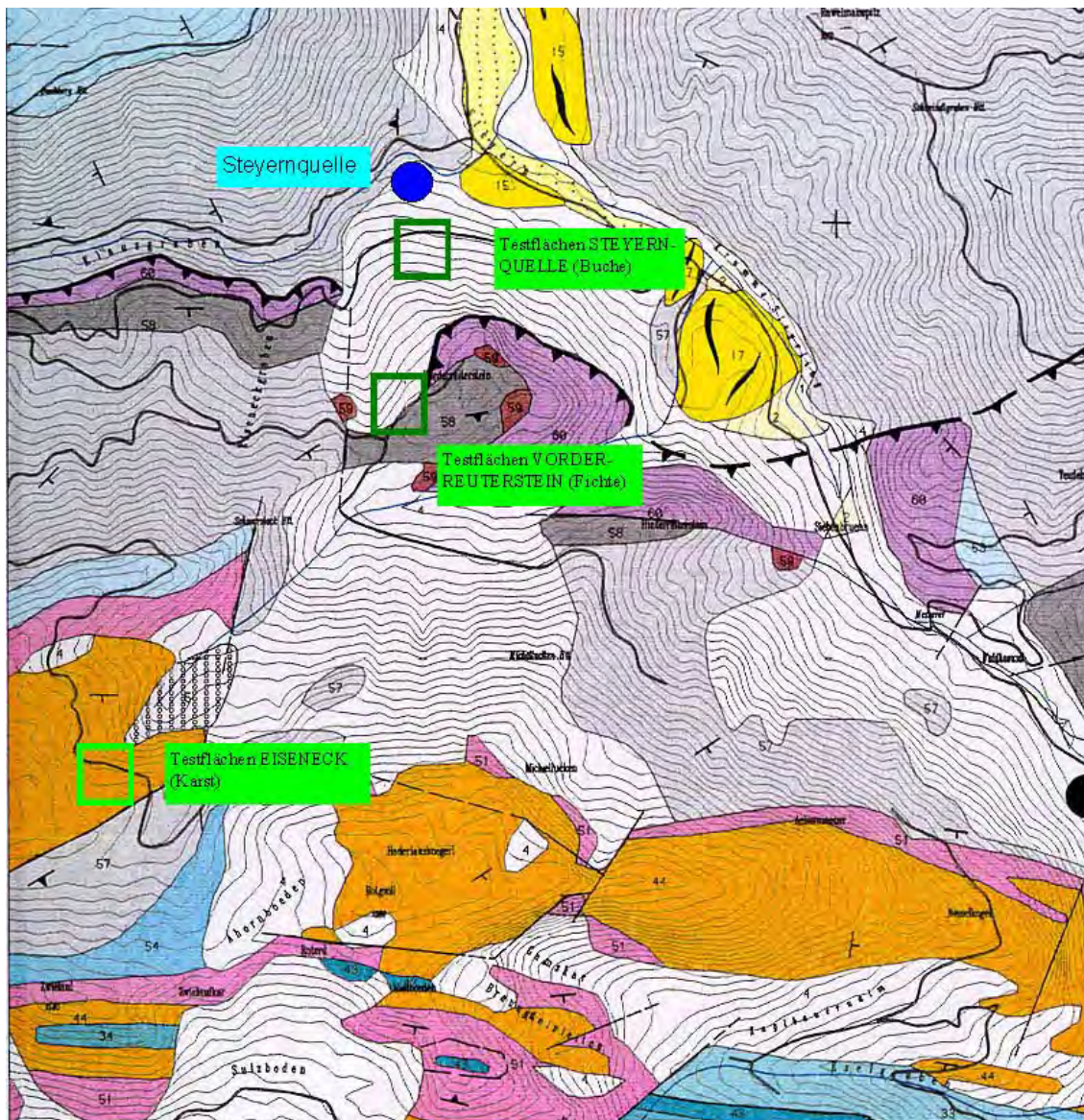


Fig. 5.2-2: Geologie der Testflächen. Die Flächen liegen am Nordrand des intensiv verschuppten Faltenzuges der „Ebenforstsynklinale“. Ein Leitgestein ist der Hierlatzkalk (orange), der Hauptdolomit erscheint grau gefärbt. Die mächtigen weiß dargestellten Schutt- oder Alluvialflächen sind ein Unsinn, sie existieren so nicht. Am rechten Bildrand ist ein schwarzer Halbkreis zu erkennen: hier lag die ÖMV-Bohrung Molln-Breitenau mit fast 6000 Meter Tiefgang. Aus: Atlas der Geologie, Blatt 5330-101.

Die Wettersteinkalk-Antiklinale des Sengsengebirges erreicht am Hohen Nock (1970m) ihre größte Mächtigkeit. Das voll verkarstete Gebirgsmassiv entwässert hauptsächlich nach Süden zu den Quellen des Hinteren Rettenbaches. Am Merkensteinbründl, der höchst gelegenen Probefläche, bestätigte ein Markierungsversuch 1997 (AZ. 11) diese Annahme.

Hydrogeologisch wie auch geomorphologisch eigenständig ist das nördlich angrenzende voralpine Gebiet um Eiseneck und Feichtau. Es zählt zur Reichraminger Hauptdolomitfazies, die durch ost-west-vergente Schuppen- und Faltenzüge untergliedert ist. Die darin eingelagerten jurassisch-kretazischen Gesteine sind z.T. sehr gut verkarstungsfähig. Innerhalb dieser Serien der „Ebenforstsynklinale“, die sich über die Feichtaualm fortsetzt, liegen die besprochenen Probeflächen. Die Hauptquelle dieser Zone ist die Steyernquelle, die aus lebhaft strukturierten, höhlenreichen Halb- und Vollkarstgebieten mit Stautümpeln und Ponoren genährt wird. Daneben kommen aber auch kleinere Quellhorizonte vor, sodaß die Drainage der oberen Testflächen zur Steyernquelle nicht gesichert ist. Ein Markierungsversuch wurde hier bislang nicht unternommen.

Zwischen Steyern- und Rettenbachquelle wurde ein hydrologisches Transekt festgelegt, auf dem zu den Ereigniskampagnen (AZ. 7.2.) Quellen verschiedener Höhenlage beprobt wurden.

Beschreibung der Versuchsflächen

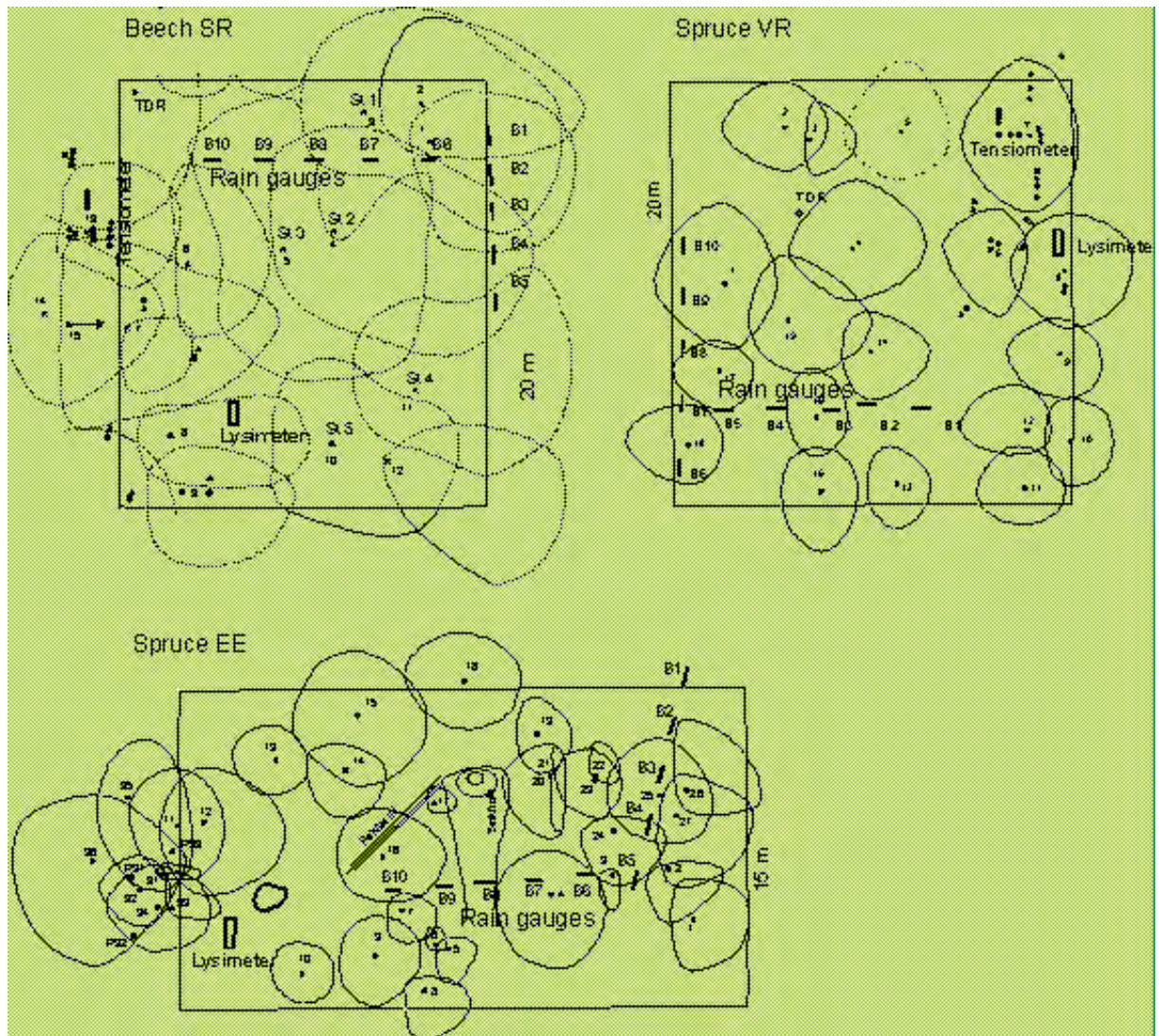


Fig. 5.2-3: Grundrißansicht der Bestände und Einbauten auf den Versuchsflächen Buche-Steyernquelle (Beech SR), Fichtenforst-Vorderreuterstein (Spruce VR) und Karstfichtenwald-Eiseneck (Spruce EE)..

Versuchsflächen Eiseneck

Lage: Rechtswert: 525.250, Hochwert 297.000 Seehöhe: 1300 m

Relief: Exposition: SE, Neigung im Schnitt: 15-30%; stark strukturiertes Mesorelief mit Rücken und Dolinen; stark verkarstet, zahlreiche Höhlen und Schächte

Substrat und Boden: Auf dem sehr reinen Hierlatzkalk (Lias-Crinoidenkalk) ist eine Alpenmoderrendzina unterschiedlicher Mächtigkeit ausgebildet. Der blanke Felsanteil an der Oberfläche beträgt bis zu 40%.

a. Eiseneck Schlag = Schlagfläche EE

Lage: Rechtswert: 525.250, Hochwert 297.000 Seehöhe:1280 m

Relief: Exposition: E, Neigung 15%; strukturiertes Mesorelief mit Rücken und Dolinen; verkarstet

Substrat und Boden: Auf dem sehr reinen Hierlatzkalk (Lias-Crinoidenkalk) ist eine Alpenmoderrendzina unterschiedlicher Mächtigkeit ausgebildet. Der blanke Felsanteil an der Oberfläche beträgt bis zu 40%.

Vegetation: Die Schlagfläche im Ausmaß von ca. 0.5ha entstand unmittelbar vor Versuchsanlage durch die Aufarbeitung von Käferbäumen an der Grenze zu einer nördlich angrenzenden Kultur. Schlagabraum unregelmäßig verteilt, Vegetationsbedeckung weniger als 3%, LAI = 0. Die Sukzession kam erst 1997 langsam in Gang (*Urtica dioica*, *Rubus idaeus*), im Hochsommer 1997 betrug der Deckungsgrad der Schlagflora ca. 5%.

b. Eiseneck Schlagfläche = Kulturfläche EE

Lage: Rechtswert: 525.250, Hochwert 297.000 Seehöhe:1280-1300 m

Relief: Exposition: E, Neigung 25%; strukturiertes Mesorelief mit Rücken und Dolinen; stark verkarstet

Substrat und Boden: Durch die Umwandlung laufende Vermischung der gespeicherten Humusaufgabe, Trennung zwischen mineralischem und organischem Material ist erschwert. In Spalten des Grundgesteins wurden bei zwei Bodenproben Braunlehm vorgefunden. Die Gründigkeit schwankt auf diesem Standort wegen des hohen Skelettanteils zwischen 7 und 50 cm.

Vegetation: Die an die Schlagfläche nördlich angrenzende, etwas steilere Fläche wurde vor ungefähr 20 Jahren genutzt. Schütterer Fichten (60%)-Lärchenaufforstung mit Maximalhöhe von 4m. Deckungsgrad von Fichten und Lärchen auf Bodenniveau weniger als 25%, annähernd flächendeckende, üppige Schlagflora aus Gräsern (*Calamagrostis varia*, *Luzula sylvatica*), Kräutern und vor allem Sträuchern (*Rubus* sp.) t. *Rubus*, *Sambucus* und *Urtica* zeigen eine hohe Stickstoffverfügbarkeit, vermutlich durch die Umwandlung des Auflagehumus. LAI auf Bodenniveau = 1.5, in 1m Höhe = 0,07.

c. Eiseneck Karst-Fichten-Bestand = Fichtenfläche EE

Lage: Rechtswert: 525.250, Hochwert 297.000 Seehöhe: 1320 m

Relief: Exposition: SE, Neigung 50%; Ausgeprägte Karstformen wie Karren, Karstgassen, Dolinen und Schächte. Der 12 m tiefe meist wasserführende 'Nadelöherschacht' liegt direkt unter der Fläche

Substrat und Boden: Alpenmoderrendzinen, in der Regel kein Mineralboden vorhanden. Nur auf wenigen, von der Oberflächenform und der Bestockung begünstigten, Stellen treten seichtgründige Mineralbodenhorizonte auf. Bei einer Bodenprobe wurde im spaltengründigen und skelettreichen Untergrund Braunlehm vorgefunden.

Vegetation: Adenostylo glabrae Piceetum (Subalpiner Karbonat-Alpendost-Fichtenwald);

Typischer Fichtenwald an der Grenze von der hochmontanen zur subalpinen Höhenstufe, ausgeprägte Durchmesserspreitung. Ausgeprägte Rottenstruktur, welche auf das stark gegliederte Kleinrelief zurückzuführen ist. Einzelne eingesprengte Buchen erreichen nicht mehr die herrschende Baumschicht, die Oberhöhe der Fichte beträgt 26m. Der Bestand ist ungleichaltrig, einzelne gebohrte Fichten sind mehr als 120 bis 150 Jahre alt. Die Grundfläche beträgt 48 m² je ha, der Vorrat 529m³*ha⁻¹. Der LAI beträgt nach Hochrechnung über allometrische Funktionen 5.2. Diese Werte gelten allerdings nur für den engen Bereich der Versuchsfläche. Da größere Dolinen und Karstgassen baumfrei sind, beträgt die Überschirmung des Gesamtbestandes nur ca 40%. Der Deckungsgrad der Bodenvegetation ist mit rund 20% gering, die Vegetation artenreich, Säurezeiger (i. e. Vaccinium myrtillus) kommen neben Kalkschuttzeigern und Trockenzeigern vor.

Versuchsfläche Nadelforst Vorderreuterstein = Fichtenfläche VR

Lage: Rechtswert: 526.500, Hochwert 298.300, Seehöhe: 940m

Relief: Exposition: NW, Neigung 32%; schwach konkave Sackungszone im Mittelhangbereich

Substrat und Boden: Im Übergangsbereich zwischen Lunzer Schichten und Wettersteinkalk sind 50 bis 100cm mächtige Hangkolluvien ausgebildet. Ein Teil dieser Fläche befindet sie sich auf einem alten, aber noch gut erkennbaren Rutschkörper. Im oberen Teil der Fläche treten erdfallartige Hohlformen auf.

Durch die eingelagerte Mergelschicht auf Teilen der Versuchsfläche große Heterogenität der Bodentypen. Es treten alle Übergangsformen vom typischen, gut

durchwurzelt Braunlehm, mit deutlicher Polyederstruktur, bis zum ausgeprägten Hangpseudogley mit fahler Stauzone und marmoriertem Staukörper auf. Die Gründigkeit schwankt in einem weiten Bereich von 40 bis zu 95cm, der Skelettanteil ist mit 10 % bis 15% gering.

Vegetation: Asperulo odorate Abieti Fagetum (Waldmeister-Fichten-Tannen-Buchenwald) mit *Galium odoratum*, *Sanicula europaea* und anderen anspruchsvollen Arten. Der homogene, mit 95 Jahren gleichaltrige Fichtenbestand mit eingesprengten Lärchen und Buchen hat nach einer nur wenige Jahre zurückliegenden Durchforstung einen Überschirmungsgrad von ca. 70%. Die Oberhöhe beträgt 31.3m, die Grundfläche 62.4m². Der Vorrat ist mit 791vfmD relativ hoch. Der LAI beträgt 3.1. Die Deckung der Bodenvegetation ist bei 14 Arten mit 3% gering.

Versuchsfläche Steyrnquelle = Buchenfläche SR

Lage: Rechtswert: 526.700, Hochwert 298.600 Seehöhe: 680-690m

Relief: Exposition: N, Neigung 55%; schwach ausgeprägte Hangmulde im Übergangsbereich zwischen Mittel- und Unterhang

Substrat und Boden: Opponitzerkalk, nahe der Schichtgrenze zum Hauptdolomit. Die Großquelle beim Forsthaus Steyrn entspringt unterhalb des Standortes auf 545 Meter Seehöhe. Auf diesem talnahen Standort sind bis zu 1m mächtige Hangkolluvien ausgeprägt. Der Braunlehmeinfluß ist deutlich ausgeprägt. Im Grobskelett konnten wechselnde Anteile von Kalk und Dolomit, und teilweise sogar Lunzer Sandstein festgestellt werden. Die innige Durchmischung von kalkigem und silikatischem Material bedingt ausgezeichnete Bedingungen für hohe biogene Aktivität, weshalb Braunlehmrendzinen mit mächtigen Ah-Horizonten entwickelt sind.

Der Boden wurde anhand von 3 Profilgruben und 3 Bohrkernen näher untersucht. Die Gründigkeit schwankt zwischen 35 und 70 cm, der Skelettanteil zwischen 20 und 50%, wobei im Übergangsbereich B_{vrel}/C Werte bis zu 85% geschätzt wurden. Die außerordentlich hohen Kationenaustauschkapazitäten deuten auf einen hohen Anteil an austauschbaren Tonmineralen. Der Austauscherkomplex wird von Ca und Mg dominiert.

Die hochgerechneten Nährstoffvorräte sind mit mehr als 10 t .ha⁻¹ N für Waldböden extrem hoch. Gemeinsam mit der günstigen Wasserversorgung bedingt dies, daß der Standort zu den wohl wüchsigsten des Nationalparkgebietes zählt. Die Pufferkapazität dieser Böden ist ebenfalls enorm.

Vegetation: Asperulo odorate Fagetum (Waldmeister-Buchenwald), geschlossener einschichtiger Buchenhallenbestand mit eingesprengten Eschen, Bergahorn und Ulmen. Die Deckung der Baumschicht beträgt 95%, jene der Bodenvegetation weniger

als 1%. Die Oberhöhe erreicht 33.5m (höchste Buche innerhalb der Versuchsfläche: 38.3 m), die Grundfläche 31.1m². Der Holzvorrat beträgt 492vfmD.

Versuchsfläche Merkensteinbründl = Latschenfläche MB

Lage: Rechtswert: 524.000, Hochwert 293.500 Seehöhe: 1600m

Relief: Exposition: N, Neigung 40-50%; Nordgeneigter Dolinenhang in großem Uvala („Knödelböden“) in der Nock-Südflanke

Substrat und Boden: Wettersteinkalk. Sehr lückige Latschenhumusböden mit großen freien Fels- und Schuttf Flächen.

Vegetation: Mugetum (Krummholzbestände), lockerer Verband mit zahllosen Auflichtungen. Karstgassen, Dolinensenken und exponierte Kuppen meist frei.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Niederschlags- und Interzeptionsmessungen

Von Juli bis Oktober 1996 und von Juni bis Oktober 1997 wurden wöchentliche Probenahmen durchgeführt und die Werte flächenbezogen hochgerechnet. Als klimatische Steuerparameter konnten Meßreihen von nahe gelegenen Klimastationen herangezogen werden.

Die Freilandniederschlagsmenge auf der Buchenfläche SR war in den Monaten von Juli bis Oktober mit 947 mm (1996) bzw. 907 mm (1997) jeweils mehr als 50% höher als der langjährige Durchschnitt von 602 mm. Die Niederschlagssummen nahmen im Meßzeitraum (5 Monate) mit der Seehöhe durchschnittlich um 23 mm/100 m zu.

Der Stammabfluß auf der Buchenfläche SR betrug 1996 9,4 % und 1997 9,8 % des Freilandniederschlags. Im Vergleich zu den Literaturdaten ist das ein geringer Anteil. Dies dürfte auf die hohen Niederschlagsmengen bzw. -intensitäten und die weit ausladenden und eher hangabwärts orientierten Kronen zurückzuführen sein. Der Anteil des Stammabflusses bei Koniferenbeständen ist nach Literaturangaben mit 0 bis 2% des Freilandniederschlags vernachlässigbar.

Die Interzeptionsverluste (Verdunstung) waren auf der Buchenfläche SR 1996 11,7 % (106 mm) bzw. 1997 17,7 % (195 mm). Auf der Fichtenfläche VR ergaben sich trotz der geringen Überschildung von 0,65 relativ hohe Werte von 28% (249 mm) und 29,8% (316 mm). Durch die Rottenstruktur der Fichtenfläche EE sind die ermittelten Interzeptionswerte für 1996 mit 23,5% (251 mm) und 1997 mit 29,5% (362 mm) geringer als in geschlossenen Beständen. Bei Miteinbeziehung der flächendeckenden Schlagvegetation wurden auf der Kulturfläche EE für 1996 11,4% (120 mm) und 1997 16,4% (201 mm) Interzeptionsverdunstung ermittelt.

Es besteht eine enge Beziehung Freilandniederschlag – Bestandsniederschlag. Mit linearen Regressionsgleichungen konnten probeflächenweise Bestimmtheitsmaße von $R^2 = 0,97$ bis $0,98$ erreicht werden.

Ein enger Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und räumlicher Verteilung des Kronendurchlasses war nur auf der Fichtenfläche EE festzustellen. In diesem Bestand ist daher die Streuung der Bestandesniederschlagsmenge sehr hoch. Die gewählte Anzahl von Niederschlagssammlern (10 Rinnen à $0,1 \text{ m}^2$ Auffangfläche) reicht daher nur, um den mittleren Kronendurchlaß mit einer Genauigkeit von 24% abzuschätzen. Durch die Rottenstruktur schwanken die Blattflächenindizes auf diesem Bestand am stärksten. Auf den übrigen Flächen variiert der Blattflächenindex in einem engen Rahmen und es überwiegt der Einfluß der stand-örtlichen Kronenarchitektur. In diesen Flächen war die Sammleranzahl für eine Bestimmung des Kronendurchlasses mit einer Genauigkeit unter 10% ausreichend.

Als Klimaparameter, welche die Interzeption entscheidend beeinflussen, konnten die Niederschlagsintensität und die mittlere Windgeschwindigkeit während des Niederschlages ermittelt werden. Auf der Fichtenfläche EE ist dadurch 61% der Variabilität der Interzeption erklärbar.

Die unter Verwendung von Keramiksaugplattenlysimetern ermittelten Streuinterzeptionswerte zeigten hohe Varianzen innerhalb der Probeflächen, aber auch zwischen den einzelnen Probenahmeturnussen. Die Anzahl der Wiederholungen (5 Lysimeter je Fläche) reichte nur, um mögliche Trends festzustellen. So ergaben sich auf der Buchenfläche SR aufgrund der geringen Humusaufgabe niedrige Interzeptionswerte von 16% und auf der Fichtenfläche VR in beiden Jahren hohe Werte von über 40%. Dies bedeutet, daß geringe Niederschlagsmengen nicht ausreichen, um den Bodenwasserspeicher aufzufüllen.

Die Einzelergebnisse 1997 streuten auf der Fichtenfläche EE aufgrund des stark unterschiedlichen Kleinreliefs und der Humusmächtigkeit am Einbauort von -30 bis 90%. Ähnlich Werte ergaben sich auf der Schlagfläche EE. Durch die bereits begonnene Umwandlung der Feinmoderschichte ergaben sich auf der Kulturfläche EE niedrigere Streuinterzeptionen von durchschnittlich 13 %.

Auf der Fichtenfläche EE und der Schlagfläche EE stellt die Auflage den einzigen durchwurzelbaren Bodenraum dar. Das bedeutet, daß hier der Niederschlagsrückhalt in der Auflage die Wasserversorgung des Bestandes sicherstellt.

Die Tabelle zeigt die Resultate der Wasserbilanzrechnungen für die Vegetationsperioden 1996 und 1997. Wegen Startschwierigkeiten mit dem Geräte-Equipment begannen die Messungen 1996 mit einem Monat Verzögerung.

Site	period	Precip.	Through-fall	Stem-flow	Intercepted rain evaporation	Transpiration (model)	Soil evap. (model)	Seepage (model)
Beech SR	1996	910	718	86	106 (12 %)			
	1997	1101	798	108	195 (18 %)			
Spruce VR	1996	889	640		249 (28 %)			
	1997	1061	745		316 (30 %)			
Spruce EE	1996	1052	801		251 (24 %)	70 (7%)	20 (2%)	710 (67 %)
	1997	1227	865		362 (30 %)	120 (10%)	25 (2 %)	720 (59 %)
Regeneration EE	1996	1052	932		120 (11 %)	40 (4 %)	40 (4 %)	850 (81 %)
	1997	1227	1026		201 (16 %)	78 (6 %)	78 (6 %)	890 (73 %)
clearcut EE	1996	1052			~ 0	~ 0	100 (10 %)	950 (90 %)
	1997	1227			~ 35 (3%)	~ 35(3 %)	210 (17 %)	935 (76 %)

Tabelle 052-2: Wasserhaushalt der Versuchsflächen vom 4. 7. - 25. 10. 1996 und 20. 5. - 14. 10. 1997 (Angaben in [mm]).

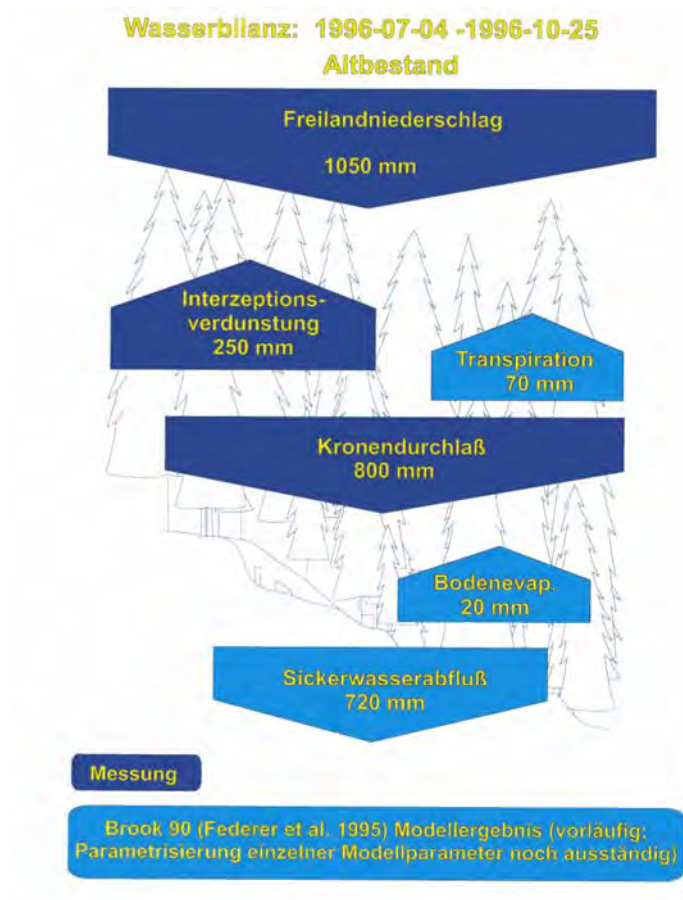


Fig. 5.2-4: Wasserhaushalt der Versuchsfläche Fichte Eiseneck vom 4. 7. - 25. 10. 1996

Die Messungen bezeugen die im Meßzeitraum enormen Niederschläge im Nordstau der Kalkalpen. Die hohen Interzeptionsraten der Fichtenflächen sind, verglichen mit Buchenstandorten, offensichtlich. Aber auch eine dichte bodendeckende Krautschicht auf Schlagflächen hat einen deutlichen Einfluß auf den Wasserhaushalt.

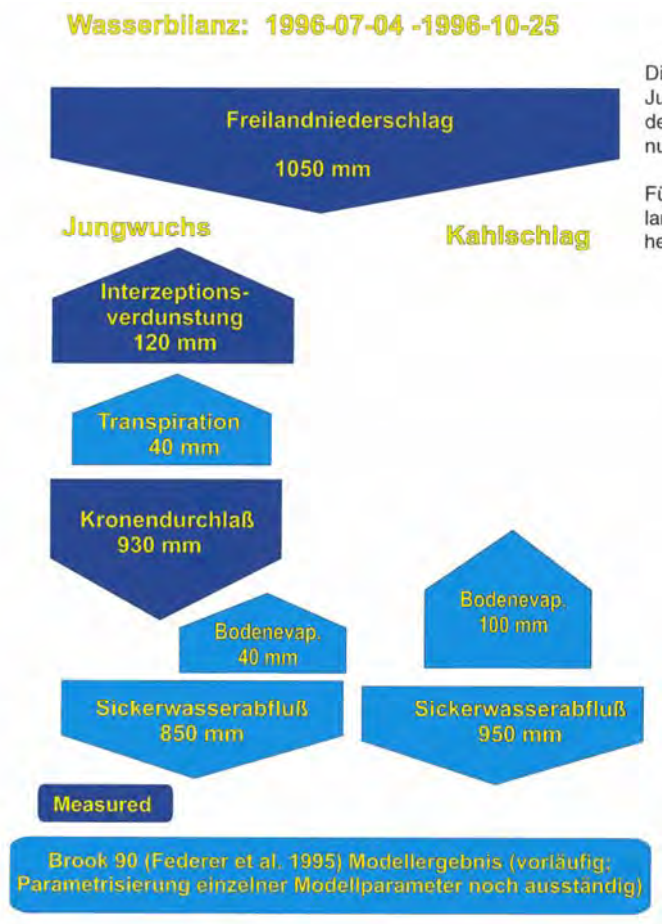


Fig5.2-5: Wasserhaushalt der Versuchsflächen Schlag und Kultur Eiseneck vom 4. 7. - 25. 10. 1996

Die mit dem Brook90-Modell errechneten Verdunstungsraten stimmen nur mäßig mit publizierten Werten für Fichtenbestände überein. Die niedrigen Meßwerte können aber durch Saftstrommessungen erhärtet werden. Starkregen während Gewittern, hohe Luftfeuchtigkeit und niedere Temperaturen in dieser Höhenlage mögen dafür verantwortlich sein. Wie auch immer, der Einfluß des Waldkleides auf den Wasserhaushalt ist, abhängig vom Sukzessionsstadium, noch immer sehr hoch.

Für die Modellrechnungen des Wasserhaushaltes und der Stoffströme hat auch die Verteilung des Bestandes-Niederschlags seine Bedeutung. Im Buchenbestand erreichen rund 10% des Niederschlagswassers den Boden als Stammabfluß, ein recht niedriger Wert im Vergleich zu Literaturdaten. Der Stammablauf bewirkt signifikante Uneinheitlichkeiten im Eintrag von Wasser und Nährstoffen in den Wald. GLATZEL et al (1983) wiesen starke Unterschiede der Bodeneigenschaften im Umkreis von Buchenstämmen aufgrund der Befruchtung durch atmosphärische Einträge nach. Für Fichtenbestände ist dieser Wert allerdings belanglos.

Ein anderes Faktum, das berücksichtigt werden muß, ist die unterschiedliche Wasser-Inputrate abhängig von der Struktur der Baumbestände. Besonders augenfällig ist dieses "Clustering" in der karsttypischen Rottenstruktur der Fichtenbestände am Eiseneck (EE).

Mit Variabilitäts-Koeffizienten kann man die erstrebenswerte Anzahl von Regensammlern errechnen, um den mittleren Bestandesniederschlag mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ ($p=0.05$) auf wöchentlicher Basis erfassen zu können. Ein schwaches Regenereignis hat eine sehr hohe Variabilität im Niederschlag reifer Bestände. In regenerierenden Schlagflächen (Jungwald EE) bleibt diese Varianz schon bei niederen Werten stabil. In Buchen- und sekundären Fichtenflächen sinkt die Varianz des Bestandesniederschlages mit steigendem Eintrag auf Werte, mit denen die ausgewählte Zahl von Samplern zur Erfassung befriedigender Mittelwerte führt. Nur am heterogenen Fichten-Karststandort bleibt die Varianz hoch. Das hat zwei Konsequenzen:

1. Eine unrealistisch hohe Anzahl von Regensammlern (bis über 80!) wäre nötig, um eine gute Einschätzung der durchschnittlichen Niederschlagsverteilung im Bestand zu bekommen;
2. Das Einfiltrieren des Regens in den bewaldeten Karstuntergrund ist eine extrem uneinheitliche Angelegenheit.

Somit bestätigt sich auch für Waldbestände, was im freien Relief der Karsthochflächen schon seit den Dachstein-Projekten der 50er Jahre bekannt ist.

Nährstoffhaushalt

Chemische Zusammensetzung einiger Kompartimente der Wasserbilanz auf verschiedenen Flächen:

Die chemische Zusammensetzung des Niederschlages ist auf allen Flächen ziemlich ähnlich. Ein leicht erhöhter pH-Wert in den Regensammlern an den Testflächen Eiseneck EE und Steyern SR könnte durch Staubeinträge von den nahen Forststraßen mitverursacht sein.

Im Buchenbestand SR steigen die pH-Werte von 6 auf 8 und die Elementkonzentrationen stetig an, wenn der Regen das Kronendach, den Humus und den Unterboden passiert. Ein markanter Anstieg passiert bei HCO_3^- in 50 cm Bodentiefe ($>3 \text{ mg/l}$). In 50cm Bodentiefe hat das Porenwasser höhere Leitfähigkeitswerte als das Karstwasser der nahen Großquelle STEY. Die Unterschiede zum Stammablauf sind nur klein.

Im Fichtenforst VR sinkt der pH-Wert mit der Passage der Baumkronen und der Humusdecke bis auf pH <5 ab. Auch in 50cm Tiefe sind die Werte für pH, Leitfähigkeit und Ionen im Vergleich zum Buchenbestand noch ziemlich niedrig. Die unterschiedlichen Bodentypen werden dafür ebenso verantwortlich sein wie der versauernde Effekt der Fichte (i.e. Nilsson et al., 1992). Unter dem Alpenmoder-Fichtenboden der Karstflächen sind ähnliche Effekte erkennbar.

Die weitaus deutlichsten Veränderungen des Wassers können an den Karststandorten des Eisenecks EE beobachtet werden. Die Konzentrationen an Nitrat und Ca^{2+} steigern sich in der Bestandespassage. Das Sickerwasser unter dem Alpenmoder-Humusboden zeigt einen stetigen Ca^{2+} Anstieg, während die NO_3^- Konzentrationen auf 10% fallen. Das zwischen den Bäumen abtraufende Wasser gewinnt im Kontakt mit blankem Fels einen steilen Zuwachs an Mineralisierung (Leitfähigkeit und Ca^{2+}) und der pH geht sofort über 7, obwohl die Kontaktzeit sehr kurz ist. Bereits in der ungesättigten Eindringungszone des Schachtes, in der "Subsurface" mit kaum mehr als 6 bis 10 Meter weitklüftiger Felspassage, zeigt das wie in einen Brunnen hinabplätschernde Wasser eine ganz ähnliche Zusammensetzung wie das Quellwasser am Bergfuß.

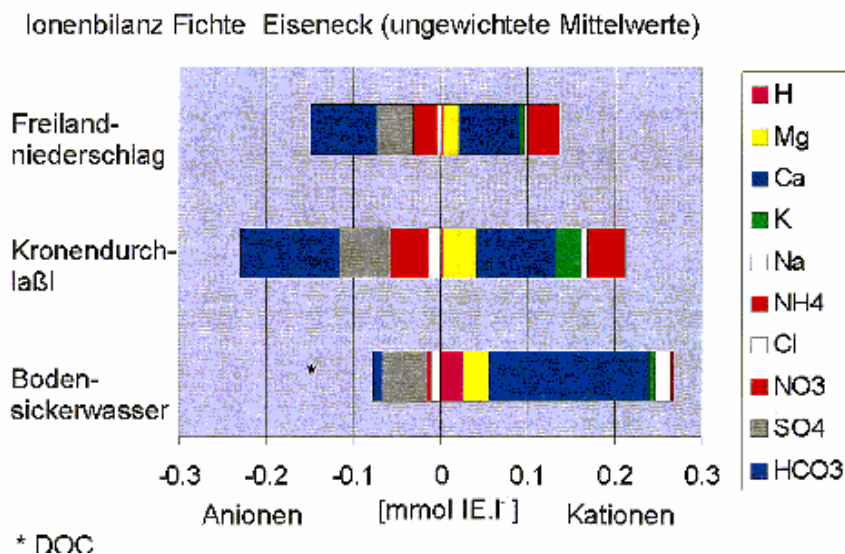


Fig.5.2-6: Ionenbilanzen im Bodensickerwasser-System

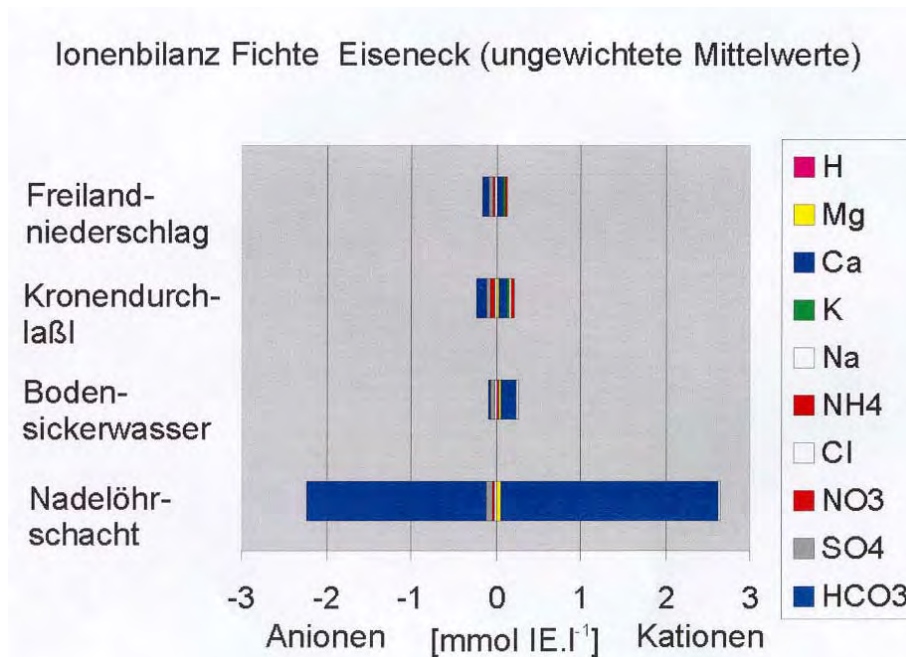


Fig. 5.2-7: Ionenbilanzen im Boden-Subsurface-System

Während der Altbestand und der Jungwald (Kulturfläche) den Stickstoff effizient ans System binden, wird Nitrat während des Kahlschlagstadiums mobilisiert.

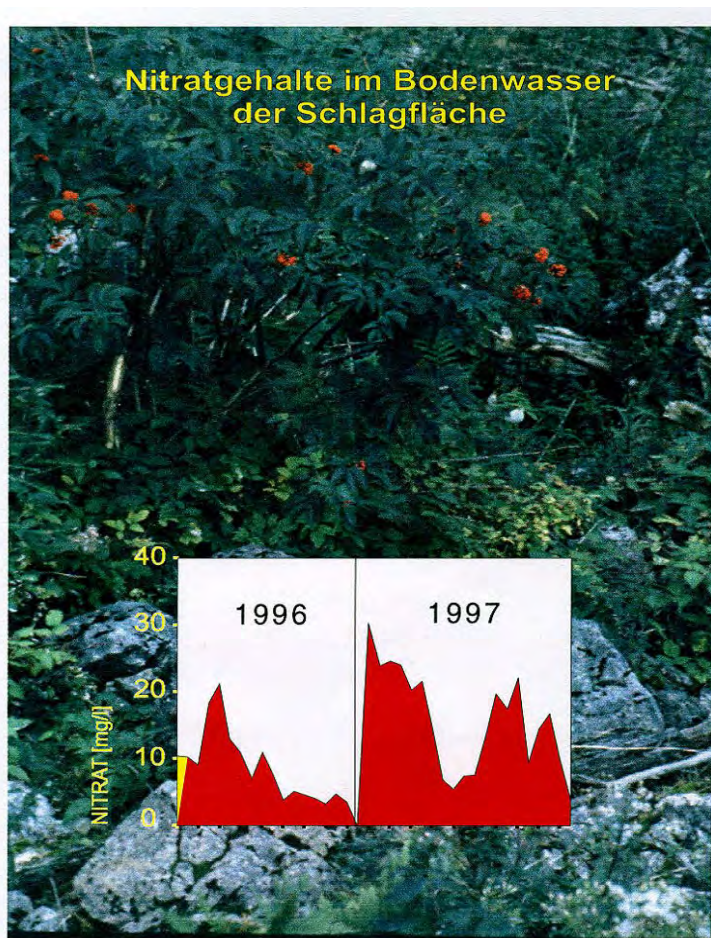


Fig. 5.2-8: Nitratkonzentration im Sickerwasser (wöchentliche Sammlung während der Vegetationsperiode).

Das Auf und Ab ist mit Lösungseffekten während schwerer Regenfälle vereinbar. Im Sommer 1997 ist auch schon eine Nitrataufnahme durch die aufkommende Schlagflora möglich. Nichtsdestotrotz steigern sich die Nitratverluste auf den Schlagflächen von $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in der Vegetationsperiode 1996 auf $27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in der Vegetationsperiode 1997. Da die gegenwärtigen Nitrat-Inputraten ziemlich hoch sind ($6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in der Vegetationsperiode 1996 und $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in der Vegetationsperiode 1997) ist dieses Problem nicht gravierend, solange keine großflächigen Bestandesschäden auftreten.

Für die Zukunft ist die Frage der Veränderung von Nährstoffzyklen in Waldökosystemen aufgrund steigender Stickstoffeinträge eine bedeutende Sache. Von den Projekten EXMAN und NITREX ist eine breite Datenbasis über diese Einflüsse vorhanden (Wright and Rasmussen, 1998). Resultate von den alpinen Testplots dieser Projekte (Alptal, Switzerland, Böden: umbric Gleysols auf Flysch; (Schleppi et al., 1998)) können allerdings kaum auf kalkalpine Wälder mit ihren gänzlich anderen Bodenverhältnissen übertragen werden. Die Frage, wie Humuskarbonatböden ohne

mineralische Komponenten auf Dauer auf die gegenwärtige Immissionssituation reagieren werden, ist noch immer ungelöst. Eine erhöhte Biomasseproduktion aufgrund der Stickstoffdüngung könnte verstärkter Humusmineralisierung entgegenwirken. Die kritische Löslichkeit von Kalium und Phosphor würde solche Ökosysteme destabilisieren.

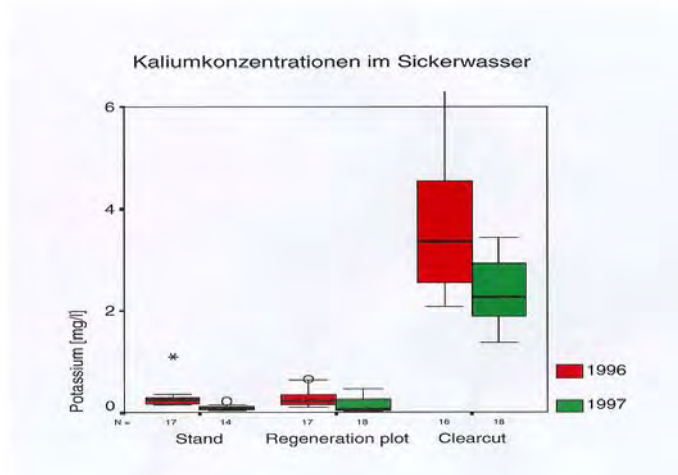


Fig. 5.2-9: Kaliumkonzentration im Sickerwasser

Zusätzlich könnte die erhöhte Freisetzung von seltenen Elementen wie Kalium und Spurenelementen nach Störungen ein Problem für die Wüchsigkeit des Standortes werden.

Wie oben dargelegt wurde, ist der Wasserdurchlauf in den wechselhaften Beständen typischer Karststandorte sehr ungleich verteilt, was zu Unsicherheiten in der Einschätzung des Nährstoffhaushaltes führt. Für die Berechnung der Nährstoffbilanz ist die Kenntnis der Bodensickerwasserwege, i.e. die Information über den Anteil des in Humus und Unterboden absickernden und des direkt über freie Felsflächen abströmenden Wassers notwendig. Will man eine statistische Verteilung der Abflußraten am unruhigen Karststandort versuchen, so wird bald offenbar, daß die Frage ob Wasser gleich in den Humus einsickert oder zunächst in Kontakt mit freiem Fels kam, von Faktoren wie Mikrorelief und Klüftigkeit des Gesteines abhängt.

In der folgenden Tabelle sind Nährstoffströme auf zweierlei Weise berechnet: Im Szenario A ist angenommen, daß aller Niederschlag in Interaktion mit dem Humus tritt, in Szenario B wurde ein „Quick flow“ von 60%, der ohne Humuskontakt ins Karstsystem einfiltriert, eingerechnet.

	K [kg.ha ⁻¹]	Ca [kg.ha ⁻¹]	Mg [kg.ha ⁻¹]	NH ₄ -N [kg.ha ⁻¹]	NO ₃ -N [kg.ha ⁻¹]	SO ₄ -S [kg.ha ⁻¹]
Precipitation	1.4	8.7	2.0	3.5	3.9	7.6
Throughfall	7.1	10.9	3.0	1.7	2.9	8.7
Seepage output A	2.01	28.2	2.5	0.25	0.93	8.5
Seepage output B	4.01	16.1	2.1	0.81	1.71	7.5

Tabelle 052-3: Nährstoffströme in der Fichtenfläche EE während der Vegetationsperiode 1996. Zwei Modelle: A: Der gesamte Niederschlag interagiert mit dem Humus; B: Ein Teil des Niederschlags rinnt ohne Humuskontakt ab.

Während Elemente wie Schwefel oder Magnesium für eine korrekte Modellrechnung weniger Konsequenzen haben, ist im Falle von Kalium oder Stickstoff ein sehr starker Einfluß der beiden Modellannahmen merkbar: Die Differenzen betragen 100 Prozent!

ZUSAMMENFASSUNG

Für Modellrechnungen am Wasserregime von Karst-Einzugsgebieten ist eine wirklich detaillierte Kenntnis der Vegetationsbedeckung nötig. Die Wasserbilanz von Wäldern auf mageren Rendzinen in höheren Lagen kann nur mit sehr hohem Aufwand beurteilt werden. Die Einschätzung des Nährstoffhaushaltes ist eher noch komplexer. Andererseits reagieren diese Ökosysteme sehr sensibel auf Störungen. Daher ist eine breitere Datenbasis und die Überprüfung der Modelle für Wasser- und Nährstoffhaushalt für ein sauberes „Monitoring“ notwendig. Grenzwertkonzepte für Stickstoff sollten auf die spezielle Situation von Humuskarbonatböden in den Kalkalpen angepaßt werden.

PROJEKTAUSFÜHRUNG, METHODIK

Probenflächen - Aufnahme

Die Probenflächen wurden mit einem Theodolith eingemessen und Flächen von 20x20m ausgesteckt. Auf diesen ungefähr 400m² großen Flächen wurden folgende Vorarbeiten durchgeführt:

- Ertrags- und vegetationskundliche Vollaufnahme;
- Beschreibung nach modifizierten Kriterien der Naturrauminventur Nationalpark Kalkalpen (Eckmüller et al., 1994).
- Werbung von 15 Humusproben je Fläche, Bestimmung des Humustyps, weiterführende Labor-Analysen. Auf der Fichtenfläche VR und auf der Buchenfläche SR wurden anhand von 15 Stechzylinderproben die Bodentypen von drei Profilgruben untersucht.

Probennahme

Die Probennahme der Niederschläge, Kronendurchlässe, Sickerwässer und Stammabflüsse erfolgte über 2 Vegetationsperioden in wöchentlichen Abständen. Je nach Niederschlagsmenge und Anzahl der Probewerber wurden 1 oder 2 Tage dazu benötigt. 1996 wurden von Ende Juni bis Ende Oktober 18 Turnusse, 1997 von Ende Mai bis Ende Oktober 23 Probenahmen durchgeführt. Die Mengenregistrierung der einzelnen Kompartimente erfolgte geräteweise (jede Meßrinne, jeder Lysimeter bzw. jeder Stammabflußsammler). Es wurden aliquote Anteile zu Mischproben für weiterführende chemische Analysen vereinigt.

Datenbeschaffung (Eingangsgrößen) für das Programm

The following instrumental setup was installed for the data acquisition:

- automatic recording rain gauge (Bogner&Lehner OEG) (each plot)
- bulk-precipitation sampler in the open field close to each plot (weekly sampling)
- temperature and relative humidity in the open field (only valley bottom (SR) and spruce (EE))
- radiation: 10 km N from the sampling plots (Schoberstein)
- windspeed: 2 km W from spruce stand EE (Feichtau)
- 10 throughfall collectors (0.1 m² each) in each stand and in the regeneration plot (weekly sampling)
- 5 stemflow collectors in the beech stand
- 5 ceramic plate lysimeters underneath the humus layer in each plot (weekly sampling)
- 5 ceramic cup lysimeters at 50 cm depth in the beech SR and the spruce VR plot
- seepage water sampler in a karst-sinkhole in the spruce stand EE
- transpiration measurements of 2 trees (only 1997) in the spruce stand EE
- weekly chemical analyses of precipitation, throughfall, and seepage (conductance, pH-value, HCO₃⁻ (Gran titration), NH₄⁺ (Micro Kjeldahl), Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ (ion chromatography))

Tab. 052-4: Übersicht der Installationen und Datenquellen (KATZENSTEINER 1998)

Die Bestandestranspiration wurde mit dem Brook 90 model (Federer 1995) für den Karst-Fichtenbestand EE vorläufig modelliert. Für die anderen Flächen wurden die Modellparameter noch nicht ausreichend angepaßt. Nährstoffströme wurden als hochgerechnete Stoff-Frachten aus den Konzentrationen im Wasser ermittelt.

Aufgrund des engen Zusammenhanges zwischen Lichtinterzeption einer Vegetationsdecke und ihrem Blattflächenindex (LAI) kann dieser errechnet werden. Dazu mißt der Sensor des LICOR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer die Strahlungsintensität im Spektralbereich <490 nm. Bei der Festlegung der LAI Werte wurden Korrekturfaktoren, welche die Mittelhöhen der Nadelholzbestände berücksichtigen, angewendet (Moser et al. 1994).

Bodenanalytik

Parameter	Verfahren, Aufschluß bzw. Auszug	Norm	Auflagehumus	Eiseneck H-Schicht	Mineralboden (Feinboden)
pH-Wert	Wasser, 0.01 m CaCl ₂	ÖNORM L1083-89	*	*	*
CaCO ₃	Scheibler	ÖNORM L1084-89			*
C, S	Leco S/C 444	ÖNORM L1080-89	*	*	*
N	Halbmikrokjeldahl	ÖNORM	*	*	*

		L1082-89			
Säureextraktion	HNO ₃ /HClO ₄	ÖNORM L1085-89	*	*	*
Extrakt mit BaCl ₂ (bei carbonathaltigem Boden auf pH 8.2 gepuffert)	0.1 m BaCl ₂	ÖNORM L1086-89		*	*
Na, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe im Säureextrakt	ICP	DIN 19730	*	*	*
Na, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe im BaCl ₂ -Extrakt	ICP	DIN 19730		*	*

Tabelle 052-5: Angewandte Analyseverfahren.

Die Kationaustauschkapazität wurde über die Summen der Ionenäquivalente errechnet. Weitere Erläuterungen siehe Teilprojekte AZ. 3.2. (OTTNER) und AZ. 5.1. (KATZENSTEINER).

Niederschlagsmessungen und Interzeption

Freilandniederschlag und Kronendurchlaß wurden über die Aufnahme­flächen verschiedener Sammeleinrichtungen (Bulk-Sammler 0,024 m², Regenrinnen 0,1 m², Plattenlysimeter 50,27 cm²) auf l/m², bzw. auf die Niederschlagshöhe in mm hochgerechnet. Bei Unplausibilität bzw. fehlenden Daten wurde auf Rain Logger - Ergebnisse zurückgegriffen.

Der Stammabfluß wurde auf der Buchenfläche SR an fünf ausgewählten Bäumen gemessen. Bei den Fichtenbeständen wurde der Stammabfluß nicht bestimmt. Um aus diesen Meßwerten den Grundflächenbezug herleiten zu können, wurden an jeder untersuchten Buche acht Kronenradien abgelotet und die Kronenprojektionsfläche ermittelt. Das Verhältnis Stammabfluß in Liter zum auf die Kronenprojektionsfläche auftreffenden Freilandniederschlag ergibt das Stammabflußprozent. Ein Problem ergab sich bei sehr hohen Niederschlagsmengen durch das zu geringe Fassungsvermögen der Auffangbehälter (260 l).

Der Bestandesniederschlag (Kronendurchlaß plus Stammabfluß) wurde als Prozentwert des Freilandniederschlages ermittelt. Zusätzlich wurden einige statistische Kenndaten errechnet. Die Interzeption wurde über die Funktion Freilandniederschlag minus Bestandesniederschlag bestimmt und als Prozentwert des Freilandniederschlages angegeben.

Auf der Kulturfläche EE wurden zwei Interzeptionswerte ermittelt:

- in 1m Höhe: der Niederschlagsrückhalt in 1m Höhe;
- mit Bodenvegetation: hierbei wurde der Niederschlagsrückhalt der Boden- und der darüber stockenden Baumvegetation erfaßt;

Die Streuinterzeption bei den Plattenlysimetern wurde als Differenz zwischen dem gemittelten Bestandesniederschlag und der auf die Niederschlagshöhe umgerechneten Sickerwassermenge ermittelt und in Prozent des Bestandesniederschlag angegeben.

Freilandniederschlagssammler

- hochauflösende Rain-Logger der Firma Bogner & Lehner OEG. Eine Niederschlagsmessung erfolgte alle 10 Minuten, wobei die Anzahl der Zählimpulse eines Meßöffels automatisch gespeichert wurden.
- Bulk-Sammler aus Polyethylen (modifizierte LÖLF-Sammler; Glatzel, 1983) mit einer Auffangfläche von 240 cm².

Meßrinnen

Die Meßrinnen wurden in Anlehnung an die DVWK (Merkblätter 211/ 1986) konstruiert und haben eine Auffangfläche von 0,1 m² (0,1m*1m) wobei 2 Typen zum Einsatz kamen:

- 18 cm *hohe* Rinnen, die in einer Höhe von 1m über den Boden montiert wurden. Sie dienten zur Erfassung des Kronendurchlasses.
- 8 cm *niedere* Rinnen, die unmittelbar über den Erdboden montiert wurden, um den Niederschlagsrückhalt der Schlagflora zu erfassen.
- 10 *hohe* Meßrinnen (5 Rinnen in gleichmäßigen Abständen von 1m auf einem Linientranssekt in Falllinie und 5 Rinnen in Schichtenlinie; Schlagfläche EE: 5 hohe Meßrinnen) auf der Buchenfläche SR, Fichtenfläche VR, Fichtenfläche EE und Kulturfläche EE:
- 10 *niedere* Meßrinnen wurden auf der Kulturfläche EE im gleichem Aufstellungsschema wie die *hohen* Rinnen unmittelbar über den Boden etabliert.

Stammabflußsammeler

Auf der Buchenfläche SR wurden an fünf Buchen unterschiedlicher sozialer Stellung Neoprenmanschetten installiert und der Stammabfluß in PE-Tonnen (2 kaskadenartig hintereinander geschaltete Tonnen a 130 l) aufgefangen (nach Glatzel, 1983).

Bestandestranspiration (Saftstrommessung)

Auf der Versuchsfläche Eiseneck wurde im August 1996 eine Saftstrommeßanlage (Fa. Environmental Measuring Systems) an zwei Altfichten unterschiedlicher soziologischer Stellung montiert. Das Verfahren beruht auf der sogenannten Wärmebilanzmethode, und berechnet die Saftflußrate als Funktion des Kühleffektes des Saftstromes auf einen beheizten Stammteil .

Zu dem Zweck werden Heizelektroden in definierten Abständen im Xylem etabliert. Oberhalb, im Zentrum und unterhalb der beheizten Stammabschnitte wird die Temperatur mit Pt 100 Thermofühlern gemessen. Jeder Stamm wurde auf zwei Seiten instrumentiert. Die Messungen werden als 15 Minuten Mittelwerte auf einen Datenlogger gespeichert und mit einer Auswerteroutine der Fa. EMS automatisch auf kg je cm Stammumfang und Stunde im Meßpunkt umgerechnet. Die Messungen von den zwei unterschiedlichen Stamm-expositionen wurden je Stamm gemittelt.

Bodenwasserhaushalt

Lysimeter

Keramiksaugplattenlysimeter (Keramikscheibe: Soilmoisture Equipment Corp.): Zur Abschätzung der Streuinterzeption an der Grenze Auflagehumus - Mineralboden in möglichst waagrechter Lage mit kontinuierlichem Unterdruck von 0,1 bar angelegt (Detailbeschreibung siehe Katzensteiner, 1995). Von diesem Typus kamen auf allen Probeflächen je 5 Stück zum Einsatz. Beim Einbau der Lysimeter wurden folgende Merkmale zusätzlich festgehalten:

- Lage des Plattenlysimeters (z.B. in einer Mulde, oder im Einflußbereich eines Stammabflusses
- Vegetation über dem Plattenlysimeter
- Neigung des Plattenlysimeters

Freidränende Lysimeter: wurden 1996 zum Mengenvergleich zusätzlich an der Grenze Auflagehumus - Mineralboden etabliert. Diese Anordnung brachte aus folgenden Gründen nicht den gewünschten Erfolg:

- der Feinmoder verstopfte die Gitter und Schläuche;
- Durch das Massenaufreten von Mäusen 1996 wurden immer wieder die Gitter und Schläuche durch Mäusefraß beschädigt. Abhilfe für dieses Problem schafften erst Aluflexschläuche, die als Schutz über die PE-Schläuche gezogen wurden.

Modifizierte *Kerzenlysimeter*: kamen für weiterführende chemische Bodenwasseruntersuchungen auf der Buchenfläche SR und Fichtenfläche VR zum Einsatz.

Probleme:

Durch Mäusefraß und andere, oft nicht eindeutig erkennbare Störeinflüsse wurde der Unterdruck des Systems einige Male zerstört. Ein Problem war der nicht immer mögliche horizontale Einbau der Plattenlysimeter. Durch die Neigung der Plattenlysimeter könnte bei großen Niederschlagsmengen ein Teil des ankommenden Wassers über die Keramikscheibe abgeronnen sein, bevor es vom Lysimeter aufgesaugt werden konnte. Ein weiteres Problem ist das in den unterschiedlich langen Schlauchleitungen gespeicherte Sickerwasser. Durch den Probenahmeturnus bedingt, kann es zu 'Memoryeffekten' kommen und die Zuweisung der Sickerwassermengen zu einem Sammelturnus erschweren.

Wassergehalts-Wasserpotentialkennlinien, TDR, Tensiometer

Mit einem 'Undisturbed Core Sampler' der Fa. Soilmoisture Equipment Corp. (Santa Barbara, CA) mit Messingringen von $d_i=54\text{mm}$ und $h=30\text{mm}$ wurden ungestörte Bodenproben aus Profilgruben entnommen, nach Möglichkeit ohne Grobskelett. Auf der Fläche Eiseneck wurden im Altbestand Proben aus 0-3, 3-6, 6-9 und 9-12cm, am Schlag und in der Kultur nur aus 0-3 und 3-6cm Bodentiefe entnommen. Am Vorderreuterstein wurde Auflagehumus (3cm), Proben von 0-18cm in 3 cm-Schritten, Proben von 27-30, 57-60, 87-90 und 100-103 cm entnommen, auf der Fläche Steyrnquelle wurde die selbe Horizontierung eingehalten die tiefstmögliche Entnahmestelle war jedoch 60-63cm. Weiters wurden 10 charakteristische Proben vom Zöbelboden in die Untersuchungen einbezogen.

Die Proben wurden auf Keramikplatten transferiert und im Labor wassergesättigt und gewogen. Anschließend wurden sie auf der Richards-Apparatur mit einem konstanten Überdruck von 0.01MPa entwässert und erneut gewogen. Dieser Vorgang (Wassersättigung/Entwässerung) wurde mit Druckstufen von 0.03, 0.05, 0.07 und 0.1MPa wiederholt. Anschließend wurden die Proben bei 105°C getrocknet und gewogen, die Korngrößenverteilung und die Dichte bestimmt. Für die Druckstufen 0.3 und 1MPa wurden geringere Probemengen von ca. 30cm³ verwendet, da in diesem Bereich nur mehr Textur- aber kaum Strukturparameter eine Rolle spielen.

Auf den Versuchsflächen Eiseneck EE wurden wöchentlich auf jeder Fläche je drei Bohrkern mit einem Volumen von 200 cm³ entnommen und der Wassergehalt gravimetrisch bestimmt. Versuche die Wassergehalte der seichtgründigen Böden mit TDR-Sonden zu bestimmen, scheiterten. Erst 1998 konnte ein befriedigendes Verfahren mit Druckabnehmertensiometern entwickelt werden.

Auf den Versuchsflächen Vorderreuterstein VR und Steyrnquelle SR wurden in 15, 30, 60 und 90 cm Bodentiefe je 5 Tensiometer etabliert. Die Saugspannung wurde wöchentlich abgelesen.

Im Jahr 1996 wurden auf der Fläche Vorderreuterstein und Steyrnquelle in 5 Tiefenstufen TDR-Sonden installiert und in 14 Tages-Intervallen die Dielektrizität der Böden bestimmt. 1997 wurde die Bodenfeuchte auf der Fläche Vorderreuterstein dauerregistrierend gemessen. Das Verfahren ist im Endbericht zur Pilotstudie Karbonatböden Teil 1 (Katzensteiner, 199x) beschrieben.

LITERATUR

BAUER (1953): Zur Verkarstung des Sengsengebirges. Mitt. der Höhlenkommission 1952, 7-14.

- ECKMÜLLNER O., GÄRTNER A., KATZENSTEINER K., KOCH G., REIMOSER F. (1994): Naturraum-Stichprobeninventur Nationalpark Kalkalpen. Aufnahmeschlüssel, -anweisung, -formular. Nationalpark Kalkalpen, Jahresberichte 1993.
- FEDERER C.A. (1995): BROOK90: a simulation model for evaporation, soil water, and streamflow, Version 3.1. Computer freeware and documentation. USDA Forest Service, PO Box 640, Durham NH, 03824.
- FUXJÄGER C. (1998): Niederschlagsinterzeption von Vegetation und Auflagehumus in fünf Waldbeständen des Nationalparks Kalkalpen, Oberösterreich. Diploma Thesis, Inst. of Forest Ecology, BOKU University Vienna, 88 pp.
- GLATZEL G., H. PUXBAUM, E. SONDEREGGER and M. KAZDA (1983): Bodenveränderungen durch schadstoffangereicherte Stammablaufniederschläge in Buchenbeständen des Wienerwaldes. Allgemeine Forstzeitschrift 26/27, 111-113.
- HASEKE H., ANGERER S., BENISCHKE R., GLATZEL G., KATZENSTEINER K. and STADLER H. (1994): Projekt Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen. Jahresberichte Nationalpark Kalkalpen 1993-x, x p.
- HASEKE H., ANGERER S. and A. GÄRTNER (1996): Atlas der Hydrologie M1:20.000, Gebiet Sengsengebirge und Reichraminger Hintergebirge. Amt der Oö. Landesregierung, Nationalparkplanung.
- HASEKE, H. (1996c): TP 1603-7.3./96: Quelldokumentation Teil III im Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt 1 und Randgebiete. - 1 Hauptbericht (37 S.), Quelldossiers (Mappen) mit zahlr. Beilagen,. Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Molln-Salzburg, Dezember 1996.
- MIRTL, M. (1996): Kurzbeschreibung des Integrated Monitoring in Österreich 1995/1996, IM-Rep-001, Umweltbundesamt Wien.
- MÜLLER, F. (1977): Die Waldgesellschaften des Sengsengebirges. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 121, 219 p.
- NILSSON S.I., H.G. MILLER and J. MILLER (1982): Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of the concepts. Oikos 39, 40-49.
- SCHLEPPI P., N. MULLER, H. FEYEN, A. PAPRITZ, J. BUCHNER and H. FLÜHLER (1998): Nitrogen budgets of two small experimental forested catchments at Alptal, Switzerland. Forest Ecology and Management 101, 177-185.
- WRIGHT R.F. and L. RASMUSSEN (1998): Introduction to the NITREX and EXMAN projects. Forest Ecology and Management 101, 1-7.
- WEICHENBERGER, J. (1992): Speläologische Bearbeitung des Transekt-Gebietes Sengsengebirge. -Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Linz 1992.

LISTE DER TEILBERICHTE

- BOGNER, M. & LEHNER, T. & MAHRINGER, G. (1996): Topoklimatologische Charakteristik des Geländeprofiles zwischen Steyernquelle und Rettenbach. - Kampagnenbezogene Tageswetterlagen 1996. 73 S., Tabellen und Diagramme.- Endbericht Karstprogramm 1603-1.2./1996, Linz, Dezember 1996.

- BOGNER, M. & LEHNER, T. & MAHRINGER, G. (1997): Topoklimatologische Charakteristik des Geländeprofiles zwischen Steyrnquelle und Rettenbach..- 53 S., Tabellen und Diagramme.- Endbericht Karstprogramm 1603-1.2./1997, Weichstetten, Februar 1998.
- HASEKE, H. (1993c): Exkursionsführer zum Workshop "Karstprogramm". - Gebiete: Steyern-Feichtau-Eiseneck und Vorderer Rettenbach-Kogleralm (Sengsengebirge). Kurzmonographien, Fotos. Molln, Juli 1993.
- KATZENSTEINER, K., Nemesthoty, K. und Ottner, F. (1996): Analyse karstrelevanter Boden- und Gesteinsproben von repräsentativen Standorten des Nationalpark Kalkalpen. Projekt KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-3.2. 32. S., Tabellen und Grafiken. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Oktober 1996.
- KATZENSTEINER, K. (1998): The Karst Research Programme of the Northern Limestone Alps National Park. Influence of vegetation and soils on water quality and water supply. - Research and Monitoring as Key Elements for Sustainable Development in the Limestone Alps – European Strategies, October 11-13, Bled, Slovenia (1998): International Workshop Series on Sustainable Regional Development (edited by Horst Mayr and Susanna Wiener)
- KATZENSTEINER, K., FUXJÄGER, C. und OTTNER, F. (1998): Wasser – und Nährstoffhaushalt ausgewählter Waldstandorte im Nationalpark Kalkalpen. – Projekt KARSTDYNAMIK im Nationalpark Kalkalpen. AZ: 1603-2.0, 3.2 & 5.2/1996-97. - 97 S., Tabellen, Grafiken. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1998.

Dr.DI Klaus KATZENSTEINER
Univ.Prof.Dr. Gerhard GLATZEL
Universität für Bodenkultur, Institut für Waldökologie
Peter Jordan Straße 82
A-1190 Wien
katz@mail.boku.ac.at
Glatzel@week.boku.ac.at

KARTIERUNG DER GEOMORPHOLOGIE UND HYDROLOGIE

Teilprojekt AZ. 6

MAPPING OF GEOMORPHOLOGY AND HYDROLOGY

Participant Project: 1603-6.

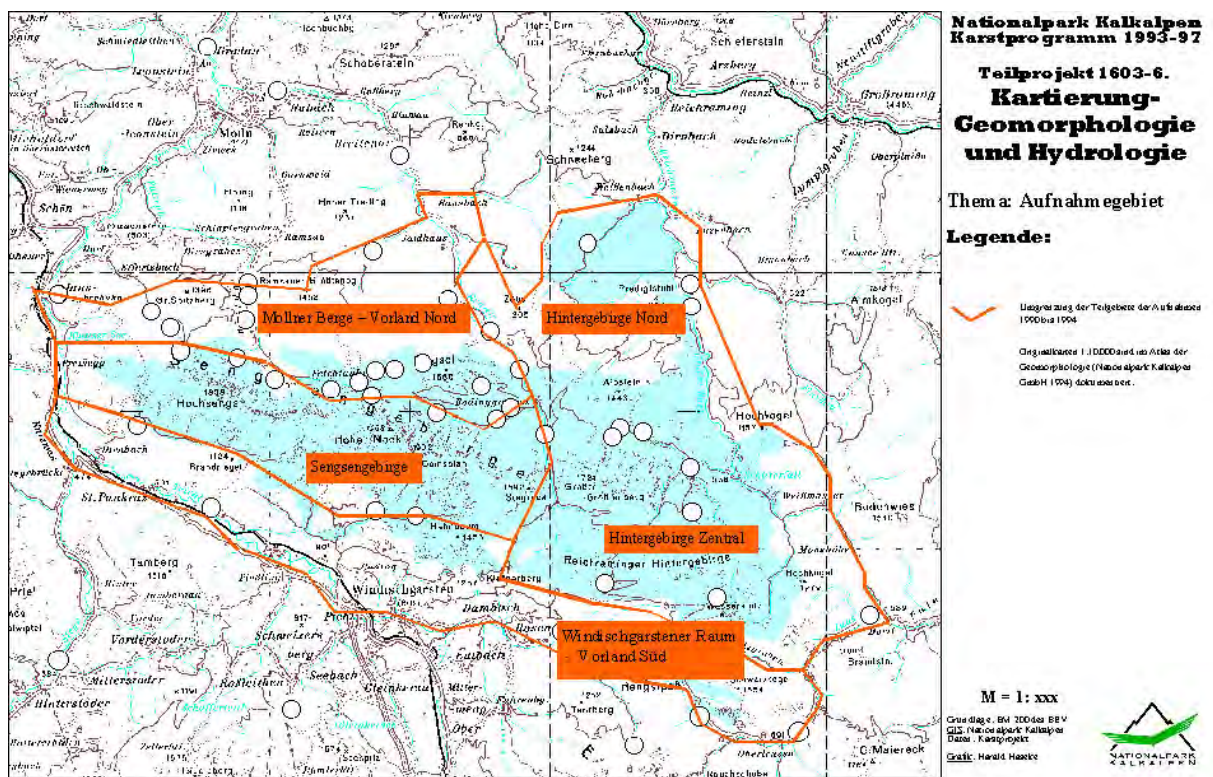


Fig. 06-1: Übersichtskarte des Kartierungsgebietes der geomorphologisch-hydrologischen Aufnahmen 1990-1994 (Teilprojekt 6).

Diese Grundlagenerhebungen bildeten einen der zentralen Erhebungsschwerpunkte vor bzw. in der Startphase des Nationalpark-Karstprogrammes. Im Sengsengebirge und im Flußtal der Krummen Steyrling treten etliche rezente, teils spektakuläre Karstphänomene wie Erdfälle („Wunderlucke“ bei Molln) auf. Immer wieder verschwinden auch ganze Bäche im Felsuntergrund unter den Alluvionen (Mollner Bach, Hilgerbach). Diese Vorgänge animierten einige Karstforscher in den 30er bis 50er Jahren zu kurzen Visiten im Gebiet (BAUER 1953). In den 70er Jahren führten die Ennskraftwerke (EKW) AG intensive geowissenschaftliche Studien über die Verkarstung des nördlichen Sengsengebirgs-Vorlandes durch und legten Archive darüber an. Das Kerngebiet des Nationalparks Kalkalpen blieb aber bis dato von

Erhebungen ziemlich unberührt – ganz im Gegensatz zu den teils sehr intensiven geologischen Studien (Tiefbohrungen der ÖMV, Kartierungen GBA, Spezialstudien über Windischgarstener Flyschfenster, Weyrer Bögen, Bergbaue in der Laussa-Gosau etc.).

Von 1990 bis 1994 wurde das Nationalparkgebiet und sein Umfeld terrestrisch im Maßstab 1:10.000 kartiert. Im Hinblick auf die hydrogeologischen Fragestellungen liegen die Kartiergrenzen meist in den Hauptvorflutern. Die Feldaufnahme wurde mit Luftbild- und Satellitenbild-Taxierungen ergänzt und in Form von Atlanten der Geomorphologie (Autographenkarte), der Geologie und der Hydrologie (GIS-Karten) ediert. Weiters wurde ein Teil der Ergebnisse (Karstphänomene und Lockergesteine) für das Karstprogramm adaptiert und mit dem GIS-feature ARC/INFO verarbeitet (siehe Teilprojekt 3. Physiographie).

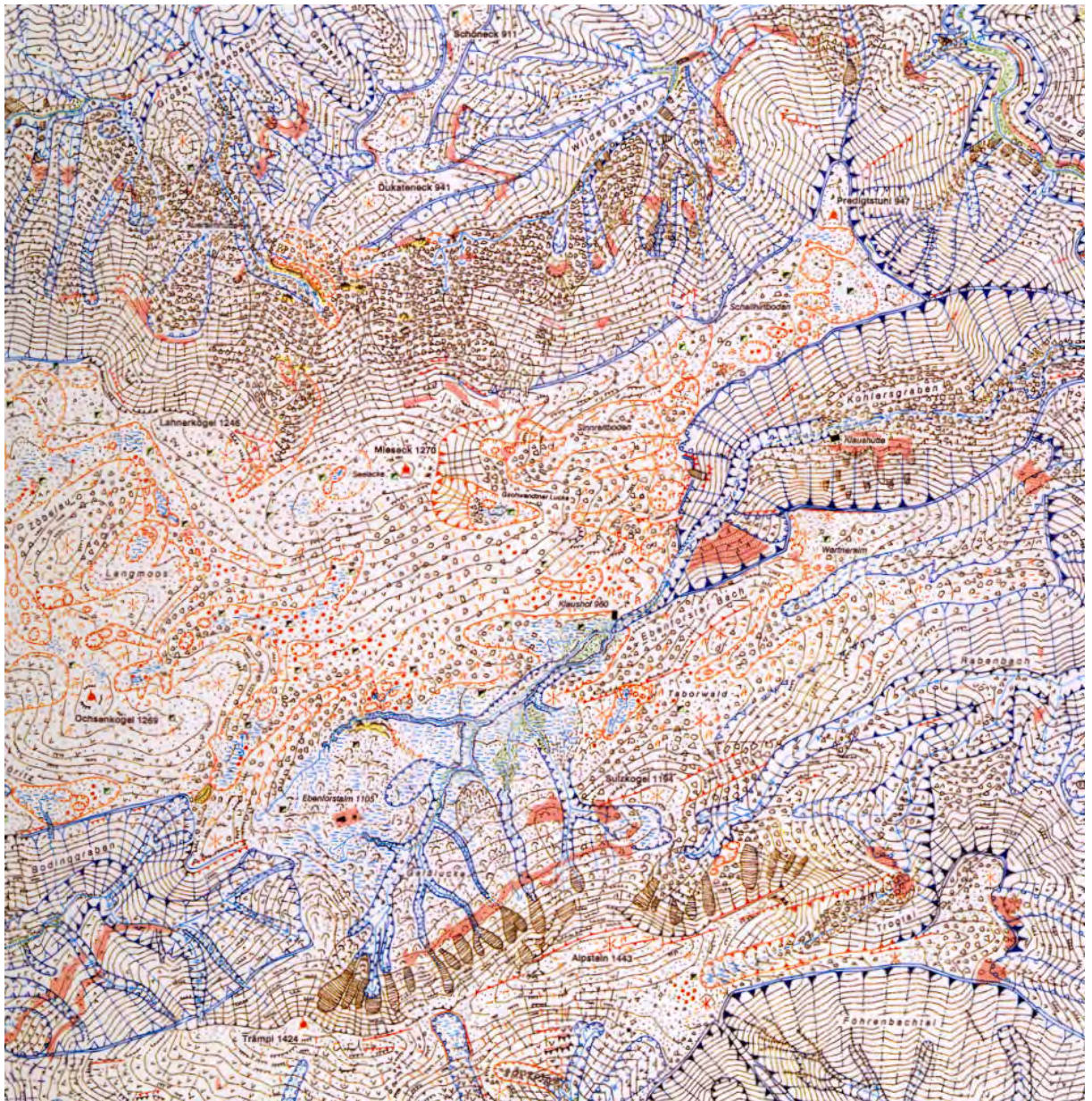


Fig. 06-2: Atlas der Geomorphologie 1994, Blatt Nr. 5430-100 Ebenforstalm (Hintergebirge). Heterogene Altlandschaft auf Karbonat-Mergel-Serien der Ebenforstsynklinale, mit rumpfartig erhaltenem Gewässernetz über intensiv verkarsteten Drainagen. Gut zu erkennen ist die rückschreitende Erosion von den tief eingesägten Vorflutern her.

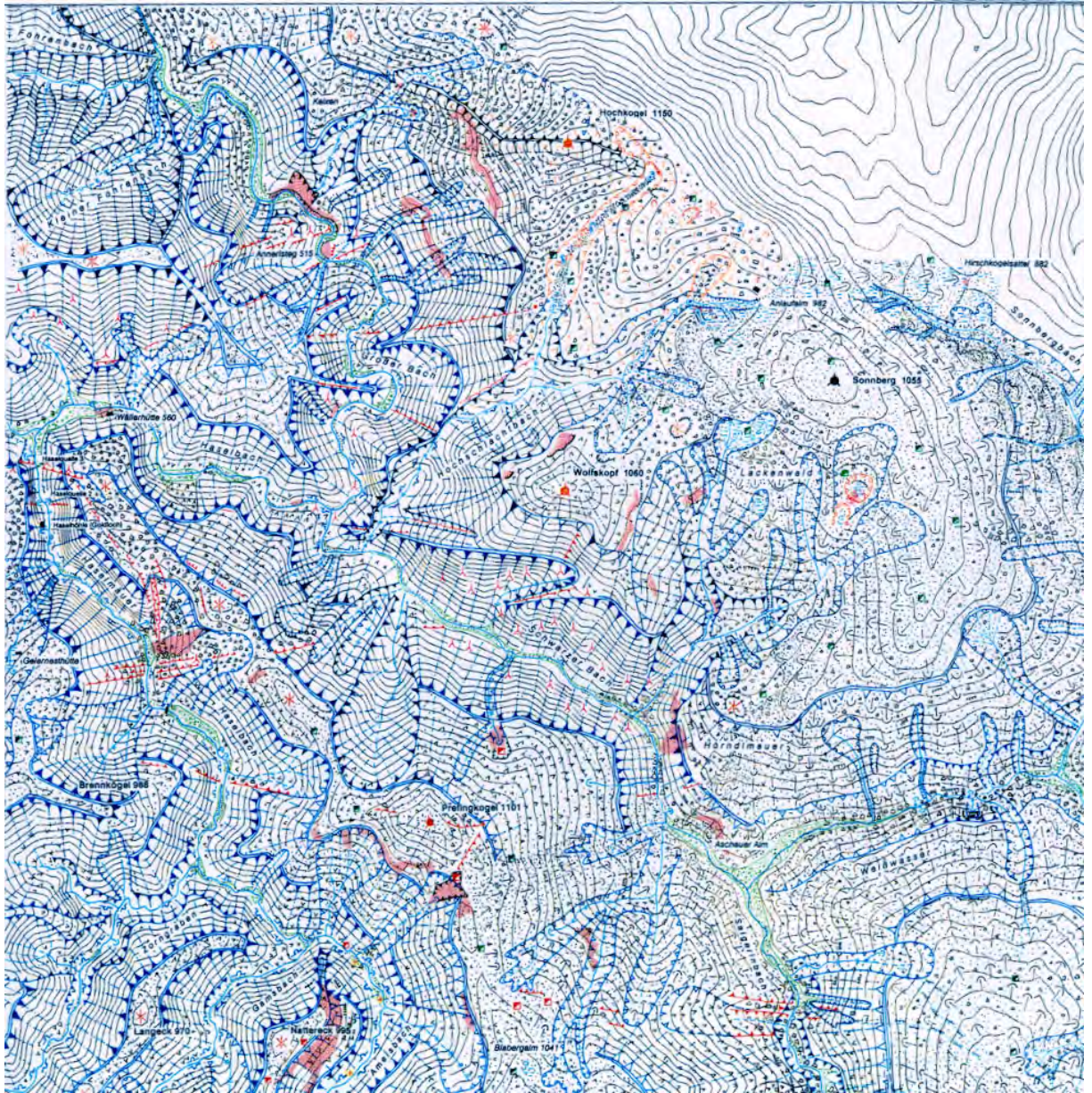


Fig. 06-3: Atlas der Geomorphologie 1994, Blatt Nr. 5430-103 Anlaufalm (Hintergebirge). Typische fluvial zerschnittene Dolomitlandschaft im Kern des Hintergebirges. Moderate Verkarstungen um den Sonnberg rechts oben sind in karbonatischer Gosaukreide anzutreffen.

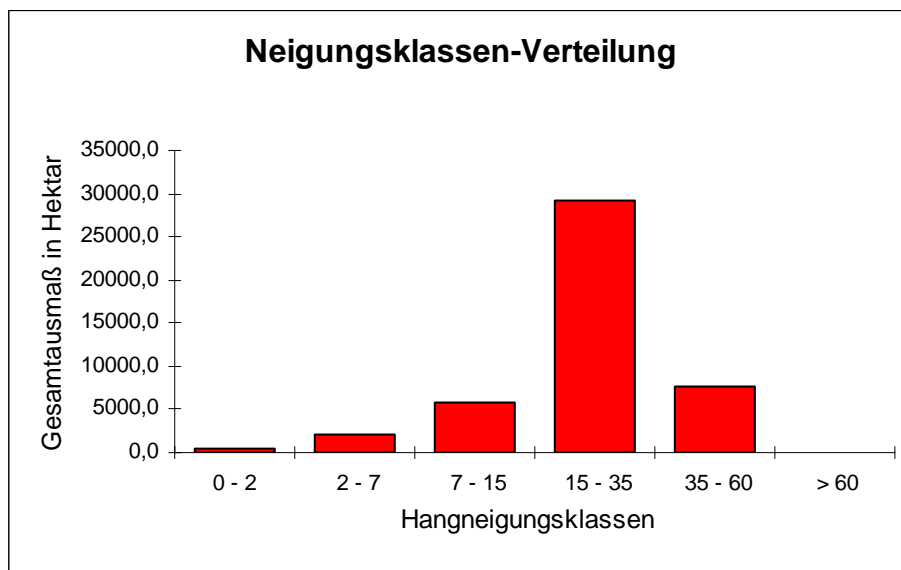


Fig. 06-4: GIS-Berechnung der Neigungswinkelklassen des Nationalparkgebietes aus dem DHM. Deutlich zu sehen die Vormacht mittelsteiler Hanglagen. Wandfluchten >60°, die z.T. beträchtliche Flächen einnehmen, sind in der Grundrißdarstellung nicht präsent.

Sengsengebirge

Das Sengsengebirge repräsentiert den verkarsteten Kettengebirgs-Typus der Nördlichen Kalkalpen, anders als seine hochflächendominierten Nachbarn Warscheneck oder Totes Gebirge. Es wird von einer Ost-West streichenden Großfalte aus Wettersteinkalk geformt, die das Windischgarstener Becken wie eine Barriere im Norden abriegelt. Die Antiklinale ist von Brüchen zerteilt, wobei vor allem an den Nord-südvergenten Störungen vertikale Verstellungen erkennbar sind. Für die unterirdischen Wasserwege sind sowohl eher faltenparallel streichende Strukturen wie auch normal darauf stehende Brüche von Bedeutung. Das umgebende Gewässernetz folgt strikt den vorgegebenen, endogenen Strukturen.

Wegen der Asymmetrie der Großfaltung bricht das Sengsengebirge nördlich in schroffen Wänden ab, im Süden gleicht sich die Hangentwicklung dem 30-40° steilen Südfallen der Kalkbänke an. Die Ost-West aufgereihten Kuppen gipfeln im Hohen Nock (1975m), und die alpinen Karstformen entwickeln sich nur in relativ begrenzten Großmulden und Uvalas, den „Gruben“. Zwei Positionen können als Altlandschaften bezeichnet werden: Der Kuppenkarst in den höchsten Lagen (wenig Karren, große einzelne Dolinen, 1700-1900m) und die Karsttalungen und Randverflachungen (weites Spektrum subkutaner Karrentypen, irreguläre Dolinen aller Größen und Formen, Karstgassen, 1300-1500m). Viele Großformen in dieser Lage sind asymmetrisch, was zum Teil durch die expositionsbedingten Ausaperungszeiten bewirkt sein könnte. Die untere Verbreitungsgrenze entwickelter Karren liegt bei 1100m, nach oben steigen sie bis auf die Gipfel.

Der „Verkarstungsgrad“ im Sinne der Bodenerosion ist in den höheren Sengsengebirgslagen sehr hoch. Wettersteinkalk dürfte generell ein sehr „armer“ Kalk sein und von den andernorts ausgedehnten Paläoböden ist hier kaum etwas zu bemerken. Auch Lockergesteinsdecken wie Schuttfelder oder Moränen sind selten und dünn. Eine Almwirtschaft, wie sie noch vor 50-80 Jahren existierte, ist heute nicht mehr vorstellbar. Es scheint, daß die Rodungen für die Almen, die Viehbestoßung und auch die Überhegung des Wildes für die Trophäenjagd die Biosphäre dieser Karsthochlagen nachhaltig geschädigt haben. Eigentlich muß jeder Versuch der Kultivierung alpiner Karsthochlagen als schwerer Umwelteingriff bewertet werden.

Hydrologie: Die Hochlagen des Sengsengebirges sind eine Felswüste. Trotz der hohen Niederschläge schwindet alles Wasser sofort im Kalk und kommt in einer Reihe großer Quellen wieder zutage. Überragende Bedeutung haben die beiden der Teichl zufließenden Rettenbachquellen, wie auch durch Markierungsversuche belegt ist. Weitere große Ursprünge wie Blößenbachquelle, Feichtauseequelle oder Kaltwasser dürften eher lokale nordseitige Kare entwässern. Ein Teil der Quellen ist auf ältere Talbildungsphasen eingespiegelt, vor allem auf das „Präpleistozäne Niveau“ rund 100 Meter über den rezenten Vorflutern. Strukturen im Gestein sind natürlich besonders wichtig für die Karstwasserwege, so befinden sich auch etliche kleinere Quellen an Schicht- oder Schuppengrenzen.

Das einzige größere Grundwasserfeld im Sengsengebirge ist die malerische Hopfing. Die militärische Nutzung dieses glazialen U-Tales muß als schwerste Gefährdung der Wasservorräte bewertet werden.

Reichraminger Hintergebirge

Das Hintergebirge ist eine typische kalkalpin-dolomitische Voralpenlandschaft mit ganz klarer Vorherrschaft der Fluvialerosion. Während der Eiszeiten war dieses Gebiet, abgeriegelt durch die hohe Sengsen-Größtenbergkette, eine periglaziale „Tundra“. Wegen der sehr tief eingeschnittenen und sehr flach eingespiegelten Schluchttäler werden trotz geringer Gipfelhöhen Höhenunterschiede (Reliefenergie) von über 1000 Meter erreicht.

Geologisch ist das südliche Hintergebirge Teil der Sengsengebirgsfalte, nördlich des Größtenberges zählt es zur Reichraminger Decke. Das Leitgestein ist Hauptdolomit mit eingefalteten jurassischen bis kretazischen Kalken, Mergeln und Sandsteinen. Die Altlandschaft ist hier als relativ sanft geformtes tertiäres Hügelland zwischen 950-1300m Seehöhe erhalten. Es ist von einem Netz tiefer Schluchten und Klammern zersägt. Nur wenige Gipfel übersteigen die 1400 Meter-Marke (Größtenberg: 1720m).

Auch im Hintergebirge kommen stark verkarstete Zonen vor. Dies äußert sich mehr im Wasserhaushalt und weniger in den Geländeformen. Wirklich augenfällige Karstlandschaften sieht man nur um den Größtenberg und am Ebenforst-Plateau,

immer begrenzt von weiten Dolomitlandschaften. Die Verbreitung von Karren, Dolinen und Ponoren ist stark von der Gesteinstextur und der Höhenlage abhängig.

Die Hydrologie ist sehr wechselhaft. Große Karstquellen entspringen immer sehr tief an der Vorflut, mittlere Ursprünge halten sich gerne an Schichtgrenzen oder an alte Karstwasser-Spiegelflächen (Piezometerniveaus). Auch große Schwinden wie jene in der Hetzschlucht oder am Ebenforst kommen vor. In den dolomitischen Zonen entspringen kleine Quellen oft aus größeren Schuttakkumulationen und nur selten findet man größere Kluftquellen.

Die meisten der Gräben, V-Täler und Klammen des Hintergebirges sind im standfesten Hauptdolomit angelegt. Brüche und Faltungen drücken sich oft als jäh Verschwenkungen der Bachläufe aus (so die „Vererbten Mäander“ der Großen Schlucht). Fast alle Hauptgräben haben flache Längsprofile, ein Erbe der langzeitlich ungestörten Flußerosion im Periglazial. Das dichte Bachnetz hat fast alle ehemaligen Landoberflächen des nördlichen Hintergebirges zerlegt, nur mehr Reste wie der Zöbelboden oder der Predigtstuhl existieren noch, teils mit starken Hülldecken tertiärer Reliktböden. Einzig das Ebenforst-Plateau entging mit seinen karstfreundlichen Jurakalken der Zerstörung, die sich aber mit massiven Blockstürzen unter den harten Kalkzügen ankündigt. Die Sedimentarmut des inneren Hintergebirges (auch die Bachstrecken sind großteils sauber „ausgeputzt“ und sehr geschiebearn) steht im Kontrast zu den Resten mächtiger Schotter- und Konglomeratbänke im Großen Bach, die allerdings erst in Ennsnähe auftreten.

Massive Störungen des Landschaftsgefüges sind durch die Forststraßen verursacht, vor allem dort wo sie weite Hanglagen oder Bachstrecken mit ihrem Sprengschutt verwüstet haben. Viele von ihnen sollten im Interesse des Nationalparkes so rasch wie möglich geschlossen werden.

Nördliches Vorland („Mollner Berge“)

Das Gebiet nördlich des Sengsengebirges zählt ebenso wie das nördliche Hintergebirge zur Reichraminger Decke (Hauptdolomitfazies). Bekannt ist nur die Feichtaualm, die sich mit dem Ebenforstplateau den Anteil an der „Ebenforst-Synklinale“ teilt. Auch hier kommen also beachtliche verkarstungsfähige Kalkzüge vor, auf denen beispielsweise die Probenflächen der Boden-Wasserhaushalts-Studie angelegt wurden.

Die Voralpenlandschaft der Mollner Berge mit ihren Gipfelhöhen um 1450m ist an der Nahtstelle zwischen Gletscherausläufern (Krumme Steyrling, Palten-Garnweid, Steyrdurchbruch) und den verästelten Gräben der östlichen eisfreien Zonen entstanden. Die Morphologie wirkt daher jung und aktiv, mit einerseits hohen Flußerosions- und Hangabtragungsraten und andererseits mächtig akkumulierten

Moränen und verfestigten Geschieben (Nagelfluhterrassen). Auch Wildbach- und Grabenstrecken sind z.T. chaotisch überfrachtet.

Hydrologie: Neben vielen kleineren Schichtgrenz- und Kluftquellen kommen auch einige ausgesprochene Großquellen wie die Steyrnquelle oder der breite Horizont im Paltental vor (Ramsauerquellen RAMS, Paltenquelle PALT, Altermühlner Teichquellen RAFI). Sie entwässern z.T. ganze isolierte Kalkmassive. Eine Spezialität, die sich bis in die Terrassen von Molln und Leonstein erstreckt, sind die verschwindenden Bäche und Erdfälle, die von alluvial verschütteten Ponoren bzw. Quellauftrieben bedingt sind.

Südliches Vorland (Windischgarstener Becken, Dambach- und Laussatal)

Diese inneralpine Beckenlandschaft mit ihren randlichen, bis 1400m ansteigenden Erhebungen wurde im Pleistozän von der Fernvergletscherung erfaßt. Zusätzlich kamen Eismassen aus den südlich aufragenden Bergmassiven dazu, während die Eigenvergletscherung des Sengsengebirges sehr untergeordnet blieb.

Die Geologie des Gebietes ist äußerst komplex (vgl. PREY 1974). Als Beispiel sei nur das Windischgarstener Flyschfenster genannt, das sich im gesamten Teichltal entlang der „Teichlstörung“ aus mehreren Kilometern Tiefe aus dem überfahrenen Grundgestein hochpreßt. Eine weitere schwere Komplikation in der Kalkalpenfazies sind die „Weyrer Bögen“, die Nord-Süd-Verdrehung des Alpenstreichens am Ostrand des Hintergebirges. Zusätzlich ist im Windischgarstener Becken die Gosaufazies mit z.T. salinarer Untertrias verzahnt. Wir finden im Gebiet also eine bunte Vielzahl an Gesteinen, die aber in Nationalparknähe zum Großteil kalkig-dolomitisch sind.

In der Würm-Eiszeit blieben die Gletscher vom Pyhrnpaß und Toten Gebirge im Windischgarstener Becken stecken, die Schmelzbäche nahmen gewaltige Gesteinsmassen mit. Daher findet man in der Umgebung von Rading heute die Endmoränen und flußab mächtige, konglomerierte Schotterterrassen, in die sich die Teichl, Rettenbäche und die Steyr epigenetisch eingeschnitten haben. Die Nagelfluh-Canyons in der Niederterrasse sind eine seltene und höchst eindrucksvolle Landschaft rund um den Nationalpark.

Karstphänomene sind seltener als in den anderen Teillandschaften der Kartierung. Doch man findet sie allenthalben in Form kleiner Karren- und Dolinenfelder auf den Höhen und als etliche größere Quellen entlang der Täler (z.B. Rosenauerquelle ROSE und St. Pankrazquelle ROHR).

Projektbeschreibung, Methodik

Geomorphologie

Das Kartierungsprojekt wurde 1990/91 im Sengsengebirge und Hintergebirge begonnen und 1993/94 mit Abrundungen nach Nord und Süd sowie mit Ergänzungen abgeschlossen. Als Ausarbeitung des kartographischen Teiles wurden drei Teilblatt-Darstellungen (Atlanten) gestaltet.

Der Kartierungs- und Ausarbeitungsmaßstab war gleichbleibend 1:10.000, die Orientierung erfolgte nach Karte, Höhenmesser (Thommen 5000) und durch Kompaßvisur. Im ersten Kartierjahr (1990) mußte teils noch mit unhandlichen Autographenschichtenplänen, teils mit vergrößerten ÖK 25 gearbeitet werden, wobei Lageungenauigkeiten nicht auszuschließen waren. 1991/93 wurden verifizierte Orthofotos mit DGM-Isolinien 20m verwendet, deren Handhabung sich besser bewährte. 1994 konnte eine Reproduktion der Orthofotos 1:10.000 mit aufgedrucktem Autographenschichtenplan verwendet werden, mit dem die Verortung im Gelände optimal möglich war und der erreichte Genauigkeitsgrad damit hoch ist. GPS wurde aufgrund der schlechten Performance im rauen Gelände nicht verwendet.

Die Hochzeichnung der Geländeaufnahmen erfolgte nur auf unbeanspruchten Orthofoto-Oleaten mit DGM- oder Autographenschichten-Aufdruck und wurde mittels stereoskopischer S/W-Luftbilder kontrolliert. Die weitere Verarbeitung und Clusterung der Karstphänomene im GIS wurde als flächige Digitalisiervorlage 1:10.000 ausgearbeitet und ist in der Arbeit von [KATZENSTEINER & MITTERBÖCK \(1998\)](#) erläutert.

Hydrologie

Die Kartierung der Hydrogeologie (Quellen) erfolgte parallel zur Geomorphologie ausschließlich terrestrisch, sämtliche Quellaustritte und Probenstellen wurden im Gelände aufgesucht. Bei der Aufnahme fand jeweils eine einmalige Orientierungsmessung der Feldparameter Leitfähigkeit Temperatur PH-Wert statt. Die Schüttung wurde praktisch immer geschätzt.

Die Quellaufnahmen wurden anfangs in die Dbase IV-Datenbank HYDSENGS.DBF, 1993 in die EXCEL-Tabelle HYDATT.XLS und schließlich 1996 in die ACCESS-DB „QUELLENSTAMM.MDB“ übergeführt. Hier werden, vom NP-Forschungslabor verwaltet, allfällige Ergänzungen und Korrekturen evident gehalten.

Die Systematik wurde dem Flußnummernverzeichnis des Hydrographischen Zentralbüros (orographische Einzugsgebiete) angeglichen. Es wurde getrachtet, die Teileinzugsgebiete möglichst vollständig zu erfassen. In dem bearbeiteten Gebiet befinden sich folgende Flüsse >100 km², deren Flächennummern durch eine zweistellige Flußnummer ersetzt werden können:

Nr.34	Reichramingbach	Flächennummer 2/065/172
Nr.35	Steyr	Flächennummer 2/065/202
Nr.36	Teichl	Flächennummer 2/065/202/018
Nr.37	Krumme Steyrling	Flächennummer 2/065/202/040

Beispiel: Monitoring- Meßstelle Quelle Großer Feichtausee (FEIS): **35-34-01-ACB**

35 = Steyr

35 **34** = Paltenbach

35 34 **01** = Nicklbach Feichtau-Hopfung

35	34	01	A = Linker (oberer) Zubringer zur Feichtau	
35	34	01	A	C = Folgequellen Gr. Feichtausee (Quellhorizont)
35	34	01	A	C B = Mittlerer Quellaustritt lt. Quelldokumentation

LISTE DER TEILBERICHTE

ANGERER, S., GÄRTNER, A., HASEKE, H. (1996): Atlas der Hydrologie 1:20.000, Nationalpark Kalkalpen - 1. Verordnungsabschnitt. - 21 Teilblätter, allgemeiner Teil. Texte, Grafiken, Diagramme: H. Haseke. - Nationalpark Kalkalpen GmbH, limitierte Auflage im Eigenverlag, Leonstein, Mai 1996.

GÄRTNER, A., HASEKE, H., SCHRUTKA, R. und STEINWENDNER, N. (1994): Atlas der Geologie 1:20.000, Nationalpark Kalkalpen - 1. Verordnungsabschnitt. - 21 Teilblätter, allgemeiner Teil. Molln, September 1994.

HASEKE, H. (1990): Hydrologie und Karstmorphologie des Sengsengebirges. - Nationalpark Kalkalpen, Forschungsprojekt 2.1.-1990. - Molln-Salzburg 1990.

HASEKE, H. (1991a): Hydrologie und Geomorphologie des Reichraminger Hintergebirges. Im Auftrag der Planungsstelle Nationalpark Kalkalpen, Molln 1991.

HASEKE, H. (1993b): Kartierungsprojekt Ergänzungen: Hydrogeologie und Geomorphologie Sengsen - und Hintergebirge. 18 Seiten, 16 Fotos. - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. Molln--Salzburg März 1994.

HASEKE, H. (1994b): Atlas der Geomorphologie 1: 20.000. - Erstellt im Rahmen des Projektes "Karstdynamik" i.A. des Nationalparkes Kalkalpen. - Textteil, Legende und 22 Teilblätter, Originale 1: 10.000. Stand: 31.12.1994.

HASEKE, H. (1994e): TP 1603-6./94: Hydrologie und Geomorphologie des Nationalparkes Kalkalpen, Planungsabschnitt I; Teil 4: Aussenzonen und Randgebiete. Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. - H. Haseke, Molln-Salzburg, Februar 1995. 67 Seiten, Kartenteil im Atlas der Geomorphologie.

Dr. Harald Haseke
Haunspurgstraße 90
A-5020 Salzburg
h-haseke@apanet.at

KARSTQUELLEN-MONITORING UND EREIGNISKAMPAGNEN

Teilprojekte AZ. 7.1 und 7.2

KARST SPRING MONITORING AND EVENT CAMPAIGNS

Participant Projects: 1603-7.1. and 7.2.

UNTER DIESEM TITEL SIND ERGEBNISSE DER FOLGENDEN TEILPROJEKTE VERSAMMELT:

Mikrobielle Belastung des Wassers

(KBE und Fäkal-Indikatoren)

Zusatzanalytik

Trübstoffe im Quellwasser

Organischer Kohlenstoff im Quellwasser

Digitales Karstquellen-Messnetz

Datenevaluierung, Statistik und

Umweltisotopen

Teilprojekt AZ. 7.5.1.

Teilprojekt AZ. 7.4

Teilprojekt AZ. 3.2/97

Teilprojekt AZ. 7.6/95

Teilprojekt AZ. 7.7

Teilprojekt AZ. 8.2

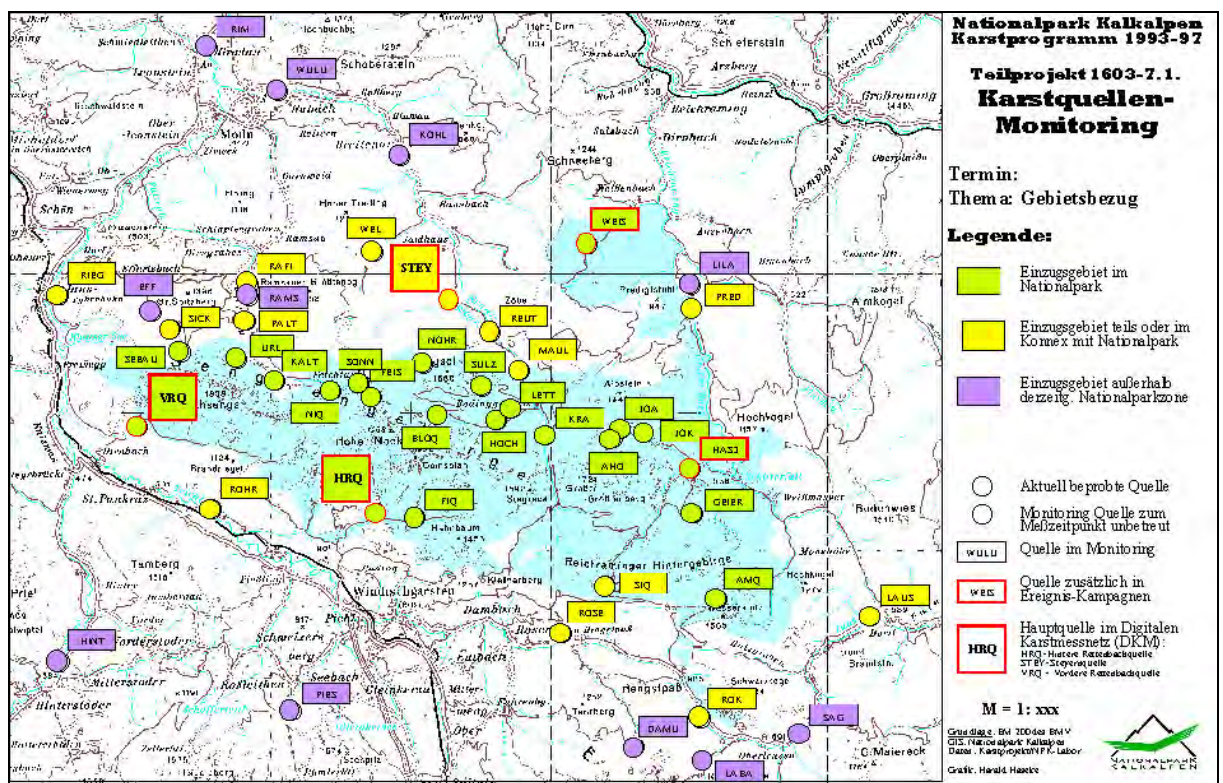


Fig. 7.1-1: Karstquellen-Monitoring. Übersichtskarte mit Zuweisung der Einzugsgebiete.

EINLEITUNG

Karstquellen-Monitoring in Nationalpark Kalkalpen

Das „Karstquellen-Monitoring“ ist das zentrale hydrologische Schwerpunktprogramm des Nationalparks Kalkalpen. Es vereinigt im Rahmen konzertierter, synoptischer Meßkampagnen eine Reihe von Untersuchungen, die hier der Übersichtlichkeit halber unter einem Titel zusammengefaßt werden. Begonnen wurde das Karstquellen-Monitoring im Jahr 1991, nachdem anhand der Quellkartierungen (Projekt AZ 6.) ein Überblick der Gebietshydrologie möglich geworden war, mit drei zentralen Fragestellungen:

- Kenntnis zu erlangen über den hydrogeologischen und ökologischen Zustand der Nationalpark-Einzugsgebiete, indem man deren Outputs, die Quellen, unter saisonalen und langfristigen Bedingungen erfaßt. Dazu zählten auch faunistische Dauerbeobachtungen (Emergenzfallen);
- die Vorgänge zu erforschen, die während Frontdurchgängen und Hochwässern, aber auch während ruhiger Niederwasserphasen in den Quellen stattfinden. Dieser sehr interdisziplinäre Ansatz stellt das Bindeglied zu den Daueraufzeichnungen der DKM-Stationen dar;
- grundlegende Daten zur Hydrochemie, Hydrographie, zu organischen und Trübstoff-Frachten und zur Isotopenhydrologie zu erarbeiten; parallel dazu auch Erstaufnahmen der Quellökologie, Biodiversität und Abundanz in den Ursprüngen.

Die „Karstquellen Monitoring“ genannten Kampagnen im Gebiet des Nationalparks Kalkalpen wurden 1991 begonnen und saisonal, 3-4mal pro Jahr, ausgeführt. Die Meßtouren beziehen 35 bis 40 Quellen verschiedener Größenklassen und Typen aus einem Sample von 792 kartierten Quellen ein. Das damit stichprobenartig abgedeckte Gebiet umfaßt 200 km². Die Kampagnen wurden in Anlehnung an die „Wassergüte-Erhebungsverordnung“ (WGEV) des BM für Land- und Forstwirtschaft geplant.

Die „Ereigniskampagnen“ begannen 1995. In diesem Framework steht die Beobachtung von nur zwei oder drei Quellen von verschiedenem Typ und mit bestimmten Einzugsgebietsklassen nur während weniger Tage, aber mit einem dichten Vollbeprobungsrhythmus von 3 bis 6 Stunden auf dem Programm.

Übersicht der Meßkampagnen

Jahr	Einzelbeprobung ausgewählter Quellen	Karstquellen- Monitoring (je 3-4 Touren)	Schnee- schmelze	Hoch- wasser	Regen	Summe Termine
1991	3 Tage					3 Tage
1992	4 Tage					4 Tage
1993	7 Tage					7 Tage
1994		13 Tage				13 Tage
1995		12 Tage				12 Tage
1996	1 Tag	16 Tage	4 Tage		5 Tage	26 Tage
1997	1 Tag	10 Tage	5 Tage	7 Tage		23 Tage
Gesamt	16 Tage	51 Tage	9 Tage	7 Tage	5 Tage	88 Tage

Tab. 071-1: Übersicht über die zeitliche Verteilung der Entnahmetouren; allein für die offiziellen Entnahmetermine durch ein jeweils wechselnd zusammengesetztes Meßteam sind bisher insgesamt 88 Tage im Gelände zugebracht worden.

Aus hydrogeologischen Erwägungen darf trotz der dokumentierten intensiven Geländetätigkeiten nicht unerwähnt bleiben, daß z.B. eine Ereignisbeprobung an einer Einzelquelle zwar eine verbesserte Kenntnis über deren Verhalten während des Ereignisses bringt, das Entnahmeintervall bei manueller Beprobung letztlich zu grob ist. Um eine fundierte Beurteilung dieses Ereignisses innerhalb einer Reihe von "Vor-Ereignis-, und „Nach-Ereignis-Zuständen" zu erhalten, müßte die Gesamtbeobachtungszeit für ein Ereignis ausgedehnt werden. Dies kann letztlich nur durch ein "Online-Monitoring" verbessert werden, bei dem charakteristische Parameter kontinuierlich aufgezeichnet werden. Ein Ansatz in diese Richtung ist das DKM-Netz ("Digitales Karstquellen-Monitoring"), das schon mit einigen Stationen läuft. Es sollte schwerpunktmäßig weiter verfolgt und ausgebaut werden.

Karstquellen-Monitoring (Synoptische Kampagnen)

1991		
Niederwasser-Situation	MNQ	05.11.1991
Schwache Hochwasser-Situation	HQ	18.07.1991
Außergewöhnliche Hochwasser-Situation	HQ30	03.08.1991
1992		
Erhöhtes Mittelwasser, Schneeschmelze	MQ+	21. - 22. 05.1992
1993		
Erhöhtes Mittelwasser, Schneeschmelze	MQ	26. - 29.04.1993
Sommer-Niederwasser	NQ	03. - 05.08.1993
Herbst-Niederwasser	NQ	20. - 22.10.1993
1994		
"Spätwinter-Vorfrühling"	NQ	06. - 08. 04.1994
"Frühsommerliche Schneeschmelze"	MQ/HQ	15. - 17. 05.1994
"Sommerliches Niedrigstwasser"	N(N)Q	10. - 12. 08.1994
"Herbstliches Niederwasser"	NQ	17. - 18. 10.1994
1995		
"Milde Winterbedingungen"	NQ+	02. - 04.03.1995
„Frühling - Schneeschmelze“	MQ+→HQ	09. - 11.05.1995
"Leichtes Frühsommer-Hochwasser"	HQ	26. - 27.06.1995
"Mittelwasser"	MQ+	17. - 19.08.1995
1996		
"Hochwinter"	NQ	23. - 27.01.1996
"Frühling - Schneeschmelze"	MQ	02. - 04.05.1996
"Sommerliches Mittelwasser"	MQ+	10. - 13.07.1996
„Ablaufendes Extremhochwasser“	HHQ→MQ+	22. - 25.10.1996
1997		
"Winter"	NQ	25. - 28.02.1997
"Frühling - Schneeschmelze"	MQ+	13. - 15.05.1997
"Sommerliches Normalwasser"	MQ	19. - 21.08.1997
Intensivkampagnen (Ereigniskampagnen):		
1995		
"Spätsommer-mittlerer Frontdurchgang"	MQ+→HQ	27.08. - 06.09.95
1996		
"Frühling – starke Schneeschmelze"	MQ+→HQ	21. - 24.04.1996
"Sommer-schwacher Frontdurchgang"	MQ	27. - 30.08.1996
1997		
"Frühling-schwache Schneeschmelze"	NQ	14. - 18.04.1997
"Starkes sommerliches Hochwasser"	HQ20	05. - 11.07.1997

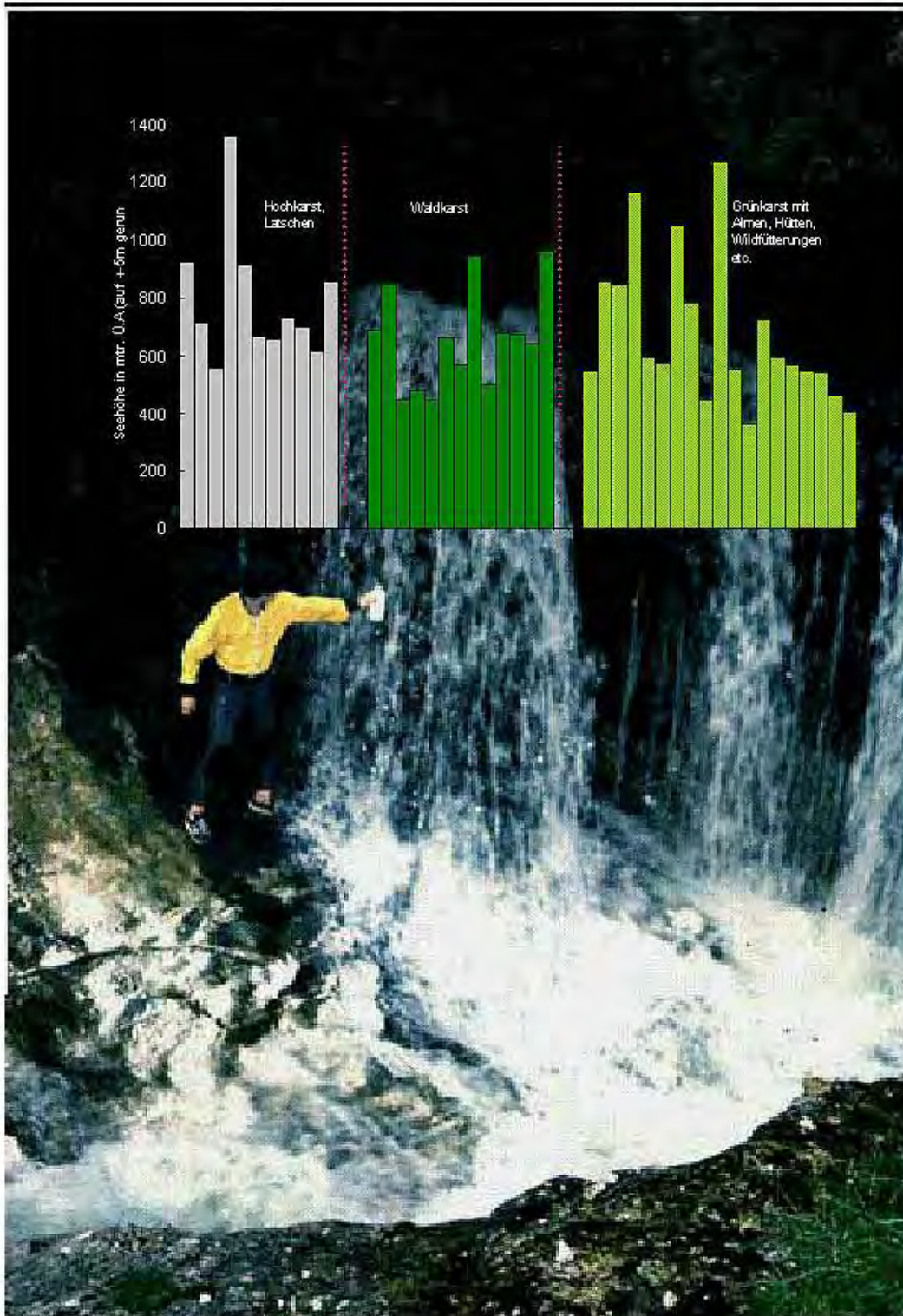


Fig. 071-2: Karstquellen-Monitoring, Höhenlage der Quellaustritte. Hintergrundmotiv: Traufquelle beim Goldloch (GOLD) in der Haselschlucht des Hintergebirges.

Karstquellen Monitoring: MUSTERGRAFIK

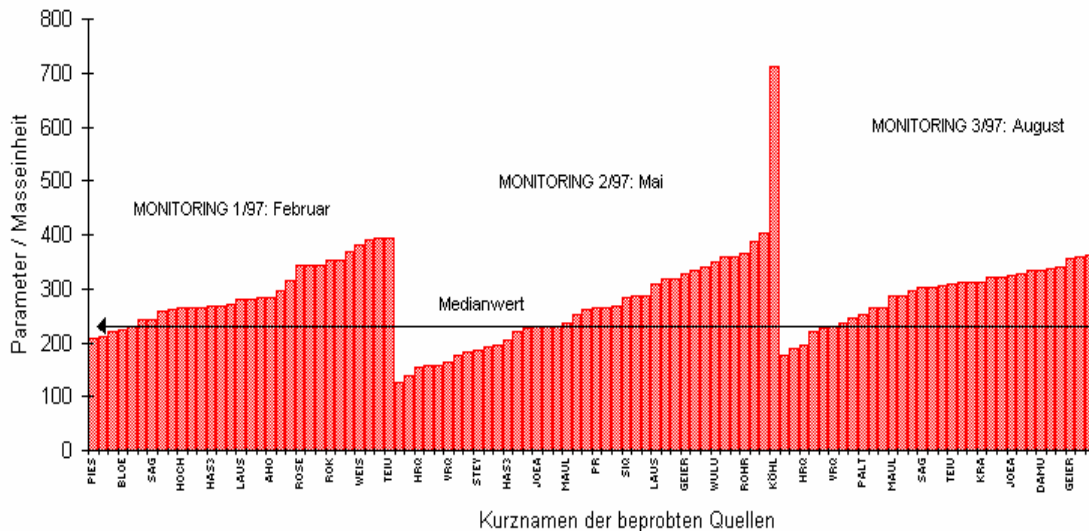


Fig. 7.1-3: Mustergrafik der Parameterdarstellungen in den Karstquellen-Monitoring Jahresberichten 1994-1997. Die Quellen sind kampagnenweise nach Wertestaffelungen gereiht, womit jahreszeitliche Trends besser erkennbar werden.

Die Quellen in den folgenden Darstellungen sind nicht nach Einzugsgebieten (Flußverzeichnis) gereiht, sondern nach drei Einzugsgebiets-Typen, da dies für die Nationalpark-Zwecke interessantere Aussagen ermöglicht. Man erkennt anhand der Karte recht gut, daß dies einer Zonierung in „Kerngebiet“, „Pufferzone“ und „Randgebiet“ entspricht.

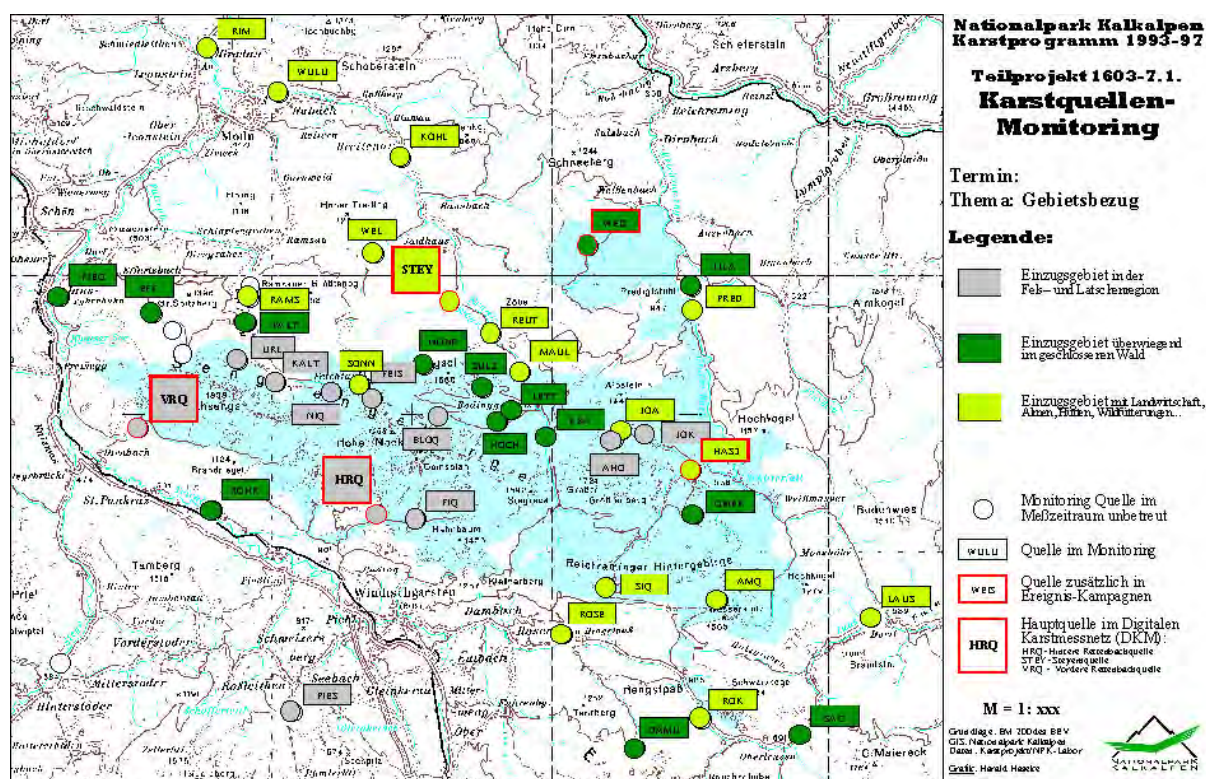


Fig.7.1-4:Einteilung der Quellen nach Einzugsgebietstypen

Typ 1, der Felskarst, geht meist mit wenigen Nutzungen und nur mangelhafter Überschirmung durch alpine Rasen, Latschen und schütterer Pionierbaumgruppen einher. Die aufgegebenen Almen des Sengengebirges fallen unter diesen Typ, den z.B. die Rettenbachquellen HRQ+VRQ und das Kaltwasser KALT repräsentieren. Tourismus und Berghütten spielen als Störquellen im Nationalpark kaum eine Rolle.

Die zweite Catchment-Kategorie weist mehr oder weniger geschlossene Waldgebiete aus, die teils kaum, großteils aber auch intensiv genutzt sind oder bis vor kurzem noch waren. Ihnen gemeinsam ist die flächig gute Überschirmung. Wir finden etliche meist kleinere Quellen im Hintergebirge und den Mollner Bergen in dieser Kategorie. Die z.T. recht „günstigen“ Werte der Quellen sind nicht nur ein Produkt intakter Waldökosysteme, sondern auch vom Aquifer aus beeinflusst: Hier sind die meisten der grundwasserhydraulisch besser gestellten Dolomitquellen versammelt, da die sehr kargen Dolomitlagen kaum von Landwirtschaft besetzt sind.

Der dritte Typ „Grünkarst“ erfaßt Waldareale mit eingestreuten landwirtschaftlichen Nutzungen, die durch Vertritt oder Düngung im hydrologischen Sinn erheblich gestört sind. Typische Fälle sind Maulaufloch MAUL und Predigtstuhlquelle PRED aus dem Ebenforst Almgebiet, die Steyrnquelle STEY von der Feichtau Alm und vereinzelte Austritte im Vorland wie die Rinnende Wand RIM (Grünlandwirtschaft). Zu den diffusen Flächeneinträgen können punktuelle Impakte durch (Hütten-) Abwässer, Wildfütterungen oder Ponorabflüsse aus Almweiden kommen.

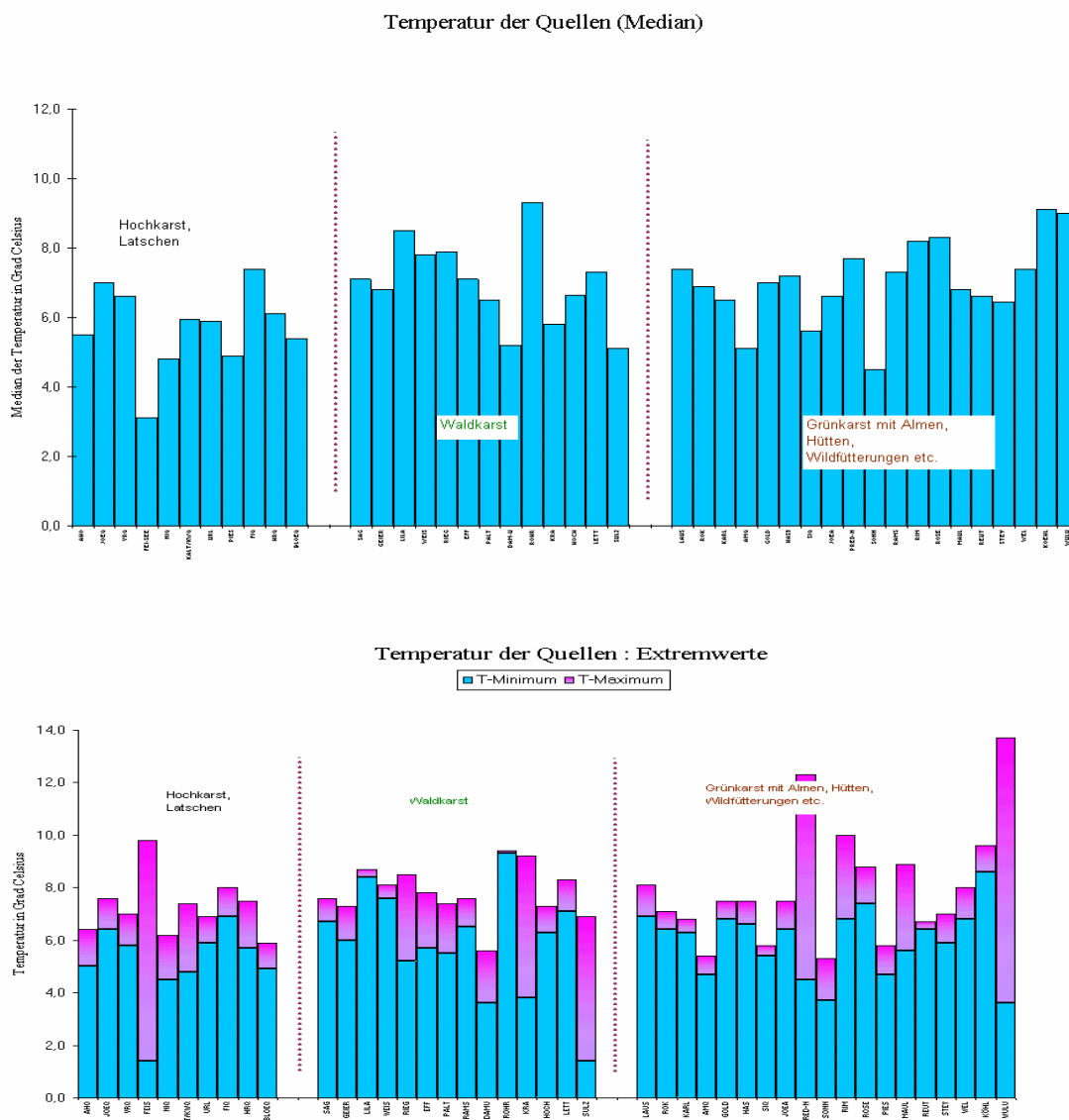


Fig.7.1-6:: Die Temperaturwerte kennzeichnen die Nationalparkquellen als dauerhaft kühl bis kalt, dennoch gibt es keine Quelle, die im Winter zufriert. Jahreszeitlich bedingte größere Extremwertschwankungen deuten auf Außeneinflüsse, kurze Wasserwege oder Umläufigkeiten hin, wie z.B. bei der Feichtauseequelle FEIS (Folgequelle aus dem See), bei der Predigtstuhlquelle PRED-N, der Krahalmquelle KRAH oder der Wunderluckenquelle WULU. Ungünstige Beprobungsstellen sind als Ursache auszuschließen, weil die Nationalpark-Messungen ausschließlich im Quellmund angelegt werden.

Manche Quellen sind sichtlich vom Aquifer aus temperiert, wie die hochgelegene Ameisbachquelle AMQ, der Pießling Ursprung PIES, die Sonntagmuerquelle (SONN, sehr kalt) oder die Quelle bei St. Pankraz (ROHR, extrem geringe Schwankung!). Vor allem für die Biologie der Quellen ist die Kenntnis dieser Amplituden wichtig.

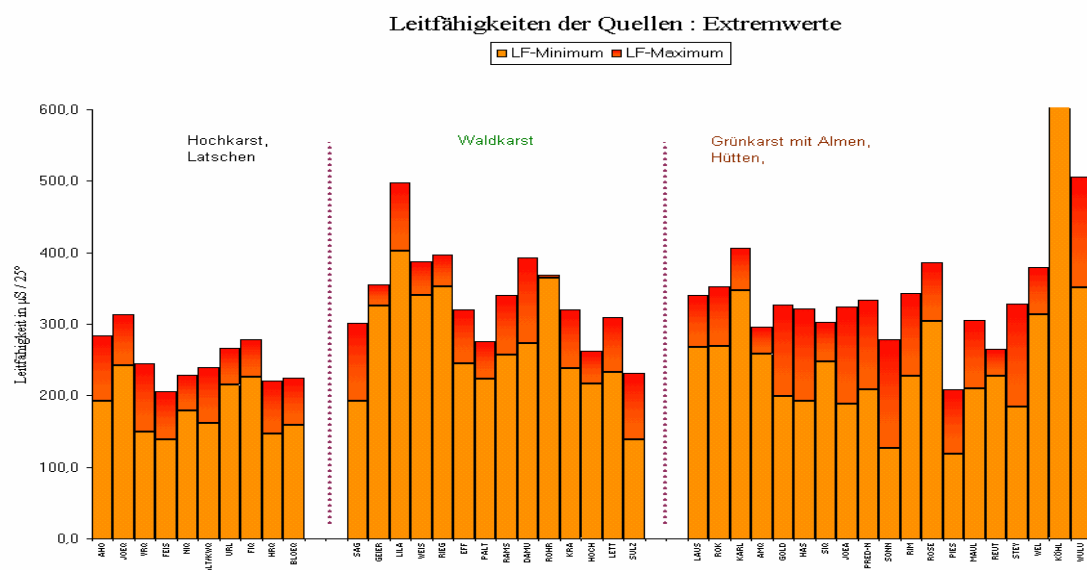
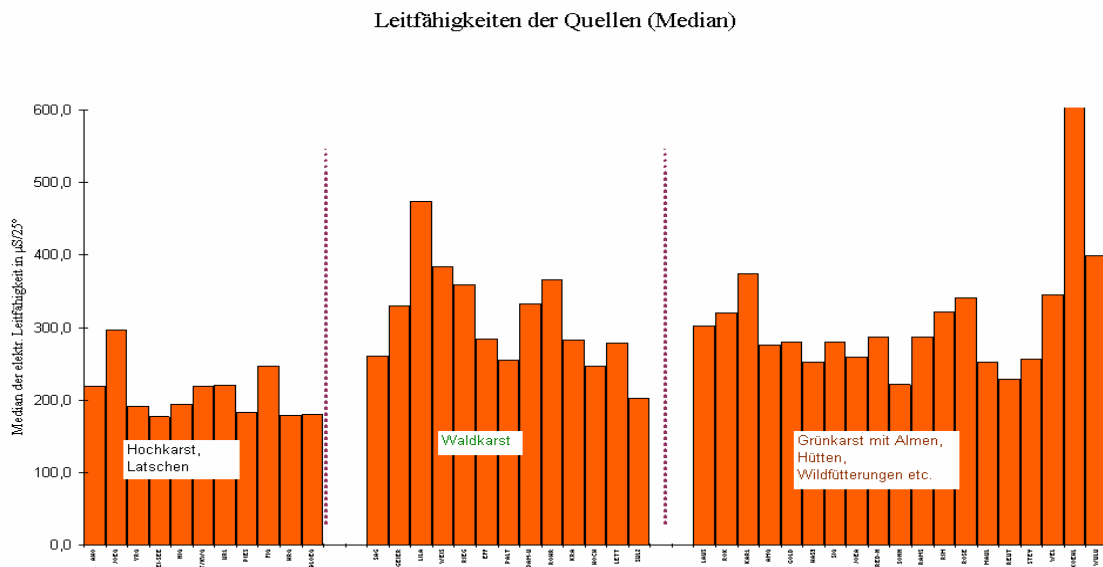


Fig7.1-7: Die Leitfähigkeiten gehen weitgehend konform mit der Gesamt- bzw. Karbonathärte. Im allgemeinen sind die Wässer des Nationalparkes eher weich, wie es für Karstverhältnisse typisch ist. Höhere Nichtkarbonathärten sind relativ selten und fast immer auf Sulfatgehalte aus Gipskontakt im Gestein zurückzuführen, wie bei der Köhlerschmiedequelle KÖHL in der Krummen Steyrling (die immer den Spitzenwert stellt) und zeitweise am Dambach-Ursprung DAMU und bei der Wunderlucke WULU bei Molln.

Weiche Quellen sind generell jene aus Karsthochlagen mit wenig Vegetation, mittelharte Vertreter finden sich vor allem in Dolomit- und Mischgebieten Kalk/Dolomit mittlerer Höhenlage. Stärker aufgehärtete Quellen entstammen zumeist tiefen Kluftwasserspeichern und/oder Gesteinen mit salinaren Horizonten.

Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes vor Ort ist sowohl für das Verständnis des Karbonatsystem wie auch für die Biologie der Quellen wichtig. Die sensiblen Parameter O_2 und Redox haben eine Revolutionierung und Standardisierung der Meßmethodik erzwungen, die im Methodikteil nachgelesen werden kann. Am allgemeinen sind die Quellen des Nationalparkes sehr gut mit Sauerstoff belüftet, der Median liegt im Sättigungsbereich und manche Karstquellen weisen durch Luftblasenbildungen sogar einen Überschuß auf, der in der Sommerphase aber abklingt.

Mäßiger, aber mit 70-80% noch immer ausreichend versorgt sind einige randliche Tiefquellen wie die Waller bei der Köhlerschmiede und in der Welchau, aber auch Quellen aus dolomitischen Feinklufsystemen, wo im Untergrund eine leichte Zehrung stattfinden dürfte. Die Absolutwerte bewegen sich zwischen 6 und 14 mg/l O_2 , der Median liegt bei 11 mg/l. Auf ein Diagramm wurde verzichtet, da die Werte in den einzelnen Gebietstypen konform gehen.

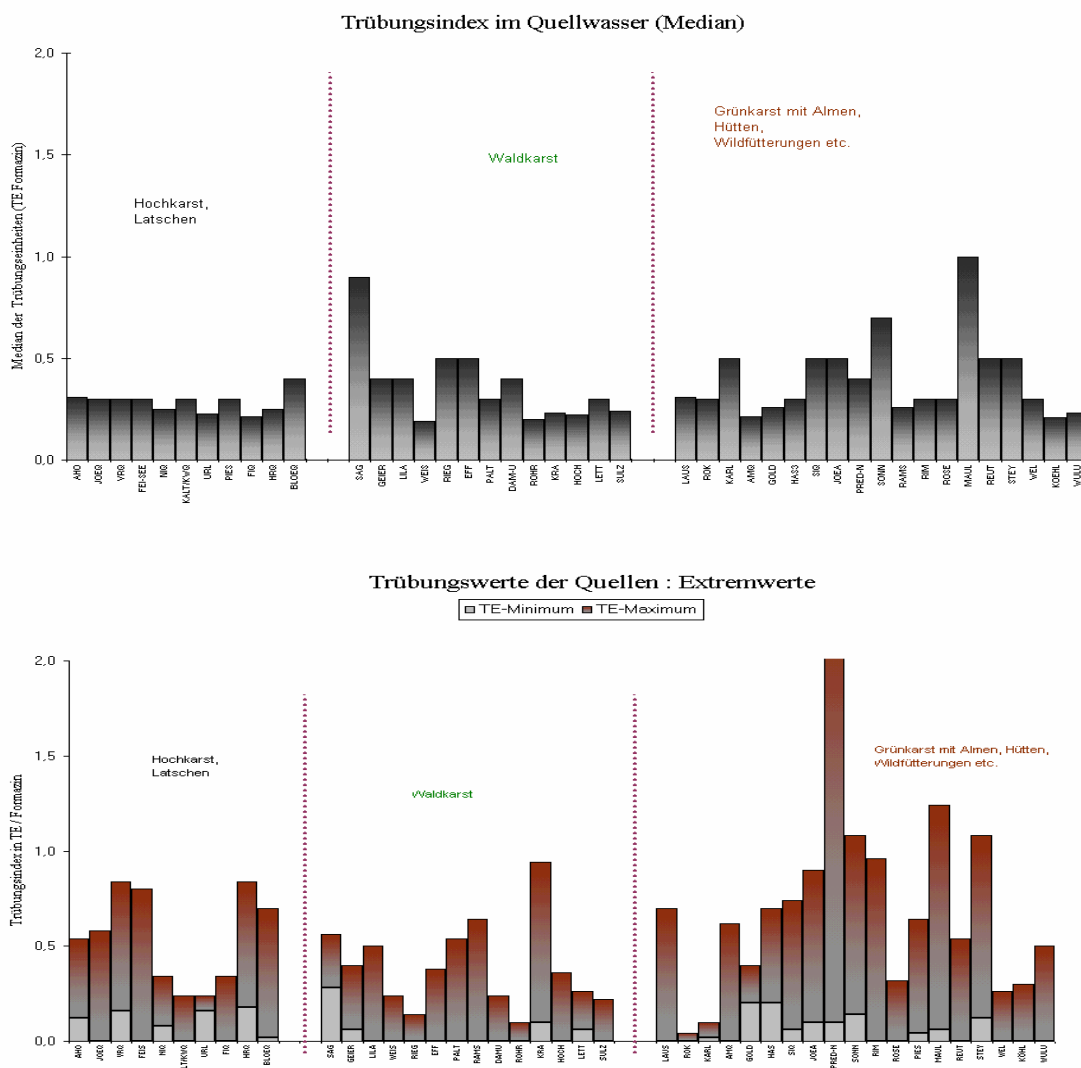


Fig.7.1-9: Trübung (Trübungsmessung in TE, Formazin-Eichung) und Feststoffe zählen ebenso wie die Huminsäurefrachten und organische Kohlenstoffe zu den wenig erforschten, aber im Nationalpark verstärkt beobachteten hydrologischen Parametern. In der Trübung gibt es mit Relationen bis 1:40 sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Quellen, sie kann v.a. bei oder nach Durchspülungen als Maß für Retention, Kluftweiten im Aquifer und auch für die ökologische Stabilität im Bodenhaushalt des Einzugsgebietes gelten. Minima um Trübung = gegen Null trifft man am ehesten in den Waldquellen an, hier treten auch eher geringere Spitzen auf. Doch spielt bei diesem Parameter auch die Seihung und Sedimentation im Gestein eine recht entscheidende Rolle.

Signifikant verschmutzte Quellen sind jene aus den voralpinen Almgebieten der Feichtau und des Ebenforstes, wo das Vieh z.T. nahe offener Ponore herumtritt. Erschwerend kommt bei diesen Quellen hinzu, daß die almwirtschaftlich genutzten Böden stets auf mergeligen Gesteinen mit hohen Feinkorngehalten aufgebaut sind, die eine in Summe höhere Erosionsrate haben als die Karstböden.

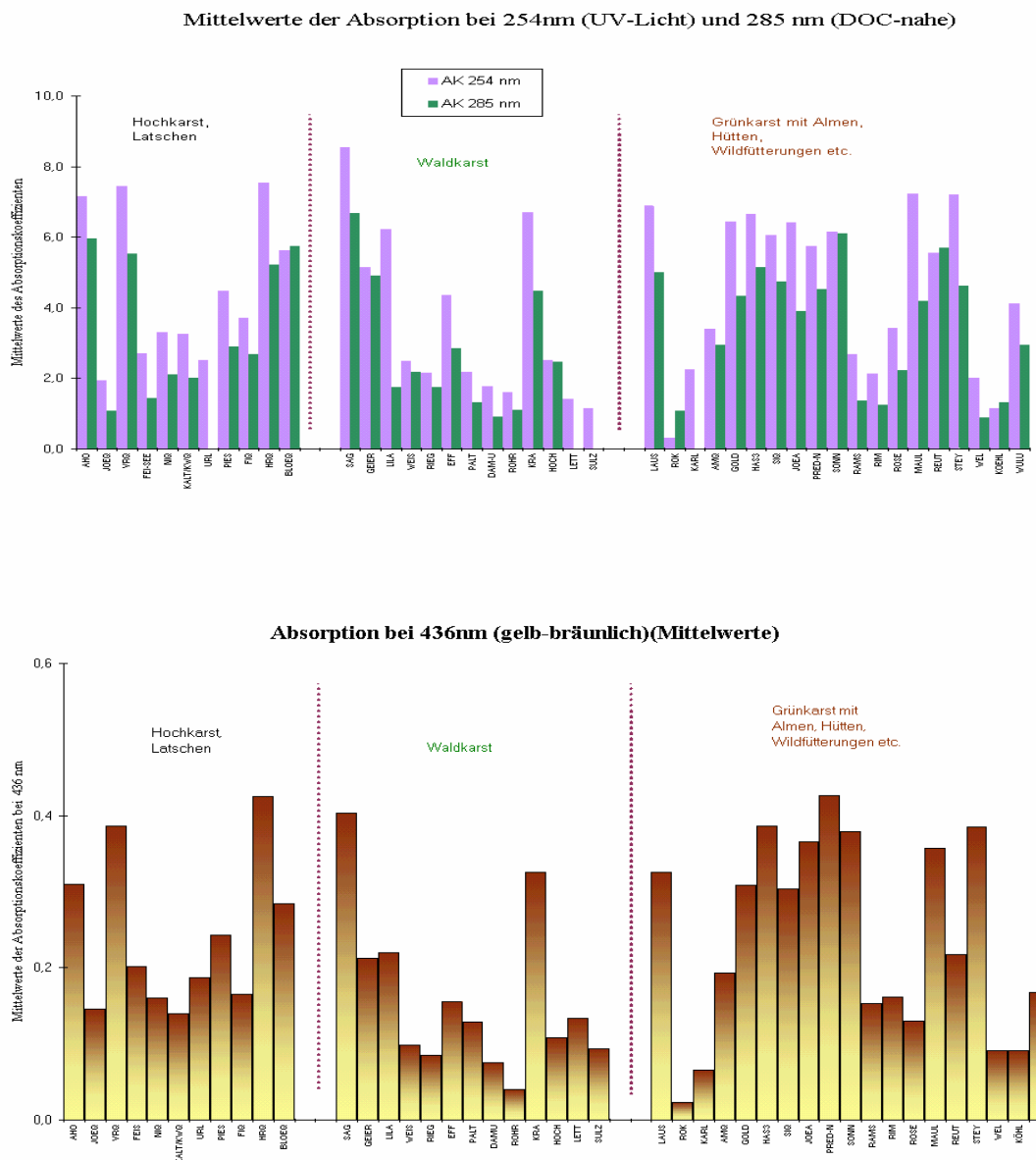


Fig.7.1-10: Die Lichtwellen-Absorptionsspektren geben eine näherungsweise Auskunft über Färbungen bzw. die diese hervorruufenden komplexeren (nicht-ionischen) Inhaltsstoffe. Neben den Spektren 254 und 436nm wurde im Zuge des Karstquellen Monitorings auch die 285 nm-Phase gemessen, die als „Huminspektrum“ interessant ist. Sie ähnelt allerdings sehr dem 254nm Modul. Die Spektren verlaufen nicht in allen Quellen synchron zur Trübe. So sind z.B. die hoch trübe- und mikrobiologiebelasteten Almgebietsquellen nicht signifikant anders gefärbt als andere große Karstquellen. Diese stellen in den Spektren 254nm durchwegs die höheren Werte, während die gut geseihten Dolomit-Kluftquellen und die Tiefquellen sehr klares Wasser führen.

Ebenfalls trendmäßig vergleichbar ist das Modul 436nm für bräunlich-gelbliche Tönung. Auch hier fallen ausgesprochene Tiefquellen mit konstanter Schüttung als sehr rein auf, während die Karstquellen mit Übersprüngen und wohl auch großen kluftinternen Umwälzungen im Spitzenfeld angesiedelt sind. Den Spitzenwert hält hier die Jörgalmquelle, die durch aktuelle quellnahe Devastierungen betroffen ist.

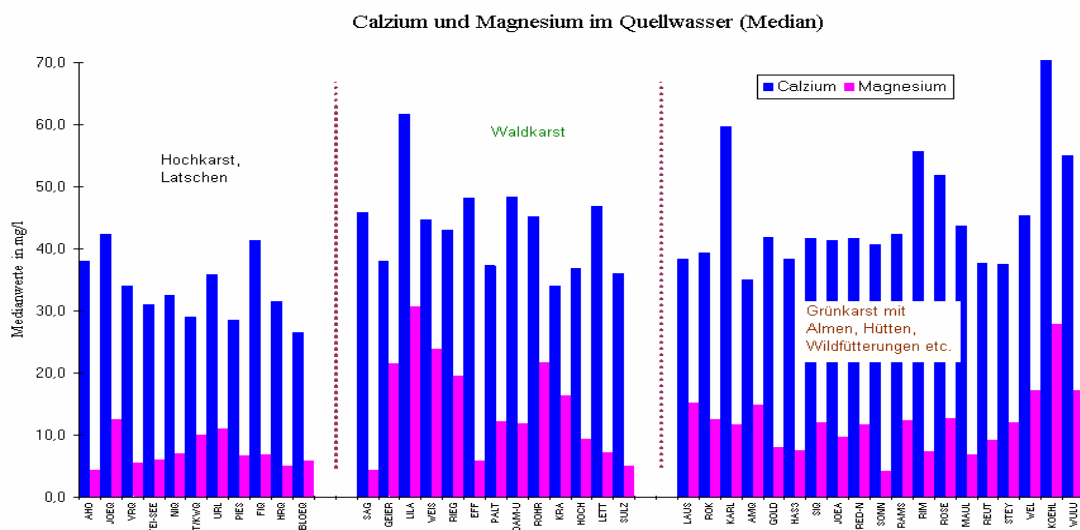


Fig. 7.1-11-: Die Erdalkalien **Kalzium** und **Magnesium** und deren Verhältnis zueinander geben wichtige Aufschlüsse über das Speichergestein und über die Verweildauer des Wassers. Im Nationalpark ist die Situation nicht selten, dass Quellen an Schuppen- oder Schichtgrenzen z.B. zwischen Wettersteinkalk und Hauptdolomit austreten. Erwartungsgemäss führen Quellen aus reinen Kalkzügen mit schnellem Durchlauf sehr wenig Magnesium, während der Mg-Gehalt bei reinen Dolomitquellen jenen des Kalziums erreichen kann. Vertreter der letzteren Gattung finden sich daher hauptsächlich im dolomitischen Hintergebirge, die Kalkkarstberge haben wenig bis mittel dolomitisierte Wässer. Die drei großen Kampagnen-Quellen der Jahre 1995-97 entsprechen den Ca-Mg-Karbonat – Haupttypen des Nationalparkes: Die HRQ (Hintere Rettenbachquellen) dem recht stabilen Hochkarsttyp mit rund 20% Mg-Anteil, STEY (Steyernquelle) dem wechselhaften Schichtgrenztyp mit meist 30-35% Mg-Anteil, teils aber auch stärker verdünnt, und WEIS (Weissenbachquelle) kann als typische Dolomitquelle mit ausgeglichenen Mg-Gehalten um fast 50% gelten.

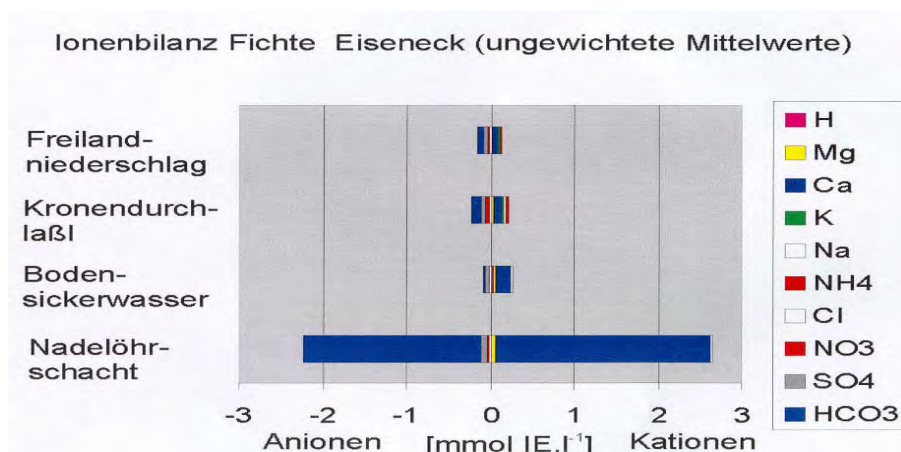


Fig. 7.1-12: Die Ionenbilanz von der Eiseneck-Testfläche belegt die äußerst rasche Aufhärtung des Bodensickerwassers unmittelbar nach dem Felskontakt und den ersten paar Metern der Gesteinspassage. Schon das frei abtaufende Tropfwasser des 12 Meter tiefen Nadelöhr-Schachtes hat Ca-Karbonatwerte, die denen der Quellen 800 Meter tiefer sehr stark ähneln. Das selbe wurde beim Mieseck-Schacht im Zuge der Pilotstudie festgestellt.

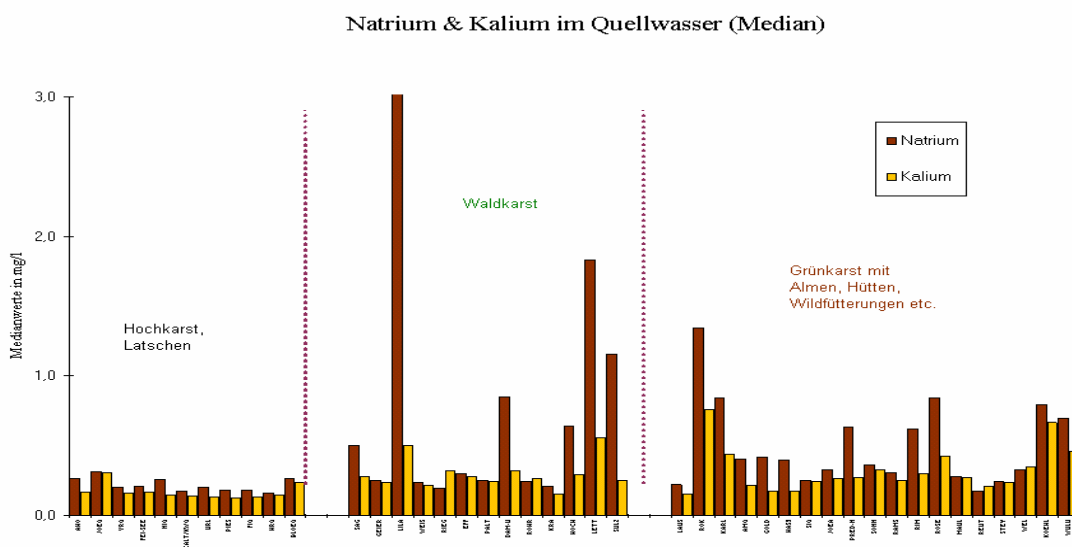


Fig.7.1-13:- Natrium und Kalium sind im Vergleich zu den Kationen Ca und Mg recht gering konzentriert. Doch ihre Gehalte geben einerseits wichtige Aufschlüsse über die Mobilität im Boden, andererseits sind Kontaminationen aus dem Gestein oder der Umwelt erkennbar. Ganz eindeutig ist dies beim Teichl-Ursprung erkennbar, der von der überbrückenden A9 eingesalzen wird. Erhöhte Na-Gehalte finden wir auch stets in Dambach Ursprung, der Rotkreuzquelle am Hengstpass, der Köhlerschmiedequelle und der Siphonquelle am Würfling (LILA). Bei den meisten sind Einflüsse aus Salinarhorizonten der tiefen bis mittleren Trias zu vermuten. Die höhere sommerliche Fracht bei den Karstquellen ist zu erwarten, weniger die erhöhte Fracht in schwachen Wintern, die bei Schmelzsituationen nach langer Kälte mit sehr wenig Schneebedeckung auftritt. Möglicherweise finden auch im Winter Auslaugungsprozesse aus dem durch Frost aufgelockerten Boden statt.

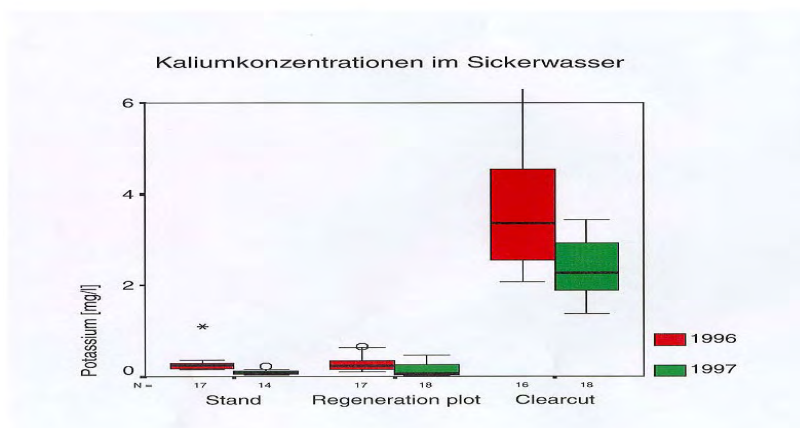


Fig. 7.1-14: Sickerwasseraustrag von Kalium aus den Testflächen des Karstprogrammes (Projekt 5.2 KATZENSTEINER). Deutlich zu erkennen der sprunghaft größere Austrag aus Kahlfächen im Wald. In den Quellen ist der Kaliumgehalt meist um ein Vielfaches geringer, bis auf Quellen wo ein unmittelbarer Eintrag in Quellnähe stattfindet.

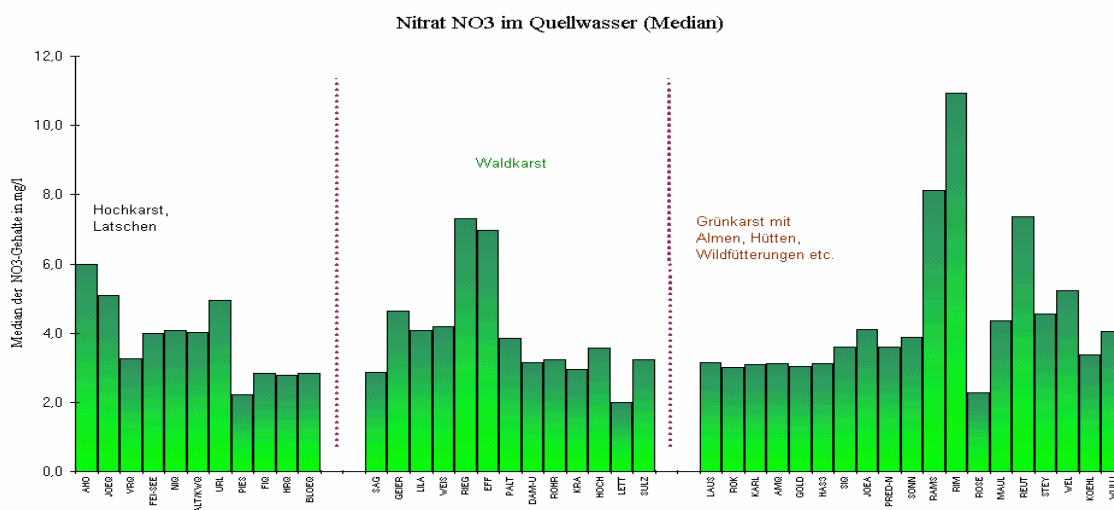


Fig. 7.1-15 : Nitrat in den Quellwässern des Nationalparks. **Nitrat** als einer der wichtigen Umweltparameter aus der landwirtschaftlichen Umweltbelastung spielt im Nationalpark keine grosse Rolle. Die höheren festgestellten Konzentrationen reichen über 10 mg/l NO_3 hinaus, betreffen aber fast nur Quellen ausserhalb des Nationalparks bzw. solche aus den randlichen Almgebieten im Norden und sind immer noch weit unterhalb der Grenzwerte für Trinkwasser. Die höchsten Werte erreicht die „Rinnende Mauer“ an der Steyr bei Molln, die angesichts intensiv bestellten Grünlandes im direkten Einzugsgebiet immer noch erstaunlich gering belastet ist. In den Hochkarst- und Waldquellen findet sich generell wenig Nitrat, da es an den Ursachen für derartige Einträge mangelt. Hie und da ist ein wenig Einfluss durch Wild (Fütterungsstellen) merkbar.

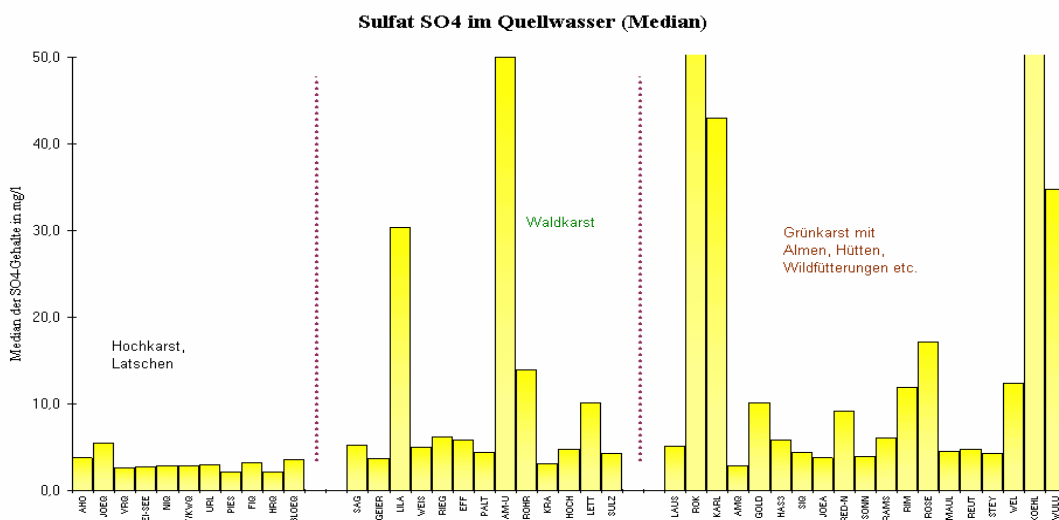


Fig. 7.1-16: Bei wenigen Parametern drückt sich der Einfluss des Speichergesteines so deutlich aus wie beim **Sulfat**. Erhöhte Gehalte sind so gut wie immer durch Salinar- bzw. Gipshorizonte im Untergrund bedingt, wie sie z.B. in der permoskythischen Trias, aber auch im Karn auftreten (Lunzer und Opponitzer Schichten). Auch im belüfteten Karst sind begrenzte Gipsbildungen als Speleotheme möglich, wie viele Funde aus Höhlen zeigen. - Die stärker sulfatführenden Quellen sind bekannt, es sind wieder Tiefquellen wie die Köhlerschmiede-, Rotkreuz- und Wunderluckenquelle, aber auch der Dambach- und Teichlursprung sowie einzelne Bergquellen aus Kontakten von Dolomit mit Lunzer oder Opponitzer Schichten, wie die Würfling Siphonquelle oder die Roholquelle in Rosenau.

Chlorid als „mobiles Ion“ spielt im Nationalpark ebenfalls keine tragende Rolle. An einigen Quellen ist eine minimale Versalzung merkbar, die aus dem Untergrund kommt, so bei der Rotkreuzquelle und im Dambach Ursprung. Z.T. sind auch Quellen im Hintergebirge (Haselschlucht, Würfling) etwas stärker betroffen. Der Spitzenreiter ist der durch die A9 - Fahrbahnsalzung betroffene Teichl Ursprung. **Nitrit** und **Ammonium** wurden eine Zeitlang gemessen, ihre Konzentration liegt aber in den Nationalparkquellen immer an oder unter der Nachweisgrenze. Ihre Erfassung ist den Spezialuntersuchungen an Böden etc. vorbehalten.

REGIONALER HANDLUNGBEDARF

Die hydrochemischen Wassermessungen weisen die Region als wenig belastetes Einzugsgebiet aus. Probleme sind die im Sommerhalbjahr stark erhöhte mikrobielle Belastung sowie die Trübefrachten. Dies betrifft vor allem Quellen aus bestoßenen Almgebieten (Feichtau- und Ebenforst/Schaumbergalm), aber auch aus wirtschaftlich stark vorgeutzten und erschlossenen Wäldern. Die Verhältnisse weisen auf teils instabile, aufgelockerte Böden auf Karststandorten hin, teils auf mangelnde Überschirmung, starke Störungen durch Forststraßen und ungünstig positionierte Wildsammelstellen (Fütterungen).



Viele Erkenntnisse aus dem Karstprogramm wurden in den als LIFE Projekt formulierten Management-Plan für das NATURA 2000-Gebiet Nationalpark Kalkalpen eingebracht. Es ist auch geplant, Quellen mit der erarbeiteten Methodik als Referenzen für die Tauglichkeit der Maßnahmen zu verwenden.

Als mögliche Maßnahmen zur hydrologischen Sanierung sind zu nennen:

- 1* Wild: Verlegung von Wildfütterungen aus sensiblen Karst- und Quellbereichen möglichst in Talnähe und auf konsolidierte Böden; ist 1997/98 weitgehend erfolgt.
- 2* Almwirtschaft: Gänzliche Unterbindung der Waldweide auf Kalkböden, Freihalten von Sumpf- und Versickerungszonen durch Auszäunen, Lagerung/Nächtigung des Viehs in Almnähe auf dafür geeigneten Böden. Ist wesentlicher Inhalt des LIFE-Projektantrages und sollte im Zuge der Managementmaßnahmen auf jeden Fall angegangen werden.
- 3* Forst: Förderung standortgerechter Bewaldung vor allem auf verkarsteten Freiflächen bzw. im Waldgrenzbereich (Überschirmung!), im Falle von Waldrückbau: Belassung von Astschnitt/Totholz/Fallholz auf defizitären AC-Böden, die dies wahrscheinlich entscheidend für die Humusneubildung auf Reinkarbonaten ist. Ist wesentlicher Inhalt des LIFE-Projektantrages und sollte im Zuge der Managementmaßnahmen auf jeden Fall angegangen werden.
- 4* Erschließung: Rasche Auflassung von nicht mehr gebrauchten Forststraßen, ev. mit gezieltem Rückbau bzw. Überpflanzung instabiler Zonen, Stabilisierung problematischer Böschungs- und Überschüttungsbereiche durch geeignete Maßnahmen. Auch dies findet sich zumindest für die Haupt-Problemgebiete im LIFE-Projektantrag.
- 5* Bauten, Entsorgung: Im derzeitigen Nationalpark Kerngebiet keine signifikanten Störungen bekannt, dennoch sollten alle zeitweise bewohnten Bauten eine funktionierende Entsorgung bzw. effiziente Trockenkompostierung aufweisen (Biwakschachtel, Hütten, Jagdhütten).

LOKALER HANDLUNGSBEDARF

1* Ameisbachquelle AMQ und Sitzenbachquelle SIQ: Beide Quellen dürften z.T. von der Weidewirtschaft der Dörfmoar-Weissenstein-Almzonen bzw. in ähnlicher Lage auch weiter westlich betroffen sein.

Maßnahmen: Auszäunung des Viehs aus dem Bereich östlich Ahornsattel (Abflußgerinne vom Wasserklotz) sowie aus den zunehmend versteinten/verkarsteten nördlichen Rückhängen entlang des Langfirstrückens.

2.* Jörglalmquelle JÖA: Nach wie vor mikrobielle Spitzenbelastungen und starke ökologische Beeinträchtigung aufgrund der Schlägerungen unmittelbar im Quellbereich sowie aufgrund der angrenzenden Wildfütterung. Möglicher Verseuchungsanteil aus Hüttenabwässern. Einer der dringendsten Sanierungsfälle im Nationalpark. Die Quelle ist ein Sonderbiotop mit einer bislang unbekannten Hydrobiidenart!

Maßnahmen: Sofortige Umzäunung des Biotops, orientiert an den Schutzbestimmungen des NP-Gesetzes, sowie standortgerechte Bepflanzung der Umgebung zur Erreichung einer Wiederbeschirmung. Kontrolle und allfällige Sanierung der Jagdhütten-Entsorgung. Kontrolle und allfällige Verlegung der Wildfütterung.

3* Vordere Rettenbachquelle/Teufelskirche VRQ: Beeinträchtigungen der Teufelskirche in Trockenzeiten durch Müll bzw. herumkletternde Ausflügler.

Maßnahmen: Die Teufelskirche sollte als gern besuchtes Ausflugsziel informativer gestaltet und ev. wegmäßig verbessert werden: Ev. hochwassersicherer Steg und als Bohlenweg ausgestalteter Pfad in die Naturbrücke, mit einer Schautafel und Hinweisen auf Reinhaltung und nicht zu viel Herumklettern (sensible Moose und Flechten).

4* Kaltwasserquelle KALT: Im Randbereich des Nationalparkes. Zeitweise Beeinträchtigung durch den Schießbetrieb, da die Granaten als Querschläger bis in den Quellbereich fliegen. Es gibt dem Vernehmen nach Pläne zur Energienutzung, die eine Zerstörung der Quelle durch eine Fassung zur Folge hätten.

Maßnahmen: Die spektakuläre Quelle sollte mit ihrer nächsten Umgebung (Bergsturz, Klamm) gesetzlich besonders geschützt werden, ein entsprechender Schutzantrag liegt als Entwurf vor. Eine energetische Fassung ist nicht notwendig und aufgrund der mäßigen NQ-Schüttung wahrscheinlich auch nicht rentabel.

5* Paltental Karstquelle PALT: Außerhalb des Nationalparkes. Nach wie vor durch alten Hausmüll sowie durch Weidevieh beeinträchtigt, beides direkt in den Quelltöpfen bzw. im Quellsumpf.

Maßnahmen: Auszäunung des Viehs und händische Räumung des Biotops vom Müll. Dies könnte im Konsensweg über das Militärkommando veranlaßt werden, da das Gelände vom Österreichischen Bundesheer aufgekauft wurde.

6*. Rinnende Mauer RIM: Außerhalb des Nationalparkes. Sehr rege als Attraktion besuchte, aber durch Abbaupläne bedrohte einmalige Traufquelle im Nagelfluh der Steyrerschluft. Die

Quelle weist als Sonderbiotop ungewöhnliche Floren- und Faunenelemente auf, sie wird als wissenschaftlich höchstrangig bezeichnet.

Maßnahmen: Veranlassung/Förderung einer genauen ökologischen Dokumentation, Initiative für die gesetzliche Absicherung, ein entsprechender Schutzantrag liegt als Entwurf vor.

7* Hintere Rettenbachquelle HRQ: Verschlungene und häßlich verdrehte rostige Stahlseile aus ehemaliger Holzbringung im Bachbett des Übersprunges Höhleneingang Gitter seit Jahren beschädigt, daher keine effiziente Absperrung. Sonst keine Probleme, sehr hoher Erlebnis- bzw. Schulungswert aufgrund der Ausprägung.

Maßnahmen: Entfernung der für Mensch und Tier gefährlichen Drahtseilschlingen (muß durchtrennt werden), Reparatur des Gitters im Höhleneingang, wie seit Beginn 1997 vereinbart. Der Quellhorizont sollte als Musterbeispiel für verschiedene Erscheinungsformen von Karstquellen gemeinsam mit dem Talzugang für einen Lehr- und Erlebnispfad adaptiert werden. Ein möglicher Rundweg mit Stationen wurde bereits abgegangen (Haseke/Pölz/Stückler) und liegt als protokollarische Ideensammlung vor.

8* Predigtstuhlquelle PRED, Maulaufloch MAUL und eine Reihe kleinerer Quellen: Am Rand des Nationalparkes. Sehr hohe mikrobielle und Trübebelastung aus dem Wald- und Almgebiet des Ebenforstes.

Maßnahmen: Eine Sanierung kann nur in kleinen Schritten erfolgen. Wesentlich erscheint eine Rücknahme von Nutzungen bzw. direkten Weidevieh - Kontaminationen in den stärker karstigen bzw. von Versickerungen (Schwinden, Dolinen) gekennzeichneten Bereichen. Im Unterschied zu großen Karstplateaus sind diese im Ebenforst recht exakt zu definieren und eine erste Zäunung der ärgsten Problembereiche wäre rasch durchführbar. Ist z.T. Inhalt des LIFE-Projektantrages.

9* Steyern Quelle STEY und eine Reihe kleinerer Quellen: Am Rand des Nationalparkes. Sehr hohe mikrobielle und Trübebelastung aus dem Wald- und Almgebiet der Feichtaualm und des Jaidhaus- und Farntalgrabens. Sehr attraktive, wenig bekannte Wasserfallquelle.

Maßnahmen: Eine Sanierung des Einzugsgebietes kann auch hier nur in kleinen Schritten erfolgen. Wesentlich erscheint eine Rücknahme von Nutzungen bzw. direkten Weidevieh - Kontaminationen in den stark karstigen und z.T. von Mooren, Versickerungen und offenen Schwinden und Dolinen geprägten Waldbereichen. Schon die Zäunung der ärgsten Problembereiche ist ein großes Vorhaben und wäre wahrscheinlich mit eigentumsrechtlichen Eingriffen und technischen Problemen behaftet. Doch ist die Verjüngungssituation des Feichtauer „Urwaldes“ dramatisch und wird möglicherweise erst mit einem Gesamtzusammenbruch des Bestandes einsetzen. Ist z.T. Inhalt des LIFE-Projektantrages.

Die spektakuläre Steyern Quelle sollte mit ihrer nächsten Umgebung (Quelltobel mit über 30 Moosarten und sehr hoher Biodiversität) gesetzlich besonders geschützt werden, ein entsprechender Schutzantrag liegt als Entwurf vor.

DIE EREIGNIS- ODER INTENSIVKAMPAGNEN

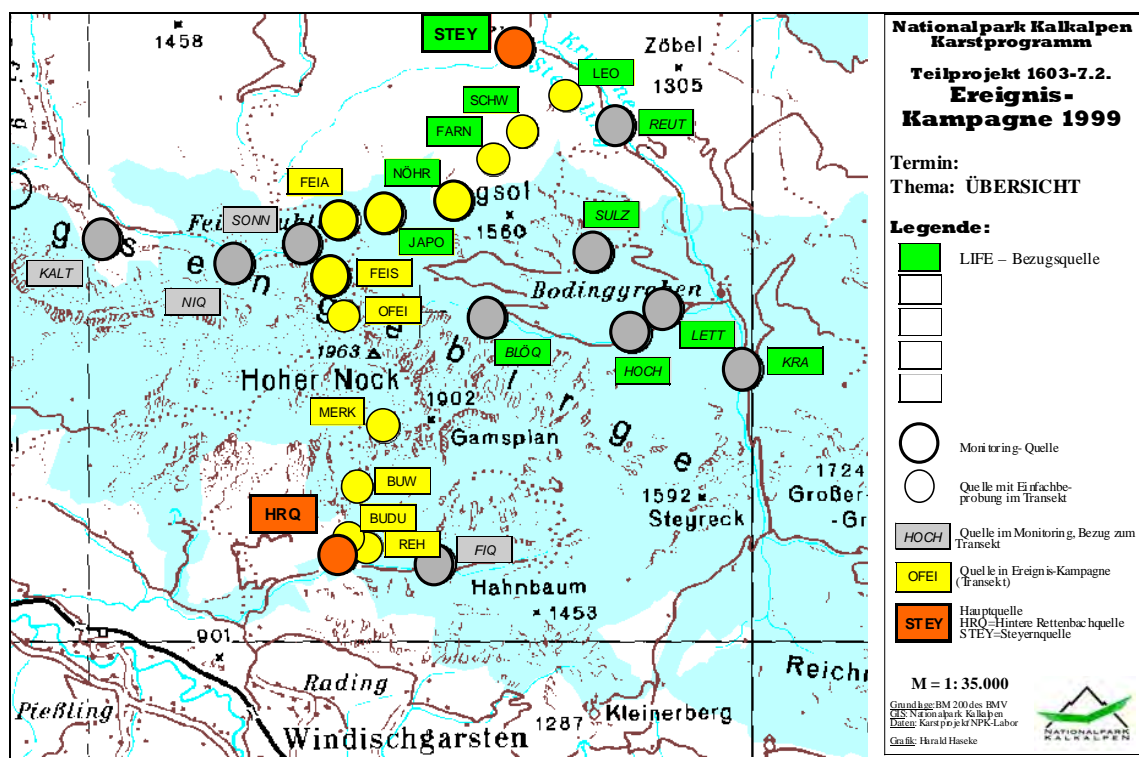


Fig. 7.2.-1: Übersichtskarte der im Transekt Steyern-Hoher Nock-Rettenbach beprobten Quellen im Höhenprofil und der Hauptquellen.

Die Intensiv- oder Ereigniskampagnen sind die eigentliche Schwerpunktsetzung des Nationalparks bei den Quellen. Das Meßteam versuchte, mit zeitlich sehr enger Staffelung der Meßrhythmen die interne Dynamik und Schwankungsbreite zu ergründen – von der man ja ansonsten nur Zufalls-Stichproben erhält. Folgende Quellen waren im Projektzeitraum 1994-97 integriert:

(Hintere) Rettenbachquelle HRQ: Einzugsgebiete des Reinkalk-Felskarst-Typs (ca. 1000-2000m) mit subalpinen Standorten und reichlich vorhandenem *Pinus mugo*. Die Untersuchungen beinhalten ein großes Höhlensystem (Rettenbachhöhle), das mit den seichtphreatischen Zonen der Karstquellen korrespondiert. Ergänzend zu den Quellen und Abflüssen wird das Teilprojekt 9. [intermittent streams] durchgeführt.

Steyrquelle: Einzugsgebiete des Mischkalk-Grünkarst-Typs (ca. 700-1500m) mit montan-subalpiner Bewaldung und Almen. Bei Überflutung wird die Karstquelle stark mit Sedimenten und Mikroben verschmutzt. In speziell untersuchten Gebieten wird der

Eintrag in das vadose Karstsystem mit standardisierten Methoden der Boden- und Waldökologie gemessen.

Weissenbachquelle: Einzugsgebiete des Dolomit-Waldkarst-Typs (ca. 500-1100m) mit submontanen Waldstandorten. Das Wasser der Kluftquelle ist sehr rein. Im korrespondierenden Einzugsgebiet Zöbelboden führt die Umweltbundesamt ein UN-ECE-Monitoring Programm durch.

Die Ereigniskampagnen des Kalkalpen Forschungszentrums sind das Bindeglied der Quartalsmessungen zu den automatischen Wassermessstationen, die vom Hydrographischen Landesdienst und dem Umweltbundesamt betreut werden. Diese Meßgeräte zeichnen die Schüttung verschiedener Quellen und zufließender Gerinne auf, an drei Stellen messen sie außerdem Temperatur, Leitfähigkeit sowie wahlweise Trübung und pH-Wert. Die meisten dieser Stationen wurden im Rahmen der Österreichischen Wassergüte-Erhebungs-Verordnung (WGEV) gebaut, doch stehen die Aufzeichnungen dem Nationalpark zur Verfügung.

Ereigniskampagnen wurden früher vorzugsweise bei Hochwasser durchgeführt, z. B. in Regenperioden oder während der Schneeschmelze. In letzter Zeit wurden auch Kampagnen bei ruhiger Niederwasser veranlaßt.

Die E-Kampagnen sind bei Berichtsdatum noch in Auswertung, da hier sehr komplexe Faktoren zum Wirken kommen. Der vorliegende Report gibt daher nur einen kleinen beispielhaften Einblick in den Ertrag solcher Intensivmeßreihen. Diese „Fenster“ bestätigen, daß man mit den Stichprobenanalysen von Einfachbeprobungen oder auch von Quartalskampagnen nur einen kleinen Bruchteil eines Teilsegmentes möglicher Systemzustände kennen kann.

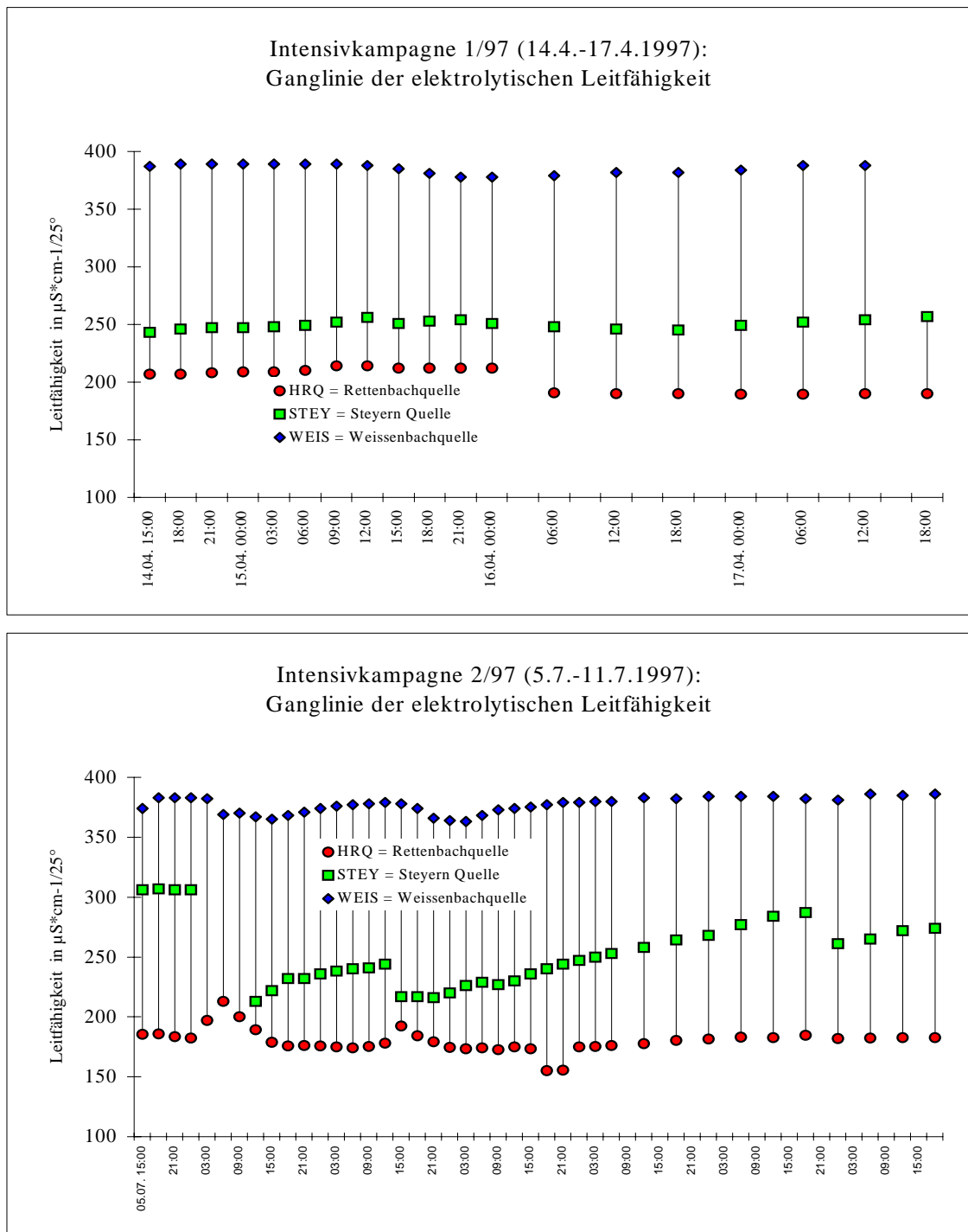


Fig. 7.2-2: Ereigniskampagnen: Vergleich der drei Quelltypen HRQ, STEY und WEIS 1997 über die Leitfähigkeit. Die Quellen reagieren sehr unterschiedlich auf die Hochwasserwelle im Juli 1997.

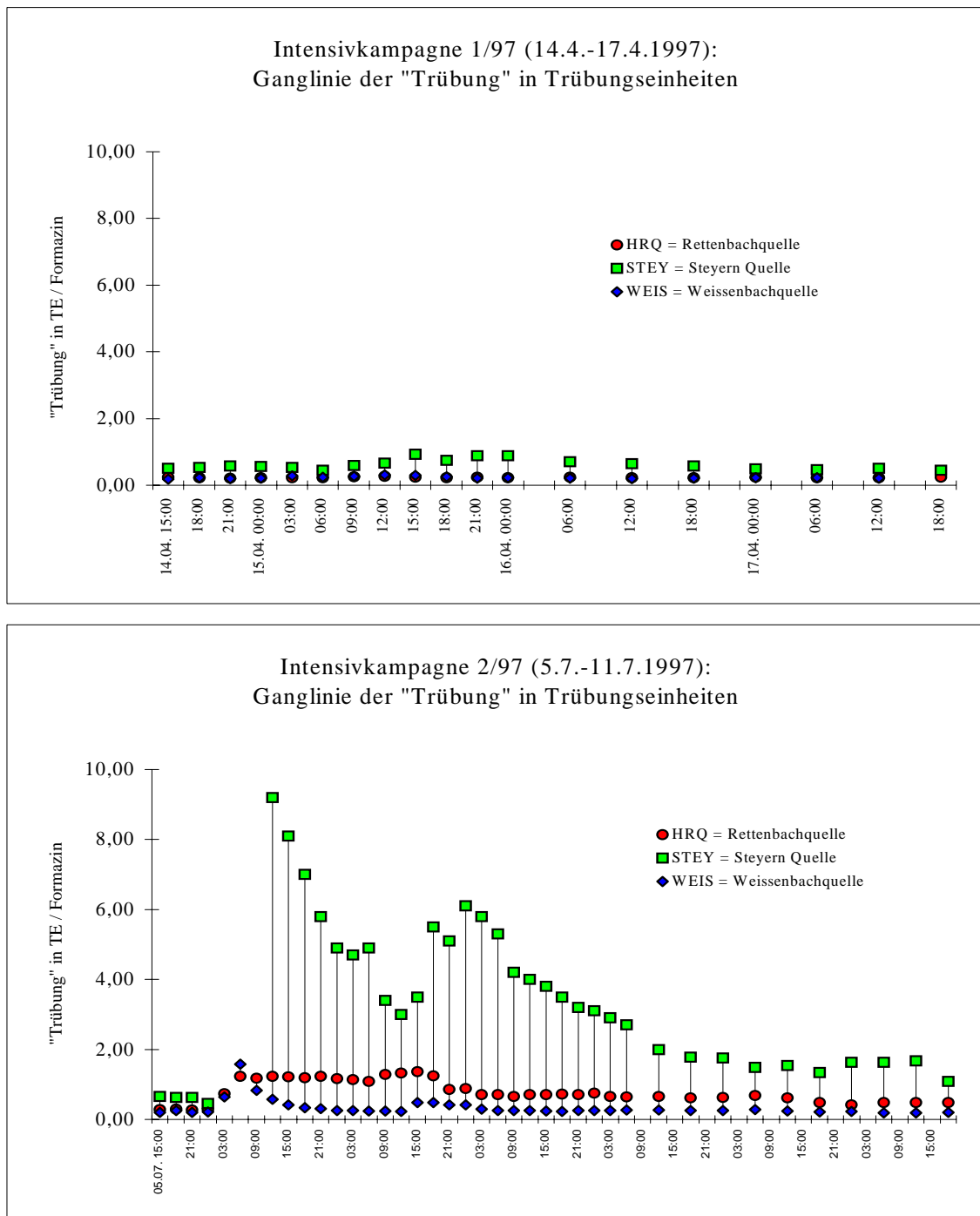


Fig. 7.2-3: Ereigniskampagnen Vergleich der drei Quelltypen HRQ, STEY und WEIS 1997 über die Trübung. Auffallend die auch optisch wahrnehmbare Streubreite der Steyrnquelle auf das Hochwasser.

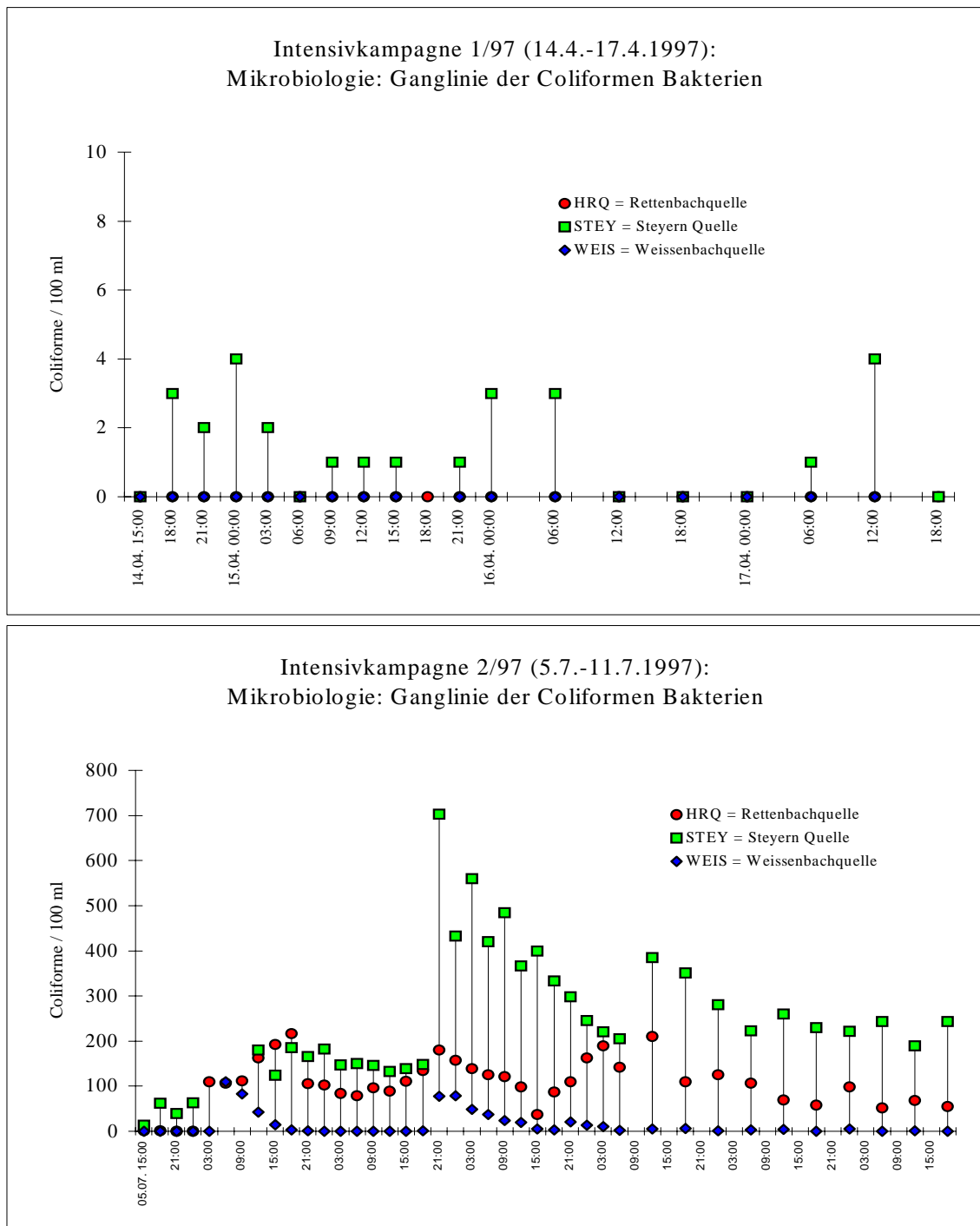


Fig. 7.2-4: Ereigniskampagnen: Die Bakterienfrachten gehen sehr schön mit den Hochwasserwellen konform. Bei der Weißenbachquelle wird allerdings vermutet, daß bei starkem Regen eine Kontamination aus dem umgebenden Erdreich erfolgen könnte.

HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Gesamtüberblick (Hydrogeologische Auswertungen)

DATENEVALUIERUNG, STATISTIK UND UMWELTISOTOPEN

Teilprojekt AZ. 8.2 (R. Benischke)

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit (in $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 25 °C) kann als Näherungswert für die Mineralisierung an gelösten ionogenen Stoffen betrachtet werden. Für die Abschätzung der Gesamtmineralisierung in mg/l aus der gemessenen Leitfähigkeit existieren Umrechnungsmöglichkeiten, die auch bei der Qualitätsbeurteilung der hydrochemischen Analysen angewendet wurden. Solange die Wässern Lösungen ausreichender Verdünnung darstellen und keine geogenen Besonderheiten aufweisen, liegt der überwiegende Anteil der gelösten Stoffe in ionogener Form vor. Bei höheren Mineralisierungen erfolgt die Bildung von neutralen Komplexen, die der Leitfähigkeitsmessung nicht zugänglich sind.

In der Darstellung werden einfache Histogramme zur elektrischen Leitfähigkeit mit Bezug auf unterschiedliche Gesteinseinheiten bzw. auf das gesamte Datenkollektiv dargestellt. Herangezogen wurden sämtliche Messungen aus der Quelldatenbank und diese nach der geologischen Spezifizierung des Festgesteins (im Beispiel Opponitzer Schichten und Wettersteinkalk) an der Quelle geordnet. Die Leitfähigkeiten sind dabei bis auf die Badhausquelle TROJ aus dem Flysch des Wurbauerkogels (36-06-13-BB) mit 2528 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alle innerhalb eines Bereiches von etwa 100-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ verteilt, wobei die genannte Einzelquelle mit 1345 mg/l SO_4^{2-} eine typische Gipsquelle darstellt. Die überwiegende Anzahl der Quellen teilt sich den Bereich 100-450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, eine geringe Anzahl weiterer den Bereich 450-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Letztere sind ebenfalls sulfatbetonte Quellen und stehen meist im Zusammenhang mit den im Mollner Becken verbreiteten Gipsvorkommen.

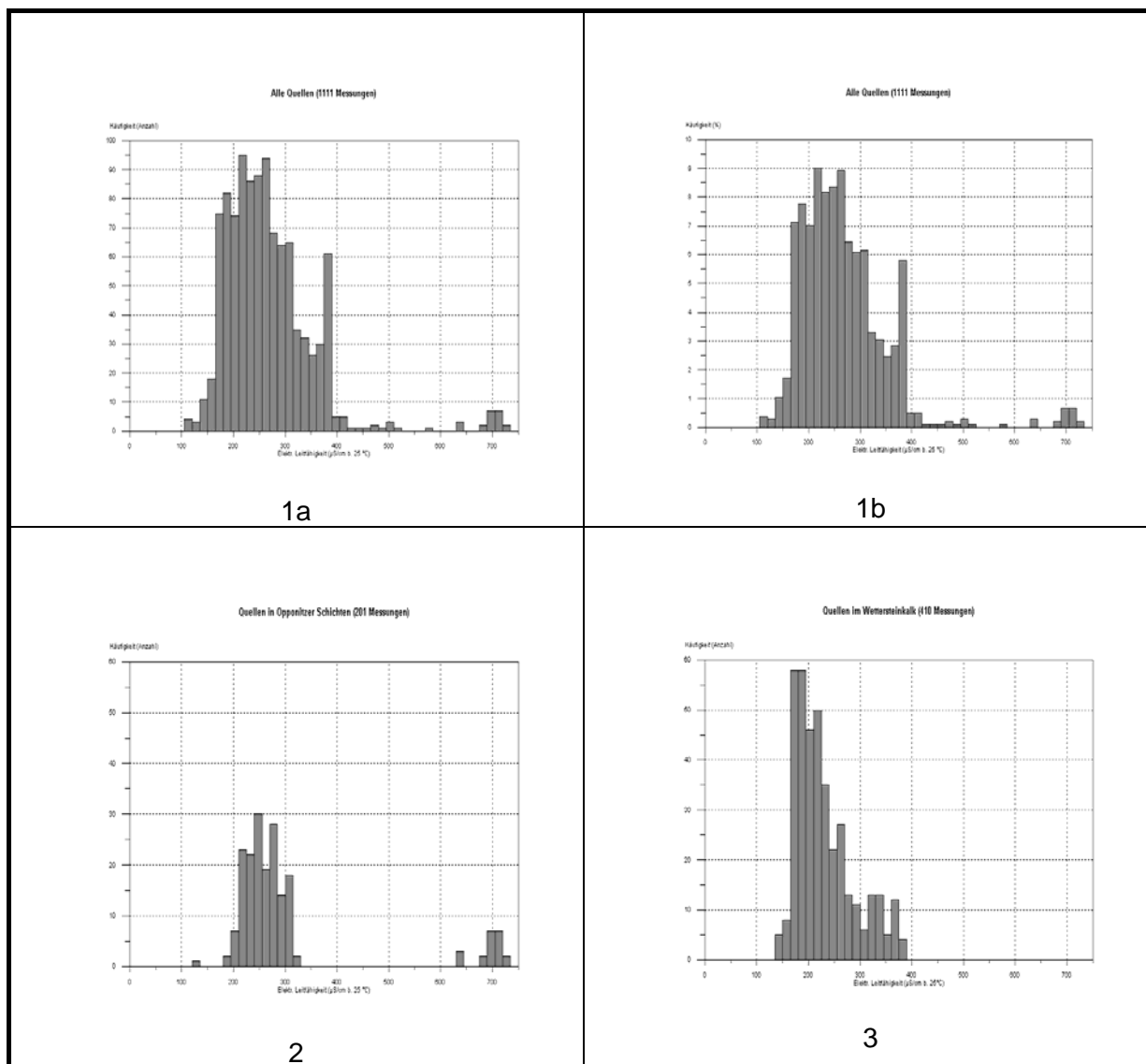


Fig. 7.1-17: Histogrammdarstellungen (50 μS -Klassen) der elektrischen Leitfähigkeit von Quellwässern des Nationalparkgebietes gegliedert nach geologischen Einheiten. 1a = Verteilung aller vorhandenen Messungen im Bereich 0-750 $\mu\text{S/cm}$ (1111 Werte), 1b = Prozentuale Verteilung aller Messungen, 2 = Quellen in Opponitzer Schichten (201 Werte), 3 = Quellen im Wettersteinkalk (410 Messungen). Fig. 2: Histogrammdarstellungen (50 μS -Klassen) der elektrischen Leitfähigkeit von Quellwässern des Nationalparkgebietes gegliedert nach geologischen Einheiten. 1a = Verteilung aller vorhandenen Messungen im Bereich 0-750 $\mu\text{S/cm}$ (1111 Werte), 1b = Prozentuale Verteilung aller Messungen, 2 = Quellen in Opponitzer Schichten (201 Werte), 3 = Quellen im Wettersteinkalk (410 Messungen).

pH-Wert und Redox-Potential

Der pH-Wert eines Quellwassers ist für sich alleine kein Parameter, mit dem ähnlich wie bei der Leitfähigkeit unmittelbar auf Einflüsse des Substrates geschlossen werden kann. Insgesamt wurden bei ca. 39 % aller pH-Messungen Werte über 8 festgestellt, die auf eine entsprechende CO_2 -Entgasung hindeuten. Eine einfache Korrelation mit

einem anderen chemischen oder physikalischen Meßparameter existiert nicht, sondern kann nur über die detaillierte Untersuchung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts erfolgen.

Das Redox-Potential dient ähnlich wie der pH-Wert als Parameter zur Beschreibung bestimmter chemisch-physikalischer Zustände und kann ebenfalls nicht isoliert für sich betrachtet werden. Während der pH-Wert den Zustand des für ein bestimmtes Wasser maßgebenden Säure-Base-Systems als Kennwert beschreibt, dient das Redoxpotential zur Beschreibung von Reduktions- bzw. Oxidationsprozessen. Da es sich bei diesen Prozessen - wie beim pH-Wert - um die Einstellung oder den Erhalt eines dynamischen Gleichgewichtes handelt, das mehreren Einflußfaktoren unterliegt, stellt auch das Redox-Potential gewissermaßen nur eine Art "Summenparameter" dar. Von Bedeutung ist das Redoxpotential vor allem bei der Beurteilung der Mobilität von Metallspezies oder von organischen Substanzen im Wasser, die aus biogener Umsetzung stammen.

Da das Redoxpotential sich als Mischpotential, unterschiedlicher Redox-Reaktionen (Elektronen-Übertragungsreaktionen) darstellt, kann von vornherein nicht festgestellt werden, welche Spezies genau davon betroffen ist. Aus der Wasseranalyse wird ersichtlich, welche Spezies von Redoxreaktionen betroffen sein könnte. Da Sauerstoff in gut durchmischten Karstaquifern in den meisten Fällen das wichtigste Oxidantium darstellt, sind oxidierende Bedingungen, d.h. positive Meßwerte, aufgrund des relativ hohen Sauerstoffeintrags aus der Atmosphäre zu erwarten, während dort, wo dies nur verlangsamt erfolgt oder z.B. der Eintrag organischen Materials festgestellt wird oder wie im Porengrundwasser mit geringeren Umsätzen reduzierende Bedingungen wahrscheinlicher sind. Die Richtigkeit von Redoxmessungen in stark an Sauerstoff angereichertem bis gesättigtem bzw. übersättigtem Wasser gilt trotz technisch korrekter Durchführung (L. SIGG & W. STUMM, 1996) als nur beschränkt aussagekräftig. Bei normaler Sauerstoff-Sättigung sind Redoxpotentiale immer im Positiven zu erwarten, wobei allerdings die Korrelation nicht sehr ausgeprägt sein muß. Aus diesem Grund erwies sich die Messung des Redoxpotentials bei Karstquellen als wenig zielführend und kann daher in Zukunft unterbleiben.

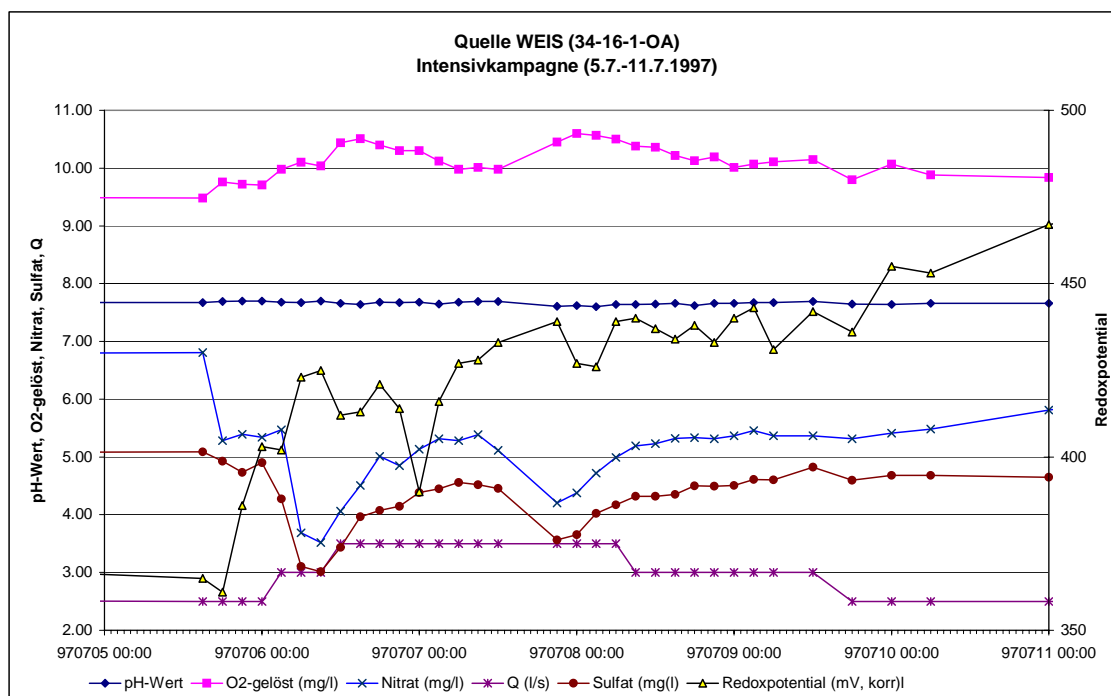


Fig. 7.1-18: Bei dieser Meßkampagne an der Quelle WEIS läßt sich trotz einer möglichen Abhängigkeit vom Einsetzen einer erhöhten Schüttung ein Zusammenhang des Redoxpotentials mit den dargestellten Parametern nicht schlüssig behaupten.

Gelöster Sauerstoff und Sauerstoff-Sättigung

Die Messung des gelösten Sauerstoffs in Quellwässern dient neben der ergänzenden hydrochemischen Beschreibung als Basisparameter zur Abschätzung des Ausmaßes aerober Verhältnisse. Bei den Quellen des Nationalparkgebietes ist ein mehr oder weniger hoher Gehalt an gelöstem Sauerstoff zu erwarten, da die Quellwässer in den allermeisten Fällen aus gegenüber der Atmosphäre offenen Systemen stammen.

Die Messung erfolgte ausschließlich elektrometrisch mit einer Kalibrierung gegenüber wasserdampfgesättigter Luft. Unter dem jeweils herrschenden Luftdruck und der jeweils herrschenden Quellwassertemperatur müßte sich bei den Quellen ein Sauerstoffsättigungs-index einstellen, der den theoretischen Ansätzen über die Druck- und Temperaturabhängigkeit entspricht. Berechnet man nun den für die jeweilige Seehöhe maßgebenden theoretischen Luftdruck, die zugehörige bei der entsprechenden Temperatur sich einstellende Wasserdampf-sättigung und somit den Sauerstoff-Partialdruck, dann läßt sich dieser mit den vor Ort gemessenen Werten vergleichen. Selbstverständlich sind Abweichungen zu erwarten, doch sollten sich diese in engen Grenzen halten.

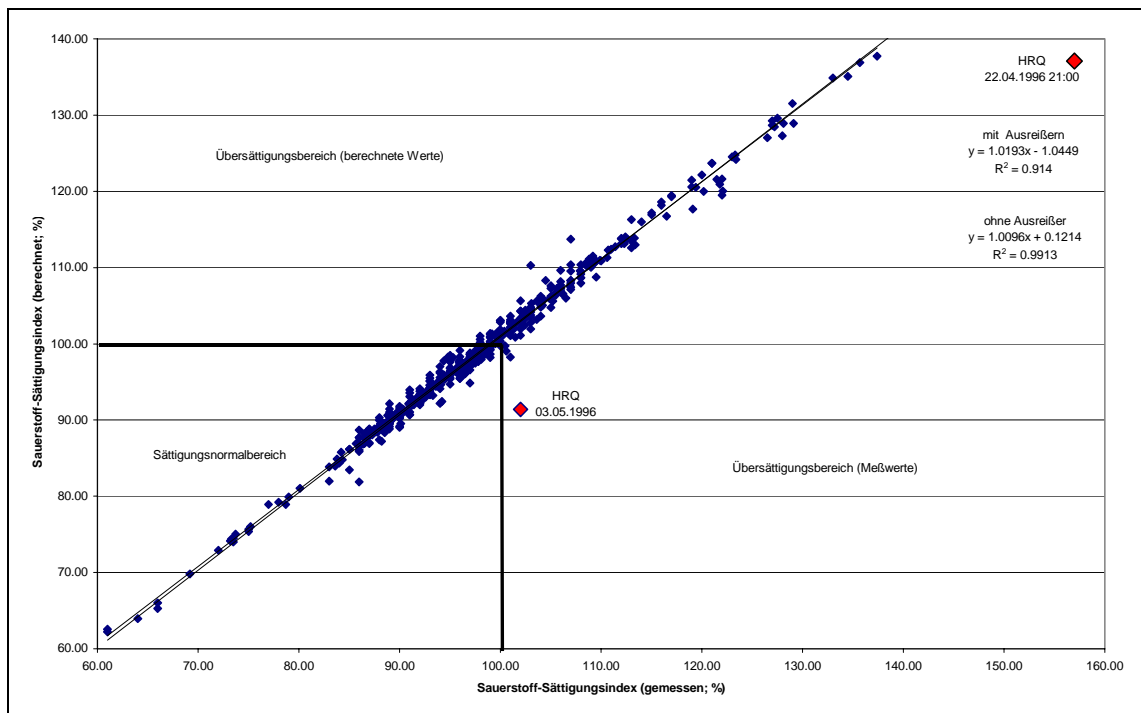


Fig. 7.1-19: Zusammenhang zwischen gemessenem und berechnetem Sauerstoff-Sättigungsindex. Die nach einem linearen Modell gerechnete Regression zeigt einen sehr hohen korrelativen Zusammenhang, bei dem sich das Bestimmtheitsmaß bei Ausschluß der als Ausreißer betrachteten Werte an der Quelle HRQ (22.4. und 3.5.1996) von 0.914 auf 0.9913 erhöht.

Unter den gemessenen Werten treten zahlreiche mit einer Sauerstoffsättigung über 100% auf, einige bis knapp unter 140%. Eine Sauerstoffsättigung von 100% würde sich nur bei einem Gleichgewicht mit der Atmosphäre und ohne Sauerstoff produzierende oder konsumierende Prozesse ergeben, da dann nur mehr ein diffusionsgesteuerter Austauschprozeß bis zum Einstellen des Gleichgewichts stattfindet. Unter Abwesenheit chemischer oder biogener Sauerstoffzehrung oder -produktion ist eine Übersättigung dann zu erwarten, wenn ein zusätzlicher Sauerstoffeintrag unter erhöhtem Druck stattfindet und sich bis zum Quellaustritt kein Gleichgewicht einstellen kann. Eine andere Möglichkeit für überwiegend bis ausschließlich gravitativ entwässernde Systeme besteht in den großen Temperaturunterschieden zwischen Infiltrationswässern und der Lufttemperatur zu Zeiten der Schneeschmelze. Da die Sauerstofflöslichkeit mit sinkender Temperatur zunimmt und zu Zeiten der Schneeschmelze ein überaus hoher Wasserdurchsatz erfolgt, kommt es aus kinetischen Gründen auch bei großen Turbulenzen im Quellsystem nicht zu einer Angleichung an den Partialdruck der Atmosphäre.

Trübung, Abfiltrierbare Stoffe

Die im Labor gemessene Trübung und die Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe sollten in einem deutlichen korrelativen Zusammenhang stehen. Beide stellen ein Maß für die Menge an suspendierten Partikeln dar, allerdings werden die Daten auf unterschiedliche Art und Weise gewonnen und bei den abfiltrierbaren Stoffen eine Filtration vorgeschaltet.

Die **Trübung** wird nach den Normverfahren mit einem Photometer gemessen, welches mit einem per Konvention festgelegten Standard kalibriert wird. Neben den Einflußfaktoren der Partikelkonzentration, ihrer Form, ihrer Größe und Oberflächenbeschaffenheit spielt auch die verwendete Wellenlänge des einstrahlenden Lichtes und die Meßgeometrie eine wichtige Rolle (W. SIGRIST, 1975; DVGW, 1976; H. ENGELSINK, 1981).

Bei der **Bestimmung der Menge an abfiltrierbaren Stoffen** ist zu beachten, daß es sich wie bei der Trübungsmessung ebenfalls um eine Art Summenparameter handelt. Die durch die vorgeschaltete Filtration erfaßten Partikelgrößen liegen normalerweise über ca. 0.3-1 μ je nach verwendetem Filtertyp. Da die Trübungsmessung auch Partikelgrößen darunter erfaßt, würde sich die Vergleichbarkeit nur auf jenen Trübungsanteil beziehen, der von Partikeln stammt, deren Durchmesser größer als die der Filterporen ist.

Das Korrelogramm ausgewählter Quellen zeigt, daß ein deutlicher jedoch nicht-linearer Zusammenhang besteht. Eine interessante Differenzierung zeigt sich zwischen den typischen Karstquellen des Hinteren Rettenbaches (HRQ) und der Steyernquelle (STEY). Während HRQ einen variierenden Schwebstoffgehalt überwiegend zwischen 0.01 mg/l und unter 1 mg/l aufweist bei einer Trübung zwischen 0.1 und 1 FU (Formazin-Einheiten), variiert die Steyernquelle in der Trübung über einen sehr weiten Bereich bis knapp über 8 FU.

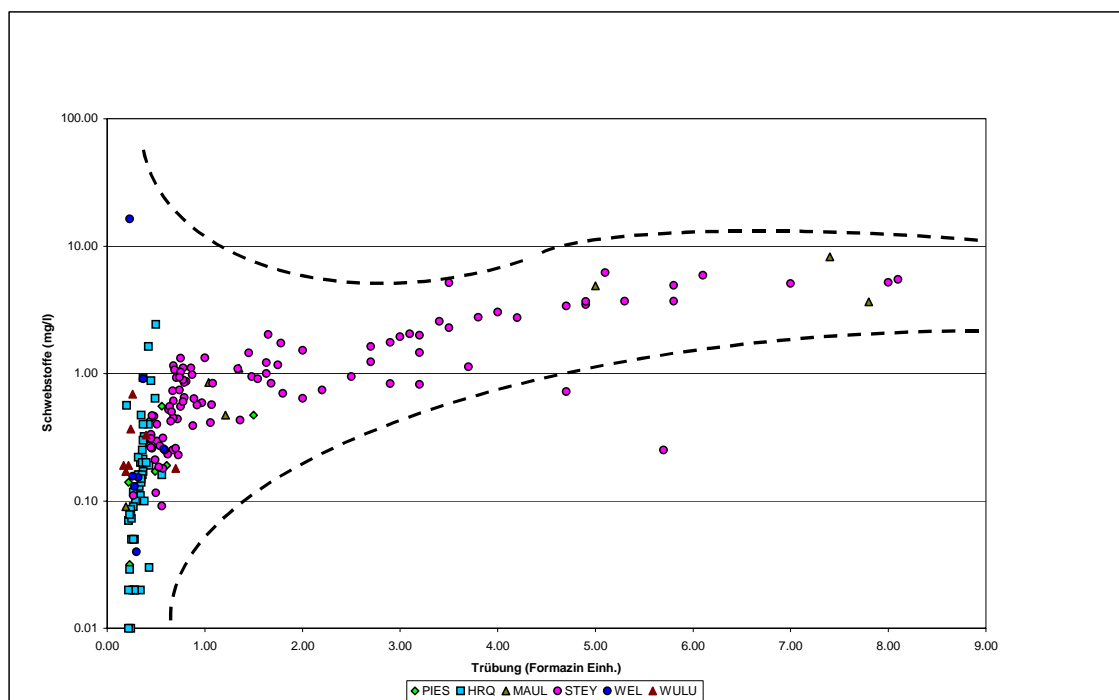


Fig. 7.1-20: Zusammenhang zwischen Trübung (FU) und dem Schwebstoffgehalt bei ausgewählten Quellen des Nationalparkgebietes. In diesem Diagramm wurden nur die großen Karstquellen des Gebietes zusammengefaßt.

Spektrale Absorptionskoeffizienten bei 254nm, 285nm und 436nm, DOC

Die spektralen Absorptionsmaße stellen eine Ergänzung der hydrochemisch-physikalischen "Beschreibung" eines Quellwassers dar. Während die Bestimmung bei der Wellenlänge von 436 nm eine Objektivierung des Verfahrens zur Bestimmung der Färbung eines Wassers darstellt und die UV-Absorption bei 254 nm ein Kennwert für den Gehalt an organischen Substanzen darstellt, diente die Messung bei 285 nm einer zusätzlichen Charakterisierung auf den Gehalt an DOC (Dissolved Organic Carbon), der ein Maß des Gehaltes an gelöstem organischen Kohlenstoff darstellt und Teil des gesamten im Wasser transportierten organischen Kohlenstoffs (TOC - Total Organic Carbon) ist. Da die UV-Absorption bei 254 nm auch charakteristisch für aromatische Kohlenstoffverbindungen ist, ergibt sich daraus ein relativ guter Kennwert. Insofern dann der DOC-Wert überwiegend durch solche Verbindungen beeinflusst wird, sollte eine deutliche Korrelation dieser beiden Parameter vorhanden sein. Innerhalb der aromatischen Kohlenstoffverbindungen stellen Huminstoffe eine wichtige Gruppe dar, sodaß z.B. bei Mooren eine summarische Erfassung dieser Substanzen aufgrund der UV-Absorption möglich wird. Eine weitere Möglichkeit zur Charakterisierung bieten die Verhältnisse der spektralen Absorptionskoeffizienten untereinander bzw. die Verhältnisse mit dem DOC.

In Fig. 7.1-21 wird beispielhaft der SAK 254nm mit dem DOC-Gehalt korreliert und quellenspezifisch aufgetragen, sodaß sichtbar wird, welche Quellen oder Quellgruppen sehr niedrige oder sehr hohe Werte dieser Parameter aufweisen. Auffallend ist, daß die größte Variabilität die typischen Karstquellen aufweisen, wie HRQ, STEY oder MAUL, und sich damit im Diagramm deutlich von einer Quellgruppe absetzen, die u.a. Wässer aus länger gespeicherten Aquiferen repräsentieren. Dazu gehören vor allem die Quellen WEIS, WULU und KÖHL.

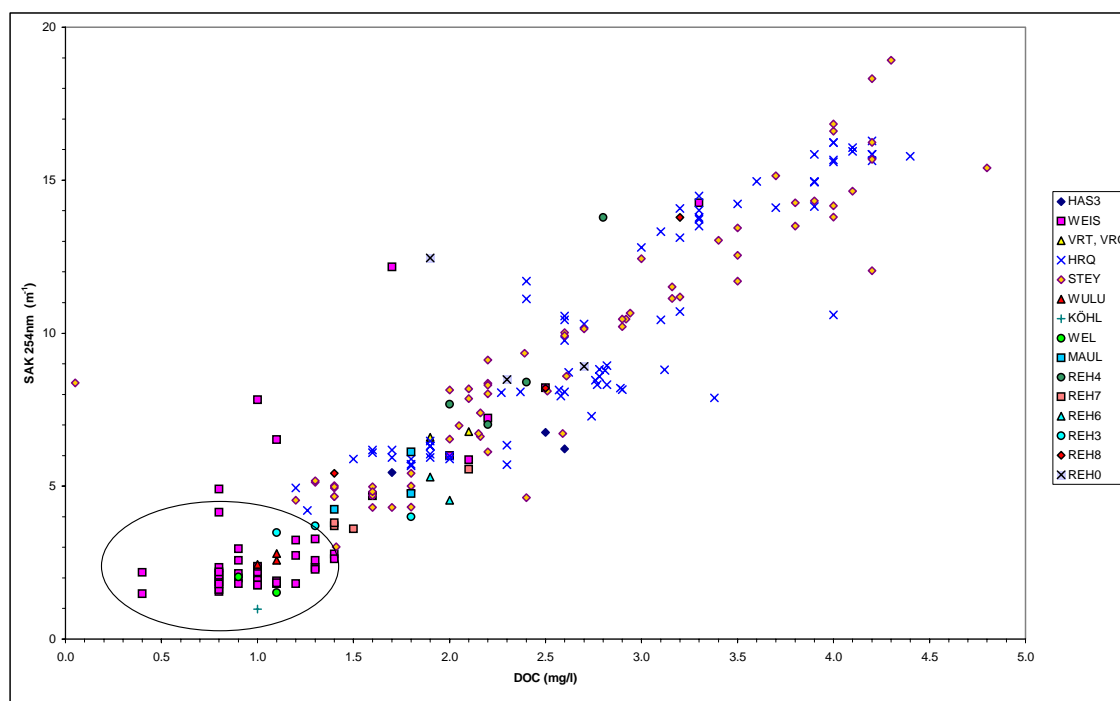


Fig. 7.1-21: Zusammenhang zwischen DOC-Gehalt und dem spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm (SAK 254nm) aufgegliedert nach ausgewählten Quellen des Nationalparkgebietes. Die umrandeten Meßwerte gehören zu einer Gruppe von längerfristig gespeicherten Quellwässern aus Aquiferen der unteren Trias. Die übrigen Meßwerte stammen von typischen Karstquellen.

Kationen und Anionen - Allgemeines

Von den kationisch auftretenden anorganischen Inhaltsstoffen wurden analysiert: Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Calcium (Ca^{++}) und Magnesium (Mg^{++}), von den anionisch auftretenden die Alkalinität mit Berechnung als Hydrogencarbonat (HCO_3^-), Chlorid (Cl^-), Nitrat (NO_3^-) und Sulfat (SO_4^{--}).

Die Quellen wurden nach den in der Datenbank verzeichneten lithologischen Verhältnissen am Austritt geordnet. Es ist aber zu erwarten, daß die Spezifizierung der Gesteinseinheiten im Rahmen von Quellenaufnahmen im Einzelfall zu allgemein gehalten ist, um die tatsächlichen lithologischen Verhältnisse zu charakterisieren. Die Gliederung nach Gesteinseinheiten schien aber vorteilhafter als eine Gliederung nach

Einzugsgebieten, da letztere detaillierte Kenntnisse der lokalen oder regionalen hydrogeologischen Zusammenhänge voraussetzt.

Der Versuch mit Hilfe von Einzelkorrelationen chemischer und physikalischer Parameter untereinander Unterschiede im jeweils zugehörigen Aquifer zu finden oder die Unterschiede der zugeordneten lithologischen Einheit deutlich zu machen, ist nur eine der Möglichkeiten und kann mit Hilfe multivariater statistischer Methoden sicher noch verbessert werden. Als ein Hilfsmittel im Rahmen der Beschreibung hydrochemischer Verhältnisse dient auch die Möglichkeit, aus der Aufgliederung der Einzelkorrelationen auf die verschiedenen Gesteinseinheiten besonders auffallende Korrelationen zu kennzeichnen und dann im Detail zu untersuchen, welche hydrochemischen Prozesse dazu geführt haben oder herauszufinden, inwieweit hier statistische Artefakte z.B. aufgrund von zu gering belegten Datensätzen vorliegen. Eine Übersicht oder eine Anregung dazu soll die graphische Darstellung in Fig. 7.1-22 geben, in der als Beispiel Erdalkalitionen mit den Anionen und dem pH-Wert korreliert werden.

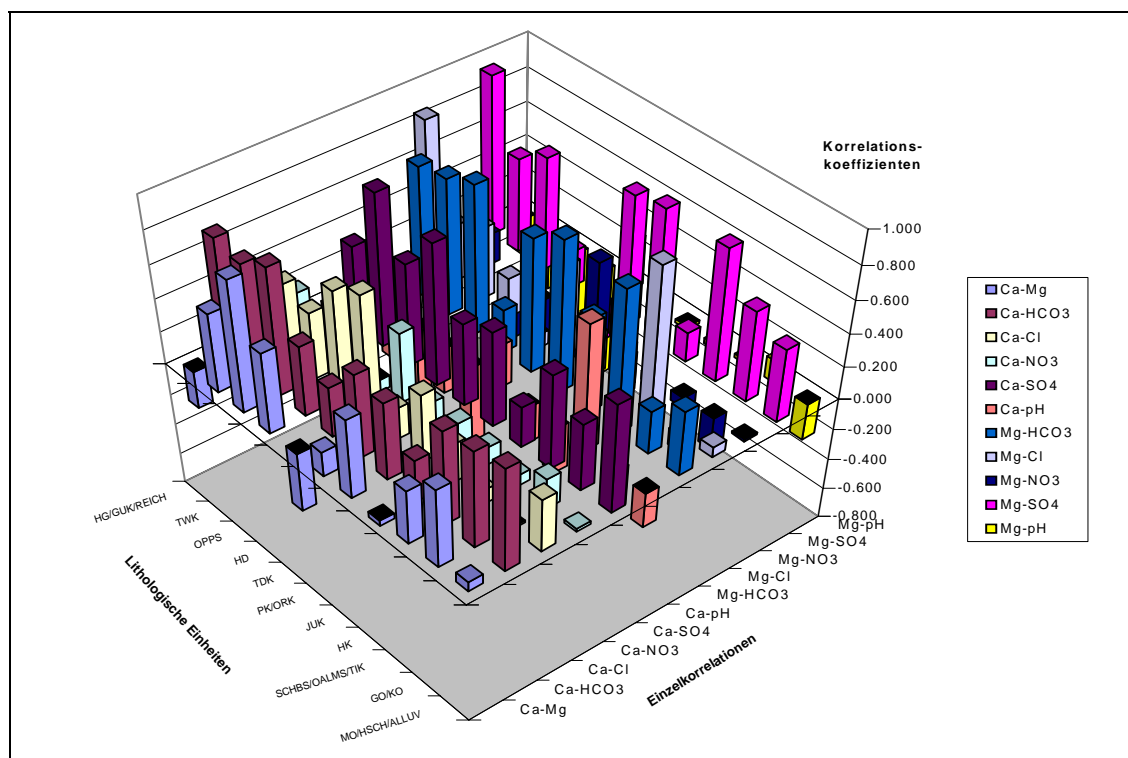


Fig. 7.1-22: Korrelationsdarstellung der Erdalkalitionen mit den Anionen und dem pH-Wert, aufgegliedert nach Gesteinseinheiten. HG=Haselgebirge, GUK=Gutensteiner Kalke, Reich=Reichenhaller Schichten, TWK=Wettersteinkalk, OPPS=Opponitzer Schichten, HD=Hauptdolomit, TDK=Dachsteinkalk, PK=Plattenkalk, ORK=Oberrhättralk, JUK=Jurakalk i.a., HK=Hierlatzkalk, SCHBS=Schrambachschichten, OALMS=Oberalmer Schichten, TIK=Tithonflaserkalke, GO=Gosau, KO=Konglomerate i.a., MO=Moräne, HSCH=Hangschutt i.a., Alluv=Alluvium i.a.

In weiterer Folge wurden nach Gesteinseinheiten gegliedert die hydrochemischen Verhältnisse bei darin auftretenden Quellen und sonstigen Meßstellen (z.B. in einigen Fällen Ponore oder Vergleichsquellen, die außerhalb des Nationalparkgebietes liegen) in Übersichtsform bzgl. Ionenverhältnisse und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bearbeitet.

In Kalkwässern ist zu erwarten, daß das Erdalkali-Hydrogencarbonat-Äquivalentverhältnis, d.h. die Summe der Äquivalentkonzentrationen von Calcium und Magnesium annähernd gleich der des Hydrogencarbonats ist ($[Ca^{++} + Mg^{++}]/HCO_3^- \approx 1$). Bei Wässern aus evaporitischen Folgen, z.B. bei durch Gips beeinflussten Wässern, sollte dieses Verhältnis aber deutlich größer als 1 sein, da ein erheblicher Teil der zur Verfügung stehenden Erdalkalitionen an Sulfat oder Chlorid gebunden ist.

Die einwertigen Kationen Natrium und Kalium unterliegen in tonmineralreichen Sedimenten häufig einem Ionenaustausch, wobei in den meisten Fällen Natrium gegen Calcium eingetauscht wird. Es kann daher das Ionen-Äquivalentverhältnis Na^+/K^+ Hinweise auf Austauschvorgänge geben. Daneben ist aber zu berücksichtigen, daß bei Salinareinfluß (Haselgebirge, Salzlagerstätten) diese einfache Form nicht mehr ausreicht, darüber hinaus in anthropogen beeinflussten Bereichen (landwirtschaftliche Nutzung bzw. mangelhafte Abwasserentsorgung) Kalium auch ein Verschmutzungsindikator sein kann, der das Äquivalentverhältnis Na^+/K^+ nach 1 verschiebt, sodaß dann Kalium in fast gleichhoher Konzentration (in Einzelfällen sogar höher) wie Natrium auftritt.

Wie in einer früheren Arbeit (P. BAUMGARTNER et al., 1995:50ff) gezeigt wurde, konnte bei den Quellen des Mollner Beckens bzw. bei einigen Quellen im Nordteil des Nationalparkgebietes eine Dreiergliederung erkannt werden, in welcher im Bereich der niedrigsten Konzentrationen die Steyernquelle (37-12-AB) lag und etwas erhöht alle beprobten Stellen zwischen Klein Lindtal und Wunderlucke. Eine Ausnahme bildete die Quelle 37-21-E, welche hydrochemisch völlig eigenständig von den übrigen Gruppen abgesondert war und im Laufe des damals zur Verfügung stehenden Beprobungszeitraumes (1991-1993) auch in dieser Position verblieb. Bis auf die genannte Ausnahme, wiesen die übrigen Gruppen ein zugunsten des Kaliums verschobenes Verhältnis zwischen 1 und 4 auf. Nicht verwunderlich war, daß bei jeder Meßstelle die jeweils höchsten Natrium- und Kaliumwerte zu den typischen Niederwasserzeiten im Spätsommer, Frühherbst bzw. Hochwinter auftraten, was als Ausdruck für die besondere Mobilität dieser Ionen im Zusammenhang mit Verdünnungs- oder von Konzentrierungsprozessen bei Abflußereignissen interpretiert werden kann.

Als klassisches Instrument einer ersten Differenzierung zwischen Kalk- und Dolomiteinfluß gilt das **Äquivalentverhältnis (Ca^{++}/Mg^{++})** der Ionenkonzentrationen von Calcium und Magnesium. Bei pauschaler Anwendung ist jedoch große Vorsicht

geboten, da in Gebieten, in denen sich Wässer aus verschiedenen Aquiferen mischen oder in anthropogen beeinflussten Porengrundwasserfeldern, dieses Verhältnis u.U. nicht mehr aussagekräftig ist. Bei Aquiferen, z.B. in einheitlicher Wettersteinkalkfazies oder in Hauptdolomitfazies, werden sich die Wässer mit Hilfe des Calcium-Magnesium-Verhältnisses relativ gut beschreiben lassen.

Das Karbonat-Kohlensäure-Gleichgewicht und Sättigungszustände gegenüber Mineralphasen

Die Ionen-Äquivalentverhältnisse aus der hydrochemischen Analyse werden zu einer Typisierung der Wässer herangezogen, lassen aber oft keine eindeutige Interpretation zu. Mit Hilfe thermodynamischer Berechnungen kann aber näher auf den Gesteinsbestand eingegangen werden. Ergebnis derartiger Berechnungen ist die Feststellung, bis zu welchem Grad ein Wasser in der Lage ist, bezüglich bestimmter Mineralphasen (stark vereinfacht "Gestein") lösend oder ausfällend zu wirken. Da das entnommene Wasser das Endprodukt der hydrogeochemischen Prozesse im Aquifer am Endpunkt einer Entwicklungsreihe darstellt, repräsentiert es einen Sättigungszustand bezüglich bestimmter chemischer Inhaltsstoffe und steht in einem dynamischen Gleichgewicht mit den angegebenen Mineralphasen. Zu beachten ist aber auch, daß in den thermodynamischen Berechnungen keinerlei Zeitinformation, d.h. keine Information über die Kinetik einer chemischen Reaktion eingeht und daß aus diesem Grunde nur die Fähigkeit eines Wassers, lösend oder fällend zu sein, dargestellt wird. Ob tatsächlich Calcit bei Übersättigungen ausfällt oder nicht, hängt von vielen anderen Begleitumständen ab, die im Detail untersucht werden müssen. Allerdings könnte bei einem Wasser mit Übersättigung bzgl. Calcit nachgeprüft werden, ob bei der betreffenden Quelle z.B. tatsächlich Kalksinter ausgefällt wurde oder nicht.

Berechnungen dieser Art gestalten sich sehr aufwendig; sodaß aus diesem Grunde Rechenprogramme entwickelt wurden (A.H. TRUESDELL & B.F. JONES; 1974; L.N. PLUMMER et al., 1976; D.L. PARKHURST et al., 1990, 1995), mit deren Hilfe man eine Vielzahl von chemischen Spezies und Mineralphasen untersuchen kann, was vom Umfang der Bestimmungen und der Zahl der berücksichtigten Parameter abhängt. Da in den vorliegenden Analysen nur die ionaren Hauptbestandteile (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{-2}) aufscheinen, können - sofern Temperatur und der pH-Wert mitgemessen wurde, an sinnvollen Mineralphasen die Sättigungszustände bezüglich Calcit, Dolomit und Gips berechnet werden.

Die Interpretationen erfolgten auf Basis des Zusammenhanges zwischen CO_2 -Partialdruck im Wasser und den Mineralphasen Calcit und Dolomit. In den Diagrammen fällt zunächst auf, daß Calcit- oder Dolomit-Sättigungsindizes mit sinkendem CO_2 -Partialdruck (vereinfacht bei sinkendem "Kohlensäuregehalt") ansteigen. Dies bedeutet, daß mit steigendem Calcit-Sättigungsindex die Wahrscheinlichkeit von Ausfällungserscheinungen zunimmt. Wasser im Gleichgewicht

mit dem CO_2 der Atmosphäre ($\log(p[\text{CO}_2]) \approx -3.5$ oder $10^{-3.5}$), wie dies z.B. bei Oberflächengerinnen (37-21-KST; Krumme Steyrling) der Fall ist, fallen durch einen hohen Index auf, sind andererseits aber nicht mehr in der Lage, ohne vorhergehende Ausfällung von Calcit neuen zu lösen. Wasser mit niedrigem Calcit-Sättigungsindex, wie etwa 35-37-B oder 37-19-Ksa, sind untersättigt und an gelöstem freiem CO_2 angereichert, daher noch in der Lage, weiteren Calcit bei gleichem CO_2 -Gehalt zu lösen. Damit sind die beiden Extreme umrissen. Zu welchem Zeitpunkt ein Sättigungszustand eines Wassers bzgl. bestimmter Mineralphasen zu erwarten ist, hängt im wesentlichen von der Verweilzeit des Wassers im Untergrund ab.

WASSERQUALITÄT NACH EU-RICHTLINIEN UND NATIONALEN GESETZEN

Für sämtliche vorhandenen Analysen wurden Parameter ausgewählt, die nach den derzeit geltenden EU-Richtlinien bzw. den nationalen Gesetzen einer Regelung unterliegen und die für die Beurteilung der Wasserqualität insbesondere für die Genußtauglichkeit maßgebende Kennwerte darstellen. Es wurden die folgenden Richtlinien und Normen zugrundegelegt:

- **EU-Richtlinie 80/778/EWG** (EU-ABl. Nr. L 229/11): Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Die Richtlinie wurde 1981 geändert in der **EU-Richtlinie 81/858/EWG** (EU-ABl. Nr. L 319/19), die relevanten Parameterwerte aber belassen.
- **Verordnung: Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch** (BGBl. II, Nr. 235/1998): Verordnung der Bundesministerin für Frauenangelegenheiten und Verbraucherschutz über die Qualität des Wassers für den menschlichen Gebrauch vom 23. Juli 1998.
- **Österr. Lebensmittelbuch, III. Aufl., Kap. B1 "Trinkwasser", Neufassung:** Erlass des Bundesministers für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz vom 19. April 1993, GZ 32.001/0-III/B/1b/93.
- **Trinkwasser-Nitratverordnung** (BGBl. Nr. 557/1989): Verordnung des Bundesministers für Gesundheit und öffentlicher Dienst vom 15. November 1989 über den Nitratgehalt im Trinkwasser (Trinkwasser-Nitratverordnung).
- **Grundwasserschwellenwertverordnung** (BGBl. Nr. 182/1991): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft betreffend Schwellenwerte für Grundwasserinhaltsstoffe (Grundwasserschwellenwertverordnung - GSwV).

Im Zuge der Angleichung der nationalen Rechtsvorschriften an EU-Vorgaben erschien es bei der Beurteilung sinnvoll, vor allem eine Betrachtung mit Bezug auf die derzeit geltenden EU-Richtlinien anzustellen, wobei eine Beschränkung auf chemische

Parameter erfolgte. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, daß die Bestimmungen der EU-Richtlinie 18 Jahre alt sind und daß daher eine gewisse Diskrepanz einerseits zu heutigen Erfordernissen bzgl. Trinkwasserqualität andererseits auch zu zwischenzeitig geltenden nationalen Regelungen besteht.

Die Auswertungen des zwischen 1991 bis 1997 erhobenen Datenmaterials lassen für den Nationalparkbereich einen Überblick zu, der zumindest eine fundierte Beurteilung des Ist-Zustandes erlaubt. Das Ergebnis der Auswertungen zeigt erwartungsgemäß einen für ein weitgehend intaktes Ökosystem hohen Stand der Wasserqualität auf Basis der bewerteten chemisch-physikalischen Parameter.

Parameter	Gesamtanzahl der Messungen	ZHK-Über- schreitungen	RZ-Über- schreitungen	SW-Über- schreitungen
Elektr. Leitfähigkeit	1054	31	----	----
Temperatur	1053	0	8	----
pH-Wert	1010	1	13	----
O ₂ -Sättigung	521	15	----	----
Trübung	941	----	77	----
SAK 436 nm	989	----	172	----
Natrium	751	0	0	0
Kalium	751	1	1	1
Calcium	1031	1	16	----
Magnesium	1031	1	9	----
Hydrogencarbonat	1011	1	----	----
Chlorid	887	0	1	0
Nitrat	1034	0	1	0
Sulfat	942	1	68	----

Tabelle 7.1.2--: Übersicht über die Überschreitungen der Richtzahlen (RZ), zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK) und Schwellenwerte (SW). Gesamtanzahl aller Analysen = 1111.

Die Eintragung für die Sauerstoff-Sättigung erfolgte aus Übersichtsgründen in der ZHK-Rubrik, obwohl hier Unterschreitungen des Wertes von 75% zugrundeliegen, ebenso wurde für den Hydrogencarbonat-Gehalt vorgegangen, wo eine Unterschreitung der erforderlichen Mindestkonzentration vorliegt.

Dort, wo Über- oder Unterschreitungen festzustellen waren, handelt es sich im wesentlichen um geogen bedingte Einflüsse, sodaß nicht von vornherein eine Minderbewertung der Wasserqualität nur auf Basis der genannten Kriterien erfolgen darf.

Projektausführung, Methodik

Die Meß- und Analysenmethoden erfolgten in Anlehnung an die Richtlinien nach ISO 9001. Eine übersichtliche Zusammenstellung existiert mit dem Laborhandbuch in Form von Standardarbeitsanweisungen, als Übersichtslisten und Formulare, als Kalibrier- und Meßanweisungen mit Gerätestamtblättern und mit Kalibrierprotokollen. Für die konkreten Probenentnahmetermine erfolgte von Beginn an eine zweckentsprechende Gliederung nach Meßkampagnen unterschiedlicher Zielsetzung.

Probenentnahme und Feldmeßverfahren

Die Beprobung erfolgte spezifisch für unterschiedliche Analysenzwecke, wobei für den Transport und zur Vermeidung von Veränderungen Konservierungsmethoden angewendet wurden.

Die für die Quellenaufnahme und für die Monitoring- bzw. Intensivmeßkampagnen angewendeten Feldmeßmethoden entsprachen weitgehend den in den einschlägigen ÖNORMEN oder DIN-Normen festgelegten Verfahren, wobei für die spezifischen Verhältnisse im Hochgebirge oder im unwegsamen Gelände Adaptierungen vorgenommen wurden, um problemlosen Transport und leichtere Handhabung zu gewährleisten.

Vor Ort wurden die Schüttung erfaßt, und die elektrische Leitfähigkeit, die Wassertemperatur, der pH-Wert, das Redox-Potential und der gelöste Sauerstoff gemessen. Um eine verlässliche Standardisierung der Messungen auch mit den empfindlicheren Sonden im Sinne der Vergleichbarkeit aller Quellen und Situationen zu ermöglichen, wurde ab 1996/97 ein eigenentwickeltes Durchfluß-Meßgefäß eingesetzt. Es besteht aus einem Ausgleichsgefäß, in das das Quellwasser mit einem Schlauch geleitet wird, und gleichmäßig angeströmten Sondenhalterungen. Alle Sonden sind damit immer der selben hydraulischen Anströmung bei exakt selber Eintauchtiefe und Vermeidung physischer Störungen (Grundberührung, Turbulenzen...) ausgesetzt.

Laboranalysenverfahren

Jedem Jahresbericht des Karstquellen-Monitorings liegt eine jeweils aktuelle Kurzfassung des Laborhandbuches bei. Im Labor wurden die Parameter Trübung, spektrale Absorptionskoeffizienten bei unterschiedlichen Wellenlängen (254 nm, 285 nm und 436 nm), der Abdampfdruckstand und die Menge der abfiltrierbaren Stoffe bestimmt. Die Messung des Gehaltes an den Kationen Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium sowie den Anionen, Chlorid, Nitrat und Sulfat erfolgten mittels Ionenchromatographie, die Bestimmung der Gesamthärte durch Titration mit Endpunktskontrolle und nachfolgender Berechnung als Hydrogencarbonat. Die Bestimmung zusätzlicher Parameter, die allerdings nicht routinemäßig gemessen wurden, wie Ammonium, Nitrit und Phosphat, erfolgte mit Absorptionsphotometrie. Zusatzbestimmungen wie die des Gehaltes an DOC oder TOC wurden extern vergeben.

Nicht routinemäßig erfolgte auch die Bestimmung der stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium bzw. des radioaktiven Isotops Tritium. Diese Untersuchungen wurden nur für ausgewählte Quellen durchgeführt und erfolgten für Proben jüngerer Datums zum überwiegenden Teil durch das Institut für Hydrologie der GSF-München, zum anderen vor allem bei den älteren Analysen durch die Abt. Isotopengeophysik des BFPZ Arsenal in Wien, bzw. wurden die Daten aus früheren Untersuchungen des BFPZ übernommen.

Interne und externe Qualitätssicherung

Die interne Qualitätssicherung erfolgte entsprechend den Vorschriften des laboreigenen Handbuchs über Standardarbeitsanweisungen und für die Feldmeßgeräte durch regelmäßige laborinterne Kalibrierung und Kontrollmessungen.

Die externe Kontrolle erfolgte u.a. durch die Teilnahme an Ringversuchen und am Kontrollprobensystem des IFA-Tulln. Zur qualitativen Kontrolle der Analysenergebnisse wurden Plausibilitätskontrollen nach den Kriterien einer Überprüfung der Vollständigkeit und Eindeutigkeit der Meßstellendaten, Überprüfung der Vollständigkeit der Feldparameter und Analysen, Erstellung der Ionenbilanz, Überprüfung der Leitfähigkeits-Plausibilität, Überprüfung der pH-Wert-Plausibilität und eine Qualitätsklassifikation nach einem vorher festgelegten Schema durchgeführt.

Kampagne	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4	Note	Anteil 1+2 in %
KQM 1/94	0	0	28	6	3,2	0
KQM 2/94	4	13	7	12	2,8	47
KQM 3/94	11	11	8	8	2,3	58
KQM 4/94	4	10	9	7	2,6	47
KQM 1/95	1	3	23	10	3,1	11
KQM 2/95	0	2	12	19	3,5	6
KQM 3/95	0	2	8	10	3,4	10
KQM 4/95	0	0	8	10	3,6	0
KQM 1/96	1	0	1	31	3,9	3
KQM 2/96	6	5	9	17	3,0	30
KQM 3/96	0	3	1	32	3,8	8
KQM 4/96	28	12	0	4	1,5	91
KQM 1/97	20	15	4	0	1,6	90
KQM 2/97	10	21	6	2	2,0	79
KQM 3/97	7	13	7	12	2,6	51
Ereignis 1/96	12	15	4	29	2,8	45
Ereignis 2/96	13	19	5	27	2,7	50
Ereignis 1/97	15	16	32	14	2,6	40
Ereignis 2/97	40	45	20	30	2,3	63

Tabelle 7.1-3: Qualitätskontrolle der im Zuge der Karstprogramm-Kampagnen ausgeführten chemischen Laboranalysen (Joanneum Research BENISCHKE, NP-Labor PRÖLL). Die Evaluierung stützt sich hauptsächlich auf die Ionenbilanzen bzw. die Berechnungen im Karbonatsystem und drückt nicht unbedingt schlechte Analytik, sondern z.B. auch Unvollständigkeit (Fehlen eines Meßwertes etc.) aus. D.h. auch bei einer als schlecht bewerteten Kampagne können Parameter wie z.B. Trübung oder Mikrobiologie bedenkenlos verwendet werden, während bei den Ionen Vorsicht in der Interpretation entlang der Zeitreihe angebracht ist. – Auffallend der Qualitätseinbruch 1995/96, in dieser Zeit war das NP-Labor ohne Leitung und es konnte nur ein Notbetrieb im Rahmen Karstprogramm und IM Zöbelboden aufrecht erhalten werden.

Literatur

- DVGW-Schriftenreihe Wasser (1976): Trübungsmessung in der Wasserpraxis.- **12**, 187 S., Eschborn.
- ENGELSINK, H. (1981): Die Verwendung photoelektrischer Trübungsmesser zur Schwebstoffmessung.- Beitr. z. Hydrologie, Sh. 2, 193-210, Freiburg/Br.
- PARKHURST, D. L., THORSTENSON, D. C. & PLUMMER, L. N (1990): PHREEQE - a computer program for geochemical calculations.- (Conversion and upgrade of the prime version of PHREEQE to IBM PV-compatible Systems by J. V. TIRISANNI & P. D. GLYNN), U.S. Geol. Survey, Water Resources Investigations Report, 80-96, 195 S., Washington, D.C.
- PARKHURST, D.L. (1995): User's Guide to Phreeqc - A Computer Program for Speciation, Reaction Path, Advective-Transport, and Inverse Geochemical Calculations.- Water-Resources Investigations Report 95-4227, 142 S., Lakewood/Colorado (U.S. Geol. Survey).
- PLUMMER, L. N., JONES, B. F. & TRUEDELL, A. H. (1976): WATEQF, a FORTRAN IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters.- U.S. Geol. Survey, Water Resour. Investig. Rep., 76-13, 61 S., Washington, D.C.
- SIGG, L. & STUMM, W. (1997): Aquatische Chemie.- 3. Aufl., Zürich (VdF).
- SIGRIST, W. (1975): Verwertung neuester Erkenntnisse in der Trübungsmessung dargestellt am Beispiel des SIGRIST-Photometers.- Vom Wasser, **44**, 188-201, Weinheim (VCH).
- TRUEDELL, A. H. & JONES, B. F. (1974): WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters.- J. Res. U.S. Geol. Survey, 2, 233-248, Washington, D.C.
- ZÖTL, J. (1970): Zwischenbericht über die im Jahre 1970 durchgeführten karsthydrologischen Untersuchungen im weiteren Bereich des Großspeicherprojektes Molln und gutachtliche Stellungnahme zu den bisher vorliegenden Ergebnissen.- 12 S., 5 Beil., Graz 12.12.1970.

Liste der Teilberichte:

- BENISCHKE, R. (1996): Teilprojekt 1603-8.2.1./94: Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt Ost. Karstforschungsprogramm Proj. 1603 „Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen“. - Aufbereitung hydrologischer Meßdaten und hydrologische Zusatzarbeiten, Teil I. - 21 Seiten, zahlr. und umfangreiche Tabellen und Auswertungen.). - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen , Graz, Juli 1996.
- BENISCHKE, R. (1998): Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt Ost. Karstforschungsprogramm Proj. 1603 „Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen“. – 8.2. Aufbereitung hydrologischer Meßdaten und hydrologische Zusatzarbeiten, Teil II. Band 1: Text, 81 S., Tab. und Abb.; Band 2: Anhang (Tabellen mit Erläuterungen). - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Graz, Oktober 1998.
- HASEKE, H. (1991b): Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring 1991. Synoptische Wasseranalysen. - 54 Seiten, 54 Abb. und Diagramme, 1 Tafel, 20 Fotos. - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen, Molln-Salzburg 1991. -

- HASEKE, H. (1992): Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring 1992. Wasseranalysen 11/91-5/92. 26 Seiten, einige Abb., Beilagen. - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen, Molln-Salzburg Dez. 1992.
- HASEKE, H. et al. (1993a): Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring 1993. 24 Seiten, Beilagen (Einzelberichte zu speziellen Themen). - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. Molln--Salzburg März 1994.
- HASEKE, H. (1994c): TP 1603-7.1./94: Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring 1994. 46 Seiten, Diagramme, Tabellen und Beilagen (Einzelberichte zu speziellen Themen). - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. H. Haseke, Molln-Salzburg, Februar 1995.
- HASEKE, H. et al. (1995d): TP 1603-7.1.&7.2./95: Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring 1995. 89 Seiten, zahlr. Diagramme, Tabellen und Beilagen (Einzelberichte zu speziellen Themen, Karte). - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. H. Haseke, Molln-Salzburg, Jänner 1996.
- HASEKE, H. et al. (1996d): TP 1603-7.1.&7.2./96: Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring und Ereigniskampagnen 1996. - 73 S., Beilagen. Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Molln-Salzburg, Dezember 1996.
- HASEKE, H. (1998c): Nationalpark Karstprogramm, Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring und Ereigniskampagnen 1997. - 82 S., 44 Abb., Tabellen. - Unveröff. Bericht i.A. der Nationalpark Oberösterreichische Kalkalpen GmbH, Salzburg / Austria, März 1998.

Ralf BENISCHKE
Joanneum Research, Inst.f. Geothermie und Hydrogeologie
Elisabethstraße 16/2
A-8010 Graz
Ralf.Benischke@joanneum.ac.at

Ing. Elmar PRÖLL
Nationalpark Kalkalpen – Labor
Reibensteinstr. 10
A – 4591 Molln
Elmar.proell@merlin.at, natur@kalkalpen.at

Dr. Harald Haseke
Haunspergstraße 90/3
5020 Salzburg
h-haseke@apanet.at

MIKROBIELLE BELASTUNG DES WASSERS (KBE/CFU UND FÄKAL-INDIKATOREN, S. SCHMIDT, 1994-1997)

Teilprojekt AZ. 7.5.1.

Das Ziel der mikrobiologischen Beprobung ab 1993/94 war es, einen Überblick über die Belastungssituation von Quellen im und um den Nationalpark zu bekommen und neue Kenntnisse der mikrobiologischen Prozesse im Karst zu gewinnen. Die Erkundung ging zunächst vom epidemiologischen Ansatz für die trinkwasseranalytische Standard-Datengewinnung aus. Die mikrobiologischen Ergebnisse der Jahre 1994-1997 und weiter erbrachten aber ein Datenmaterial, das abseits der hygienischen Untersuchungsparameter zu einer wissenschaftlichen Aufarbeitung und Weiterforschung dringend einlädt. Das überaus große Interesse der Fachwelt an den im Rahmen der Nationalparkforschung gewonnenen Ergebnissen ermuntert zur Weiterarbeit. Die wissenschaftliche Diskussion wurde von Susanne SCHMIDT und Benjamin MENNE in ihren Teilberichten begonnen und sollte fortgesetzt werden.

Die mikrobiologischen Proben zeigten eine heterotrophe Bakterienflora (KBE bei 22°C, Coliforme Keime, fakultativ pathogene Bakterien; *E.coli*, *Enterococcus*), wobei die Proben nach hygienischen Parametern bewertet wurden (Österreichisches Lebensmittelbuch, Kapitel B1). Diese Bakterien repräsentieren jedoch nur einen kleinen Teil der Mikroorganismen, die das Höhlenwasser bzw. die Höhlen- und Quellsedimente bewohnen. Viele Bakterien sind an Sedimentpartikel gebunden, wie z. B. das aus wasserhygienischen Gesichtspunkten gefährliche *E. coli*. Auf diese Weise kann die Überlebenszeit weit länger als 30 Tage betragen, was oft als Grenzlinie für Trinkwasser-Schutzgebiete veranschlagt wird. Nur wenige *E. coli* Keime finden sich im freien Wasser (vgl. Schmidt, 1996).

Das Quellwasser ist außerdem stark mit Mikroorganismen kontaminiert, die in Oberlauf- und Quellgebieten vorkommen und von Tieren oder vom Menschen eingebracht werden. Das Verschmutzungsrisiko von der Oberfläche steigt mit mehreren Faktoren: Landwirtschaft, Tourismus, Jagd, Wildhaltung usw. Nichtsdestoweniger offenbaren die gegenwärtigen Ergebnisse nur einen flüchtigen Einblick in das gesamte Reich der Mikroorganismen.

Wie auch in anderen Gebieten bestätigte die laufende Untersuchung, daß Quellwasser weniger Bakterien enthält, wenn es tieferen Karstsystemen entspringt oder von stärker exponierten Einzugsgebieten des Felskarsttyps kommt. Quellwasser, das von gutverkarsteten, hochpermeablen Einzugsgebieten in Quellnähe stammt, enthält weit mehr Mikroorganismen, insbesondere der fakultativ pathogenen Arten. Das Gefüge des Anstehenden hat ebenfalls großen Einfluß auf die Mikroflora von Quellwasser. Umgekehrt erhielten wir durch die Analyse des mikrobiologischen Hinweises zur

Abgrenzung unbekannter Quelleinzugsgebiete, z.B. wo deutliche Belastungen nur durch Ausgreifen der Drainagen bis in Almgebiete jenseits der Kammlinien erklärbar sind.

Seit 1996 wurden auch Proben in der Rettenbachhöhle (südliches Sengsengebirge) gesammelt. In Zusammenarbeit mit B. Menne, der die Sedimentproben auf Myxobakterien untersuchte, konnten wir feststellen, daß die quantitative Verbreitung der CFU (colony-building units) mit den Myxobakterien korreliert. So haben sie z.B. ihre enge Abhängigkeit vom Karstwasserspiegel gemeinsam. Viele Arten von Mikroorganismen, die in der Höhle gefunden wurden, sind wahrscheinlich direkt von der Oberfläche durchgesickert (z. B. *E. coli*). Manche untersuchten Stellen sind sichtlich stärker in Kontakt mit oberflächennahem Wasser, verschmutzter Luft, Höhlentieren (Fledermäuse) oder Menschen.

Hygienische Aspekte

Die Nationalparkquellen weisen eine reiche Bakterienfracht auf. Ob dies aufgrund der im Auslaufen begriffenen massiven Störungen im Naturhaushalt der letzten Jahrzehnte begründet ist oder einen quasinatürlichen Zustand widerspiegelt, ist derzeit noch ungewiß. Die im Monitoring-beprobten Karstquellen lassen sich nicht vereinheitlichen. Quellen, die aus tiefem Karst stammen, weisen geringere Keimbelastungen auf und bleiben in ihrem Jahresverlauf recht konstant. „Seichte“ Karstquellen mit überwiegend vadosen Zubringern zeigen witterungsbedingt hohe Schwankungen und Spitzen, die mit der Intensität der Nutzung im Einzugsgebiet korrelieren.

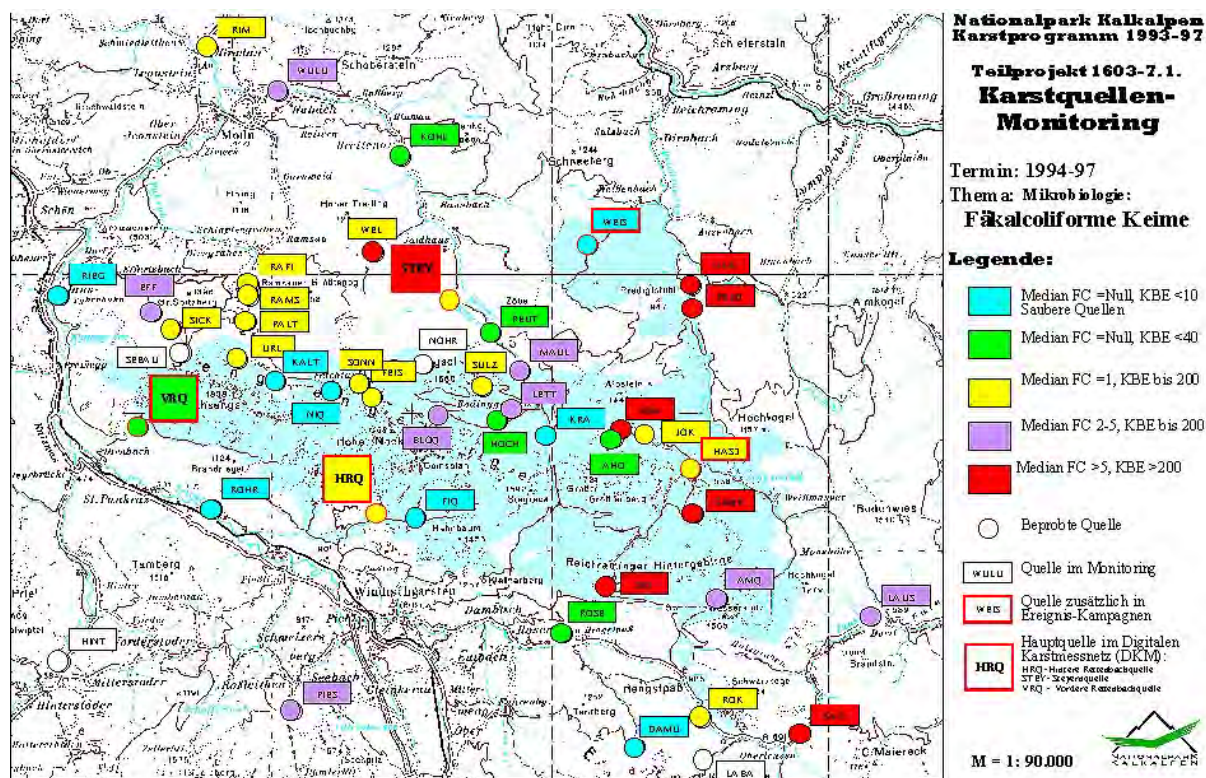
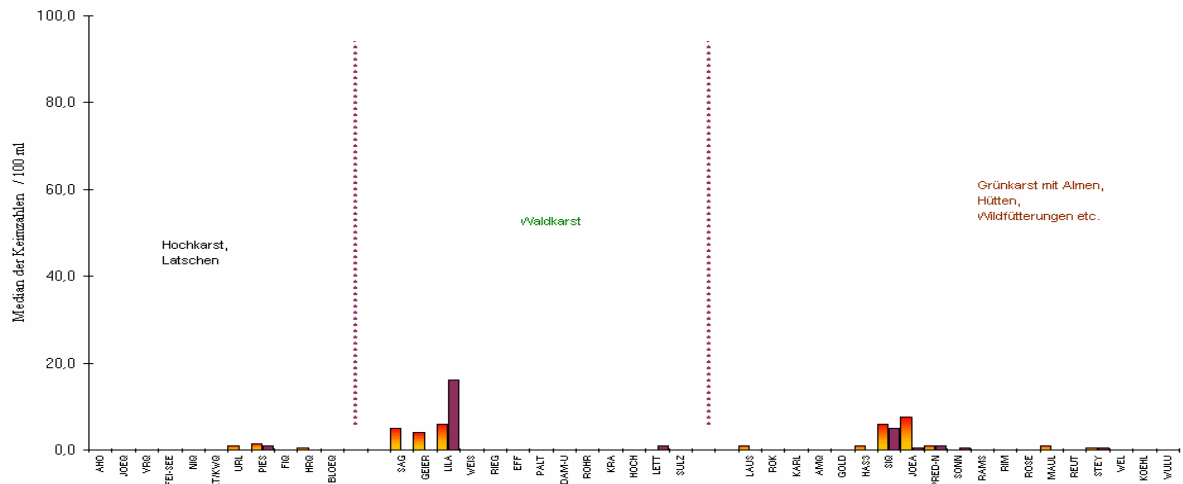


Fig. 7.5.1.-1: Durchschnittsbelastung der Quellen im Nationalparkgebiet mit fäkalcoliformen Keimen 1994-1997. Berechnet wurde der Median (Quartil-2) der Summe der Fäkalindikatoren. Es ist gut zu erkennen, daß diese Fracht mit der Gesamtbakterienführung gekoppelt ist. Die Grafik sagt relativ wenig über die jahreszeitliche Keimstreuung aus.

Unterschiede lassen sich jahreszeitlich erkennen; bei einigen Quellen (FIBA, FIQ, AMQ, WEIS) sind die Ergebnisse von Jahr zu Jahr annähernd konstant. Andere schwanken von Jahr zu Jahr in derselben Jahreszeit sehr stark; hier sieht man wiederum deutlich den Einfluß des Einzugsgebietes bzw. den Typus von Karstquelle. Auch war interessant zu erkennen, daß die Keimausbringung nicht mit bestimmten Schüttungsverläufen konform sein müssen, denn Quellschüttung und KBE Verfrachtung sind in ihren Ganglinien nicht unbedingt synchron. Diese Erkenntnisse ließen sich bei den Intensivkampagnen am besten beschreiben.

Die jahreszeitliche Verteilung der Keimführung ist anhand einiger Kartenbeilagen im Anhang dargestellt (GIS-Karten der Projektjahre).

Mikrobiologie: Escherichia Coli und Enterokokken im Quellwasser (Median)



Mikrobiologie: Escherichia Coli und Enterokokken im Quellwasser (Mittelwerte)

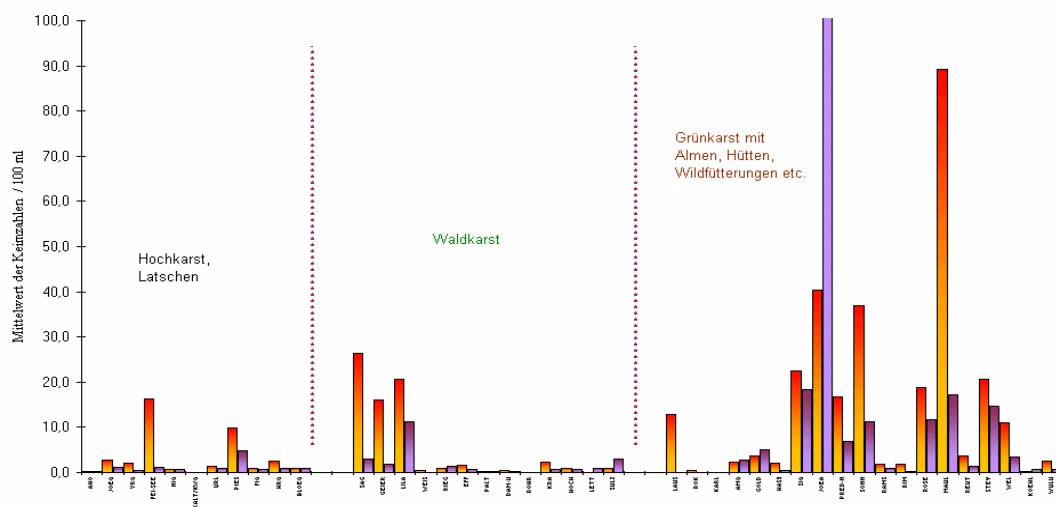


Fig. 7.5.1.-3: Die Enterokokken (lila) und E. Coli (gelb-rot) als fakultativ pathogene Zeigerkeime sind flächig im Grundwasser vorhanden, sobald die Böden aufgetaut sind. Wenngleich statistisch die Hälfte aller Proben im Jahreschnitt nicht kontaminiert ist Median-obere Abb.), zeigt sich im Mittelwert (untere Grafik) eine fast überall merkbare Grundbelastung und damit regional eine im Sommerhalbjahr auf jeden Fall problematische Trinkwasserqualität..

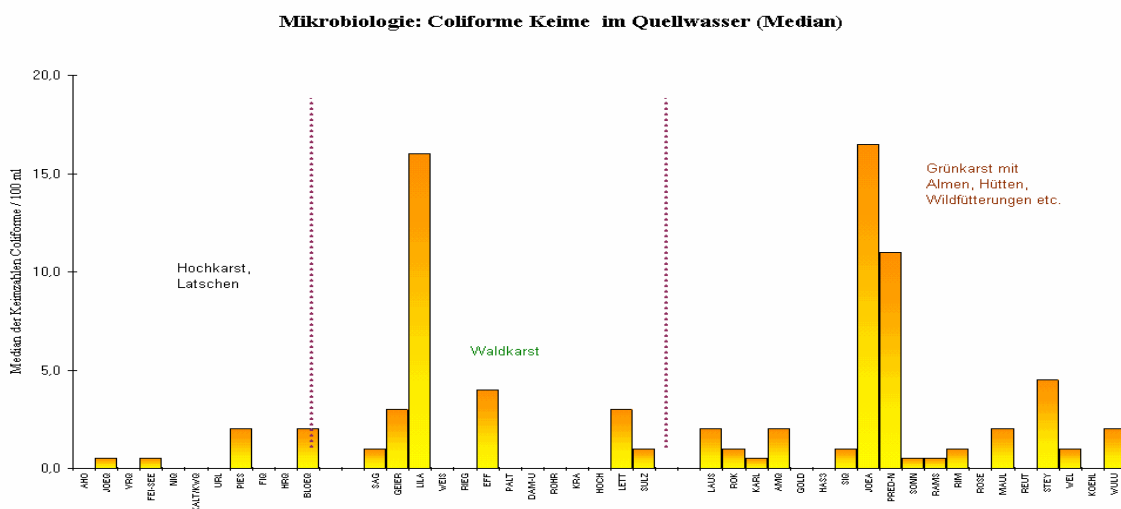


Fig. 7.5.1.-4: Die coliformen Bakterien zeigen eine höhere Auftretswahrscheinlichkeit als die beiden anderen fäkalinduzierten Lebensformen.

Große Unterschiede der mikrobiellen Belastung von Quellen zeigen sich in der jahreszeitlichen Dynamik, bzw. in der Abhängigkeit von der Witterung. Nur ganz wenige der beurteilten Quellen würden ganzjährig, unabhängig von der Schüttung, den Qualitätsanforderungen entsprechen. Reinwasser in diesem Sinne führen z.B. die Quellen Kaltwasser (KALT), Großweißenbach (WEIS), die Fischbachquelle (FIQ) und die St. Pankrazerquelle (ROHR). Die Statistik verwischt trotz der günstigen Referenzierung über das Quartil 2 (= Median) die Verhältnisse etwas: Über 80% der Quellen würden nicht ganzjährig den Anforderungen einer Trinkwasserqualität entsprechen. Vor allem Quellen, die aus Alm- und Waldweidegebieten kommen, müssen als permanent stark belastet eingestuft werden: z.B. Maulaufloch (MAUL; aus Ebenforstgebiet), Steyrnquelle (STEY) und Sonntagmauerquelle (SONN; aus Feichtalalmgebiet), Sitzenbachquelle (SIQ, teils aus Weißensteinalm), Pießlingursprung (PIES; aus Fels- und Almbereichen des Warschenecks) und Jörglalmquelle (JOEA; unter Wildfütterung und Jagdhütte).

		ENT+EC+COF	KBE	COB/KBE
Reihung	Quelle	MEDIAN (1)	MEDIAN (2)	PROZENT (3)
1	WEIS	0,0	2,0	0,0
2	KRA	0,0	3,0	0,0
3	FIQ	0,0	4,0	0,0
4	DAM-U	0,0	4,5	0,0
5	KALT/KWQ	0,0	5,0	0,0
6	ROHR	0,0	8,0	0,0
7	RIEG	0,0	9,0	0,0
8	NIQ	0,0	9,5	0,0
9	PALT	0,0	12,0	0,0
10	HOCH	0,0	12,0	0,0
11	KOEHL	0,0	14,5	0,0
12	AHO	0,0	15,0	0,0
13	GOLD	0,0	20,0	0,0
14	VRQ	0,0	23,5	0,0
15	REUT	0,0	24,0	0,0
16	ROSE	0,0	45,0	0,0
17	RAMS	0,5	13,0	3,8
18	JOEQ	0,5	16,5	3,0
19	KARL	0,5	22,0	2,3
20	HRQ	0,5	70,5	0,7

21	FEI-SEE	0,5	127,0	0,4
22	ROK	1,0	8,0	12,5
23	RIM	1,0	13,0	7,7
24	HAS3	1,0	14,0	7,1
25	SULZ	1,0	24,0	4,2
26	WEL	1,0	26,0	3,8
27	URL	1,0	46,0	2,2
28	SONN	1,0	187,5	0,5
29	WULU	2,0	7,0	28,6
30	BLOEQ	2,0	14,0	14,3
31	AMQ	2,0	14,0	14,3
32	LAUS	3,0	20,5	14,6
33	MAUL	3,0	84,0	3,6
34	LETT	4,0	25,0	16,0
35	EFF	4,0	37,0	10,8
36	PIES	4,5	70,5	6,4
37	STEY	5,5	234,0	2,4
38	SAG	6,0	179,0	3,4
39	GEIER	7,0	64,0	10,9
40	SIQ	12,0	83,0	14,5
41	PRED-N	13,0	105,0	12,4
42	JOEA	24,5	130,0	18,8

Tabelle 7.5.1.-1: Medianwerte der 1994-97 nachgewiesenen Verkeimung als Summe der Mediane von Enterokokken, E.Coli und Coliformen (1), Medianwerte der KBE (2) und Prozentverhältnis der hygienischen Zeigerkeime (1) zur Gesamtkeimzahl KBE (3). Auffallend ist, daß hohe Prozentzahlen häufig dort vorkommen, wo Einträge aus der unmittelbaren Quellumgebung nicht auszuschließen bzw. nachweisbar sind (Fassungen, Hohlräume, Wildfütterungen, Hütten).

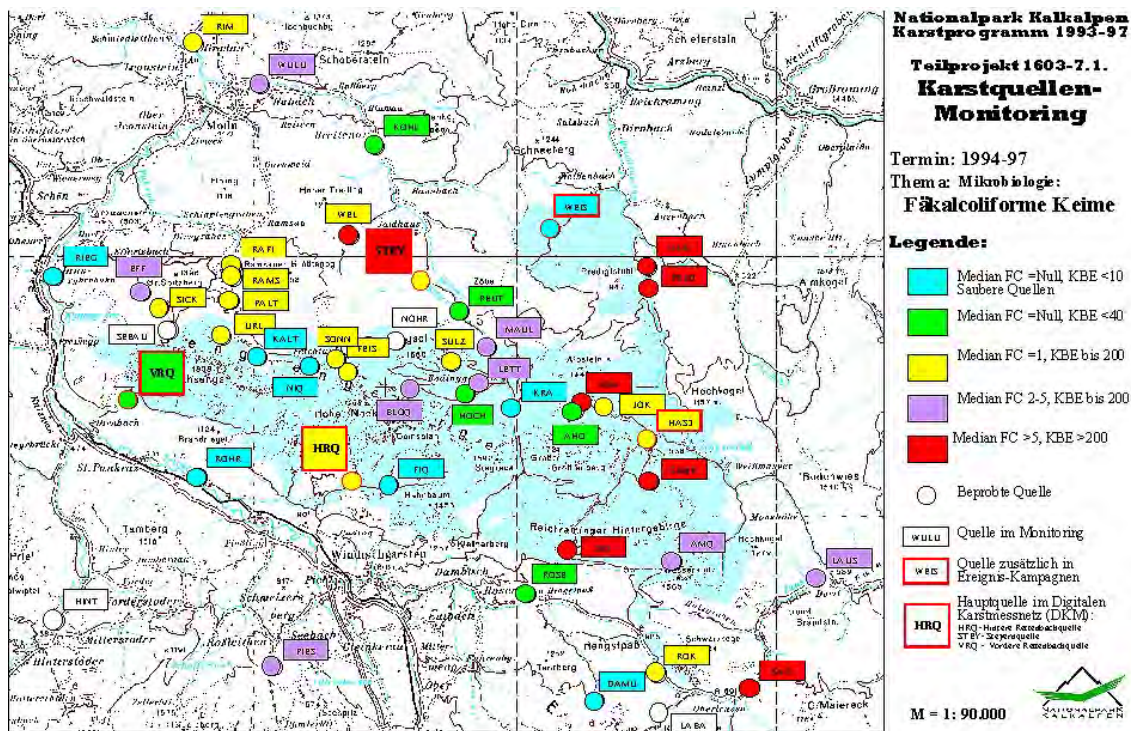


Fig. 7.5.1.-5: Räumliche Verteilung der 1994-97 nachgewiesenen Verkeimung als Summe der Mediane von Enterokokken, E.Coli und Coliformen. Siehe dazu die voranstehende Tabelle.

Faecal microbes : Frequency of yearly occurrence

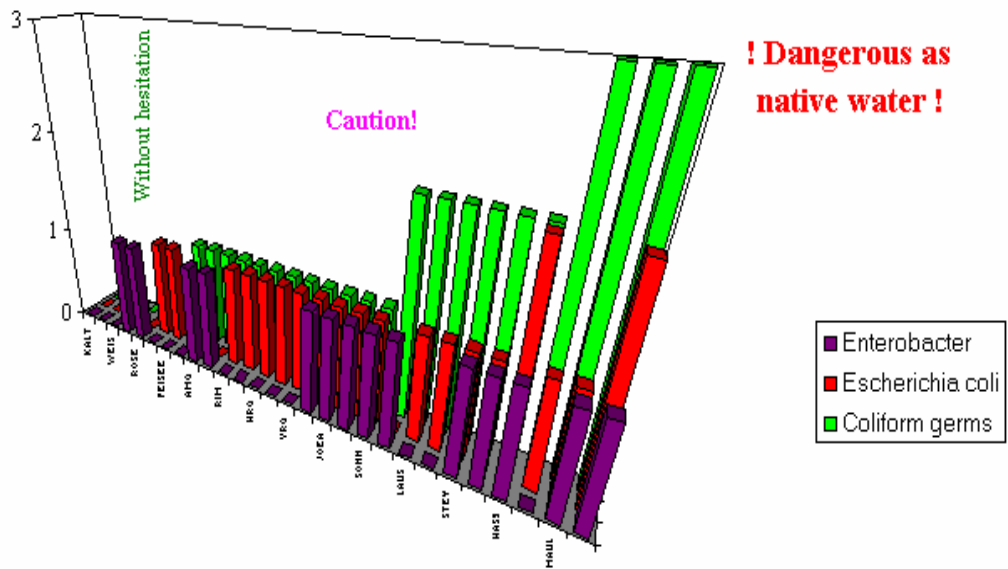


Fig. 7.5.1.-6: Alljährliches Auftreten der Verkeimung des Quellwassers mit Enterokokken, E.Coli und Coliformen. Im Winter und zur Schneeschmelze wenig, im Sommer bis Herbst höhere Verkeimung.

NAME	Termine	N Ent	N Cof	N Ecol	NAME	Termine	N Ent	N Cof	N Ecol
KALT	13	0	1	0	RAMS	13	5	6	5
ROHR	5	0	1	0	SONN	12	6	6	5
KARL	4	0	2	0	JOEQ	14	2	7	6
FIQ	13	2	4	1	ROSE	11	5	5	5
WEIS	11	0	1	1	AMQ	11	4	7	5
AHO	11	2	3	1	RIM	13	2	8	6
NIQ	6	1	1	1	WULU	13	3	8	6
KÖHL	12	5	5	2	HRQ	12	3	4	6
PALT	11	2	2	2	STEY	14	7	12	7
FEIS	10	1	5	2	MAUL	13	6	10	7

in den Nationalparkquellen 1994-97. Die Reihung erfolgt nach der obenstehenden Tabelle über die prozentuelle Anzahl der Termine mit Nachweis von E. Coli.

Karstmikrobiologie: Subterrane Biozöosen als Übergangsmedium für Fremdbakterien?

Auch pathogene Keime können längere Verweilzeiten im Karst haben und möglicherweise im subterranean „Biofilm“ überdauern. Bekannt ist vor allem *Escherichia coli* mit seinen äußerst guten Anpassungsformen an andere Lebensbedingungen. Ausgehend vom Aufenthaltsort im Darm, kann es lange „Hungerstrecken“ auch außerhalb dieses Milieus überleben (starvation survival) und sich auch bei viel niedrigeren Temperaturen vermehren. *E. coli* entwickelt hochpathogene Formen, wie *E. coli* 157 (Seroty). In der Literatur ist belegt, daß *E. coli* um so besser überleben kann, je sauberer und kälter das Nährmedium ist. Es stellt sich die Frage: Ist die Filterwirkung im Karst wirklich so gering, oder gibt es Möglichkeiten für Bakterien neue Lebensräume (Nischen) zu besiedeln? Wie hoch ist der Anteil der an der Quelle gemessenen Keimzahl, zur tatsächlich in ihr existierenden Mikroflora? Was passiert in der „Black box“ bis zum Austritt?

In der Rettenbachhöhle wurden ab 1996 Proben entnommen und auf KBE und Fäkalindikatoren hin untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die quantitative Verteilung der Keime sehr stark von der Entfernung des Karstwasserspiegels abhängig ist. Auch die Forschungen von MENNE, der Proben auf Myxobakterien untersuchte, brachten ähnliche Ergebnisse.

Die Rettenbachhöhle wurde im Zuge der Monitoringtour 4/96 unmittelbar nach einem regionalen Jahrhunderthochwasser erstbeprob. Nach der wenige Tage zurückliegenden Durchspülung der Höhle wurden im Höhlenverlauf sterile Proben entnommen und auf KBE, Coliforme, *E. coli* und Enterokokken sowie parallel auf Sedimente und Myxobakterien (MENNE) untersucht.

Rettenbachhöhle Mikrobiologie vom 26.10.1996

Entnahme-Standort	Zeit	KBE	E.Kokken	Coliforme	E.coli
REH0; Tropf- und Sickerwasserfilm in Regenhalle	16:15	35	0	0	0
REH1, stagnierende Lacke am Pegel Lange Kluft;	10:30	67	0	0	0
REH2, Tropfwasserabfluß, Abzweigung Warmstollen	16:00	4	0	0	0
REH3, Gerinne, untere Dückenröhre	11:30	5	0	0	1
REH4, durchströmte Lacke am Auslauf Vordersee	12:00	204	1	1	0
REH5, ruhiger Siphon - Endsee	12:30	222	0	3	0
REH6, Tropfregen Mittagsberg Schlot, li	13:30	12	0	0	0
REH7, Tropfregen Mittagsberg oben (re)	14:00	2	0	0	0

Tabelle 7.5.1.-3: Beprobungen Rettenbachhöhle

In den Folgejahren wurden ähnliche Probenserien gezogen und erbrachten ähnliche Ergebnisse. Als möglicher Aufenthaltsort von E.coli in der Rettenbachhöhle wurde auch die Höhlenwand angenommen. In einem quantitativen Versuchsansatz konnten folgende Werte gewonnen werden:

- 1.: Bodenprobenabstrich- Vordernsee: (4cm²): kein Wachstum von E.coli oder coliformen Keimen nachweisbar;
2. Probenabstrich von der Decke beim Vordernsee (2cm²): kein Wachstum nachweisbar
3. Probenabstrich an der Wasserlinie am Vordersee (2 cm²): nachweisbar waren hier 17 coliforme Bakterien, sowie ein E.coli.

Keimfrachten und Trübung des Wassers

Nur ein Teil der Mikroorganismen ist im freien Karstwasser zu finden. Der Hauptanteil der Mikroben, vor allem autochthone Bakterien, ist an Sedimente geheftet oder driftet im Wasser an Partikel geheftet mit. Die Art der Trübung (mineralisch oder Detritus), die durch das Seston verursacht wird, kann ohne spezielle Analysen schwer unterschieden werden. Das Seston, vor allem der Detritus trägt vielfach eine Aufwuchsflora von zahlreichen Bakterien. Auch die anorganischen Schwebstoffe adsorbieren an ihrer Oberfläche die im Wasser in nur geringer Konzentration gelösten Nährstoffe. Im allgemeinen ist eine Trübungszunahme, die mit einem kräftigen Anstieg der Bakterienzahl einher geht, wenigstens teilweise auf eine Erhöhung der organischen Schwebstoffrate zurückzuführen. Ändert sich dagegen der

Bakteriengehalt nur wenig, so ist die Trübe vorwiegend durch anorganische Schwebstoffe bedingt. Der Vergleich von Trübungsmessungen und Gesamtbakterienzahl läßt also Rückschlüsse auf die Art der Trübungsstoffe zu (Rheinheimer, 1991).

Im Oktober 1996 wurde ein Versuch in dieser Richtung unternommen. An der Hinteren Rettenbachquelle HRQ und an der Steyrnquelle STEY wurden zur selben Zeit Wasserproben entnommen. Ein genau definiertes Probenvolumen wurde mittels Membranfiltration durch einen Zellulosefilter mit 8µm Porendurchmesser gefiltert. Vom Rohwasser und vom Filtrat wurden jeweils KBE mittels Plattengußverfahren auf Glucose abgelesen und ausgewertet, für die Anzüchtung von Coliformen und E.coli wurde Chromocoult-Agar verwendet. Die Differenz von auf Rohwasser und Filtrat gewachsenen Keimen, ist der Anteil an Bakterien, der an Partikeln festgehaftet ist. Die Filter wurden auf Tonminerale am Nanosearch-Membrane Institut in Wien elektronenmikroskopisch untersucht und von den gefundenen Partikeln wurde eine Elementaranalyse (EDX-Spektrum) gemacht.

An der HRQ haftet mehr als die Hälfte der Mikroben am anorganischen und organischen Zerreibsel. Auf den Filtern der HRQ waren auf 5 mm² 30 Partikel in der Größenordnung von 10µm zu erkennen; 10 mal soviel, wie an der STEY. Hier konnten auf 5 mm² nur 3 Partikel in der Größenordnung von 10µm gefunden werden. Die EMX-Analyse zeigt bei beiden als Hauptelement Quarz (Silizium) an. Interessant ist, daß die STEY eine generell viel stärkere Trübung aufweist, aber weniger Partikel anorganischer Herkunft sind. An der STEY sind bis zu zwei Drittel der Bakterien an Partikel adsorbiert, leben also nicht im freien Wasser.

Beurteilung und Methodik

In Österreich wird das Wasser mikrobiell nach den Anforderungen des Österreichischen Lebensmittelbuches, Kapitel B1 beurteilt.

"Trinkwasser muß frei von solchen Bakterien, Viren und Parasiten sein, die durch Verschlucken eine Erkrankung des Menschen verursachen können. Da deren Nachweis langwierig und nicht immer sicher ist, wird Trinkwasser routinemäßig nur auf das Vorhandensein von sogenannten Indikatorkeimen überprüft"(ÖLMB B1 Pt.9). Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die nachstehend angeführten Richtzahlen (RZ) und zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK) eingehalten werden:

Bakteriologische Parameter für ursprüngliches (natives) Wasser		Richtzahl RZ
Gesamtkeimzahl (KBE/ml) bei 22°C		100
Gesamtkeimzahl (KBE/ml) bei 37°C		10
(ZHK)		
Escherichia coli		nicht nachweisbar in 100 ml
Coliforme Bakterien		nicht nachweisbar in 100 ml
Enterokokken		nicht nachweisbar in 100 ml

Bestimmung der Gesamtkoloniezahl KBE: Plattengußverfahren:

Referenzen: DEV, K5ISO/DIS 9998

DEV-Nährgelatine Merck 10691 (für KBE 22°C); DEV-Nähragar Merck 11471 (für KBE 37°C)
 1 ml sowie 0,1 ml der Probe werden unter geringem seitlichen Anheben des Deckels mit Hilfe einer sterilen Pipette in je eine sterile Petrischale eingebracht. Die sterile Nährgelatine wird bis zum Schmelzpunkt (28-30°C) erhitzt (zur vollständigen Verflüssigung sollte Nährgelatine auf 50°C erhitzt werden), je nach dem Abkühlen auf etwa 45°C (Lidprobe) wird jeder Petrischale unter sterilen Bedingungen die flüssige Nährgelatine zugesetzt und unter Bewegung in Form einer "8" mit der Probe vermischt. Die Nährgelatine sollte in waagrechter Lage erstarren. Bebrütung: 48 Stunden bei 22°C (Erstarrungstemperatur: < 28°C) Auswertung: Die aus den einzelnen Keimen gebildeten Kolonien werden mit Hilfe einer Lupe ausgezählt.

E. coli, coliforme Keime und Fäkalstreptokokken (Enterokokken): Membranfiltrationsverfahren
 DEV, K6, (DIN 38411) ISO/DIS 9308-1 (1990) (Colif.)

ÖNORM M6611 Teil 2 ISO 7899-2:1984 (Enterokokken)

Das Membranfiltrationsgerät muß vor der Verwendung sterilisiert werden. Das Unterteil des Gerätes wird mit Hilfe eines Gummistopfens auf eine Saugflasche aufgesetzt und diese mittels Vakuumschlauch mit einer Wasserstrahlpumpe verbunden. Der sterile Membranfilter wird mit einer sterilen Pinzette der Kunststoffhülle entnommen. Nach Abnehmen des Aufsatzes wird der Filter auf den Filtriertisch des Geräteunterteils gelegt und der Aufsatz sofort wieder aufgesetzt. Nach erfolgter Filtration wird der Membranfilter mit dem Gitternetz nach oben mit Hilfe einer sterilen Pinzette blasenfrei auf die Oberfläche des Endo-Agars bzw. des des Enterokokken-Agars aufgebracht, danach erfolgt die Bebrütung bei 37°C für 24/bzw. 48 Stunden.

LITERATUR:

Stmk. Landesregierung; Fachabteilung IIIc; Öllarmdienst. Bakteriologische Untersuchungen von Quellwässern des WV „Totes Gebirge“ (von DI Rauter).

Balkwill, D.L., and Ghiorse, W.C. (1985). Characterization of subsurface bacteria associated with two shallow aquifers in Oklahoma. *Appl. Environ. Microbiol.* 50, 580-588.

Balkwill, D.L., Leach, F.R., Wilson, J.T., McNabb, J.F., and White, D.C. (1988). Equivalence of microgial biomass measures based on the membrane lipid and cell wall components, adenosine triphosphate, and direct counts in subsurface aquifer sediments. *Microb. Ecol.* 16, 73-84.

Bauld, J., Evans, W.R. and Kellett, J.R. (1990). Groundwater system for the Murray Basin, Southern Australia. In „Microbiology of the Deep Subsurface“ (C.B. Fliermans and T.C. Hazen, eds.), S2, pp. 83-96. WSRC Information Services, Aiken, South Carolina.

Benoit, R.E., and Phelps, T.J. (1990). Microaerophilic bacteria from subsurface sediments. In „Microbiology of the Deep Subsurface“ (C.B. Fliermans and T.C. Hazen, eds.), S4, pp. 87-96. WSRC Information Services, Aiken, South Carolina.

Bianchi, A. et al. (1987). Etude bacteriologique des sediments quaternaires et pliocene superior du delta de la Mahakam (Kalimantan, Indonesie). In „Le sondage Misedor“, pp. 206-224. Technip, Paris.

Bone, T.L., and Balkwill, D.L. (1988). Morphological and cultural comparison of microorganisms in surface soil and subsurface sediments at a pristine study in Oklahoma. *Microb. Ecol.* 16, 49-64.

Cullimore, D.R. (1993). „Practical Manual of groundwater Microbiology“. Lewis, Chelsea, MI.

Daubner, J. (1984). Mikrobiologie des Wassers, 2. überarb. Auflage, Akademie Verlag, Berlin.

- Daumas, S., Lombart,R.,and Bianchi,A.(1986). A bacteriological study of geothermal spring waters dating from the dogger and trias period in the Paris Basin. *Geomicrobiol. J.* 4, 423-433.
- Dudich, E. (1930). Die Nahrungsquellen der Tierwelt in der Aggteleker Tropfsteinhöhle. *Allatorv. Közl.*27,77-85.
- Eichem, A.C., Dodds,W.K.,Tate, C.M.,and Edler, C.(1993). Microbial decomposition of elm and oak leaves in a karst aquifer. *Appl. Environ. Microbiol.*59, 3592-3596.
- Frederickson,J.K., et al.,(1989). Lithotrophic and heterotrophic bacteria in deep subsurface sediments and their relation to sediment properties. *Geomicrobiol. J.*7, 53-66.
- Frederickson,J.K., et al.,(1990). Microorganisms in deep cretaceous sediments of the atlantic coastal plain: Vertical variations and sampling considerations. In „Microbiology of the Deep Subsurface“(C.B. Fliermans and T.C. Hazen,eds.),S3,pp.53-63.WSRC Information Services, Aiken South Carolina.
- Gärtner, A., (1902). Die Quellen in ihrer Beziehung zum Grundwasser und zum Typhus. Gustav-Fischer Verlag, Jena.
- Ghiorse, W.C., and Balkwill,D.L.(1983). Enumeration and morphological characterization of bacteria indigenous to subsurface environments. *Dev. Ind. Microbiol.* 24, 213-224.
- Ghiorse, W.C., and Wilson, J. T.(1988). Microbial ecology of the terrestrial subsurface. *Adv. Appl.Microbiol.*33, 107-172.
- Gounot,A.M.(1970). Quelques observations sur le micropeuplement des limons des grottes arctiques. *Bull. Soc. Linn.Lyon* 39, 226-236.
- Gounot,A.M. (1973). Recherches sur les bacteries cavernicoles. *C. R.Cong.Natl.Soc. Savantes, Sect. Sci.*96(3),257-265.
- Gilbert J., et al.. „Groundwater Ecology“: Microbial Ecology of Groundwater; pp189 - 215.(Universite Lyon I, Ecologie Microbienne, U.R.A. CNRS 1450, 69622 Villeurbanne Cedex, France.
- Hirsch,P., and Rades-Rohkohl,E.(1983). Microbial diversity in a groundwater aquifer in Northern Germany. *Dev.Ind.Microbiol.*24,183-200.
- The natural microflora of the Segeberger Forst auifer system. In“Progress in Hydrochemistry“(G.Matthess, F.Frimmel, P.Hirsch, H.D.Schulz,and H.E. Usdowski,eds.), pp.390-412. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Hirsch,P., and Rades-Rohkohl,E.et al.(1992a). Morphological and taxonomic diversity of groundwater microorganisms. In “Progress in Hydrochemistry“ (G.Matthess,F.Frimmel,P. .Hirsch, H.D.Schulz,and H.E. Usdowski, eds.) pp.311-325. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Jimenez,L.(1990). Molecular analysis of deep- subsurface bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*56, 2108-2113.
- Kilbertus, G., and Schwartz,R.(1981). Relations microflore-microfaune dans la grotte de Sainte-Catherine(Pyrenees ariegeoises). I. Recherche des sources trophiques. *Rev. Ecol. Biol.Sol* 18,305-317.

- Kölbel- Boelke, J., and Hirsch, P. (1989). Comparative physiology of biofilm and suspended organisms in the groundwater environment. In "Structure and Funktion of Biofilms"(W.G.Characklis and P.A. Wilderer, eds.),pp. 221-238. Wiley, New York.
- Madsen,E.L., and Ghiorse,W.C.(1993). Groundwater microbiology: Subsurface ecosystem processes. In "Aquatic Microbiology: An Ecological Approach" (T.E. Ford, ed.),pp.167-213. Blackwell, Boston
- McNabb,J.F.,and Dunlap, W.J.(1975). Subsurface biological activity in relation to ground water pollution. In „Groundwater Pollution Microbiology“(C.P.Gerba and G. Bitton,eds.),pp.235-260.Wiley, New York.
- PAVUZA, R.; TRAINDL, H.(1985): Zur Hydrochemie und Bakteriologie alpiner Karstwässer. Die Höhle 36(4): 123-142, Wien.
- Reichhardt,W., (1978). Einführung in die Methoden der Gewässermikrobiologie. Gustav-Fischer Verlag Stuttgart New York.
- Rheinheimer,G.(1991). Mikrobiologie der Gewässer. Gustav-Fischer Verlag.
- White, D.C.,Smith, G.A.,Gehorn, M.J.,Parker, J.H.,Findlay, R.H.,Martz,R.F.,and Frederickson, H.L.(1983). The groundwater aquifer microbiota: Biomass, community structure, and nutritional status. Dev. Ind.Microbiol. 24,201-211.
- White, D.C.,Ringelberg,D.B.,Guckert,J.B.,and Phelps, T.J.(1990).Biochemical markers for in situ microbial community structure. In „Microbiology of the Deep Subsurface“ (C.B.Fliermans and T.C. Hazen,ed.), S4,pp.45-56.WSRC Information Services, Aiken, South Carolina.

LISTE DER TEILBERICHTE

- SCHMIDT, S. (1996a): Mikrobiologie der Quellen 1995. Teil 1: Verteilung in den Quellen des Monitorings 1995. Graz, Jänner 1996 - Teil 2: Konzeptive Weiterentwicklung des Nationalpark-Labors und versuchsweise analytische Behandlung. Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Graz, Mai 1996.
- SCHMIDT, S. (1996b): Teilprojekt 1603-7.5.1./96, "Mikrobiologische Beprobung, Analyse und Auswertung der Quellwässer sowie Installation neu angewandter Methodiken für weiterführende mikrobiologische Analysen im NP-Labor." 60S., Abb., Tabellen und Grafiken. - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Graz, November 1996.
- SCHMIDT, S. (1997): Teilprojekt 7.5.1./1997 „Mikrobiologische Beprobung: Seuchenhygienische Zeigerorganismen im Quellwasser, Analyse und Auswertung“. - 39 S., zahlr. Tab. und Abb. - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Graz, im November 1997.

Mag. Dr. Susanne SCHMIDT
Testarellogasse 26/4
A-1130 Wien
sschmidt@ml.BioMerieux.fr

ORGANISCHER KOHLENSTOFF IM QUELLWASSER

Teilprojekt AZ. 7.6/95

Das Ziel dieser Studie war es, einen ersten Überblick über die Verteilung von gelösten und partikulären organischen Substanzen (DOC, POC) und über die Qualität und Quantität der Schwebstoffe zu gewinnen.

In einigen Quellen, insbesondere in den Grossquellen sind die DOC-Konzentrationen mit im Mittel >2 mg/l als beträchtlich hoch einzustufen. Im Vergleich: hochalpine Fliessgewässer weisen Konzentrationen von zumeist <0.5 mg/l auf, kleine Waldbäche etwa 1 mg/l und der z.B. Rhone-Fluss etwa 1.5 mg/l (Cellot & Rostan 1993). Die Varianz der DOC-Konzentration kann als "Stabilitätsparameter" verwendet werden. Sowohl in der Steyern- als auch in der Hinteren Rettenbachquelle ändern sich die DOC-Konzentrationen kaum mit wechselndem Pegelstand. Vergleicht man hingegen die TOC- Konzentrationen (DOC + POC) der wesentlichen Grossquellen, so zeigen sowohl die Quelle Maulaufaufloch als auch die Steyernquelle Varianzquotienten von 53 - 58 % ($x/a \cdot 100$, $n=10$, 1993-1995). Diese Werte liegen deutlich über jenen der anderen Quellen. Maulaufloch und Steyern weisen Degradationserscheinungen im Einzugsgebiet aus. Diese wirken sich in erster Linie auf die POC- (bezw. Seston-) frachten aus.

Die an den Quellen beobachteten DOC/POC Relationen liegen deutlich höher als in den meisten Fliessgewässern. Insbesondere gilt dies für den Hinteren Rettenbach (DOC/POC - -Verhältnis: 1:33). Die unterschiedlichen POC- Konzentrationen in der Steyern- und Rettenbachquelle lassen sich anhand der Struktur der Einzugsgebiete (E) erklären. Das E der HRQ ist von Mischwald und Latschen- bis Kahlkarst dominiert, während Almen und bewirtschaftete Wälder mit offenen Ponoren das E der Steyernquelle kennzeichnen. Die STEY weist sowohl höhere Grundkonzentrationen (Seston) als auch höhere Spitzenkonzentrationen als die HRQ auf. Zugleich wird in der STEY hauptsächlich allochthones, anorganisches partikuläres Material transportiert. Die geringe Korrelation zwischen organischem Gehalt und der Sestonkonzentration unterstützt diese Vermutung. In der Quelle-HRQ setzt sich das partikuläre organische Material verstärkt aus organischen Bestandteilen zusammen, was auf einen höheren autochthonen Anteil am Schweb hindeutet.

Meßkampagnen bei kurzfristigen Extremereignissen, wie Hochwässern und Schneeschmelze, geben einen wesentlichen Hinweis zur "ökologischen Sensibilität" der jeweiligen Quellen auf Veränderungen in-den Einzugsgebieten:

Intensivkampagne Hinterer Rettenbach (HRQ) und Steyrnquelle (STEY)

Die Schwebstoffkonzentrationen waren in STEY etwa 5-fach höher (0.64-5.63mg/l) als in der HRQ. Der organische Anteil war hingegen mit durchschnittlich 33% in der HRQ 3-fach höher. In beiden Quellen wurden die höchsten Konzentrationen zum Zeitpunkt des beginnenden Pegelanstiegs beobachtet ("Hysteresis"-Effekt). Die DOC-Konzentrationen hingegen waren pegelunabhängig in beiden Quellen mit ca. 2mg/l ähnlich. Mit dem Anstieg der Schwebstoffkonzentrationen nahmen die mittleren Korndurchmesser immer ab, zugleich stieg der anorganische Anteil am Schweb.

Vergleich von 30 Quellen

Der Vergleich der Quellen zeigte grosse Unterschiede sowohl in den POC- als auch in den DOC-Konzentrationen, wobei beide Parameter in positiver Beziehung zueinander stehen. In allen Quellen sind die DOC-Konzentrationen deutlich höher als die POC-Konzentrationen, ausgeprägt höher in VRQ, HRQ, LAUS, SONN. Zu jenen Quellen, die sowohl hohe Schwebstoff- als auch DOC-Konzentrationen aufweisen zählen das Maulaufloch, die Geigengrubquelle, die Ahorntalquelle, die Steyrnquelle und die Quelle bei der Jörglalm. Auch die Korngrößenunterschiede zwischen den einzelnen Quellen sind groß. Geringe mittlere Korndurchmesser zeigen etwa der Piesling Ursprung oder die Rinnende Wand, während wiederum die Geigengrubquelle die höchste mittlere Korngrösse aufweist (Artefakt?).

Insgesamt können das Maulaufloch, die Geigengrubquelle, aber auch die Steyrnquelle und Ahorntalquelle, bei der angetroffenen Situation als Quellen mit einem relativ hohes Kohlenstoffaustrag bezeichnet werden. Von den Großquellen zeigt der Pieslingursprung die niedrigsten Kohlenstoffkonzentrationen.

Quelle	DOC	POC	% am TG	DOC/POC
Pred-N	2.28	0.19	19.9	11.9
AMQ	0.76	0.12	37.2	6.2
JÖA	2.91	0.31	21.1	9.5
AHO	1.75	0.34	12.2	5.1
JÖQ	0.69	0.07	18.1	10.0
WEIS	0.71	0.05	25.3	14.8
ROSE	0.70	0.13	27.0	5.2
SIQ	1.55	1.76	72.5	0.9
DAMU	0.55	0.11	39.0	4.8
HAS3	1.56	0.10	31.5	15.0
FIBA	1.40	0.42	8.2	3.3

HRQ	1.88	0.08	37.7	24.1
KARL	0.58	0.46	4.3	1.3
PIES	0.96	0.10	24.1	9.2
LAUS	2.12	0.10	16.3	21.4
FIQ1	1.29	0.08	16.4	15.4
EFF	2.00	0.41	4.2	4.9
TRAUN	1.44	0.17	7.4	8.4
VRQ	2.15	0.06	9.6	34.6
WEL	0.79	0.14	14.9	5.9
NIK	1.10	0.09	16.9	12.6
KWQ	1.16	0.09	26.9	12.8
RAMS	1.12	0.07	17.7	16.6
STEYR	3.80	0.25	17.3	15.2
SONN	5.25	0.26	20.7	20.5
HOCH	1.00	0.16	40.3	6.3
MAUL	3.34	0.61	12.4	5.5
FEIS	0.79	0.17	45.1	4.6
KRA	1.55	0.19	24.3	8.4
RIM	1.13	0.11	21.1	10.4

Tabelle 7.6.1.-1: Konzentrationen (mg/l) gelöster (DOC) und partikulärer (POC) organischer Kohlenstoffverbindungen und das Verhältnis der gelösten zum partikulären Anteil (Probenstermin: 17.-19.08.1995).

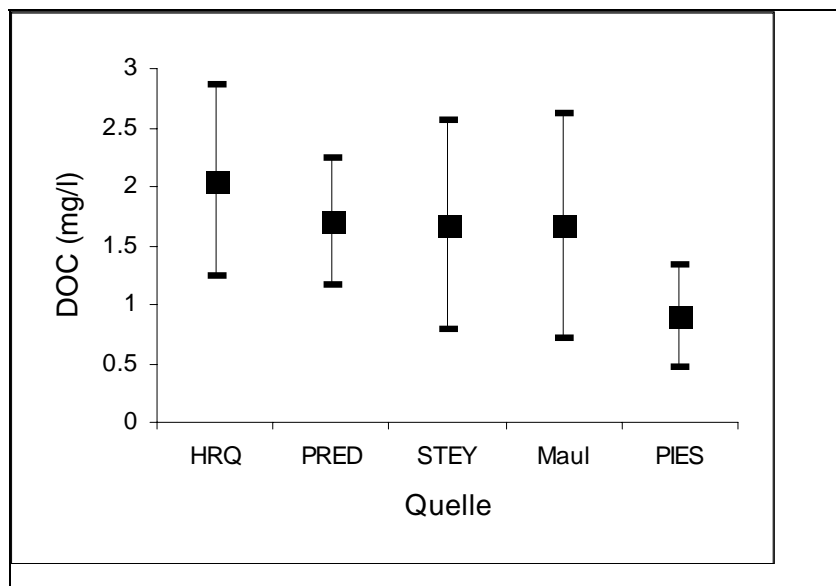


Fig 7.6.1.-1: Spanne der DOC-Konzentrationen aus Vergleichsmessungen einiger Hauptquellen. Mittelwerte und Standardabweichungen.

Vergleich von Rückstellproben auf TOC

Vergleicht man einzelne Probenentnahmezeitpunkte miteinander, so konnten die höchsten Konzentrationen am 1.8.1995 gemessen werden. Die Konzentrationen bewegten sich zu diesem Zeitpunkt zwischen 0,98 mg/l (Welchauerquelle) und 4,07 mg/l (Maulaufloch). Die niedrigsten mittleren Konzentrationen konnten hingegen am 21.10.1993 festgestellt werden. Da reichten die Konzentrationen von 0,31 mg/l (Quelle bei Köhlerschmiede) bis 1,57 mg/l (HRQ). Von den untersuchten Quellen zeigten zu allen Terminen die Quellen Kaltwasser, Welchauer, Nicklbach und Köhlerschmiede niedrige Konzentrationen (zumeist <1,0 mg/l). Von den fünf Hauptprobenstellen zeigt die Quelle beim Hinteren Rettenbach (HRQ: $2,05 \pm 0,81 \text{ mg/l}^{-1}$, $n=11$) die durchschnittlich höchste, der Piesling Ursprung (PIES: $0,91 \pm 0,43 \text{ mg/l}^{-1}$, $n=8$) die geringste Konzentration.

Projektausführung, Methodik

Die Proben wurden von Mitarbeitern des Labors des Vereins Nationalpark Kalkalpen gezogen und vorbehandelt. Ausgeführt wurden die Analysen am Int. Für Zoologie der Universität Wien.

Zur Bestimmung des Sestongehaltes wurden zwischen 2 und 11 Liter Quellwasser, in jeweiliger Abhängigkeit von der Gesamtkonzentration, durch aschefreie GF/F Glasfaserfilter gefiltert. Der Filtrerrückstand wurde bei 60°C getrocknet (48h) und gewogen. Die Gewichts Differenz ergibt die jeweilige Konzentration an partikulärem organischem Material im Quellwasser. Die getrockneten Proben wurden anschliessend verbrannt (490°C, 4,5h) und rückgewogen. Die Differenz ergibt das "ash free dry weight" (AFDW), das in etwa dem verbrennbaren organischen Anteil entspricht. Vergleiche mit den POC-Werten ergaben ein Verhältnis von 2:1 (AFDW:POC).

Für die Bestimmung des gelösten (DOC, dissolved organic carbon) organischen Kohlenstoffs wurde Probenwasser durch vorgemuffelte (450°C, 4,5h) Whatmann GF/F Glasfaserfilter filtriert. Das Filtrat wurde in gemuffelten Glasampullen bei -20°C bis zur Analyse aufbewahrt. Ab 1997 wurden, im Einvernehmen mit dem ausführenden Labor, mit HCl gespülte Kunststoffflaschen verwendet. Der organische Kohlenstoffgehalt (mg/l) wurde mit einem Shimadzu TOC-5000 Analyzer - nach Behandlung der Proben mit CO₂-freier Luft - bestimmt. Ein Platin-Katalysator auf Quarz wurde bei der Analyse mitverwendet (Brenner & Strom, 1993). TOC (total organic carbon) wurde wie DOC, jedoch ohne Filtration und nach einer Behandlung mit Ultraschall, analysiert. Der partikuläre Anteil (POC, particulate organic matter) lässt sich aus den Differenzen beider Konzentrationen von TOC und DOC errechnen. Von den Rückstellproben wurde einzig TOC bestimmt, da durch die teilweise lange Lagerung partikuläre Kohlenstoffbestandteile in gelöste Bestandteile zerlegt worden sein könnten.

LITERATUR

- BENNER, R. & STROM, M. (1993): A critical evaluation of the analytic blank associated with DOC measurements by high-temperature catalytic oxidation. -Mar.Chem. 41, 153-160.
- CALOW, P. & PETTS, G.E. (1993,Eds): The River Handbook, Vol.1-Blackwell Scientific Publ., Oxford.
- CELLOT, B. & ROSTAN, J.C. (1993): Dissolved organic carbon dynamics in the UpperRhône: the influence of side arms? Regulated Rivers, 8, 391-397.

- HOPE, D, BILLET, M.F. & M.S. CRESSER (1994): A review Auf the export Auf carbon in river water: fluxes and processes.- Environmental Pollution 84, 301-324.
- HOROWITZ, A.J. (1991): Sediment-Trace Element Chemistry.- Lewis Publ., Chelsea, MI.
- MANGELSDORF, J. & SCHURMANN, K. (1980): Flußmorphologie.-R. Oldenburg, München.
- MÜLLER, G. (1964): Methoden zur Sedimentuntersuchung.- Schweizberbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- WALLING, D.E. (1996): Suspended sediment transport by rivers. A geomorphological and hydrological perspective.- Arch.Hydrobiol.Spec.Advanc.Limnol. 47, 1-27.
- WALLING, D.E. & MOOREHEAD, P.W. (1989): The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview.-Hydrobiologia 176/177, 125-149.
- WARREN, L.A. & ZIMMERMANN, A.P. (1994): Suspended particulate grain size dynamics and their implications for trace metal sorption in the DON River.- Aquatic Sciences 56/4, 348-362.
- WEIGAND, E. & TOCKNER, K. (1996): Limnologische Charakterisierung ausgewählter Karstquellen im Nationalparkgebiet Nördliche Kalkalpen.- Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Vereins Nationalpark Kalkalpen, 105pp.
- WOTTON, R.S. (1992, Ed.): The Biology of Particlaes in Aquatic Systems.- CRS Press, Ann Arbor.

LISTE DER TEILBERICHTE

- TOCKNER, K. (1996): Teilprojekt 1603-7.6./95: Schwebstoffe und organische Kohlenstoffverbindungen in ausgewählten Quellen des Nationalparkgebietes „Nördliche Kalkalpen“. 29 S., Tabellen, Grafiken. Zürich, Oktober 1996. . - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen.

Dr. Klement TOCKNER
Dept. Limnology
EAWAG/ETH
Überlandstraße 133
CH-8600 DÜBENDORF
tockner@eawag.ch

ANORGANISCHE SCHWEBSTOFFE IM QUELLWASSER

Teilprojekt AZ. 3.2/97 (Pilotstudie, OTTNER F. 1998)

In der Studie von [OTTNER \(1998\)](#) wurde die mineralogische und tonmineralogische Zusammensetzung, die Korngrößenverteilung sowie die Menge der Schwebstoffe bestimmt. Trotz der wenigen Proben und den zum Teil sehr geringen Probenmengen konnte eine grosse Vielfalt in der mineralogischen Zusammensetzung der Schwebstoffproben gefunden werden.

Probensamples:

- Schwebstoffproben (Grossproben), die im Rahmen der Ereigniskampagnen 1997 vom Beprobungsteam eingesammelt, und von meist 100l auf 5l aufkonzentriert wurden,
- Schwebstoffproben – Rückstell-bzw. Restproben von verschiedenen Kampagnen 1996 – meistens etwas weniger als 5l,
- Filterproben – Glasfaser-Filter mit aufgesaugten Schwebstoffen diverser Kampagnen 1996, Daten von Coultercounteranalysen 1997

Bezeichnung und Entnahmedatum der Proben	Lab.Nr.	Suspensions-Menge[l]	Feststoff-Menge [mg]	Schwebstoff-Fracht [mg/l]
WEIS, 14.4.1997	2873	100	1,8	0,02
WEIS, 6.7. 1997 9.00	2972	100	97,6	0,98
HRQ, 14.4 1997	2874	100	6,8	0,07
HRQ, Dückensee 29. 5. 1997	2876	0,2	102,7	(536,00)
HRQ, Fischteiche, 6.–8.7. 1997	2877	0,2	840,2	(4201.00)
HRQ, 6.7. 1997 9.00	2971	100	431,6	4,32
STEY, 22.5. 1997	2875	100	104,6	1,05
STEY, 6.7. 1997 12.00	2973	100	1649,3	16,49
STEY, 7.7. 1997 09.00	2974	100	306,8	3,07

Tabelle 3.2.2.-1: Schwebstoffproben (Grossproben) in Nationalparkquellen 1997.

Zwei der neun Grossproben konnten wegen wesentlich zu geringen Probenmengen nicht analysiert werden.

Grossweissenbachquelle WEIS

Einzugsgebiet: 34, Reichramingbach

Gestein: Hauptdolomit

1 (2) Probe(n) Juli 1997

In dieser Probe sind Kalzit, Dolomit, Quarz, Schichtsilikate und Spuren von Feldspat (Plagioklas) enthalten. Auffällig bei dieser Probe ist der deutlich erhöhte Untergrund des Diffraktogramms (Hinweis auf amorphe Phase – Diatomeen?)

Hintere Rettenbachquelle HRQ, Fischteichquelle HRQ-DKM, Rettenbachhöhle-Dückersee

Einzugsgebiet: 36, Dambach, Teichl

Gestein: Wettersteinkalk

4 Proben von April bis Juli 1997

Die mineralogische Zusammensetzung der Schwebstoffe ist sehr stark dolomitdominiert, gefolgt von geringeren Kalzitanteil und geringen Quarz- und Schichtsilikatmengen (Glimmer und Chlorit). Feldspäte konnten in Spuren nachgewiesen werden.

Diese Quelle dürfte wesentlich stärker von dem angrenzenden Hauptdolomit (oder auch stärker dolomitisiertem Wettersteinkalk) beeinflusst sein als von dem direkt im Quellbereich anstehendem Wettersteinkalk.

Dolomitdominanz.

Steyernquelle-STEY

Einzugsgebiet: 37, Krumme Steyrling

Gestein: Opponitzer Kalk

3 Proben Mai bis Juli 1997

Geringe Mengen Kalzit und Dolomit sowie Quarz konnten in den Schwebstoffen der Steyernquelle nachgewiesen werden. Kalzit dominiert ausser in der Probe vom 6. Juli 97, wo Dolomit bei den Karbonatmineralen überwiegt (Probe wurde bei Hochwasserwelle gezogen). Dominierende Mineralgruppe in den Steyern Schwebstoffen sind die Schichtsilikate. Diese hohen Gehalte weisen auf sehr starke Erosions-oder Umlagerungsvorgänge von feinkörnigen Sedimenten hin (event. Rossfeldschichten).

Schichtsilikatdominanz.

Wie für das hauptsächlich aus Trias- und Jurakalken bzw. aus Hauptdolomit aufgebaute Einzugsgebiet zu erwarten ist, kommen in beinahe allen Gewässern des Nationalparkes die beiden Karbonatminerale Kalzit und Dolomit in unterschiedlichen Mengen vor. Quarz ist als Durchläufer in allen Proben zu finden. Schichtsilikate treten in wechselnden Quantitäten auf.

So weisen z.B. die Schwebstoffproben der einem Karströhrensystem entspringenden „Maulauflochquelle“ (MAUL) sehr hohe Schichtsilikatanteile auf, was auf hohen erosiven Eintrag aus den Almböden und den zerfurchten Forstflächen des Einzugsgebietes hinweisen dürfte. Isotopen-, Hydrochemie- und Mikrobiologieproben weisen auf sehr raschen, stoßweisen Durchlauf des Wassers vom Ebenforstplateau hin. In einer Probe der Großweißenbachquelle (WEIS) dagegen konnten neben dem dominierenden Dolomit überhaupt keine Schichtsilikate nachgewiesen werden. Das Einzugsgebiet dieser beständigen Kluftquelle ist das dolomitische, von naturnahem Mischwald bestockte Vorbergmassiv des Zöbelbodens, die Quelle ist nach den hydrologischen Parametern von langen Durchlaufzeiten bei gleichmäßiger Schüttung und optimaler Seihung geprägt. Die Trübstoff-Fracht ist also ganz sicherlich eine Funktion der Durchlaufzeit und der hydraulischen Verhältnisse im Einzugsgebiet (gute oder schlechte Pufferung im Boden-Vegetations-System) und Gestein (eng- oder weitklüftig).

Die mineralogische Zusammensetzung der Schwebstoffe steht in einem engen Zusammenhang mit der Korngrößenverteilung: Während Nichttonminerale wie Quarz, Kalzit, Dolomit etc. in erster Linie in den gröberen Fraktionen auftreten, machen Tonminerale wie Smektit, Illit, Kaolinit etc. den überwiegenden Anteil der Tonfraktion <2µm aus. Die mineralogische Zusammensetzung der Schwebstoffe spiegelt meist die geologisch-morphologische Situation des Einzugsgebietes des Flusses wider. Insbesondere kann auf Erosions- und Umlagerungsvorgänge natürlicher oder anthropogener Natur geschlossen werden.

Allerdings sind dazu Langzeitbeobachtungen erforderlich, um den Jahresgang bei unterschiedlicher Wasserführung erfassen zu können. Innerhalb des Nationalpark-Karstprogrammes werden dzt. vierteljährliche Beprobungen durchgeführt, an einigen ausgewählten Quellen und in der Rettenbachhöhle zusätzlich „Ereigniskampagnen“ (Kurzperioden mit Intensivbeprobung) bzw. automatische Parametererfassungen mit DKM-Stationen.

Coultercounteranalysen

Von der Hinteren Rettenbachquelle, der Steyernquelle und der Weissenbachquelle wurden Korngrößenanalysen mittels Coultercounter im Institut für Zoologie der Universität Wien durchgeführt. Die Ergebnisse der Korngrößenanalysen wurden in

Form von Summenkurven dargestellt, wobei von jeder Quelle die Ergebnisse eines Tages (meist 4) in einer Grafik zusammengefasst wurden

Insbesondere bei der HRQ ist die Abhängigkeit der Korngrösse vom Pegelstand = Wasserführung deutlich erkennbar: Mit steigender Wasserführung steigt auch der Median der Korngrößenverteilung an. Dieser Trend ist auch bei der Steyrerquelle erkennbar, wegen zu geringer Datendichte ist in der Weissenbachquelle keine so deutliche Abhängigkeit erkennbar.

Die Korngrößenverteilung der Schwebstoffe zeigt laut Coultercounteranalysen bei 2µm generell sehr niedrige Werte um 1-2 Massen %. Die mineralogische Zusammensetzung lässt aber deutlich höhere Werte erwarten, da die nachgewiesenen Smekтите generell, aber auch viele Illite deutlich geringere Korndurchmesser als 2µm aufweisen. An Schwebstoffen der Donau bei Altenwörth wurden beispielsweise Tonfraktionen im Bereich von 30 bis über 60% gemessen (H.W.MÜLLER et al. 1993). Die Sedigraphanalysen der wenigen gemessenen Schwebstoffproben zeigten auch deutlich höhere Anteile der Tonfraktion. Auf Probleme der Vergleichbarkeit von Coultercounter- und Sedigraphanalysen wurde schon bei H.W.MÜLLER et al. 1993 hingewiesen.

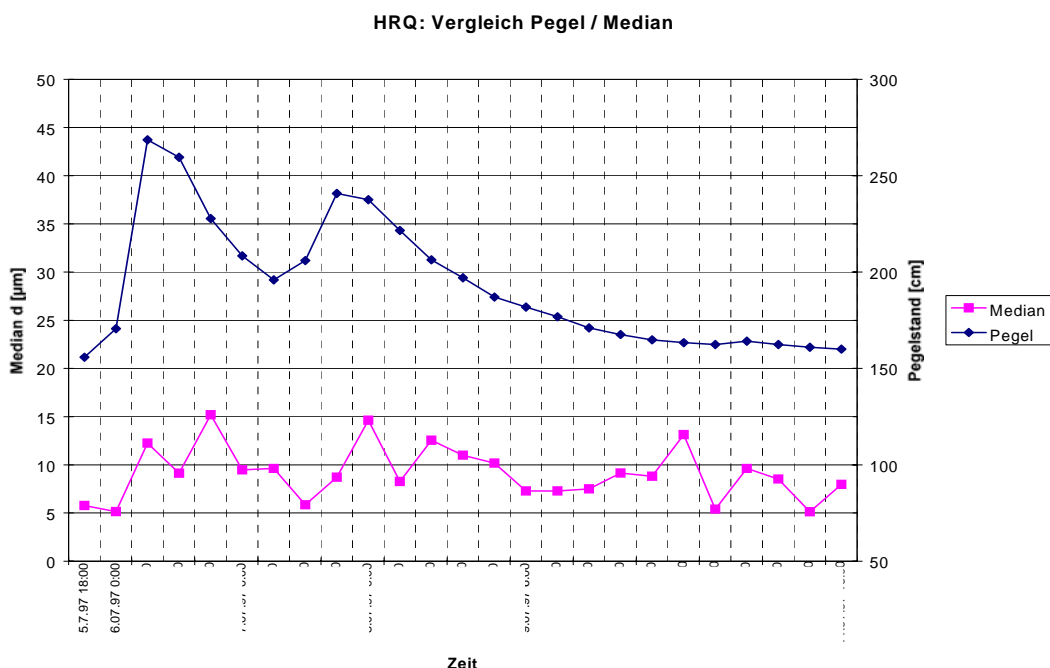


Fig. 3.2.2.-1: Hintere Rettenbachquelle HRQ, Vergleich der Mediane der Korngrößenverteilung mit den Pegelständen.

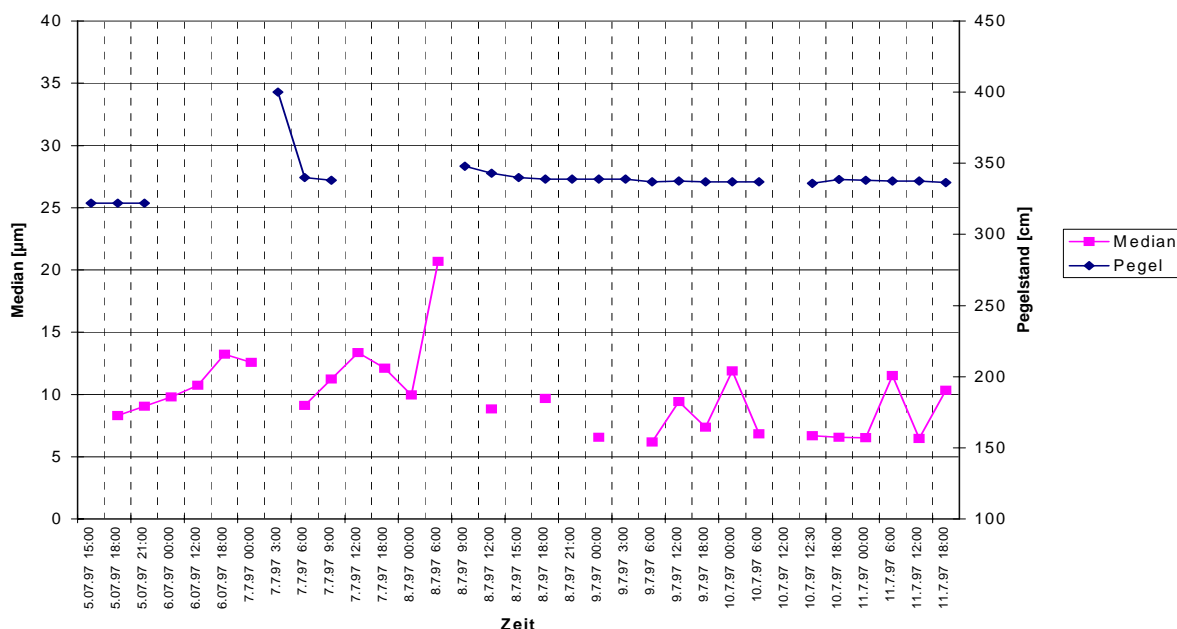


Fig. 3.2.2.-2: Steyrnquelle STEY, Vergleich der Mediane der Korngrößenverteilung mit den Pegelständen.

Eine gute Korrelation der smektitreichen Rossfeldschichten und der vermiculitreichen Böden von Mieseck und der Ebenforstalm mit den Schwebstoffen der Steyrnquelle ist evident: Es zeigen sich hohe Anteile bis zu 27 % Smektit und bis zu 21 % Vermikulit in der 2µm Fraktion der Schwebstoffe. Die Proben der Maulauflochquelle zeigen auch einen sehr hohen Schichtsilikantanteil, wegen zu geringer Probenmengen konnte bisher noch keine Tonmineralanalyse durchgeführt werden.

Die komplexe Fragestellung sowie die relativ geringe Probendichte lassen eine endgültige Zuordnung und Interpretation der Herkunft der untersuchten Schwebstoffe noch nicht zu. Eine Untersuchung der Einzugsgebiete könnte eine Klärung dieser Frage ermöglichen. Eine sehr vorsichtige Interpretation soll aber bezüglich des Auftretens der Schichtsilikate allgemein und der eher pedogenen Tonminerale Vermikulit, Smektit und sekundärer Chlorit versucht werden. Während ein verstärktes Auftreten von Kalzit oder Dolomit in einem kalkalpinen Einzugsgebiet eher die Regel sein wird, kann eine Anhäufung der erwähnten Sekundärminerale ein Hinweis auf verstärkte Erosion, Resedimentierung und antropogene Einflüsse sein. (Es können natürlich auch Hinweise auf Einzugsgebiete mit z. B. tertiären oder kretazischen Feinkorn-Sedimenten sein).

Im Einzugsgebiet **34 Reichramingbach** sind diesbezüglich GEIER und WEIS mit Dolomitdominanz unauffällig, HAS3 und vor allem JOEA weisen aber höhere Schichtsilikantanteile auf.

Im Einzugsgebiet **35 Steyr** weisen die beiden untersuchten Quellen FEIA und RAMS etwas erhöhte Schichtsilikatanteile auf.

Im Einzugsgebiet **36 Dambach** und **Teichl** ist die Rosenauerquelle ROSE eher unauffällig, von der rettenbachquelle HRQ gibt es aber aufgrund der detaillierteren Analysen deutliche Hinweise auf Aufarbeitung der Höhlenlehme aus der Rettenbachhöhle in HRQ.

Im Einzugsgebiet **37 Krumme Steyr** ist von den untersuchten Quellen nur die Blößenbachquelle BLOEQ unauffällig, die Reutersteinquelle REUT weist schon etwas höhere Schichtsilikatanteile auf. Sehr hohe Werte treten dagegen in Maulaufloch MAUL und Steyrquelle STEY auf.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die beiden Quellen aus Almgebieten: MAUL und STEY mineralogisch die stärksten Verdachtsmomente aufweisen und die fünf Quellen HAS3, JOEA, FEIA, RAMS und REUT mineralogisch „verdächtig“ sind. All diese Quellen haben intensivere land- und forstwirtschaftliche Nutzungen in ihren Einzugsgebieten.

Projektbeschreibung, Methodik

Trübstoffanalysen: Feststoffgewinnung

Die Suspensionen der Großproben wurden aus 80-100 Liter Quellwasser-Absetzproben auf meist 5 Liter Kunststoffbehälter „eingedickt“ (Absetzdauer 6-12 Wochen). Diese Menge wurde übergeben, ausgelitert (Suspensionsmenge in Liter), der klare Überstand dekantiert und der vorkonzentrierte Schwebstoff am Wasserbad weiter eingedickt. Nach Erreichen von etwa 250 ml wurde die Suspension gefriergetrocknet (sehr schonende Art von Feststoffgewinnung), gewogen (Feststoffmenge in mg), und die Schwebstoff-Fracht [mg/l] berechnet. Nach vorsichtiger Homogenisierung wurden die Proben weiterverarbeitet.

Von einigen Proben wurden parallel zu den Röntgenaufnahmen der Schwebstoffe aus den Rückstellproben auch Aufnahmen der Schwebstoffe, die routinemäßig aus 10 Liter Probenwasser auf die Glasfaserfilter aufgesaugt und rückgestellt werden, durchgeführt. Die sehr geringe Sedimentauflage ist für mineralogische Untersuchungen – im Normalfall - eher ungeeignet. Die Verwendung ist nur dann eine sinnvolle Notlösung, wenn kein anderes Probenmaterial zur Verfügung steht. Mittels Ultraschall könnte das Material redispergiert und auf entsprechende Probenträger aufgebracht werden.

Für weiterführende Untersuchungen wären folgende Probenmengen notwendig:

GMA: Unterste Grenze sind 10mg, ab 200mg bessere Präparation möglich, dadurch erhält man besser vergleichbare Daten.

TMA ab etwa 200mg zuverlässige Daten möglich.

KGA etwa 400-500mg unterste Probenmenge, wobei sich die Analysen kombinieren lassen.

Mit einer Probenmenge von 1g aufwärts sind gute vergleichbare Daten zu erwarten.

Gesamtmineralbestand von Trübstoffen

Mittels Röntgendiffraktometer-Analyse können Mineralphasen qualitativ und semiquantitativ erfaßt werden. Die trockenen und analysenfein in einer Achatreibschale vermahlenden Proben wurden bei Probenmengen von mehr als 100mg nach dem backloading Verfahren präpariert, bei Mengen zwischen 10 und 100 mg wurde sie auf eine Siliziumunterlage aufgebracht und in

einem Philips Röntgendiffraktometer PW 1710 mit Bragg Brentano Geometrie mittels Cu K α Strahlung (45kV, 40mA) von 2° bis 70° 2 θ geröntgt. Aus diesen Aufnahmen wurde der qualitative Mineralbestand ermittelt. Zur semiquantitativen Abschätzung der Mineralphasen in der Gesamtprobe wurden die Peakintensitäten der Minerale Kalzit, Dolomit, Quarz Feldspäte und Schichtsilikate herangezogen. Die Mengen wurden nach folgendem Schema mit Sternen bewertet:

viel	***
mittel:	**
wenig:	*
Spuren:	(*)

Tonmineralbestand <2 μ m von Trübstoffen

Nach Dispergierung mit verdünntem Wasserstoffperoxid (15 %) und Ultraschallbehandlung erfolgte die Gewinnung der Tonfraktion durch Sedimentation (WHITTIG, 1965, TRIBUTH, 1989). Nach Gefriertrocknung wurden die Zwischenschichten der Tone mit 1N MgCl₂ bzw. KCl Lösung belegt. Zur Herstellung bevorzugt orientierter Präparate (Texturpräparate) wurden 15mg der Tonsuspension auf Keramikunterlagen aufgesaugt (KINTER & DIAMOND, 1956) und 7 Tage über gesättigter NH₄NO₃ Lösung im Exsiccator getrocknet. Nach der Röntgenaufnahme von 2°-40° 2 θ wurden die Proben mit Glycerol, Ethylenglycol bzw. DMSO expandiert, geröntgt und abschließenden Kontraktionstests bei Temperaturen von 375°C und 550°C unterzogen. Die Identifizierung der Tonminerale erfolgte generell nach BRINDLEY & BROWN, 1980, THOREZ, 1975 und MOORE & REYNOLDS, 1989. Die semiquantitative Abschätzung der relativen Anteile einzelnen Tonmineralgruppen erfolgte durch Multiplikation der charakteristischen Peakflächen mit Korrekturfaktoren (RIEDMÜLLER, 1978 und OTTNER et al. 1996).

Korngrößenverteilung (Sedigraph) von Trübstoffen

Die Korngrößenverteilung wurde durch Kombination von Naßsiebung der Fraktion >40 μ m und automatischer Sedimentationsanalyse <40 μ m mittels SEDIGRAPH 5000 ET der Firma Micromeritics ermittelt.

1 g der getrockneten Probe wurde mit 15% H₂O₂ zwecks Oxidation organischer Bestandteile und einer guten Dispergierung behandelt. Nach 24 Stunden Reaktionszeit wurde im Wasserbad der unverbrauchte Sauerstoff abgeraucht, anschließend mit Ultraschall behandelt und mit einem Siebsatz von 2 mm, 630 μ m, 200 μ m, 63 μ m und 40 μ m gesiebt. Die Grobfractionen wurden bei 105 Grad C getrocknet und in Massenprozent der Einwaage angegeben. Der Anteil <40 μ m wurde im Wasserbad eingedickt, mit 0,5 % Calgon, im Ultraschallbad dispergiert und im Sedigraph mittels Röntgenstrahl nach dem Stoke'schen Gesetz analysiert. Aus der Kornsummenkurve des Sedigraphs und den Siebdaten wurde die Korngrößenverteilung der Gesamtprobe ermittelt.

Korngrößenverteilung (Coultercounter) von Trübstoffen

Das Coulter Counter Modell ZM bestimmt die Teilchenanzahl innerhalb eines vorgewählten Volumens (in unserem Fall 500 μ l). In Verbindung mit dem Coulter Channelizer ist es möglich, die Daten als eine Häufigkeitskurve in einem 100 Kanalsystem darzustellen, bzw. in einem bestimmten Größenbereich oder zwischen zwei gewählten Größenbereichen Zellen zu zählen. Gemessen wurden die Primärpartikel nach Behandlung mit Ultraschall, um Aggregate zu lösen. Ausgeführt wurden die Analysen am Int. Für Zoologie der Universität Wien.

Die zu zählenden Teilchen werden in einer elektrischen leitfähigen Flüssigkeit suspendiert (in unserem Fall 2Teile Isoton, 1 Teil Probe) und in einem Becher auf die Meßplatte gestellt. Die Kapillare (100 μ m Kapillaröffnung) wird in die Flüssigkeit eingetaucht. 2 Elektroden leiten den Kapillarstrom, ein Manometer regelt das Probenvolumen, das während der Zählung durch die Kapillaröffnung fließt, eine Vakuumpumpe erzeugt den dafür nötigen Unterdruck. Zwischen den Elektroden des Meßstandes wird eine konstante Spannung angelegt, jedesmal, wenn ein

Teilchen die Kapillaröffnung passiert, wird ein Teil der Spannung an die Vorverstärker geleitet. Die Größe des Spannungsimpulses ist eine Funktion des Teilchenvolumens und eben dieses kann am Channelizer mit der Anzahl der jeweiligen Größenfraktion abgelesen werden.

LITERATUR

- BÄHR, T., HENNING, K.H. & LEHMANN, J. (1996): Tonminerale im Schwebstoff der Saale. Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe, 4, 1-11, Freiberg.
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G., (1980): Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. - Mineralogical Society, 495 S., London.
- CHAMLEY, H. (1989): Clay Sedimentology. Springer Verlag, 623 S., Berlin, New York.
- HEIM, D. (1990): Tone und Tonminerale. Ferdinand Enke Verlag, 157 S, Stuttgart.
- KINTER, E. B. & DIAMOND, S. (1956): A new Method for preparation and treatment of orientied - aggregate specimens of soil clays for X-Ray diffraction analysis. Soil Sci. 81, 111-120.
- KOHLER, E.E. & WEWER, R. (1980): Gewinnung reiner Tonmineralkonzentrate für die Mineralogische Analyse. Keramische Zeitschrift 32, 5, 250-257.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS, R. C., Jr. (1989): X - Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. - Oxford Univ. Press, New York.
- MÜLLER, H.W., NACHTNEBEL, H.P., REICHEL, G. & SCHWAIGHOFER, B. (1993): Schwebstoff-analyse und -bilanz in Fluss-Stauhaltungen. Forschungsinitiative des Verbundkonzerns. Band 15, 91 S, Wien.
- OTTNER, F., SCHWAIGHOFER, B. & MÜLLER, H.W. (1996): Wie quantitativ sind Ergebnisse von Tonmineralanalysen. Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe, 4, 162-169, Freiberg.
- RIEDMÜLLER, G. (1978): Neoformations and Transformations of Clay Minerals in Tectonic Shear Zones. - TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt. 25, 219-242.
- THOREZ, J. (1975): Phyllosilicates and clay minerals - a laboratory handbook for their x-ray diffraction analysis. - Editions G. Lelotte, 579 S., Liege.
- TRIBUTH, H. & LAGALY, G. (1986): Aufbereitung und Identifizierung von Boden und Lagerstättentonen. I Aufbereitung der Proben im Labor. GIT Fachz. Lab.30, 524-529, Darmstadt.
- TRIBUTH, H. (1989): Notwendigkeit und Vorteil der Aufbereitung von Boden- und Lagerstättentonen. - In: Tributh, H. & Lagaly, G. [Hrsg.] : Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen, 29-33, Giessen.
- WEAVER, C.E. (1989): Clays, Muds, and Shales. Developments in Sedimentology 44. 818S, Elsevier Amsterdam.
- WHITTIG, L.D. (1965): X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical identification. In: Black, C.A. [editor.] : Methods of Soil Analysis, 671-698. 1.Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

WILSON, M.J. (1987): A handbook of determinative methods in clay mineralogy. – Verlag Blackie, 308S, Glasgow and London.

LISTE DER TEILBERICHTE

OTTNER, F. (1998): Analyse und Interpretation ereignisbezogener Schwebstoff-Frachten ausgewählter Quellwässer. – Nationalpark Karstprogramm, Teilprojekt 3.2./97. – 32 S., Tabellen und Grafiken (36). - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, August 1998.

Dr. Franz OTTNER
Universität für Bodenkultur, Institut für Angewandte Geologie
Peter Jordan Straße 70
A-1190 Wien
OTTNER@edv1.boku.ac.at

UMWELTISOTOPEN-ANALYSEN IN QUELLEN DES NATIONALPARKES

(PILOTSTUDIE IM TP. 8.2., BENISCHKE 1997)

Datenbasis

Eine Gesamtübersicht über die durchgeführten Analysen aufgegliedert auf die beteiligten Labors (GSF, BFPZ) ist den Detailberichten zu entnehmen. Während bei den älteren Analysen neben Tritium oft auch Deuterium mitgemessen wurde, wurde bei den jüngeren Datums Sauerstoff-18 bevorzugt. Insgesamt wurden an Quellen 385 Analysen auf Deuterium, 545 auf Tritium und 498 auf Sauerstoff-18 durchgeführt, bei den Niederschlagsproben 25 auf Deuterium, 94 auf Tritium und 27 auf Sauerstoff-18.

An Auswertungen aus dem Mollner Raum bzw. dem gesamten Nationalparkgebiet gibt es bisher nur einige Gutachten und Untersuchungsberichte im Rahmen des Pumpspeicherprojektes (J. MAIRHOFER & E. SCHROLL 1970, 1972; J. ZÖTL 1970, 1972) und eine Diplomarbeit über Modellvorstellungen zur Speicherung bzw. Dynamik der Quellwässer (H. HOLZMANN 1976). Darüber hinaus sind noch einige Meßdaten von Grundwasserproben im Rahmen von Pumpversuchen bzw. der Errichtung von Wasserversorgungsanlagen vorhanden (D. RANK & E. SCHROLL 1987; W. PAPESCH et al. 1988, 1991). Von den Niederschlagsproben stehen im wesentlichen ebenfalls nur Werte aus dem Pumpspeicherprojekt zur Verfügung, während aus dem Nationalparkbereich aufgrund der erst kurzen Beprobungszeit noch kaum verwertbare Daten zur Verfügung stehen. Meßdaten, die im Rahmen des bundesweiten Niederschlagsisotopenmeßnetzes (D. RANK 1993; G. HUMER et al. 1995) erhoben wurden, sind in einem eigenen Datenband (G. HUMER 1995) veröffentlicht worden.

Die vollständig am Wasserkreislauf teilnehmenden stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 unterliegen auf ihrem Transportweg von den Ursprungsorten ihrer Freisetzung bis zum Wiedererscheinen in den Quellen zahlreichen physikalischen Effekten, die zur Veränderung der Isotopenverhältnisse führen. Von diesen seien die wichtigsten hier erwähnt. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um Temperatureffekte und daraus abgeleitet um den sog. Höheneffekt, den Breiteneffekt, den Kontinentaleffekt und den Mengeneffekt. Die Nutzung dieser Effekte für hydrogeologische Interpretationen hat seine Basis nun darin, daß die Isotopengehalte der Quellwässer das Infiltrationsgeschehen in ihrem Einzugsgebiet widerspiegeln und somit die in verschiedenen Höhenlagen des Einzugsgebietes infiltrierenden Niederschlagsanteile entsprechend der Fraktionierungseffekte im Quellwasser wiederzufinden sind. Dieser relativ einfache Ansatz stößt aber in der Praxis oft auf große Schwierigkeiten. Denn allein die Erfassung des Niederschlages im Bergland, dazu noch bei sehr starken Reliefunterschieden, ist meßtechnisch kaum zu bewältigen. Meist gibt es nur in den Tälern ein ausreichendes Netz an Stationen, während im Hochgebirge dies kaum der Fall ist und Einzelstationen eine zu große Variabilität

aufweisen und es kaum Isotopenwerte von Niederschlägen aus diesem Bereich gibt. Eine weitere Frage ist, inwieweit sich die gesamte Niederschlagsmenge von dem tatsächlich in den Untergrund infiltrierenden Anteil isotopisch unterscheidet und wie dabei die weitere Fraktionierung der Isotope erfolgt. Schließlich treffen die Infiltrationswässer im Untergrund, also im Aquifer, auf schon vor dem letzten Ereignis eingedrungene Wässer und mischen sich mit diesen bis zu einem gewissen Grad, werden über einen längeren Zeitraum gespeichert oder direkt einem Quellaustritt zugeführt.

Für das **Vorkommen von Tritium** sind im wesentlichen zwei Prozesse verantwortlich: einerseits ein kosmogener Ursprung durch Wechselwirkungen in der Stratosphäre andererseits ein anthropogener im Rahmen der atmosphärischen Atomtests früherer Jahre. Für hydrologische Zwecke erlangte Tritium durch die atmosphärischen Kernwaffentests vor allem am Beginn der Sechzigerjahre Bedeutung. Danach nahm der Tritiumgehalt in der Atmosphäre kontinuierlich ab, erfuhr in der ersten Hälfte der Siebzigerjahre nochmals eine geringfügige Erhöhung und nimmt seither und vor allem nach dem vereinbarten Stop von atmosphärischen Tests weiter ab. Allerdings kommt es durch Emission von kerntechnischen Anlagen zu örtlich und zeitlich unregelmäßigen Emissionen und damit auch zu einer unregelmäßigen Beladung des Niederschlags mit Tritium, sodaß in kurzen Zeitspannen bzw. in relativ knapper Entfernung zueinander große Unterschiede auftreten können. Durch den relativ hohen Eintrag und durch das zur Verfügung stehende empfindliche Meßverfahren eignet sich dieses Isotop wegen seiner Halbwertszeit von 12.43 Jahren zur Datierung vor allem für im menschlichen Maßstab kurz- bis mittelfristige Zeiträume, d.h. bis zu etwa 50 Jahren. Der durch den Teststop nunmehr abklingende Tritiumpegel hat heute einen Wert erreicht, der nur mehr von entsprechend spezialisierten Labors in ausreichender Genauigkeit gemessen werden kann.

Deuterium und Sauerstoff-18 im Niederschlag

Bei den aus dem Untersuchungsraum vorliegenden Meßdaten von Niederschlagsstationen wäre es von Interesse, inwieweit die LMWL Abweichungen von der GMWL zeigt bzw. in welchem Rahmen solche Abweichungen zu erwarten wären. Leider gibt es unter den vorhandenen Datensätzen keine, bei denen sowohl Deuterium als auch Sauerstoff-18 gemessen worden wären. Von den Proben, die im Rahmen des Österreichischen Isotopenmeßnetzes gesammelt worden sind, stehen insgesamt leider nur relativ wenige Daten zur Verfügung, sodaß man sich für weitere Berechnungen mit einer Isotopen-Inputfunktion aus meist entfernter liegenden nicht dem Untersuchungsraum angehörenden Stationen behelfen muß, bei denen darüber hinaus noch die Gefahr besteht, daß sie völlig anderen klimatischen Einflüssen unterliegen.

Eine Abschätzung des Höheneffekts bei im Nationalparkgebiet beprobten Niederschlags-wässern wurde mit den wenigen vorhandenen Sauerstoff-18-Daten von

insgesamt 5 Stationen (Hinterer Rettenbach, Zöbelboden, Mieseck, Schoberstein und Hagler) versucht.

Unter Beachtung der vorgenannten Einschränkungen ergibt sich bei Zusammenfassung der Stationen der Nord- und der Südseite bei allen Terminen eine deutlich sichtbare Abnahme des ^{18}O -Gehaltes mit der Seehöhe. Der Wert für die Abnahme pro 100 m Seehöhe ist allerdings ein sehr grober erster Anhalt, der durch ein größeres Datenset abgesichert werden müßte. Die Darstellung als Zeitreihe zeigt deutlich, daß bei der Beprobung aller fünf Stationen zum gleichen Termin im Zeitraum zwischen Anfang Juli 1995 bis Anfang Oktober 1995 die ^{18}O -Werte sowohl auf der Südseite als auch auf der Nordseite völlig parallel verlaufen, für die dargestellten Stationen nach diesem Zeitraum aufgrund der Lückenhaftigkeit der Datenreihen kein weiterer Vergleich möglich ist. Der Bereich mit den parallellaufenden ^{18}O -Gehalten läßt zumindest den Schluß zu, daß es sich um Niederschlagsereignisse gehandelt hat, die im Norden wie im Süden zu einer ähnlichen Isotopenverteilung geführt haben. Aus diesem Grunde kann zumindest für diesen Zeitraum ein Vergleich durchgeführt und die Höhenabhängigkeit abgeschätzt werden. Die Abnahme des ^{18}O -Gehaltes im Niederschlag pro 100 m Seehöhenzunahme ergibt für die vier Beprobungstermine Werte zwischen 0.11-0.19 ‰ ^{18}O . Die am höchsten liegende Station (Hagler, 1550 m Sh.) erfährt dabei die stärkste Abreicherung an Sauerstoff-18, die am tiefsten gelegene Station (Ht. Rettenbach, 615 m Sh.) die geringste. Interessant wäre eine längere Reihe bei Gewichtung mit der Niederschlagsmenge, um so zu einer Charakterisierung für das Sengsengebirge bzw. das gesamte Nationalparkgebiet zu kommen.

Tritium im Niederschlag

Etwas mehr Daten stehen aus dem früheren "Pumpspeicherprojekt Molln" der Ennskraftwerke A.G. für Tritium zur Verfügung. Mit den Daten aus dem Niederschlag wurde u.a. versucht, unter Annahme verschiedener Randbedingungen (unterschiedliche Niederschlagsinput-funktionen, Heranziehen verschiedener Meßstationen) und eines Exponentialmodells hydrologische Größen zu errechnen (H. HOLZMANN, 1976). Ausreichende Tritium-Inputfunktionen des Niederschlags im Raume Molln waren zu dieser Zeit nicht vorhanden. Die einzige Station, die seither systematisch beprobt wird ist die Station Molln/Breitenau (Bezeichnung N-87 im Österr. Isotopenmeßnetz). Die Monatsproben des Niederschlags sind bisher nur zum Teil gemessen. Erst seit dem Jahre 1993 sind die Tritium-Werte der Station Molln/Breitenau für alle Kalendermonate des jeweiligen Jahres verfügbar. Die Publikation der Daten bis 1974 erfolgte in G. HUMER (1995), die Daten ab 1993 in den Berichten des Umweltbundesamtes (A. SCHEIDLEDER et al., 1994, 1996, 1998). Obwohl zwischen 1970 und 1993 (mit Ausnahme von 3 Monatsproben aus den Jahren 1974 und 1983) eine Lücke von über 20 Jahren klafft, ist der fortschreitende Tritiumabbau zu erkennen, der auf ein Jahresmittel von 16.7 TU (errechnet aus mit der Niederschlagsmenge gewichteten Monatsproben, letzter verfügbarer Stand Ende

1996) abgesunken ist. Trotz der heute geringen Gehalte ist der ausgeprägte Jahresgang, der noch am Beginn der Beprobung aufgrund der atmosphärischen Kernwaffentests an die 400 TU erreicht hat, sichtbar.

Deuterium und Sauerstoff-18 in Quellwässern

Die Zusammenstellung der Quellwässer, bei denen sowohl Deuterium als auch Sauerstoff-18 gemessen worden sind, zeigt erwartungsgemäß einen Zusammenhang, der durch ein einfaches lineares Regressionsmodell beschrieben werden kann. Zum Vergleich ist im Diagramm die theoretische Niederschlagsgerade (GMWL) eingetragen. Beispielhaft sind für einige wichtige Quellen ebenfalls die Regressionsgeraden dargestellt, welche eine ähnliche Steigung wie die GMWL aufweisen, jedoch einen abweichenden Ordinatenabschnitt (im Diagramm aus Lesbarkeitsgründen durch die gewählte Skalierung nicht mehr sichtbar). Ein geringerer Ordinatenabschnitt bei gleicher Steigung wie die GMWL bedeutet, daß es zu einer Parallelverschiebung bei gleichbleibendem Deuterium/Sauerstoff-18-Verhältnis kommt. Eine Verringerung der Steigung bedeutet wiederum, daß sich das $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis zugunsten von ^{18}O ändert, d.h. es zu einer relativen Abreicherung des Deuteriums kommt. Ein derartiger Effekt ist vor allem bei Verdunstungsvorgängen zu beobachten. Verdunstung könnte z.B. bei unsachgemäßer Probennahme auftreten, es könnte aber auch eine Fraktionierung im Zuge der Infiltration eintreten, was im Detail bisher nicht untersucht wurde. Ein Teil des auf die Erdoberfläche fallenden Niederschlags wird von der Vegetation aufgenommen, ein anderer Teil verdunstet sofort bei Auftreffen auf diese. Unter Voraussetzung korrekter Entnahme und Lagerung der Wässer sind hier offensichtlich Fraktionierungseffekte im Rahmen der Infiltration zu erkennen.

Die im Diagramm umrandeten Datenpunkte stammen von Quellwässern aus dem Bereich des Mollner Schwemmfächers (Quelle EKW 240; Quelle EKW 459).

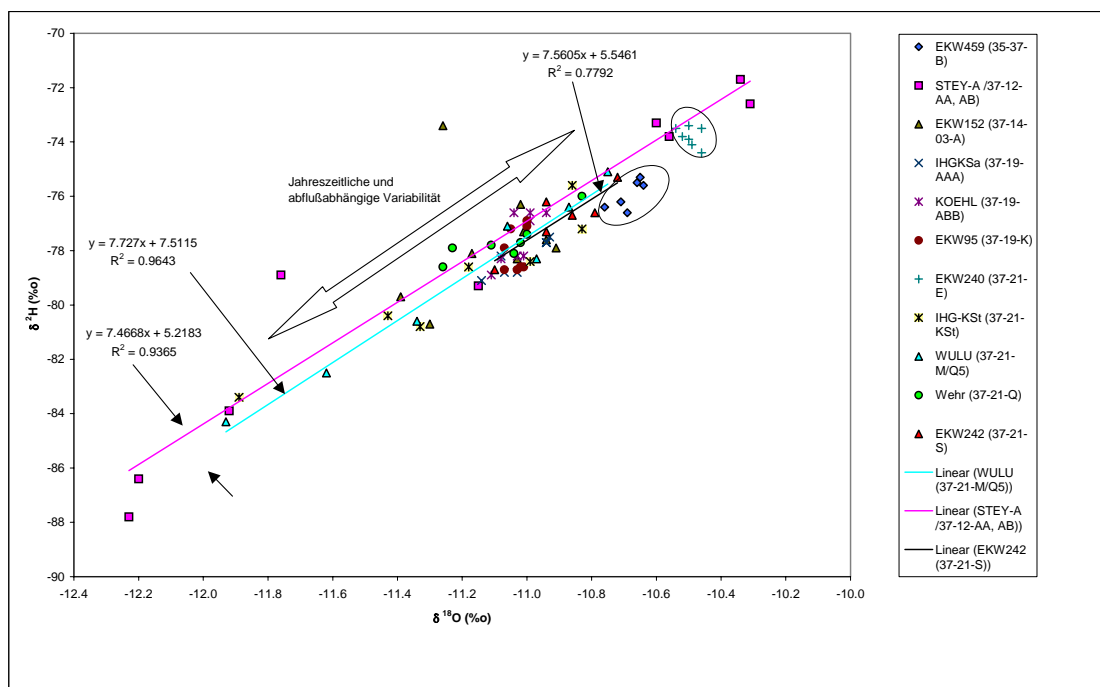


Fig. 8.2.-1: Zusammenhang der Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte ausgewählter Quellen des Nationalparkgebietes.

Diese Quellen sind stellvertretend für jene eingetragen, die einerseits ein sehr tiefliegendes Einzugsgebiet (es kommt nur zu einer relativ geringfügigen Abreicherung an isotopisch schwereren Anteilen) haben müssen, andererseits aber einer längerfristigen Speicherung unterliegen, da ihre Variationsbreite äußerst begrenzt ist. Aus Gründen der Lesbarkeit nicht eigens umrandet gehören zu dieser Gruppe auch die Quellen IHG-KSa, KOEHL bei der Brücke Klein Lindtal, die Quelle EKW 95 etwas weiter unterhalb und abgeschwächt EKW 240 in der Nähe der Mündung der Krummen Steyrling in die Steyr.

Geringe Speicherung und damit eine sehr hohe jahreszeitliche Variabilität weist erwartungsgemäß die Steyrquelle (STEY) auf. Interessant ist auch das Verhalten der Wunderlucke (WULU-Q5), die ebenfalls eine hohe Variabilität aufweist, ebenso wie die Krumme Steyrling selbst (IHG-KSt). Für die Wunderlucke bedeutet dies, daß ein Anteil davon Uferfiltrat der Krummen Steyrling ist bzw. aus dem nahen Begleitgrundwasser stammt.

^{18}O -Daten zum Vergleich der Steyrquelle (STEY) und des Hinteren Rettenbaches (HRQ) sind als Beispiel in der nächsten Fig. eingetragen. Die mehr oder weniger zeitgleich entnommenen Proben weisen für beide Quellen einerseits unterschiedlich starke Amplituden in zeitlich unterschiedlicher Position innerhalb des Beobachtungsrahmens andererseits aber auch einen praktisch nicht überlappenden Wertebereich auf.

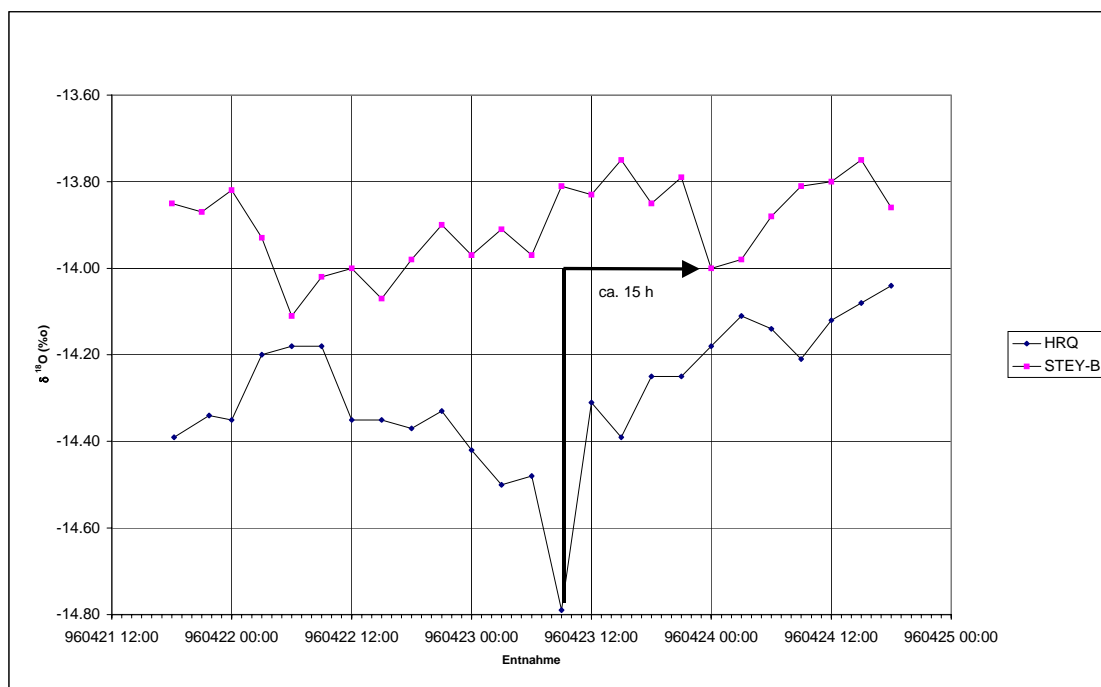


Fig.8.2.-2: Vergleich des Verlaufes der Sauerstoff-18-Werte der Steyrnquelle (STEY) und der Quelle des Hinteren Rettenbaches (HRQ) während der Ereigniskampagne 21.04.-25.04. 1996.

Es kommt hierbei zum Ausdruck, daß die isotopisch schwereren Wässer der Steyrnquelle offensichtlich einen erheblichen Anteil von Wässern aus tieferliegenden Bereichen der Nordseite repräsentieren, während die gesamte Zeitreihe der Wässer des Hinteren Rettenbaches zu tieferen, d.h. isotopisch leichteren Werten verschoben ist, was auf die größere Höhenlage des Einzugsgebietes des Hinteren Rettenbaches zurückzuführen ist.

Weiters fällt auch die geringere Schwankung von etwa 0.4 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ bei der Steyrnquelle auf gegenüber der doppelten beim Hinteren Rettenbach. So kann aus dem Vorgenannten auf die Unterschiede in den Höhenlagen und den Speichereigenschaften des dazugehörigen Aquifers geschlossen werden. Was den zeitlichen Verlauf der Schwankungen anbelangt, so könnte man unter Voraussetzung, daß die Steyrnquelle insgesamt träger reagiert, den zeitlichen Versatz des Minimums am Hinteren Rettenbach am 23.04.1996/09:00 mit dem relativen Minimum der Steyrnquelle am 24.04.1996/00:00 mit etwa 15 Stunden angeben.

Tritium in Quellwässern

Die längsten verfügbaren Datenreihen von Tritiummessungen an Quellen stammen aus dem Gebiet des Pumpspeicherprojekts der Ennskraftwerke A.G. Diese beginnen bei einigen Quellen mit Jänner 1969 und enden mit dem Jahre 1970. Weitere Proben wurden bis in das Jahr 1973 gezogen.

In Ermangelung einer Tritium-Inputfunktion aus lokalen Niederschlagsdaten wird auf eine Modellierung der mittleren Verweilzeiten verzichtet. Um trotzdem eine Übersicht über die sich aus Sauerstoff-18 und Tritium ergebenden Effekte bzgl. der Altersverteilung zu erhalten, wurde für ausgewählte Quellen der Zusammenhang der Sauerstoff-18-Daten mit den Tritiumdaten dargestellt. Um einen Begriff vom derzeitigen Tritium-Input aus dem Niederschlag zu haben, wurde im Diagramm das Mittel der Jahre 1993-1996 für Tritium (gewichtet mit den Monatsniederschlagsmengen) für die Station Molln/Breitenau eingetragen. Dabei bedeutet eine relative Zunahme des Tritiumwertes eine Erhöhung der mittleren Verweilzeit im Aquifer, eine Abnahme bedeutet dann eine relativ rasche Umsetzung des infiltrierten Wassers und damit eine kürzere Verweilzeit. Die positiven Veränderungen parallel zur Abszisse bedeuten beim Sauerstoff-18 eine relative Höhenabnahme und damit ein tieferliegendes Einzugsgebiet, negative Veränderung ein höherliegendes. Neben diesen sehr vereinfacht dargestellten Verhältnissen beinhaltet sowohl beim Tritium als auch beim Sauerstoff-18 die Streuung der Meßwerte während der Beobachtungsperiode eine Altersinformation oder eine Information über den Durchmischungszustand mit Wasseranteilen unterschiedlichen Alters bzw. unterschiedlicher mittlerer Verweilzeiten. Eine Quantifizierung läßt sich meist nur näherungsweise über grundlegende Modellannahmen (Piston-Flow, Exponentialmodell oder Dispersionsmodell), die in der Realität nur selten, wenn überhaupt, verwirklicht sind, durchführen.

Die in Fig. 8.2.-3 umrandeten Bereiche erfassen Quellen mit sehr eng begrenzter isotopischer Variabilität. So fällt z.B. die Quelle EKW 240 mit Wässern relativ längerer Verweilzeit bei gleichzeitig tiefliegendem Einzugsgebiet auf, ähnlich auch EKW 459 am Kontakt des Mollner Schwemmfächers zur Steyr. Dies bedeutet, daß die Infiltrationsbedingungen im wesentlichen durch die Verhältnisse in den zugehörigen Tallagen bestimmt werden. Die höchsten Verweilzeiten sind nach dem Diagramm für die Quelle EKW 95 zu veranschlagen, in weiterer Folge für die Dolomitquelle WEIS. Die Einzugsgebiete beider reichen sicher in größere Höhenlagen als bei den zuvor genannten Quellgruppen. Während die Quelle KÖHL noch Wässer aus ähnlicher Höhenlage wie die Quelle IHG-KSa (direkt im Bett der Krummen Steyring unmittelbar oberhalb der Brücke Klein Lindtal gelegen) bezieht, weisen die Daten letzterer auf etwas längere Verweilzeiten hin.

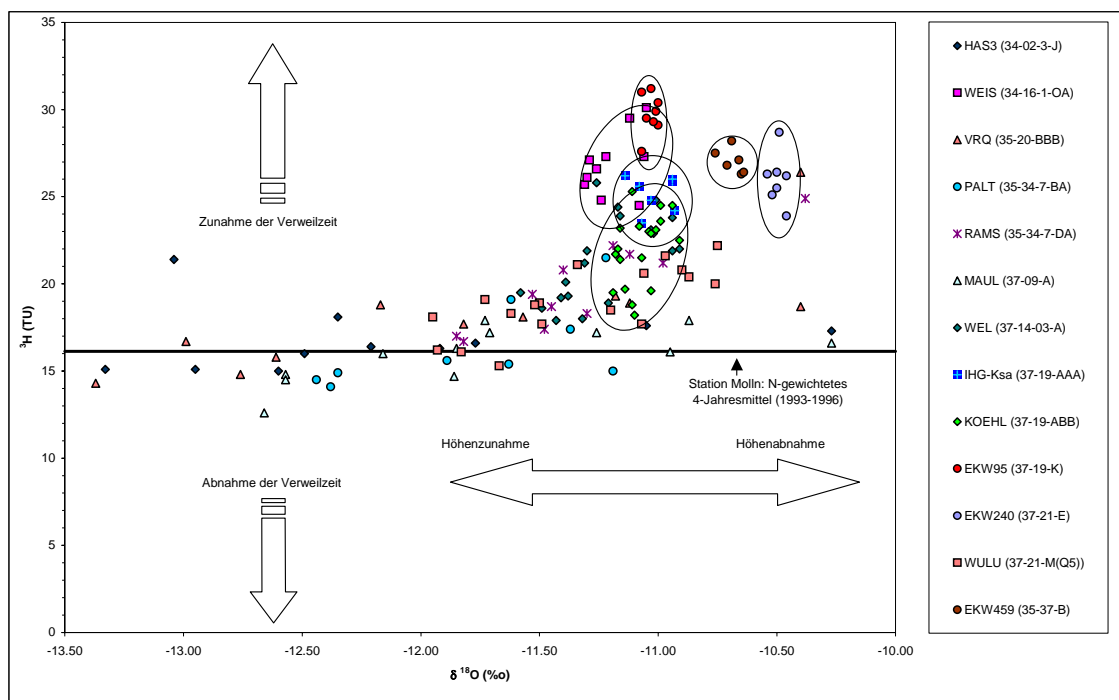


Fig. 8.2.-3: Zusammenhang der Sauerstoff-18-Werte mit Tritiumwerten von ausgewählten Quellwässern des Nationalparkgebietes

Die übrigen Quellen lassen sich nicht mehr so eindeutig zu Gruppen zusammenfassen, die Streubreiten ihrer Daten überlappen mit denen anderer über weite Bereiche. Dies weist wieder auf eine rasche Umsetzung des vorhandenen Wasservorrates hin, d.h. auf eine relativ geringe Speicherung. Gleichzeitig nähern sich die Tritiumwerte auf das Niveau des rezenten Niederschlags, was ein weiterer Hinweis dazu ist. Betroffen davon sind vor allem die größeren Karstquellen wie HAS3, VRQ, WEL aber auch PALT und WULU. Die größte Spannweite im Sauerstoff-18-Gehalt weist überhaupt die Quelle VRQ (Teufelskirche) an der Südseite des Sengsengebirges auf, deren Einzugsgebiet in die höchsten Lagen des Sengsengebirgs-Hauptkammes hinaufreicht. Die geringste mittlere Verweilzeit dürften die Wässer aus dem Maulaufloch (MAUL) aufweisen, welche sich von rezenten Tritiumpegel des Niederschlages kaum abheben.

Projektbeschreibung, Methodik

Die im Rahmen des Karstprogrammes gesammelten Proben wurden von der GSF München (Gesellschaft für Gesundheit und Umwelt) analysiert. Eine Behandlung der analytischen Methodik, der Auswerte- und Interpretationsmöglichkeiten bieten MOSER & RAUERT (1980) bzw. I. CLARK & P. FRITZ (1997) und HUMER et al. (1995). Im folgenden sollen einige Begriffe erklärt werden, die für ein besseres Verständnis notwendig sind.

Per Konvention wurde für die Messung der stabilen Isotope (^{18}O und ^2H) international ein **Standard** (V-SMOW = "Vienna Standard Mean Ocean Water", hergestellt von der Internationalen Atombehörde IAEA in Wien) festgelegt. Sein Isotopenverhältnis wird massenspektrometrisch bestimmt und schließlich zum Isotopenverhältnis eines beliebigen Probenwassers in Beziehung gesetzt (MOSER & RAUERT, 1980):

$$\delta^{18}O_{\text{Probe}} = \left(\frac{(^{18}O/^{16}O)_{\text{Probe}}}{(^{18}O/^{16}O)_{\text{Standard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ [‰] V-SMOW}$$

Die angeführte Notation für Sauerstoff-18 ist ebenso gültig auch für Deuterium (^2H) bzw. das Verhältnis $^2\text{H}/^1\text{H}$. Die gemessenen Werte werden daher als Promille-Abweichung vom Standard angegeben, d.h. als ‰ ^2H oder ‰ D bzw. ‰ ^{18}O mit der Einheit ‰.

Anders als die stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 wird **Tritium (^3H)** als radioaktives Isotop nicht durch Massenspektrometrie bestimmt, sondern nach Probenaufbereitung der radioaktive Zerfall (durch Zählung der ausgesendeten β^- -Teilchen) im Flüssigkeits-Szintillationszähler gemessen. Die Meßwerte werden in Tritium-Einheiten (TU = Tritium Unit bzw. TE = Tritium-Einheit) angegeben, wobei 1 TU einem ^3H -Atom pro 10^{18} Wasserstoffatomen entspricht. Bezogen auf 1 kg Wasser entspricht 1 TU einer Aktivität von 0.118152 Bq (1 Becquerel = 1 Zerfall/s).

Die beiden stabilen Umweltisotope Deuterium und Sauerstoff-18 stehen im Niederschlag in einem engen korrelativen Zusammenhang, der empirisch von H. CRAIG (1961) aus Proben zahlreicher Meßstationen gewonnen wurde. Dieser Zusammenhang, von ihm als "**global meteoric water line**" (im folgenden mit GMWL abgekürzt) bezeichnet, kann für die Praxis mit ausreichender Näherung für Mitteleuropa und insbesondere für den Raum nördlich der Alpen in Form der nachstehenden Gleichung verwendet werden:

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10$$

Verringerte Steigungen der Geraden weisen auf mögliche Verdunstungseffekte hin, vergrößerte Ordinatenabschnitte auf einen zum Durchschnittswert erhöhten Deuteriumgehalt. Da die obige Gleichung für die GMWL an einem zwar weltweiten aber überaus lückenhaften Meßnetz gewonnen worden ist, ist zu erwarten, daß es zahlreiche regionale und lokale Abweichungen davon gibt.

Um die lokalen Abweichungen von der GMWL sichtbar zu machen, kann von Niederschlagsproben des engeren Untersuchungsraumes ebenfalls derselbe Zusammenhang zwischen Deuterium und Sauerstoff-18 hergestellt werden und wird dann als LMWL (**Local Meteoric Water Line**) für einen bestimmten umgrenzten Raum bezeichnet. Leider fehlen im alpinen Raum gerade die Höhenstationen, sodaß eine LMWL aus umgebenden Talstationen bzw. Stationen nur geringer Seehöhendifferenzen in der Position nur eingeschränkte Aussagekraft hat. Eine Ausweichmöglichkeit bieten Quellwasserproben von Entnahmestellen unterschiedlicher Seehöhe, da sich hier der Höheneffekt allerdings modifiziert aufgrund von Speichervorgängen bzw. unterschiedlichen Verweilzeiten der Wässer im Untergrund widerspiegelt. Das Bestreben ist, sog. Referenzquellen mit bekanntem Einzugsgebiet zu finden und mit deren Isotopenwerten eine entsprechende Beziehung aufzubauen. Diese Art funktioniert im Karst allerdings nur eingeschränkt, da hier übergreifend über orographische Einzugsgebietsgrenzen hinweg Alimentationen erfolgen und so zu einer Durchmischung unterschiedlich lang gespeicherter Anteile führen abgesehen davon, daß in den meisten Fällen nur Hinweise auf das Einzugsgebiet einer Quelle bestehen.

LITERATUR

BAUMGARTNER, P., BENISCHKE, R., LAHODYNSKY, R., LOHBERGER, W. & ZOJER, H. (1995): Karstwasservorkommen Sengsengebirge-Krumme Steyrling. Erhebung von Grundlagen, Teil II.- Unveröff. Forschungsber. im Auftr. d. Bundesministeriums f. Wissenschaft u. Forschung u. d. Landes Oberösterreich-Landeswasserversorgungsunternehmen, Graz-Linz-Traunkirchen.

CLARK, I. & FRITZ, P. (1997): Environmental Isotopes in Hydrogeology.- 328 S., New York (Lewis Publ.).

- CRAIG, H. (1961): Isotopic variations in meteoric waters.- Science, **133**, 1702-1703.
- HOLZMANN, H. (1976): Versuch einer Interpretation der Wässern des Bereiches Molln der im Zeitraum 1969 bis 1970 gemessenen Umwelt-Isotopengehalte mittels des Exponential-Modells.- 160 S., Diplomarb. d. Univ. f. Bodenkultur, Inst. f. Wasserwirtschaft, Wien Mai 1976.
- HUMER, G. (1995): Niederschlagsisotopenmeßnetz Österreich. Teil 2: Daten.- Berichte UBA-BE-033, 110 S., Wien (Umweltbundesamt).
- HUMER, G., RANK, D., STICHLER, W. & TRIMBORN, P. (1995): Niederschlagsisotopenmeßnetz Österreich.- Monographien, Bd. 52, V, 86 S., Abb.+Tab., Wien (Umweltbundesamt).
- MAIRHOFER, J. & SCHROLL, E. (1970): Bericht über Bestimmung des Tritium- und Deuteriumgehaltes an Quellwässern aus dem Raum Molln.- 32 S., 3 Beil., Wien 7.12.1970.
- MAIRHOFER, J. & SCHROLL, E. (1972): Bericht über ergänzende Tritium- und Leitfähigkeitsmessungen des Raumes Molln.- 3 S., 3 Beil., Wien 6.10.1972.
- MOSER, H. & RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie.- Lehrb. d. Hydrogeologie, Bd. 8, XX, 400 S., 227 Abb., 32 Tab., Berlin-Stuttgart (Borntraeger).
- PAPESCH, W., RAJNER, V., RANK, D. & SCHROLL, E. (1988): Tritium- und O-18-Analysen an Wasserproben für das Projekt Sengsengebirge II.- Unveröff. Ber. d. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, 2 Blatt, Wien (29.04.1988).
- PAPESCH, W., RAJNER, V., RANK, D. & SCHROLL, E. (1991): H-2-, H-3- und O-18-Analysen an Wasserproben aus dem Mollner Becken.- Unveröff. Ber. d. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, 3 Blatt, Wien (07.11.1991).
- RANK, D. (1993): Das österreichische Niederschlagsisotopenmeßnetz.- Hydrographischer Dienst in Österreich, Mitt.-bl., Hft. 70, 72-76, 3 Abb., Wien.
- RANK, D. & SCHROLL, Erich (1987): Tritium- und ¹⁸O-Analysen an Wasserproben aus den Gebieten Kobernaußerwald und Mollner Becken (O.Ö.).- Unveröff. Ber. d. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, 4 Blatt, Wien (16.12.1987).
- SCHEIDLEDER, A., HERLICKA, H., RAJNER, V. & RANK, D. (1994): Tritiummeßnetz Österreich. Jahresbericht 1993.- Reports UBA-94-109, 13 S., Wien (Umweltbundesamt).
- SCHEIDLEDER, A., RAJNER, V. & RANK, D. (1996): Tritiummeßnetz Österreich. Jahresbericht 1994.- Reports UBA-96-128, 16 S., Wien (Umweltbundesamt).
- SCHEIDLEDER, A., RANK, D., RAJNER, V. & TESCH, R. (1998): Tritiummeßnetz Österreich. Jahresbericht 1995 und 1996.- Reports R 148, 31 S., Wien (Umweltbundesamt).

LISTE DER TEILBERICHTE

- BENISCHKE, R. (1998): Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt Ost. Karstforschungsprogramm Proj. 1603 „Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen“. – 8.2. Aufbereitung hydrologischer Meßdaten und hydrologische Zusatzarbeiten, Teil II. Band 1:

Text, 81 S., Tab. und Abb.; Band 2: Anhang (Tabellen mit Erläuterungen). - Unveröff.
Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Graz, Oktober 1998.

Ralf BENISCHKE
Institut für Hydrogeologie und Geothermie
Joanneum Research
Elisabethstraße 16/2
A-8010 Graz
Ralf.benischke@joanneum.ac.at

KARSTQUELLEN-DOKUMENTATION

Teilprojekt AZ. 7.3

KARST SPRING DOCUMENTATION

Participant Project: 1603-7.3.

Die Quellen-Stammdatenbank – Struktur und Parameterumfang

Die der gesamten Systematik zugrunde liegenden Quellaufnahmen wurden im Zuge des Teilprojekts 6. Geomorphologie und Hydrologie von Anfang an in eine Dbase IV-Datenbank (HYDSENGS.DBF, H.Haseke) eingegeben und parallel im GIS-Programm ArcInfo digitalisiert. Als räumliches Bezugssystem wurde das Flußnummernverzeichnis des Hydrographischen Zentralbüros (orographische Einzugsgebiete) ausgewählt. Das interne Bezugssystem ist die GIS-ID. - 1993 wurde die Datenbank seitens des NP-Labors (S.Angerer) in die EXCEL-Tabelle HYDATT.XLS übergeführt, was sich auf Dauer als nicht optimal erwies. 1996 wurde sie daher neuerlich in die ACCESS-DB: QUELLENSTAMM.MDB transformiert und 1997/98 evaluiert (E.Pröll, H.Haseke, R.Benischke). Nunmehr werden, vom NP-Forschungslabor verwaltet, alle Ergänzungen und Korrekturen ständig in dieser DB evident gehalten.

Der Parameterumfang ist aus den untenstehenden Übersichtstabellen zu entnehmen. In der Datenbank sind neben den Primärtabellen auch Abfrage-Tabellen und Eingabemasken für verschiedene Zwecke implementiert. Zur Erleichterung der Dateneingabe und zum Erhalt der Konsistenz erfolgt die Übernahme gemessener Feld- oder Laborparameter über eigens erstellte Eingabemasken.

PRIMÄRTABELLEN	Datensätze Anzahl	Parameter- anzahl	Erläuterung
Analysen 1	1112	34	Gesamtbestand von Analysen mehrmals beprobter Quellen
Analysen 2	569	9	Gesamtbestand von später nicht weitergeführter Analysen von Einzelparametern
Ereignis	87	2	Übersicht über die Beprobungstermine
Erklärung: Beobachtungsstatus	5	2	Art der Quellbeobachtung (z.B. Ereignis-, Einzel- oder Monitoring-beprobung)
Erklärung: Geologie	41	2	Schichtbestand (Stratigraphie der geologischen Einheiten)
Erklärung: Quellgeologie	13	2	Quellentyp
Geologie	1567	2	Zuordnung von Gesteinseinheiten zu den GIS-IDs.
Quellenstamm	1307	19	Stammdaten (unveränderliche Daten der Meßstellen)
Quellenstamm: Aufnahmedaten	1211	16	Stamm- u. sonstige Altdaten (aus der Erstaufnahme)

Tabelle 7.3.-1: Primärtabellen der Quelldatenbank.

Parameter	Beschreibung	Parameter	Beschreibung
GIS_ID	GIS-Nummer, Primärschlüssel	Ereignis	Meßtoursbezeichnung
Datum	Entnahmedatum	Schwebstoffe mg/l	Abfiltrierbare Stoffe
Uhrzeit	Entnahmeuhrzeit	DOC	Gelöster org. Kohlenstoff
Aussehen	Optischer Eindruck der Quellwasserprobe	KBE (22°C)	Keimbildende Einheiten bei 22 °C, Gesamtkeimzahl
Bemerkung	zur Entnahme, zur Quelle	Coliforme Keime	
Q	Schüttung	Andere Keime	Andere Keime, Bemerkungen
Ermittlung	Art der Schüttungs-messung	Verflüssigende Keime	Anzahl d. verflüssigen-den Keime der KBE
LF	Elektrische Leitfähigkeit	Fluß-verzeichnis	Flußverzeichnis-nummer n. hydrograph. Flächenverzeichnis
T	Wassertemperatur	Kurzname (Monitoring)	Kurzbezeichnung d. Quelle für Monitoring
pH	pH-Wert	Namen (Feldaufnahme)	Namen (Synonyma) aus der Feldaufnahme

Redox	Redoxpotential	Gebiet	Landschaftliche Großeinheit (Gebirgsgruppe)
O2 mg/l	Gelöster Sauerstoff	Probenstelle	Ortsbeschreibung der Quelle
O2 %	Sauerstoffsättigung	Einzugsgebiet	Gewässer lt. Hydrographie
Trübung	Trübungseinheit	Seehöhe	ü. A.
SAK 254 nm	Spektraler Absorptions-Koeffizient b. 254 nm	Aufnahme-datum	Datum der Erstaufnahme
SAK 285 nm	Spektraler Absorptions-Koeffizient b. 285 nm	Quellart	
SAK 436 nm	Spektraler Absorptions-Koeffizient b. 436 nm	Quell-morphologie	Morpholog. Erscheinungsbild d. Quelle
Mg	Magnesium	Quellgeologie	Geologisch-strukturelle Interpretation des Quellaustrittes
Ca	Calcium	Schüttungs-klasse	Anschätzung der mittleren Schüttung (7 Klassen)
Na	Natrium	Geologie	Geolog. Beschreibung der Quelle
K	Kalium	Geologie Festgestein	Festgesteinsaquifer
Cl	Chlorid	Geologie Lockergestein	Lockergesteinsaquifer
NO3	Nitrat	Anmerkung	Kurzbeschreibung des Quellaustrittes, Hinweise
SO4	Sulfat	Nutzung	
Säurekapazität	Säurekapazität aus Endpunkttitration b. pH 4.3	Beobachtungs-status	Aktueller Beobachtungsstatus in Meßkampagnen, Stand: 14.10.1996
Gesamthärte	Gesamthärte aus Titration	Wetterlage	Wetterlage b. Erstaufnahme
NH4	Ammonium	Hydlage	Hydrologische Lage bei Erstaufnahme
PO4	Orthophosphat	WEIT_MESS	Kennung, ob an der Quelle weitergemessen wird
P	Gesamtphosphor	LT	TLuft
NO2	Nitrit	ERRC	Errorcode (?ID)
KMnO4-Verbrauch	Kalium-Permanganat-Verbrauch	Monitoring Beginn	Monitoring seit (Jahr)
Trockenrückstand mg/10l	Trocknungsrückstand der Quellwasserprobe	Monitoring Ende	Monitoring bis (Jahr)
E. Coli	Escherichia coli	QDOK	Hinweis auf Bericht der Quelldokumentation
Enterokokken			

Tab. 7.3.-2: Parameterübersicht für die Tabellen der Quelldatenbank.

Die Quelldokumentation des Karstprogrammes

Die eigentliche Quelldokumentation widmete sich den im Zuge des Monitorings (AZ. 7.1) und der Ereigniskampagnen (AZ 7.2) wiederholt beprobten Austritten. Neben den wissenschaftlichen Anstrengungen des Nationalparks Kalkalpen wurden auch andere Bearbeitungen, wie die abgeschlossenen Projekte der Ennskraftwerke AG, die Messungen des Hydrographischen Dienstes und anderer Interessenten, eingearbeitet bzw. archiviert. Im Rahmen der WGEV (Wassergüte-Erhebungsverordnung) werden vereinzelte Quellen parallel beprobt, so z.B. der Pießling- und der Steyr-Ursprung. Die Dokumentation war u.a. den "Formblättern zur Erhebung der Wassergüte in Österreich" anzugleichen.

Die Aufnahmen fanden wie folgt statt:

1994	17 Quellen für das „Karstquellen-Monitoring“ 7.1.
1995	22 Quellen für das „Karstquellen-Monitoring“ 7.1. 10 Quellen für das Teilprojekt „Erweiterte Kampagne“ 7.2.
1996	06 Quellen für das „Karstquellen-Monitoring“ 7.1., 12 Quellen für das Teilprojekt „Ereigniskampagnen“ 7.2.
SUMME	67 Quellen

Die Quelldokumentation besteht aus einem kurz gehaltenen Jahres-Aufnahmebericht mit den wichtigsten Unterlagen, die den einzelnen Quellen zugeordnet sind. Die einzelnen Quelldossiers enthalten folgende quellspezifische Beilagen:

- Stammdatenblatt mit Foto
- Lageplan ÖK 1 : 50.000
- Lageplan (Vermessung) oder Lageskizze in Maßstäben zwischen 1:500 und 1:1000, mit allfälligen geologisch-geotektonischen Parametern
- Eine bis 1995 zusammengestellte EXCEL-Tabelle mit allen vom Nationalpark Kalkalpen gemessenen Daten wurde nicht mehr weitergeführt, weil die aktuellen Daten aus der ACCESS- Datenbank des NPK-Labors jederzeit abrufbar sind.
- Fallweise: Diagramme und Kurztext: Streichen der Trennflächen (Gefügemessungen)
- Fallweise: Diagramme und Kurztext: Fallen der Trennflächen (Gefügemessungen)
- Textzusammenstellungen zur Probenstellen-Charakteristik (Nationalpark-Berichte)
- Kopierte Unterlagen aus externen Berichten oder Literaturstellen

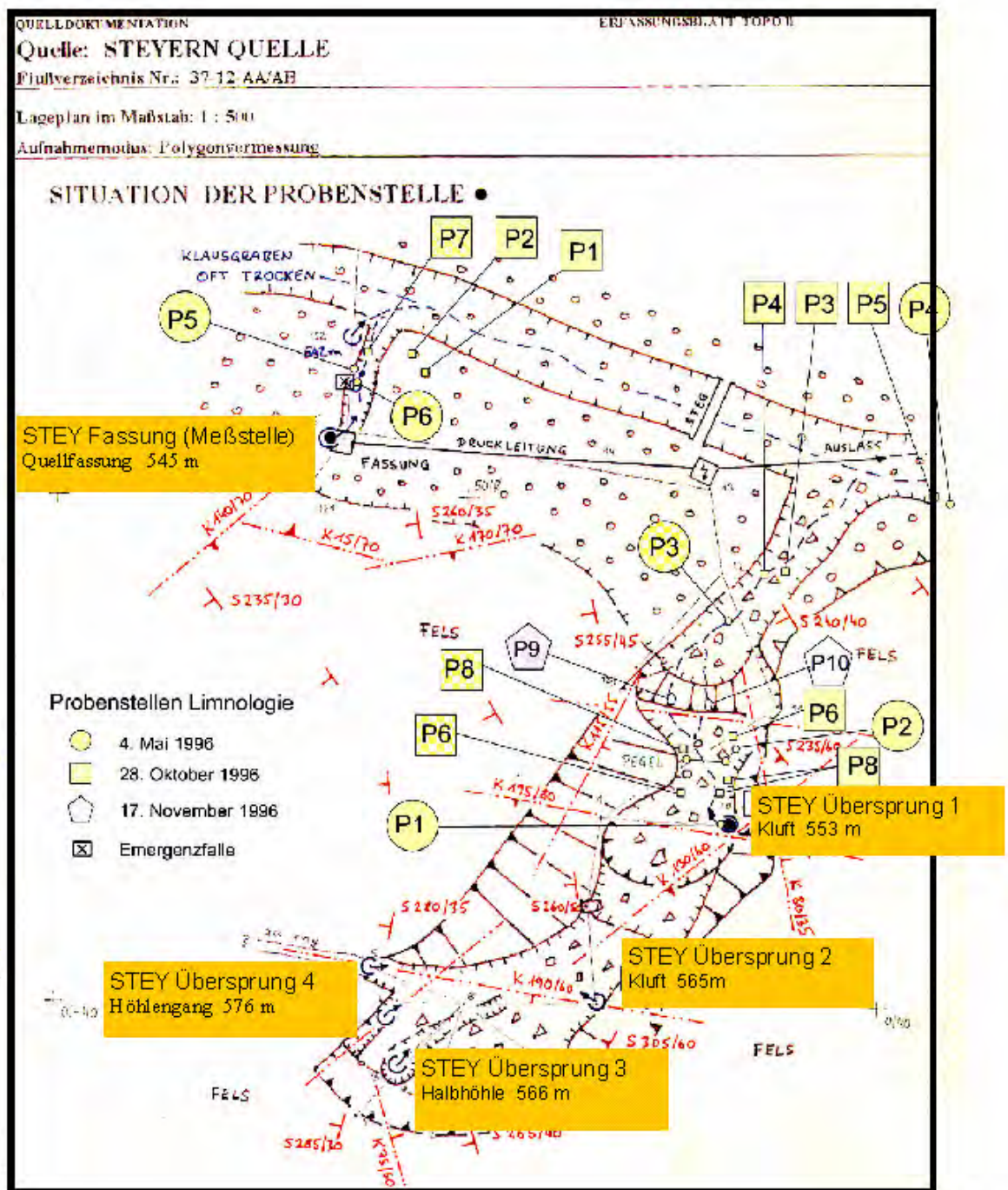


Fig. 7.3.-1: Planskizze der Steyernquelle STEY nach der Polygon- und Gefügeaufnahme, als Beispiel für die Quelldokumentation aus HASEKE 1994. Mit nachgetragenen Probenpunkten der limnologisch-ökologischen Aufnahmen (WEIGAND 1997).

Die Originale dieser dem Bericht in Kopie beigelegten Unterlagen befinden sich in den jeweiligen Dossiers. Bis auf die Karten und Fotos sind alle Berichtsteile unter MS-WINDOWS-Software über die Labor-EDV verfügbar. Alle noch analogen Unterlagen

sollen in Bälde eingescannt werden und sind dann über die Labor-EDV oder als CD-ROM verfügbar.

Praktische Anwendung dieser Dokumentation sind zum Beispiel:

- Die Möglichkeit der Abschätzung des Trinkwasserpotentials im Nationalpark,
- nachvollziehbare Hinweise zu Dynamik und Einzugsgebieten der Quellen,
- Fakten zur Intaktheit und Gefährdung von Einzugsbereichen und der Quellumgebungen,
- eine breite geomorphologisch-geologische Basis für die geohydrologische Einstufung der Quellen, z.B. als Basis für Markierungsversuche oder limnologisch-quellökologische Studien.

Die tektonisch-gefügekundlichen Messungen zeigten eine starke Vorherrschaft WSW-ENE streichender Trennflächen im Sinne der mutmaßlich für die Wasserausbringung verantwortlichen Strukturen. Möglicherweise handelt es sich auch um jenes Gefügebündel, das die großräumige Wasserbewegung bestimmt. Diese Annahme hat sich aber mit den Markierungsversuchen nur zum Teil bestätigen lassen.

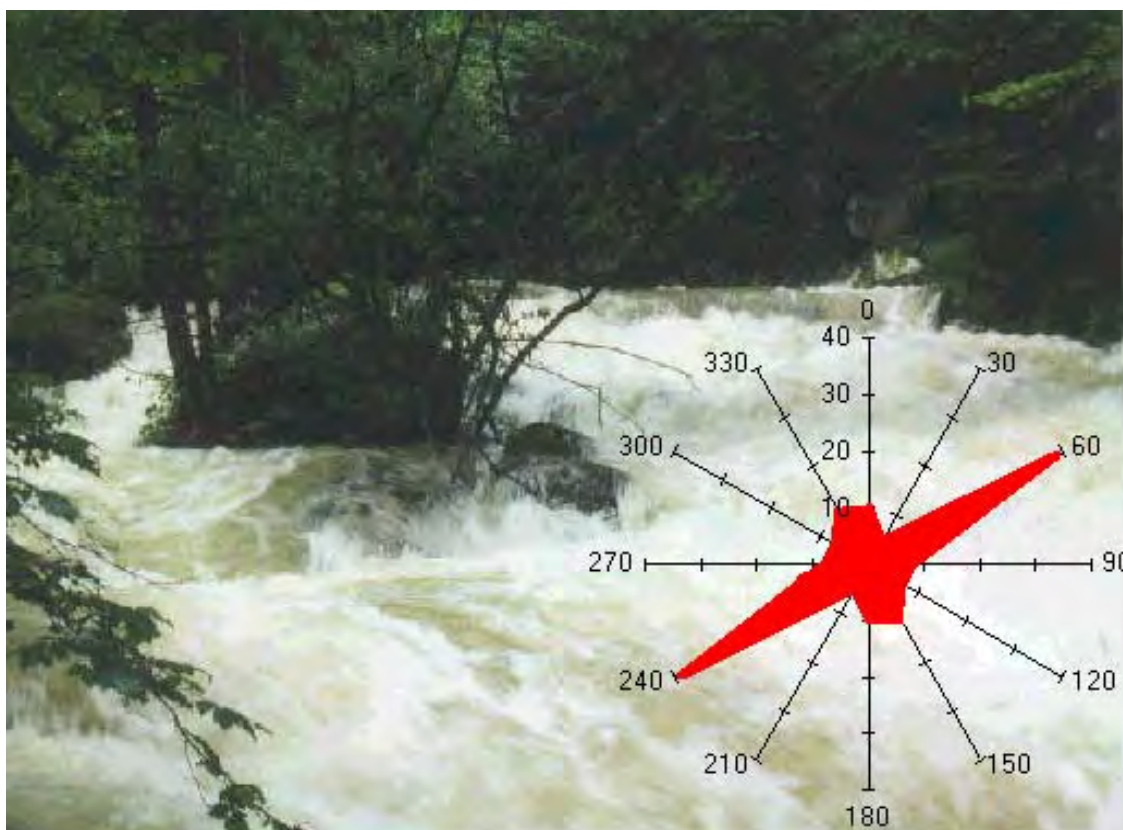


Fig. 7.3.-2: Zusammenschau der dominanten, hydraulisch relevanten Klüftungen an Quellöffnungen im Nationalpark. Im Hintergrund: Die Teufelskirche (Vorderer Rettenbach, VRQ) bei Hochwasser.

LITERATUR

SCHWAIGER et al. / Umweltbundesamt (1991): Wasserwirtschaftskataster Arbeitsgrundlage. Formblätter und Erläuterungen zur Erhebung der Wassergüte in Österreich. - Wien, Oktober 1991.

LISTE DER TEILBERICHTE

HASEKE, H. (1994d): TP 1603-7.3./94: Quelldokumentation Teil I im Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt 1. - Hauptbericht 27 S., 17 Quelldossiers (Mappen) mit zahlr. Beilagen, 17 Meßstellen-Stammdatenblätter. - H. Haseke, Molln-Salzburg, Februar 1995.

HASEKE, H. (1995c): TP 1603-7.3./95: Quelldokumentation Teil II im Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt 1 und Randgebiete. - 1 Hauptbericht, 34 Quelldossiers (Mappen) mit zahlr. Beilagen, 34 Meßstellen-Stammdatenblätter. Molln-Salzburg,, Dezember 1995.

HASEKE, H. (1996c): TP 1603-7.3./96: Quelldokumentation Teil III im Nationalpark Kalkalpen, Planungsabschnitt 1 und Randgebiete. - 1 Hauptbericht (37 S.), Quelldossiers (Mappen) mit zahlr. Beilagen,. Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Molln-Salzburg, Dezember 1996.

Dr. Harald Haseke
Haunspurgstraße 90/3
A – 5020 Salzburg
h-haseke@apanet.at

BODEN-EROSIONSMONITORING MIT HILFE VON BODEN-SPEZIFISCHEN MIKROORGANISMEN – VERWENDUNG VON DNA-HYBRIDISIERUNGSTECHNIKEN (PILOTSTUDIE)

Teilprojekt AZ. 7.5.2

SOIL EROSION MONITORING BY MEANS OF DETECTION OF SOIL-SPECIFIC MICROORGANISMS USING DNA-HYBRIDIZATION TECHNIQUES (PILOT STUDY)

Participant Project:: 1603-7.5.2.

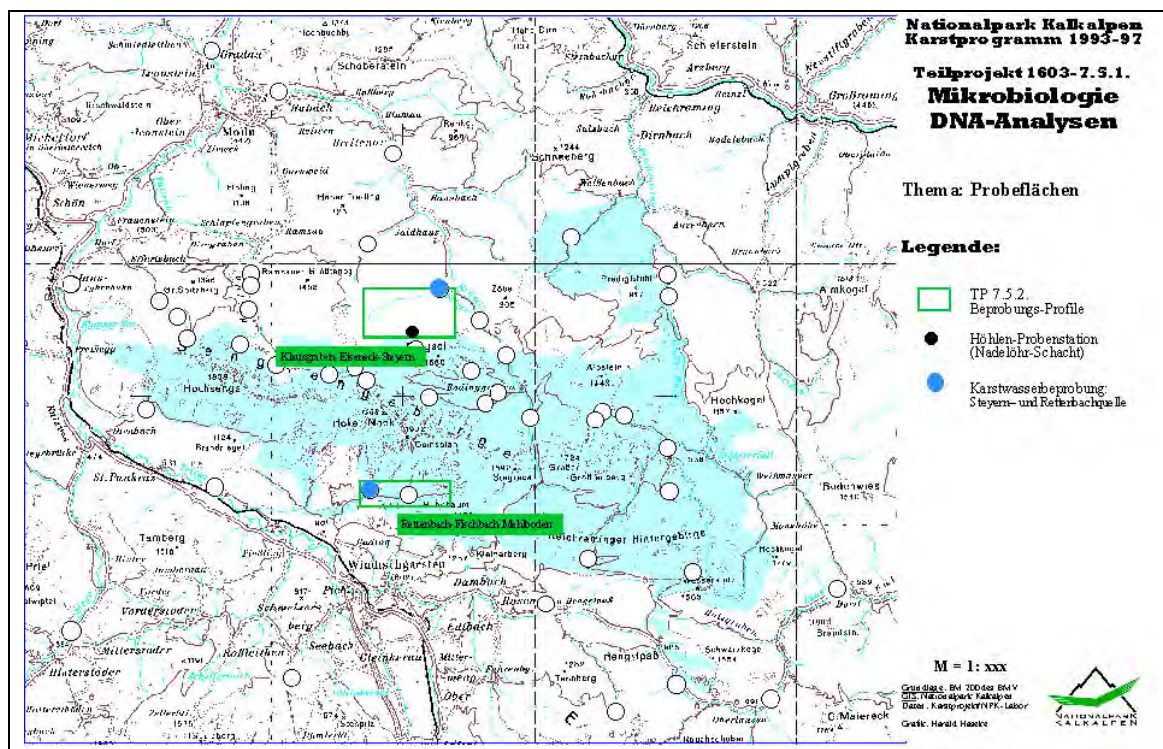


Fig. 7.5.2.-1: Mikrobiologie 2, TP. 7.5.2.: Übersichtskarte der Beprobungsprofile

Einleitung

Bodenerosion ist ein schwerwiegendes Problem in Karstsystemen. Steiflächen, die landwirtschaftlich genutzt werden, können pro Jahr und Hektar 30 Tonnen an wertvollem Boden verlieren. Neu gebildet werden lediglich 1-2 Tonnen, das sind 0.1-0.2 mm pro Jahr und Hektar. Erosionsmonitoring ist eine gute Möglichkeit, die Erosionskinetik in Karstsystemen zu beschreiben. Im Institut für Angewandte Mikrobiologie wurden Versuche unternommen, die Bodenerosion durch bodenspezifische Mikroorganismen zu erfassen, welche mittels DNA-Hybridisierung auf der Basis partieller 16S rRNA bestimmt wurden. Durch Sammeln von Wasserproben aus Karst-Quellgebieten und Auszählung der bodenspezifischen Bakterien sollte die Erosionsrate beurteilt werden können.

Eine Literaturrecherche belegte den hydrogeologischen Einsatz von Markerkeimen in Kluftgrundwasserleitern, Porengrundwasserleitern, Karstwasser, Oberflächen- und Küstengewässern, der Ungesättigten Zone und in Säulenversuchen. Die Wiederfindungsrate war bei allen diesen Versuchen minimal (10^{-6}).

Alle diese Versuche wurden im Hinblick auf mögliche Erkenntnisse im Bereich der Hydrologie gemacht. Es wurde kein einziger Artikel gefunden, der die Möglichkeit des Erosionsmonitorings mittels Tracerkeimen zum Inhalt hatte.

Verwendete Markerkeime und ihre natürlichen Vorkommen (*Enterococcus faecalis* und *Pseudomonas fluorescens* als Referenz-Marker):

<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	soil bacterium, plant pathogenic (wine)
<i>Agrobacterium rhizogenes</i>	soil bacterium, plant pathogenic
<i>Streptomyces griseus</i>	soil bacterium
<i>Streptomyces anulatus</i>	soil bacterium
<i>Rhizobium trifolii</i>	soil bacterium
<i>Rhizobium meliloti</i>	soil bacterium
<i>Enterococcus faecalis</i>	contaminated or polluted water
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	soil and water

Tabelle 7.5.2.-1: Markerkeime

In einem ersten Schritt wurden hybridisierte Bakterienproben ausgewählt, um die oben genannten Arten anhand ihrer DNA unterscheiden zu können. Die Kolonie-Hybridisierung wurde optimiert durch wechselnde Denaturierungstemperatur, Salzkonzentration, Durchspülungsbedingungen, Verdünnungsgrad der Antikörper-Enzym-Verbindungen und Länge der Versuchszeiten, also durch ständige reaktionsfordernde Bedingungen. Da keine radioaktiven Marker verwendet wurden, mußten störende Hintergrundsignale von unspezifischen Bindungsstellen gering gehalten werden.

Es wurden daher fluoreszierende, mit 11-dUTP versehene Oligonucleotide als Sonden verwendet (anstelle der herkömmlichen biotin-hältigen). Die Zellyse der Mikroorganismen, insbesondere der grampositiven, stellte hierbei ein Problem dar. Um die Effizienz der Zellyse zu erhöhen, wurden verschiedene lysierende Verfahren getestet, wobei schließlich eine vollständige Lysis aller relevanten Mikroorganismen entwickelt werden konnte. Ergänzend zur DNA-Hybridisierung wurden mehrere Kulturmedien überprüft, die zur Bestimmung der mikrobiellen Verunreinigung ausgewählter Quellen im Nationalpark verwendet wurden (Auszählung der Kulturplatten). Die Quellproben wurden zu unterschiedlichen Zeiten gezogen. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Steyern-Quelle und ihr Überlauf stark mit bodenbewohnenden Mikroorganismen kontaminiert waren, was auf hohe Erosionsraten hinweist. 1996 wurden die beschriebenen Untersuchungen eingestellt.

Ergebnisse der Begleituntersuchung zum Monitoring 1996

Probenstellen

Steyern Quelle :	STEY
Steyern Quelle Überlauf :	STEYÜ
Mitte Klausgraben (Brücke unter Polzalpe)	Mitte KG
Ende Klausgraben ca. 722m	Ende KG
Vorderreuterstein ca. 956m (Bodenprobe)	
Eiseneck Nadelöhr (Tropfwasser; Bodenprobe)	NÖHR
Rettenbach Fischteiche :	Fischteiche
Hintere Rettenbachquelle	HRQ
Fischbachquelle	FIQ
Mehlboden ca. 820m (Bodenprobe)	

Monitoring „Schneeschnmelze“ 26.6.1996

Die Steyernquelle STEY und der Steyernquellüberlauf (Kaskade) STEYÜ zeigen im Vergleich zu den anderen beprobten Quellen deutlich erhöhte Keimzahlen. Bei der Agrobakterien- und der Rhizobienkeimzahl ist dieser Unterschied besonders gut zu erkennen, bei der Gesamtkeimzahl liegt lediglich der Nadelöhr- Schacht NÖHR über STEY und STEYÜ (der Schacht ist in die Eiseneck-Karstfläche des Projektes AZ. 5.2 „Bodenwasserhaushalt...“ als Sickerwasser-Sampler bzw. „Naturlysimeter“ integriert).

Aufgrund der Probleme mit der Membranfiltrationsmethode bei der Bestimmung der Keimzahlen wurde nach dieser Kampagne die Methode des Ausplattierens angewandt.

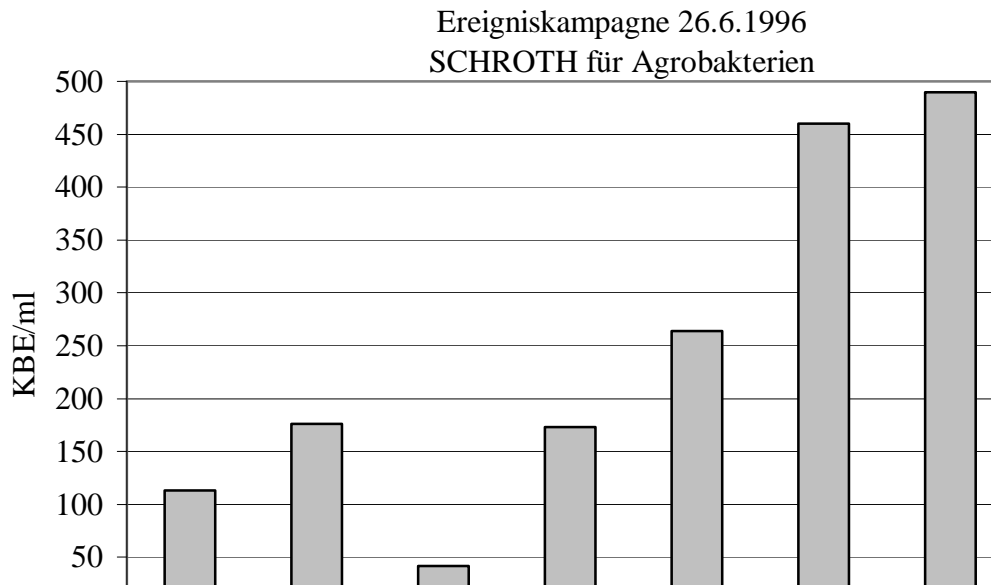


Fig. 7.5.2.-2: Agrobakterienkeimzahl / ml bei der Monitoring-Kampagne „Sommerliches Hochwasser“

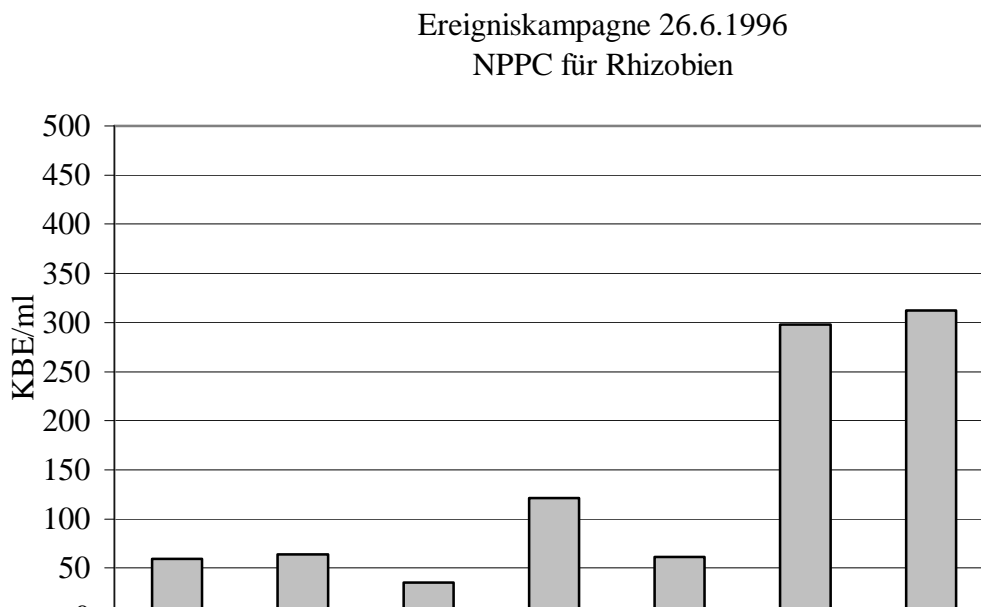


Fig. 7.5.2.-3: Rhizobienkeimzahl / ml bei der Monitoring-Kampagne „Sommerliches Hochwasser“

Monitoring „Herbstliches Niederwasser“ 25.10.1996

Bei der zweiten Monitoring-Kampagne ergab sich kein eindeutiges Überwiegen einer Probenahmestelle. Allerdings zeigt STEY bei der Streptomycetenkeimzahl wiederum einen erhöhten Wert.

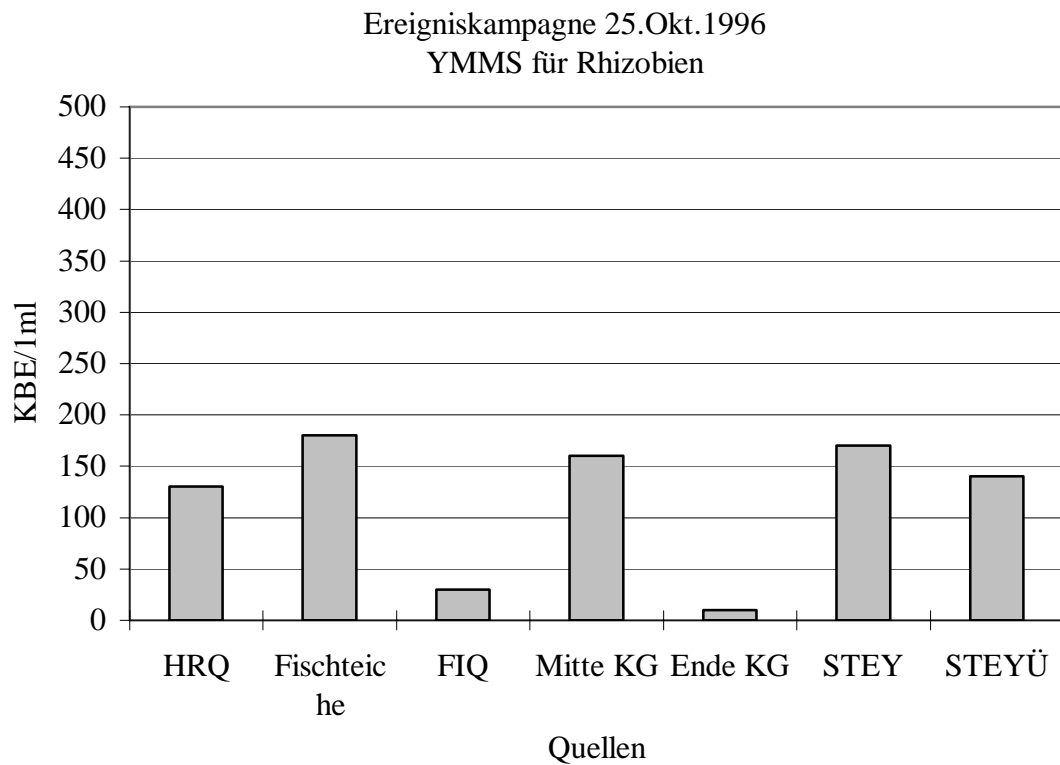


Fig. 7.5.2.-4: Rhizobienkeimzahlen / ml bei der Monitoring-Kampagne „Herbstliches Niederwasser“

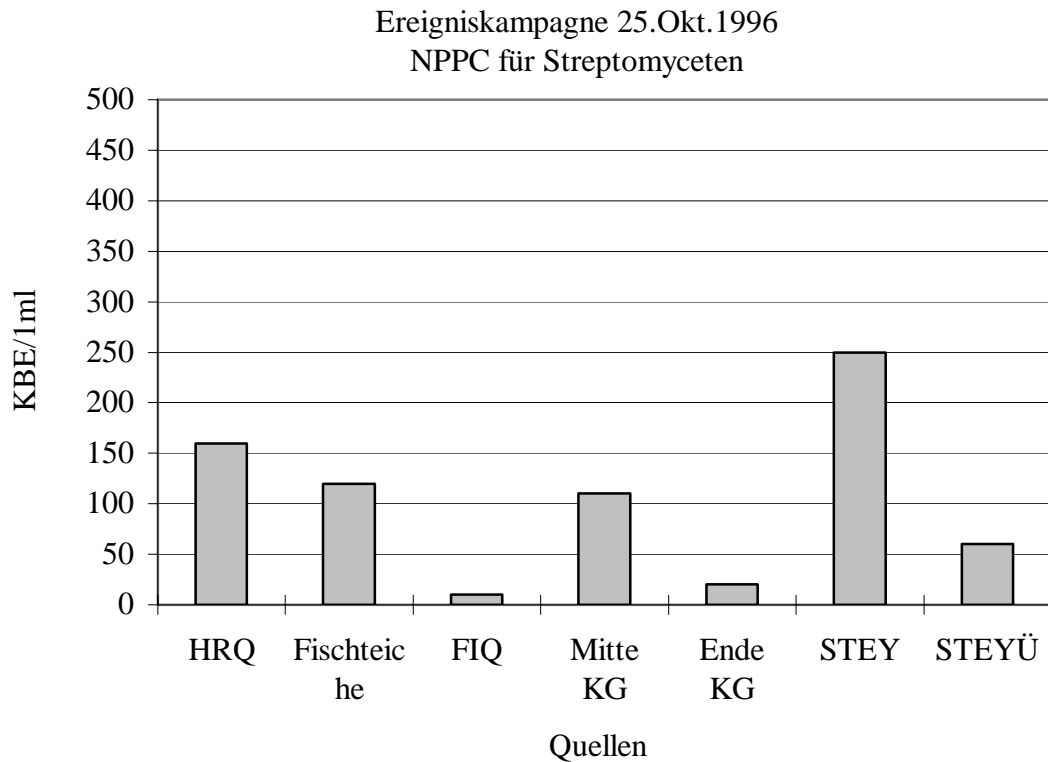


Fig. 7.5.2.-5: Streptomycetenkeimzahlen / ml bei der Monitoring-Kampagne „Herbstliches Niederwasser“

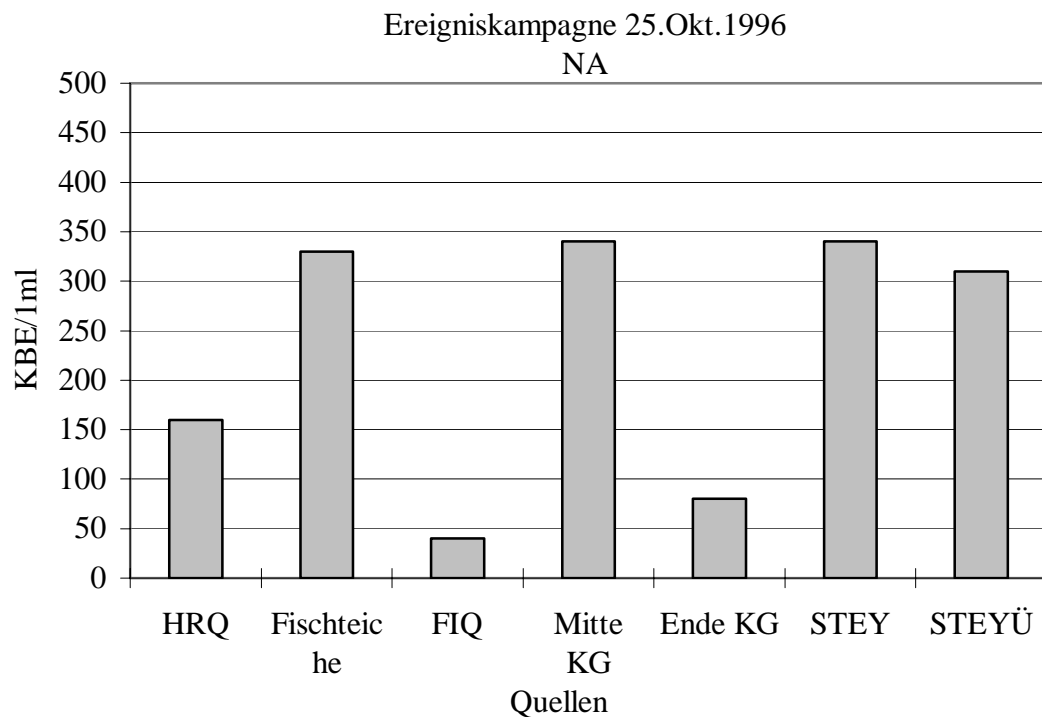


Fig. 7.5.2.-6: Gesamtkeimzahl / ml bei der Monitoring-Kampagne „Herbstliches Niederwasser“

Ereigniskampagne „Sommerliches Hochwasser“ 27.7. bis 30.8.1996

Am Eiseneck/Nadelöhrschacht traten die höchsten Keimzahlen auf. Erklärbar ist dies dadurch, daß der Nadelöhrschacht (NÖHR) nur wenige Meter Überdeckung hat und sich in dem Gebiet Probenflächen von anderen Teilnehmern des Karstquellen Monitorings befinden. Aufgrund der dadurch ausgelösten mechanischen Erosionsvorgänge, durch das ständige Betreten der Probenflächen, und natürlich auch das Vorhandensein vieler Nager und anderer Kleintiere kommt es daher zu diesen extrem hohen Werten.

Im Gebiet der Steyern Quelle (STEY) nimmt die Keimzahl der Bodenbakterien, im Vergleich zum Nadelöhrschacht (NÖHR) ab, was auf einen Verdünnungseffekt schließen läßt. Doch kommt vor allem durch die offenen Ponore im Feichtau Almbereich (1300-1400m) und das Weidevieh und Wild viel Losgetrampeltes in die Karstquellen.

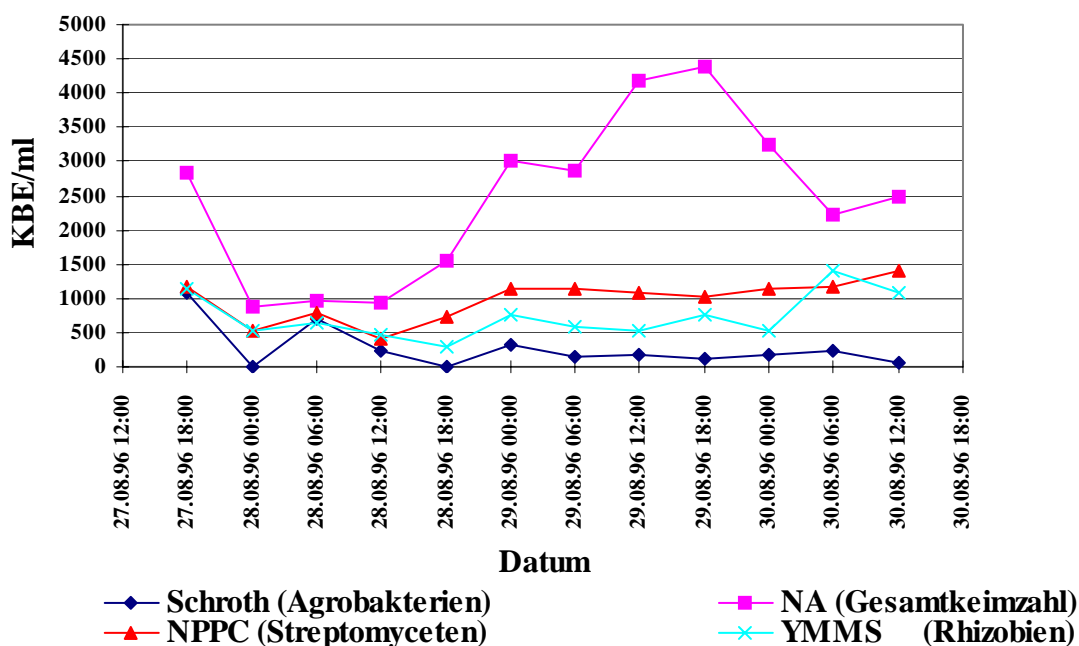


Fig7.5.2.-7: Ereigniskampagne „Sommerliches Hochwasser“ 8/1996- Steyern Quelle (STEY)

In der Hinteren Rettenbachquelle (HRQ) sind die Verdünnungen viel höher ausgefallen als bei der Steyern Quelle (STEY), da die Einzugsgebietsfläche dieser Quelle eine stark verkarstete mit vorwiegend Kahl- und Latschenkarst ist.

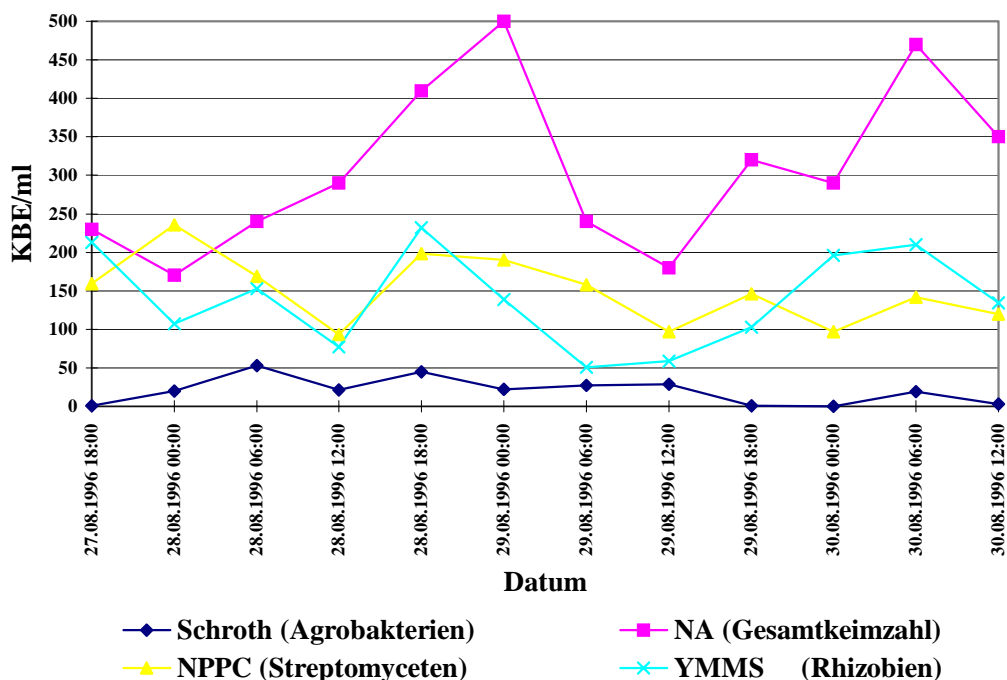


Fig7.5.2.-8: Ereigniskampagne „Sommerliches Hochwasser“ - Hintere Rettenbachquelle (HRQ)

PROJEKTAUSFÜHRUNG, METHODIK

Da ein guter Teil der Studie der Entwicklung einer Methode zur Identifizierung von Bodenbakterien mittels spezieller Anzuchtverfahren und mit Gen-Markern gewidmet war, ist dieser Teil sehr umfangreich ausgefallen. Interessenten seien daher auf die Originalstudien verwiesen.

LITERATUR

AMANN R.: Combination of 16S rRNA - targeted oligonucleotide probes with flow cytometry for analyzing mixed microbial populations. - Appl. Environ. Microbiol. Vol 56, No.6, P. 1919-1925

BERTRAM S., GASSEN H.-G. (1991): Gentechnische Methoden. - Gustav Fischer Verlag

BROWN T. A.: Gentechnologie für Einsteiger

FLISS H., EMOND E., SIMARD R. E.: A rapid and efficient method of lysis Lysteria and other gram positiv bacteria using Mutanolysin. - BioTechniques 11, Nr.4, p 453-457

KELLER G.H., MANAK M. M.: DNA probes. Background - Applications - Procedures

LEITCH A. R., SCHWARZACHER T., JACKSON D.: In situ Hybridisierung

MARMUR J., DOTY P. (1962): Determination of the base composition of deoxyribonucleic acid from ist thermal denaturation temperature. - J. Mol. Bio.5, 109-118

REGNER F. (1988): Etablierung von nicht radioaktiven Hybridisierungstechniken für Nukleinsäuren. - Diplomarbeit

SCHAAD N. W.: Laboratory guide of identification of plant pathogenic bacteria

STACKEBRANDT E. et al.: Designation of streptomycete 16S and 23S rRNA - based target regions for oligonucleotide probes, Appl. Environ. Microbiol. Vol 56, No 5, p 1468-1477

SUGGS S. V. et al. (1981): Use of synthetic oligodeoxyribonucleotides for the isolation of cloned DNA sequences, Academic Press 683, New York (1981)

TIJSSEN P. (1993): Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology. Part I : Theory and nucleic acid preparation. Part II : Probe labeling and hybridisation techniques

WATSON J. D. et al. (1953): Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid, Nature 177, 788-800

LISTE DER TEILBERICHTE

HOLUBAR, P. und HEURITSCH, S. (1995): Teilprojekt 1603-8.2.2./95: Hydromikrobiologische Zusatzarbeiten, "Konzeption und Test spezieller mikrobiologischer Methoden zur Erkundung der pedogenen Organismenmobilität im Karstwasser". - 13 S., 31 Blots (Kopien). Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparks Kalkalpen, Wien, Juli 1996.

HOLUBAR, P., HEURITSCH, S und SEPER, C. (1996): Teilprojekt 1603-7.5.2./96, "Konzeption und Test spezieller mikrobiologischer Methoden zur Erkundung der pedogenen Organismenmobilität im Karstwasser ". 32 S., Abb. und Grafiken. Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparks Kalkalpen, Diplomarbeit (Heuritsch), Wien, Dezember 1996.

DI Peter HOLUBAR
Universität für Bodenkultur
Institut für Angewandte Mikrobiologie
Nußdorfer Lände 11
A-1190 Wien
holubar@mail.boku.ac.at

MYXOBAKTERIEN: UNTERIRDISCHE VERBREITUNG ALS STYGOFAUNISTISCHE BIOZÖNOSEN

TEILPROJEKT: AZ. 7.5.3

MYXOBACTERIA: SUBTERRANEAN DISTRIBUTION AS STYGOFAUNISTIC BIOCOENOSES

Participant Project: 1603-7.5.3.

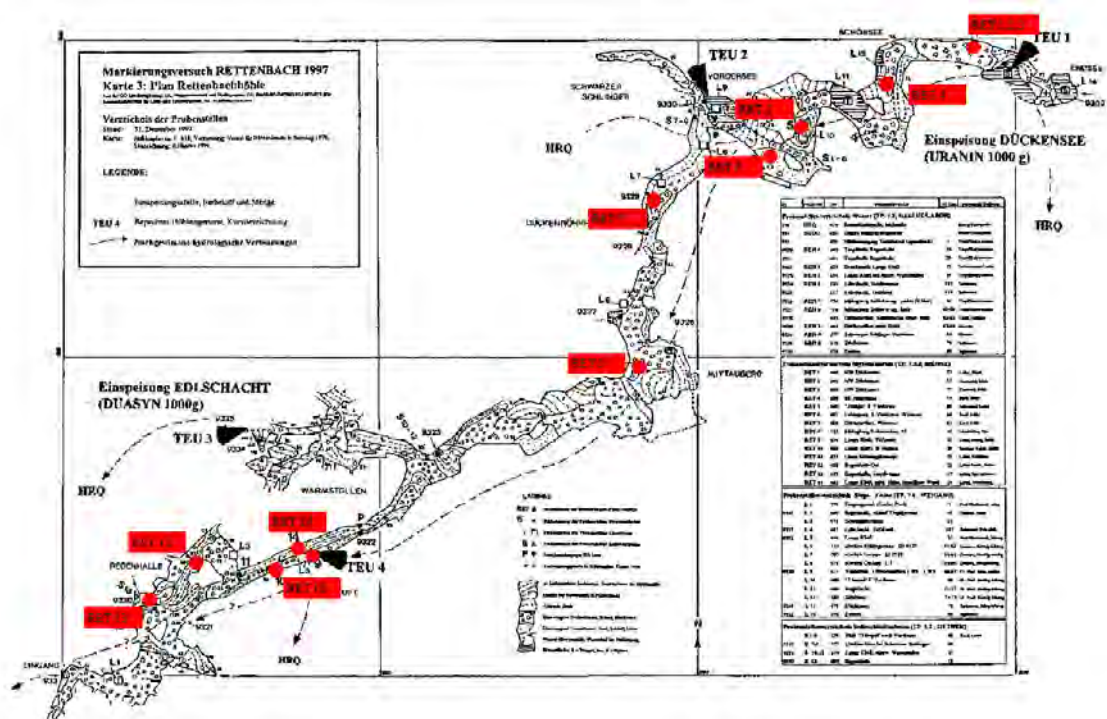


Fig. 7.5.3-1: Grundrißplan der Rettenbachhöhle mit Probestellen für Myxobakterien-Analysen und Sukzessionsversuche.

Seit 1996 wurden insgesamt 22 Sedimentproben an zwei unterschiedlichen Stellen der Rettenbachhöhle (südliches Sengsengebirge) gezogen. Untersucht wurden das Auftreten und die Verteilung der Myxobakterien in den Proben, wobei zusätzlich acht Sedimentproben von drei kleinen Höhlen im Eiseneck-Gebiet geprüft wurden. Die ersten Probenentnahmen erfolgten unter spätwinterlichen Bedingungen, die zweiten fanden unmittelbar nach einer bedeutenden herbstlichen Überflutung statt. Ergänzend wurden physikalische Messungen durchgeführt.

Fünf Arten von Myxobakterien wurden identifiziert: *Myxococcus fulvus* stellte die allseits klar dominierende Art dar. Das Vorkommen von *Corallococcus coralloides* ist signifikant für den Einflußgrad des Oberflächensystems. Weitere Arten sind *Myxococcus virescens*, *Myxococcus stipitatus* und *Archangium gephyra*. Die quantitative Ausbreitung der Myxobakterien erwies sich als stark abhängig von der Lage der Probenstelle in Bezug auf den Wasserstand im Karst (Vertikaldistanz). Der Sedimenttyp (Textur) ist ebenfalls relevant, wobei Sand bevorzugt besiedelt wurde. Wenig Einfluß hat hingegen der pH-Wert, und keine Korrelation konnte zum Feuchtigkeitsgehalt des Sediments gefunden werden. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu anderen Höhlen. Wir beobachteten des weiteren einen großen Einfluß der Überflutungsereignisse auf die qualitative und quantitative Zusammensetzung der myxobakteriellen Biozönosen.

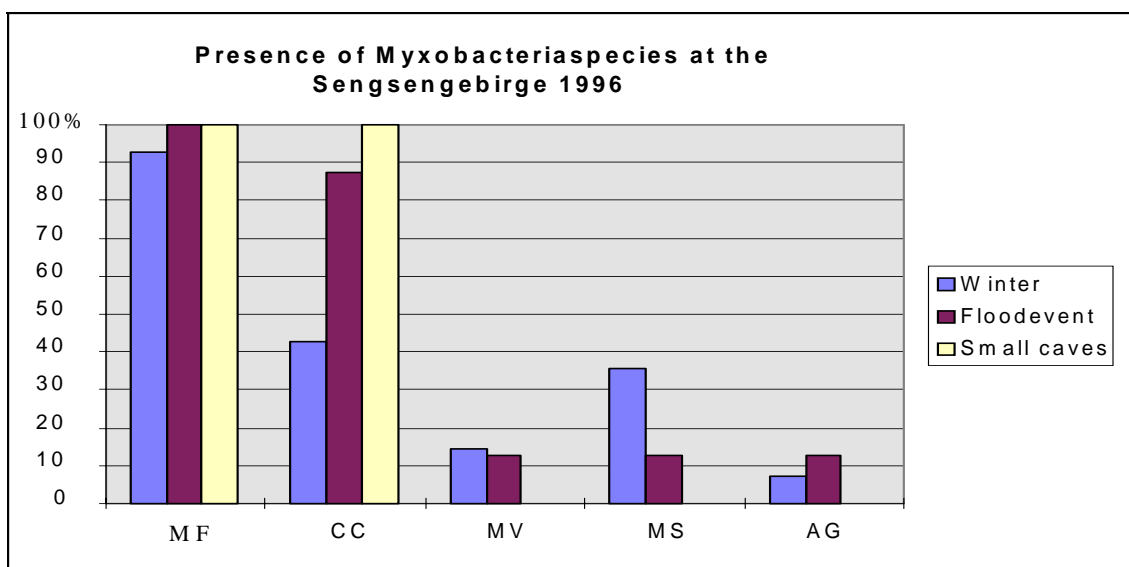


Fig. 7.5.3.-2: Vorkommen von Myxobakterien im Sengsengebirge 1996. - MF = *M. fulvus*; CC = *C. coralloides*; MV = *M. virescens*; MS = *M. stipitatus*; AG = *A. gephyra*

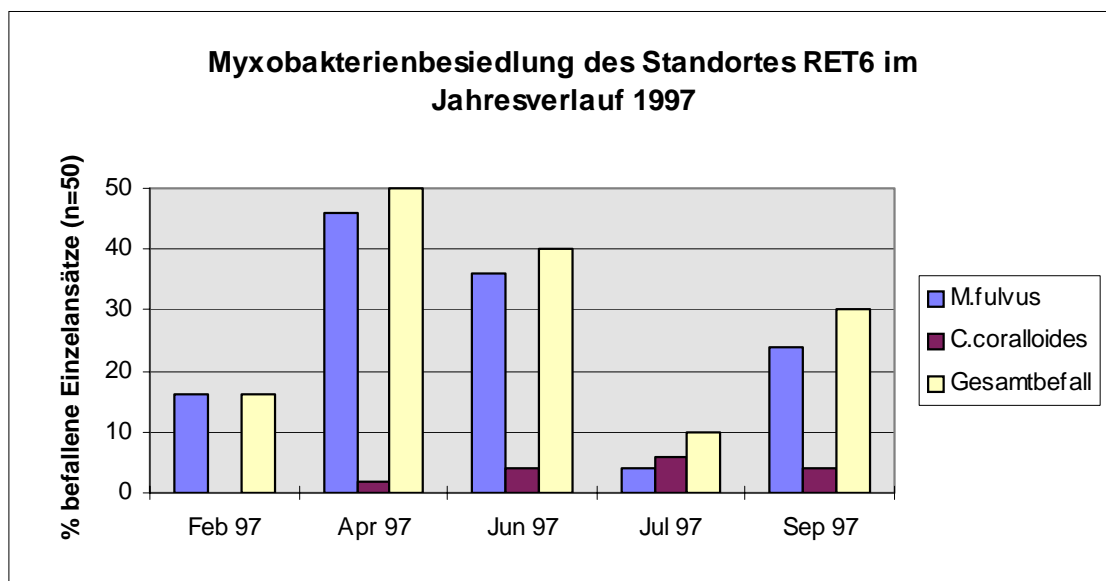


Fig. 7.5.3.-3 : Myxobakterienbesiedlung des Standortes RET6 (Bachlauf in der Dückenröhre) im Jahresverlauf 1997

Ebenfalls untersucht wurden Mikrohabitate. Ein gemeinsames Auftreten von Magnetit und Myxobakterien (als Zeigerorganismen) wirft die Frage nach der mikrobiologischen Entstehung dieses Minerals in der Höhle auf. Ein neuer Versuch, Höhlenbiotope von der biologischen Seite her zu beurteilen, ist die Definition des Oberflächenbezugsindex (Chlorophyllgehalt des Sediments nach standardisierter Inkubation). Wichtiger noch ist die Bestimmung des PV1-Index, der Quotient aus dem Vorkommen von *M. fulvus* und *C. coralloides*. Der PV1-Index zeigt den Einfluß der Oberfläche auf den jeweiligen Standort in der Höhle. Die Ergebnisse der Rettenbachhöhle stimmen mit jenen des Wildpalfensystem (Hagengebirge, BRD) überein.

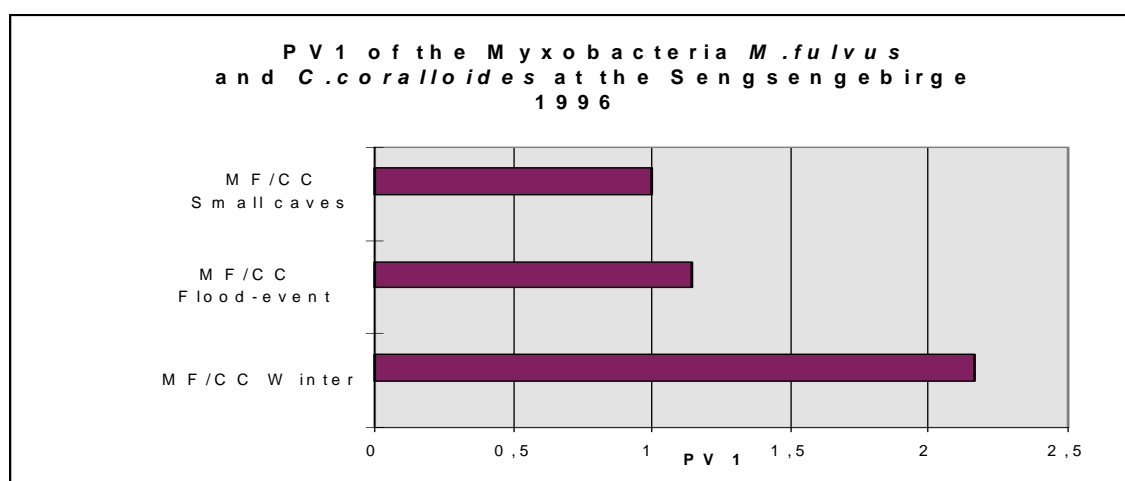


Fig. 7.5.3.-4: PV 1 als Quotient des Vorkommens von *M. fulvus* and *C. coralloide* im Sengsengebirge 1996 -MF = *M. fulvus*; CC = *C. coralloides*

Die Untersuchungen zu den Myxobakterien im Nationalpark Kalkalpen werden im Zusammenhang mit früheren Beobachtungen in anderen Höhlen diskutiert. Das Ergebnis ist eine neue biologisch determinierte Aufgliederung des Karstes in vier vorwiegend vertikale Zonen, die unterschiedliche mikrobiologische Aktivität und Heterogenität zeigen: Subcutum, Epiklasal, Hypoklasal and Hydroklasal.

1997 wurden insgesamt 46 Sedimentproben „naturbelassener“ klastischer Höhlensedimente gesammelt (5 Kampagnen). Neben der Erfassung der Myxobakterien überprüften wir chemische und physikalische Parameter. Dieser Teil der Arbeit ist eine Fortsetzung des Projekts von 1996, wobei wir im November 1996 ein neuentwickeltes mikrobiologisches Sukzessions-Experiment in der Höhle einrichteten. Die Versuchsanordnung bestand aus 10 sterilen, rostfreien Stahlgefäßen, die an verschiedenen Stellen in der Höhle angebracht wurden. Jedes Gefäß enthielt drei sterile Sandpäckchen zu je 100g. Die aufgestellten Gefäße wurden in drei Sammelaktionen (Februar, Juni, September 1997) auf Myxobakterien überprüft. Im Juli 1997 wurden außerdem 15 Sedimentproben von der Oberfläche zusammen mit 5 Proben der Bachsedimente unterhalb der Höhlenquelle gezogen. Ergänzende Proben wurden in den Höhlen Maulaufloch und Nadelöhrschacht gesammelt.

Ein wichtiger Aspekt war die Suche nach In-Situ- Biofilmen in den Höhlensedimenten. 1997 konnten mit rein physikalischen Methoden die Arten *M. fulvus*, *C. coralloides*, *M. stipitatus* und *A. gephyra* bestimmt werden. Im Gegensatz zur Untersuchung von 1996 fehlte *M. virescens*.

Vertikalzonierungen im Karstkörper

Nach Maßgabe der karstmikrobiologischen Hypothese des Festbettreaktors muß es vertikale Differenzierungen in den Biozönosen geben. Für das Wildpalfensystem (Hagengebirge, Nationalpark Berchtesgaden) wurde eine solche Zonierung bereits gezeigt (MENNE 1997b). Für den Fall des Sengsengebirges deutete sich im Untersuchungsjahr 1996 ein gleichartiges Ergebnis an (MENNE 1996b). Bereitet man nun die neuen Daten auf, so lassen sich folgende Zusammenhänge erkennen:

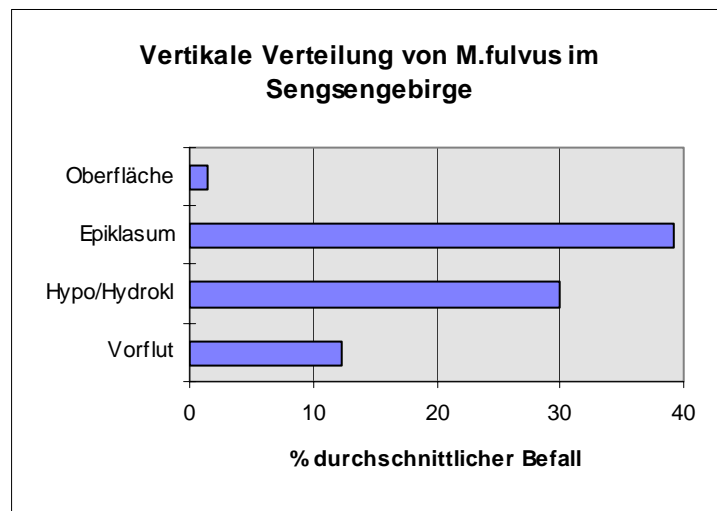


Fig. 7.5.3.-5: Vertikale Verteilung von *M.fulvus* im Sengsengebirge

Die Art *M.fulvus* zeigt hier im quantitativen Vergleich das grundsätzlich gleiche vertikale Verteilungsmuster, wie es im Wildpalfensystem beobachtet wurde: geringe Konzentrationen an der Oberfläche, eine massive Aufkonzentrierung in den obersten, tagnahen Bereichen des Karststockes und ein langsames Abfallen der Befallsintensitäten zur Tiefe hin.

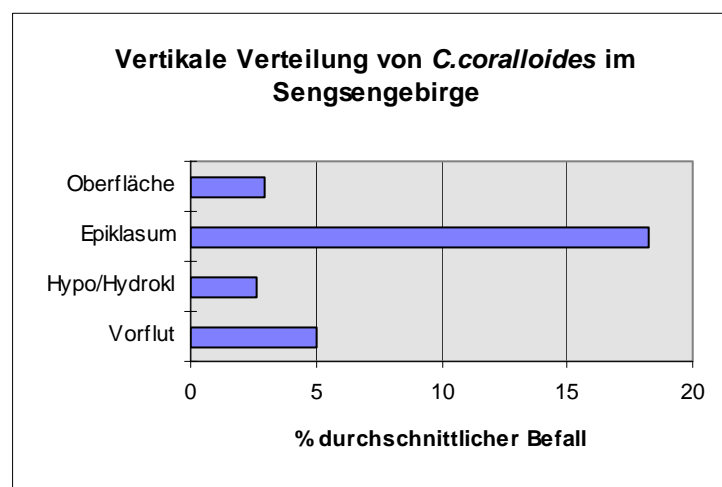


Fig. 7.5.3.-6: Vertikale Verteilung von *C.coralloides* im Sengsengebirge

Bei der Art *C.coralloides* ist eine deutlich andere vertikale Verteilung erkennbar. Es kommt zwar auch zu einer Aufkonzentrierung im Epiklasum, allerdings in deutlich geringerem Maß als bei *M.fulvus*. An der Oberfläche ist *C.coralloides* häufiger als *M.fulvus*, in der Höhle ist es umgekehrt. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Befall drastisch ab. Die höchsten Befallsraten von *C.coralloides* finden sich an der Oberfläche des Vorflutbereiches und im Epiklasum. Auch dieser Befund bestätigt grundsätzlich die im Wildpalfensystem gewonnenen Erkenntnisse.

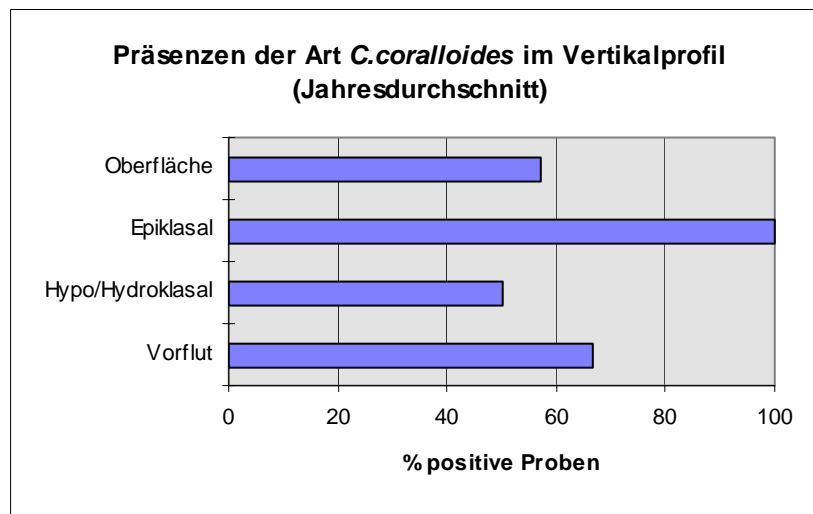


Fig. 7.5.3.-7: Präsenzen der Art *C.coralloides* im Vertikalprofil (Jahresdurchschnitt)

Zur Absicherung des Befundes ziehen wir nun den qualitativen Vergleich heran. Wie obige Abbildung zeigt ergibt sich für *C.coralloides* das gleiche Bild wie bei quantitativer Auswertung. In beiden Fällen wird das vertikale Verbreitungsminimum im Hypo- und Hydroklasal des Gebirgsstockes ausgewiesen.

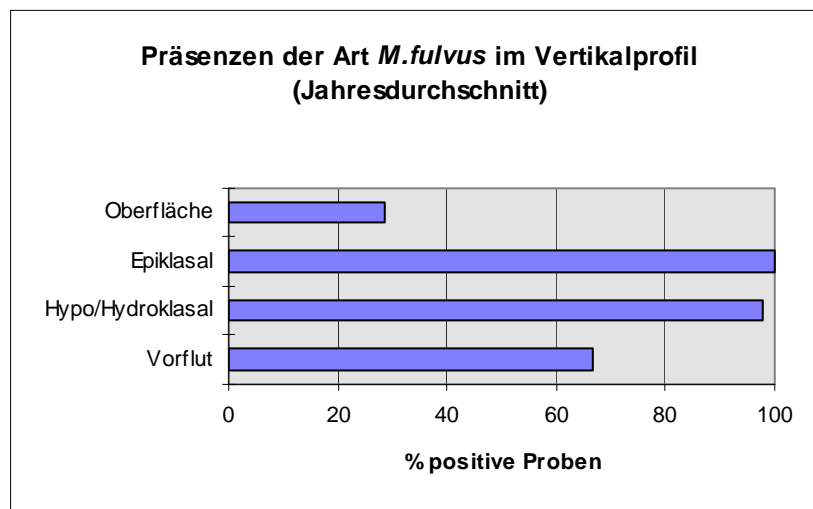


Fig.7.5.3.-8: Präsenzen der Art *M.fulvus* im Vertikalprofil (Jahresdurchschnitt)

Auch die qualitative Datenauswertung für die Spezies *M.fulvus* führt zu den gleichen Schlußfolgerungen wie die quantitative Betrachtung. Allerdings fällt der qualitative Vergleich zwischen den Arten noch deutlicher aus als es bei quantitativem Ansatz möglich war. *M.fulvus* findet deutlich sein Verbreitungsmaximum im Karstkörper selbst. Mit der Tiefe nimmt die Präsenz nur wenig ab.

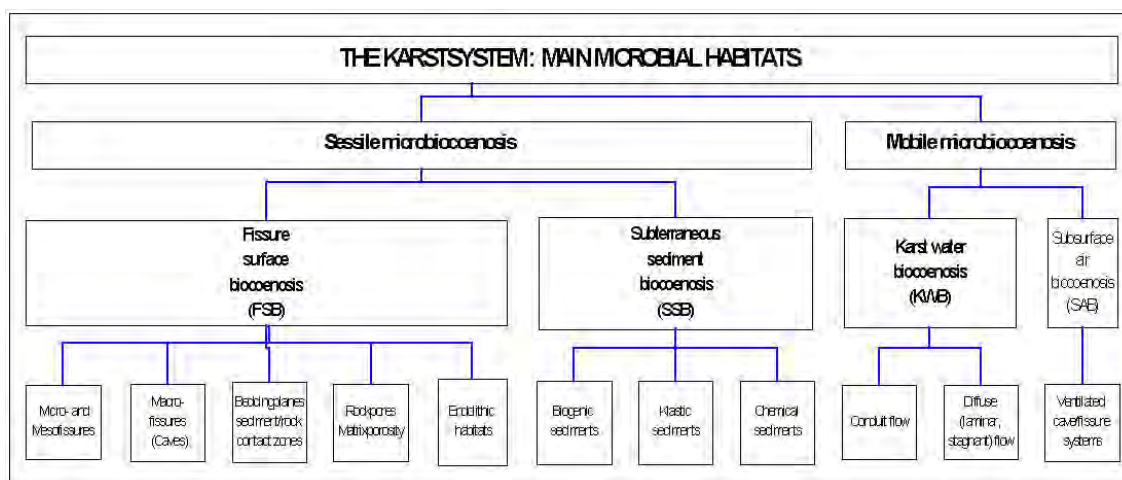


Fig.7.5.3.-9: Unterirdische Mikrobiologische Habitate – Versuch einer Zonierung

Die Vertikalzonierung auf der Basis der sessilen Mikrobiozönosen in den klastischen Höhlensedimenten konnte bestätigt werden. Der PV1-Index als Indikator des Oberflächeneinflusses auf das Höhlenökosystem zu einer bestimmten Zeit wurde ebenfalls verifiziert. Gemäß den Ergebnissen vom Wildpalfensystem (Hagengebirge, Nördliche Kalkalpen) ist *M. fulvus* die vorherrschende Myxobakterienart in der Subsurface-Zone. *C. coralloides* dominiert in den Oberflächensedimenten und ist auch für das Epiklasal typisch.

Ein neuer Gesichtspunkt ist, daß wir den natürlichen *Basis-Line-Drift* und jahreszeitliche Auswirkungen auf den PV1-Wert in Betracht ziehen müssen. Der *Basis-Line-Drift* kommt durch den Einfluß des Diversitätspegels im Myxobakterienvorkommen zustande. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, daß der Einfluß von Überflutungsereignissen auf die sessilen unterirdischen Mikrobiozönosen noch nicht durch ein einziges Modell beschrieben werden kann. Die Überflutung (single peak) im Oktober 1996 fand eine positive Korrelation in der Quantität und Artendiversität in den klastischen Höhlensedimenten, wogegen eine negative Korrelation zwischen Myxobakteriengehalt und -diversität nach der Flutung im Juli 1997 (double peak) aufgezeigt werden konnte. Nichtsdestoweniger war es möglich, artspezifische Reaktionen zu beschreiben.

Unsere Untersuchungen weisen darauf hin, daß laminare Strömungssysteme in der Subsurface-Zone die besten Bedingungen für mikrobiologisches Wachstum und Entwicklung bieten. Die Analysen von 1997 zeigten eine maximale Myxobakterienkonzentration im Spätwinter / Frühlingsanfang (April). Die größte Diversität wurde im Herbst festgestellt. Jede Art zeigt ein unterschiedliches Verhalten. Detaillierte Ermittlungen an drei individuellen Lokalitäten in der Höhle enthüllten, daß der Parameter „Feuchtigkeitsgehalt“ ausgesprochen unterschiedliche Auswirkungen auf das mikrobiologische Ökosystem hat. In einem Fall, an einer Stelle mit geringem Wassergehalt, korreliert der Feuchtigkeitsgrad positiv mit der

Myxobakterienkonzentration. An einer anderen Stelle mit relativ hohem Wassergehalt wurde eine negative Korrelation festgestellt. Unter hochenergetischen Bedingungen, neben dem Höhlenbach, wurde keine Korrelation zwischen Feuchtigkeit und Myxobakterien gefunden.

Des weiteren stellten wir fest, daß mikrobiologische Lebensgemeinschaften grundsätzlich eine hohe Diversität aufweisen, sogar in Sedimentschichten von nur 2 – 4 mm Mächtigkeit. Zwischen den einzelnen Schichten wurden große Unterschiede gefunden. Im Sukzessionsexperiment fanden wir eine Artenfolge beginnend mit *M. fulvus*, dann *C. coralloides* und schließlich *A. gephyra*. Physiologische Experimente basierend auf Messungen der Kardinaltemperatur lieferten exakt die gleiche Sukzessionsfolge. Das neue Experiment bekräftigt, daß mehr als eine Vegetationsperiode notwendig ist, um die höchste Sukzessionsstufe zu erreichen. An manchen Stellen (z. B. Gefäß Nr. 4) entdeckten wir direkte Konkurrenz zwischen *M. fulvus* und *C. coralloides*.

Im Rettenbach-Höhlensystem sammelten wir eine große Vielfalt an Biofilmen. Mikroskopische Untersuchungen belegen ein Ökosystem in unterirdischen Oberflächen ("fissure surface biocoenosis"; FSB) mit überaus verschiedenen Biozönosen. Ergänzend zu den prokaryotischen Systemen können wir eine dichte Fauna an Protozoen, wahrscheinlich heterotrophen Algen und Nematoden beobachten. Dies bestätigt die Hypothese von Karst als einen natürlichen Festbetteaktor. Die unmittelbare Identifikation von Coliformen und *E. coli* an Höhlenoberflächen (Wasserspiegel Vordersee) führt zu neuen Interpretationsmodellen von Karstquellen aus hygienischen Gesichtspunkten.

Insgesamt offenbarten die Untersuchungen im Rettenbacher Höhlensystem 1997/98 eine jahreszeiten- und ereignisabhängige Dynamik von subterranean Mikrobiozöosen, wobei lokalen Faktoren eine große Bedeutung zukommt. Biofilme und der Transport von klastischem Sedimentmaterial sind entscheidend für den Karstbildungsprozeß. Beobachtet werden konnten hochstrukturierte mikrobielle Lebensgemeinschaften, in denen artspezifisches Verhalten eine wichtige Rolle spielt.

Projektausführung, Methodik

Wegen der äußerst komplexen angewandten Methodik und der breiten Diskussion der zum Teil neuartigen Ansätze sei auch hier, wie beim Projekt Holubar, auf die Originalarbeit 1997 verwiesen.

LITERATUR

MENNE, B. und RÜCKERT, G. (1988): Myxobakterien (Myxobacterales) in Höhlensedimenten des Hagengebirges (Nördliche Kalkalpen); Die Höhle 39(4) Seite 120-131. Wien

- MENNE, B. (1989) : Verdünnungsreihen Myxobakterien enthaltender Sedimente. Unveröffentlichte Studienarbeit
- MENNE, B. (1991): Kritische Untersuchungen zur Mesophilie von Myxobakterien. Unveröfftl. Diplomarbeit, Universität Karlsruhe.
- MENNE, B. (1992): Einige Befunde zur Besiedelung von klastischen Höhlensedimenten der Schwäbischen Alb durch Mikroorganismen der Ordnung Myxobacterales; Mitteilungen des Verbandes deutscher Höhlen- und Karstforscher 38(3), Seite 60-62; München
- MENNE, B. (1996a): Manganhaltige Ablagerungen in der Rettenbachhöhle (Kat.Nr.1651/1, Oberösterreich) und ihre Zusammenhänge mit mikrobiologischen Prozessen. Die Höhle 47(3): 69-74. Wien.
- MENNE, B. (1997a) : Microbiological processes at the cave development and karstification - Proceedings of the 12.Int.Congress of Speleology 1997 Bd.2, S.119. La-Chaux-de Fond
- MENNE, B. (1997b): Mikrobiologische Prozesse im Karst(wasser)Körper -Proceedings of the 12.Int.Congress of Speleology 1997. Bd.3, S 289-292.La-Chaux-de Fond
- REICHENBACH, H.; DWORKIN, M. (1992): The Myxobacteria. In: BALOWS, A.; TRÜPER, H.G.; DWORKIN, M.; HARDER, W.; SCHLEIFER, K.H. (Eds): The Prokaryotes 2nd. ed. 1992. Berlin: Springer
- ROSENBERG, E (Ed.) (1984): Myxobacteria - Development and Cell Interaction.- Springer New York.
- RÜCKERT, G. (1980): Beiträge zur Verbreitung, Verbreitungsökologie und Ökologie der Myxobakterien (Myxobacterales). Habilitationsschrift Universität Karlsruhe.
- SINGH, B.N. (1947): Myxobacteria in soils and composts: their distribution, number and lytic action on bacteria. - J. Gen. Microbiol. 1: 1-10. Cambridge.

LISTE DER TEILBERICHTE

- MENNE, B. (1996a): Myxobakterien in der Rettenbachhöhle. Eine karstmikrobiologische Studie. - 19. S., unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Mühlacker (BRD) August 1996.
- MENNE, B.(1996): Manganhaltige Ablagerungen in der Rettenbachhöhle (Kat.Nr. 1651/1, Oberösterreich) und ihre Zusammenhänge mit mikrobiologischen Prozessen. - Die Höhle 47(3):69-74. Wien 1996.
- MENNE, B. (1997a): Myxobakterien in der Rettenbachhöhle und in einigen Kleinhöhlen des Sengengebirges. Eine karstmikrobiologische Studie - Ergebnisse 1996. - 29.S., Abb. und Tab. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Mühlacker, Februar 1997.

Dipl.Biol. Benjamin MENNE
Hartfeldstr. 32
D - 75417 Mühlacker
BenMen@t-online.de

Neuigkeiten. Vor allem die Artenzahlen, ihre vom Gebirgsbach gänzlich unterschiedliche Zusammensetzung und das Auftreten von der Wissenschaft unbekannten Spezies legten eine Vertiefung in das Thema nahe.

Quellen stellen inselartige Biotope mit disjunkter Verbreitung dar. In Habitatbeschaffenheit und Organismenzusammensetzung unterscheiden sie sich sehr deutlich von den angrenzenden Gebirgsbächen und den unterirdischen Gewässern, gegen welche sie auch abrupt abgegrenzt sind. Ein faszinierendes Forschungsfeld, das im alpinen Raum noch ganz am Anfang steht und erst in den letzten Jahren vermehrt in den Blickpunkt gelangt.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Große floristische und faunistische Vielfalt

Für den alpinen Raum sind rund 1.000 in Quellen lebende Tierarten bekannt, davon etwa 200 bis 300 Quellspezialisten (BREHM & MEIJERING 1990, MOOG 1995). Auch die Flora ist mannigfaltig, so konnten im Nationalpark Kalkalpen nach einer ersten stichprobenartigen Erhebung der Moosflora an 22 ausgewählten Quellen 77 Moosarten beobachtet werden, davon allein bei einer Großquelle 28 Arten (GRIMS 1993).

Dieses Ergebnis veranlaßte den Nationalpark im Jahr 1995 an 35 ausgewählten Quellhorizonten (40 Austritte des Quell-Monitoring) die Tierwelt und Ökologie genauer zu erkunden. Diese Untersuchungen bestätigten die außergewöhnlich hohe Biodiversität. So konnten bereits bei einer einmaligen Aufnahme an den 40 Quellaustritten rund 220 Arten nachgewiesen werden, darunter mehrere der Wissenschaft noch nicht bekannte Organismen (WEIGAND & TOCKNER 1996, HAASE, WEIGAND & HASEKE 1998). Bemerkenswert ist auch der hohe faunistische Individualitätsgrad der einzelnen Quellen. In nahezu jedem der untersuchten Quellaustritte treten eine bis mehrere Arten auf, welche an keiner anderen Quelle vorkommen. Bei der nachfolgenden ökologischen Studie, an einigen ausgewählten Quellen, konnten noch etliche weitere Arten festgestellt werden (WEIGAND 1998). Demnach ist allein für die 792 im und um den Nationalpark registrierten Quellen eine Faunenvielfalt von über 500 Arten anzunehmen. Eine Zahl, die sich bei weiterführenden Untersuchungen vermutlich noch erhöhen wird.

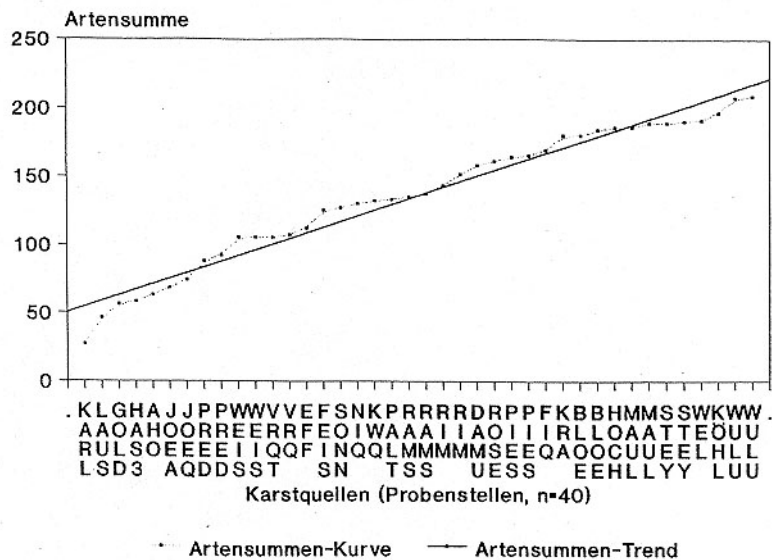


Fig. 7.6.-2: Artensummenkurve (mit Trendverlauf): Reihung der 40 Quellaustritte nach erfolgter Probenentnahme. Bezeichnung der Quellaustritte in Kurzform (senkrecht). Nationalpark Kalkalpen, Karstquellen-Monitoring 1995 (WEIGAND & TOCKNER 1996).



Quelle im Großweißenbach (WEIS), Photo: H. Haseke

Fig. 7.6.-3: Quelle WEIS im Großweißenbach, Detailaufnahme eines Teiles des Quellaustrittes mit Probenpunkten der benthischen Aufnahme – Beispiel für die Dokumentation in WEIGAND 1997.

Zusammensetzung der Fauna

Die aquatisch lebende Fauna der Karstquellen wird von der Insektenfamilie der Zuckmücken (Chironomidae) dominiert. In den 40 untersuchten Quellaustritten stellt sie mit 67 Arten etwa 1/3 des nachgewiesenen Artenspektrums und ihr Individuenanteil an der Gesamtfaua liegt sogar bei 50%. Zudem ist sie die einzige Tiergruppe, welche an allen 40 untersuchten Quellaustritten beobachtet werden konnte (Abb. 2). Bezüglich des Individuenreichtums werden die Zuckmücken gefolgt von den Steinfliegen (Plecoptera, mind. 20 Arten) mit einem Abundanzanteil von 14 % (individuenmäßig dominiert die Gattung *Protonemura*), den Wasserschnecken (Gastropoda, 10 bis 12 Arten, Vertreter von 4 Gattungen wobei *Bythinella* spp. dominieren, Gesamthäufigkeit 5-10 %), den Wasserkäfern (Coleoptera, etwa 8 Arten, v. a. aus der Fam. der Elmidae, 5 %), den Wenigborstern (Oligochaeta, 14 Arten, 5 %), den Strudelwürmern (Turbellaria, es dominiert die Alpenplanarie, *Crenobia alpina*, 4 %), den Bachflohkrebsen (Amphipoda, *Gammarus fossarum* und Höhlenflohkrebs, *Niphargus tatrensis*, 3 %), den Köcherfliegen (Trichoptera, knapp 30 Arten, 2 %), den Kriebelmücken (Simuliidae, 2 Arten) und weiteren Vertretern der Zweiflügler (Diptera div., 20 nachgewiesene Taxa, Artenzahl dürfte noch deutlich höher liegen, 1,5 %), den Eintagsfliegenlarven (Ephemeroptera, 12 Arten, im Eukrenal nur juvenil, 1 %), den Muscheln (*Sphaerium* und *Pisidium*, 3 bis 4 Arten), den Muschelkrebsen (Ostracoda, mind. 5 Arten), den cyclopoiden und harpacticoiden Krebsen (Copepoda, mind. 9 Arten, darunter vermutlich eine noch unbeschriebene Art), Wasserasseln (*Proasselus*, vermutl. nur die Höhlenassel: *P. cavaticus*), den Wassermilben (mind. 5 Arten), und schließlich den, in überraschend geringer Zahl vorkommenden Fadenwürmer (Nematoda, mehrere Arten) und Lurchen (Amphibia, 4 Arten, typisch für kalttemperierten Karstquellen ist nur der Feuersalamander, *Salamandra salamandra*).

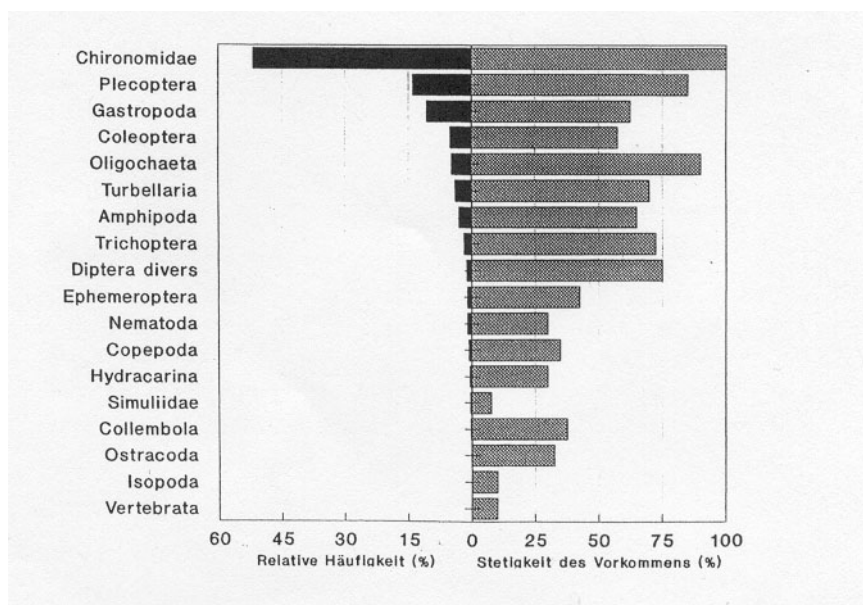


Fig. 7.6.-4: Quellfauna – Relative Häufigkeit der jeweiligen Großgruppen (prozentueller Anteil an der Gesamtf fauna) und Stetigkeit des Vorkommens (% der besiedelten Probenstellen, n=40). Nationalpark Kalkalpen, Karstquellen-Monitoring 1995 (WEIGAND & TOCKNER 1996).

Einzigartige Faunengemeinschaft als Folge hydrographischer Isolation

Eine immerwährend und stark fließende Quelle („Rheokrene“), die oft genug der eigentliche Ursprung des Vorfluters ist, wirkt sich so aus, daß vermehrt Bewohner des angrenzenden Gebirgsbaches (Epirhithral) direkt in die Quellregion einwandern. Die Hauptquellen des Vorderen und Hinteren Rettenbaches sind Beispiele dafür. Eine ausgeprägte Mischfauna ist die Folge und nicht selten dominieren Gebirgsbachorganismen in der Quellregion. In stark verwachsenen, flach überrieselten Zonen hingegen und in Quellen mit sumpfig-sickernd austretendem Wasser („Helokrene“) aber auch in sog. Tümpelquellen (Quellen, die ein Quellbecken ausgebildet haben, „Limnokrene“), ist der Anteil reiner Quellorganismen sehr hoch. Wenn das Wasser, was oft vorkommt, gleich wieder im Sediment versickert oder gar in Karstpororen verschwindet, sind sie vom Netzwerk der Bäche hochgradig isoliert. Dies ist der Grund für ihre einzigartige Tierwelt. Über das ganze Jahr gleichmäßige Temperaturen, kein Zufrieren und gering schwankende Wasserführungen, Sedimentfrachten und Qualitätsparameter machen den Lebensraum Quelle für viele Arten attraktiver als die flut-, eis-, geschiebe- und trocknisgefährdeten Gebirgsbäche.

Die eigenständigste Faunenzusammensetzung findet man in steil abfallenden Quellabflüssen, die eine immerwährend und konstant geringe Wasserführung aufweisen („Hygropetrische Quelle“). Die überrieselten Felswände sind meist flächendeckend mit Moosen bewachsen und damit reich an besiedelbarer Struktur. In

diesem Lebensraumtyp wurde mit bis zu 300 Individuen auf 100cm² Fläche die bisher höchste Besiedlungsdichte vorgefunden (WEIGAND 1998).

Die Artenvielfalt und Eigenständigkeit ist in kleineren Quellen deutlich höher als in den Karstriesenquellen. Dies war etwas überraschend, ist aber mit dem Ansatz der bizönotischen Längsgliederung erklärbar. Außer der geringen räumlichen Ausdehnung von Quellen beeinflusst auch die Seehöhe die Artenzahl, so weisen Quellen des Montanbereiches generell eine höhere Artenzahl auf als Austritte in der Subalpinstufe (WEIGAND & TOCKNER 1996).

Ein Mosaik aus zahlreichen Kleinstlebensräumen

Um einen längerfristigen Verbleib einer Art in einem bestimmten Biotop zu gewährleisten, benötigt sie einen klar abgegrenzten Lebensraum (z.B. WETZEL 1985, BEGON et al. 1991). Artendiversität ist demnach abhängig von der Vielfalt an Kleinlebensräumen bzw. der Habitatausstattung und dem vorherrschenden Umweltfaktorengefüge. Quellen sind außerordentlich reich an sehr unterschiedlich ausgeprägten Habitaten und Lebensräumen, die in der Quellregion kleinräumig miteinander verzahnt sind. Dieses Mosaik von auf kleinstem Raum versammelten Lebensrauminseln ermöglicht die hohe Artenkonzentration.

Bei der Analyse der Präferenz der Fauna zu Habitaten und Kleinlebensräumen, bei welcher insbesondere Substratausstattung und hydrologische Situation berücksichtigt wurden, lassen sich gut definierte Faunengemeinschaften abgrenzen. Mehrere individuenreich vertretene Arten zeigen einen ausgeprägten Schwerpunkt ihres Vorkommens in einem oder wenigen Choriotopen. Wie z.B. die Quellenschnecke der Gattung *Bythinella*, welche reichlich mit Algen verwachsene substratstabile Flächen in hydrologisch geschützten Arealen bevorzugt, oder der ausnahmslos im Fallaub vorkommende Bachflohkrebs *Gammarus fossarum*. Auch der einzige quelltypische Vertreter innerhalb der Wirbeltiere, der Feuersalamander (*Salamandra salamandra*), benötigt für die Larvalentwicklung stark strömungsberuhigte Abschnitte wie z. B. Quellweiher.

PET = Gestein (1 = hygropetrische Zone mit epilithischen Algen, 2 = kompaktes Sediment mit epilithischen Algen, 3 = Sedimentumlagerungszone, 4 = lückiges Gewässersediment mit etwas POM-Einlagerung, 5 = Sand-bänke, 6 = hydrologisch dynamisch beeinflusste Felsbecken mit dünner Feinsedimentauflage), POM = grobpartikuläres organisches Material (1 = Fallaub jüngeren Datums, 2 = Fallaub jüngeren und älteren Datums mit reichlich Feinmaterial), BRY = Quellmoos (1 = hygropetrischer Charakter, 2 = dichtes Quellmoos in starker Strömung, 3 = Quellmoos mit reichlich eingelagerten Feinmaterial), MIX = Mischsubstrat.

Choriotope	PET - Gestein, gesamt	PET1 - Hygropetrische Zone mit Algen	PET2 - Kompaktes Sediment mit Algen	PET3 - Sedimentumlagerungszone	PET4 - Lückiges stabiles Gewässersediment	PET5 - Sandbänke, mit wenig organ. Material	PET6 - Felsbecken mit dünner Feinsedimentauflage	POM - Partikuläres organ. Material, gesamt	POM1 - Fallaub jüngeren Datums, kein Feinmaterial	POM2 - Fallaub älteren und jüngeren Datums	BRY - Quellmoos, gesamt	BRY1 - Hygropetrische Zone mit Quellmoos	BRY2 - Dichtes Quellmoos in starker Strömung	BRY3 - Quellmoos mit eingelagerten Feinmaterial	MIX - Mischsubstrat, gesamt
PET	-	33,7	47,7	54,5	63,2	33,7	8,8	54,7	54,0	23,6	40,9	1,5	13,9	41,8	43,6
PET1		-	62,9	30,6	33,7	3,1	9,7	24,0	39,7	4,6	8,6	5,2	3,4	8,3	10,1
PET2			-	37,3	44,3	7,8	3,9	37,5	54,1	15,5	13,3	6,7	9,0	14,1	19,9
PET3				-	42,7	4,4	8,1	41,0	44,3	20,3	27,7	16,0	15,4	27,7	32,8
PET4					-	13,4	12,1	50,8	57,3	27,7	38,5	18,0	16,8	37,8	52,4
PET5						-	1,8	7,2	7,3	6,4	35,2	1,7	1,3	40,5	17,2
PET6							-	10,2	15,1	6,7	16,0	19,7	17,2	12,5	20,5
POM								-	55,0	67,5	27,2	35,3	16,3	24,5	39,3
POM1									-	22,7	32,1	22,2	24,5	29,9	41,6
POM2										-	19,2	30,1	12,1	15,8	33,9
BRY											-	33,6	22,5	86,0	46,4
BRY1												-	23,6	20,2	21,2
BRY2													-	19,5	28,6
BRY3														-	46,2
MIX															-

8

Tabelle 7.6.-1: Relative Ähnlichkeit der Fauna (Renkonensche Zahl in Prozent) innerhalb der 15 definierten Choriotope (Haupt- und Sublebensräume). Nationalpark Kalkalpen, Karstquellen-Monitoring 1996/97 (WEIGAND 1998).

PET = Gestein (1 = hygropetrische Zone mit epilithischen Algen, 2 = kompaktes Sediment mit epilithischen Algen, 3 = Sedimentumlagerungszone, 4 = lückiges Gewässersediment mit etwas POM-Einlagerung, 5 = Sand-bänke, 6 = hydrologisch dynamisch beeinflusste Felsbecken mit dünner Feinsedimentauflage), POM = grob-partikuläres organisches Material (1 = Fallaub jüngeren Datums, 2 = Fallaub jüngeren und älteren Datums mit reichlich Feinmaterial), BRY = Quellmoos (1 = hygropetrischer Charakter, 2 = dichtes Quellmoos in starker Strömung, 3 = Quellmoos mit reichlich eingelagerten Feinmaterial), MIX = Mischsubstrat.

Die wesentlichsten Schlüsselfaktoren

Bei der Ausbildung der sehr verschieden ausgeprägten und unterschiedlich attraktiven Kleinlebensräume (Choriotope) nimmt die Hydrologie eine Schlüsselrolle ein.

Durch die fehlende Hochwasserdynamik, kommt es in den Quellen, im Gegensatz zu den Gebirgs-bächen zu keiner Sedimentumlagerung, wodurch sich eine üppige Aufwuchsflora von Algen, Quell-moosen und Biofilm entwickeln kann.

Quellen mit besonders geringer hydrologischer Dynamik sind durch mächtige Fallaubanlandungen geprägt ("POM- bzw. Fallaub-Quellen", z.B. Weißenbachquelle WEIS, Krahalmquelle KRAH). Wird hingegen durch eine höhere Fließwasserdynamik das Fallaub abtransportiert, können auch die ebenen bis mäßig steilen Gesteinsoberflächen von Quellmoos kolonisiert werden ("Moos-Quellen", z.B. Steyrnquelle-Übersprung).

Da die energetisch gestaltende Kraft des Wassers für die biologisch-ökologischen Prozesse in Quellen von außerordentlicher Bedeutung ist, und sie im Karst andere Erscheinungsformen annimmt als über Urgestein, ist zu vermuten, daß zwischen Kalk- und Zentralalpen erhebliche Unterschiede in der Ausbildung der Choriotope der kalttemperierten Quellen und somit auch ihrer Floren- und Faunen-zusammensetzung bestehen.

Neben den hydrologischen und gewässermorphologischen Faktoren hat auch die Umlandvegetation (Beschattung, Fallaubeintrag) einen entscheidenden Einfluß auf die Ausprägung von Karstquellen. Unter dem Einfluß direkter Sonneneinstrahlung, können sich keine Quellmoos entwickeln, die Steine sind statt dessen von Algen- und Biofilm überzogen.

Organismen der Höhlen- und Spaltlückengewässer

Die Quellen erlauben uns Einblicke in den Untergrund. Das Spalten-, Röhren- und Kluftsystem des Karstes hat vielfach eine enorme Ausdehnung. Bis heute ist das Wissen über diese lichtlose Zone mit seinen Lebensräumen und Bewohnern sehr gering.

Als Fenster zu diesen unterirdischen Gewässern gewähren Quellen einen Einblick in diesen schlecht erforschten Lebensraum, indem sich hier ausgedriftete Tiere ansammeln. Im immerkalten Quellwasser treten manche dieser Tiere regelmäßig auf oder können zumindest eine Zeitlang überleben. Vertreter dieser Faunengemeinschaft in der Rettenbachhöhle (Nationalpark Kalkalpen) sind beispielsweise der Höhlenflohkrebs *Niphargus tatrensis*, die Höhlenassel *Proasselus carpaticus* und Quellenschnecken der Gattungen *Hauffenia*, *Belgrandiella* und *Bythiospeum*. Aber auch der umgekehrte Weg ist möglich, so kann eine typisch oberirdisch lebende Quellenschneckenart der Gattung *Bythinella* auch für längere Zeit Höhlengewässer (Tümpel der Rettenbachhöhle) besiedeln, vorausgesetzt, daß immer wieder Individuen von oberirdisch liegenden Quellgewässern in den Untergrund gelangen. Besonders bemerkenswert ist die Gattung *Hauffenia*, obgleich ihre Vertreter typische Bewohner der unterirdischen Spaltlückenräume sind, ist sie in der Lage, auch in oberirdischen Quellen Populationen aufzubauen. Ob es sich hier um unterschiedliche Arten handelt ist derzeit noch bekannt.

Gesamtheitlich betrachtet unterscheidet sich die Faunenzusammensetzung zwischen den unterirdisch und oberirdisch liegenden Gewässern doch erheblich; so beträgt die faunistische Ähnlichkeit (Zusammensetzung und Individuenreichtum der Arten) der unterirdischen Gewässer mit der Quellregion nur knapp 10 % (Abb. 4). Die im untersuchten Gewässerlängsverlauf innerhalb der biozönotischen Zonierung am weitesten auseinanderliegenden Gewässerregionen, das aquatische Spaltlückenraumsystem im Karst (Klasum) und das Epirhithral, weisen überhaupt eine völlig andere Faunengesellschaft auf (Gemeinsamkeit von nur 0,1 %). Mit 30 % Übereinstimmung ist die biozönotische Ähnlichkeit der beiden angrenzenden unterirdischen Regionen, dem mit Wasser gefüllten Spaltlückenraumsystem im Karst (Klasum) und den oberflächigen Still- und Fließgewässern der Rettenbachhöhle, auch noch als bemerkenswert gering einzustufen. Die Gewässer des begehbaren Abschnittes der Höhle sind durch das Vorliegen einer hohen hydrologischen Dynamik ein für aquatische Organismen lebensfeindlicher Aufenthaltsort. Nur wenig, loses Kolonisationssubstrat und kaum verfügbare Nahrung bedingen eine sehr geringe Besiedelungsdichte dieses Höhlen-gewässers. Besonders bemerkenswert ist eine in den Kleinseen zeitweise auftretende Zuckmückenart sowie die Anlandung von tausenden Schneckenschalen.

Das Klasum hingegen wird individuenreich besiedelt, wobei die Quellschnecke der Gattung *Hauffenia* und mehrere cyclopoide Ruderfußkrebse als dominierende Arten auftreten.

Unter Berücksichtigung des enormen Flächenausmaßes des Spaltlückensystems im Karst wird die ökologische Bedeutung dieses Lebensraumes ersichtlich. Für den Nationalpark OÖ Kalkalpen steht hier noch ein umfangreiches und sehr wichtiges Forschungspotential an, welches durch die brisante Frage der Trinkwasserqualität auch für die Praxis von höchster Relevanz ist.

PHR = unterirdische Gewässer (1 = Höhlengewässer mit starken Einfluß von Außen, 2 = oberflächige Still- und Fließgewässer der Rettenbachhöhle, 3 = Spaltlückenraumgewässer, Klasum), EUK = Quelle, Eukrenal (1 = unterirdisch liegender Quellmund, 2 = Quellaustritt, 3 = Quellbecken, 4 = Quellabfluß), HYK = Quellbach, Hypokrenal (1 = im starken Einflußbereich einer Quelle liegender Quellbachabschnitt, 2 = oberer bis mittlerer Quellbachabschnitt), ERH = Oberer Gebirgsbachabschnitt, Epirithral.

Biozönotische Gewässerregionen	Unterirdische Region, gesamt (PHR)	Höhlengewässer nahe Oberfläche (PHR1)	oberflächige Höhlengewässer (PHR2)	Spaltlückenraumgewässer (PHR3)	Quelle, gesamt (Eukrenal, EUK)	Quellmund, unterirdisch (EUK1)	Quellaustritt (EUK2)	Quellbecken (EUK3)	Quellabfluß (EUK4)	Quellbach, gesamt (HYK)	Quellbach, quellnah (HYK1)	Quellbach (HYK2)	Oberer Gebirgsbachabschnitt (ERH)
Unterirdische Region, gesamt (PHR)	-	28,5	34,3	27,4	9,4	41,1	41,9	11,7	11,7	7,1	9,9	6,3	2,4
Höhlengewässer nahe Oberfläche (PHR1)		-	15,2	22,9	11,3	14,8	16,8	13,2	13,4	10,7	12,9	10,2	6,7
oberflächige Höhlengewässer (PHR2)			-	42,9	11,4	7,8	9,8	11,0	10,0	8,9	9,2	7,4	2,7
Spaltlückenraumgewässer (PHR3)				-	7,8	7,8	4,0	13,7	8,9	3,7	3,6	3,2	0,1
Quelle, gesamt (Eukrenal, EUK)					-	28,2	55,2	68,0	57,0	51,5	38,3	39,2	17,3
Quellmund, unterirdisch (EUK1)						-	51,1	31,5	18,9	22,7	24,5	22,4	16,7
Quellaustritt (EUK2)							-	31,6	20,3	44,7	42,3	32,2	13,1
Quellbecken (EUK3)								-	64,8	36,0	25,2	33,5	17,1
Quellabfluß (EUK4)									-	24,4	20,8	23,6	10,6
Quellbach, gesamt (HYK)										-	46,1	79,5	31,9
Quellbach, quellnah (HYK1)											-	25,5	15,3
Quellbach (HYK2)												-	34,8
Oberer Gebirgsbachabschnitt (ERH)													-

Tabelle 7.6.-2: Relative Ähnlichkeit der Fauna (Renkonensche Zahl in Prozent) innerhalb der 13 definierten bio-zönotischen Gewässerregionen (Haupt- und Subregionen). Nationalpark Kalkalpen, Karstquellen-Monitoring 1996/97 (WEIGAND 1998).

PHR = unterirdische Gewässer (1 = Höhlengewässer mit starken Einfluß von Außen, 2 = oberflächige Still- und Fließgewässer der Rettenbachhöhle, 3 = Spaltlückenraumgewässer, Klasum), EUK = Quelle, Eukrenal (1 = unterirdisch liegender Quellmund, 2 = Quellaustritt, 3 = Quellbecken, 4 = Quellabfluß), HYK = Quellbach, Hypokrenal (1 = im starken Einflußbereich einer Quelle liegender Quellbachabschnitt, 2 = oberer bis mittlerer Quellbachabschnitt), ERH = Oberer Gebirgsbachabschnitt, Epirithral.

Gefährdungsfaktoren, ökologische Widerstandsfähigkeit und Schutzwert

Durch die kleinräumige Ausdehnung der Quellareale und ihre gewässeroberflächlich situierten Habitate und deren Biozönosen, ist der Lebensraum Quelle gegenüber exogen einwirkenden Störungen (Trittbelastung, Überschüttungen mit Sediment, Errichtung von Quelfassungen, Beseitigung der Umlandvegetation, Nährstoffeintrag u.ä.) außerordentlich empfindlich. Die zeitliche Konstanz der Umweltfaktoren (z.B. geringe Temperaturschwankungen im Jahresverlauf), ist eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung und Existenz einer hoch spezialisierten und einzigartigen Lebensgemeinschaft in Quellen. Die Quellorganismen reagieren daher bereits auf geringe Veränderungen der Abflußverhältnisse, der Temperatur oder der hydrochemischen Zusammensetzung. Diese Sensibilität macht Karstquellen besonders geeignet für die Durchführung von Untersuchungen zur Erforschung von lokalen, regionalen als auch globalen Umweltveränderungen.

Aufgrund des hohen Individualitätsgrades der einzelnen Quellen und der hohen Anzahl ausschließlich in den Quellebensräumen vorkommender Arten, ist der Arten- und Biotopschutzwert der Karstquellen sehr hoch. Obgleich sich diese Erkenntnis europaweit durchgesetzt hat, sind nur wenige Quellen durch das Naturschutzgesetz geschützt. Der Schutz – meist in Form von Naturdenkmälern - ist eher auf das Spektakuläre, „Sehenswerte“, und weniger auf ökologische Erfordernisse abgestimmt. Wegen der bestehenden Ausnahmeregelungen für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen sind Naturschutz-bemühungen ohne spezielle Bestimmungen nicht ausreichend. Im Sinne des Naturschutz sollte vor künftigen Nutzungen bzw. Beeinträchtigungen von Quellen, wie zum Beispiel zur Wassergewinnung oder beim Straßenbau in Quellnischen, eine ökologisch fundierte Grundlagenenerhebung durchgeführt werden.

LITERATUR

BEGON, M., HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. (1991): Ökologie. Birkhäuser Verlag, Basel, 1-1024.

BREHM, J. & MEIJERING, M.P.D. (1990): Fließgewässerkunde. Quelle & Meyer, 1-295.

GRIMS, F. (1993): Karstquellen-Monitoring: Moosaufnahme. NPK 1993. Beilage zu HASEKE, H. et al. (1993): Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring 1993. 24 Seiten, Beilagen (Einzelberichte zu speziellen Themen). – Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. Molln-Salzburg, März 1994.

HAASE, M., E. WEIGAND & H. HASEKE (1998): Two new species of the family Hydrobiidae (Mollusca: Caenogastropoda) from Austria. – The Veliger, Californian Malacological Society, San Francisco, in press.

HASEKE, H. & E. WEIGAND (1997): Quellen – Lebensspender und Lebensräume. Jour. Aufwind, H. 20, 26-29.

MOOG, O., Hrsg. (1995): Fauna Aquatica Austriaca – Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs. Abt. Hydrobiol. der Univ. für Bodenkultur Wien und BM für Land- und Forstwirtschaft.

WETZEL, R. (1985): Limnology. Saunders College Publishing, 2. Edition, 1-767.

LISTE DER TEILBERICHTE

WEIGAND, E. und TOCKNER, K. (1996): Limnologische Charakterisierung ausgewählter Karstquellen im Nationalparkgebiet Nördliche Kalkalpen. Teilprojekt 1603-7.6./94 im Rahmen des Programmes „Karstdynamik“. - 105 S., zahlr. Tab., Abb., Fotos. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Mai 1996

WEIGAND, E. (1998a): Limnologisch-faunistische Charakterisierung von Karstquellen, Quellbächen und unterirdischen Gewässern nach Choriotopen und biozönotischen Gewässerregionen (Nationalpark o.ö. Kalkalpen, Österreich). - Teilprojekt 1603-

7.6./96-97 im Rahmen des Programmes „Karstdynamik“. - 173 S., zahlr. Tab., Abb., Fotos. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Juli 1998.

WEIGAND, E. et al. (1998b): Limnologische und hydrobiologische Untersuchungen von Karstquellen und Höhlengewässern im Nationalpark Kalkalpen. Analysen, Ergänzungen, Zwischenbilanz und Forschungsbedarf. – Teilprojekt 1603-7.6./1997: Ökologie und Hydrobiologie von Karstquellen IV. – 115 S., zahlr. Tab.+Abb. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1998.

Dr. Erich WEIGAND
Hütteldorfer Str. 31/41
1150 Wien
weigand@ubavie.gv.at

Mag. Michaela Panzenböck
micha@pflaphy.pph.univie.ac.at
Dr. Martin Haase (spring snails)
haase@ubaclu.unibas.ch
Dr. Klement Tockner
tockner@eawag.ch

HYDROGRAPHIE: WASSERBILANZEN, QUELLSCHÜTTUNGEN UND MESSREIHEN AM KARSTWASSERSPIEGEL

HYDROGRAPHISCHER DIENST OBERÖSTERR. - TEILPROJEKT AZ. 8.1

HYDROGRAPHIC RESEARCH: SURFACE WATER BALANCE, SPRING DISCHARGES AND MEASUREMENTS IN THE PHREATIC ZONE

Federal Hydrographic Agency - Participant Project: 1603-8.1.

Das Nationalpark Karstprogramm wurde von Anfang an vom Hydrographischen Dienst des Landes Oberösterreich (Ing. Maximilian Wimmer) und vom Hydrographischen Zentralbüro am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Dr. Gerhard Völkl) fachlich überaus versiert und sehr engagiert unterstützt. Die Fülle von Daten, die im Zuge dieser Kooperation erarbeitet wurde, ist beeindruckend und für viele Fragestellungen ein unverzichtbarer Bestandteil. So finden sich Erkenntnisse aus den HD-Stationen im Karstquellen-Monitoring, den Ereigniskampagnen und in den Markierungsversuchen verarbeitet. Das vor allem von den automatischen Loggerstationen erarbeitete Material wächst ständig und sollte in Bälde Gegenstand eigener Auswertungen und Vergleiche mit den Ergebnissen der Nationalparkmessungen sein. Im Rahmen dieser Studie werden die Messungen nur erwähnt, weil es sich um keinen beauftragten Part der NP-Karstprogrammes handelte.

FLÄCHEN-DURCHFLUSS-MESSKAMPAGNEN

an den Nationalpark-Vorflutern zur Einzugsgebietsstudie (Schüttungszahlen und Gebietswasserspenden):

Gemessen wurde an 75 Punkten im oder am Rande des Nationalpark-Gebietes, die vorher in gemeinsamer Begehung festgelegt worden waren (Juni 1995). Die Teil-Einzugsgebiete sind an den Bedarf des Karstprogrammes angepaßt, also nicht in allen Fällen mit den E des Flußverzeichnisses ident. Auch einige Quellen wurden erfaßt. Zu jedem Meßpunkt wurde das orographische Einzugsgebiet auf der Basis 1:10.000 Autographenschichtenplan hochgezeichnet und digitalisiert. Die mittlere Gebietsgröße (Median) liegt bei 630 Hektar. – Die Daten sind im Teilprojekt 3. verarbeitet worden.

Kampagne 1: Oktober 1995, herbstliches Niederwasser. Es herrschte mäßige Schüttung, einige Meßstellen waren trocken gefallen. Der Median der Durchflüsse lag

bei nur 45 Sekundenliter und jener der Gebietswasserspende bei knapp unter 10 l/s je km².

Kampagne 2: Oktober 1996, auslaufende Hochwasser-Situation. Kräftige Durchflüsse, z.T. schwierige Meßbedingungen. Der Median der Durchflüsse lag bei 330 Sekundenliter und jener der Gebietswasserspende bei fast 55 l/s je km².

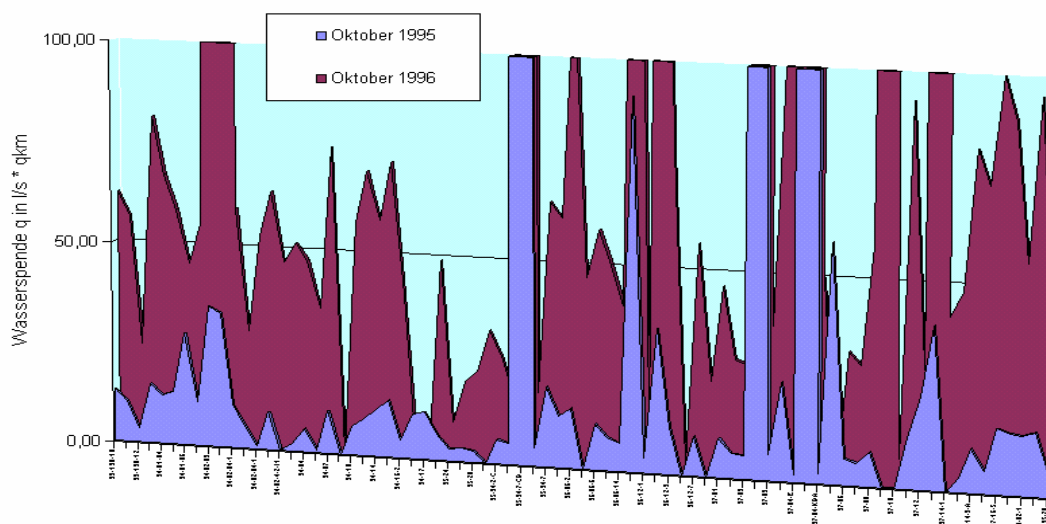


Fig. 8.1.-1 Errechnete Wasserspenden verschiedener Teileinzugsgebiete während der Einzugsgebiets-Meßkampagnen des Hydrographischen Dienstes.

		10/95	10/95	10/96	10/96
	E in km ²	Q m ³ /s	q l/s*km ²	Q m ³ /s	q l/s*km ²
Quartil 1	2,79	0,014	4,555	0,129	29,871
MEDIAN	6,29	0,045	9,419	0,329	53,879
Quartil 3	15,19	0,175	14,839	1,042	75,032
MITTELWERT	15,59	0,201	77,201	1,049	579,170

Tabelle 8.1.-1: Statistische Eckwerte der Einzugsgebiets-Meßkampagnen des Hydrographischen Dienstes.

PEGEL- UND KARSTQUELL-MESSSTATIONEN (DKM)

Im Rahmen der Hydrographiegesetznovelle vom Juni 1987 begann das Hydrographische Zentralbüro gemeinsam mit den Ländern, große Karstquellen mit automatischen Meßstationen auszustatten. Diese verordneten Meßstellen registrieren in der Regel die Parameter Schüttung, Temperatur, Leitfähigkeit und Trübung im Viertelstundentakt. In Oberösterreich ging man mit großem Engagement daran, vor allem in der Nationalpark-Region das Meßstellen-Netz zu verdichten. Auch aus dem Nationalpark-Budget wurde eine derartige Station (HRQ-Hinterer Rettenbach) ab 1993 finanziert und ab 1997 vom Hydrographischen Dienst mitbetreut.

Im Rahmen des Karstprogrammes bzw. im unmittelbaren Anschluß daran waren die folgenden für das Karstprogramm verwendbaren Stationen in Betrieb:

I. Pegel-Meßstationen:

I.1.	Vorderer Rettenbach, Pegel Spering	Errichtung vor 1990
I.2.	Pießling Ursprung, Pegel Pießling (Abfluß PIES)	Errichtung vor 1990
I.3.	Großer Bach, Pegel Große Klausse	Errichtung vor 1990
I.4.	Paltenbach, Pegel Dandelmühle	Errichtung vor 1990
I.5.	Krumme Steyrling, Pegel Breitenau	Errichtung vor 1990
I.6.	Hinterer Rettenbach, Pegel Klammstein	Errichtung 1991
I.7.	Hinterer Rettenbach, Pegel „Fischbach“	Errichtung 1997

II. Karstquellen-Meßstationen

II.1.	Vorderer Rettenbach, DKM Quelle Teufelskirche	Errichtung 1995
II.2.	Hinterer Rettenbach, DKM Grundquellen	Errichtung 1997
II.3.	Rettenbachhöhle, Sonderstation Lange Kluft	Errichtung 1993
II.4.	Rettenbachhöhle, Sonderstation Vordersee	Betrieb 1993-98
II.5.	Rettenbachhöhle, Sonderstation Edlschacht	Errichtung 1998
II.6.	Steyernquelle, DKM	Errichtung 1997

Mit diesem Meßnetz waren v.a. die Ereigniskampagnen und die Markierungsversuche optimal referenziert. Eine Fülle bereits vorhandener Daten wartet auf eine fundierte Analyse, die im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden kann. Für die Online-Erfassung von Karstwasserdaten könnte bereits die nächste Revolution eingeleitet sein: Mit vergleichsweise sehr billigen und kompakten Miniloggern von Bogner&Lehner und angekoppelten WTW-Standardmeßwertgebern sind 1997 mehrtägige Beobachtungsreihen aufgezeichnet worden. Die gesamte Kompaktanlage wiegt rund 1 kg und kostet ca. 25.000,-- ATS. Die Applikation ermöglicht vor allem ein flexibles und zeitbegrenztes Monitoring an schwierigen Positionen, wie es mit den umfangreichen Matt&Sommer-Modulen kaum durchgeführt werden kann.

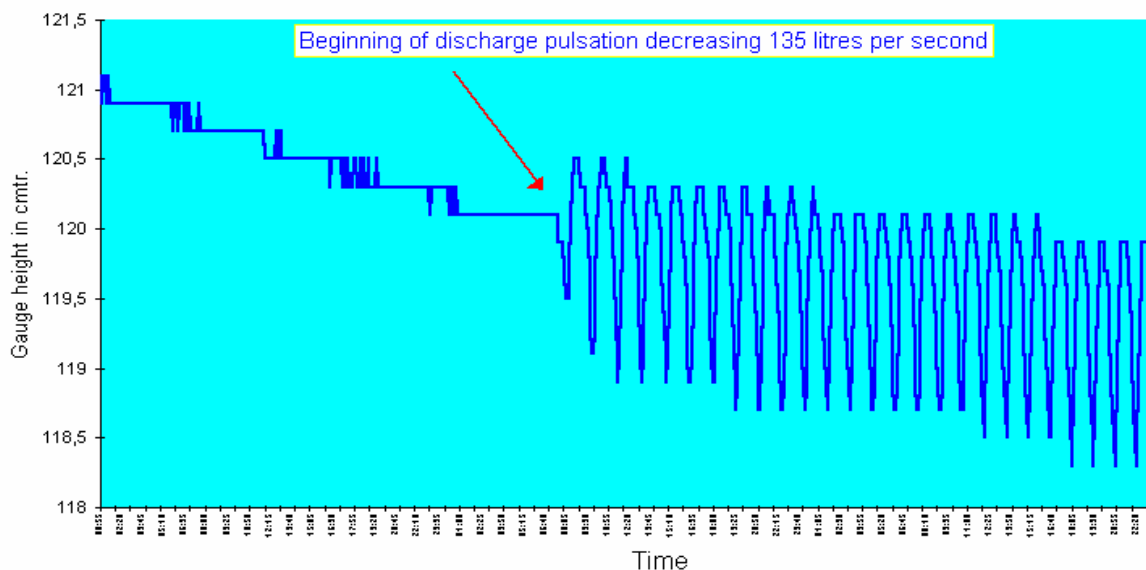


Fig. 8.1.-2: Das seltsame Pulsieren der Quelle unterhalb der Teufelskirche (Vorderer Rettenbach, VRQ) bei Niederwasser – ein bislang nicht ausreichend erklärbares Phänomen. DKM-Loggeraufzeichnung vom Jänner 1996.

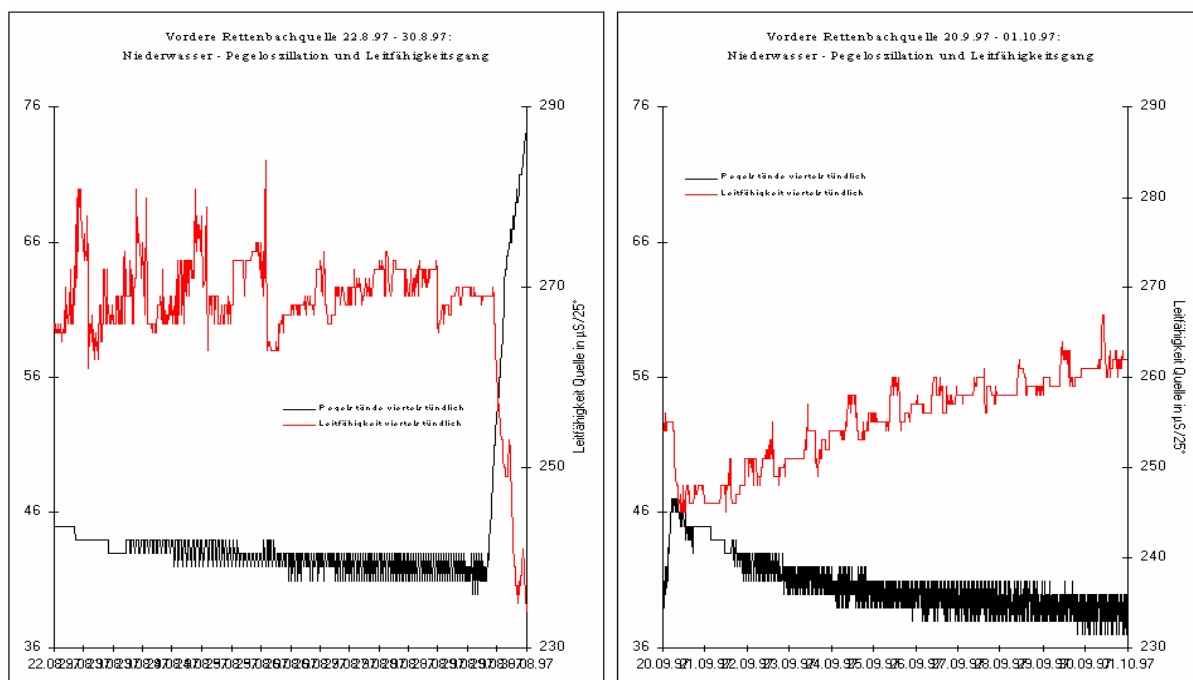


Fig. 8.1.-3: Zwei weitere „Pulsarphasen“ der Quelle unterhalb der Teufelskirche (Vorderer Rettenbach, VRQ) im Spätsommer und Herbst 1997, in Verbindung mit der Leitfähigkeit. Im Gegensatz zur HRQ stürzt die Quelle sofort mit Schüttungsanstieg in ihrer Mineralisierung ab, zeigt also nicht den typischen „Piston-“, oder „Hysteresis-“, Effekt. Man hätte einen Tausender verwettet, daß dieser Effekt gerade bei der VRQ auftreten würde. – Ob die Tagesgänge der Leitfähigkeit Artefakte oder Realität sind, ist noch nicht sicher. Eine kleine Intensivkampagne 1998 hat jedenfalls derartige Phänomene nicht bestätigt. Zuschießendes Oberflächenwasser ist jedenfalls mit Sicherheit nicht im Spiel.

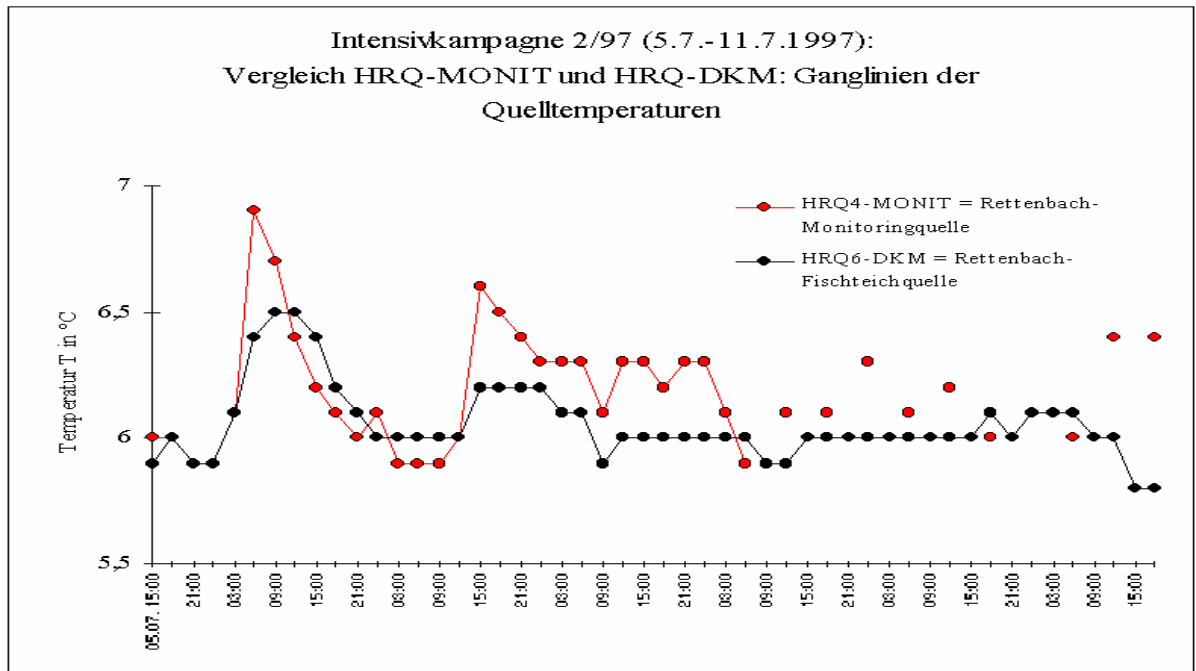


Fig. 8.1.-4: Loggeraufzeichnung DKM - Hintere Rettenbachquelle im Vergleich zur höher gelegenen Meßstelle HRQ-4, Hochwasserkampagne Juli 1997: Temperaturwerte. Deutlich zu erkennen, daß die obere Quelle heftiger mit den HQ-Pulsen „springt“.

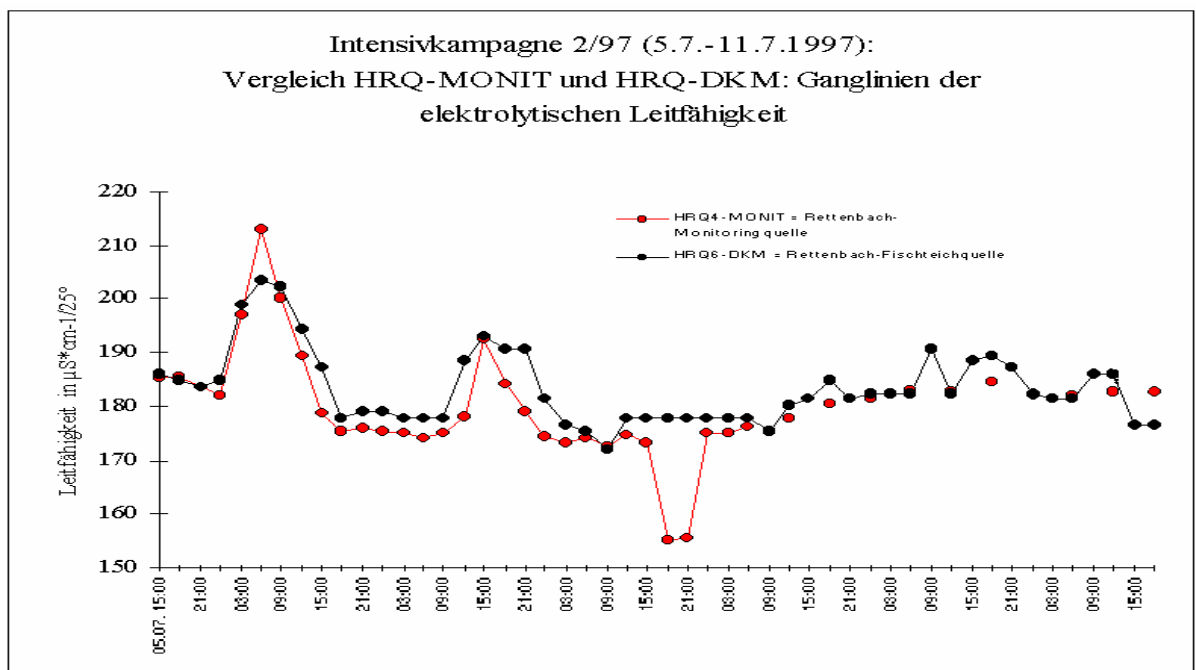


Fig. 8.1.-5: Loggeraufzeichnung HRQ-DKM - Hintere Rettenbachquelle im Vergleich zur höher gelegenen Meßstelle HRQ-4, Hochwasserkampagne Juli 1997: Leitfähigkeitswerte. Der Unterschied zur oberen Quelle ist nicht sehr ausgeprägt, die beiden „Einbrüche“ bei den Handablesung dürften Fehlnotationen sein.

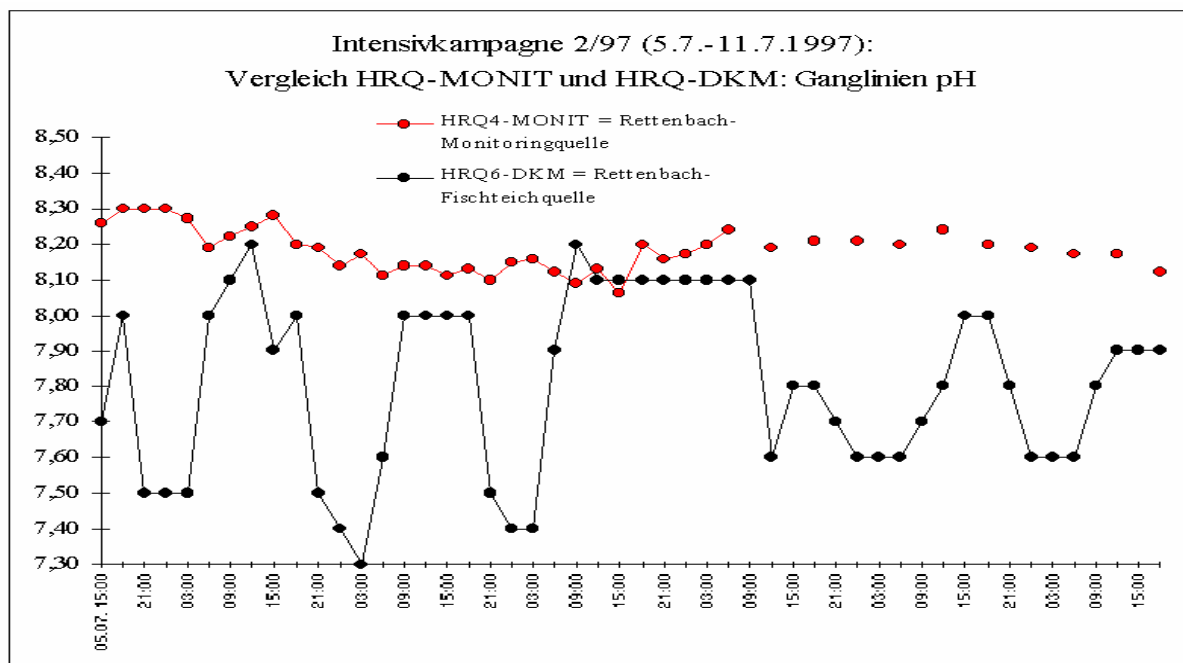


Fig. 8.1.-6: Loggeraufzeichnung HRQ-DKM - Hintere Rettenbachquelle im Vergleich zur höher gelegenen Meßstelle HRQ-4, Hochwasserkampagne Juli 1997: pH-Werte. Dieser ansonsten beim DKM unübliche Parameter ist wohl „zu vergessen“.

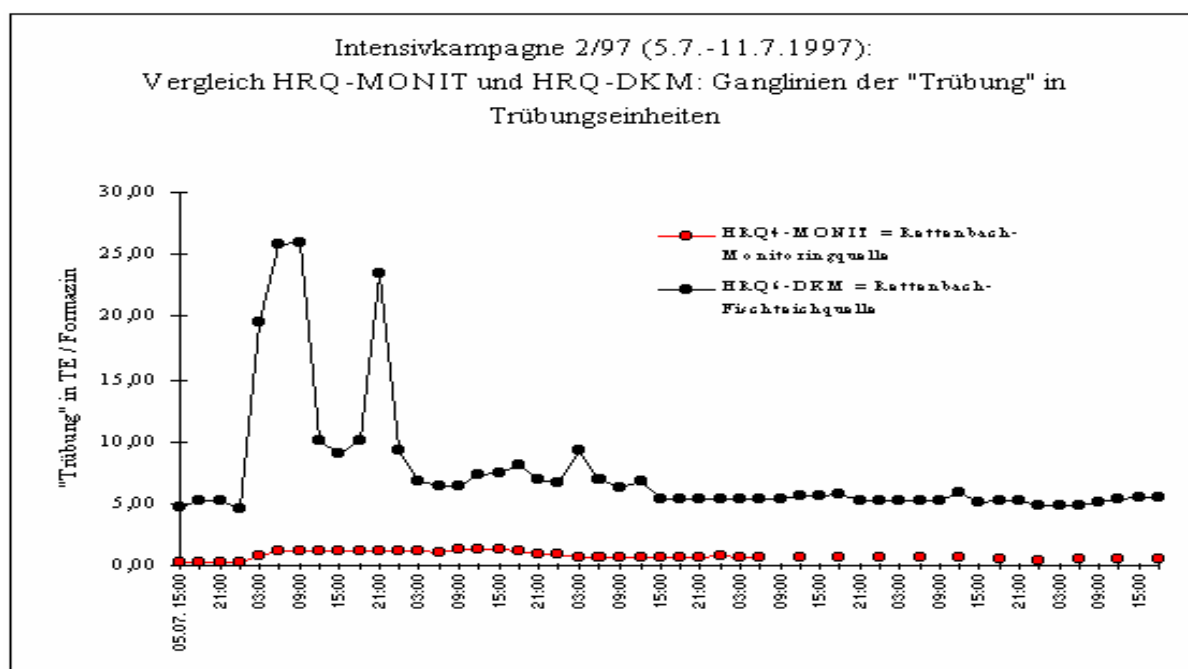


Fig. 8.1.-7: Loggeraufzeichnung HRQ-DKM - Hintere Rettenbachquelle im Vergleich zur höher gelegenen Meßstelle HRQ-4, Hochwasserkampagne Juli 1997: Trübungswerte- Während die Werte in der oberen Quelle relativ unspektakulär verlaufen, zeichnen sie in der Wallerquelle recht exakt die eintreffenden Hochwasserpulse nach (anderes Bezugsniveau!). – Es ist die Frage, ob hier nicht nur das sandig-schlammige Sediment der Grundquelle aufgewirbelt wurde.

Pegelstelle Rettenbach-Klammstein: Wasserstände 1996

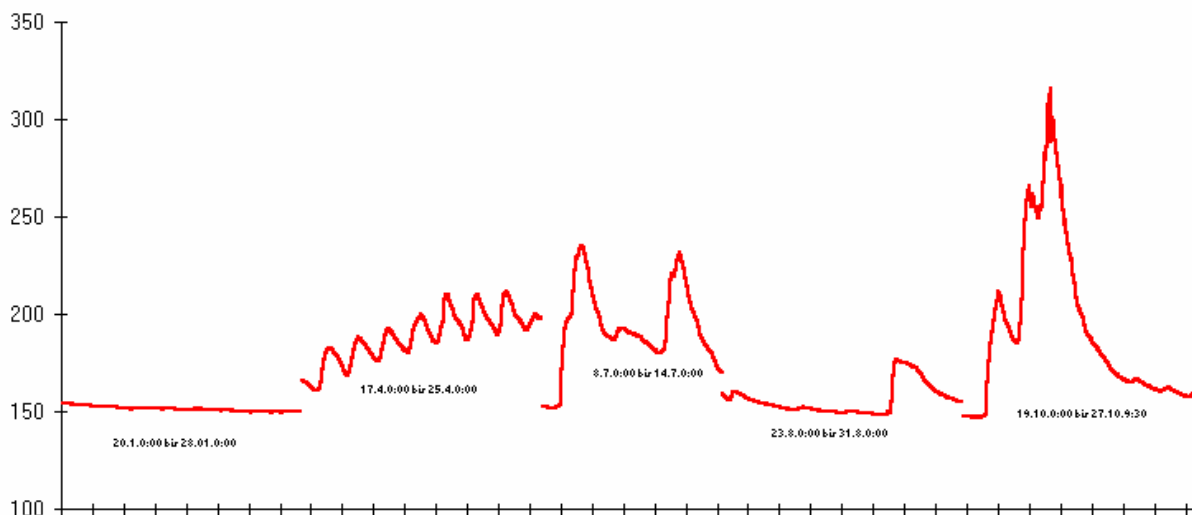


Fig. 8.1.-8: Pegelaufzeichnungen Rettenbach-Klammstein für die Zeiträume der Kampagnen 1996. Sehr gut zu erkennen die stagnierende Winterpause im Jänner, die zunehmenden Schmelzrhythmen im Frühjahr und das außergewöhnliche Hochwasser Ende Oktober (!), das die höchsten bisher in der Kleinregion gemessenen Wasserführungen verursachte. Der Spitzenpegel bedeutet ca. 35.000 l/s Gesamtabfluß, davon gut 75% aus der Quelle HRQ.

Rettenbachsystem: Wasserstände 8.7.-14.7.1996

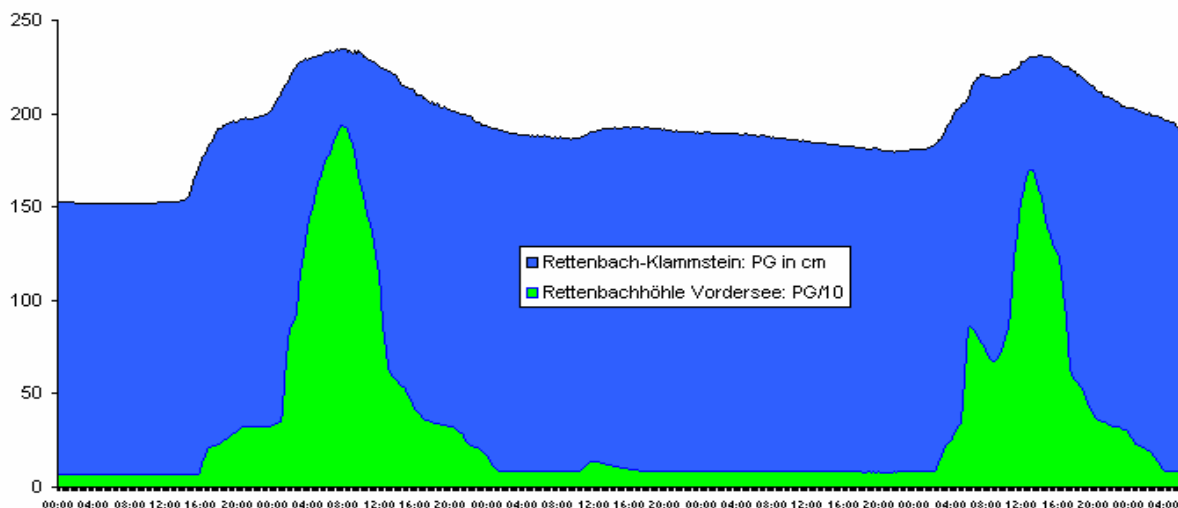


Fig. 8.1.-9: Pegelaufzeichnung Rettenbach-Klammstein und Rettenbachhöhle-Vordersee, leichtes Hochwasser Anfang Juli 1996. Sehr gut zu erkennen das synchrone Anspringen der seichtphreatischen Flutung der Höhle (Pegelstand in Meter!) ab dem kritischen Pegelstand am

Quellabfluß. Mit Erreichen der 15-Meter-Marke am Vordersee läuft das Wasser auch in die lange Kluft über. Ein Wasseraustritt aus dem Höhlenportal fand hier nicht statt.

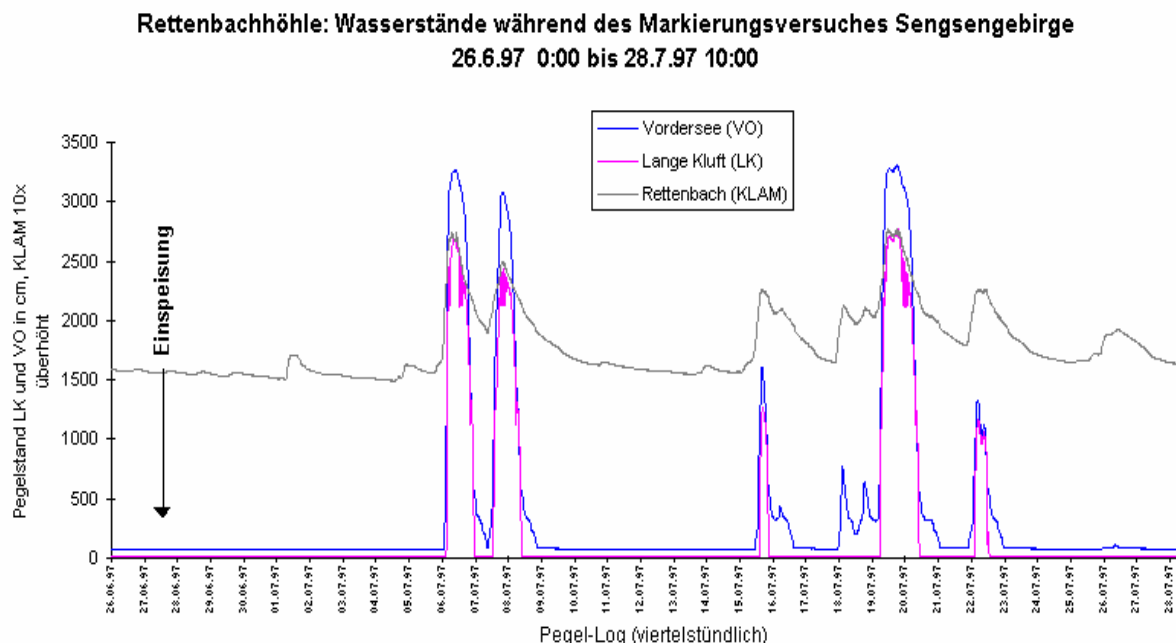


Fig. 8.1.-10: Pegelaufzeichnung Rettenbach-Klammstein (in cm) und Rettenbachhöhle-Vordersee und lange Lacke (in m), schwere Hochwässer im Juli 1997. Bei den drei großen Flutungen der Höhle trat das Wasser jeweils mit mehreren cbm/Sekunde aus dem Portal aus. Recht gut ist zu erkennen, wie die Lange Kluft in kürzester Zeit vom Hochwasserpuls geflutet wird. – Beim HHQ im Oktober 96 stieg das Wasser in der Höhle noch um über 10 Meter höher.

PROJEKTAUSFÜHRUNG, METHODIK

Die Schüttungen werden an den Abflüssen der großen Quellen entweder per Pegelablesung ermittelt (PIES, VRQ, HRQ, REH, STEY, TEIU) und/oder vom Hydrographischen Dienst Oberösterreich bei synchronen Begleitkampagnen zum Monitoring mit dem hydrometrischen Flügel gemessen. Dabei werden auch immer einige repräsentative Vorfluter erfaßt. Bei Ereigniskampagnen mißt der HD zu einem Zeitpunkt Quellabflüsse und Vorfluter bzw. Zubringer als Referenz zum Geschehen. Sehr turbulente, sickernde oder schießende, meist kleine Quellabflüsse müssen vom NPK-Team geschätzt werden.

LITERATUR

WIMMER, M. (1995): Bericht über hydrographische und karsthydrologische Beobachtungen in der Rettenbachhöhle. - Mitt. d.Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 41.Jg.-1995/1, Gesamtfolge 100. Linz 1995.

WIMMER, M. (1997): Neues aus der Rettenbachhöhle (Kat.Nr.1651/1) in Zusammenhang mit den hydrographischen Forschungen- Mitt. des Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 43.Jg.-1997/1, Gesamtfolge 102. Linz 1997: 27-36.

Ing. Max WIMMER, Christian WAKOLBINGER
Hydrographischer Dienst
Kärntnerstraße 12
A-4020 Linz
maximilian.wimmer@ooe.gv.at

LIMNOLOGISCHES MONITORING HINTERER RETTENBACH

Teilprojekt AZ. 9.

INTERMITTENT KARST STREAMS IN THE NATIONALPARK KALKALPEN

Participant Project: 1603-9.

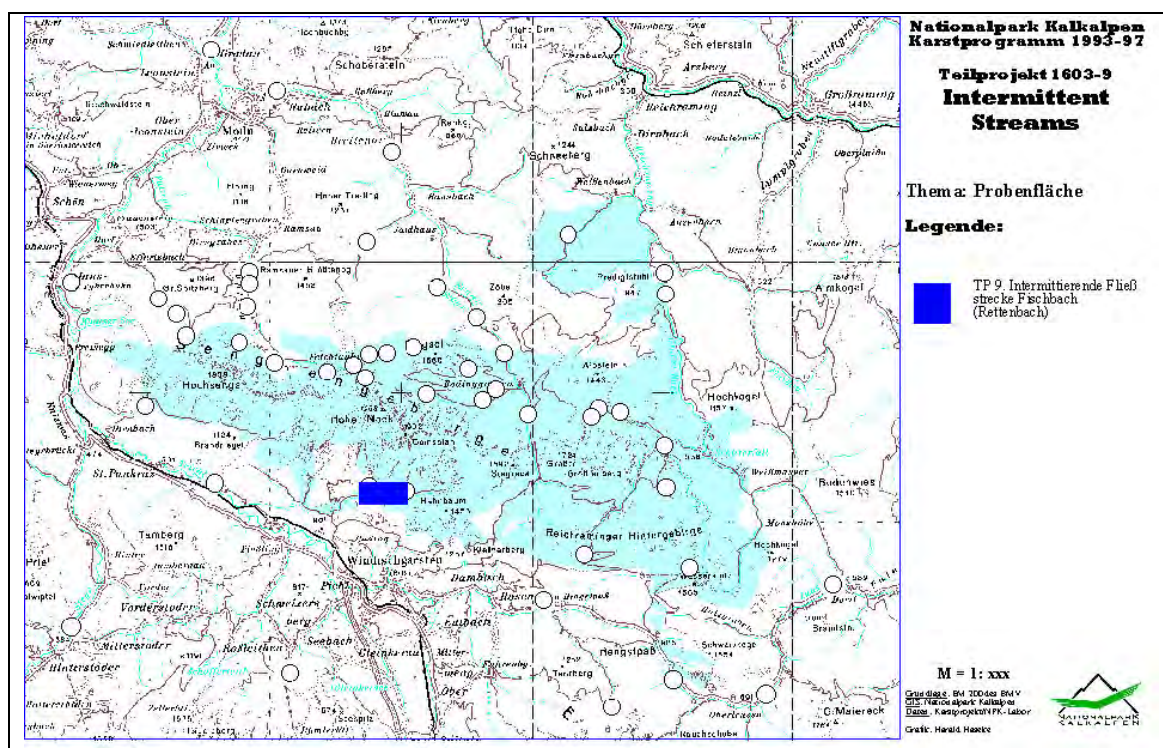


Fig. 9-1: Projekt Intermittent streams, Probenprofil „Fischbach“ – Hinterer Rettenbach

Das Gewässernetz um das Forsthaus Rettenbach gliedert sich in die mächtigen Karstquellen-Abflüsse der Rettenbachquellen HRQ und den periodisch trockenfallenden Dolomitgraben „Fischbach“. In diesem Areal wurden seit 1990 intensive limnologische Untersuchungen durchgeführt. In einer ersten Phase kamen allgemeine spezielle Untersuchungen des Hauptvorfluters zum Zug (TOCKNER et al.), dann – während des Karstprogrammes – wurde einerseits die Limnologie und Ökologie der Quell- und Höhlengewässer (WEIGAND) und andererseits die spezielle Dynamik des intermittierenden Dolomitbaches unter die Lupe genommen.

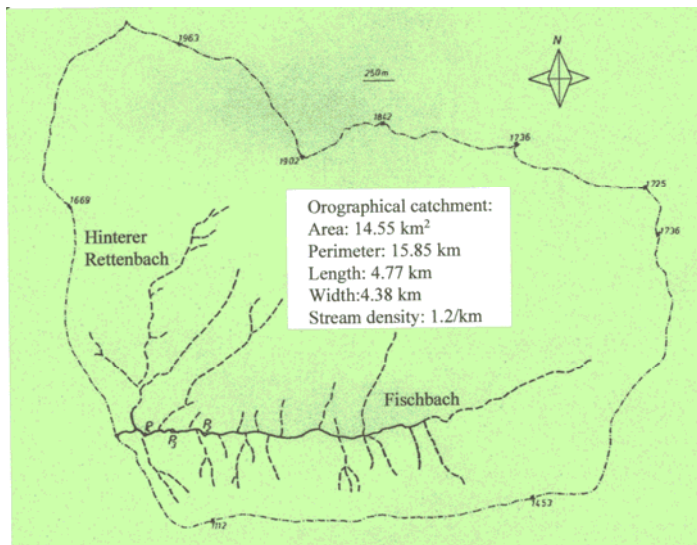


Fig. 9-2: Map of the orographical catchment area of the Fischbach and the Hinterer Rettenbach. At the Fischbach, the perennial study site P2 and the intermittent sites P3 and P4 are shown.

Wie die nachfolgende Grafik zeigt, spielen intermittierende – sprich zeitweise trocken fallende – Gerinne im dolomitisch-karstigen Nationalparkgebiet eine herausragende Rolle.

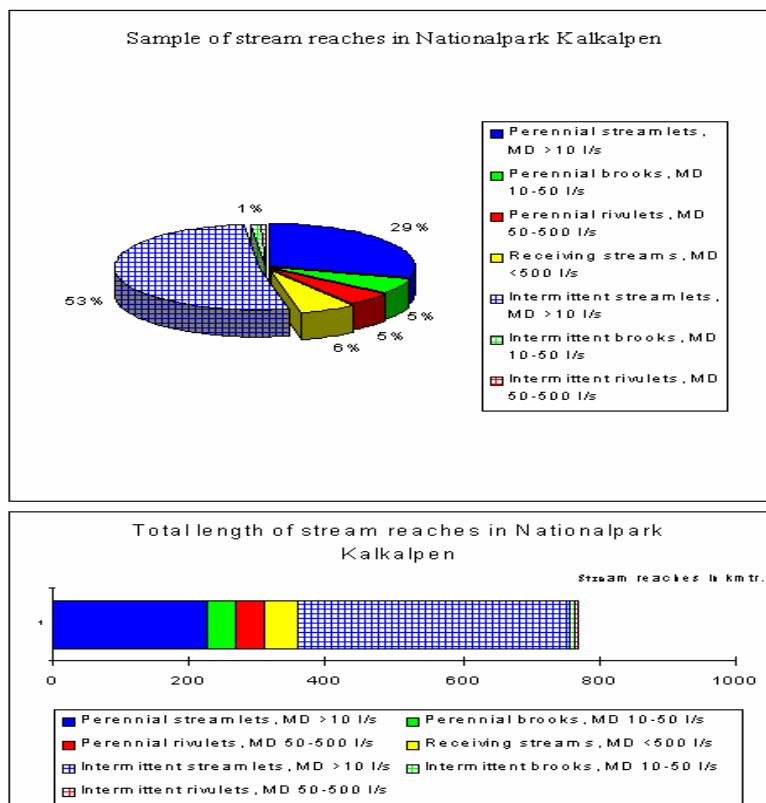


Fig. 9-3: Percentual sample and total length of stream reaches in the Nationalpark Kalkalpen (in km) according to mean discharge.

Der „Hintere Rettenbach / Fischbach“ ist der Hauptzubringer des Quellabflusses des Rettenbach-Quellsystems HRQ. Der Graben folgt in etwa dem Streichen der Schichtgrenze zwischen Wettersteinkalk und Hauptdolomit, auch Lunzer Schichten werden angeschnitten. Das Arbeitsgebiet liegt bei 14°20'E, 47°45' N in einer Höhe von 635 m. Bei Niederwasser fällt der 500 m lange Mündungsbereich des Fischbaches (FB) einschließlich seiner Vereinigung mit dem Rettenbach gänzlich trocken. Die kritische Wasserführung zur Austrocknung liegt bei 35 l/s.

Ein kleiner Färbeversuch im August 1997 zeigte, daß das konzentriert in den Alluvionen versiegende Bachwasser in den verkarsteten Untergrund abzieht, da es an den bachabwärtigen Felsstufen nicht mehr auftaucht. Der Tracer erschien erst wieder jenseits der Weitung beim Forsthaus Rettenbach, wo es an Dolomitschwellen wieder aus der Bachsohle des Vorfluters gedrückt wird, 400 Meter bachab der Mündung. Aus diesem Grund erschien die Existenz einer „hyporheischen“ Verbindung zwischen ständig fließender und austrocknender Strecke wenig wahrscheinlich. Einige sekundär geflutete Pools in der intermittierenden Strecke werden höchstwahrscheinlich durch seitlich zusitzende Kluft- und Lockergesteinswässer genährt. Der Prozeß der Austrocknung wie auch der Wiederflutung geht witterungsbedingt sehr rasch vor sich. Bei Hochwasser sammelt der Graben enorme Wassermengen, die über 5.000 l/s überschreiten können und dann die Bachsohle tiefgründig umgestalten. Zu manchen Situationen (z.B. winterlicher Regen und Schneeschmelze in Tallage) kann der Fischbach ebensoviel schütten wie die Rettenbachquelle. Seit April 1997 wird die Hydrographie von einem Schreibpegel kontinuierlich aufgezeichnet.

Die Probenaufsammlungen wurden an zwei Abschnitten des oberen (site P3) und unteren Bachabschnittes (site P4) sowie an zwei Stellen in der zentralen Austrocknungsstrecke (P5 and P6) gemacht. Außerdem war ein Probenareal als Referenz im ständig durchströmten Bachbett angelegt (P2). Die hydrologische Situation wurde mit einer Serie von Piezometerrohren und Durchflußmessungen an jedem Probenareal dokumentiert. Das Benthos wurde mit einem modified Hess-sampler (100 µm Netz) gefangen und hyporheische Macroinvertebraten gewannen wir durch das Heraufpumpen von Interstitialwasser aus den eingesetzten Pegelrohren.

Resultate und Diskussion

Hydraulische Situation

Während die perennierende Stelle P2 nur durch geringe räumliche und zeitliche Schwankungen des Begleitgrundwassers charakterisiert war, zeigte die intermittierende Section ein starkes „downwelling“ des Oberflächenwassers in den Untergrund, und zwar auf der gesamten Fließstrecke. Kleine, lokal begrenzte Stellen mit heraufgedrücktem Grundwasser waren auch durch niedrigere Wassertemperaturen und die Präsenz des Grundwasserkrebsses *Niphargus* sp. Als wahrscheinliche Zuschüsse von Karstwasser

erkennbar. Vor allem das versiegende Wasser des Merkensteingrabens dürfte hier als Folgequelle zum Vorschein kommen. Das „Downwelling“ verstärkte sich generell, auch im perennierenden Abschnitt, wenn der Wasserstand zurückging. Die Differenz der Wasserführung zwischen dem perennierenden P2 und den austrocknenden Passagen wird also bei Niederwasser immer größer und verschwindet weitgehend bei zunehmender Flutung. Die Messungen zeigen, daß der Fischbach ständig einen Anteil von 40 Sekundenliter an Klüftungen entlang der Kalk-Dolomit-Schichtgrenze verliert

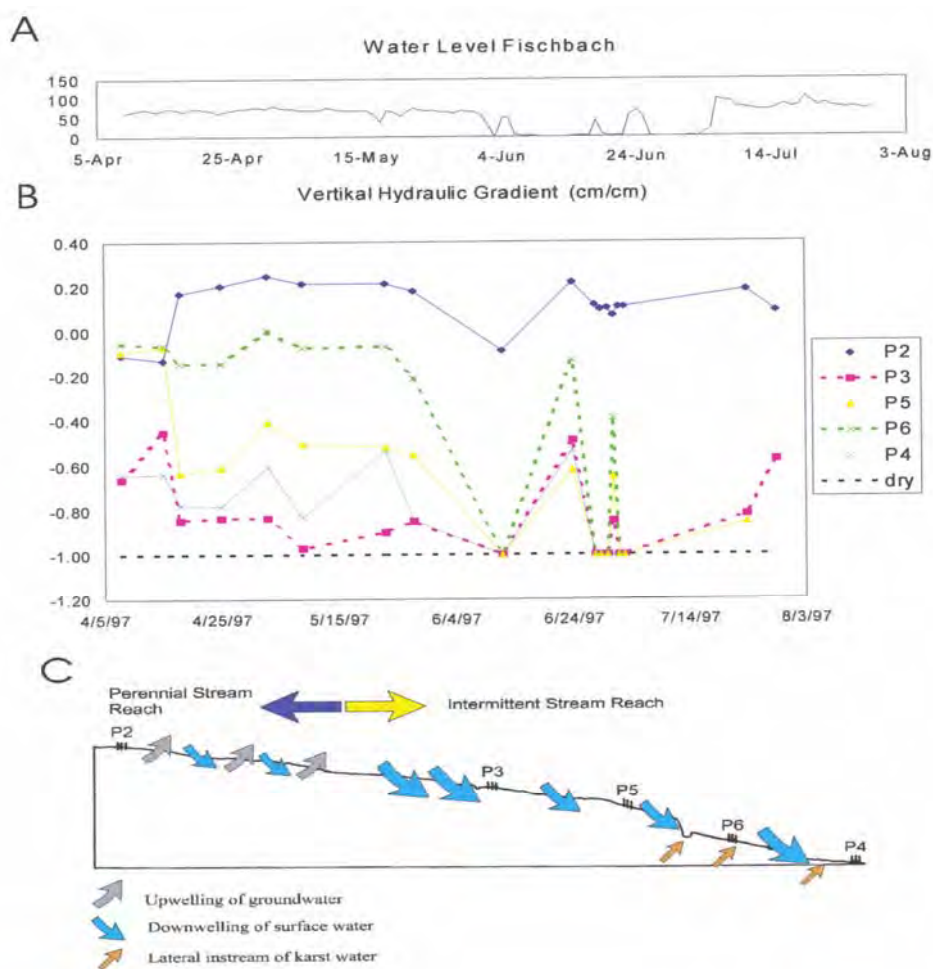


Fig. 9-4:

- A) Water level of the Fischbach at P4 during the study period (cm)
 B) Hydraulic gradient at perennial (P2) and intermittent (P3-P6) sites of the Fischbach. Values >0 e upwelling of subsurface water, values <0 downwelling of surface water.
 C) Hydraulic situation at the perennial (P2) and intermittent reaches (P3-P6) of the Fischbach. Arrows show the dominating vertical water current through the sediments.

Die hyporheische und benthische Besiedlungsdichte und die Verteilungsmuster der aquatischen Organismen waren uneinheitlich und dynamisch. Sie variierten in starker Abhängigkeit von der hydrologischen Situation.

Die ständig durchflossenen Bachabschnitte waren durch hohe mittlere Abundanzen der Organismen an der Sediment-Oberfläche (5.300 ind./m²) ebenso wie in der hyporheischen Zone (10-40 ind./l interstitial water) bei mittlerem Wasserstand charakterisiert. Die Biodiversität war hoch und das Artenspektrum von den aquatischen Larven der Ephemeroptera, Chironomidae und Plecoptera geprägt, mit zusätzlich einer hohen Menge von Harpacticidae in den Sedimenten. Während der Flutungen nahm die Dichte der Macroinvertebraten an der Sedimentoberfläche ab und nahm dafür im Porenraum dieser Bachabschnitte zu. Bei Niederwasser stieg die benthische Dichte normalerweise in den durchflossenen Abschnitten an. Die Faunenzusammensetzung war bei verschiedenen Wasserständen ähnlich.

Die Abundanz und Diversität der Macroinvertebraten in den **intermittierenden Bachabschnitten** hängt von der Häufigkeit und Intensität der Austrocknung der jeweiligen Fließstrecke ab, ebenso wie der Abstand zur nächsten durchflossenen Region. So konnten also die Grenzbereiche und die Zentralzone der Austrocknungsstrecken klar differenziert werden aufgrund der biotischen Reaktionen auf bestimmte hydrologische Situationen. Während die Abundanzen der **Grenzbereiche** (P3 and P4) bei Mittelwasser hoch waren, bei Austrocknung aber stark zurückgingen, gab es in den **Zentren** der intermittierenden Zone (P5 and P6) generell niedere Besiedlungen (1000 ind./m² and 0-10 ind./l) das ganze Jahr über. Alle intermittierenden Strecken zeigten eine niedere Biodiversität, die in Trockenperioden sogar noch abnahm. Bei Mittelwasser ähnelte die Artengarnitur der Versickerungszonen stark jener der ständigen Fließstrecken, mit einer Dominanz aquatischer Insektenlarven der Gattungen Diptera, Ephemeroptera and Plecoptera.

Während längerer Austrocknungsphasen wurde die Bachsohle mehr und mehr von terrestrischen und semiterrestrischen Insekten und aquatischen Nicht-Insekten (e.g. Collembola, Oligochaeta, Carabidae, Staphylinidae, etc.) besiedelt. Nur mehr wenige Exemplare von Frühstadien aquatischer Insektenlarven (Chironomidae, Coleoptera, Plecoptera) konnten während dieser Zeiten noch in den oberen, meist grobschottrigen bis steinigen Sedimentschichten gefunden werden, da die Zwischenräume auch während langer Trockenis noch feucht blieben. Die Wiederbesiedlung bei Flutung geschieht sehr rasch, innerhalb weniger eines Tages nach der Flutung. Eine Angleichung der Lebenszyklen der Bachorganismen an die Austrocknungsphasen ist unwahrscheinlich, weil diese unregelmäßig und über das ganze Jahr verteilt stattfinden. So scheint es das einfachste Überlebensprinzip der Lebewesen zu sein, aktiv oder passiv (Trift) zu ständig wassererfüllten Refugien zu wandern, und sei es auch der seichte Grundwasser-Porenraum. Wieweit der seichte Karstwasserspeicher unter der Bachsohle für bestimmte Zeiten auch für Oberflächenorganismen nutzbar sein könnte und in welcher Form die Migration zu den perennierenden Fließstrecken stattfindet, wäre am Fischbach noch weiter zu studieren.

Wie auch immer, die Resultate zeigen klar auf, daß die komplexen hydrologischen Zusammenhänge zwischen dauernd benetzten und austrocknenden Längsprofilen des

Fischbaches ein wichtiger Faktor in der Überlebensfähigkeit der Biozönose unter restriktiv-intermittierenden Bedingungen sind. Es zeigt sich auch ein faszinierender Gegensatz zwischen den Krenalfaunen des in mancher Hinsicht „optimierten“ Quellbiotops und der biologischen Hungerregion alpiner Austrocknungsstrecken – und das auf engstem Raum nebeneinander.

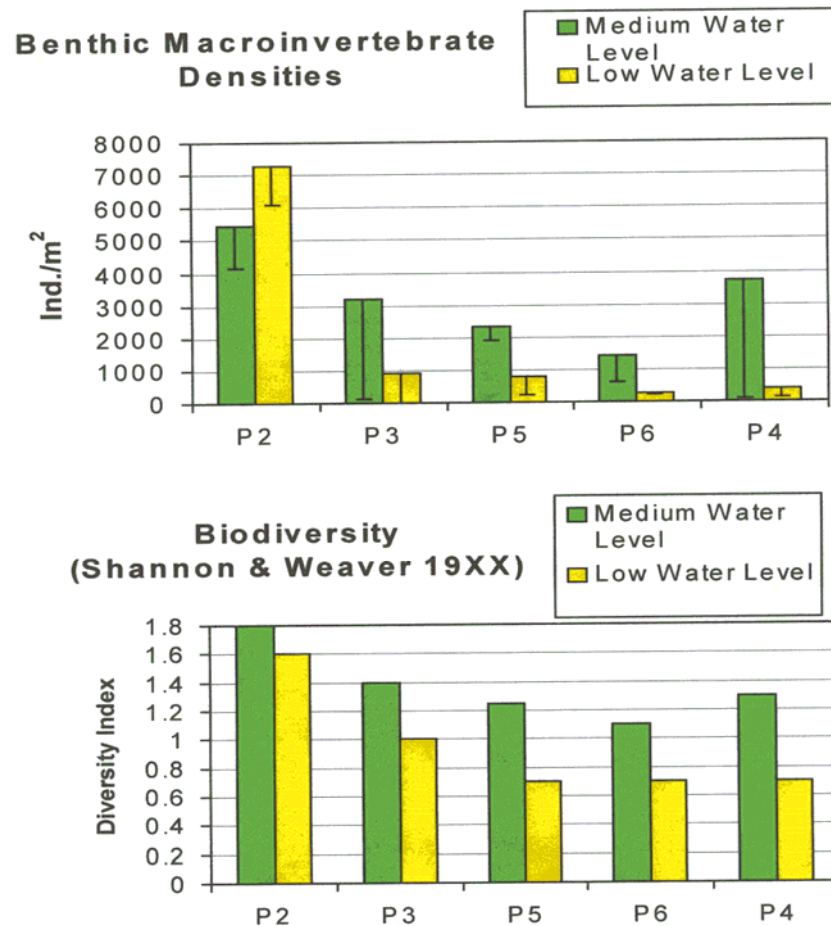


Fig. 9-5: Benthic macroinvertebrate density and diversity at the perennial (P2) and intermittent (P3, P4, P5, P6) stream sections of the Fischbach (mean and standard deviation).

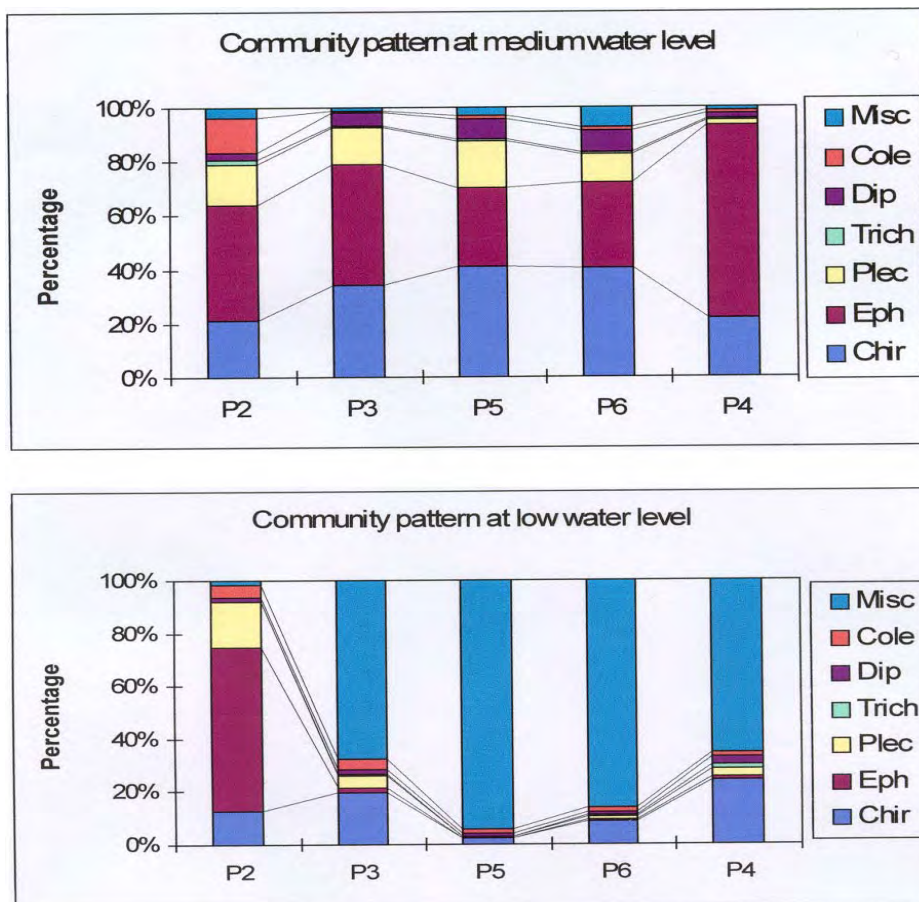


Fig. 9-6: Community pattern at medium and low water level at the perennial (P2) and the intermittent sites (P3-P6) at the Fischbach. P3-P6 fall dry during low water level. Shown are the proportions of Chironomidae (Chir), Ephemeroptera (Eph), Plecoptera (Plec), Trichoptera (Trich), Diptera (Dip), Coleoptera (Cole) and miscellaneous (Misc) in percent of the total.

LITERATUR

- Boulton, A.J., Stibbe, S.E., Grimm, N.B. & Fisher, S.G. (1991) Invertebrate recolonization of small patches of defaunated hyporheic sediments in a Sonoran desert stream. *Freshwater Biology* 26:267-277.
- Boulton, A.J. & Lake, P.S. (1992) Benthic organic matter and detritivorous macroinvertebrates in two intermittent streams in south-eastern Australia. *Hydrobiologia* 241: 107-118.
- Brassington, R. (1993) *Field Hydrogeology*. Geol. Society of London Prof. Handbook. John Wiley & Sons, 175 pp.
- Fiedler, A. & Bohle, H.W. (1994) Ephemeroptera sommertrockener Bäche in Oberhessen. *Entwicklungszyklen und Populationsstruktur*. *Lauterbornia* 17: 97-110.
- Gibert, J. (1988) Functional sub-units of an exsurgance karstic system, and exchanges with the surface environment. Reflections on the characterization of natural aquatic groundwater ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 1090-96.

- Gordon, N.D., Finlayson, B.L. & Mc Mahon, T.A. (1992) Stream hydrology. An Introduction for Ecologists. John Wiley + Sons, Chichester, 526 pp.
- Grimm, N.B., Valett, H.M., Stanley, E.H. & Fisher, S.G. (1991) Contribution of the hyporheic zone to stability of an arid-land stream. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 1595-1599.
- Heger, H. & Moog, O. (1986) Der Einfluß von Wasserableitungen auf das Benthos des Landeckbaches in Osttirol (Österreich). Ber. nat.-med. Verein. Innsbruck 73: 199-214.
- Henry, K.S., Valett, H.M., Morrice, J.A., Dahm, C.N., Wroblicky, G.J., Santistevan, M.A. & Campana, M.E. (1994) Ground water-surface water exchange in two headwater streams. Sec. Int. Congr. on Ground Water Ecology, Am. Wat. Res. Ass., 319-327.
- Malicky, H. & Winkler, G. (1974) Untersuchungen über die Höhlenimmigration Micropterna nycterobia (Trichoptera) bei Lichtfallen. Jber. Biol. Station Lunz 10:140-157.
- Moog, O. (1995) Fauna aquatica austriaca. Wasserwirtschaftskataster, BMLF, Wien.
- Pielou, E.C. (1969) An introduction to mathematical ecology. Wiley, New York.
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Stanley, E.H. & Valett, H.M. (1992) Interactions between drying and the hyporheic zone of a desert stream. In: P. Firth & S.G. Fisher (eds) Global climate change and freshwater ecosystems, Springer Verlag, N.Y.
- Weigelhofer, G., Tockner, K. & Weigand, E. (1995) Dekomposition von *Fagus sylvatica* L. in intermittierenden und perennierenden Bachabschnitten des Fischbachs (Sengsengebirge, OÖ). Jber. Biol. Stn. Lunz 15: 55-60.
- White, P.S. & Pickett, S.T.A. (1985) Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. In: S.T.A. Pickett & P.S. White (eds.) Natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, San Diego, 472 pp.
- Wiggins, G.B., Mackay, R.J. & Smith I.M. (1980) Evolutionary and ecological strategies of animals in annual temporary pools. Arch. Hydrobiol. 58: 98-206.
- Williams, D.D. (1987) The ecology of temporary waters. Timber Press, Portland, Oregon, pp. 205.

Bestimmungsliteratur:

- Bauernfeind, E. (1994) Bestimmungsschlüssel für die österreichischen Eintagsfliegen, Teil 1 + 2. In: Wasser und Abwasser, Suppl. 4. ÖNIAD, Wien.
- Klausnitzer, B. (1984) Käfer im und am Wasser. A.Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.
- Waringer, J. & Graf, W. (1997) Atlas der österreichischen Köcherfliegen: unter Einschluß der angrenzenden Gebiete. Facultas-Univ.-Verl., Wien, 286 S.

LISTE DER TEILBERICHTE

- WEIGELHOFER, G. (1996): Die ökologische Funktion der Bachbettsedimente in intermittierenden und perennierenden Karstgewässern. – NP-Karstprogramm, Teilprojekt 1603-9./96, 57 S., Abb., Fotos und Tabellen. - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1996.
- WEIGELHOFER, G. (1997): Die ökologische Bedeutung des hydrologischen Regimes auf die Biozönose intermittierender Karstgewässern. - NP-Karstprogramm, Teilprojekt 1603-9./97, 54 S., Abb., Fotos und Tabellen. - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Dezember 1997.
- TOCKNER, K., Steiner, K., Schmid-Araya, J. & Schmid, P.E. (1990) Faunistisch ökologische Untersuchung ausgewählter Fließgewässer des Sengsenberg. Verein Nationalpark Kalkalpen Eigenverlag, Kirchdorf, 35 pp.
- TOCKNER, K., Fesl, C. & Weilguni, H. (1991) Limnologische Studie Hinterer Rettenbach. Zur ökologischen Stabilität von Reinwasserreserven: Konzeption und Ausarbeitung einer Langzeitstudie zur Dokumentation und Prognose ausgewählter Umweltparameter im Ökosystem "Hinterer Rettenbach". Verein Nationalpark Kalkalpen Eigenverlag, Kirchdorf, 187 pp.
- TOCKNER, K. (1993) Limnologische Studie "Hinterer Rettenbach" (Nationalpark Kalkalpen, Sengsengebirge, Oberösterreich). Ein Beitrag zur Limnologie eines Karstfließgewässers unter besonderer Berücksichtigung der ökologischen Relevanz hydrographischer Extremereignisse. Verein Nationalpark Kalkalpen Eigenverlag, Kirchdorf, 197 pp.
- TOCKNER, K. (1994) Ausgewählte Untersuchungen zur Ökologie eines Karstfließgewässers (Fischbach und Hinterer Rettenbach; Sengsengebirge). Verein Nationalpark Kalkalpen, Eigenverlag, Kirchdorf, 91 pp.

Mag. Gabriele Weigelhofer
Studienkoordination Ökologie
Universität Wien
Althanstr. 14
A - 1090 Wien
Wurlitzergasse 42/10
A - 1160 WIEN
GWEIGEL@pflaphy.pph.univie.ac.at

Dr. Klement TOCKNER
Dept. Limnology
EAWAG/ETH
Überlandstraße 133
CH-8600 DÜBENDORF
tockner@eawag.ch

SPELEOLOGISCHE FORSCHUNGEN

Teilprojekt AZ. 10

SPELEOLOGICAL RESEARCH

Participant projekt: 1603-10.

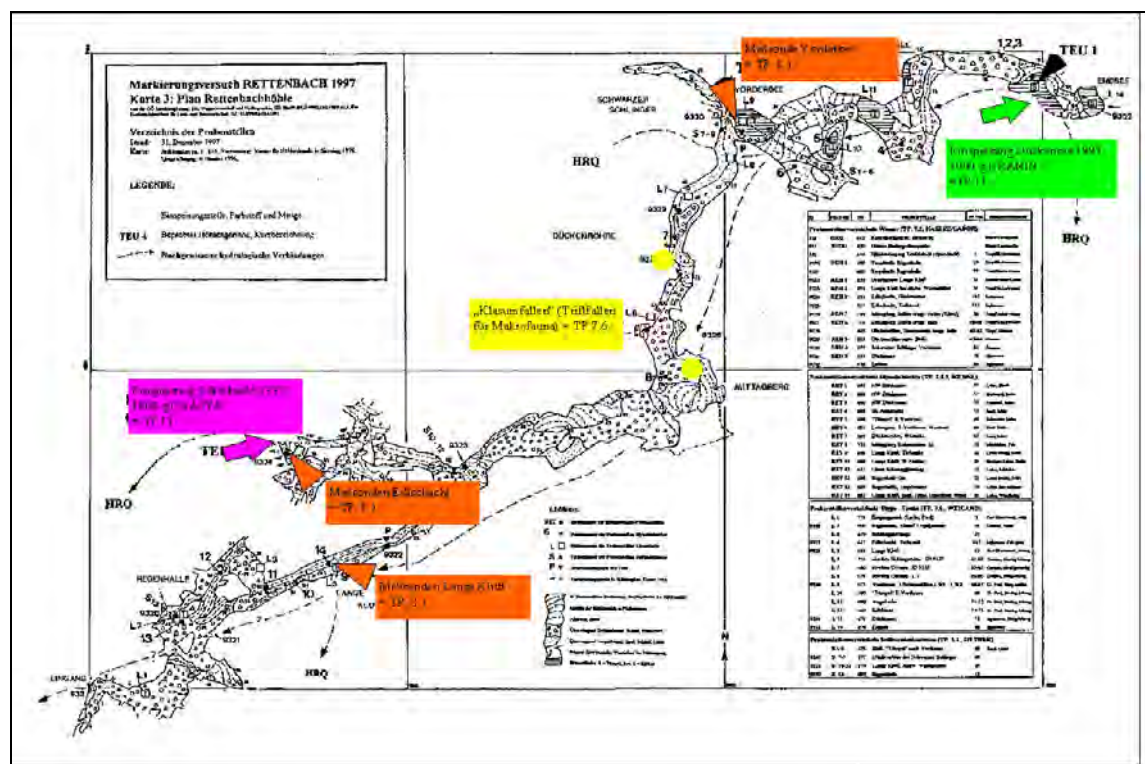


Fig. 10-1: Plan der Rettenbachhöhle mit einigen Projekthinweisen

KURZMONOGRAPHIE DER RETTENBACHHÖHLE

Die besonders geschützte Rettenbachhöhle ist eine auf rund 1,5 km Länge vermessene aktive Wasserhöhle mit zwei getrennten phreatischen Niveaus, die zu den Quellen des Hinteren Rettenbaches abfließen. Sie war bereits vor dem Nationalpark-Karstprogramm intensiver bearbeitet worden, sowohl speläologisch-tektonisch (vgl. CHRIST 1976, WEICHENBERGER 1992), wie auch terrestrisch-biologisch (vgl. HAUSER et al. 1992).

Seit 1993/94 beobachtet der Hydrographische Dienst OÖ die Höhlenwasserstände mit drei Drucksonden (vgl. WIMMER 1995, 1997). Ab dem Jahr 1996 wurden im Zuge mehrerer Exkursionen intensive Beprobungen auf Hydrophysik und Hydrochemie, Mikrobiologie (SCHMIDT 1996, MENNE 1996), stygobionte Fauna/Ökologie (WEIGAND 1997/98) sowie Sedimentologie (OTTNER 1998) durchgeführt. Im Jahre 1997 fand zur Abklärung der Hydrologie ein Markierungsversuch statt (HASEKE 1997).

Morphologie, Geologie und Tektonik der Rettenbachhöhle

Die Höhle ist im mitteltriadischen Wettersteinkalk der Sengsengebirgs-Antiklinale entwickelt und erstreckt sich in der Hauptachse gegen Nordost. Unweit nördlich des Einganges geht der Kalk in den hangenden Hauptdolomit über.

Der Eingang öffnet sich am Ende einer nordostvergenten tektonischen Klamm. Verbrochene Räume und Gänge mit vereinzelt Sinterbildungen führen meist bergab bis in die „Lange Kluft“, einen hohen Bergriss, der bei erhöhtem Wasserstand geflutet wird. Etwas oberhalb dieser Schwindenzone zweigen die „Warmstollen“ mit dem „Edlschacht“ ab, der mit stark schwankendem Siphonspiegel auf das jeweils aktuelle Quellniveau hinunterstürzt. Anschließend zieht die Kluft mit wenig Verbruchmaterial, etwas Sinter und Resten von Konglomeraten bis zum „Mittagberg“, einem großen Schlotraum mit grobem Versturz, Sinter und unterlagernden Gängen. Von hier zieht die „Dückenröhre“ steil bergab, die Sohle wird sandig und die Evakuierung zeigt schwarze Überzüge. Mit dem „Vordersee“ ist die aktive Strecke erreicht, die mit schön geformten versturzarmen Stollen bis zum „Dückensee“ bzw. „Endsee“ verfolgt werden kann. Im Endsiphon wurde bereits 105 Meter weit getaucht, das Ende aber nicht erreicht. Bei stärkerem Wasserandrang wird die Strecke überstaut, im Extremfall reicht das Wasser fast bis zum Mittagberg und flutet die gesamte Höhle bis zum Eingang. Dies ist auch der Grund, warum in der Höhle wenig Feinsediment (Lehm) anzutreffen ist.

In der Höhle ist ein starker Anteil der Schichtflächen an der Raumgestaltung merkbar: Gänge sind im Streichen wie auch im Fallen des Wettersteinkalkes angelegt. Die Kalkbänke fallen durchwegs mit 15-30° gegen 200°SSW. Vereinzelt kommen auch steilere Trennflächen vor.

Das Kluftsystem steht zumeist sehr steil bis saiger. An nordostvergenten Klüftungen sind eher vados-inkadierte Höhlenstrecken angelegt (Eingangsklamm, Lange Kluft), während die südostvergenten Flächen vermehrt in tieferen phreatischen Strecken auftauchen (Seenstrecke im hinteren Teil, Edlschacht). Als Leitklüfte für die Quellaustritte treten mit 40-50° NE und 90-130° E-ESE streichende, meist steile Klüftungen auf. Diese Lineamente zeichnen außen auch Kluftgassen- bzw. Klamm vor.

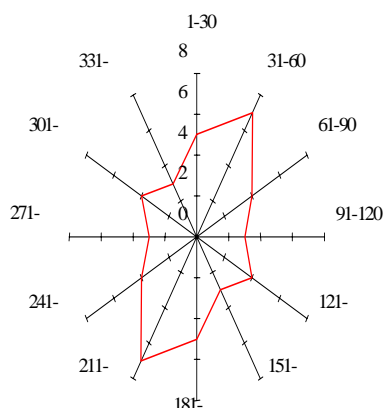


Fig10-2: Rettenbachhöhle, Streichen der Trennflächen

Höhlensedimente

Die mineralogische Zusammensetzung der Höhlenlehme der Rettenbachhöhle ist relativ einheitlich, mit Ausnahme des Kalzit / Dolomit Verhältnisses: Während die Proben bei der Angstlacke eine sehr ausgeprägte Dolomitdominanz zeigen, ist in den Tonen des Höhlenvorderteiles eine eindeutige Kalzitvormacht festzustellen. Die Tonminerale zeigen zwar in der quantitativen Verteilung geringe Unterschiede, können aber qualitativ als eher einheitlich bezeichnet werden. Auffällig ist der sehr hohe Anteil von Vermikulit, der höchstwahrscheinlich durch pedogenetische Prozesse entstand und in die Karsthohlräume umgelagert wurde. Als Ausgangssubstrat für die Höhlenlehme kommen die Wettersteinkalke nur zu einem geringen Teil in Frage, weil im Kalk nur 0.07% unlöslicher Rückstand vorhanden ist, der überwiegend aus Illit besteht. Die Schwebstoffe der Rettenbachquellen zeigen tonmineralogisch eindeutig eine "Höhlenlehmzusammensetzung" lassen aber auch noch andere Beeinflussungen erkennen (v. allem in den Fischteichen).

Hydrographie und Hydrologie

Insgesamt sind 12 Wasseradern und Siphone im Höhlensystem registriert. Größere Wasserumsätze werden nur in den Siphonzonen Endsee-Schwarzer Schlinger, damit verbunden in der Langen Kluft, sowie im Edlschacht erreicht. Alle drei Stellen wurden vom Hydrographischen Dienst mit automatisch aufzeichnenden Drucksonden beobachtet. Die anderen Höhlengerinne nähren sich aus lokalen Tropfwässern mit höchstens wenigen Sekundenlitern Schüttung.

Rettenbach Höhlensystem:

Seehöhe und Felsüberlagerung der Probenstellen

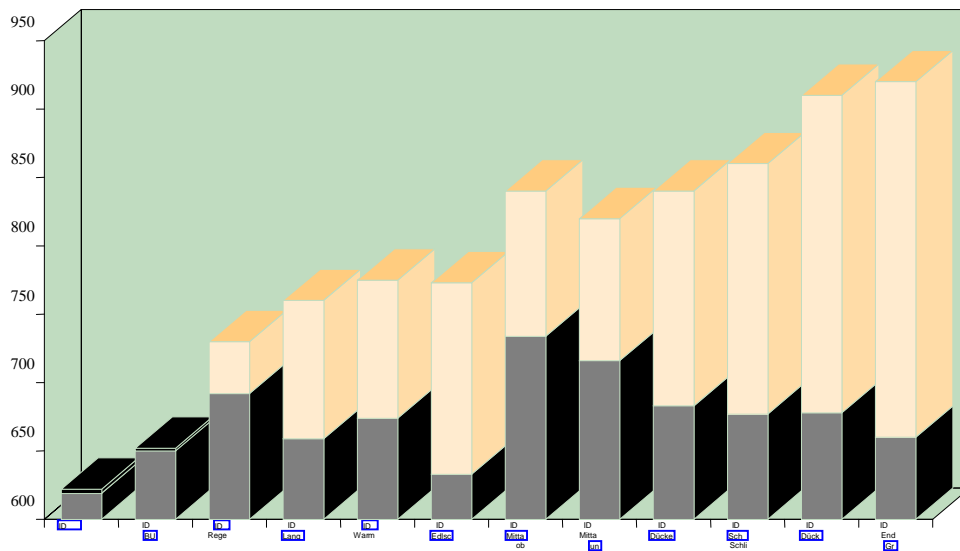


Fig. 10-3: Rettenbachhöhle: Überlagerung der Probenstellen.

Bei Niederwasser stagniert der grosse Doppelsiphon Endsee/Dückensee, bei höherem Wasserandrang steigt er mehrere Meter an und läuft durch den „Seegang“ zum Vordersee über. Bis zu einer Schüttung von 140 Sekundenliter fließt der Höhlenbach durch mehrere Pools und verschwindet nach dem „Vordersee“ im „Schwarzen Schlinger“, einer engen hacheligen Kluftzone. Bei Schüttungen über dem kritischen Punkt kommt es hier zum Rückstau und in der Folge wandelt sich die Dynamik in ein druckhaftes phreatisches Fließen. Das Wasser beginnt in die entlastende „Dückeröhre“ aufzusteigen und reichte beim Extremhochwasser im Oktober 1996 mit +46,12m nahe an den höchsten Punkt der Höhle, den „Mittagberg“ heran. Von hier stürzte das Wasser unter dem Mittagberg in die Lange Kluft und flutete sie bis über 30 Meter hoch. Die Wasserzufuhr aus dem Dückensee betrug hochgerechnet über 5 m³/s, das Wasser brach aber mit insgesamt 8-10 m³/s aus dem Eingang heraus, wie anhand der Wasserstandsmarken am Höhleneingang ermittelt werden konnte. Eindeutige Fließmarken (hinaufgeschleppte Seile) bewiesen, daß ein beträchtlicher Wasserzuschuß aus dem tiefen Edlschacht dazugekommen sein mußte.

Die letzten Totalflutungen wurden im August 1991, im Oktober-1996 und im Juli 1997 beobachtet. Da die Höhle bei solchen Gelegenheiten vollständig „gereinigt“ bzw. mit frischem Detritus gefüllt wird, sind die Probenstellen in Wasser und Sediment von menschlichen Einflüssen dekontaminiert und damit für die Erkundung der Mikrobiologie und Limnologie ideal.

Die Gefahr der Flutung der Höhle ist laut den Analysen des Hydrographischen Dienstes bei Pegelständen Rettenbach-Klammstein (RK) über 250cm gegeben. Bei einem doppelten Hochwasserpuls im Juli 1997 schüttete die Höhle noch bei Pegel RK 240cm = ca. 13 m³/sec.

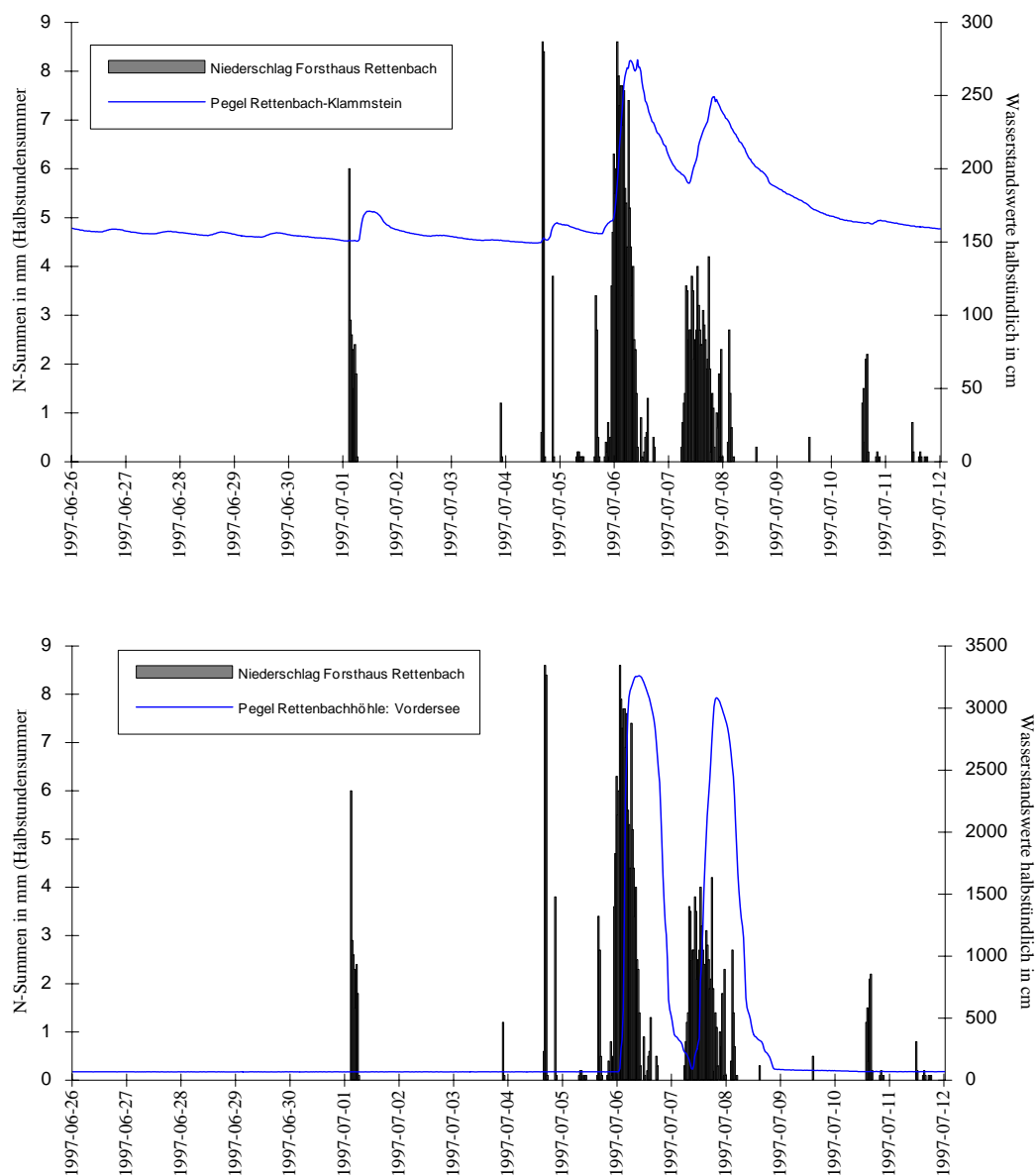


Fig. 10-4: Rettenbachhöhle: Hochwasserschub im Juli 1997, Vergleich mit Niederschlag und Pegel Rettenbach-Klammstein. Die Pegel Vordersee und Lange Kluft belegen einen sehr engen Zusammenhang mit dem Vorfluter.

Markierungsversuch

Im Sommer 1997 wurden zwei Höhlengerinne des Teufelsloches (Vordersee und Edlschacht) sowie das Merkensteinbründl im Einzugsgebiet (1610m) eingefärbt. Die Fluoreszenz-Tracer konnten ausschließlich im Quell- und Höhlensystem des Rettenbaches nachgewiesen werden. Während der Farbstoff Duasyn aus dem quellnahen Edlschacht-Siphon sehr rasch zutage kam, wurden die beiden anderen Tracer Uranin und Eosin erst mit Niederschlagsereignissen nach der Einspeisung mobilisiert. Interessant war die sehr unterschiedliche Konzentration der Tracer in den einzelnen Quelllästen, die hydrochemisch so gut wie idente Werte aufweisen.

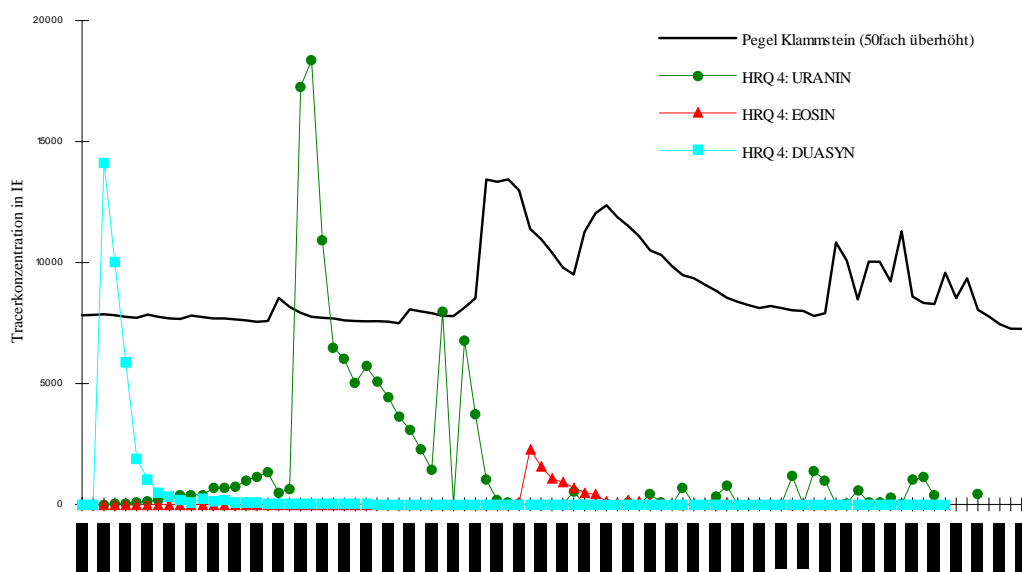


Fig. 10-5: Rettenbachhöhle: Farbstoffdurchgänge während des Markierungsversuches beim Hochwasser Juli 1997.

Einspeisort	Höhendiff.	Distanz (m)	Vprim. (h)	m/h	Vmax. (h)	m/h
Merkensteinbründl 1615m (Eosin)	995	2300	209	11,00	219,00	10,50
Rettenbachhöhle Dückensee 677m (Uranin)	57	600	11,5	52,17	116,00	5,17
Rettenbachhöhle Edlschacht 620m (Duasyn)	0	430	3	143,33	3,50	122,86

Tabelle 10-1: Laufdistanzen und Durchlaufzeiten der Tracer, bezogen auf den Austritt HRQ4 (Mittellage im Rettenbach-Quellsystem). - Vprim = Laufzeit bis zum ersten Nachweis, Vmax = Laufzeit bis zum Erreichen der Maximal-Konzentration. Jeweils in Stunden bzw. Meter/Stunde.

Hydrochemie der Höhlenwässer

Die Wässer der Höhle zählen alle zu den niedrig mineralisierten Kalzium-Karbonat-Typen, bilden aber drei deutlich unterscheidbare Gruppen: Die geringsten und der Rettenbachquelle sehr ähnlichen Leitfähigkeiten und Temperaturen (teils $<200\ \mu\text{S}$ und $<6^\circ\text{C}$) hat der tiefe, +/- auf Quellniveau eingespiegelte Siphon im Edlschacht. Eine mittlere Gruppe wird durch das hängende Siphonstockwerk Dückensee-Vordersee-Lange Kluft gebildet, bei LF um $220\text{-}250\ \mu\text{S}$ liegen die T um 7°C . Diese beiden Hauptgewässer haben auch meist die niedrigeren pH-Werte (7.9-8.1). Die dritte Gruppe sind die Tropfwässer, die teils von Sinterbildungen begleitet werden. Sie weisen Leitfähigkeiten bis $320\ \mu\text{S}$ und T = bis über 8°C auf. Der Magnesiumgehalt ist im Edlschacht und den hinteren Höhlenwässern deutlich niedriger als in den tagnahen Tropfstellen. Die Sauerstoffsättigungen liegen in den meisten Fällen zwischen 85-100%. Weitere An- und Kationen treten nur in Nebenmengen ohne deutliche Präferenzen auf, nur Nitrat ist zeitweise in der Zone Mittagberg-Dücken-/Vordersee deutlich höher konzentriert als andernorts.

Insgesamt decken sich die Messungen gut mit den hydraulischen Befunden, wonach das Siphonstockwerk Dücken-/Vordersee hauptsächlich von den Südflanken her gespeist wird, die Tropfwässer von der überlagernden Oberfläche kommen und der Edlschacht mit dem Zentralplateau Verbindung hat.

Trübung, Organik, Mikrobiologie (verdriftet)

Generell sind die Werte im System niedrig, bei Hochwasser kann nicht gemessen werden. Erhöhte Trübe- und AK-Werte traten bislang nur in den Zonen größeren Wasserumsatzes, also den Siphonzonen auf. Mikrobiologisch (KBE und Fäkalanzeiger) sind die Tropfwässer des vorderen Teiles und der Edlschacht vergleichsweise geringer belastet als die Zone Mittagberg-Vordersee, wo v.a. die Bodengerinne z.T. sehr deutlich kontaminiert sind. Möglicherweise hängt dies mit dem Vorkommen höherer Höhlentiere (z.B. Fledermaus) zusammen. Die gemessenen DOC-Werte korrelieren in etwa mit dieser Verteilung.

Mikrobiologie (sessil, Biofilme)

Die Rettenbachhöhle wird seit 1996 intensiv auf Vorkommen und Verteilung von Myxobakterien untersucht. Die Ergebnisse sind im Referat von MENNE enthalten. Besonders interessant erscheint die mikrobiologische Mitwirkung an der Entstehung der manganhaltigen „schwarzen Überzüge“ im hinteren Höhlenteil sowie das Vorkommen von Colibakterien in den Biofilmen der Siphonzone.

Makrobiologie (Troglo- und Stygobionten)

Das Höhlensystem ist bereits mehrfach Gegenstand biospeläologischer Untersuchungen gewesen. Die früheren Arbeiten beschränkten sich auf hauptsächlich terrestrische Aufsammlaktionen. Diese Arbeiten wurden 1992 von HAUSER&WEISSMAIR durch Barberfallen-Einsätze ergänzt. Als Ergebnisse aller Studien wurden insgesamt 20 meist terrestrische Tierarten, darunter 4 Fledermausspezies sowie einige endemische bzw. für OÖ neue Arten nachgewiesen.

Ab 1996 wurde die Höhle im Zuge des Nationalpark-Karstprogrammes limnologisch untersucht, und zwar v.a. im Hinblick auf die Zusammenhänge des unterirdischen Gewässersystems mit dem „Krenal“ der Quellen im Sinne einer biozönotischen Längsgliederung. Mehrfachaufsammlungen werden dzt. durch Driftfallen an zwei Gerinnen der Höhle ergänzt.

Die Faunenzusammensetzung unterscheidet sich zwischen den einzelnen biozönotischen Großregionen markant. So sind die faunistischen Ähnlichkeiten des Krenals (Quelle und Quellbach) mit der unterirdisch liegenden Region (Höhlen- und Spaltlückenraumgewässer: „Klasum“) sehr gering (<10%). Das aquatische Klasum und das Epirhithral (oberer Gebirgsbachabschnitt) weisen überhaupt eine völlig andere Faunengesellschaft auf (Gemeinsamkeit von nur 0,1% !).

Die großen Seen- und Siphonzonen der Höhle sind durch die starke hydrologische Dynamik ein für aquatische Organismen lebensfeindlicher Aufenthaltsort. Sehr geringe Besiedlungsdichten, verbunden mit wenig losem Kolonisationssubstrat und kaum verfügbarer Nahrung prägen diese Höhlengewässer. Faunistisch besonders bemerkenswert sind eine in den Höhlenseen zeitweise auftretende Chironomidenart sowie die Anlandung von zigtausenden Schneckenschalen. Das engräumige Klasum wird hingegen individuenreich besiedelt, wobei die Grundwasserschnecke der Gattung Hauffenia und mehrere cyclopoide Ruderfußkrebse als dominante Formen auftreten. Bedenkt man, welche enormen Flächenausmaße das Spaltlückensystem im Karst einnimmt, so wird die ökologische Bedeutung dieses Lebensraumes ersichtlich.

LITERATUR

BAUER, F. (1953): Zur Verkarstung des Sengsengebirges in Oberösterreich. - Mitteilungen der Höhlenkommission 1952, S. 7-14. Wien.

BUNDESDENKMALAMT (1973): Rettenbachhöhle bei Windischgarsten, OÖ., Stellung unter Denkmalschutz. Bescheid vom 14. Mai 1973, Zl. 2320/73, Wien.

CHRIST, W. (1976): Monographie der Rettenbachhöhle bei Windischgarsten. - Hausarbeit aus Geographie, Institut für Geographie der Universität Salzburg, 1976.

HASEKE, H. (1990): Hydrologie und Karstmorphologie des Sengsengebirges. - Nationalpark Kalkalpen, Forschungsprojekt 2.1.-1990. - Molln-Salzburg 1990.

- HASEKE, H. et al. (1996): TP 1603-7.1.&7.2./96: Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring und Ereigniskampagne 1996. Seiten, zahlr. Diagramme, Tabellen und Beilagen (Einzelberichte zu speziellen Themen, Karte). - Bericht für den Nationalpark Kalkalpen. H. Haseke, Molln-Salzburg.
- HASEKE, H. et al. (1998): Karstwasser-Markierungsversuch Sengsengebirge 1997: Rettenbachhöhle-Hoher Nock).- Mitt. des Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 44.Jg.-1998/1, Gesamtfolge 103. Linz 1998: 30-57. HAUSER, E., WEISSMAIR, W.(1992): Biospeläologische Untersuchungen zur Fauna der Rettenbachhöhle bei Windischgarsten. - NPK 1992.
- HASEKE, H. (1998): Nationalpark Karstprogramm, Forschungsprojekt Karstquellen-Monitoring und Ereigniskampagnen 1997. - 82 S., 44 Abb., Tabellen. - Unveröff. Bericht i.A. der Nationalpark Oberösterreichische Kalkalpen GmbH, Salzburg / Austria, März 1998.
- HASEKE, H., MENNE, B. und SCHMIDT, S.: Baktrien im Karst. - Natur im Aufwind 23/98, Nationalpark Kalkalpen, Leonstein 1998: 24-27.
- KNOLL, E. (1983): Über den Karstwasserhaushalt der Rettenbachhöhle. Archiv des Vereines f. Höhlenkunde Sierning.
- MENNE, B. (1996a): Myxobakterien in der Rettenbachhöhle. Eine karstmikrobiologische Studie. - 19. S., unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Mühlacker (BRD) August 1996.
- MENNE, B. (1996c): Manganhaltige Ablagerungen in der Rettenbachhöhle (Kat.Nr. 1651/1, OÖ) und ihre Zusammenhänge mit mikrobiologischen Prozessen.- Manuskript, Mühlacker 1996. - Die Höhle, 47.Jg., H.3, Wien 1996: 69-74.
- MENNE, B. (1997a): Myxobakterien in der Rettenbachhöhle und in einigen Kleinhöhlen des Sengsengebirges. Eine karstmikrobiologische Studie - Ergebnisse 1996. - 29.S., Abb. und Tab. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Mühlacker, Februar 1997.
- MENNE, B. (1997b): Myxobakterien in der Rettenbachhöhle. Eine karstmikrobiologische Studie. - Mitt. des Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 43.Jg.-1997/1, Gesamtfolge 102. Linz 1997: 11-26.
- MENNE, B. (1997c): Projektendbericht für Nationalpark-Karstprogramm, Teilprojekt 7.5.3. (Sessile Mikrobiologie), Mikrobielle Analytik III. - 67 S., Abb. und Tab. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Mühlacker, Dezember 1997.
- OTTNER, F. (1998): Analyse und Interpretation ereignisbezogener Schwebstoff-Frachten ausgewählter Quellwässer. – Nationalpark Karstprogramm, Teilprojekt 3.2./97. – 32 S., Tabellen und Grafiken (36). - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, August 1998.
- MOSBERGER, H. (1977): Flora und Fauna der Rettenbachhöhle bei Windischgarsten. - Hausarbeit Fach Biologie für die Zulassung zur Lehramtsprüfung für Hauptschulen (Dr. Dunzendorfer), Linz.
- SCHIMPELSBERGER, F. (1953): Markierungsversuch in der Rettenbachhöhle. „Das Höhlenabenteuer unter dem Hohen Nock“, Wochen-Echo, Folge 39, S.2.
- SCHMID, M.E. (1972): Weitere Arctaphaenops-Funde aus Oberösterreich. Die Höhle 23: 95-99. Wien.

- SCHMIDT, S. (1996b): Teilprojekt 1603-7.5.1./96, "Mikrobiologische Beprobung, Analyse und Auswertung der Quellwässer sowie Installation neu angewandter Methodiken für weiterführende mikrobiologische Analysen im NP-Labor." 60S., Abb., Tabellen und Grafiken. - Unveröff. Studie im Auftrag des Nationalparkes Kalkalpen, Graz, November 1996.
- SCHMIDT, S. (1997): Teilprojekt 7.5.1./1997 „Mikrobiologische Beprobung: Seuchenhygienische Zeigerorganismen im Quellwasser, Analyse und Auswertung“. - 39 S., zahlr. Tab. und Abb. - Graz, im November 1997.
- WEICHENBERGER, J. (1991): Systematische Dokumentation der unterirdischen Karstformen im Sengsengebirge und Reichraminger Hintergebirge. Jahresbericht 4.7., unveröff. Studie i.A. Nationalpark Kalkalpen, Linz 1991.
- WEIGAND, E. (1998): Limnologisch-faunistische Charakterisierung von Karstquellen, Quellbächen und unterirdischen Gewässern nach Choriotopen und biozönotischen Gewässerregionen (Nationalpark o.ö. Kalkalpen, Österreich). - Teilprojekt 1603-7.6./96-97 im Rahmen des Programmes „Karstdynamik“. - 173 S., zahlr. Tab., Abb., Fotos. - Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien, Juli 1998.
- WIMMER, M. (1995): Bericht über hydrographische und karsthydrologische Beobachtungen in der Rettenbachhöhle. - Mitt. d.Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 41.Jg.-1995/1, Gesamtfolge 100. Linz 1995.
- WIMMER, M. (1997): Neues aus der Rettenbachhöhle (Kat.Nr.1651/1) in Zusammenhang mit den hydrographischen Forschungen- Mitt. des Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 43.Jg.-1997/1, Gesamtfolge 102. Linz 1997: 27-36.

KARSTWASSER-MARKIERUNGSVERSUCHE

Teilprojekt AZ. 11.

KARST WATER TRACING

Participant Project: 1603-11.

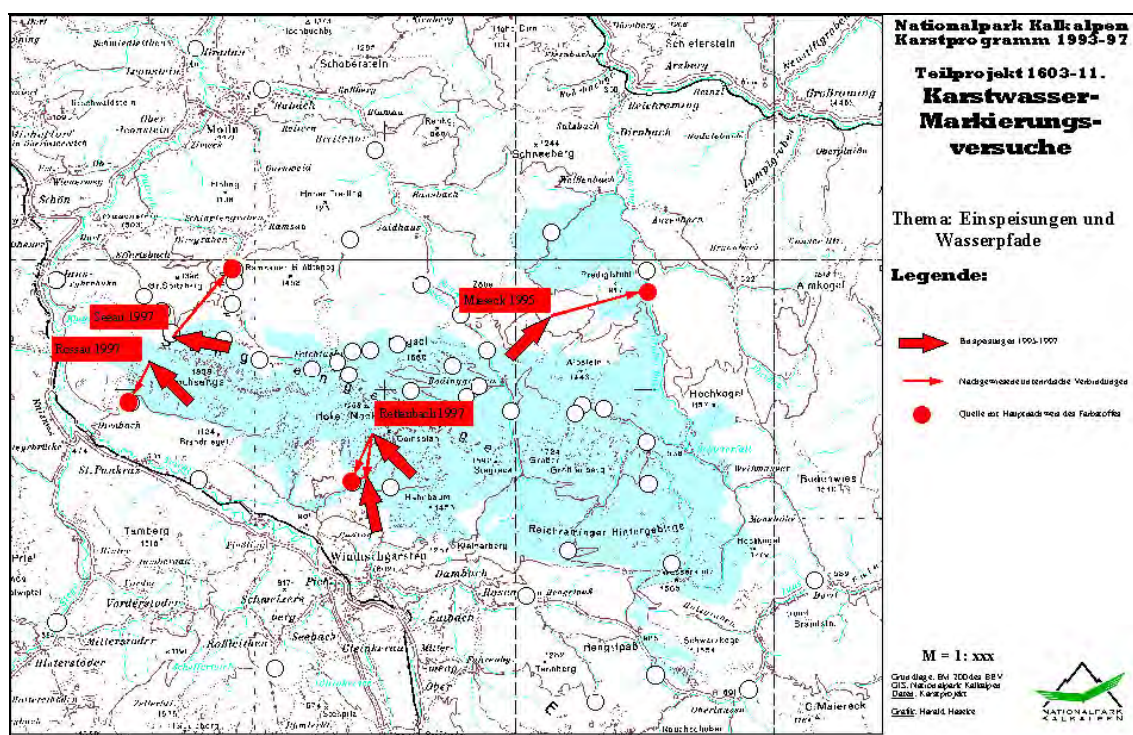


Fig. 11-1: Markierungsversuche im Sengsen- und Hintergebirge, Übersichtskarte mit den wichtigsten Ergebnissen.

Allgemeines zu den Markierungsversuchen

Während der Laufzeit des Nationalpark-Karstprogrammes wurden drei Markierungsversuche durchgeführt, allerdings nur einer im unmittelbaren Zusammenhang (Hintergebirge-Mieseck, als Support zur Pilotstudie Karbonatböden AZ. 5.1).

Zwei größere Aktionen im Sengsengebirge wurden extern beauftragt und finanziert: Der MV Rettenbach im Zusammenhang mit den Höhlenstationen des Hydrographischen Dienstes aus Mitteln der Bund-Bundesländer-Kooperation und der

MV Spering-Roßau und Seeau im Zusammenhang mit den Sondierstollen der Pyhrnautobahn A9 aus Mitteln der ÖSAG. Diese beiden Tracerversuche sind daher hier zwar erwähnt, aber nicht näher ausgeführt.

Markierungsversuch Hintergebirge: Mieseck (Ebenforstplateau)

1995 wurde ein Wasser-Markierungsversuch im Reichraminger Hintergebirge zwischen Steyr- und Ennstal durchgeführt. Die Untersuchungsstellen befanden sich in Mieseck (1270m) in der Nähe des nördlichen Abhanges des Ebenforstplateaus. Die dortigen Nachforschungen unterstützten die Pilotstudie „Karbonatböden“, die Teil des Karstprojekts 1994/1995 war.

Das Mieseck-Gebiet (*Stubbed corner*) besteht aus Dachsteinkalk (Plattenkalk) und Hauptdolomit und ist Teil des nördlichen Sektors der Ebenforst-Synklinale, welche wiederum zur Reichraminger Decke gehört. Diese Gesteinsformation ist gut verkarstet und ein kleiner Schachteinbruch ermöglicht das Sammeln von Sickerwasser aus engen oberflächennahen Klüften. An dieser Stelle wurde der Markierungsversuch durchgeführt.

Rund um das Mieseck-Gebiet wurden viele kleine Quellen kartiert, die die Wasserläufe Ebenforst, Weissenbach und Wildergraben speisen. Erwartet wurde, daß der Tracer zu einem dieser Gewässer abdriften würde. Daneben existieren zwei größere Karstquellen am Vorflutniveau des Reichramingbaches und der Krummen Steyrling. Unerwartet kontaminierte der Tracer URANIN ausschließlich die große phreatische Predigtstuhlquelle auf der Spiegelhöhe des Reichraminger Baches, 690m unterhalb und 4 km entfernt vom Injektionspunkt. Von der Tracereinspeisung bis zu dessen Auftauchen vergingen 11 Tage, die Abstandsgeschwindigkeit betrug durchschnittlich 14m pro Stunde. Dies beweist, daß das Gebiet tiefgründig verkarstet ist und daß die lokalen Quellhorizonte nur kleine vadose Einzugsgebiete oder Schuttkörper entwässern.

Nach umfassenden Vorbereitungen führten wir 1997 einige Markierungsversuche im östlichen und westlichen Sengengebirge durch:

- Rettenbachhöhle nahe Windischgarsten: 2 Tracer
- Hoher Nock – Merkensteinbründl Ponor: 1 Tracer
- Spering – Rossau Ponor: 1 Tracer
- Effertsbach – Seeau Ponor: 1 Tracer

All diese Untersuchungen zeigten kurze, lineare hydraulische Verbindungen entlang von Störungslinien auf, die sich im rechten Winkel zu den Hauptfaltungsachsen und Deckengrenzen erstrecken. Deshalb tauchten die Tracer nicht im West-Ost-Azimut auf, sondern nördlich oder südlich des Einspeisungsortes, jeweils nur eine bestimmte Quelle kontaminierend.

Markierungsversuch Östliches Sengsengebirge: Rettenbachhöhle und Rettenbachquellen

Die phreatischen Gerinne der Rettenbachhöhle und die mächtigen Karstquellen des Hinteren Rettenbaches nahe Windischgarten sind eine wissenschaftliche „task force area“ des Hydrographischen Landesdienstes Linz und des Nationalparks Kalkalpen. Die Markierungsversuche sollten die Verbindung zwischen Einzugsgebiet, Höhle und Quelle nachweisen sowie Informationen über die Verweilzeiten des unterirdischen Wassers liefern. Zwei Tracer, die in seichtphreatischen Niveaus in der Höhle infiltriert wurden, erreichten die Oberfläche in sehr kurzer Zeit (wenige Stunden), während ein dritter Tracer im Ponor des Merensteinbründls bei 1600m verschwand und über eine Woche benötigte, bis er letztlich durch ein größeres Hochwasser beschleunigt wurde.

Die Tracerkonzentration und die Durchflußraten waren sehr inhomogen zwischen den einzelnen Quellsträngen. Die Rettenbachquellen sind offenbar ein unreifer Auswurf zerstörter Höhlenlöcher, die nur eine unvollständige Durchmischung zwischen den Höhlenrinnalen erreichen - ungeachtet eines homogenen Chemismus. Es ist dennoch offensichtlich, daß das Rettenbach-System kein Karstgrundwasser sensu strictu hervorbringt.

Markierungsversuch Westliches Sengsengebirge: Rossau und Seeau Ponore

Mit diesen Tracerversuchen wollten wir herausfinden, ob die großen Quellen um die Steyr Talsperre ihr Wasser vom Oberlaufgebiet des Effertsbaches erhalten. Obwohl dieses Szenarium nicht bestätigt werden konnte, waren die Ergebnisse dennoch überraschend.

Der Tracer URANIN AP, der in den nordwärts abfließenden Ponor Rossau - Spering eingebracht wurde, drehte sich innerhalb der vadosen Zone um 180° und tauchte in der südlich gelegenen Vorderen Rettenbachquelle (Teufelskirche) wieder auf. Wir konnten die nördliche Deckengrenze des Sengsengebirges als hydraulische Barriere identifizieren.

Der andere Tracer DUASYN wurde in den Ponor des Seeaubaches injiziert, der im Talschluß des Effertsbaches liegt. Das pinkfarbene kontaminierte Wasser rann durch den hoch aufragenden Schwarzkopf-Spitzberg-Rücken und färbte einige Fischteiche in der Nähe von Ramsau. Auch in diesem Fall benutzte das Karstwasser eine deutlich sichtbare Störung.

Liste der Teilberichte

HASEKE, H. (1995a): TP 1603-3.3.&11./95: Hydrologie und Markierungsversuch zur Pilotstudie Karbonatböden am Mieseck (Hintergebirge) im Nationalpark Kalkalpen. - Karstprogramm 1995, Teilprojekte Nr. 1603-3.3./95 und 1603-11./95. - 20 Seiten, Tabellen, 1 Kartenbeilage. - H. Haseke, August 1995.

HASEKE, H. (1998a): Karstwasser-Markierungsversuch Sengsengebirge 1997: Rettenbachhöhle-Hoher Nock.- Unveröff. Projektbericht i.A. des Amtes der oö. Landesregierung (GZ.: BauW-II/LG-930033/2-1997-KOL/Do) und des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (GZ.: 41.094/03-IVA1/97). Jänner 1998. 54 S., zahlr. Abb. und Tab, Karten.

HASEKE, H. et al. (1998b): Karstwasser-Markierungsversuch Sengsengebirge 1997: Rettenbachhöhle-Hoher Nock).- Mitt. des Landesvereines für Höhlenkunde in Oberösterreich, 44.Jg.-1998/1, Gesamtfolge 103. Linz 1998: 30-57.

HASEKE, H. (1998d): AZ 980071, A9 Pyhrnautobahn, Schön-Lainberg Nord: Hydrochemie und Markierungsversuch Sengsengebirge 1997/98. Schlußbericht, 34 S., Tab., Grafiken, Fotos, Karte. – Unveröff. Bericht im Auftrag der ÖSAG, Salzburg, Dezember 1998.

Dr. Harald Haseke
Haunspurgstraße 90
A-5020 Salzburg
h-haseke@apanet.at