

**STRATEGIE ZUM SCHUTZ DER  
KARSTWASSERGEBIETE  
IN ÖSTERREICH**

TEIL 1

**Problemanalyse in Form der Auswertung einer  
Fragebogenaktion**

TEIL 2

**Karstwasserfakten und praktisch-wissenschaftliche  
Problemlösungsvorschläge**



# **STRATEGIE ZUM SCHUTZ DER KARSTWASSERGEBIETE IN ÖSTERREICH**

TEIL 1

**Problemanalyse in Form der Auswertung einer  
Fragebogenaktion**

TEIL 2

**Karstwasserfakten und praktisch-wissenschaftliche  
Problemlösungsvorschläge**

Martin KRALIK

**BE-189**

Wien, Sept. 2001

## **Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien  
Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, Sept. 2001  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-585-8

## INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>8</b>
<b>1 PROBLEMANALYSE IN FORM DER AUSWERTUNG EINER FRAGEBOGENAKTION</b>	
1.1 Einführung Fragebogenaktion .....	10
1.2 Beantwortende Personen und Institutionen .....	10
1.3 Beantwortete Fragen.....	13
1.3.1 Karstuntersuchungsmethoden.....	13
1.3.2 Verwaltungstechnische Regelnweisungen.....	15
1.3.3 Verschmutzungsverursacher.....	17
1.3.4 Schadstoffe .....	19
1.3.5 Karstwasserpotential.....	21
1.3.6 Lokalität der Belastungen .....	24
1.3.7 Beeinträchtigung des Karstwassers .....	26
1.4 Schlussfolgerungen Fragebogenaktion .....	29
<b>2 STRATEGIE ZUM SCHUTZ DER KARSTWASSERGEBIETE IN ÖSTERREICH</b>	
2.1 Probleme von Karstwassergebieten.....	32
2.2 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien.....	32
2.3 Untersuchte Karst(Karbonat)gebirgsgruppen und Wasserschongebiete .....	36
2.3.1 Untersuchte Karst(Karbonat)gebirgsgruppen.....	36
2.3.2 Wasserschongebiete in Karbonat(karst)gebieten .....	36
2.4 Methoden der Grundwasserempfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung) in Karbonat(karst)gebieten.....	37
2.4.1 Einleitung Vulnerabilitätskartierung .....	37
2.4.2 Konzept der Bewertung der Grundwasser-Vulnerabilität.....	38
2.4.3 Methoden der Bewertung der Grundwasser-Vulnerabilität .....	38
2.4.3.1 Bewertungsparameter .....	39
2.4.3.2 Vergleich der Bewertungsmethoden.....	42
2.5 Chemische Karbonat(karst)wasserqualität .....	55
2.6 Mikrobiologische Studien.....	64
2.7 Ferntransportierte Schadstoffe .....	67
2.7.1 Hinweise aus Bodenanalysen.....	67
2.7.2 Hinweise aus Moosanalysen .....	67
2.7.3 Hinweise aus Quellwässern .....	68
2.8 Niederschlags-Isotopenmeßnetz .....	69
2.8.1 Einleitung und Ist-Zustand .....	69

2.8.2	Verwendung der Daten .....	69
2.8.2.1	Altersbestimmung von Karbonat(karst)wässern (Tritium).....	71
2.8.2.2	Bestimmung der Höhenlage des Einzugsgebietes von Karbonat(karst)wässern (Deuterium und Sauerstoff-18) .....	71
<b>2.9</b>	<b>Strategie zum Schutz von Karbonat(karst)wassergebieten.....</b>	<b>72</b>
2.9.1	Praktische und organisatorische Vorschläge .....	72
2.9.1.1	Kriterien und Umweltindikatoren für einen „ <i>guten Zustand</i> “ des Karstgrundwassers .....	72
2.9.1.2	Erstellung eines Karstwasserleitfadens für Ingenieure und Behörden.....	75
2.9.1.3	Erarbeitung von Grundwasser - Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten).....	75
2.9.1.4	Ausbau und Betrieb des österreichischen Niederschlags-Isotopenmessnetzes .....	76
2.9.1.5	Mikrobiologie und Gesamtkohlenwasserstoffe als Zusatzparameter in kontinuierlichen Monitoringprogrammen .....	76
2.9.1.6	Wasserwirtschaftliche Erhebung von alpinen Einzelobjekten mit touristischer Nutzung und deren karsthydrogeologische Bewertung. ....	76
2.9.1.7	Verständliche Informationsblätter über aktiven Karstwasserschutz.....	77
2.9.2	Vorgeschlagene Forschungsinitiativen.....	77
2.9.2.1	Erarbeitung von mikrobiologisch-spurenchemischen Methoden zur Herkunftsbestimmung mikrobiologischer Belastungen. ....	77
2.9.2.2	Semiquantitative Abschätzung ferntransportierter Schadstoffe mittels moderner Tracer- und Isotopenmethoden. ....	77
2.9.2.3	Weiterentwicklung von Fernerkundungsmethoden zur rascheren Erstellung von Grundwasser – Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten) .....	78
2.9.2.4	Europäische Kooperation zur Erarbeitung einer oder mehrerer einheitlicher Methoden der Grundwasser – Empfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung) .....	78
2.9.2.5	Auswertung und Interpretation von Niederschlags-Isotopenmodellen .....	79
<b>2.10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>79</b>
2.10.1	Allgemein.....	79
2.10.2	Literatur Karst(karbonat)grundwasser Österreich.....	83
2.10.2.1	Burgenland.....	84
2.10.2.2	Kärnten .....	85
2.10.2.3	Niederösterreich .....	86
2.10.2.4	Oberösterreich.....	88
2.10.2.5	Salzburg .....	90
2.10.2.6	Steiermark.....	91
2.10.2.7	Tirol .....	93
2.10.2.8	Vorarlberg .....	94
<b>2.11</b>	<b>Fachausdrücke (Glossary).....</b>	<b>94</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Umweltbundesamt hat als Umweltschutzfachstelle des Bundes unter anderem den Auftrag die Entwicklung der Umweltbelastungen zu erheben und mittels Umwelt- und Nachhaltigkeitsindikatoren darzustellen. Weiters sollen Methoden empfohlen und entwickelt werden, die geeignet sind, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen. Auf Grund der eminent wichtigen Bedeutung des Karbonat(karst)grundwassers für die Trinkwasserversorgung (50%) und der generellen ökologischen Bedeutung von Karbonat(karst)gebieten für das Grundwasser Österreichs (~22% der Fläche), werden in diesem Bericht Strategien zum verbesserten Schutz der österreichischen Karbonat(karst)wassergebiete vorgeschlagen. Diese basieren auf einer Problemanalyse in Form einer Auswertung einer Fragebogenaktion (Teil 1) und auf einer Auflistung von Karstwasserfakten, sowie praktisch-wissenschaftlichen Problemlösungsvorschlägen (Teil 2). Da Österreich unter den ersten Ländern ist, die für Karbonat(karst)gebiete eine eigene Schutzstrategie erarbeitet, sind Rückmeldungen erwünscht.

Der **erste Teil** beruht auf der Befragung von 63 Personen aus ganz Österreich, die in der Praxis und in der Forschung mit Karstwasser beschäftigt sind. Von den 234 Angaben und Vorschlägen werden hier nur die häufigsten zusammengefasst:

Der Karstwasserschutz wird in technischer und legistischer Hinsicht über die Richtlinien des ÖVGW für Schutz- und Schongebiete, das bestehende Wasserrecht, sowie die Leitlinien des ÖWAV für die Nutzung von Karstwässern als Trinkwasser als zufriedenstellend geregelt angesehen.

Für die Ausweisung dieser Schongebiete bewährten sich besonders die Markierung der Karstwässer mit Tracern, nach einer fachgerechten hydrogeologischen Kartierung samt einer mehrmaligen Quellaufnahme und -beprobung.

Als Hauptverursacher der Verschmutzung des Karstwassers werden der Massentourismus, die Landwirtschaft und die intensive Almwirtschaft angesehen, die vorwiegend bakteriologische Belastungen, Mineral- und Treibstoffverunreinigungen und hohe Nitratfrachten zur Folge haben.

Die Angaben zu den österreichischen Karstwasserpotentialen und deren bestehenden Belastungen sind teilweise regional nach der Herkunft der Befragten gewichtet. Dennoch stimmen viele der Befragten einer hohen Schutzpriorität der großen Karstwasserpotentiale des Dachsteins, des Toten- bzw. des Hagen- und Tennengebirges zu. Den bereits bestehenden Belastungen des Dachsteins, der Villacher Alpe sowie aller Karstgebiete mit hoher Siedlungsdichte sollte jedoch besonderes Augenmerk zukommen.

Als Konsequenz der qualitativen Beeinflussung wird überwiegend eine Gefährdung des Trinkwassers gesehen, der durch den Bau von vorsorglichen Entkeimungsanlagen und Trinkwasseraufbereitungsanlagen begegnet werden müsste. Als Folge der quantitativen Beeinträchtigung werden vorwiegend Trockenperioden mit Vegetationsschäden und Versorgungsengpässen gesehen, denen mit der Errichtung von Reservebrunnen im Porengrundwasser begegnet werden sollte.

Im **Teil zwei** werden folgende Karbonat(karst)wasserfakten und Problemlösungsvorschläge zusammengefasst, die in Diskussion mit österreichischen und europäischen Experten aufgezeigt und entwickelt wurden:

Die quantitative und qualitative Situation in den österreichischen Karbonat(karst)gebieten ist generell zufriedenstellend. Folgende Entwicklungen stellen jedoch punktuelle bis flächendeckende Bedrohungen, nicht nur der Karstwässer, sondern der ganzen Karstlandschaft dar.

- Mikrobiologische Belastungen, die vielerorts von häuslichen Abwässern (Beherbergungsbetrieben), hohem Weidebestand und hoher Wilddichte (Wintergatter) ausgehen.
- Flächendeckende schleichende Belastung durch ferntransportierte Schadstoffe, die durch ein verstärktes Ausregnen in hohen alpinen Gebieten und durch den Akkumulationseffekt sowie der kurzfristigen Mobilisation während der Schneeschmelze verstärkt wird.
- Belastungen, die von intensiver touristischer, forstwirtschaftlicher und industrieller Nutzung ausgehen. Diese sind häufig mit Kontaminationen von Kohlenwasserstoffprodukten und chlorierten Kohlenwasserstoffen verbunden, die in den besonders sensiblen Karbonat(karst)gebieten (mangelnde oder erodierte Bodenbedeckung und rasche Verbindung Oberfläche-Quelle) besonders rasch und ungefiltert zur Verunreinigung des Grundwassers führen.

Da die verwaltungstechnischen und rechtlichen Regelwerte allgemein als ausreichend empfunden werden, sollten in Zukunft folgende praktische und wissenschaftliche Initiativen den Karstwasserschutz verbessern und die wertvollen Karstlandschaften in Österreich vor einer Zerstörung bewahren.

*Praktische Initiativen: (siehe Tabelle 2.9.1.; S. 74)*

- Ausarbeitung von Kriterien und Umweltindikatoren für einen „guten mengenmäßigen Zustand“ bzw. einer „guten chemische Qualität“ des Karstgrundwassers“. Diese haben sich an den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union und den spezifischen Gegebenheiten des Karbonat(karst)wassers im Gegensatz zu Poren- und Kluftgrundwässern in kristallinen Gebieten zu orientieren.
- Erstellung eines Leitfadens zur Information und Anleitung von im Rahmen kleiner Wasserversorger tätigen Ingenieuren und Behörden über die Gefahren und Schutzmethoden für Karbonat(karst)wasser.
- Erarbeitung von Grundwasser - Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten) von Karstwassergebieten, beginnend in Regionen (Gebirgsgruppen) großer Grundwasservorkommen und hoher Wahrscheinlichkeit der Grundwasserverunreinigung.
- Ausbau und Betrieb des österreichischen Niederschlags-Isotopenmessnetzes, um die Eingangsinformationen zu erhalten, die eine genauere Altersdatierung und Höhenlagenbestimmung der Einzugsgebiete von Karbonat(karst)gebieten erst ermöglichen.
- Erweiterung von Wassergüteehebungen in Karbonat(karst)gebieten um bakteriologische Routineparameter und den Parameter des Gesamtkohlenwasserstoffes, um Ausmaß und Quellen dieser Belastungen besser abklären zu können.
- Wasserwirtschaftliche Erhebung von alpinen Einzelobjekten mit touristischer Nutzung und deren karsthydrogeologische Bewertung, um wesentliche Beeinträchtigungen des Karbonat(karst)wassers durch diese ausschließen zu können.
- Populärwissenschaftliche Informationsblätter zur Aufklärung der Bewohner über die Gefahren und die Notwendigkeit des aktiven Karstwasserschutzes.

*Forschungsinitiativen:*



- Erarbeitung von kombinierten mikrobiologisch-chemischen Methoden, die die Herkunft von mikrobiologischen Belastungen (häusliche Abwässer – Weidevieh – Wildbestand) erkennen lassen. Das Karbonat(karst)wasser soll schon im Einzugsgebiet geschützt und nicht erst an der Quelle aufbereitet werden.
- Erfassung und semiquantitative Abschätzung des Eintrages von ferntransportierten Schadstoffen in die österreichischen Karstwassergebiete durch moderne Tracer- und Isotopenmethoden.
- Europäische Kooperation zur Erarbeitung einer oder mehrerer einheitlicher Methoden der Grundwasser – Empfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung).
- Weiterentwicklung von Fernerkundungsmethoden (Flug- und Satellitenaufnahmen) zur rascheren Erstellung der oben genannten Grundwasser – Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten).
- Auswertung und Interpretation von Niederschlags-Isotopenmodellen, um eine gute wissenschaftliche Basis für die Altersbestimmung von Karbonat(karst)wässern zu schaffen bzw. die höhenmäßige Einstufung deren Einzugsgebiete zu verbessern. Überdies sollen die Langzeitreihen der Isotopenniederschlagsmodelle die allgemein postulierten klimatischen Änderungstrends in Österreich frühzeitig erkennen helfen.

Um diese Verbesserungen im Karstwasserschutz zu erreichen, bedarf es einer intensiven Zusammenarbeit der zuständigen Behörden (Bund – Länder), der Bevölkerung und der einschlägigen außeruniversitären und universitären wissenschaftlichen Institutionen.

## Abstract

The Federal Environment Agency is legally obliged to report on the state of the environment using environmental and sustainable development indicators. In addition, methods suitable for mitigating adverse environmental impacts at source should be recommended and developed. Given the importance of carbonate (karst) groundwater for drinking water supply (50%) and their ecological significance (~22% of the Austrian surface area), this report will propose strategies for improving their protection. These are based on the results of a questionnaire survey (Part 1), basic facts concerning carbonate (karst) water and recommendations for practical and scientific investigations (Part 2). As Austria is one of the first countries to develop a protection strategy for carbonate(karst) areas comments and suggestions are highly wellcomed.

The **1<sup>st</sup> part** is based on the results of a questionnaire survey to which 63 individuals involved in karst water supply or research throughout Austria responded. Of the 234 suggestions made the most are summarised in this report.

The protection of the karst water is, from a legal and technical viewpoint, satisfactorily regulated by the ÖVGW (Austrian Association for Gas and Water) guidelines for water protection and prevention areas, the Austrian Water Law and the ÖWAV (Austrian Water and Solid Waste Management Association) guidelines on the use and protection of karst water used for drinking.

For the delineation of karst water protection areas the results of dye tracer analysis, accurate hydrogeological mapping and the repeated sampling of springs have proved themselves to be of particular use.

The main contaminants are bacteria, mineral oils and gasoline as well as nitrate loading, the main sources of which are mass tourism and agriculture, particularly from high livestock densities and arable farming.

The responses to the questionnaire on the karst water resources depend partly on the location of the respondent. Nevertheless many consider that the Dachstein (Upper Austria, Styria), Toten (Upper Austria), Hagen and Tennen (both Salzburg) mountains are important for water supply. Particular attention, including monitoring, should be paid to existing contamination in the Dachstein, the Villach Alps (Carinthia) and all karst areas with relatively high population densities. Where such contamination endangers drinking water supplies the construction of microbiological treatment and drinking water treatment plants is necessary.

Long dry periods may damage vegetation and lead to drinking water supply shortages, which should be prevented by creating reserve wells in porous aquifers.

In the **2<sup>nd</sup> part** a summary of the following information on carbonate (karst) groundwater and 12 recommendations for the improvement of groundwater protection in Austria are given.

Generally the quantity and quality of carbonate(karst) groundwater in Austria is satisfactory. However carbonate(karst) groundwater and karst areas in general are under threat from certain point and diffuse sources:

- microbiological pollution from sewage (tourism), high livestock and game densities.
- widespread, persistent pollution by long-range contaminants, which is concentrated by high precipitation rates in Alpine regions, accumulation mechanisms and the short-term mobilisation during snowmelt.
- pollution, which results from intensive tourism, forestry or industry.

These are frequently of hydrocarbon products and chlorinated hydrocarbons, which in these particularly sensitive carbonate(karst) areas (with negligible or eroded soil cover and the quick transfer to springs) cause rapid and severe pollution of groundwater.

As the guidelines and laws were generally considered to be sufficient the following practical and scientific initiatives should be undertaken to improve the protection of karst waters and landscapes in Austria.

*Practical Recommendations: (see Tab. 2.9.1.; p. 74)*

- Development of criteria and environmental indicators for the good quantitative and good chemical status of carbonate(karst) groundwaters. These should be in accordance with the European Water Framework Directive and can differ from those in porous media.
- Publication of a manual to inform and guide engineers and authorities working for small water companies of the dangers and protection methods for carbonate (karst) waters.
- Development of groundwater vulnerability maps in carbonate(karst) areas, beginning in areas with large groundwater reserves and elevated potential of anthropogenic pollution.
- Extension and running of the network monitoring isotopes in precipitation in Austria to allow a more precise estimate of the age and altitude of infiltrating groundwater.
- Extension of the Austrian water quality monitoring programme or other monitoring programmes to include microbiological and total hydrocarbon parameters in order to be able to explain the extent and source of such pollution.
- Investigation of particular tourist facilities and their evaluation from a karst hydrological perspective in order to exclude significant pollutants from such sources.
- Provision of public information handouts to explain the threats and the necessity of vigilant protection of karst waters to the local population.

*Research activities:*

- Development of mixed microbiological-chemical fingerprint techniques in order to determine the origin of microbiological contamination (domestic wastewater, pasture, game). Carbonate(karst) groundwater should be protected at its source (recharge area) instead of being treated before supply.
- Monitoring and semi-quantitative estimates of long-range contamination of carbonate(karst) recharge areas using modern tracer and isotope techniques.
- European co-operation in the development of one or more groundwater vulnerability assessment methods.
- Further development of remote sensing techniques (aerial and satellite photography) for the rapid production of the aforementioned groundwater vulnerability maps.
- Evaluation and Interpretation of precipitation-isotope models to improve the scientific basis of dating groundwater and to evaluate the mean altitude of recharge areas. In addition, long-term monitoring of the precipitation models should detect trends in climatic changes in the Alpine areas at an early stage.

In order to achieve these improvements in the protection of carbonate(karst) groundwater there needs to be intensive co-operation between the competent authorities (national and provincial), citizens and academia.

## Vorwort

Nach der neusten geologischen Übersichtskarte (EBNER et al., 1997) sind an ungefähr 18000 km<sup>2</sup>, das sind 22% des österreichischen Bundesgebietes, überwiegend Karbonatgesteine anstehend. Nach vorsichtigen Schätzungen sollen 15% des Bundesgebietes verkarstet sein (TRIMMEL, 1998). Die einzelnen Karbonat(karst)gebiete sind recht unterschiedlich, aber überwiegend in den alpinen Nördlichen und Südlichen Kalkalpen gelegen. Die Hydrogeologie der Karbonat(karst)gebiete kann relativ einfach oder durch Unterschiede in der Karstentwicklung, im stratigraphischen Alter, in der tektonische Struktur sowie durch die unterschiedliche Umkristallisation der Gesteine sehr komplex sein.

Das Wort „Karst“ ist die deutsche Bezeichnung für das slowenische Kalksteinplateau „Kras“ über der Bucht von Triest am nördlichsten Teil des Mittelmeeres. Dieses Plateau ist 40 km lang und 13 km breit und nimmt in 200-500 m Seehöhe 440 km<sup>2</sup> ein. Der Name Karst wurde im 17. –19. Jahrhundert als geographische Landschaftsbezeichnung in die wissenschaftliche Literatur eingeführt. Das namensgebende ursprüngliche „Karst“-Plateau bestand damals, im Gegensatz zu heute, aus nacktem Fels, und weist weiters keinen Oberflächenabfluss und die typischen morphologischen Karststrukturen wie Karren, Dolinen etc. auf. Das antike Wort „ka(r)a“ für Stein war der Ursprung für den alten Regionsnamen „Carusardus“ bzw. „Carsus“ aus dem in den dort gesprochenen Sprachen Karst (deutsch), Kras (slowenisch) und Carso (italienisch) wurde (KRANJC, 1997).

In der klassischen Definition sind Karstgebiete durch lösliche Gesteine (Kalksteine, Dolomite, Gips, Anhydrit, Steinsalz etc.) aufgebaut und durch das weitgehende Fehlen der Oberflächenentwässerung charakterisiert. Dazu gehört eine Kombination von typischen geomorphologischen Strukturen wie: Karren, Dolinen, Uvalas, Höhlen, Quellen, unterirdisch fließende Bäche und Flüsse, Poljen etc. ; wie sie auch heute noch in der namensgebenden Region Kras in Slowenien noch vorkommen.

Im weitesten Sinn ist jedes Gebiet, das durch lösliche Gesteine (insbesondere Karbonatgesteine) aufgebaut wird, ein potentiell Karstgebiet. Die Variation von Karbonatgesteinen reicht von nur geklüftetem Gestein, ohne nennenswerte Lösungserweiterung (häufiger in Dolomiten), bis zu stark verkarsteten Gesteinen mit einem intensiven Netz von Karsthöhlen und einzelnen großen Karstquellen (häufiger in Kalksteinen). Da aber der Verkarstungsgrad an der Oberfläche oft nur schwierig einzuschätzen ist, wird im Folgenden meist von „Karbonat(karst)gesteinen und -gebieten“ die Rede sein.

Dieser Bericht soll als Diskussionsgrundlage für praktische und wissenschaftliche Schutzmassnahmen in österreichischen Karstgebieten dienen. Er basiert über die Fragebögen hinaus auf intensive Diskussionen mit zahlreichen Kollegen. Da Österreich unter den ersten Ländern ist, die für Karbonat(karst)gebiete eine eigene Schutzstrategie erarbeitet, sind Rückmeldungen erwünscht.

# **STRATEGIE ZUM SCHUTZ DER KARSTWASSERGEBIETE IN ÖSTERREICH**

## **TEIL 1**

### **1 PROBLEMANALYSE IN FORM DER AUSWERTUNG EINER FRAGEBOGENAKTION**

# 1. PROBLEMANALYSE IN FORM DER AUSWERTUNG EINER FRAGEBOGENAKTION

## 1.1 Einführung Fragebogenaktion

Ziel dieses vom Umweltbundesamt erstellten Fragebogens war es, die breite Mitwirkung von möglichst vielen Personen, die mit der Verteilung und dem Schutz des Karstwassers betraut sind oder sich verantwortlich fühlen, zu erreichen und deren Ideen und Erfahrungen in einen Projektendbericht aufzunehmen.

Weitere Anliegen der ausgesandten Fragebogen waren:

1. Die Herausstreichung von bewährten und neuen Methoden im Karstwasserschutz. Diese können ganz einfacher Art sein oder hohen technischen Aufwand erfordern.
2. Die Klärung des Bedarfs an verwaltungstechnischen Regelanweisungen, die den Karstwasserschutz verbessern helfen.
3. Die Auffindung von Karstgebieten, in denen der bisherige Grundwasserschutz Schwächen gezeigt hat oder die einer besonderen Aufmerksamkeit bedürfen.

Für jede Frage waren mehrere Antworten zugelassen. Die unter den einzelnen Fragen angeführten Antworten wurden soweit als möglich nach ihrer Häufigkeit gereiht und mit schlagwortartigen Kommentaren einzelner Beantworter (in Klammern) ergänzt. Es soll in diesem Bericht absichtlich *keine Wertung* der Antworten durchgeführt werden, sodaß die Häufigkeit einer Antwort nicht unbedingt etwas über den wahrscheinlichen Nutzen für den Karstwasserschutz aussagen muß. Es soll diese Auswertung absichtlich nicht eine Sammlung von wissenschaftlich dokumentierter Fakten sein, sondern *nur die Einschätzung der mit den Karstwässern befassten Personen widerspiegeln* und als Ideensammlung für den Karstwasserschutz dienen.

Alle eingesandten Fragebögen wurden *vertraulich behandelt*. Nur Personen oder Institutionen, die im Fragebogen „Soll ihr Namen oder ihre Institution angeführt werden“ mit „Ja“ antworteten, werden in dem Bericht als Beitragende namentlich angeführt.

## 1.2 Beantwortende Personen und Institutionen

Der Fragebogen wurde an 191 Institutionen oder Personen geschickt, die aus praktischen (Forstämter, Höhlenfahrer, Ingenieurkonsulenten, Kraftwerksbetreiber, Landesämter, Wasserwerke etc.) und wissenschaftlichen Gründen (Bundesinstitute, Forschungsanstalten, Universitäten etc.) mit Karstwasser befaßt sind. Es wurden 63 (33%) ausgefüllte Fragebogen zurückgesandt. Es wurden Fragebögen aus allen Bundesländern retourniert, mit einer gewissen Vormacht aus den Bundesländern Steiermark, Tirol und Wien (je ungefähr 17%), und in einem ausgewogenen Verhältnis von Praktikern und Wissenschaftlern beantwortet.

Folgenden Personen und Institutionen und 23 anonymen Beantwortern **sei für ihre Mitarbeit herzlich gedankt:**

R. Benischke	Inst. f. Hydrogeologie, Joanneum Research Graz
H. Biasi	Wasserwirtschaft, Baubezirksamt Kufstein
R. Braunstingel	Landesgeologischer Dienst, Amt der Salzburger Landesregierung
Ebner	Wasserleitungsverb. Unteres Pitten- u. Schwarzatal

---

T. Ehrendorfer	Abt. B/3-D - Hydrologie, Amt d. Niederösterreichischen Landesregierung
E. Fabiani	Abt. IIIa - Hydrographie - Amt d. Steiermärkischen Landesregierung
M. H. Fink	Büro f. Angewandte Geographie
W. Gadermayr	Hydrologische Untersuchungsstelle Salzburg (R. Haider)
M. Geiger-Kaiser	Ref. 13/04 Gewässeraufsicht - Amt d. Salzburger Landesregierung
F. Habart	Gebietsbauamt II - Amt d. NÖ Landesregierung
R. Häberli	Schweizer Nationalfond zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung
W. Habermann	Wasserwerk Stadtgemeinde Mürzzuschlag
P. Hacker	Abt. Hydrogeologie, BFPZ - Arsenal
T. Harum	Inst. f. Hydrogeologie, Joanneum Research Graz
H. Häusler	Inst. f. Geologie, Universität Wien
H. Hautz	Ellmau
G. Heißel	Ref. Landesgeologie, Amt d. Tiroler Landesregierung
U. Herzog	Uabt. Geologie, A. d. Kärntner Landesregierung
G. Humer	Technisches Büro f. Kulturtechnik, Geboltskirchen
K. Jaksch	
W. Kollmann	Fachabt. Hydrogeologie, Geologische Bundesanstalt
Kramer	Amt. d. Niederösterreichischen Landesregierung
W. Kutzschbach	Abt. Wasserwirtschaft, A. d. Tiroler Landesregierung
F. Laaha	MA 31 Wasserwerke, Amt d. Wiener Landesregierung
W. Lohberger	Ziviling f. Kulturtechnik u. WW, Linz
J. Lueger	Ingenieurkonsulent f. Geologie, Leonhard a. F.
K. Mais	Abt. Karst- u. Höhlenkunde - Naturhist. Museum - Wien
O. Moog	Abt. Hydrobiologie, Univ. Bodenkultur
H. Nagl	Inst. f. Geographie, Univ. Wien
R. Pavuza	Abt. Karst- u. Höhlenkunde - Naturhist. Museum - Wien
H. Pilz	Gemeindeamt Hallstatt
F. Riepler	Fa. GeoConsult ZT GmbH
H. Stadlbauer	Gewässeraufsicht, Amt der Steiermärkischen Landesregierung
M. Steinkellner	Gebäudetechnik, Fachhochschule Pinkafeld
H. Sternig	Städtisches Wasserwerk Villach
E. Tentschert	Tiroler Wasserkraftwerke AG
H. Trimmel	Fachausschuß Karst, CIPRA - Österreich
H. Wimmer	Forstverwaltung Bad Aussee ÖBF
M. Wimmer	Hydrographischer Dienst, Amt d. Oberösterreichischen Landesregierung
H. Zojer	Inst. f. Hydrogeologie, Joanneum Research Graz

Abt. Wasserwirtschaft, Amt d. Steiermärkischen Landesregierung

Bayerisches Landesamt f. Wasserwirtschaft, München

Gruppe Wasser

Innsbrucker Kommunalbetriebe AG

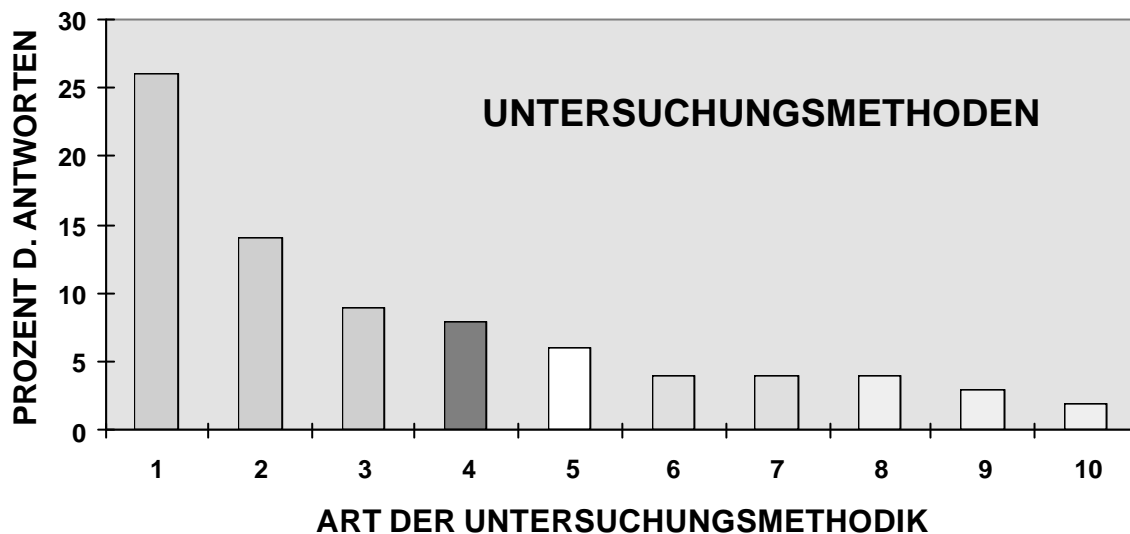
Landeswasserbauamt Bregenz, Amt d. Vorarlberger Landesregierung



### 1.3 Beantwortete Fragen:

#### 1.3.1 Karstuntersuchungsmethoden:

Welche Karstuntersuchungsmethoden sind besonders geeignet den Karstwasserschutz zu verbessern? Die Methoden sollten dem Grundsatz des relativ sparsamen Mitteleinsatzes und der raschen Erfassung von großen Karstgebieten entsprechen (Mehrfachnennungen und Literaturhinweise sind erwünscht):



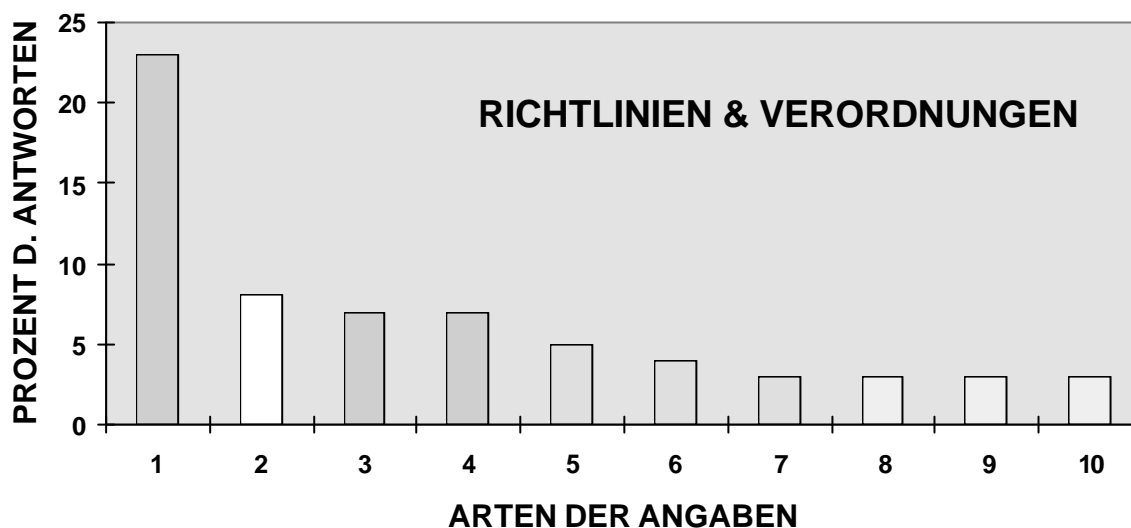
- |           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>1</b>  | <b>Tracer-Markierungs-Methoden</b> i. Allg. (Abgrenzung v. Quelleinzugsgebieten; Tracerversuch Untersberg: Ergebnis rasch, aber nach 10 Jahren noch immer Austritt von Tracerspuren bei Schneeschmelze; Hochwasser - Niederwasser, Salz- u. gefärbte Lycopodium-Tracer)   | <b>26%</b> |
| <b>2</b>  | <b>Quellaufnahme + Messungen</b> (Zeitraum täglich, flächendeckend, Temperatur, elektr. Leitfähigkeit, pH, Trübung)   | <b>14%</b> |
| <b>3</b>  | <b>Karstkartierung</b> (großmaßstäbig, hydrogeol., Großquellenhydrogeologie, interdisziplinär mit dem Schwerpunkt Geologie)   | <b>9%</b>  |
| <b>4</b>  | <b>Umweltisotope</b> (O-18, Tritium, Altersdatierung)   | <b>8%</b>  |
| <b>5</b>  | <b>Keine Angaben</b>  | <b>6%</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Luftbildauswertung</b> (auf Dolinen, Pflanzenbewuchs etc.; digitale Fernerkundung, „ground check“, „remote sensing“, Vorcharakterisierung von Karstüberdeckung mittels Fernerkundungsmethoden)   | <b>4%</b>  |
| <b>7</b>  | <b>Quantitative Messungen kontinuierlich</b> („on-line“)  | <b>4%</b>  |
| <b>8</b>  | <b>Qualitative Messungen kontinuierlich</b> (chem.-physik. Analysen)  | <b>4%</b>  |
| <b>9</b>  | <b>Erfassung + Quantifizierung v. Einflußfaktoren</b> (Gefährdungspotential z. B. Herlicska et al. 1994, Abgrenzung landwirtschaftlicher Flächen, - v. Bebauungen u. Einzelobjekten, - Luftschäden {Vegetation}; flächendeckende NO <sub>3</sub> -Untersuchungen; Karstwasserneubildung in Monokulturbereichen) | <b>3%</b>  |
| <b>10</b> | <b>Niederschlags- + Immissionsmessungen</b> (gew. Zeitraum täglich)   | <b>2%</b>  |

*Weitere Nennungen:*

- *Chemismus (Karstwasserqualität großräumig)*
- *Karstverbreitungs- u. -gefährdungskarten 1:50.000*
- *Abgrenzung durch natürliche Parameter wie z.B. Temperatur, SO<sub>4</sub> etc.*
- *Ausbau d. Karstquellen - Beobachtungsnetzes*
- *Bakteriologische Serienuntersuchungen (TRIMMEL & PAVUZA, 1988)*
- *Deckschichtkartierung*
- *Einbeziehung NGO-Mitarbeiter (z.B. Vb. österr. Höhlenforscher) i. Beobachtungs- u. Untersuchungsprogramme*
- *Einfluß der Methodik gering*
- *Erfassung der Naturdaten zur Bearbeitung der Gesamtwirkung (Ökologie)*
- *Karstkartierung (im Detail)*
- *Keine rasche Methodik*
- *Literatur (z.B. Zötl, Steir. Beitr. z. Hydrogeologie)*
- *Meteorologie*
- *Ökologische Funktionsfähigkeit (z.B. Biozönosen [Wasserechtsgesetz, BUNDESMINISTERIUM F. LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1959: 30(3), 105 (m)]) in Raumordnungs- u. Landschaftspflegeplänen*
- *Speläologie (Erforschung von Karsthöhlen f. Karstgefährdung)*
- *Untersuchungsprogramm nach dem „Stand d. Technik“ z.B. Villacher Alpe*

## 1.3.2 Verwaltungstechnische Regelanweisungen:

Welche verwaltungstechnische Regelanweisungen (Gesetze, Verordnungen, techn. Anweisungen etc.) könnten den Karstwasserschutz in Österreich verbessern helfen?



- |           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>1</b>  | <b>Schutz- u. Schongebietsverordnung</b> (ähnlich ÖVGW (1995) W 72 für zukünftig nutzbare Karstwassergebiete, Ableitung v. Abwässern aus zukünftigen Schutzgebieten; forstlich-landwirtschaftlich sowie touristische Beschränkungen, Abwässer v. Hütten, Festlegung v. Einzugsgebieten) | <b>23%</b> |
| <b>2</b>  | <b>Keine Angaben</b>  | <b>8%</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Wasserrechtsgesetz</b> (1959; spez. Berücksichtigung d. Karstwassers, Novelle 1990 mit Aufnahme von Verboten u. Nutzungsbeschränkungen, konsequente Anwendung; quantitativer Grundwasserschutz bei Baumaßnahmen, insbesondere Tunnelbau)   | <b>7%</b>  |
| <b>4</b>  | <b>ÖWAV-Regelblatt 201</b> (1984b, Leitlinie f. d. Nutzung u. d. Schutz von Karstwasservorkommen f. Trinkwasserzwecke)  | <b>7%</b>  |
| <b>5</b>  | <b>Kein weiterer Bedarf</b> (Regelungen ausreichend, doch besser abgestimmt)  | <b>5%</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Bundesgesetzliche Regelungen</b> (Gesetze; Landnutzung, Düngung, Eintrag d. Bebauung, Kanalisation, Einzeleintrag; zentraler Abruf v. Informationen)   | <b>4%</b>  |
| <b>7</b>  | <b>Regeln und Richtlinien ÖWAV, ÖVGW u. DVGW überarbeitet</b>   | <b>3%</b>  |
| <b>8</b>  | <b>Landesnaturchutzgesetze</b> (direkter Bezug auf Karstwasserschutz; Naturschutzverordnungen.)   | <b>3%</b>  |
| <b>9</b>  | <b>Vollzugsdefizit beseitigen</b> (stärkere Kontrolle, örtliche Kontrollorgane)   | <b>3%</b>  |
| <b>10</b> | <b>Meldepflicht v. Markierungsversuchen</b>   | <b>3%</b>  |

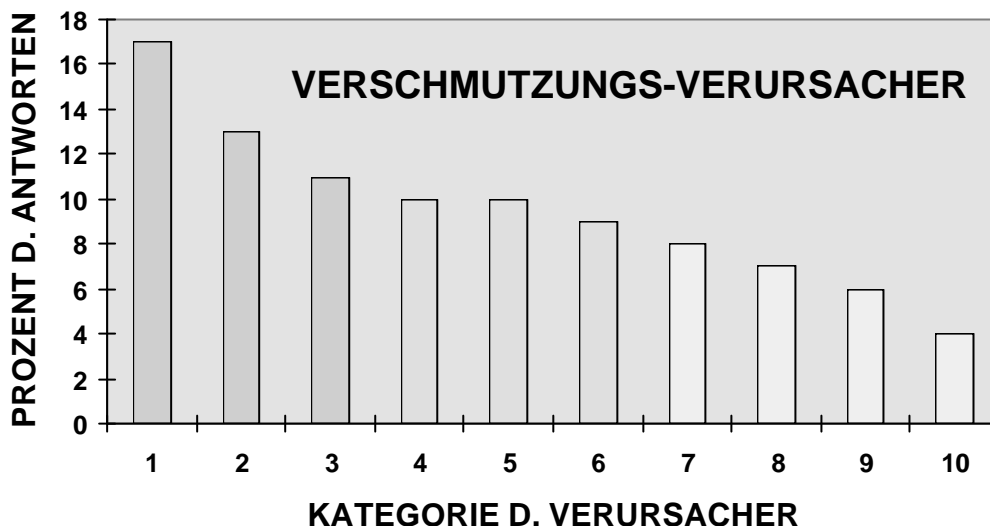
Weitere Nennungen:

- Meldung von Untersuchungen an das Umweltbundesamt als Kataster
- Naturschutzgebiet

- *ÖWAV-Regelblatt 1 (1997, Richtlinien f. d. Gewässerschutz im Hochgebirge)*
- *Abwasserreinigungsanlagen in alpinen Gebieten*
- *Abwasserverordnung für Schutzhütten, Skigebiete u. touristische Infrastruktur*
- *Begutachtung der Karstwassersituation und Umsetzung in Erkenntnissen in Gesetzesentwürfen*
- *Bessere Förderung v. Reinhaltmaßnahmen*
- *Besserer Schutz durch weniger und einfachere Normen*
- *BGBI. 345/1973 (zum Schutze d. Wasservorkommen im Hochschwabgebiet)*
- *Emissionsverordnungen*
- *Häufigere Beprobungen und hygienische Untersuchungen (ev. nach Niederschlägen)*
- *Imageaufwertung des Karstwassers (Schützbarkeit, Qualität als Trinkwasser)*
- *Internationale Regelungen (Ferneintrag)*
- *Karstgrundwasserschutz*
- *Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. (BGBL, 1998)*
- *Meldung von gemeindeüberschreitenden Gefährdungen an zentrale Stellen (Netzwerk: BMfU o. BMLF)*
- *ÖNORM M 6232 u. Fauna Aquatica Austriaca (MOOG, 1995)*
- *ÖWAV-Regelblatt 25 (1992, Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten)*
- *ÖWAV-Regelblatt 301 (1984a, Leitfaden für den natur- u. landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern)*
- *Regionale Verordnungen der Bezirkshauptmannschaften nach wissenschaftlich festgestellten Einzugsgebieten von Karstquellen*
- *Richtlinie im Detail für Gemeindeadministration (Unterstützung auf Kommunalebene)*
- *Salzburger Höhlengesetz (LANDESGESETZBLATT SALZBURG, 63/1985) mit Schutzbestimmungen*
- *Schutzverordnung für Quellaustritte*
- *Stärkung d. Wasserrechts gegenüber Bergrecht- u. Berggesetz*
- *Strikte Folge: 1) Hydrogeologische Untersuchungen 2) Wasserrechtsverfahren 3) Entnahme nach Konsensmenge*
- *Wassergütererhebungsverordnung (WGEV; BMLF, 1991)*
- *Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung*
- *Zentrale Datei (Datenbankaufbau betreffend Untersuchungen v. Maßnahmen in Karstgebieten)*

## 1.3.3 Verschmutzungsverursacher:

Welche Aktivitäten haben nach Ihren Erfahrungen einen besonders hohen Anteil an der negativen Beeinflussung von Karstwasservorkommen? (Nennen Sie die drei häufigsten od. stärksten)



<b>1</b>	<b>Massentourismus</b> (Hotels, Parkplätze, Autostraßen, Seilbahnen, Wandertourismus, Abwasserbeseitigung)	<b>17%</b>
<b>2</b>	<b>(Intensiv-)Landwirtschaft</b> (im Einzugsgebiet, Tierhaltung, unsachgemäße Düngung, Pestizide, im voralpinen Karst)	<b>13%</b>
<b>3</b>	<b>Intensive Alm- (Vieh)wirtschaft</b> (Wege, Steige, Erosionsrinnen, Dung, Vegetationsschädigung durch Überweidung)	<b>11%</b>
<b>4</b>	<b>Güterwegebau und Verkehrserschließung</b> (Forststraßen, Bodenerosion, Abwasserbeseitigung; Streusalz von hochgelegenen Straßen)	<b>11%</b>
<b>5</b>	<b>Bergtourismus und Schutzhütten</b> (Beherbergungs- und Ausschankbetriebe; fehlende oder mangelhafte Abwasserreinigungsanlagen bzw. Müllentsorgung, Ableitungen in den Bach oder in hochalpinem Karst)	<b>10%</b>
<b>6</b>	<b>Belastungen aus Atmosphäre</b> (Luftschadstoffe, nachweisbare org. Schadstoffe, Niederschläge, Saurer Regen, Industrie, Verkehr, Städte)	<b>9%</b>
<b>7</b>	<b>Skibetrieb</b> auf Gletschern z. B. Dachstein;) Vegetationsschäden durch Schipisten und Lifte z. B. Kitzbüheler Horn)	<b>8%</b>
<b>8</b>	<b>Unbefugte / unzulängliche Abwasserentsorgung</b> (ungeordneter Anfall v. Abwassern; Fäkalabwässer; Schadstoffeinsickerung bei Unfällen)	<b>7%</b>
<b>9</b>	<b>Abfälle, Müll, Deponien</b> (ungeordneter Anfall von Abfall; z.B. bewirtschafteter Almen in Schächten: Medikamente, Farbdosen, Altöl, Viehkadaver)	<b>6%</b>
<b>10</b>	<b>„Verhüttelung“</b> (Bauten, Senkgruben; Bauvorhaben in großer Höhe)	<b>4%</b>

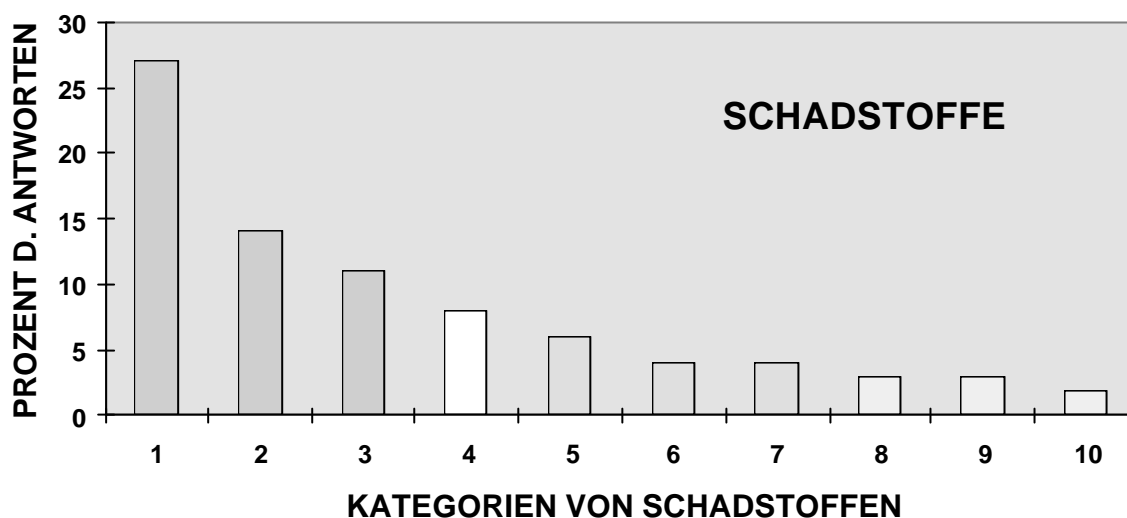
- *Jagdwirtschaft (durch hohen Wildbestand)*  
**3%**
- *Kahlschlägerungen*  
**2%**
- *Trübung bei Starkregenereignissen (Belastung durch Schwebstoffe)*  
**2%**
- *Eintrag ungeklärter Wässer (z.B. Mühlauer Stollen/ Innsbruck)*  
**2%**

Weitere Nennungen:

- *Unfälle in Kernanlagen (Atomreaktoren, radioaktive Stoffe)*
- *Keine Angaben*
- *Beschneigungsanlagen*
- *Untertage-Abbauarbeiten (z.B. Tunnelbau, Bergbau)*

## 1.3.4 Schadstoffe:

Was sind nach Ihrer Erfahrung oder Vermutung die häufigsten (Analysen od. Verdacht) Schadstoffe?



- |           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>1</b>  | <b>Bakteriologisch/hygienische Belastungen</b> (Abwasser- u. Fäkalkeime, Trübung behind. Entkeimung, Coli Bakterien, Weidevieh, Wildtiere, Fäkalien) z.B. Villach Dobratsch, Untersberg, Osterhorngruppe | <b>27%</b> |
| <b>2</b>  | <b>Mineralöle + Treibstoffe</b> (Kohlenwasserstoffe [KW] ; von Schutzhütten, Seilbahnen, Pistengeräten u. Generatoren, Straßen; auch Verbrennungsrückstände;Kerosinausstoß)                              | <b>14%</b> |
| <b>3</b>  | <b>Nitrat (NO<sub>3</sub>)</b>   | <b>11%</b> |
| <b>4</b>  | <b>Keine Angaben</b>   | <b>8%</b>  |
| <b>5</b>  | <b>Trübungen</b> (z.B. nach Forststraßenbau, Feststoffe aus ausgewaschenen Böden, Erosion durch Starkregenereignisse, org. Substanzen) z. B. Mühlauer Quelle   | <b>6%</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Atomarer Fallout</b> (AKW-Unfälle, Cs-137)  | <b>4%</b>  |
| <b>7</b>  | <b>Infiltration von luftverfrachteten Schadstoffen</b> (Abgase von Wohn- u. Industriegebieten)   | <b>4%</b>  |
| <b>8</b>  | <b>Ammonium (NH<sub>4</sub>)</b>   | <b>3%</b>  |
| <b>9</b>  | <b>Pestizide</b> (Pflanzenschutzmittel - PSM)  | <b>3%</b>  |
| <b>10</b> | <b>Schwermetalle</b>   | <b>3%</b>  |
|           | • Chlorid  | <b>2%</b>  |
|           | • Industriechemikalien   | <b>2%</b>  |
|           | • keine Belastung  | <b>2%</b>  |

- *Kontamination durch Fremdwässer (z. B. Leckage von Stollen eines Kraftwerkes)*  
**2%**
- *Nitrit (NO<sub>2</sub>)*  
**2%**
- *Organische Verunreinigungen (aus Abwasserbeseitigung)*  
**2%**
- *Phosphor-Verbindungen*  
**2%**
- *Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) - Sulfat (SO<sub>4</sub>)*  
**2%**

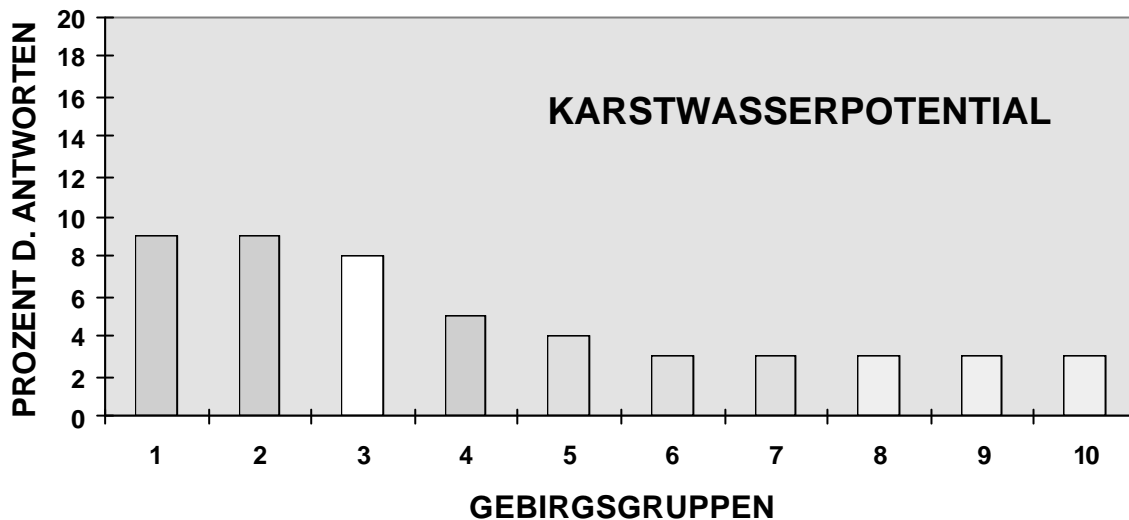
*Weitere Nennungen:*

- *Aluminiumgehalt*
- *Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)*
- *Düngemittel (Kunstdünger)*
- *Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)*
- *Kalium*
- *Waschmittel (Geschirrspülmittel)*



## 1.3.5 Karstwasserpotential:

Welche Karstgebiete bedürften Ihrer Meinung nach einer bevorzugten Untersuchung wegen Ihres hohen Karstwasserreichtumes? (Gebirgszüge, Gemeinden, Orte etc. und ev. auch Untersuchungsart)



<b>1</b>	<b><i>Dachstein-Gruppe</i></b>	<b>9%</b>
<b>2</b>	<b><i>Totes Gebirge</i></b>	<b>9%</b>
<b>3</b>	<b><i>Keine Angaben</i></b>	<b>8%</b>
<b>4</b>	<b><i>Hagen - Tennengebirge</i></b>	<b>5%</b>
<b>5</b>	<b><i>Loferer - Leoganger Steinberge - Steinernes Meer</i></b>	<b>4%</b>
<b>6</b>	<b><i>Voralpine Grünkarstgebiete (Kalkvoralpen)</i></b>	<b>3%</b>
<b>7</b>	<b><i>Allgäuer/ Lechtaler Alpen</i></b>	<b>3%</b>
<b>8</b>	<b><i>Osterhorngruppe</i></b>	<b>3%</b>
<b>9</b>	<b><i>Schneeberg-Rax</i></b>	<b>3%</b>
<b>10</b>	<b><i>Untersberg</i></b>	<b>3%</b>
	• <i>Nördliche Kalkalpen</i>	
	<b>2%</b>	
	• <i>Villacher Alpe (Dobratsch)</i>	
	<b>2%</b>	
	• <i>Natürliche Poren-Grundwasserfelder z.B. Tennengeb.-Lammertal; Hagen- gebirge-Bluntautal)</i>	
	<b>2%</b>	
	• <i>Almsee + umgebende Gebirge (Pufferfunktion d. Talquartärs)</i>	
	<b>2%</b>	

- *Gailtaler Alpen*  
2%
- *Gesäuseberge*  
2%
- *Hochschwab*  
2%
- *Höllengebirge (Weißbachtal, angrenzendes Trauntal)*  
2%
- *Kaisergebirge*  
2%
- *Karawanken*  
2%
- *Karstgebiete mit bestehender Quellnutzung oder Bedarf*  
2%
- *Karstwässer, die unterirdisch größere Lockersedimente alimentieren*
- *Karwendel*  
2%
- *Österreichweites Inventar (Kompilation)*  
2%
- *Sonnwendgebirge-Rofan*  
2%

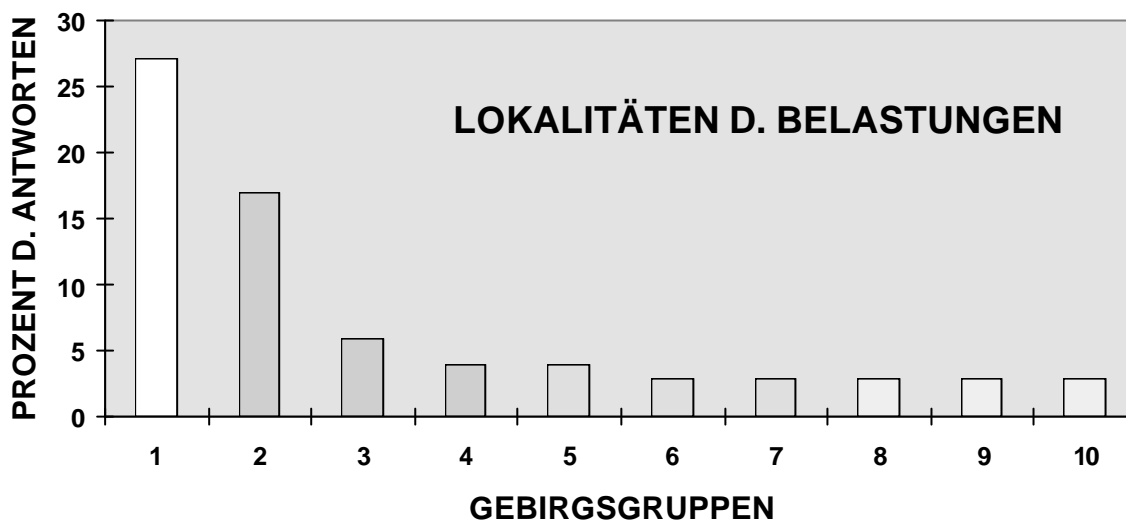
Weitere Nennungen:

- *Ausseerland*
- *Dolomitgesteinszüge (Anteil v. älterem Karstwasser)*
- *Ennstaler Alpen*
- *Gebiete mit wenig Information*
- *Göllmassiv*
- *Grazer Paläozoikum*
- *Hohe Tauern (Karstgebiete z.B. Hochtorn u. a.)*
- *Kalksteingebiet Raum St. Johann-Kirchdorf-Waidring*
- *Karnische Alpen*
- *Karststöcke der Nördlichen u. Südlichen Kalkalpen*
- *Karstzüge im Waldviertel (Wassermangelgebiete)*
- *Leithagebirge*
- *Lienzer Dolomiten*
- *Minikarstvorkommen (z. B. d. Kitzbühler Alpen, - Horn)*
- *Mürztaler Alpen*
- *NÖ - Kalkalpen*

- *Salzatal*
- *Salzburger Kalkalpen*
- *Stangalm Mesozoikum (Bad Kleinkirchheim)*
- *Südalpen*
- *Wesentliche Karstgebiete bereits untersucht*
- *Wettersteingebirge*
- *Zentralalpine Karbonate - Klamm-Kalk-Zone*

## 1.3.6 Lokalität der Belastungen:

Welche Karstgebiete bedürften Ihrer Meinung nach einer bevorzugten Untersuchung wegen bereits erfolgter oder vermuteter Karstwasserverschmutzungen? (ev. auch Untersuchungsart)



<b>1</b>	<b>Keine Angaben</b>	<b>27%</b>
<b>2</b>	<b>Dachstein-Gruppe:</b> (Touristisch stark genutzte Bereiche, insbes. Schladminger-Hallstätter Gletscher, Skigebiet; Westabdachung - Kraftwerk-Gosau)	<b>17%</b>
<b>3</b>	<b>Villacher Alpe:</b> (=Dobratsch, Sommer- und Ski-Tourismus auch in Bleiberg; Bau- und Forstarbeiten; Luftschadstoffe aus Oberitalien, Einfluss des Atomkraftwerks-Krsko)	<b>6%</b>
<b>4</b>	<b>Alle Karstgebiete mit hohem Siedlungsdruck</b> (Randlagen v. Industriegebieten: Wr. Becken, Oberösterreich, Salzburg)	<b>4%</b>
<b>5</b>	<b>Totes Gebirge</b> (touristisch stark genutzte Bereiche z.B. Tauplitz, Loser)	<b>4%</b>
<b>6</b>	<b>Karstgebiete mit bestehender Quellnutzung</b> (fast alle gemeindeeigenen Trinkwasserversorgungs-Anlagen zu UV-Entkeimung gezwungen)	<b>3%</b>
<b>7</b>	<b>Schneeberg-Rax</b>	<b>3%</b>
<b>8</b>	<b>Steinernes Meer</b>	<b>3%</b>
<b>9</b>	<b>Osterhorngruppe</b> (Teile)	<b>3%</b>
<b>10</b>	<b>Salzburger Untersberg</b>	<b>3%</b>

Weitere Nennungen:

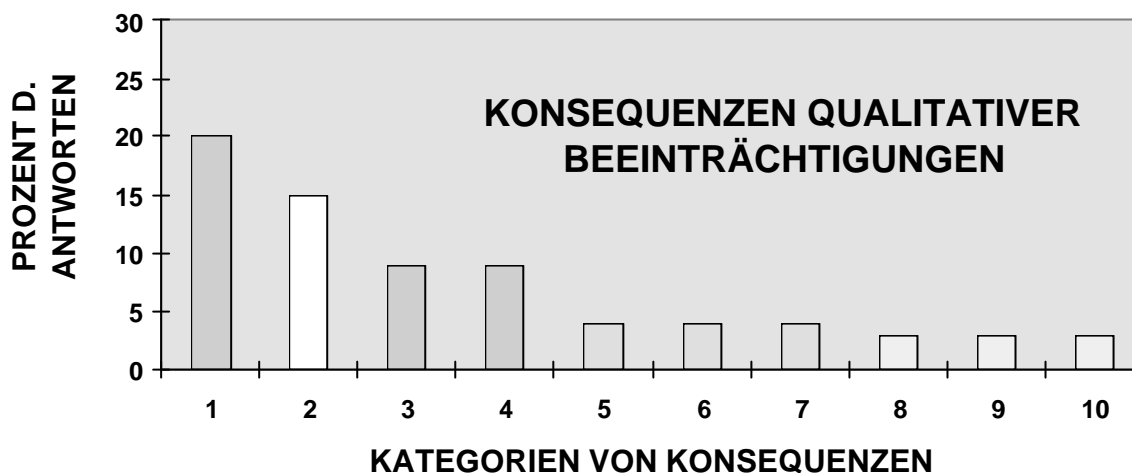
- Tauglgebiet (St. Kolomann)
- Gailtaler Alpen
- Gesäuse

- *Hochlantsch / Teichalpe*
- *Hochschwab*
- *Höllengebirge*
- *Karwendel*
- *Kleinräumige, örtliche Vorkommen*
- *Lechtaler Alpen*
- *Leithagebirge*
- *Loferer - Leoganger Steinberge*
- *NÖ-Kalkvorlpen (z.B. Traisentaler Kalkalpen)*
- *Ofen- u. Urbachtal (Ursulaquelle)*
- *Penninische Karstzüge des Tauernfenster*
- *Postalmgebiet (organisch-biologische Belastung d. seichten Karstes durch Almbewirtschaftung)*
- *Schneealpe*
- *Tennengebirge*
- *Vilser Alpen (Treibstoffablassung bei Warteschleifen vor dem Flughafen München)*
- *Wesentliche Karstgebiete bereits untersucht*

## 1.3.7 Beeinträchtigung des Karstwassers:

Was sind nach Ihrer Meinung die wesentlichen Konsequenzen einer

a) **qualitativen Beeinträchtigung des Karstwassers?** (Geben Sie Beispiele)

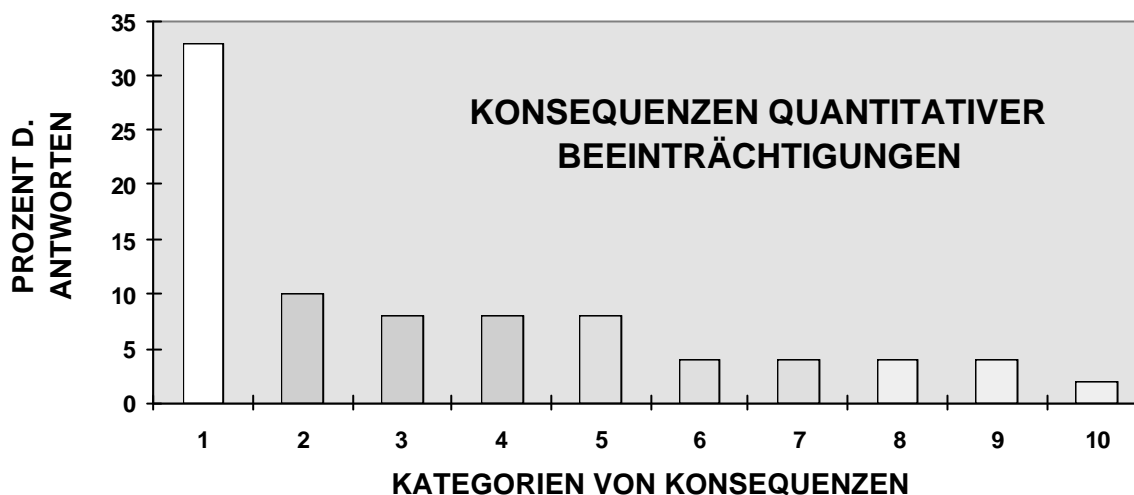


- |           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>1</b>  | <b>Errichtung einer kosten- u. betriebsaufwendigen Aufbereitungsanlage</b> (bei Trübung Flockung mit Filtration, Desinfektion, Erhöhung d. Wasserpreises, z. B. Hallstatt, Flachau, Faistenau, Zell a. See, Fusch a. d. Glstr., Rußbach, Mühlbach) | <b>20%</b> |
| <b>2</b>  | <b>Keine Angaben</b>   | <b>15%</b> |
| <b>3</b>  | <b>Gefährdung des Trinkwassers</b> (eingeschränkte Verwendung z.B. Hallstatt, Obertraun)   | <b>9%</b>  |
| <b>4</b>  | <b>Laufende Vorsorgeentkeimung</b> (UV- und Ozonaufbereitung, grundsätzlich für größere Versorger, Desinfektion)   | <b>9%</b>  |
| <b>5</b>  | <b>Erfordernis einer „Ausleitung“ bei bestehender Trinkwasser-Nutzung</b> , Hochwässer fallen durch den amtlichen Raster der chemisch-bakteriologischen Untersuchungen (Trübungseinbrüche in der Mühlauer Quelle bei Innsbruck)                    | <b>4%</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Ausweisung von Schongebieten</b> (Einschränkung d. Landwirtschaft, - der Besiedlung durch Gewerbe und Industrie; besonders Vorbehalte gegen Eingriffe in schutzwirksame Karstüberdeckungen z.B. durch Baugruben, Verkehrswegebauten)            | <b>4%</b>  |
| <b>7</b>  | <b>Kurzfristiges Aufsuchen einer alternativen Wasserversorgung</b> (Trinkwasser-Notversorgung)   | <b>4%</b>  |
| <b>8</b>  | <b>Erhöhte Anforderungen an die Abwasser- und Müllentsorgung in Tourismusgebieten</b>  | <b>3%</b>  |
| <b>9</b>  | <b>Ableitung von Abwässern außerhalb der Quelleinzugsgebiete</b> (Anschluß an die Ortskanalisation im Tal)   | <b>3%</b>  |
| <b>10</b> | <b>Karstwasser nach Überleitung in Porengrundwasser gewinnen</b> (Alimentation in Lockergesteine und Talfüllungen)   | <b>3%</b>  |

*Weitere Nennungen:*

- *Beeinträchtigung von Wasserversorgungsanlagen (Qualität)*
- *Drainage und Ableitungen in oberirdische Abflüsse*
- *(zeitweise) Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität, insbesondere bei dezentralen Trinkwasserversorgungsanlagen*
- *Anhebung der Wasserhärte (bei aggressiven Infiltraten)*
- *Einsatz von Beschneigungsanlagen nur unter besonderen Auflagen*
- *Einschränkung der Weideflächen-Düngung mit Gülle*
- *Gesundheitsgefährdung durch Aufnahme von Schadstoffen*
- *Gesundheitsgefährdung durch Reinigungsmaßnahmen?*
- *Keine Ableitungen aus Quelleinzugsgebieten für Kraftwerksnutzung*
- *Klimaabhängig, nicht beeinflussbar*
- *Laufende örtliche Kontrollen der Wasserberechtigten*
- *Strenge Auflagen und Verbote (z.B. Kärntner Wasserschongebietsverordnung, [LANDESGESETZBLATT KÄRNTEN 1992])*
- *Unbekannte Auswirkungen (zu große Mächtigkeit, zu heterogen)??*
- *Verbot von Untertage-Abbauarbeiten (z.B. Tunnelbau, Bergbau) oder Durchführung nur mit besonderen Auflagen*
- *Verbringung landwirtschaftlicher Abwässer außerhalb der Quelleinzugsgebiete*

b) Was sind ihrer Meinung nach die wesentlichen Konsequenzen einer **quantitativen Beeinträchtigung** des Karstwassers? (Geben sie Beispiele)



<b>1</b>	<b>Keine Angaben</b>	<b>33%</b>
<b>2</b>	<b>Aufsuchen einer Alternativlösung</b> (Fehlwasserbedeckungen nach Ausleitungen (Trübungen) durch Grundwasser bzw. Porengrundwasser in Reservebrunnen)	<b>10%</b>
<b>3</b>	<b>Vegetationsschäden und Verödung</b> (überhöhte Wassernutzung und zu dichte Verbauung; hohe Verdunstung, wenig Grundwasserneubildung)	<b>8%</b>
<b>4</b>	<b>Versorgungsengpässe durch Trockenperioden, aber auch durch Verkäufe in Rohrleitungen ins Ausland</b>	<b>8%</b>
<b>5</b>	<b>Keine Beeinträchtigungen bekannt</b> (genug Wasser vorhanden)	<b>8%</b>
<b>6</b>	<b>Verbundleitungen mit Nachbargemeinden</b> (in Wassermangelzeiten Abgabe von zusätzlichem Wasser an benachbarte Wasserversorgungsunternehmen)	<b>4%</b>
<b>7</b>	<b>Ausweisung von Schongebieten mit Beschränkungen</b> (Drainagebeschränkungen)	<b>4%</b>
<b>8</b>	<b>Neue Erschließungen durch Bauvorhaben</b>	<b>4%</b>
<b>9</b>	<b>Berg-, Kraftwerks-, Stollen- und Verkehrstunnelbau gesondert betrachten</b> (z.B. Druckstollen Strassen-Amlach, Semmeringstraßen- u. -bahntunnel)	<b>4%</b>
<b>10</b>	<b>Beeinträchtigung von lokalen Wasserversorgungsanlagen</b>	<b>2%</b>

Weitere Nennungen:

- Beeinträchtigung noch unberührter Ökosysteme
- Bodenerosion
- Dichte Monokulturen senken Karstwasserneubildungsraten dramatisch (Regen dringt kaum zum Boden vor)
- Entfall von künftigen Trinkwasserreserven
- Erfordernis einer Nach- bzw. Neufassung bei bestehender Trinkwasser-Nutzung



- *Naturnahe Gestaltung und Bewirtschaftung des Quelleinzugsgebietes*
- *Veränderung des Bergwasserhaushaltes und der Wasserbewegungen*

*Allgemeine Bemerkungen:*

*Begriff „Karst“ bzw. ausgeschiedene Grade der Verkarstung sollten definiert werden: z.B.*

- *leicht verkarstet: (Klüfte teilweise korrodiert)*
- *„medium“: Röhren etc. ausgelaugt*
- *sehr stark: großräumige Höhlensysteme*

*Vielleicht ist eine Unterteilung nach Fließ- bzw. Abstandsgeschwindigkeiten möglich.*

*Bei geringer oder nicht vorhandener Verkarstung würde auch ein Karbonat (Dolomit!) bzgl. Wasserwegigkeit einem klüftigen Kristallin entsprechen.*

#### **1.4 Schlussfolgerungen Fragebogenaktion**

Es ist nicht Aufgabe dieses 1. Teiles des Berichtes die zahlreichen Aussagen in den Fragebögen zu werten oder zu klassifizieren. Es ist jedoch angebracht auf einige Punkte einzugehen, die in Anbetracht weiterer zu setzender Schritte als interessant erscheinen.

Bedingt durch die zeitraubende Erfassung und Bewertung von Karbonat(karst)wassergebieten mit den traditionellen Untersuchungsmethoden (z.B. Detailkartierung, Quellaufnahme, Tracerversuche etc.) sind die im Moment in Erprobung stehenden Fernerkundungsmethoden auf ihre Tauglichkeit für rasche Vorentscheidungen zu prüfen. Diese können jedoch sorgfältige Grundwasser-Empfindlichkeits-Bewertungen („Vulnerability assessment“) der Karbonatgebiete nicht ersetzen. Das Umweltbundesamt nimmt gegenwärtig an einer europäischen COST-Arbeitsgruppe (europäische wissenschaftliche und technische Kooperation) über die Vereinheitlichung der Grundwasser-Vulnerabilitätskartierung von Karstwassergebieten teil.

Der fachlichen Unterstützung von kleinen Wasserversorgern und der Administration auf Kommunal- und Gemeindeebene sollte durch die Überarbeitung und Erstellung moderner Regelblätter Rechnung getragen werden (s. Kapitel 1.3.2). Dies gilt besonders für das in einzelnen Punkten veraltete ÖWAV-Regelblatt 201, das gegenwärtig in einem ÖWAV-Arbeitskreis auf neuesten administrativen und technischen Stand gebracht wird. Als Zielgruppe werden kleine Wasserversorgungsunternehmen, öffentliche Dienststellen und ausführende und betreuende Ingenieure betrachtet.

Da mikrobielle, bakteriologische Belastungen als das Hauptproblem in der ansonsten wenig belasteten Karstwasserversorgung angesehen werden, sollte zur effektiven Ursachenbekämpfung Methodenforschung betrieben werden, um die potentiellen Quellen wie häusliche und touristische Abwässer, Abwässer von Weidevieh oder von hohem Wildbestand differenzieren zu können.

Da sich aus verschiedenen Quellen wie z.B. Analyse von Niederschlagsproben, Moos- und Bodenproben ein gewisser Ferneintrag in den alpinen Karstgebieten abzeichnet, sollte der Versuch unternommen werden diesen in seiner Dynamik zu quantifizieren. Besonders um Trends ablesen zu können und rechtzeitig Gegenmaßnahmen zu treffen.

Bei der Neuerrichtung und Erweiterung von Trinkwassergewinnungsanlagen in Karstgebieten erscheint es als erfolgsversprechend die Wasserentnahme so einzurichten,

dass das alimentierende Karstwasser eine entsprechende Länge in einem Porengrundwasserleiter passiert. Dies ist in Bezug auf die Eliminierung von Schadstoffen ein interessanter Ansatz, der derzeit auch mit Erfolg bei der Fürstenbrunnquelle in Glanegg bei Salzburg angewandt wird.

# **STRATEGIE ZUM SCHUTZ DER KARSTWASSERGEBIETE IN ÖSTERREICH**

## **TEIL 2**

### **2 KARSTWASSERFAKTEN UND PRAKTISCH-WISSENSCHAFT- LICHE PROBLEMLÖSUNGSVORSCHLÄGE**

## **2 KARSTWASSERFAKTEN UND PRAKTISCH-WISSENSCHAFTLICHE PROBLEMLÖSUNGSVORSCHLÄGE**

### **2.1 Probleme von Karbonat(karst)wassergebieten**

Wie bereits erwähnt werden hier im 2. Teil des Berichtes die Probleme der Karbonat(karst)gebiete und die Problemlösungsvorschläge entsprechend der Literatur und vorangegangener Diskussion mit österreichischen und europäischen Experten aufgezeigt und diskutiert.

Eine besonders wertvolle Trinkwasserressource sind die Karbonat-Karstgrundwässer in den alpinen und voralpinen Lagen. Diese Wässer, die meist als Quellen zutage treten, tragen österreichweit zu ca. 50 Prozent zur Trinkwasserversorgung bei. Auch die Großstadt Wien sowie die Städte Salzburg, Innsbruck und Villach werden zum überwiegenden Teil aus Karstgrundwässern versorgt. Die Qualität dieser Wässer ist meist sehr hoch. Dennoch sind auch Karbonat(karst)grundwässer bedroht, wobei diese Bedrohung aus sehr unterschiedlichen Richtungen kommt (siehe detaillierte Beschreibung in Teil I Kap. 1.3.3 und Teil II Kap. 2.4; Abb. 2.1.1). So vielfältig wie die Bedrohungen, so vielfältig müssen auch die Gegenstrategien sein. Über die Verfahrenstechniken und Methoden hinaus, muss es jedoch Jedermann klar sein, dass Karstwasserschutz - in besonders gefährdeten Gebieten – nur durch Nutzungseinschränkungen oder Nutzungsverbote erfolgreich gewährleistet werden kann. Zur Abschätzung der Folgekosten, die für die Erhaltung einer Ressource in seinem natürlichen Zustand auflaufen, müssen von naturwissenschaftlicher Seite klare und nachvollziehbare Methoden angeboten und entwickelt werden. Dies gilt insbesondere in Regionen und Gebirgsgruppen, in denen die Ressource Karstwasser noch nicht genutzt wird und für die Zukunft in seinem ursprünglichen nicht verschmutzten Zustand erhalten werden soll.

Bereits im Nationalen Umweltplan (NUP, 1995) wurde auf die Hauptprobleme des Karst-Karbonatgrundwassers hingewiesen. Diese sind ohne bewusste Reihung:

- Fehlende Karstverbreitungskarten,
- mangelnde Kenntnis von Einzugsgebietsgrenzen von Karstgrundwässern und von regionalen Wasserbilanzen,
- Verletzung von Bodendeckschichten,
- „Wilde“ Deponien und Altstandorte,
- Schadstoffeintrag durch Luft und Niederschlag,
- Übererschließung durch Tourismus, Verkehr und Gewerbe sowie
- fehlende Leit- und Richtlinien zum Schutz von Karstlandschaften.

Auf diese Problempunkte wird in den folgenden Kapiteln kurz eingegangen, um mit Vorschlägen für praktische und wissenschaftlichen Aktionen zu enden.

### **2.2 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien**

Österreichische Gesetze aus dem Wasser, Forst-, Berg-, (Natur-)Höhlen- und Denkmalschutzrecht, die im weitesten Sinne den Karstwasserschutz betreffen wurden jüngst von TRIMMEL (1998) kurz beschrieben. ZETINIGG (1997) zeigt in einem Vergleich der deutschen Richtlinie für Trinkwasserschutzgebiete (DVGW, 1993) mit der österreichischen

für Schutz- und Schongebiete (ÖVGW, 1995), dass letztere nur sehr bedingt für Karstkarbonatgebiete geeignet ist.



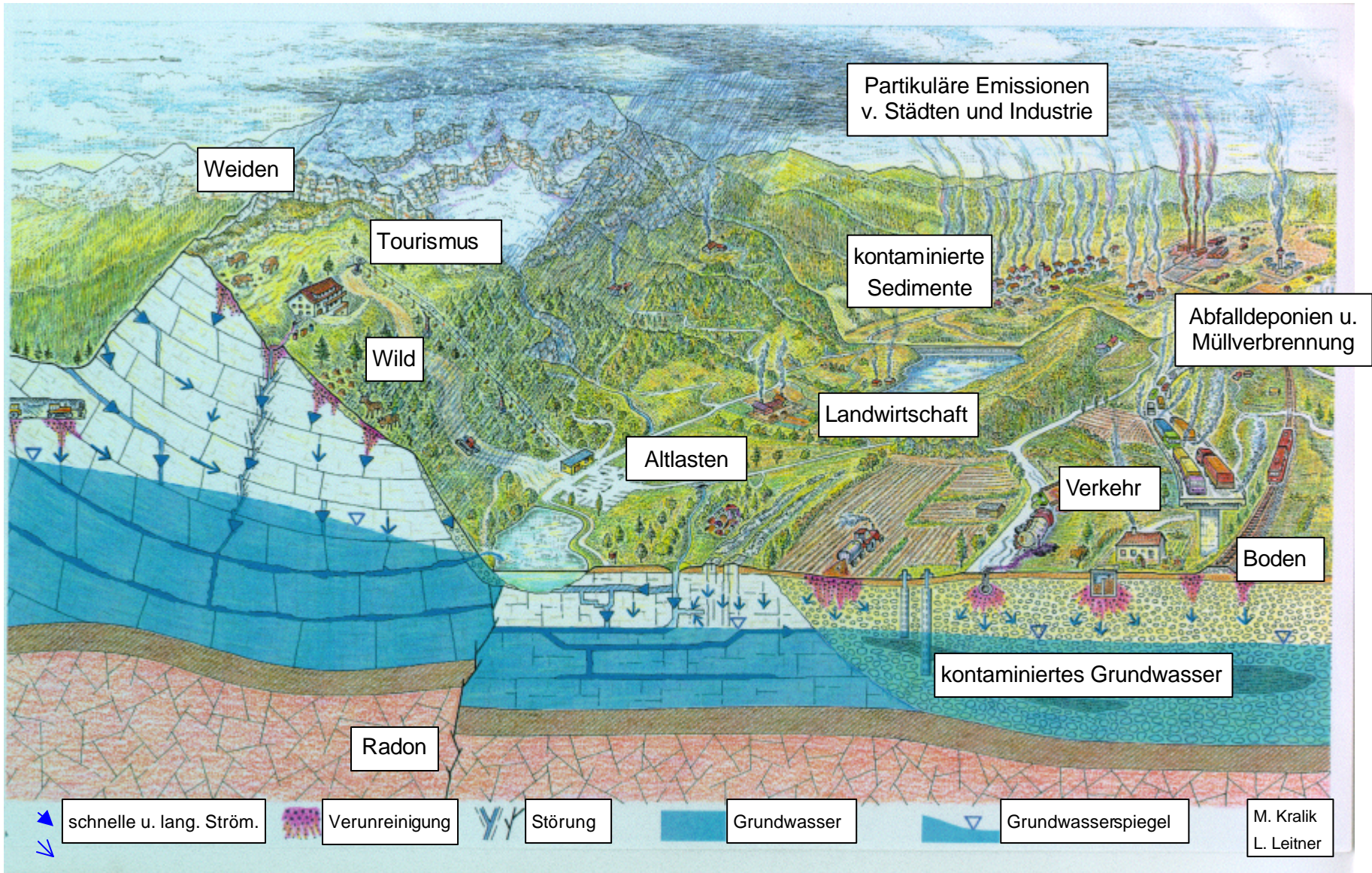


Abb.. 2.1.1 Häufige Verunreinigungsquellen (rot) in alpinen Karbonat(karst)- und in Porengrundwässern Österreichs (KRALIK, 2000).





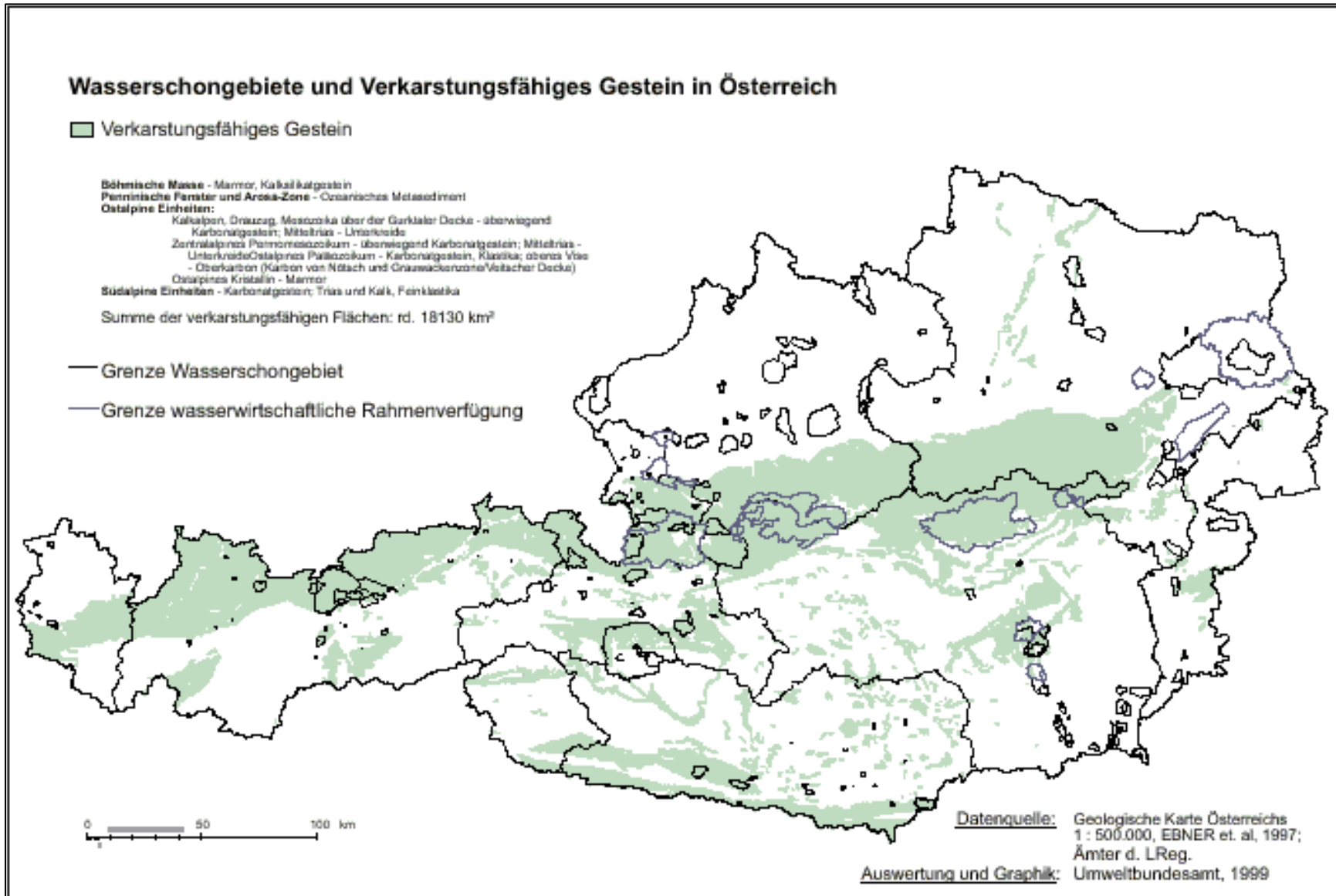


Abb. 2.3.1: Karbonatvorkommen (EBNER et al, 1997) und Wasserschongebiete bzw. Wasserrechtliche Rahmenverfügungen (ÖROK, 2000)



Wichtig für den aktiven Karstwasserschutz sind die Verordnungen über die Wassergütererhebung (WGEV, BGBL, 1991a), die zum regelmäßigen Monitoring von 181 Karbonat(karst)quellen in Österreich Anlass gab und in denen neben Trinkwasserricht- und –grenzwerten (BGBL, 1998), Pestizidgrenzwerte (BGBL, 1991c) und die noch strengeren Grundwasserschwellenwerte (BGBL, 1991b; 1997) überprüft werden (vgl. Kap. 2.4).

Mittlerweile wurde die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; EUROPÄISCHE UNION, 2000) beschlossen und wird auch für den Karstwasserschutz große Bedeutung erhalten. Sie fordert, dass in quantitativer und qualitativer Hinsicht ein guter Grundwasserzustand nachgewiesen werden muss. Zur Bewertung werden auf jeden Fall die europäische Nitrat- (RICHTLINIE DES RATES 91/676/EWG, 1991) und Pflanzenschutzrichtlinie (RICHTLINIE DES RATES 91/414/EWG, 1991), aber auch andere umweltrelevanten Richtlinien herangezogen werden. In quantitativer und qualitativer Hinsicht wird für einen guten Zustand ein gleichbleibender oder fallender Trend nachgewiesen werden müssen (vgl. Kap. 2.9.1.1).

Weitere wichtige Richtlinien und Verordnungen für den Karstwasserschutz sind die in Überarbeitung befindlichen Leitlinien des ÖWAV für Karstwasser als Trinkwasser (ÖWAV, 1984b) und Gewässerschutz im Hochgebirge (ÖWAV, 1997; vgl. Kap. 2.9.1.6) bzw. die Verordnung über Abwasserreinigungsanlagen von Einzelobjekten in Extremlagen (BGBL, 1993).

## **2.3 Untersuchte Karst(Karbonat)gebirgsgruppen und Wasserschongebiete**

### **2.3.1 Untersuchte Karst(Karbonat)gebirgsgruppen**

Die karsthydrologischen Untersuchungen bis zum Jahre 1991 wurden durch HERLICKA & GRAF (1992) mittels Gebietsabgrenzung und Kurzfassung dokumentiert. Eine Dokumentation der karsthydrologischen Arbeiten bis zum Jahre 1997 ist gerade in Vorbereitung (HEINZ-ARVAND et al., 2001).

In den letzten Jahren wurden karsthydrologische Bearbeitungen von größeren Teilen der Gebirgsgruppen Karawanken (POLTNIG & STROBL, 1997), Petzen (SPENDLINGWIMMER & HEIß, 1996), Westliche Gailtaler Alpen – Lienzer Dolomiten (BRANDNER et al., 1999), Schneealpe (HEINZ-ARVAND et al., 1997), Wienerwald (SALZER, 1997), Ybbstaler Voralpen (BRÜGGEMANN et al., 1995; DECKER, 1994; 1998), Dachstein (HERLICKA et al., 1994; SCHEIDLEDER et al., 2001), Karwendelgebirge (HEISSEL, 1993) und die bundesländerübergreifende Studie der Nördlichen Kalkalpen der Länder Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark und Wien (ZOJER et al., 1999) durchgeführt.

Wie aus der Fragebogenauswertung des Teil 1 ersichtlich (Kap. 1.3.5) würde vom Karstwasserpotential her nach Ansicht der österreichischen Karstwasserexperten neben dem Dachsteinmassiv, das Tote Gebirge sowie das Tennen- und Hagengebirge einer modernen karst-hydrogeologischen Bearbeitung harren. In einer Prioritätenreihung wären jedoch Karbonat(karst)gebiete zu berücksichtigen, die einem hohen Nutzungsanspruch und daher einem großen Belastungsrisiko unterliegen.

### **2.3.2 Wasserschongebiete in Karbonat(karst)gebieten**

Über 50 verordnete Wasserschongebiete decken sich überwiegend mit verkarstungsfähigen Gesteinen (Abb. 2.3.1). Mit einem Flächenanspruch von über 3 000 km<sup>2</sup> machen sie etwa 17% der gesamten österreichischen Karbonatgebiete aus (VINCE, 1998; ÖROK, 2000).

Flächenmäßig dominieren die 5 durch wasserwirtschaftliche Rahmenverfügungen der Trinkwasserversorgung gewidmeten Gebiete:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Zum Schutz des Wasservorkommens im Schneeberg-, Rax- und<br>Schneealpengebiet (BGBL Nr. 353/1965)  | 242 km <sup>2</sup>                              |
| 2. Zum Schutz der Wasservorkommen im Hochschwabgebiet<br>(BGBL Nr. 345/1973)  | 706 km <sup>2</sup>                              |
| 3. Zum Schutz der Grundwasservorkommen im südlichen Salzburger<br>Becken und im unteren Lammertal sowie der Karstwasservorräte des<br>Tennengebirges, des Hagengebirges und Hoher Göll. (Nr. 315/1980). | 602 km <sup>2</sup>                              |
| 4. Zum Schutz der Wasservorkommen im Toten Gebirge<br>(BGBL Nr. 79/1984)  | 462 km <sup>2</sup>                              |
| 5. Zum Schutz des Wasservorkommens im Sarnstein, Sandling<br>und Loser (BGBL Nr. 736/1974) geändert (BGBL Nr. 99/1984).   | <u>65 km<sup>2</sup></u><br>2077 km <sup>2</sup> |

Während Informationen über Wasserschutzgebiete in den Wasserbüchern der einzelnen politischen Bezirke zu entnehmen sind, wird gegenwärtig eine tabellarische und kartenmäßige Darstellung aller Wasserschongebiete Österreichs am Umweltbundesamt erarbeitet (GRUBER, 2001).

## 2.4 Methoden der Vulnerabilitätskartierung in Karbonat(karst)gebieten

### 2.4.1 Einleitung Vulnerabilitätskartierung

Das Konzept der Grundwasser Vulnerabilität gegenüber stofflichen Belastungen (Kontaminationen) hat für verschiedene Autoren eine unterschiedliche Bedeutung. Manche vermeiden diesen Fachbegriff überhaupt und ersetzen ihn einfach durch Sensitivität oder Empfindlichkeit (GOGU & DASSARGUES, 1999). Auf jeden Fall darf er nicht mit dem Begriff Risiko verwechselt werden, da die Vulnerabilität nur eine Komponente des Risikos darstellt. Nämlich die Wahrscheinlichkeit, dass eine nahe der Geländeoberfläche auftretende Kontamination das Grundwasser tatsächlich belasten wird. Die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens einer Kontamination überhaupt, muss jedoch separat bewertet werden, um eine vollständige Risikoanalyse durchführen zu können. Diese ausführliche Wahrscheinlichkeitsbewertung wird meist, aus Gründen mangelnder Daten, durch das bloße Vorhandensein einer anthropogenen Aktivität ersetzt und in „hazard maps“ dargestellt.

Der Einfachheit halber soll hier nur die Definition der Vulnerabilität vorangestellt werden, die kürzlich vom europäischen COST-Aktion 620 approbiert wurde:

**Vulnerabilität** bezeichnet die Verwundbarkeit (Empfindlichkeit) eines Ziels (Schutzgutes), gegenüber Verunreinigungen durch menschliche Aktivitäten (DALY & WARREN 1994)

**Intrinsische Vulnerabilität** definiert die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber anthropogen erzeugten Schadstoffen. Sie berücksichtigt die inhärenten geologischen, hydrologischen und hydrogeologischen Charakteristika eines Gebietes, ist jedoch unabhängig von den speziellen Eigenschaften bestimmter Schadstoffe. (COST620, 1998)

**Spezifische Vulnerabilität** definiert die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber einem speziellen Schadstoff oder einer Gruppe von Schadstoffen. Sie berücksichtigt die Eigenschaften von Schadstoffen und deren Wechselwirkung mit verschiedenen Elementen der *Intrinsichen Vulnerabilität* (COST620, 1998)

#### 2.4.2 Konzept der Bewertung der Grundwasser Vulnerabilität

Das fundamentale Konzept der Grundwasser Vulnerabilität ist, dass das Grundwasser mancher Gebiete leichter kontaminiert werden kann als in anderen (VRBA & ZAPOROZEC, 1994). Die Vulnerabilität des Grundwassers eines Gebietes kann, wie in den folgenden Methoden aufgezeigt, nicht direkt im Gelände gemessen werden, sondern setzt sich aus mehr oder minder komplexen Bewertungen zusammen, die relativ und dimensionslos erfolgen. Generell können *Grundwasservulnerabilitätskarten nur statistisch* Aussagen über die *Wahrscheinlichkeit einer möglichen Grundwasserbeeinträchtigung* eines Gebietes treffen, falls wassergefährdende Stoffe in kritischen Konzentrationen freigesetzt werden. Exakte Aussagen über die Vulnerabilität eines bestimmten Punktes eines Gebietes sind jedoch in einer großmaßstäbigen Routinekartierung nicht möglich. Diese müssen von Experten im Detail in kleinmaßstäbigen Vulnerabilitätskarten mit einer hohen Untersuchungsdichte bewertet werden, um nahezu „sichere“ Aussagen zu erhalten.

Die Konzentration der Kontaminanten (Stoffliche Belastungen) kann durch den Kontakt mit dem festen Untergrund (Boden, Sediment, Gestein etc.), durch lange Verweilzeiten (Grad der physikalisch-chemischen Reaktionen) und die Abnahme der initialen Verunreinigungsmenge verringert werden. Die Abschwächung und das Rückhaltevermögen gegenüber Kontamination ist im Boden und in der ungesättigten Zone meist höher als in der gesättigten Zone des Grundwassers.

Die hier vorwiegend behandelte intrinsische Vulnerabilität muss, unabhängig von den Eigenschaften einzelner Kontaminanten, alle möglichen stofflichen Belastungen für das Grundwasser berücksichtigen.

#### 2.4.3 Methoden der Bewertung der Grundwasser Vulnerabilität

Von den meist verwendeten Ansätzen der Bewertung der Grundwasser Vulnerabilität (1) dem Ansatz der Überlagerungs- und Index Methode, (2) dem Ansatz der prozessbedingten Simulation und (3) dem Ansatz der Wahrscheinlichkeit einer Kontamination (GOGU & DASSARGUES, 1999), soll hier wegen meist mangelnder Daten nur der erste etwas ausführlicher diskutiert werden. Dieser kann wiederum in die drei Kategorien unterteilt werden:

- Matrix Systeme (MS)
- Index Bewertung (RS)
- Punktebewertungsmodell (PCSM)

Eine ausführlichere Liste international verwendeter Bewertungsmethoden der intrinsischen Vulnerabilität wird in Tab. 2.4.1 gegeben. Da nach Auffassung des Autors zahlreiche Methoden für Österreich weniger geeignet sind, werden in der Folge nur Bewertungsparameter für die Kartierung der inhärenten Vulnerabilität ausgewählter Methoden (Switzerland - EPIK, Germany I - GLA, Ireland - GSI, Slovakia – REKS, Austria I und Austria II) besprochen (Tab. 2.4.1). Alle die letztgenannten Vulnerabilitätsbewertungsmethoden sind relativ ähnliche Methoden, die den Boden, die Deckschichten, die ungesättigte- und gesättigte Zone zusammen oder getrennt mit einem Punktsystem bewerten und summarisch zu einer Aussage über die Schaffung von

Grundwasserschutzzonen zu gelangen. Die Methoden Slovakia – REKS und Austria II sind gegenwärtig noch in einem Teststadium. Die europäische COST-Aktion 620 testet gegenwärtig die verschiedenen Vulnerabilitätsbewertungssysteme in europäischen Karbonat(karst)untersuchungsgebieten, sodass in Kürze eine oder mehrere getestete Methoden zur Verfügung stehen werden.

In der Folge sollen hier zur Übersicht die verwendeten Bewertungsparameter aufgelistet werden.

#### 2.4.3.1 Bewertungsparameter

*Meteorologie und Evapotranspiration:*

Sickerwassermenge bzw. -rate: Jährlicher Niederschlag [mm] - potentielle Evapotranspiration [mm]

Die Berechnung erfolgt unter der Annahme einer nahezu horizontalen Geländeform und des Niederschlags als einzige diffuse Eintragsquelle. Die Grundwasserneubildungsrate kann durch Lysimeter oder durch die oben angeführte Formel berechnet werden.

(Germany I - GLA: Faktor:  $W=1,75-0,5$ ; Italy – SYNTACS: Faktor: Q)

Infiltration bzw. -rate: ist die Bewegung bzw. die Menge des Sickerwassers pro Zeiteinheit in Folge von Niederschlägen von oben her in den Boden.

Infiltrationsverhältnisse (Index I): Für die Bestimmung der Infiltrationsverhältnisse werden Zonen *konzentrierter Infiltration* (Schluckzonen oder Gerinne von temporären oder ständigen Wasserläufen, künstlich drainierte Zonen) ausgeschieden und die übrige Fläche mit diffuser, *flächenhafter Infiltration* differenziert. Sie wird durch den Abflussbeiwert charakterisiert, der von *Hanggefälle* und der *Bodennutzung* abhängt (Tab. 2.4.2) ist.

(Switzerland - EPIK)

Infiltrationsfaktor (I - Factor): drückt den Grad der Überbrückung der Schutzschicht durch laterale oberflächennahe (oberflächen und oberflächennahe) Abflüsse. Schneller oberflächennaher Regenwasserabfluss ist der dominante Faktor, wenn die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens (=durchlässige Schicht in oder unter der Oberbodenschicht) höher als  $10^{-5}$  m/s und die Mächtigkeit zwischen 30 - 100 cm ist. Der Faktor charakterisiert die dominierenden Abflussprozesse, die auch von Hangneigung, Vegetation und Landnutzung abhängig sind. Wenn die Infiltration diffus an einer horizontalen Landoberfläche ohne merklichen Anzeichens der Abflusskonzentration stattfindet, ist der I - Faktor 100% aktiv und daher 1. Wenn jedoch die Schutzfunktion 0% effektiv ist, und durch Dolinen vollkommen vorbeigeleitet wird, ist der I - Faktor 0 (GOLDSCHIEDER, et al., 2000).

(Germany II – PI-Methode: I - Faktor =  $0,0-1,0$ ; Austria III – ZEIT - INPUT)

Hangneigung und Hangorientierung: Neben dem Oberflächen- und den Zwischenabfluss ist die Hangneigung und insbesondere die Hangorientierung (Südhänge) für die Evapotranspiration abhängig (DYCK & PESCHKE, 1995). Bei

Vorliegen eines digitalen Höhenmodells lassen sich beide Faktoren schnell in GIS-Programmen errechnen.

(Austria III – ZEIT - INPUT)

Vegetation: Detaillierte Untersuchungen in den österreichischen Kalkalpen (KATZENSTEIGER, 1999) zeigen das signifikante Abnahme in der Evapotranspiration von den auch in der Corine-Landcover Erhebung unterschiedenen Vegetation des Waldes, zu Strauch/Busch und Wiese und weiters zu der Vegetationslosigkeit besteht.

(Austria III – ZEIT - INPUT)

#### *Boden und unkonsolidierte bzw. konsolidierte Deckschichten:*

Gründigkeit (Bodenmächtigkeit): Bestimmung durch Mittelbildung von Einschlügen mit einem Schlagbohrer [dm]. Sie kann fallweise durch dichte und skelettreiche Horizonte (Grobanteil >80%) begrenzt sein (BLUM et al., 1996).

(Germany I - GLA: Faktor: Mächtigkeit - M ; Switzerland – EPIK, Austria II ; Austria III – ZEIT - INPUT)

Struktur, Textur, (Mineral)zusammensetzung: Wird vorwiegend, falls vorhanden, von Bodenkarten übertragen und exemplarisch durch Bodenprofile ergänzt.

(Germany I - GLA; USA – DRASTIC; Austria III – ZEIT - INPUT)

Feldkapazität (FK): ist die Wassermenge, die ein Boden gegen die Schwerkraft zurückhalten kann [Vol. % od. mm / dm Bodentiefe] (ÖNORM L1069, 1988).

Nutzbare Feldkapazität (nFK): ist das Wasservolumen im Boden, welches von den Pflanzen genutzt werden kann (mobiles Bodenwasser). Zugrundegelegt sind Wassermengen (mm/dm), die der Boden in natürlicher Lagerung zwischen den Saugspannungswerten (pF) 1,8 und 4,2 mbar festzuhalten vermag.

Sie wird durch standardisierte Messung oder Standard-Tabellen aus pedologischer Literatur abgeschätzt (nach FINNER, 1994).

(Germany I - GLA; Austria II)

Hydraulische Leitfähigkeit: Entsprechend der überwiegenden Korngröße (Ton, Silt, Sand, Kies und verwittertes Gestein) dem Boden oder der Deckschicht bzw. einzelnen Horizonten zugewiesen (Faktor Kn; MALIK & SVASTA, 1999:  $\underline{\cdot}(10^{-7}-10^{-3} \text{ m}^{-\text{s}^{-1}})$  wird in 5 Klassen).

(Slovakia – REKS; Austria III – ZEIT - INPUT)

Bodenarten (8) nach dem American Soil Conversation Service: Danach wird zwischen „Fehlender (od. dünner) Boden, Kies, Sand, Ton mit Trockenrissen, sandiger Lehm, Lehm, siltiger Lehm, toniger Lehm, Ton ohne Trockenrisse“ unterschieden bei einer Standardmächtigkeit von ungefähr 1 m.

(USA - DRASTIC)

#### *Epikarst und ungesättigte Zone*

Epikarst: (siehe Kap. 2. 11 Fachausdrücke) Die Charakterisierung des Epikarst basiert hauptsächlich auf dem Studium der Morphologie der Karstoberfläche. Er entwickelt sich besonders im Bereich von Ponoren, Schwinden, Dolinen, Karrenfeldern,

Cuestas, Uvalas, Trockentälern, Canyons, großräumigen Senken (Poljen) und Aufschlüssen von stark geklüfteten Felspartien einerseits und weniger im Rest des Einzugsgebietes, in welchem die vorgängig aufgezählten, morphologischen Erscheinungen nicht auftreten. Epi-karsterscheinungen können z.B. entlang von Einschnitten an Verkehrsverbindungen (Straßen, Bahngeleisen) oder in Steinbrüchen erkannt werden. Das Erkennen eines bedeckten Epikarsts jedoch ist sogar mittels gängiger geophysikalischer Methoden schwierig (DOERFLIGER & ZWAHLEN, 1998).

(Switzerland – EPIK)

Karströhrennetz (karst network): Das Vorhandensein eines Karströhrensystems und der Grad seiner Vernetzung wird an direkt sichtbaren Elementen wie beispielsweise Höhlen, vertikalen Schächten und aktiven Höhlensystemen erkannt. Fehlen solche direkten Anzeichen, muss auf indirekte Methoden ausgewichen werden, wie beispielsweise die Analyse von Hydrogrammen oder die Interpretation von Markierungsversuchen und der Variabilität der Wasserqualität (DOERFLIGER & ZWAHLEN, 1998).

(Switzerland – EPIK; Austria III – ZEIT - INPUT)

Einfallen der Bankungsflächen: bei deutlicher Bankung der Gesteine und steilem Einfallen der Bankungsflächen weisen oft Kluftöffnungen durch Lösungserscheinungen oder durch Verfaltung bedingte Volumserweiterungen auf, sodass ein bevorzugtes schnelleres Abfließen des Sickerwassers entlang diesen Flächen anzunehmen ist. Der kf-Wert der Gesteine wird jedoch für eine horizontale Bankung festgelegt. Daher erfolgt eine Korrektur der errechneten Wegzeit bei steilerem Schichteinfallen, wobei neben der Neigung auch ein Ableiten von Sickerwässern an die Oberfläche entlang flach hangauswärts gerichteten Bankungsflächen berücksichtigt wird (KEIMEL, 2000; KEIMEL & KRALIK, 2001).

#### *Aquifer und Ressourcen Schutzzonen*

Flurabstand (depth to groundwater): ist der Höhenunterschied zwischen Grundwasseroberfläche des 1. Grundwasserstockwerkes und der Geländeoberfläche (ÖNORM B2400).

(BRGM; USA – DRASTIC; Italy – SINTACS; Ireland – GSI; Austria III – ZEIT - INPUT)

Regional bedeutender Aquifer (regional important A.): ist ein Aquifer der genügend Wasser Brunnen und Quellen zuführt, um größere regionale Wasserabnehmer zu versorgen. Diese werden in ausgedehnte Sand-Kies- (Rg), Karst- (Rk) und geklüftete Aquifere (Rf) unterteilt.

Lokal bedeutender Aquifer (locally important A.): ist ein Aquifer der genügend Wasser Brunnen und Quellen zuführt, um Ortschaften, kleine Städte oder Fabriken zu versorgen. Diese werden in Sand-Kies- (Lg), Karst- (Lk) und geklüftete Aquifere (Lf) unterteilt.

Unbedeutender Aquifer (poor A.): ist ein Aquifer der normalerweise Brunnen und Quellen nur soviel Wasser zuführt, dass nur einzelne Häuser, kleine Bauerngehöfte und kleinste Wasserabnehmer versorgt werden können. Diese können im Bedarfsfall noch in nicht durchgehend unproduktive Gesteinsaquifere (PI) und in durchgehend unproduktive Gesteinsaquifere (Pu) unterteilt werden.

Die Ressourcen Schutzzonen werden durch die Überlagerung der Aquiferverteilungskarte mit der Vulnerabilitätskarte gebildet, die 24 verschiedenen Zonen ergeben können (Tab. 2.4.4; DoELG/EPA/GS IRELAND, 1999).

(Ireland – GSI)

#### 2.4.3.2 Vergleich der Bewertungsmethoden

*DRASTIC (Depth to water, Recharge, Aquifer, Soil, Topography, Impact of the vadose zone, Conductivity)*

DRASTIC wurde 1987 bei der amerikanischen Environment Protection Agency (EPA) als standardisierte Methode zur Bewertung des Grundwasserbelastungspotentials entwickelt. (ALLER et al., 1987). Die Methode bewertet den Abstand zum Grundwasser, die Grundwasserneubildung, die Zusammensetzung des Aquifers, den Boden, die Topographie, den Einfluss der vadosen Zone und die hydraulische Leitfähigkeit. Die gewichteten Faktoren bilden den endgültigen Vulnerabilitätsindex. Abhängig davon, ob die Methode in stark agrarisch genutzten oder in „Normal“-Gebieten angewendet wird, kommen unterschiedliche Wichtungsfaktoren (z.B. „pesticide DRASTIC“) zur Anwendung.

Der Vulnerabilitätsindex von DRASTIC ist nur relativ und erlaubt keine absolute Wertung. Einige Anwender versuchten jedoch eine Einteilung in Vulnerabilitätsklassen wie „Low, Moderate, High, Very High“ (ALLER et al., 1987; CORNIELLO et al., 1997). Überdies bedarf diese Methode einer Menge von Bodeninformationen, die nur durch zahlreiche Bodenprofile oder durch vorhandene detaillierte Bodenkarten zu erhalten sind. Die Gewichtung der Lithologie in der vadosen Zone erfolgt eher subjektiv. Überdies ist der Abstand zum Grundwasser bei fehlenden Bohrungen in vielen Karstwassergebieten schwer zu eruieren.

Der Vorteil von DRASTIC ist der bisherige weltweite Einsatz, der einen großen Erfahrungsschatz darstellt.

Tabelle 2.4.1: Ausgewählte Methoden zur Bewertung der Inhärenten Vulnerabilität

METHODEN	Typ	Eigenschaften Boden & Deckschicht										
		Vegetation (Wald, Busch- Wiese, Fels)	Niederschlag & Evapo-Trans- piration	Varia-bilät der. topographische Hang-neigung	Dichte des Fluss-netzes	Boden Gründigkeit (Mächtigkeit)	Boden Struktur, Tex- tur, Zusammen- setz.	Kationen-aus- tausch-ka- pazität	Effek-tive Feld- kapazität	Durch-lässig- keitsbeiwert	Permeabilität	Infiltra-tions- faktor
AUSTRIA I Trimmel et al. 1978	HCS											
USA - DRASTIC Aller et. al. 1987	PCSM			.		.	.					
CARTER et al. (1987) Palmer (1988)	MS					.	.				.	
ITALY – SINTACS <sub>4</sub> Civita (1990, 1997)	PCSM		.	.	.	.	.					
GERMANY I - GLA Hölting et al. (1995)	PCSM		.	.		.	.	.	.			
SWITZERLAND - EPIK Dörflinger & Zwahlen (95)	PCSM			.		.					.	
IRELAND - GSI Daly & Drew (1999)	PCSM					.	.				.	
SLOVAKIA - REKS Malik & Svasta (1999)	PCSM			.		.	.			.		
AUSTRIA II Cichocki & Zojer (1999)	?		.	.					.			
GERMANY II – PI Goldscheider et al. (00)	PCSM			.		.	.	.	.	.	.	.
AUSTRIA III ZEIT-INPUT Keimel & Kralik (2001)	PCSM	.	.	.		.	.	.		.		.



Tabelle 2.4.1: Ausgewählte Methoden zur Bewertung der Inhärenten Vulnerabilität (Fortsetzung)

Methoden	Typ	Eigenschaften der ungesättigten und gesättigten Zone										
		Epikarst	Art d. ungesättigten Zone (Karstphänomene)	Flurabstand Tiefe bis zum Grundwasser	Lithologie und Struktur	Hydraulische Leitfähigkeit des Aquifers	Dichte d. Quellen pro Fläche und Gesamtschüttung	Variation d. Exfiltration (Q, T, LF, pH)	Geschätzte Verweilzeiten	Land-use	Maßnahmen Kategorien f. Regulierungen	
AUSTRIA I Trimmel et al. 1978	HCS	.	.		.	.					.	
USA - DRASTIC Aller et. al. 1987	PCSM		.	.	.	.						
CARTER et al. (1987) Palmer (1988)	MS				.							
ITALY – SINTACS <sub>4</sub> Civita (1990, 1997)	PCSM	.	.	.	.	.					.	
GERMANY I - GLA Hölting et al. (1995)	PCSM		.		.					.		
SWISS - EPIK Dörflinger & Zwahlen (95)	PCSM	.	.		.						.	
IRELAND - GSI Daly & Drew (1999)	PCSM		.	.	.	.					.	.
SLOVAKIA - REKS Malik & Svasta (1999)	PCSM		.		.				.			
AUSTRIA II Cichocki & Zojer (1999)	?		.		.		.		.	.		
GERMANY II – PI Goldscheider et al. (00)	PCSM	.	.		.					.		
AUSTRIA III ZEIT-INPUT Keimel & Kralik (2001)	PCSM		.	.	.					.		

HCS: Hydrologische Überlagerungsmethode; MS: Matrix-System-Methode PCSM: Punktbewertungsmodell (Wertungssystem)

Modifiziert nach GOGU & DESSARGUE (1999) und vonHOYOS (1999) und eigenen Bewertungen

**SINTACS<sub>4</sub>** (*Soggiacenza (Flurabstand), Infiltrazione (Infiltration), azione del Non saturo (Rückhaltevermögen in der ungesättigten Zone), Tipologia della copertura (Mächtigkeit und Art des Oberboden), caratteri idrogeologici dell'Aquifero (hydrologische Aquifercharakteristik), Conducibilità idraulica (hydraulische Leitfähigkeit), acclività della Superficie topografica (durchschnittliche Hangneigung)*).

Die Version 4 von SINTACS (CIVITA & DE MAIO, 1997) ist eine kontinuierliche Weiterentwicklung aus dem 1990 begonnen Bestreben DRASTIC mit den hydrologischen, klimatischen und umweltbezogenen Einflussgrößen Italiens zu vereinbaren und anzupassen. SYNTACS ist ein Punktbewertungsmodell (PCSM), das in folgender Weise strukturiert ist (Abb. 2.4.1):

- Die Parameter sind durch einfache Feldbeobachtungen und –messungen in Verbindung mit Luftbildern und Fernerkundungsmethoden erfassbar. Das heisst, es müssen neben (hydro)geologischen Daten nahezu keine Vorinformationen (z.B. Bodenkarten) vorliegen.
- Die Struktur der Parameter ist modular aufgebaut und wird in ein einfaches quadratraster system eingetragen, sodass die Methode und Bewertung einfach mittels Computer durchgeführt werden kann.
- 7 Parameter (*Durchschnittliche Hangneigung, Mächtigkeit und Art des Oberboden, Infiltrationsindex, Grundwasser-Flurabstand, Rückhaltevermögen in der ungesättigten Zone, hydrologische Aquifercharakteristik, hydraulische Leitfähigkeit*) werden parallel für jeden Beobachtungspunkt in Hinblick auf die Grundwasser-Vulnerabilität bewertet.
- Die 7 Einzelparameter werden entsprechend den 5 Kategorien (*Normaler -, Intensiver menschlicher Einfluss, Intensiver Oberflächengewässer- Grundwasseraustausch, Intensive Karstifizierung der Geländeoberfläche, Geländeoberfläche aus geklüfteten Gesteinen mit begrenzter und bloß oberflächlicher Karstifizierung*) einzeln gewichtet.
- Die daraus resultierenden Indizes werden in Prozent der maximal Punkte angegeben und sind auf Grund von 500 italienischen Testgebieten in 6 explizite *Vulnerabilitätsstufen* (*extrem erhöht (Ee), erhöht (E), hoch (A), mittel (M), niedrig (B), niedrigst od. null (Bb)*) eingeteilt.

Das Bewertungsschema ist relativ komplex und vielfältig nur in Italien getestet. Die hydrologische Aquifercharakteristik und die hydraulische Leitfähigkeit wird häufig von den gleichen lithologischen Informationen bewertet und so mögen diese Informationen überproportional in die Vulnerabilitätsbewertung eingehen. Überdies ist keine Unterscheidung in Oberboden mit hohen Anteilen von organischem Material und Unterboden vorgesehen, was für das Rückhaltevermögen von organischen Stoffen eine große Rolle spielt. Auch darf angenommen werden, dass eine generelle Wichtung in Karbonat(karst)gebieten nicht hinreichend deren spezifische Probleme der Grundwasser-Vulnerabilität berücksichtigen kann.

Fast alle 7 Parameter können mittels unmittelbarer Feldbeobachtung abgeschätzt und gemessen werden. Weitere Informationen und aufwendigere Methoden (z. B. Fernerkundungsmethoden) können die Aussagen verbessern und beschleunigen. In den 500 italienischen Testgebieten sind auch zahlreiche alpine Standorte beinhaltet, die sehr wohl den österreichischen Gegebenheiten vergleichbar sind. Als offizielle italienische Grundwasser Vulnerabilitätsbewertungsmethode (*pers. Mitt. Prof. Civita*) liegen bereits zahlreiche Karten im Maßstab 1:25 000 vor, sodass die Bewertungsmethode als relativ ausgereift angesehen werden kann.

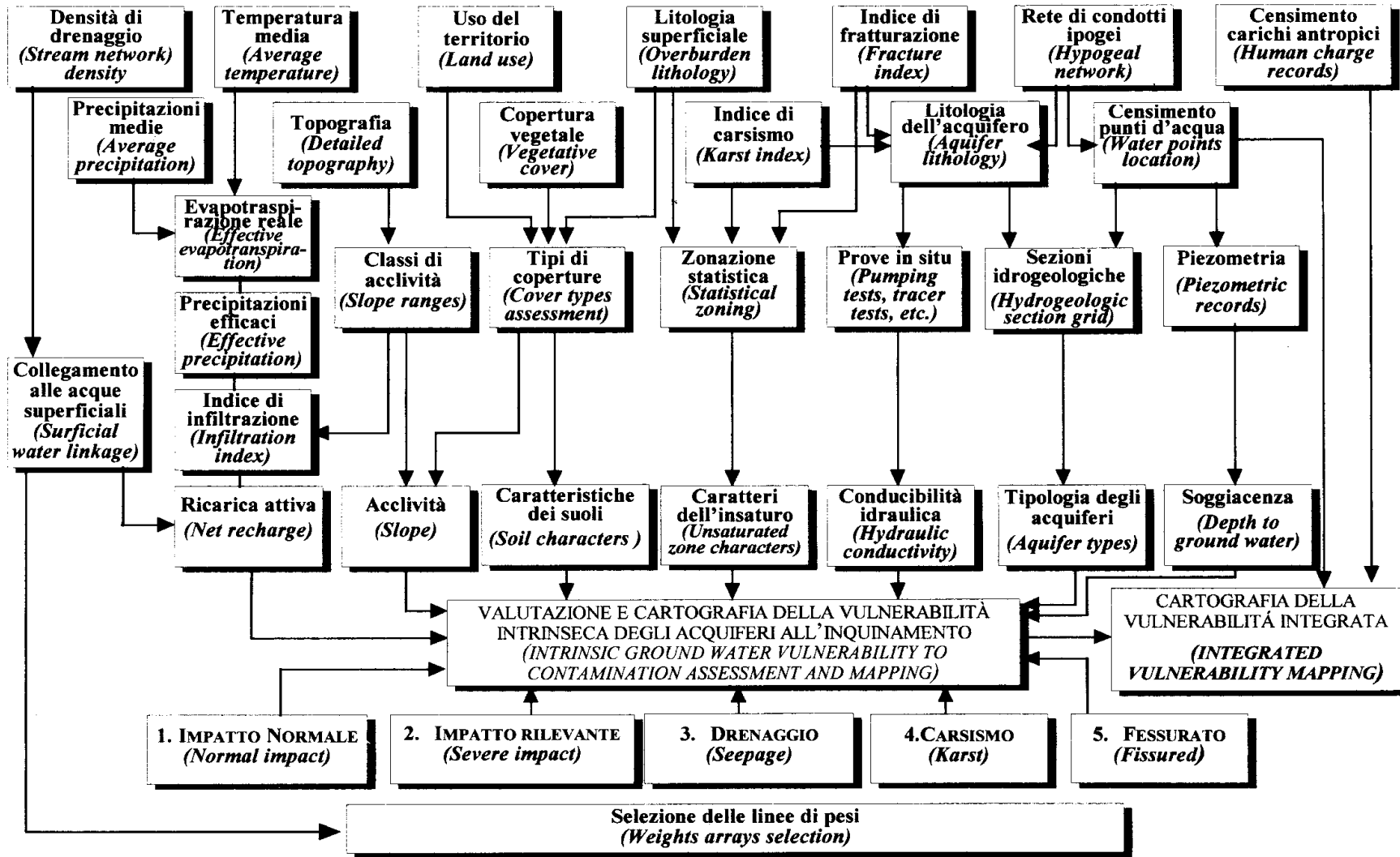


Abb. 2.4.1: Komplettes Fließdiagramm des Punktbewertungssystems SINTACS4 (CIVITA & DeMAIO, 1997)

**GERMANY I - GLA (HÖLTING et al., 1995)**

Die grundlegende Idee der Vulnerabilitätsbewertung der deutschen Geologischen Landesämter (GLA; (HÖLTING et al., 1995) ist, dass die Wirksamkeit des Rückhaltevermögens der

**Boden – B**

$\Sigma$ nFK [mm bis 1m Tiefe]	B
>250	750
>200 – 250	500
>140 – 200	250
> 90 – 140	125
> 50 – 90	50
$\leq 50$	10

**Sickerwassermenge - W**

N - ETP <sub>pot</sub> [mm/a] <sup>1</sup>	Faktor W
0 – 100	1,50
>100 – 200	1,25
>200 – 300	1,00
>300 – 400	0,75
>400	0,5

nFK=nutzbare Feldkapazität; N= Niederschlag; ETP<sub>pot</sub> = potentielle Evapotranspiration

**Lockergestein - G<sub>L</sub>**

Typ von Lockergestein	G <sub>L</sub>
Ton	500
Lehmiger Ton, leicht schluffiger Ton	400
Leicht sandiger Ton	350
Siltiger Ton, tonig schluffiger Lehm	320
Toniger Lehm	300
Sehr schluffiger Ton, sandiger Ton	270
Sehr lehmiger Schluff	250
Leicht toniger Lehm, tonig schluffiger L.	240
Sehr toniger Schluff, schluffiger Lehm	220
Sehr sandiger Ton, sandig siltiger Lehm	200
Leicht sandiger Lehm, lehmiger Schluff,	
Sandiger Lehm, leicht lehmiger Schluff	180
Leicht toniger Schluff, sandig lehmiger Schluff, Schluff, sehr sandiger Lehm	160

Typ von Lockergestein	G <sub>L</sub>
Sehr toniger Sand, toniger Sand, lehmiger schluffiger Sand	140
Sandiger Schluff, sehr lehmiger Sand	120
Lehmiger Sand, sehr schluffiger Sand	90
Leicht toniger Sand, schluffiger Sand, sandig toniger Kies	75
Leicht lehmiger Sand, sand., schluff. K.	60
L. schluff. Sand, l. schluff. Sand + Kies	50
Sand	25
Sand mit Kies, sandiger Kies	10
Kies, Kies mit Brekzie	5
Nicht verfest. Vulkan. Material (Pyroklast.)	200
Torf	400
Mudde (Sapropel)	300

**Festgestein - G<sub>F</sub>**

Gesteinsart	P
Tonstein, Tonschiefer	20
Mergelstein, Schluffstein	
Sandstein, Quarzit, Vulkanische Festgesteine, Plutonite, Metamorphite	15
Poröser Sandstein, Poröser Vulkanite (z.B. verfestigter Tuff)	10
Konglomerat, Brekzie, Kalkstein, Kalktuff, Dolomitstein, Gipsstein	5

**Struktur - Verkarstung**

Struktur	F
ungeklüftet	25
wenig geklüftet	4
mittel geklüftet	1
wenig verkarstet	
mittel verkarstet	0,5
stark geklüftet zerrüttet oder stark verkarstet	0,3
nicht bekannt	1

Mächtigkeit jeder einzelnen Schicht in [m] - M

Festgestein - G<sub>F</sub>  
 $G_F = P \cdot F$

Artesisches Druckverhältnis – D  
1500 Punkte

Geamschutz-Funktion - S<sub>g</sub>

$$S_g = \{B + (\Sigma G_{Li} \cdot M_i + \Sigma G_{Fj} \cdot M_j)\} W + D$$

Bereich - $S_g$	Gesamtschutzfunktion	Beispiel
$\leq 500$	sehr gering	0 – 2 m Kies
>500 – 1000	gering	1 – 10 m Sand mit Kies
>1000 – 2000	mittel	2 – 20 m leicht schluffiger Sand
>2000 – 4000	hoch	2 – 20 m Ton
>4000	sehr hoch	> 20 m Ton

Abb.: 2.4.2 Berechnung und Bewertung der Gesamtschutzfunktion  $S_G$  (Tabellen und Formeln modifiziert nach HÖLTING et al., 1995 und GOLDSCHIEDER et al., 2000)

Grundwasserüberdeckungen von der Mächtigkeit und der Verweilzeit in diesen abhängt (Abb. 2.4.2)

Den Bewertungsparametern *nutzbare Feldkapazität* ( $nFK$ ; Faktor  $S$ ), *Grundwasserneubildung* (*Niederschlag – potentielle Evapotranspiration*; Faktor  $W$ ), *Kationenaustauschkapazität auf Grund der Boden bzw. Gesteinszusammensetzung*; Faktor  $R_u$  und  $R_s$ ), zusätzliche Schutzfunktion ist *artesischen und schwebenden Grundwasserstockwerken* zugeordnet. Die jeweilige Mächtigkeit ist mit einer bestimmten Punkteanzahl multipliziert. Die Summe wird Schutzfunktion genannt ( $S_G$ ). Sie kann jede positive Zahl erreichen und wird in 5 Klasse (*sehr hohe, hohe, mittlere, niedrige, sehr niedrige Schutzfunktion*) unterteilt.  $S_G \leq 500$  (z.B. 20 m Sand) bedeutet eine sehr geringe natürliche Schutzfunktion und  $S_G > 4000$  (z.B. 8 m Ton) bedeutet eine sehr hohe Schutzfunktion.

Der entscheidende Nachteil dieser Bewertungsmethode liegt in ihrem primären Anwendungsziel von flachlagernden unverfestigten Sedimenten in ebenen oder fast ebenen Gebieten. Um diese Methode voll zum Tragen zu bringen sind auch eine detaillierte Kenntnis der Grundwasserüberdeckung (Oberboden, Sedimente) nötig.

Der Vorteil liegt an der durchdachten Bewertung der Grundwasserüberdeckung, die mit Tabellen im Gelände vernünftig zu bewerten sind.

### **EPIK** (**Epikarst**, **Schutzschicht [Protection]**, **Infiltrationsverhältnisse**, **Karstnetz**)

EPIK wurde speziell für den Jura - Karst in der Schweiz entwickelt (DOERFLIGER, 1996; DOERFLIGER & ZWAHLEN, 1998). Bei dieser Multikriterien-Methode werden der Epikarst, die Deckschichten, die Infiltrationsverhältnisse und die Entwicklung des Karstnetzes bewertet und mittels eines Koeffizienten gewichtet. Die Summe der ermittelten Werte ergibt den Schutzfaktor  $F$  für jedes Flächenelement, der als Grundlage für die Ausscheidung der Grundwasserschutzzonen in Karstgebieten dient (Tab. 2.4.2).

Der Vorteil ist die rasche Anwendung ohne langwierige Bodenanalysen und notwendige Vorinformation mittels Bodenkarten. Fraglich ist die Anwendung in nicht Karbonat(Karst)gebieten und die Schwierigkeiten bei der Bewertung der Epikarstentwicklung und der Ausprägung des Karstnetzes im Geländebefund.

Tab. 2.4.2 Indizierung der Kriterien E, P, I und K (nach DOERFLIGER &amp; ZWAHLEN, 1998)

Karstmorphologie vorhanden (in Verbindung mit dem Epikarst)	<b>E<sub>1</sub></b>	Schacht, Ponor (Schluckstelle, Schwinde), Doline, Karrenfeld, ruinenhaftes Relief, Cuesta
	<b>E<sub>2</sub></b>	Intermediäre Zonen in Dolinenreihen; Uvalas, Trockentäler, Canyons, großräumige Senken (Poljen)
Karstmorphologie fehlend	<b>E<sub>3</sub></b>	Rest des Einzugsgebietes

		<b>A.</b> Boden direkt auf Kalkuntergrund oder auf Lockergesteinen mit großer Wasserdurchlässigkeit* liegend.	<b>B.</b> Boden direkt auf geologischer Formation (Mächtigkeit > 0,2 m) mit geringer Wasserdurchlässigkeit** liegend.
schützende Deckschicht fehlend	<b>P<sub>1</sub></b>	Boden 0 – 0,2 m	
	<b>P<sub>2</sub></b>	Boden 0,2 - 1 m	Boden und gering durchlässige Formation 0,2 – 1m
	<b>P<sub>3</sub></b>	Boden > 1 m	Boden und gering durchlässige Formation > 1m
schützende Deckschicht bedeutend	<b>P<sub>4</sub></b>		Gering durchlässige Formation > 8 m oder gering durchlässige Formation > 6 m plus > 1 m Boden (punktueller Verifizierung notwendig)

\* Beispiele: Hangschutt, Seitenmoräne

\*\* Beispiele: Lehm, Ton

konzentrierte Infiltration	<b>I<sub>1</sub></b>	Ständige oder temporäre Schluckstelle, Bett und Ufer eines ständig oder temporär fließenden Baches, welche eine Schluckstelle oder Doline speist; infiltrierendes Oberflächengewässer, Teile des Einzugsgebietes eines solchen Baches, die künstlich drainiert werden
	<b>I<sub>2</sub></b>	Teile des Einzugsgebietes eines (unter I <sub>1</sub> zitieren) Baches, welche nicht künstlich drainiert werden, mit einer Hangneigung von >10% in Ackergebieten resp. >25% in Wiesen- und Weidengebieten
	<b>I<sub>3</sub></b>	Teile des Einzugsgebietes eines (unter I <sub>1</sub> zitieren) Baches, welche nicht künstlich drainiert werden, mit einer Hangneigung von <10% in Ackergebieten resp. <25% in Wiesen- und Weidengebieten  Ausserhalb des Einzugsgebietes Hangfußzonen, in welchen sich das Hangwasser ansammelt und ausgeprägte Hangzonen, von welchen das Hangwasser zufließt (Hangneigung >10% in Ackergebieten resp. 25% in Wiesen- und Weidengebieten)
diffuse Infiltration	<b>I<sub>4</sub></b>	Rest des Einzugsgebietes

Karstnetz gut ausgebildet	<b>K<sub>1</sub></b>	Röhren im Dezimeter- bis Meterbereich, sehr wenig kolmatiert, gut miteinander vernetzt
Karstnetz schlecht entwickelt	<b>K<sub>2</sub></b>	Röhren kolmatiert oder schlecht vernetzt oder Durchmesser im Dezimeterbereich oder darunter
Gemischer oder geklüfteter	<b>K<sub>3</sub></b>	Austritt im Lockergestein, das eine gewisse Schutzwirkung

Grundwasserleiter		bietet; nicht verkarsteter Kluftgrundwasserleiter
-------------------	--	---

$$\text{Schutzfaktor (F)} = aE + bP + \gamma I + dK \quad \alpha, \beta, \gamma, \delta \text{ Gewichtungskoeffizienten}$$

**IRELAND - GSI** (Groundwater protection Schemes – Geological Survey of Ireland)

Die irische Grundwasser Vulnerability Kartierungsmethode (IRELAND – GSI; Tab. 2.4.3) ist

Tab. 2.4.3 Irische Vulnerabilitätskartierungs Anleitung

Vulnerability Rating	Hydrogeological Conditions				
	Subsoil Permeability (Type) and Thickness			Unsaturated Zone (Sand/gravel aquifers only)	Karst Features (<30 m radius)
	High Permeability (sand/gravel)	Moderate Permeability (e.g.Sandy subsoil)	Low Permeability (e.g.Clayey subsoil, clay, peat)		
<b>Extreme (E)</b>	0 - 3 m	0 - 3 m	0 - 3 m	0 - 3 m	-
<b>High (H)</b>	> 3 m	3 – 10 m	3 – 5 m	> 3 m	N/A
<b>Moderate (M)</b>	N/A	> 10 m	5 – 10 m	N/A	N/A
<b>Low (L)</b>	N/A	N/A	> 10 m	N/A	N/A

Notes: (1) N/A = not applicable; (2) Precise permeability values cannot be given at present; (3) Release point of contaminant is assumed to be 1 – 2 m below ground (DoELG/EPA/GS IRELAND, 1999).

ein integriertes Element eines umfassenden Grundwasserschutzstrategie (DALY & DREW, 1999; DoELG/EPA/GS IRELAND, 1999). Sie besteht aus drei Hauptelementen (Abb. 2.4.3):

1. Die „Aquifer Map“ zeigt die Grundwasser-Ressourcen und deren hydrogeologischen Eigenschaften (z.B. **Rk**: Regional bedeutender Karst-Aquifer; **Lg**: Lokal bedeutender Sand/Kies(gravel)-Aquifer; **Pu**: Unbedeutender(Poor) Aquifer, generell unproduktive Festgesteine).
2. Im Wesentlichen wird in der Vulnerabilitätskarte die Mächtigkeit und die hydraulische Leitfähigkeit des Unterboden (subsoil) und der überlagernden Sedimente über dem ersten Aquifer bewertet. Wegen häufigen Eintrages von der Verunreinigungen unterhalb des Oberbodens (topsoil), wird dieser völlig unberücksichtigt gelassen. Extreme Vulnerabilität wird Karststrukturen wie z.B. Dolinen zugeordnet.
3. Dem Quell(Brunnen)schutz in dessen unmittelbarer horizontaler Umgebung kommt eine besondere Bedeutung zu und kann sich in einer verstärkten Kontrolle von menschlichen Aktivitäten manifestieren. Die „Inner Source Protection area (SI)“ wird entsprechend der 100 Tage Line abgegrenzt. Die „Outer Source protection area (SO)“ umfasst das gesamte Einzugsgebiet. In Karstgebieten ist es häufig nicht möglich eine „Inner Source Protection area (SI)“ abzugrenzen. Falls wissenschaftliche Untersuchungen fehlen, wird im Fall von Quellen ein halbkreisförmiges SI-Gebiet abgegrenzt. Die für Porengrundwasser empfohlenen 300 m müssen im Karst häufig wesentlich ausgeweitet werden.

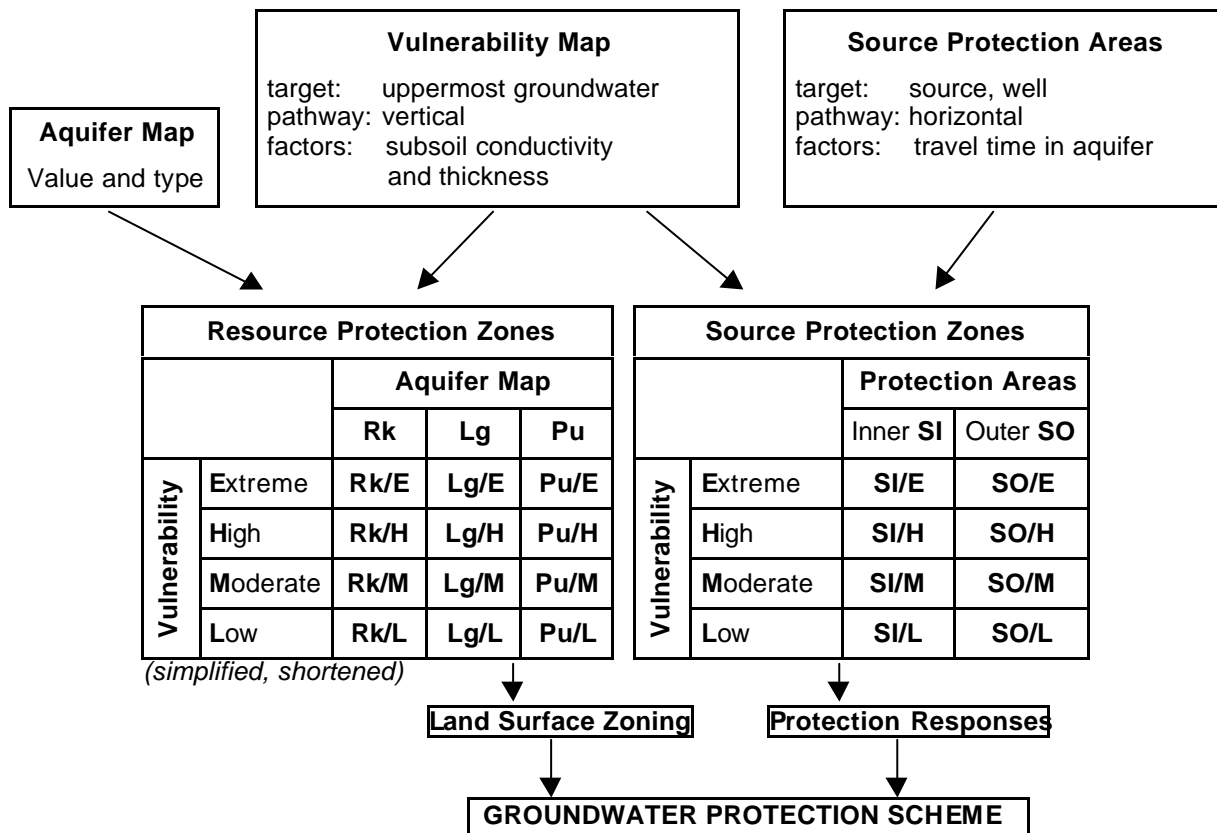


Abb. 2.4.3: Irisches Grundwasserschutz Schema. Quell(Brunnen)schutzzonen werden durch die Verschneidung von Quell(Brunnen)karten und Vulnerabilitätskarten erhalten. Ressourcenschutzzonen durch Kombination mit Aquiferkarten (modifiziert nach DoELG/EPA/GS IRELAND, 1999 und GOLDSCHIEDER et al., 2000).

Quell(Brunnen)- oder Ressourcenschutzzonen können jeweils durch Kombination mit der Vulnerabilitätskarte abgegrenzt werden. Das bevorzugte Schutzgut ist entweder die nächste Quelle (Brunnen) oder unmittelbar das direkt unterlagernde Grundwasser.

Im Falle von Deponien und Düngung mit organischen Tier- oder Wasseraufbereitungsabfällen im Bereich von Wasserschutzgebieten, wird deren Akzeptanz und Vorkehrungsmaßnahmen in einem jeweils strengeren Bewertungsschema geregelt.

Die Vulnerabilitätsbewertung vernachlässigt vollkommen, besonders bei diffusem Eintrag, die Filterfunktion des Oberbodens. Die Differenzierung von Schutzzonen in Karbonat(karst)gebieten mittels dieser Methode ist sehr schwierig. Die relativ einfache Anwendung, die als offizielle irische Methode anerkannt ist, erlaubt je nach dem anerkanntem Schutzziel eine pragmatische Abgrenzung der Schutzgebiete.

### **ZEIT-INPUT-Methode – Austria III (Grundwasser-Vulnerabilitätsbewertung – Umweltbundesamt Wien)**

Die Zeit – Input Methode liefert einen neuen Ansatz die Grundwasser Vulnerabilität insbesondere in gebirgigen Gebieten zu bewerten. Sie versucht einen Kompromiss zwischen bestehenden Bewertungssystemen mit abstrakten relativen Einteilungszahlen wie die Methoden USA – DRASTIC, Switzerland - EPIK, Germany I - GLA, Ireland - GSI, Slovakia – REKS als auch dem European Approach (DALY et al., 2001) als Rahmenanleitung und der



Versuch physikalische Modelle zu fordern (BROUYÈRE et al., 2001; JEANNIN et al., 2001) für die man sehr viele Parameter sehr genau kennen muss. Die zwei Hauptfaktoren sind die (1) Transferzeit von der Oberfläche zum Grundwasserspiegel (ungefähr 60%) und verstärkt oder verdünnt durch (2) die Menge der Grundwasserneubildung (Input; ungefähr 40%) (Abb. 2.4.4).

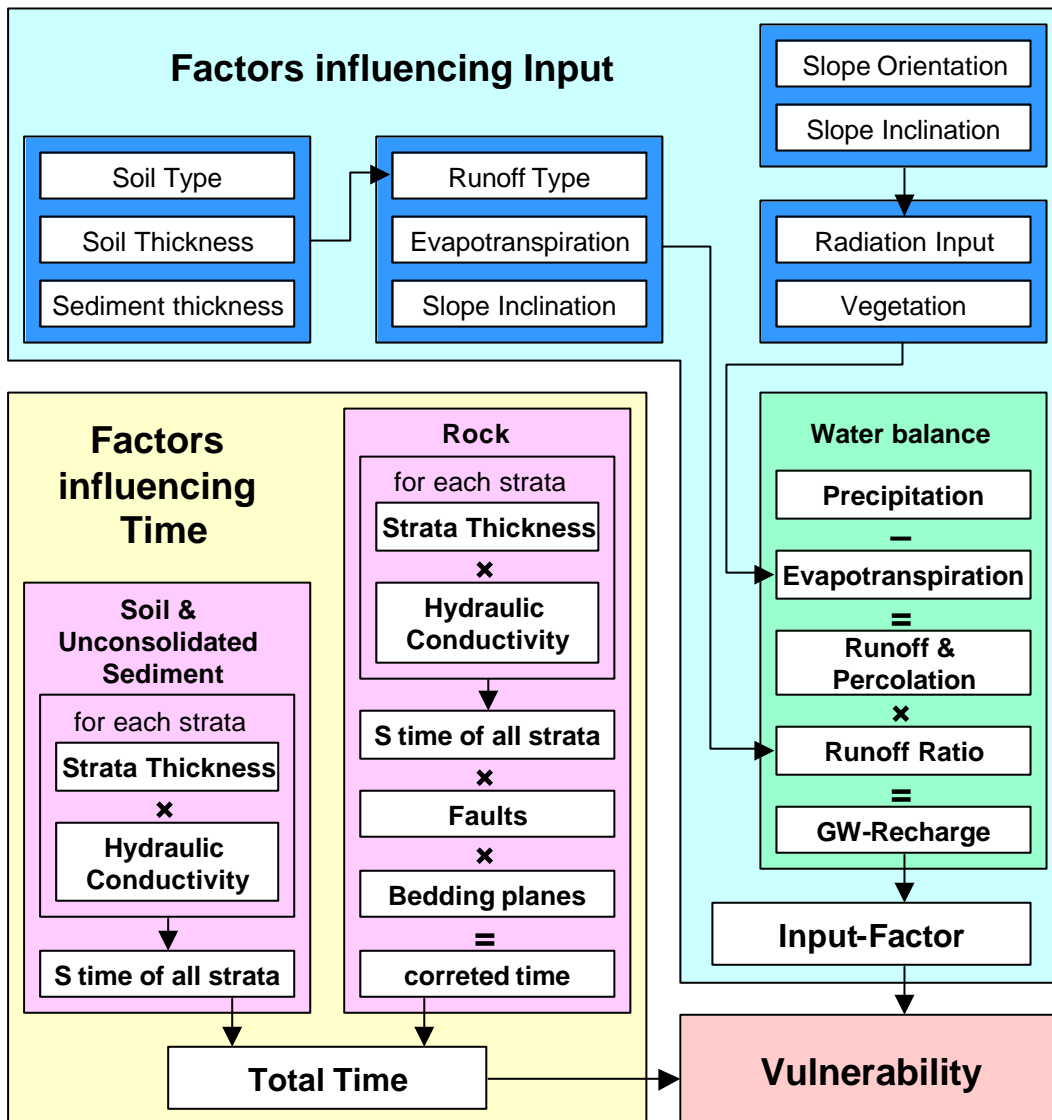


Abb. 2.4.4 Flussschema zur Visualisierung der Kombination der erhobenen Vulnerabilitätsparameter zu den Hauptparametern Transferzeit und Input (Grundwasserneubildung; KEIMEL & KRALIK, 2001).

Für diese Methode wird zusätzlich zu den bereits oben erwähnten Parametern wie Hangneigung, Mächtigkeit von Boden-Sediment-ungesättigte Gesteinszone und deren hydraulischer Leitfähigkeit bzw. Störungszonen die Vegetation (Wald –Busch/Wiese-Fels), die Hangorientierung (verstärkte Evapotranspiration an Südhängen), das steile Einfallen von Schichtflächen in den Berg (zum Grundwasser) oder aus dem Berg (zum Vorfluter) bewertet (Abb. 2.4.5).

Die Vulnerabilität wird in modifizierten physikalischen Einheiten wie der (Transfer)Zeiten ausgedrückt. Die entscheidende Evaluierung der beiden Hauptparameter Zeit und Input

### Parameter die hauptsächlich die (Transfer)Zeit beeinflussen

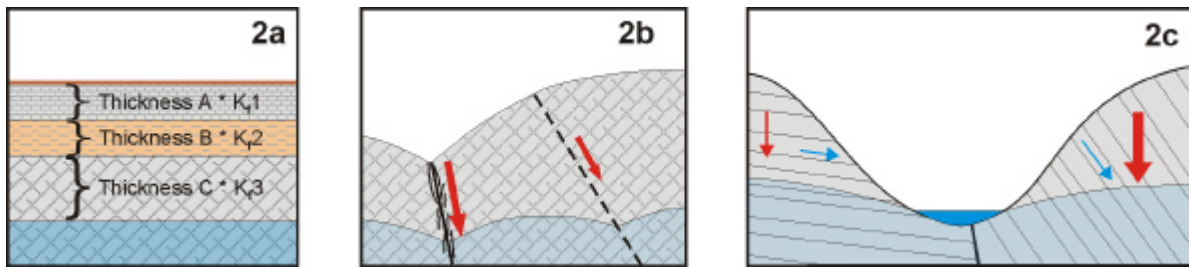


Abb. 2.4.5.2a: Die Summe der hydraulischen Konduktivität mal der Mächtigkeit der einzelnen Schichten resultiert in der Gesamt(transfer)zeit.

Abb. 2.4.5.2b: Störungen bzw. Verkarstungsstrukturen sind häufig die wichtigsten Faktoren, die die (Transfer)zeiten des Grundwassers beeinflussen. Verschiedenen Korrekturfaktoren können unterschiedlichen Typen und Größen von Störungen bzw. Verkarstungsstrukturen Rechnung tragen.

Abb. 2.4.5.2c: In geschichteten Gesteinen wird die (Transfer)Zeit des Grundwassers häufig von der Richtung und dem Einfallen der Schichten (in den Berg zum Grundwasser oder aus dem Berg zum Vorfluter) beeinflusst.

### Parameter die hauptsächlich den Input (Grundwasserneubildung) beeinflussen

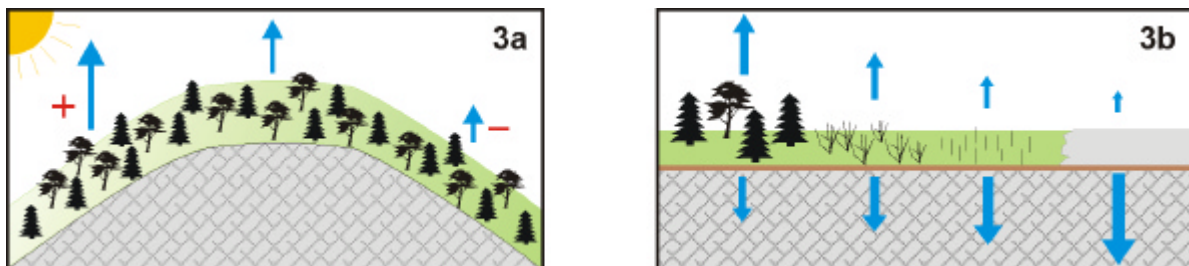


Abb. 2.4.5.3a: Einfluss der Sonneneinstrahlung (bestimmt durch die Hangorientierung und Hangneigung) auf die Evapotranspiration.

Abb. 2.4.5.3b: Einfluss des Vegetationstyps (Wald, Busch/Wiese, Fels) auf die Evapotranspiration.

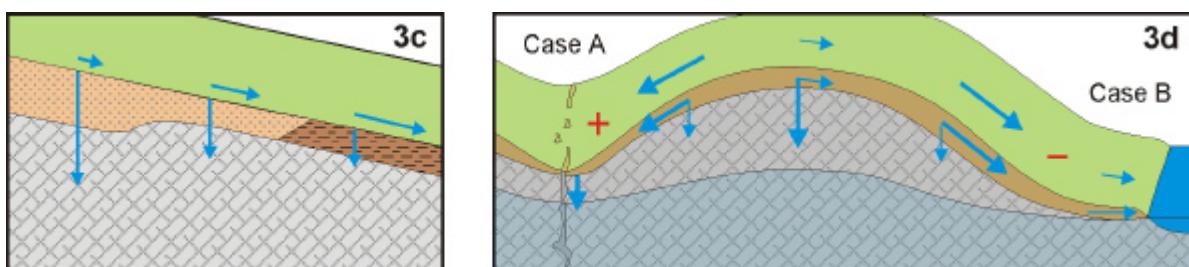


Abb. 2.4.5.3c: Bodenmächtigkeit (Gründigkeit) und Bodentyp beeinflussen das Verhältnis von Oberflächen- (Zwischen-) abfluss und Infiltration.

Abb. 2.4.5.3d: Abhängigkeit von Hangneigung und Einzugsgebiet (Oberflächen- und Zwischenabfluss gegenüber Infiltration):

Fall A – Schlucklöcher (Dolinen bzw. Störungen) - direkte Grundwasseranreicherung

Fall B – Oberflächengewässer (Vorfluter) – Oberflächen- und Zwischenabfluss tragen nicht zur Grundwasserneubildung bei (KEIMEL & KRALIK, 2001).

kann in unabhängigen Methoden geschehen die geeignet sind, die physikalischen Parameter wie (Sekunden, Stunden, Tagen, Jahren) und ( $l/m^2 \cdot s^{-1}$ ) nachzuprüfen und die geeignetsten Korrekturfaktoren zu finden. Klassische Methoden sind die Quelldynamik, Isotopenuntersuchungen, Tracerversuche, Modellierungen etc.

Als Nachteil kann angesehen werden, dass die Methode erst an einer Stelle in den Nördlichen Kalkalpen getestet wurde und keine weite Erfahrung besonders bei der Wichtung der Faktoren vorliegt (KEIMEL & KRALIK, 2001).

Über die anderen in Tab. 2.4.1 angeführten Grundwasser Vulnerabilitätsbewertungsmethoden liegen dem Verfasser keine Erfahrungen vor oder sie befinden sich noch im Erprobungsstadium. Gegenwärtig werden von der europäischen COST-Aktion 620 eine Rahmenanleitung für Vulnerabilitätsbewertungsmethoden erarbeitet (DALY et al., 2001), die in Kürze vorliegen sollen und eine adäquate und nachvollziehbare Bewertung erlauben werden.

Auf jeden Fall soll im Sinne der Qualitätssicherung für die bessere Nachvollziehbarkeit und Fehlerbewertung eine Standardanleitung (SOP) verfasst und jeder Bewertungsschritt hinreichend dokumentieren werden.

## 2.5 Chemische Karbonat(karst)wasserqualität

Da die Karst- und Kluftgrundwasservorkommen einen erheblichen Beitrag zur Trinkwasserversorgung (50% in Österreich) leisten und darüber hinaus noch ein großes Potential hinsichtlich weiterer Erschließungen besitzen, haben gerade die Karstwassergebiete im alpinen österreichischen Raum durch die hohen Niederschlagsraten einen eminent wichtigen Stellenwert. So bestehen 22% (ca. 18 000 km<sup>2</sup>) von Österreich aus Karbonatgesteinen.

Das aus Karbonat(karst)quellen austretende Wasser wurde seit der Antike zur Versorgung genutzt und dient heute neben der lokalen Nutzung vor allem auch zur Trinkwasserversorgung von Ballungsräumen wie z.B. Wien (ungef. 140 Mio m<sup>3</sup>/J.), Innsbruck (ungef. 12,9 Mio m<sup>3</sup>/J.), und Villach (ungef. 6,3 Mio m<sup>3</sup>/J.; ÖVGW 1999). Andererseits ist Karstwasser in hohem Maß anfällig für Verunreinigungen. Neben der meist nur unzureichend ausgebildeten Deckschicht von Karsteinzugsgebieten erfährt das in die Karsthohlräume einsickernde Wasser bei der Zirkulation durch die durch Lösungserscheinungen erweiterten Klüfte nahezu keine Reinigung, sodass der Schutz des Karstwassers gerade in den Einzugsgebieten unter anderem auch in Form eines Quellmonitorings erfolgen muss (KRALIK, 1999c).

Im Endausbau des Quellbeprobungsnetzes in Österreich werden die Karbonat(karst)gebiete und die Kluft(kristallin)gebiete in einer Dichte von durchschnittlich 157 km<sup>2</sup> per Messstelle bzw. 360 km<sup>2</sup> per Messstelle beobachtet (Abb. 2.5.1). Das entspricht mit ungefähr 28 000 und 24 000 km<sup>2</sup> 34% bzw. 29% des Bundesgebietes. Dieser höhere Anteil an Karst(karbonat)gebieten als die reinen Karbonatgebiete ergeben sich aus der Tatsache, daß auch aus Mischgesteinen (z. B. Flyschzone) karbonatdominierte Wässer entstammen.

Auf Grund der exzellenten Wasserqualität in über 90% der Karst- und Kluftwasserproben sind hier bei „erhöhten chemischen Messwerten“ in den meisten Fällen geringste Erhöhungen über den naturbelassenen Medianwerten zu sehen, die mit einer solchen Bewertung in den Porengrundwässern nicht direkt zu vergleichen sind. Auf der anderen Seite verlangt das durch meteorologische Bedingungen sehr rasch zu beeinflussende und sehr dynamisch, wechselhaft agierende Karstsystem, dass man schon frühzeitig geringste Verschmutzungen ernst nimmt, um rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergreifen zu können (KRALIK, 1999c).

Als Bewertungsmaßstab werden die für Österreich gültigen Grenzwerte der Grundwasserschwellenwertverordnung (BGBl, 1991b; 1997), höchstzulässige Trinkwassergrenzwerte (BGBl, 1998) und Grenzwerte der Trinkwasser - Pestizidverordnung (BGBl, 1991c) verwendet (Tab. 2.5.1). Die Mittel-, Median- und Perzentilwerte der zwischen 1992-1997 gesammelten Karbonat(karst)wasserproben wurden mit den Werten kleiner Bestimmungsgrenze gleich null berechnet (Tab. 2.5.2).

Die untersuchten Karbonat(karst)quellwässer bestehen zu 95% aus dem Ca-Mg- HCO<sub>3</sub> Typ und nur zu 5% aus dem SO<sub>4</sub> Typ. Von dem Ca-Mg- HCO<sub>3</sub> Typ können wiederum nur 20% dem Ca Subtyp (Ca/Mg>6) zugeordnet werden.

Über 90% der Quellwässer weisen eine natürliche Zusammensetzung weit unter jeglichen Grenzwerten auf. Nur in 8% der untersuchten Proben kommt es zu einer Grenzwertüberschreitung. Von diesen zeitweiligen Grenzwertüberschreitungen sind jedoch 24% der 227 untersuchten Quellen betroffen. Diese Grenzwertüberschreitungen sind auf natürlich, geologisch Ursachen wie die Auslaugung von Sulfaten und Chloriden aus Gips- und Salzgesteinen, aber auch

durch Menschen verursachte Emissionen wie z. B. Phosphat und Atrazin zurückzuführen.

**Tab. 2.5.1:** Richt- und höchstzulässige Grenzwerte der Europäischen Union und Österreichs für Trinkwasser, Grund- und Oberflächenwasser.

Parameter (Parameters)	Einheit (Units)	Richtzahl Trinkwasser 98/83/EG	Zuläss. Höchstkonz. Trinkw. 98/83/EG	Richtzahl Trinkwasser BGBL 235/98	Zuläss. Höchstkonz. Trinkw. BGBL 235/98	Zuläss. Höchstkonz. Grundwasser BGBL	Süßwasser Salm. 78/659/EG	Süßwasser Cypr. 78/659/EG
Färbung (colour)	mg/l Pt/Co	1.0	20.0		0.1 <sup>1</sup>			
Trübung (turbidity)	Jackson un.	0.4	4.0		1.5 <sup>2</sup>			
ungelöste Stoffe (suspended solids)	(mg/l)	keine (none)		keine (none)			G <sup>18</sup> ≤ 25	G <sup>18</sup> ≤ 25
Geruchsschwellenwert (odour)	Verdünnungsfaktor	0	2 bei 12° C	0	2 bei 12° C			
Geschmacksschwellenwert (taste)		0	3 bei 25° C	0	3 bei 25° C			
Temperatur (temperature)	° C	12	25	12	25		21.5	28
pH	pH Einheit	6.5 < pH < 8.5	(9.5)	6.5 < - < 8.5	(9.5)		6 - 9 <sup>17</sup>	6 - 9 <sup>17</sup>
Leitfähigkeit (conductivity)	µS/cm 20°C	400		400 <sup>3</sup>				
gelöster Sauerstoff (dissolved oxygen)	% O <sub>2</sub> Sättigung	> 75% <sup>4</sup>					50% ≥ 9 <sup>19</sup>	50% ≥ 7 <sup>19</sup>
Sauerstoffverbrauch (KMnO <sub>4</sub> ) (oxidizability)	O <sub>2</sub> mg/l	2	5	2	5			
Gesamthärte (total hardness)	mg/l Ca <sup>7</sup>			(60) <sup>6</sup>				
Abdampfrückstand (dry residues)	mg/l 180° C		1500		1500			
Calcium (calcium)	mg/l Ca	100		100				
Magnesium (magnesium)	mg/l Mg	30	50	30	50			
Eisen (iron)	µg/l Fe	50	200	50	200			
Mangan (manganese)	µg/l Mn	20	50	20	50			
Kalium (potassium)	mg/l K	10	12	10	12 <sup>5</sup>	12		
Natrium (sodium)	mg/l Na	20	150	20	150	90		
Ammonium (ammonium)	mg/l NH <sub>4</sub>	0.05	0.5	0.05	0.5	0.3	≤ 1	≤ 1
Alkalinität (Carbonathärte) (alkalinity)	mg/l HCO <sub>3</sub>		(30) <sup>6</sup>		(30) <sup>6</sup>			
Sulfate (sulphates)	mg/l SO <sub>4</sub>	25	250	25	250			
Chloride (chlorides)	mg/l Cl	25	(200) <sup>8</sup>	25	(200) <sup>8</sup>	60		
Nitrate (nitrates)	mg/l NO <sub>3</sub>	25	50		50	45		
Nitrite (nitrites)	mg/l NO <sub>2</sub>		0.1		0.1	0.06	G <sup>18</sup> < 0.01	G <sup>18</sup> < 0.03
Phosphat (phosphorus)	µg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	400	5000	400	5000	0.3 <sup>16</sup>		

Tab. 2.5.1: Richt- und höchstzulässige Grenzwerte (Fortsetzung)

Parameter (Parameters)	Einheit	Richt- zahl Trink-	Zuläss. Höchst- konz.	Richt- zahl Trink-	Zuläss. Höchst- konz.	Zuläss. Höchst- konz.	Süß- wasser Salm.	Süß- wasser Cypr.
	(Units)	wasser 98/83/ EG	Trinkw. 98/83/ EG	wasser BGBL 235/98	Trinkw. BGBL 235/98	Grund- wasser BGBL	78/659 /EG	78/659 /EG
Aluminium ( <i>aluminium</i> )	mg/l Al	0.05	0.2	0.05	0.2	0.12		
Barium ( <i>barium</i> )	µg/l Ba	100		100				
Bor ( <i>boron</i> )	µg/l B	1000		1000		600		
Cyanid gesamt ( <i>cyanides</i> )	µg/l CN		50		50	30		
Fluorid ( <i>fluoride</i> )	µg/l F		1500		1500	900		
Silber ( <i>silver</i> )	µg/l Ag		10 <sup>10</sup>		10 <sup>10</sup>			
Arsen ( <i>arsenic</i> )	µg/l As		50		50	30		
Cadmium ( <i>cadmium</i> )	µg/l Cd		5		5	3		
Chrom ( <i>chromium</i> )	µg/l Cr		50		50	30		
Kupfer ( <i>copper</i> )	µg/l Cu	100	(3000) <sup>9</sup>	100	2000	60	G <sup>18</sup> ≤ 40	G <sup>18</sup> ≤ 40
Quecksilber ( <i>mercury</i> )	µg/l Hg		1		1	1		
Nickel ( <i>nickel</i> )	µg/l Ni		50		50	30		
Blei ( <i>lead</i> )	µg/l Pb		50		50 <sup>11</sup>	30		
Antimon ( <i>antimony</i> )	µg/l Sb		10		10			
Selen ( <i>selenium</i> )	µg/l Se		10		10			
Zink ( <i>Zinc</i> )	µg/l Zn	100	5000 <sup>13</sup>	100	5000 <sup>13</sup>	1800	≤300	≤1000
Kjeldahl Stickstoff (ausgenommen NO <sub>2</sub> und NO <sub>3</sub> )	mg/l N		1 <sup>21</sup>		1 <sup>21</sup>			
Schwefelw.asserstoff ( <i>hydrogen sulphide</i> )	µg/l		organoleptisch nicht nachweisbar		organoleptisch h nicht nachweisbar			
Mit Chloroform extrahierbare Stoffe ( <i>substances extractable in chloroform</i> )	mg/l Abdamfrüc kstand	0.1		0.1				
Mineralöle (mineral oils)	µg/l		10		10	60	3000	3000
Phenole (Phenolindex)	µg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH		0.5		0.5		2000	2000
Oberflächenaktive Stoffe (die mit Methylenblau reagieren) ( <i>surfactants with methylene blue</i> )	Tetrapropylenbenzo sulfonat µg/l (laur.sulphate)		200		200			
Summe leichtflüchtiger halogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe	µg/l	1			30 <sup>12</sup>	18 <sup>12</sup>		
1,1-Dichlorethen (-e)	µg/l				0.3	0.2		
1,2-Dichlorethan (-e)	µg/l					6		
Tetrachlormethan (-e)	µg/l				3	1.8		
Tetrachlorethen (Per) (-e)	µg/l				10	6		

**Tab. 2.5.1:** Richt- und höchstzulässige Grenzwerte (Fortsetzung)

Parameter (Parameters)	Einheit (Units)	Richt- zahl Trink- wasser 98/83/ EG	Zuläss. Höchst- konz. Trinkw. 98/83/ EG	Richt- zahl Trink- wasser BGBL 235/98	Zuläss. Höchst- konz. Trinkw. BGBL 235/98	Zuläss. Höchst- konz Grund- wasser BGBL	Süß- wasser Salm. 78/659 /EG	Süß- wasser Cypr. 78/659 /EG
Pestizidsumme (pesticides and related products total) <sup>15</sup>	µg/l		0.5		0.5			
Atrazine	µg/l					0.1		
2,4-Dichlorophenoxyacid	µg/l					0.1		
Alachlor	µg/l					0.1		
Lindane, a- und b-HCH	µg/l					0.1		
Pentachlorphenol	µg/l					0.1		
PCB	µg/l					0.06		
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's)) <sup>14</sup>	µg/l		0.2		0.2	0.1		
Benzol (benzene)	µg/l					1		
Toluol (toluene)	µg/l					6		
Escherichia coli	MPN/100 ml		0		0			
coliforme Bakterien (total coliforms)	MPN/100 ml		(0)		0			
Fecal coliforms	MPN/100 ml		(0)					
Fecal streptococci	MPN/100 ml		(0)					
Enterokokken	MPN/100 ml		0		0			
Pseudomonas aeruginosa	MPN/100 ml		(0)		0			
sulfitreduzierende Clostridia (sulphitereducing Clostridia)	MPN/20 ml		(0)		0			
koloniebild. Einheiten; KBE (total bacteria counts, CFU)	22° C/1 ml	100 <sup>20</sup>		100				
koloniebild. Einheiten; KBE (total bacteria counts, CFU)	37° C/1 ml	20 <sup>20</sup>		10				

Richtz. Trinkwasser 98/83/EG = Richtzahl der RICHTLINIE DES RATES 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Zuläss. Höchstk. Trinkw. 98/83/EG = Zulässige Höchstkonzentration der RICHTLINIE DES RATES 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Richtz. Trinkwasser BGBL 235/98 = Richtzahl des BUNDESGESETZBLATT (BGBl 235/1998) über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Zuläss. Höchstk. Trinkw. BGBL 235/98 = Zulässige Höchstkonzentration des BUNDESGESETZBLATT (BGBl 235/1998) über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Zuläss. Höchstk. Grundwasser BGBL 502/91 = Zulässige Höchstkonzentration des BUNDESGESETZBLATT (BGBl 502/1991 und 213/1997) betreffend der Schwellenwerte für Grundwasserinhaltsstoffe (Grundwasserschwellenwertverordnung - GSwV).



Süßwasser Cypr.. 78/659/EG = RICHTLINIE DES RATES 78/659/EG über die Qualität von Süßwasser (Cyprinidengewässer), das schutz- oder verbesserungswürdig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. Imperativ Wert oder Richtwert (G).

<sup>1</sup> Spektraler Absorptionskoeffizient  $m^{-1}$  436 nm, Aussehen. <sup>2</sup> Trübungseinheiten/ Formazin od. Sichttiefe Secchi-Scheibe RZ: 6m ZHK: 2m <sup>3</sup>  $\mu S/cm$  bei 25° C <sup>4</sup> Mit Ausnahme von Grundwasser

<sup>5</sup> Geogene Konzentrationen bis 50 mg/l <sup>6</sup> Mindestkonzentration in enthärteten Wässern.

<sup>7</sup> Oder gleichwertige Kationen <sup>8</sup> Geogen oder aufbereitungstechnisch bedingte Überschreitungen sind bis 200 mg/l zulässig. <sup>9</sup> über 3 000  $\mu g/l$  ein adstringierender Geschmack, Verfärbungen und Korrosionen können auftreten <sup>10</sup> Unter Ausnahmefällen kann Wasser bis 80  $\mu g/l$  (HZK) behandelt werden. <sup>11</sup> Eine HZK von 10  $\mu g/l$  gilt ab 2013.

<sup>12</sup>  $\mu g/l$  e.g. Trichlormethan, Tribrommethan, Bromdichlormethan, Dibromchlormethan, Tetrachlormethan, Dichlormethan, 1,1-Dichlorethen, Tetrachlorethen, Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan

<sup>13</sup> Über 5 000  $\mu g/l$  hinaus können adstringierender Geschmack, Opaleszenz und sandähnliche Ablagerungen auftreten.

<sup>14</sup> Summe von Fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren <sup>15</sup> Herbizides, fungicides, PCB's and PCT's.

<sup>16</sup> Orthophosphat  $PO_4$  <sup>17</sup> Artificial pH variations with respect to the unaffected values shall not exceed  $\pm 0.5$  of a pH unit within the limits falling between 6.0 – 9.0. <sup>18</sup> (mg/l) (G) = Richtwerte

<sup>19</sup> (mg  $O_2/l$ ) <sup>20</sup> Für Wasser das in Flaschen oder sonstigen Behältnissen zum Kauf angeboten wird

<sup>21</sup> Bei der Gewinnung von Wasser aus Oberflächenwasser.

Unter den gering erhöhten Werten wurden drei markante Belastungsfaktoren:

- Nitrat - Atrazin - Desethylatrazin
- Nitrit - Ammonium
- Orthophosphat - DOC - AOX

errechnet. Der erste Faktor wird den überwiegend landwirtschaftlichen Aktivitäten der Grazer Bucht und des Grazer zugeschrieben, während erhöhte Nitrit und Ammoniumwerte auch in hochalpinen Quellen auftreten und deren Herkunft (Bodenauswaschung oder Lufteintrag) noch zu klären ist. Der dritte Belastungsfaktor ist vorwiegend auf menschliche Aktivitäten in den dichter besiedelten Beckenlagen Kärntens, Salzburgs und Vorarlbergs zurückzuführen (Abb. 2.5.1). Hier finden sich auch Spuren von chlorierten Kohlenwasserstoffen.

Geringste Schwermetallgehalte mit nur fünf Grenzwertüberschreitungen können vorwiegend den natürlichen Vererzungen der Kärnter Goldeck- Kreuzeckgruppe (As, Hg), des steirischen Hügellandes (Pb, Zn, As, Hg) und der Nordtiroler Kalkalpen (Pb, Zn, Hg) zugeschrieben werden. Nicht geklärt sind jedoch die Ursachen für gering erhöhte Werte von Chrom in Tirol und von Blei in Vorarlberg (KRALIK, 1999c).

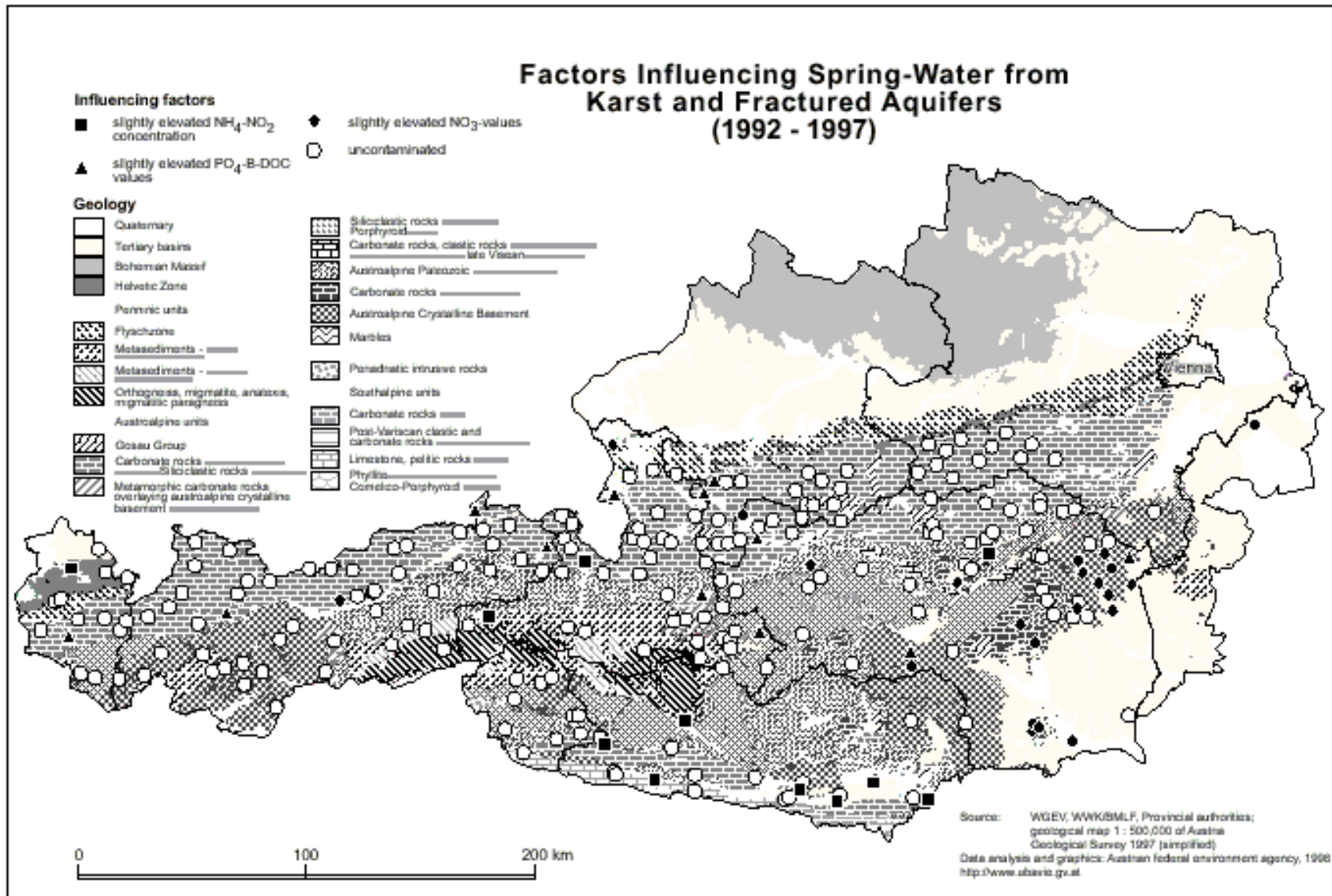


Abb. 2.5.1: Belastungsfaktoren der Karbonat(karst) und Kristallin(kluft)grundwasserquellen (KRALIK, 1999c).

**Tab. 2.5.2:** Statistische Daten der Karbonat(karst)wässer der österreichischen Wassergütererhebung (1995-1997) (Legende siehe unten)

Parameter	Mittelwert	Median	Min*	Max	10% Perzentile	25% Perzentile	75% Perzentile	90% Perzentile	Anzahl	> MBG (%)
Schüttung (l/s)	269	26	<0,02	8792	1,2	9	178	719	1194	93***
Temperatur (C°)	6,9	6,5	0,2	24,3	4,5	5,5	8	9,7	1950	99,7
pH	7,8	7,88	6,0	8,9	7,4	7,7	8,1	8,2	1942	99,5
Leitfähigkeit µS/cm	301	269	33	1638	163	200	368	489	1944	99,7
Sauerstoff (mg/l)	10,5	10,6	<0,1	23	8,1	9,5	11,4	12,5	1932	99,5
Gesamthärte°dH	9,2	8,3	2,9	30,9	5	6,028	11,3	14,8	1837	99,7
Karbonathärte °dH	7,5	6,9	2,9	17,7	4,65	5,4	9,21	11,7	1837	99,7
Calcium (mg/l)	46,9	42,4	9	168,7	26,9	32,2	56,6	75,9	1922	99,7
Magnesium (mg/l)	11,6	10,1	0,09	53,37	2,2	5,5	16,6	22,2	1922	99,6
Eisen (mg/l)	0,021	<0,02	<0,02	3,13	<0,01	<0,01	0,02	0,04	1517	32,6
Mangan (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	0,309	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1513	3,2
Kalium (mg/l)	0,36	0,1	<2	6,4	<0,1	<0,1	0,60	1	1922	52,1
Natrium (mg/l)	1,39	0,6	<1	57,4	<0,1	0,1	1,5	3,4	1922	75,4
Ammonium (mg/l)	0,0034	<0,001	<0,01	0,251	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	1922	20,2
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	164,9	153,0	15	386	103	120	203	256	1922	99,7
Sulfat (mg/l)	26,0	7,8	<1	427,4	2,12	3,8	19,3	58,7	1919	99,1
Chloride (mg/l)	1,9	0,5	<1	87,5	<0,2	<0,2	1,5	4,62	1919	72,9
Nitrat (mg/l)	3,8	2,7	<1,0	40,7	1,18	1,7	4,5	7,1	1919	95,0
Nitrit (mg/l)	0,001	<0,001	<0,01	0,17	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	1921	6,6
Phosphat (mg/l)	0,0098	<0,02	<0,02	0,92	<0,02	<0,02	0,01	0,03	1922	29,1
Aluminium (mg/l)	0,019	0,010	<0,01	0,858	<0,01	<0,01	0,022	0,040	736	55,0
Bor (mg/l)	0,010	<0,02	<0,02	1,057	<0,02	<0,02	0,02	0,030	1920	24,1
Arsen (mg/l)	0,0004	<0,001	<0,001	0,049	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1253	9,8
Cadmium (mg/l)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,003	<2E-4	<2E-4	<2E-4	<2E-4	1213	7,6
Chrom (mg/l)	0,0006	<0,001	<0,001	0,048	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	1256	21,2
Kupfer (mg/l)	0,0031	<0,001	<0,001	0,109	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	426	46,2
Quecksilber (mg/l)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,002	<2E-4	<2E-4	<2E-4	<2E-4	1251	2,8
Nickel (mg/l)	0,0018	<0,002	<0,002	0,083	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	426	29,3
Blei (mg/l)	0,0004	<0,001	<0,001	0,020	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	1220	15,2
Zink (mg/l)	0,020	<0,02	<0,02	0,74	<0,02	<0,02	<0,02	0,060	736	26,1

**Tab. 2.5.3:** Statistische Daten von AOX, DOC und ausgewählten chlorierten Kohlenwasserstoffen und Pestizide von Karbonat(karst)wasser der österr. Wassergüteehebung (1995-1997)

Parameter	Mittelwert	Median	Min*	Max	10% Perzentile	25% Perzentile	75% Perzentile	90% Perzentile	Anzahl	> MBG (%)
AOX (µg/l)	1.42	<1.5	<2	77.6	<1.5	<1.5	2.5	4.1	819	35.7
DOC (mg/l)	0.67	0.58	<0.5	5.5	<0.3	<0.3	<1.0	1.6	1920	62.4
1,1,1-Trichlorethan	<0.1	<0.1	<0.1	0.29	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1098	0.3
1,1-Dichlorethan (µg/l)			<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	1121	0
1,2-Dichlorethan (µg/l)			<5	<5	<5	<5	<5	<5	1059	0
Bromdichlormethan (µg/l)			<5	<0.1	<5	<5	<5	<5	812	0
Dibromchlormethan (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	812	0
Dichlormethan (µg/l)			<20	<20	<20	<20	<20	<20	812	0
Tetrachloreth.(Per)	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1098	1.2
Tetrachlormethan	<0.1	<0.1	<0.1	1.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1098	0.1
Trichlorethan (Tri)	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1098	0.8
Trichlorm.(Chlorof.)	<0.1	<0.1	<0.1	7.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1098	2.9
2,4-D (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	350	0
2,4,5-T (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	350	0
Alachlor (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1712	0
Atrazin	<0.1	<0.1	<0.1	0.31	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1297	1.6
Desethylatrazin µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	0.61	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1297	2.7
Desisopropylatrazin	<0.1	0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1765	0.1	1765	0.1
Bentazon (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	64	0
Cyanazin (µg/l)			<0.1	0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1712	0.1
Dicamba (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	243	0
Dichlorprop (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	350	0
Lindan (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	182	0
MCPA (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	350	0
MCPP (µg/l)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	350	0
Metolachlor (µg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1711	0.1
Prometryn (µg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1712	0.2
Propazin (µg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1712	0.1
Simazin (µg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1712	0.2

>MBG: Prozentsatz der gemessenen Proben, die die "Mindestbestimmungsgrenze" (BUNDESGESETZBLATT: BGBl1991b, 1997) überschreiten; \* Min: Minimum (die offizielle

Mindestbestimmungsgrenze (MBG) wird hier angegeben, doch einige Laboratorien erreichen eine geringere MBG); 10%: 10% Perzentile z. B. 10% der gemessenen Werte sind geringer als die 10% Perzentile, 90% darüber etc.

## 2.6 Mikrobiologische Studien

Unter mikrobiologische Kriterien, die eine Wasserbelastung anzeigen und Krankheiten verursachen können, gehören Bakterien, Viren und Protozoen (WHO, 1996). In der Praxis jedoch werden für die Überprüfung für Trinkwasserzwecke in Österreich nur bakteriologische Kriterien herangezogen. Hier insbesondere nur die in der Verordnung Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (BGBL, 1998; RICHTLINIE DES RATES 98/83/EG, 1998: siehe auch **Tab. 2.6.1**) angeführten Indikatorparameter *Escherichia coli*, *coliforme Bakterien*, *Enterokokken*, *Pseudomonas aeruginosa*, *sulfitreduzierende Clostridien* und die mit Richtwerten begrenzten *koloniebildenden Einheiten* (100KBE/ml bei 22° und 10KBE/ml bei 37° C).

Auch wenn in Österreich alle Wasserversorger, abhängig von der Anzahl der versorgten Einwohner, von den über 160 für die Trinkwasserversorgung genutzten Karstkarbonatquellen oder -brunnen (ÖVGW, 1999; GRATH & KRALIK, 1997), die oben angeführten Parameter mindestens einmal pro Jahr untersuchen müssen, so gibt es in Österreich wenig publizierte Daten von Karbonat(arst)wässern.

PAVUZA und TRIMMEL (1985) versuchten mit Untersuchungen von Gesamtkeimzahlen (KBE) Beziehungen zur Wasserchemie (Kalk – Dolomit) und zu Boden bzw. Vegetation (Grün- - Kahlkarst) zu finden. Nach Starkregen bzw. während der Schneeschmelze steigt bei Quellen deren Einzugsgebiet ganz oder teilweise im Grünkarst liegt, die Gesamtkeimzahl plötzlich an und fällt danach langsam wieder ab. Die dabei entstehenden Kurven sind wie schon DOSCH (1955) bemerkte, mit den Kurven von Farbtracerversuchen vergleichbar. Dolomitkarstkörper zeigen statistisch geringere Keimzahlen als Wasserproben aus Kalkgebieten.

Überdies zeigen Karstquellwässer mit gemischten Einzugsgebieten (Kahlkarst-Grünkarst),, wie dies zum Beispiel bei manchen Quellen am Fuße der hochalpinen Kalkplateaus (Totes Gebirge, Dachstein) der Fall ist, im Schnitt bei Trockenwetterabfluss deutlich geringere Gesamtkoloniezahlen auf als Quellwässer aus reinen Grünkarstgebieten. Ein Teil des Niederschlages schwemmt Bodenkeime in den Karstwasserkörper. In Kahlkarstgebieten versickert der Niederschlag praktisch ohne Keimaufnahme im Fels (PAVUZA & TRIMMEL, 1985).

TRAINDL UND PAVUZA (1990) weisen bei einem Vergleich der verschiedenen Bodentypen im Einzugsbereich von Quellen, dass die stärkste Ausschwemmung an Bodenkeimen bei Rendzinaböden erfolgte.

HERLICKSKA et al. (1994) und KRALIK (1999b) zeigen die jahreszeitlich abhängigen Ergebnisse von 40 beprobten Quellen um das Dachsteinmassiv und von 20 oberösterreichischen Quellen im Rahmen der österreichischen Wassergüteehebung (**Abb. 2.6.1**). Markant ist, dass im Winter (Feb. und Nov.) 77 bzw. 82 % der Quellen die Grenz- und Richtwerte unterschreiten, aber im Frühjahr (Mai u. März) und im Sommer (Juni, Aug. und Sept.) nur 12 – 44 % der Quellwässer die Grenz- und Richtwerte einhalten.

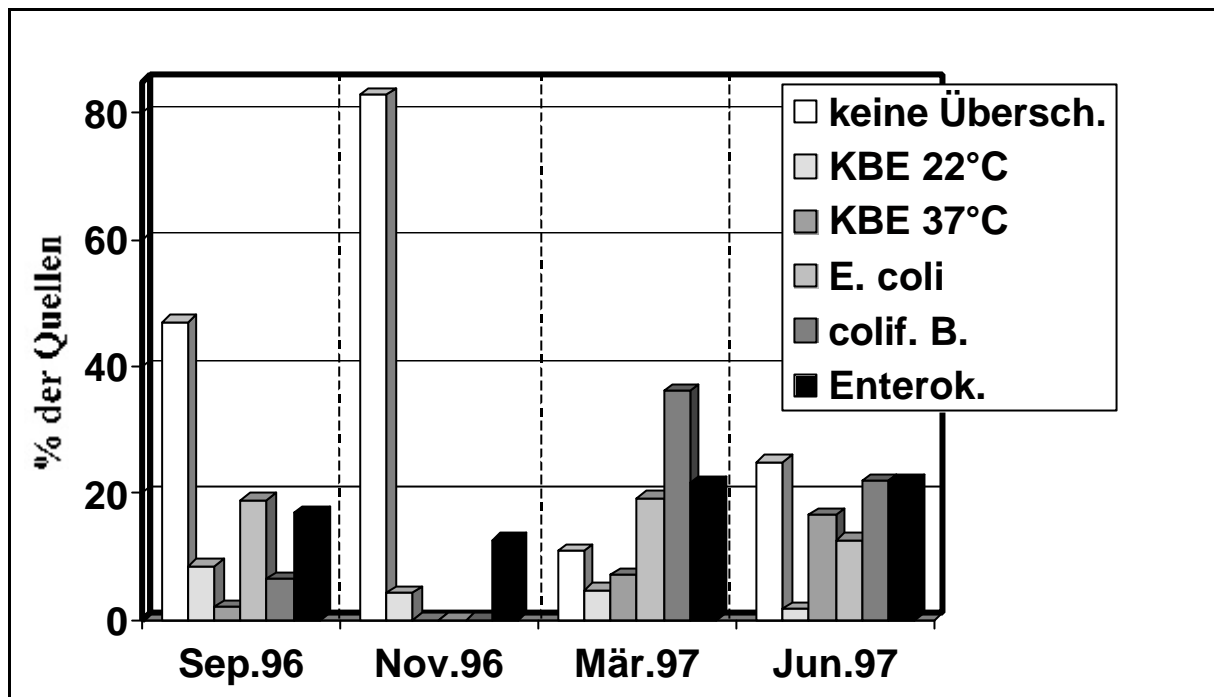


Abb. 2.6.1: Prozent der oberösterreichischen Quellen mit Überschreitung der zulässigen mikrobiologischen Höchstwerten; Die zulässige Höchstkonzentration, verordnet für Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch, wurde während der 4 Beprobungen der 20 Quellen in keinem, einem oder mehreren mikrobiologischen Parametern (%) überschritten (KRALIK, 1999c).

**KBE 22°C:** koloniebildende Einheiten bei 22°C

**KBE 37°C:** koloniebildende Einheiten bei 37°C

**E. coli:** Escherichia coli

**colif. B.:** coliforme Bakterien

**Enterok.:** Enterokokken

SCHMIDT (1999) unterstreicht, basierend auf intensiven Untersuchungen wie Intensivkampagnen im Nationalpark Kalkalpen (1994-1997), dass viele Bakterien an organische und anorganische Partikel gebunden sind. Im allgemeinen geht eine Trübungszunahme mit einem kräftigen Anstieg der Bakterienzahl einher, die wenigsten teilweise auf eine Erhöhung der organischen Schwebstoffrate zurückzuführen ist. Ändert sich dagegen der Bakteriengehalt nur wenig, so ist die Trübe durch anorganische Schwebstoffe bedingt.

Diese Beobachtung lässt sich auch aus der Beziehung von Keimbildungszahlen (22° C) und der Adsorption der UV-Spektrums (254 nm) an drei Quellen des Nationalpark Kalkalpen ableiten. Die Adsorption der Wellenlänge 254 nm des UV-Spektrums wird vielfach zur Messung des organischen Anteils im Wasser verwendet. Die Ereignisbeprobung an den drei sehr unterschiedlichen Quellen zeigt eine quellspezifische lineare bis exponentielle Beziehung zwischen der UV-Adsorption und den Koloniebildenden Einheiten (s. **Abb. 2.6.2**).

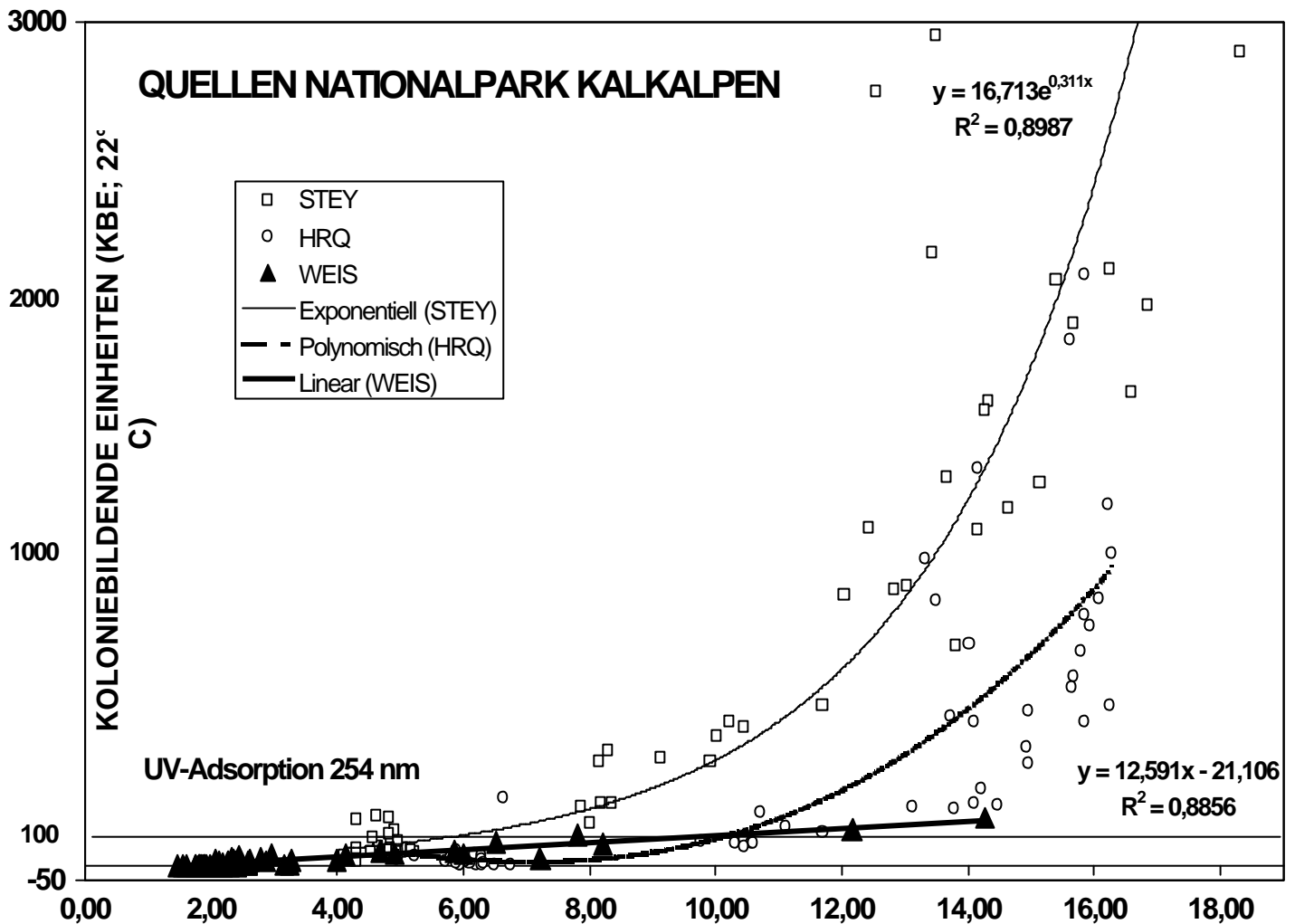


Abb. 2.6.2: Quellspezifische Beziehung UV-Adsorption (254 nm) und Koloniebildende Einheiten (KBE, 22° C) in drei Quellen nach Daten des Nationalpark Kalkalpen (HASEKE & PRÖLL, 1997).

Auch wenn erst geprüft werden muss, ob diese Beziehung UV-Adsorption und KBE (22°) nicht nur in diesen drei Quellen des Nationalpark Kalkalpen besteht, so ist dies doch ein verfolgenswerter Ansatz. Diese UV-Adsorption kann auch an Quellstationen kontinuierlich gemessen werden (STEINKELLNER, 1998) und könnte daher zur Optimierung des Quellrohwassers herangezogen werden. Einerseits um Auswirkungen von Maßnahmen im Quell-einzugsgebiet zu belegen, andererseits um durch fallweise Ausleitungen die Qualität des Quellrohwassers sicherzustellen.

So findet sich zum Beispiel auch das aus wasserhygienischen Gesichtspunkten gefährliche *E. coli* an Partikel gebunden. Dieses kann lange „Hungerstrecken“ überdauern und sich auch bei viel niedrigeren Temperaturen vermehren. Auf diese Weise kann die Überlebenszeit weit länger als 50 Tage betragen, was oft als Grenzlinie für Trinkwasserschutzgebiete veranschlagt wird. Nur wenige *E. coli* Keime finden sich im klaren Wasser. Auch ist interessant zu erkennen, dass die koloniebildenden Einheiten nicht mit bestimmten Schüttungsverläufen konform gehen. Die Quellschüttung und Verfrachtung koloniebildender Einheiten (KBE) verlaufen in ihren Ganglinien nicht unbedingt synchron.

Überdies entsprechen auch hier 80% der Quellen nicht ganzjährig den Anforderungen einer Trinkwasserqualität. Vor allem Quellen, die aus Alm- und Waldweidegebieten kommen und wo Einträge aus der unmittelbaren Quellumgebung nicht auszuschließene bzw. nachweisbar sind (Fassungen, Hohlräume, Wildfütterung, Hütten), müssen als permanent stark belastet eingestuft werden (SCHMIDT, 1999).

Ob die reiche Bakterienfracht der Quellen des Nationalpark Kalkalpen durch massive Störungen im Naturhaushalt der letzten Jahrzehnte begründet ist oder einen quasinatürlichen Zustand widerspiegelt, ist derzeit noch ungewiss. Quellen, die aus tiefem Karst stammen, weisen geringe 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“ (SCHMIDT, 1999).

MENNE (1998) meint aus Studien von Myxobakterien und E. coli in der Rettenbachhöhle (OÖ) und im Hagengebirge, dass eine eindrucksvolle Fülle mikrobiologischer Aktivität im Karstkörper selbst durch Biofilme auf subterranean Oberflächen und Sedimenten bedingt sein kann und nicht von Böden eingeschwemmt ist. In den Biofilmen kann es zur Anreicherung oder auch zum Überleben biotopfremder Bakterien kommen. Bei bestimmten Ereignissen – Hochwässer beispielweise – kann zeitgleiches Ausschwemmen solche adsorbierten Organismen stattfinden.

## 2.7 Ferntransportierte Schadstoffe

### 2.7.1 Hinweise aus Bodenanalysen:

MUTSCH (1992): Cadmium, Blei und Zink – Anomalien in der Humusaufgabe und/oder im Oberboden (0-10 cm) des Waldes der oberösterreichisch – steirischen Grenzregion um den Dachstein, sowie südöstlich von Salzburg (Kt.: VI.4, VI.3; VI.2), weisen auf einen Ferntransport dieser Schwermetalle hin. Überdies zeigen die Cd und Pb Analysen österreichweit einen Höhengradienten mit einer Zunahme der Konzentrationen (Cd: 0,3-1,8 mg/kg; Pb: 30 – 80 mg/kg) in karbonatbeeinflussten Waldböden parallel zum Anstieg der Niederschläge in der Höhenlage von 700 bis 1100 m (S. 181).

JURITSCH & WIENER (1993): Eine Anreicherung von Schwefel aus Verbrennungsvorgängen ist besonders aus niedrigen C/S – Verhältnissen (<200; ev. <250) im Auflagehumus ersichtlich. Eine relative Anreicherung dieser niedrigen C/S – Verhältnisse ist im Flach- und Tennengau zu erkennen. Besonders auffällig ist der N-S Streifen entlang des Haunsberges und im oberen Lammertal um Annaberg und Lungötz. Diese Punkte mit möglicher Immissionsbelastung müssten in Zukunft detailliert untersucht werden (S. 82).

Bodenproben auf den Plateaus der Karststöcke wurden kaum entnommen. Die Elemente Pb (>100 mg/kg) und As (50-100 mg/kg) sind am Westabfall des Tennengebirges beim Paß Lueg und Werfen in den Bodenproben erhöht (Kt. 4.1.1, Kt. 4.9.1).

### 2.7.2 Hinweise aus Moosanalysen:

ZECHMEISTER, H. (1997): Salzburg ist an sich, wie Moosanalysen zeigten, eines am geringsten mit ferntransportierten Schwermetallen belastete Bundesland. Jedoch zeigen Moose bei Werfenweng höhere Belastungen an Pb an. Das Salzkammergut und Hölleengebirge im nordwestlich anschließendem Oberösterreich zeigen in den 1995 aufgesammelten Moosen hohe Cd, Pb und S Gehalte. Diese sind wohl, auch bedingt durch die dort üblichen hohen Niederschlagsraten (> 1700 mm/a), überwiegend ferntransportiert.



Auch die Chiemgauer Alpen im Grenzbereich Bayern – Tirol – Salzburg zeigen in den gesammelten Moosen hohe Cd, Cu, Hg und Pb Werte an.

### 2.7.3 Hinweise aus Quellwässern:

Auswertungen der Quellanalysen der Wassergütererhebungsverordnung (WGEV, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1991) ergaben, dass das Auftreten von geringfügig erhöhten Blei-, Ammonium- und Nitritwerten (ev. auch Cadmiumwerte) durch Ferntransport bedingt sein könnten. Überdies darf man bei dem sehr schwankenden Abfluß in vielen Karstwasserquellen nicht nur Mittelwerte analysieren, sondern man muß auch jede Probenahme als Stichprobe in einem sehr dynamischen System ansehen. Daher ist es häufig vom Moment der Probenahme abhängig, ob ein von meteorologischen und hydrologischen Verhältnissen bedingtes Auftreten ferntransportierter Schadstoffe erfaßt wird oder nicht (KRALIK 1997).

Blei trat in den Jahren 1992-1996 in Salzburg nur in Karstquellen bei Golling, Werfen und Abtenau in unüblich hohen Konzentrationen (PHILIPPITSCH et al., 1998) von 1,5-7,1 µg/l auf.

In der Quelle bei Golling trat auch Cadmium und bei Abtenau Nitrit in erhöhten Konzentrationen von 0,2 und 10 µg/l auf.

In den Quellen nördlich des Dachsteinmassives, die, durch Markierungsversuche belegt, einen raschen Zusammenhang zu den hohen Gletscherregionen aufweisen, wurden im Frühjahr bei hoher Schüttung erhöhte Blei-, Cadmium-, Kupfer- und Eisenwerte im Quellwasser nachgewiesen. Überdies wurden in diesen Quellwässern die chlorierten Kohlenwasserstoffe Tetrachlorethen, Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan und Chloroform gefunden. All diese Substanzen können in diesem Zusammenhang nur als ferntransportiert angesehen werden (HERLICSKA et al. 1994).

### 2.7.4 Hinweise aus Fichtennadeln und Waldhumusauflagen

Überzeugend sind die Argumente für einen Schadstoffferntransport durch die Analysen von organisch persistenten Mikroschadstoffen in Fichtennadeln und Auflagehumus von 25 österreichischen Hintergrundmessstellen untermauert. Bei den polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen und den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen werden bei den vergleichsweise höher belasteten Hintergrundstandorten jedoch Gehalte erreicht, wie sie auch vom Nahbereich von Emissionsquellen berichtet werden. Auch dies stellt ein Zeugnis für die weiträumige Verfrachtung von Schadstoffen dar. Überdies weisen ein höherer Anteil an hochchlorierten PCDD/F sowie ein höheres Dioxin/furan-Verhältnis in den höchstgelegenen Fichtennadeln eines Höhenprofils bei Achensee, ähnlich wie bei den Schwermetallen, auf weiter verfrachtete Luftmassen als Herkunft für die höheren Nadelgehalte hin.

Auch dokumentiert das Auftreten von DDT (und Metaboliten) in den Fichtennadeln in mehr als der Hälfte der Standorte, trotz des langjährigen Anwendungsverbotes in Österreich, eine aktuelle ferntransportierte Luftbelastung (WEISS, 1998).

## 2.8 Niederschlags-Isotopenmessnetz

### 2.8.1 Einleitung und Ist-Zustand

Die überwiegend hohen Niederschläge im alpinen Raum spielen für das Karbonat(karst)grundwasser eine besonders wichtige Rolle. Aus diesem Grund ist die Kenntnis der Herkunft und Verweilzeit der Grundwässer eine wesentliche Voraussetzung für die Bewertung der Qualität dieser Wässer. Die Darstellung des Niederschlags-Isotopenmessnetzes ist eine wesentliche inhaltliche Ergänzung zu den Isotopenuntersuchungen des Grundwassers, das aus Quellen bezogen wird.

Gegenwärtig werden an 72 aktiven und 28 aufgelassenen Stationen Niederschläge gesammelt. Von den gegenwärtig aktiven Sammelstationen werden 63 vom Umweltbundesamt und 8 vom ÖFPZ-Arsenal betreut. Von zwanzig Stationen wurden die Niederschlagsproben regelmäßig auf Tritium analysiert (siehe Karte Abb. 2.8.1.). Diese Daten wurden bislang in Berichten publiziert (HUMER et al. 1993, 1995; HERLICKSKA et al., 1994; RAJNER et al., 1996; SCHEIDLEDER et al., 1994, 1998).

Abhängig von der einzelnen Station liegen Analysen von Tritium, Deuterium und Sauerstoff-18 Isotopenmessungen der Monatsmischproben in Datenbanken vor, die nahezu ausschließlich im ÖFPZ-Arsenal und vom Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF-München) analysiert wurden, bzw. sind als Monatsmittelproben in ungefähr 21.000 1L-Flaschen in den Kellern gelagert (KRALIK, 1999d).

Einen guten Hinweis über die Isotopenzusammensetzung der Niederschläge in wenig veränderter Form geben die im Rahmen der Wassergüteerhebung im Jahre 1996/97 (4x) auf Tritium und Sauerstoff-18 Isotope analysierten 239 Karbonat(karst)- und Kristalinquellen (RANK, 1999).

Als Sammler werden überwiegend verzinkte Stahlombrometer mit 500 cm<sup>2</sup> Auffangfläche verwendet. Täglich in der Früh wird von den Betreuern die Menge des gefallenen Niederschlags gemessen und das Wasser in einem Kunststoffgefäß gesammelt. Für jeden Kalendermonat wird aus der so gewonnenen Mischprobe ein Liter Wasser abgefüllt und entweder für spätere Untersuchungen gelagert oder zur Analyse weitergegeben. Die nach der Analyse verbleibenden Restmengen werden ebenfalls aufbewahrt. Die Aufbewahrung erfolgt in Polyethylenflaschen mit Schraubverschluss.

### 2.8.2 Verwendung der Isotopendaten

Die Daten aus dem Niederschlags-Isotopenmessnetz finden bereits seit Jahrzehnten eine breite Verwendung. Die entscheidenden Erkenntnisse, die sich mit keiner anderen Methode in vergleichbarer Form dokumentieren lassen, sind

- Basiswerte für die Abschätzung des Alters des Wassers (Tritium) und die Eingrenzung des Einzugsgebietes nach der Höhenlage (Deuterium und Sauerstoff-18) in Wasserversorgungs- und in geotechnischen Groß-Projekten.
- die Rekonstruktion von Trends in der Herkunft und den Bildungsbedingungen feuchter Luftmassen (Wolken) im Zusammenhang mit der Abschätzung von Auswirkungen der "globalen Erwärmung" in Österreich.

Die österreichische Philosophie - im Gegensatz zu den erst in den letzten Jahren ausgebauten Sammelnetzen in Deutschland, Italien und der Schweiz - ist, von einer Vielzahl von Stationen Niederschlagsproben zu sammeln und sie erst bei lokalem Bedarf (größere Wasserversorgungs- und geotechnische Projekte, überregionale Wasserversorgungen, Staudämme, Tunnelprojekte, etc.) analysieren zu lassen.

## Niederschlagsprobenbank für das österreichische Isotopenmessnetz (Stand: Jänner 2001)

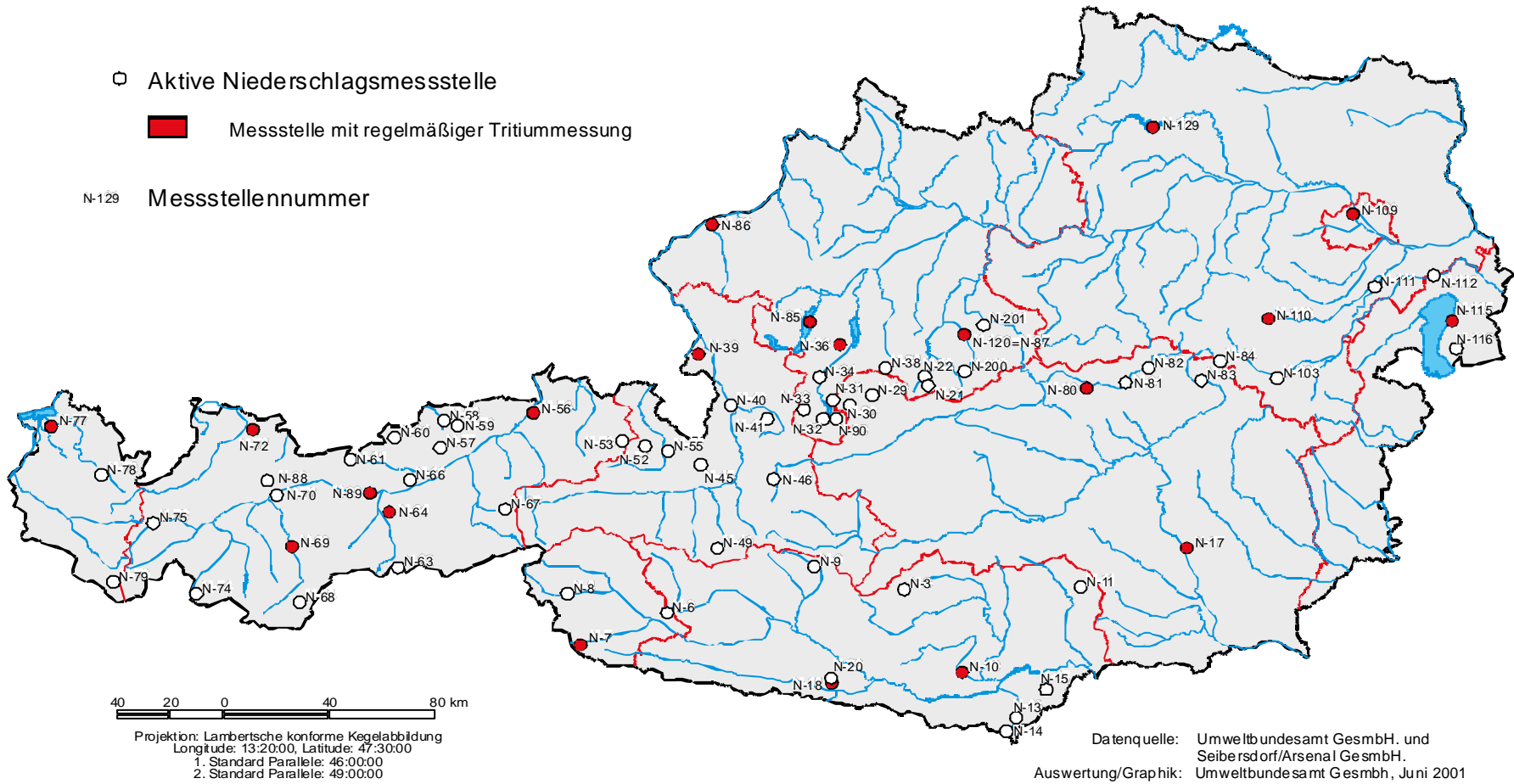


Abb. 2.8.1: Sammelstationen des österreichischen Niederschlagsmessnetzes für Isotopen (ANIP)

Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung dieser Informationen, die aus diesem Niederschlagssammelnetz gewonnen werden können, ist der jährliche Aufwand zur Aufrechterhaltung dieser Infrastruktur als moderat anzusehen.

### 2.8.2.1 Altersbestimmung von Karbonat(karst)wässern (Tritium)

Neben einer geringen natürlichen Neubildung in der Stratosphäre stellten die Atombombentests in den letzten Jahrzehnten die wichtigste Tritiumquelle dar. Sie erzeugten die Spitzen der Tritiumgehalte im Niederschlag im Jahre 1963. Die gesamte Freisetzung durch die Kernwaffenversuche in der Atmosphäre kann mit rund  $200 \cdot 10^{18}$  Bq angenommen werden (HABERER, 1989).

Aufgrund der bekannten Analysen kann eine annähernd exponentielle Abnahme des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen seit 1963 angenommen werden, die von einer jahreszeitlichen Variation mit Maximalwerten im Frühsommer und Minimalwerten im Frühwinter überlagert wird.

Bei der genauen Kenntnis des Tritiumeintrages durch den Niederschlag einer Region und unter Berücksichtigung der Halbwertszeit (12,4 Jahre) von Tritium können Wässer mit einem Alter bis zu ungefähr 100 Jahren datiert werden. Auch wenn sich die Tritiumwerte seit den letzten fünf Jahren immer mehr asymptotisch den natürlichen Gehalten von ungefähr 10 Tritiumeinheiten annähern, so lassen sich noch immer auf Grund des Bomben-Tritiums und verbesserter Meßtechnik Wässer in einem Altersbereich von 6 - 100 Jahren gut datieren, soweit der regionale Eintrag gut bekannt ist. Die Tritiummessungen der letzten Jahre haben gezeigt, daß aus noch ungeklärten Gründen an einigen Stationen in Westösterreich erhöhte Tritiumwerte gemessen werden (RAJNER et al. 1996). Ohne Kenntnis dieses Basiseintrages würde man zu völlig falschen Alterseinstufungen gelangen.

Überdies kommt der Tritiummessung eine erhebliche Bedeutung bei der Bewertung der "nachhaltigen Verwendung von Wasservorräten" zu. Dies sowohl in quantitativer als auch qualitativer Form. Das Alter der Wässer, die zutage treten, sagt viel über die Wasserneubildungsrate aus. Bei sehr alten Wässern läuft man Gefahr, an einem Aquifer "Raubbau" zu betreiben, da in diesem entweder gar keine oder eine extrem langsame Wasserneubildung stattfindet. Ganz junge Wässer sind auf Grund ihres "Kontaminationspotentials" für bakteriologische und organische Belastungen für Wasserversorgungen bedenklich. Für Wasserversorgungen ist daher die nachhaltige Nutzung von Grundwässern mit Altern von ein bis zwei Jahrzehnten optimal.

### 2.8.2.2 Bestimmung der Höhenlage des Einzugsgebietes von Karbonat(karst)wässern (Deuterium und Sauerstoff-18)

Mit zunehmender Höhenlage des Beobachtungsortes nimmt der Niederschlagsgehalt an schweren Isotopen ab, und daher werden die Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte im Niederschlag entsprechend der lokalen Situation mehr negativ. Der Höheneffekt entsteht durch ein Zusammenwirken von

- Aufsteigen von Luftmassen an orographischen Höhen,
- abnehmender Temperatur und
- Verdunstung an der Oberfläche von Regentropfen, die mit der Fallzeit zunimmt.

Der Höheneffekt ist regional unterschiedlich und wird durch die Monatsmittelwertbestimmungen von Deuterium und Sauerstoff-18 an lokalen Stationen verschiedener geographischer Höhe bestimmt. Aus dieser Eigenschaft der Niederschläge ist es möglich, aus dem Isotopengehalt von Quellwässern auf die mittlere Höhenlage des

Einzugsgebietes dieser Quelle zu schließen und entsprechende Schutzmaßnahmen (z.B. Verordnung von Schongebieten) zu ergreifen (KRALIK, 1999c).

## 2.9 Strategie zum Schutz von Karbonat(karst)wassergebieten

Da die verwaltungstechnischen und rechtlichen Regelwerke allgemein als ausreichend empfunden werden, sollten in Zukunft folgende praktische und wissenschaftliche Initiativen den Karstwasserschutz verbessern und die wertvollen Karstlandschaften in Österreich vor einer Beeinträchtigung bewahren. Um diese Verbesserungen im Karstwasserschutz jedoch zu erreichen bedarf es einer intensiven Zusammenarbeit der zuständigen Behörden (Bund – Länder), der Bevölkerung und der einschlägigen außeruniversitären und universitären wissenschaftlichen Institutionen.

### 2.9.1 Praktische und organisatorische Vorschläge

#### 2.9.1.1 Kriterien und Umweltindikatoren für einen „guten Zustand“ des Karstgrundwassers

Eine vorrangiges Ziel für die Erhaltung der Qualität des Karstwassers ist die Ausarbeitung von Kriterien und von Umweltindikatoren für einen „guten mengenmäßigen Zustand“ bzw. einer „guten chemischen Qualität“ des Karstgrundwassers. Diese haben sich an den Vorgaben des Entwurfes der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Union (EUROPÄISCHE UNION, 1998) und den spezifischen natürlichen Gegebenheiten des Karstwassers zu orientieren. Zunächst wird in Anhang II der WRRL geregelt, wie eine Charakterisierung der Grundwasserkörper zu erfolgen hat, um die Notwendigkeit einer Beobachtung der Grundwasserqualität abzuleiten. Anschließend werden Vorgaben für den Umfang der Beobachtungen und der Bewertungskriterien im Anhang V der WRRL gemacht.

Gemäß Anhang II können Grundwasserkörper basierend auf hydrologischen, geologischen, pedologischen, Landnutzungs - Informationen und sonstigen Daten in Gruppen zusammengefaßt werden. Überlegungen zur Zusammenfassung von karsthydrologischen Grundwasserkörpern, für statistische Zwecke, müssen für Österreich erst entwickelt und begründet werden.

Der Anhang V der WRRL legt als Ziel für die Grundwasserqualität sowohl die Einhaltung von Grenzwerten aus anderen Umweltrichtlinien der Gemeinschaft (z.B. Nitrat – RL [RICHTLINIE DES RATES 91/676/EWG, 1991], Pestizid – RL [RICHTLINIE DES RATES 91/414/EWG, 1991]) als auch die Umkehr von signifikant steigenden Trends bei Schadstoffkonzentrationen fest.

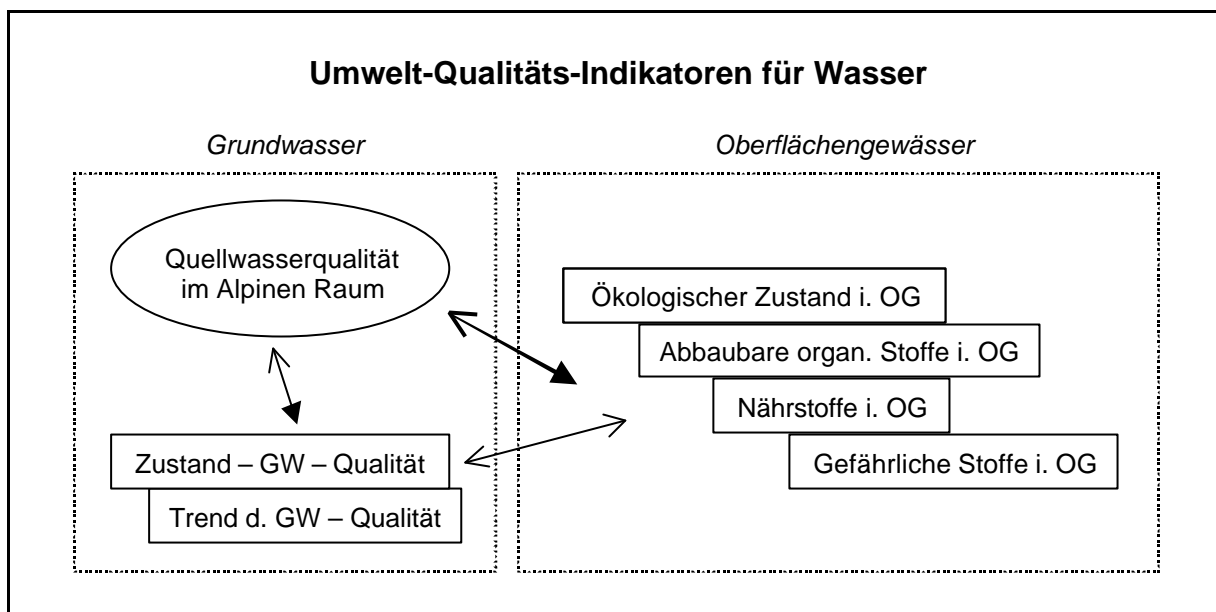
Überdies tritt Grundwasser aus alpinem Karstwasser in den meisten Fällen natürlich als Quellen zu Tage und wird unmittelbar ins Oberflächenwasser übergeführt. Im Sinne der WRRL sind Grundwasserkörper, die mit Oberflächenwässern in dynamischer Verbindung stehen, besonders zu beschreiben, da sie ökologische und chemische Qualität der Oberflächengewässer erheblich beeinflussen können (EUROPÄISCHE UNION, 1999). Die Quellwässer müssen daher auch den geforderten Qualitätsansprüchen für Oberflächenwässer (gute Qualität) im Sinne der europäischen Rahmenrichtlinie entsprechen (Tab. 2.5.1).

Forschungsprogramme, unterstützt durch die Europäische Kommission, zu statistischen Auswertung von Wasserbeobachtungsdaten, die Trends und Trendumkehrungen belegen, sind gegenwärtig im Anlaufen.

Kürzlich wurden, in Qualität und Quantität über vorgeschlagenen Umweltindikatoren für Grundwässer, die besonders für Grundwassergebiete mit stark veränderten Grundwasserqualitäten (dicht besiedelte Beckenlagen) gelten (GRATH, 1999), hinaus, Indikatoren für die Quellwasserqualität als Anzeiger für die nachhaltige Nutzung des alpinen Raumes vorgeschlagen (KRALIK et al., 1998; KRALIK, 1999b, Fig. 2.9.1; Tab. 2.9.2).

**Tab. 2.9.1:** Strategien zum Schutz von österreichischen Karstwassergebieten

<b>Strategien zum Schutz von österreichischen Karstwassergebieten</b>	
<b>1. Praktische und organisatorische Vorschläge</b>	
•	Ausarbeitung von Kriterien und Umweltindikatoren für einen „guten Zustand“ des Karstgrundwassers (Wasserrahmenrichtlinie)
•	Erstellung eines Karstwasserleitfadens für Ingenieure und Behörden
•	Erarbeitung von Grundwasser - Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten)
•	Ausbau und Betrieb des österreichischen Niederschlags-Isotopenmessnetzes
•	Mikrobiologie und Gesamtkohlenwasserstoffe als Zusatzparameter in kontinuierlichen Monitoringprogrammen
•	Wasserwirtschaftliche Erhebung von alpinen Einzelobjekten mit touristischer Nutzung und deren karsthydrogeologische Bewertung.
•	Allgemein verständliche Informationsblätter über aktiven Karstwasserschutz
<b>2. Vorgeschlagene Forschungsinitiativen</b>	
•	Erarbeitung von mikrobiologisch-spurenchemischer Methoden zur Herkunftsbestimmung mikrobiologischer Belastungen.
•	Semiquantitative Abschätzung ferntransportierter Schadstoffe mittels moderner Tracer- und Isotopenmethoden.
•	Weiterentwicklung von Fernerkundungsmethoden zur rascheren Erstellung von Grundwasser – Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten).
•	Europäische Kooperation zur Erarbeitung einer oder mehrerer einheitlicher Methoden der Grundwasser – Empfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung).
•	Auswertung und Interpretation von Niederschlags-Isotopenmodellen
	M. Kralik



**Abb. 2.9.1:** Zusammenspiel der Umwelt-Qualitäts-Indikatoren für Grund- (GW) und Oberflächengewässer (OG) (nach KRALIK, 1999b).

**Tab. 2.9.2:** Quellwasserqualität als Indikator für die nachhaltige Nutzung des alpinen Raums

Fragestellung	Indikator	Einheit	Erhebungshäufigkeit
<b>Quellwasserqualität</b> als Anzeiger für eine nachhaltige Nutzung des alpinen Raumes	<b>1. Abweichung von einem natürlich-geogen bzw. nur geringfügig<sup>1</sup> anthropogen beeinflussten Zustand</b>	% der Meßstellen	4 mal pro Jahr
Zustand der <b>Grundwasserquantität</b> (Quellen)	<b>2. Trend der Quellschüttung</b>	% der beobachteten Meßstellen	kontinuierlich oder >26 mal? im Jahr

<sup>1</sup> gehört noch definiert

Ähnlich dem Vorschlag der Wasserrahmenrichtlinie (EUROPÄISCHE UNION, 1999) zur Einstufung und Darstellung des ökologischen Zustandes von Oberflächengewässern, könnte die Bewertung der Quellwasserqualität in 5 Stufen von sehr gut bis schlecht erfolgen. Als sehr gute Quellwasserqualität wird der natürlich-geogene bzw. geringfügig anthropogen beeinflusste Zustand angesehen. Am anderen Ende der Skala wird als schlechter Zustand die Überschreitung der Grundwasserschwellenwerte (BGBL, Nr. 502/1991; Nr. 213/1997) bzw. der Trinkwassergrenzwerte (BGBL, Nr. 235/1998) angesehen (siehe auch Tab. 2.5.1). Die Abstufung dazwischen kann in Anlehnung an die Bewertung der Belastung von Sedimenten in Oberflächengewässern erfolgen, die auch von einem geogenen-natürlichen Hintergrund als Leitbild ausgeht (MÜLLER, 1979; KRALIK, 1999a). Die Obergrenzen der Einstufungen werden vom natürlich-geogenen Gehalt ausgehend jeweils verdoppelt, bis der Grenzwert erreicht wird (KRALIK, 1999a).

### 2.9.1.2 Erstellung eines Karstwasserleitfadens für Ingenieure und Behörden

Die Arbeitsgruppe Karstwasser der Gesprächsplattform Österreichischer Grundwasserkataster am Umweltbundesamt (HERLICKSKA et al., 1996) kam zum Vorschlag eine Arbeitsgruppe zu bilden, die eine praktische Anleitung für karsthydrogeologische Untersuchungen erstellt. Diese Anleitung soll für Wasserversorger (vor allem als Hilfestellung für kleine Wasserversorgungsunternehmen), für öffentliche Dienststellen, für mit dem täglichen Betrieb betraute Ingenieure und letztendlich für alle Projektanten und Gutachter dienen, die mit Karstwassernutzung in Berührung kommen.

Da bereits eine Leitlinie für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen für Trinkwasserzwecke des ÖWAV (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband) aus dem Jahre 1984 (ÖWAV, 1984b) besteht, wurde eine Arbeitsgruppe im Rahmen des ÖWAV gegründet.

Diese bestehende ÖWAV-Leitlinie entspricht aus legislativen und methodischen Gründen nicht mehr dem neuesten Stand, daher soll mittels Expertenbeiträgen aus verschiedensten Bereichen (ÖWAV-Arbeitsgruppe) die bestehende Leitlinie in einer überarbeiteten Form auf den jetzigen Wissensstand gebracht werden.

Bei Fertigstellung des überarbeiteten ÖWAV-Leitfadens wird dieser generell als österreichweite Grundlage für die praktische Hilfestellung beim besonderen Schutz von Wasservorkommen aus Karstgebieten dienen können. Überdies soll dieser Leitfaden eine wesentliche fachliche Anleitung für die Errichtung und Bewertung kleiner und mittlerer Wasserversorgungsanlagen sein, die nicht in der kontinuierlichen Betreuung von entsprechenden Expertenteams stehen.

### 2.9.1.3 Erarbeitung von Grundwasser - Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten)

Nahezu alle hydrogeologische Kartierungen dienen der Abgrenzung der Wassereinzugsgebieten bzw. der Abgrenzung von Gebieten, wo die Grundwasserneubildung sehr rasch geschieht und diese daher vor wassergefährdenden Aktivitäten besonders geschützt werden müssen. Dies gilt in gleichen Maßen für große regionale Gebiete wie auch für eng begrenzte Detailstudien. Diese Aussagen sind leichter für den flächendeckenden, diffusen niedrig dosierten Eintrag als für punktförmige hoch dosierte Schadstoffeinträge zu treffen. Generell können *Grundwasservulnerabilitätskarten nur statistische Angaben über die Möglichkeit einer Grundwasserbeeinträchtigung eines Gebietes* machen, aber nie absolute Aussagen über die Grundwasserbeeinträchtigung eines bestimmten Punktes in einem Gebiet erstellen. Diese müssen jeweils von Experten im Detail untersucht werden, um „sichere“ Bewertungen zu erhalten.

Der erhebliche Vorteil der standardisierten Grundwasserempfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung; siehe Kap. 2.4) besteht darin, relativ rasch nachvollziehbare Informationen über die Grundwassergefährdung eines Gebietes (1: 50 000 – 200 000) zu erhalten. Diese Karten können zum Schutz von noch nicht genutzten Grundwasserreserven, zur allgemeinen Information der Landschaftsplaner sowie der Behörden und Bewohner dienen. Sie können als Vorinformation für z. B. die Abgrenzung von Grundwasserschongebieten genutzter Quellen oder die Bewilligung von Betrieben mit wassergefährdenden Stoffen etc. dienen, aber nicht die Detailuntersuchung durch Experten ersetzen, um lokale Gefährdungspotentiale abzuschätzen.

Nach Auswahl der geeignetsten Grundwasser – Vulnerabilitätskartierungsmethoden sollten beginnend mit Regionen hoher Grundwasserhöflichkeit und erhöhter Grundwassergefährdung eine möglichst flächendeckende Kartierung der österreichischen Karbonat(karst)gebiete angestrebt werden. Eine wesentliche Beschleunigung ist aus der gezielten Auswertung von Serien von Flugaufnahmen, von Satellitenfotos und sonstigen



Fernerkundungsmethoden zu erwarten. Entscheidende Hilfen sind in vielen Fällen für die Ausdehnung der Schneebedeckung, der Landnutzung, der Morphologie des Geländes, der Bodenbedeckung, der geomorphologischen und der geotektonischen Strukturen zu erwarten.

#### **2.9.1.4 Ausbau und Betrieb des österreichischen Niederschlags-Isotopenmessnetzes**

Das in Kapitel 2.8 beschriebene Netz von Niederschlagssammelstationen verteilt über ganz Österreich liefert wertvolle Grunddaten für die Ermittlung von Verweilzeiten und mittleren Höhen der Einzugsgebiete von Karbonat(karst)wässern. Um für die Abgrenzung von sehr empfindlichen Grundwassergebieten und Gebieten mit sehr kurzen Grundwasserverweilzeiten (z. B. Grundwasserschongebiete) durch den Einsatz von Isotopen die Eingangsfunktion hinreichend zu kennen, muss die Organisation der Niederschlagssammlung aufrechterhalten werden. Die fachgerechte Lagerung in einer Niederschlagsprobenbank sowie die Isotopenmessung von Basisstationen erfordert einen nicht zu unterschätzenden Aufwand an finanziellen Mittel und organisatorischer Logistik. Da die Eingangsfunktionen in den Niederschlagsproben nicht kurzfristig rekonstruiert werden können und wegen meteorologischer Strömungen und des alpinen Reliefs österreichweit unterschiedlich ist, müssen mit entsprechender Voraussicht und Dichte Niederschlagsstationen eingerichtet und möglichst lückenlos beprobt werden.

#### **2.9.1.5 Mikrobiologie und Gesamtkohlenwasserstoffe als Zusatzparameter in kontinuierlichen Monitoringprogrammen**

Wie bereits in der Fragebogenaktion in Teil I (Kap. 1.3.4) ermittelt, wird von den einschlägigen aus Praxis und Forschung mikrobiologische Belastungen und Mineralöle bzw. Treibstoff (Kohlenwasserstoffe) als häufigste Schadstoffe in Karstkarbonatwässern angegeben bzw. vermutet. Während für die mikrobiologischen Belastungen einige publizierte Untersuchungen von mikrobiologischen Standardparametern (s. Kap. 2.6) vorliegen (HERLICKA et al., 1994; SCHMIDT, 1999; KRÁLIK, 1999 etc.), sind dem Autor keine publizierten österreichischen Daten über Gesamtkohlenwasserstoffe aus dem Karbonat(karst)rohwater bekannt.

Um diesen akut oder langfristig nicht ganz unerheblichen Belastungen wirkungsvoll in den Einzugsgebieten begegnen zu können, ist die Kenntnis über deren tatsächliches Auftreten ein wichtiger Bestandteil.

#### **2.9.1.6 Wasserwirtschaftliche Erhebung von alpinen Einzelobjekten mit touristischer Nutzung und deren karsthydrogeologische Bewertung.**

Die touristische Nutzung von Einzelobjekten in alpinen Lagen kann zu Dauer- und Stoßbelastungen der lokalen Karstwässer führen. Diese können durch Wassermangel und daraus abzuleitende hohe Konzentrationen in Abwässer, durch gering schüttende oder fehlende Vorfluter und durch schadhafte, überlastete und schlecht funktionierende (Temperatur) Abwasserreinigungsanlagen bedingt sein (HERLICKA et al., 1994, DAV, et al. 1995; CORDT & SCHOLZ, 1998).

Um die von diesen touristisch und almwirtschaftlich genutzten Einzelobjekten ausgehende Belastungsgefahr zu minimieren, könnte ähnlich wie es in Tirol bereits durchgeführt wurde (WASSER WIRTSCHAFTSKONZEPT TIROL, 1997), eine wasserwirtschaftliche Erhebung kombiniert mit einer hydrogeologischen Kurzbewertung der unmittelbaren Umgebung bzw. die Quellbewertung über- und unterhalb liegender Quellen erfolgen. Auch hier sollte beginnend mit Regionen (Gebirgsgruppen) großer Grundwasservorkommen und hoher

Wahrscheinlichkeiten von Grundwasserverunreinigungen nach einer Prioritätenliste vorgegangen werden.

### **2.9.1.7 Verständliche Informationsblätter über aktiven Karstwasserschutz**

Da Karstwasser mancherorts eine hochsensibles Gut ist, kann es effektiv nur von jedem einzelnen Bewohner wirkungsvoll geschützt werden. Dieses Verständnis muss durch gezielte Information laufend gefördert werden. Entsprechend anschauliche Broschüren, die über die Gemeinden verteilt werden könnten, sollen der breiten Bevölkerung den direkten und raschen Zusammenhang zwischen sorglosem Umgang mit Schadstoffen und verschmutzten Grund- bzw. Trinkwasser darlegen.

## **2.9.2 Vorgeschlagene Forschungsinitiativen**

### **2.9.2.1 Erarbeitung von mikrobiologisch-spurenchemischen Methoden zur Herkunftsbestimmung mikrobiologischer Belastungen.**

Wie schon in der Fragebogenauswertung festgestellt und in in Kap. 2.6 eingehend diskutiert sind die mikrobiologischen Belastungen karstkarbonatischer Grundwässer das dominierende Problem der Trinkwassernutzung. Im Sinne des Vorsorgeprinzips, das den Schutz des Wassers bereits im Einzugsgebiet vorsieht, und nicht erst eine Aufbereitung des karstkarbonatischen Grundwassers kurz vor der Konsumation durchführt, muss versucht werden alle Kontaminationsquellen im Einzugsgebiet zu beseitigen. Als die drei Hauptverursacher werden im Allgemeinen häusliche Abwässer (Tourismus), intensive Landwirtschaft (Weidetierhaltung) und hoher Wildbestand (bes. Wintergatter) angesehen. Zu erwähnen ist, dass unabhängig von diesen Faktoren, auch Mikroben aus dem Bodenhorizont in das Karstgrundwasser geschwemmt werden können.

Um aus dieser Vielzahl von Verursachern die Herkunft der mikrobiologischen Belastungen erkennen zu können, müssen Verfahren entwickelt werden, die die Herkunft mit hoher Wahrscheinlichkeit unterscheiden zu können. Da hier die unterschiedlichsten Wissenszweige (z.B. Umweltchemie, angewandte Mikrobiologie etc.) angesprochen sind, ist die Erkennung und Differenzierung nur im multidisziplinären und komplexen Forschungsprojekten zu lösen.

In der Praxis wird das nur aus Erkenntnissen dieser Forschungsergebnisse, hydrogeologischer Grundwasserempfindlichkeitskartierungen und Erfassung der Landnutzung von Problemgebieten zu lösen sein.

### **2.9.2.2 Semiquantitative Abschätzung ferntransportierter Schadstoffe mittels moderner Tracer- und Isotopenmethoden.**

In der Bewertung der Fachleute in Teil I (Kap. 1.4) wird bereits an sechster Stelle ein ferntransportierter Anteil der Schadstoffbelastung von Karstwassersystemen angenommen. Wie in Kap. 2.7 angeführt finden sich mehrere Hinweise, dass der Stoffeintrag nicht nur bei atomaren Unfällen, sondern schleichend und von meteorologischen Vorgängen abhängig in Karstkarbonatgebiete erfolgt. Inwieweit diese Einträge von lokalen Verursachern überlagert werden, diese saisonabhängig und im generellen Trend im Ansteigen oder Abklingen sind,

kann nur mittels moderner Tracer- und Isotopenmethoden abgeschätzt werden. Methoden die Komponenten verwenden, die sich charakteristisch und signifikant von den möglichen lokalen Einflüssen unterscheiden, und sich daher in der Mischung unterscheiden lassen.

Die frühzeitige Erkennung von ferntransportierten Schadstoffen ist insofern von großer Bedeutung, da sich erst nach dem sichereren Beleg dieses Ferntransportes über internationale Verhandlungen die Verursacher zu Handlungsänderungen bewegen werden können.

### **2.9.2.3 Weiterentwicklung von Fernerkundungsmethoden zur rascheren Erstellung von Grundwasser – Empfindlichkeitskarten (Vulnerabilitätskarten)**

Fernerkundungsmethoden mittels Flugzeug- und Satellit können eine profunde Aufnahme nicht ersetzen. Sie erlauben es jedoch Strukturen zu erkennen, die man vom Boden aus nicht sieht. Vorallem sind sie jedoch eine wichtige Ergänzung zur raschen flächenhaften Aufnahme von Eigenschaften an der Erdoberfläche.

Obgleich Fernerkundung in vielen Teilaspekten der Bewertung der Grundwasserempfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung) eingesetzt wurde (z.B. BAUMGARTNER & WEINGARTNER, 1995; SVOMA, 1988, 1990), gibt es bis jetzt wenig Literatur, die dieses Thema als Ganzes zu erfassen sucht. Wesentliche Teilbereiche der im Kap. 2.4 beschriebenen Grundwasserempfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung) wie Schneebedeckung, Morphologie und Hangneigungen des Geländes, Vorhandensein von Boden oder Deckschichten, Epikarststrukturen (z. B. Dolinen, Karrenfelder etc.), tektonische Strukturen des Karbonatgesteins, Auftreten von Quellaustritten, Landnutzung etc. können relativ rasch, mit der entsprechenden Überprüfung im Gelände, flächenhaft ausgewertet werden. Die Grenzen der Erfassungsmöglichkeiten und das Fehlerpotential müssen jedoch in den entsprechenden Forschungsprojekten vielfältig bewertet werden.

### **2.9.2.4 Europäische Kooperation zur Erarbeitung einer oder mehrerer einheitlicher Methoden der Grundwasser – Empfindlichkeitskartierung (Vulnerabilitätskartierung)**

Aufgrund ihrer außergewöhnlichen Eigenschaften benötigen Karstgrundwasserleiter einen besonderen Schutz ausgehend von einem mehrere Faktoren umfassenden Konzept und der Kartierung der Grundwasser - „Vulnerabilität“ (s. Kap. 2.4).

Da bestimmte verunreinigende Stoffe große Probleme in Bezug auf die Wasserqualität verursachen, wird es in absehbarer Zeit erforderlich sein, für die Zwecke der Grundwasserbewirtschaftung nachvollziehbare Karten der spezifischen Gefährdung zu erstellen. Karten sowohl der intrinsischen als auch der spezifischen Vulnerabilität werden sich regional wie auch im Detail zu wichtigen Instrumenten entwickeln und beim Wasserqualitätsmanagement in naher Zukunft vermehrt eingesetzt werden. Darüber hinaus wird damit versucht durch den Schutz der Karstwassereinzugsgebiete entsprechend dem Vorsorgeprinzip die hohen Kosten zu vermeiden, die mit einer technisch aufwendigen Wasseraufbereitung verbunden sind.

Eine europäisch wissenschaftliche Kooperation in der Bewertung der Vulnerabilitätskartierung ist schon deshalb wichtig und wünschenswert, da die zukünftige europäische Wasserbewirtschaftung über die Staatsgrenzen hinweg in Flusseinzugsgebieten erfolgen wird und zahlreiche Einzelaspekte der Kartierungsmethoden in verschiedenen Ländern sich bewährt haben und mit Modifikationen auch in Österreich anwendbar sind. Besonderes Augenmerk ist jedoch auf transparente, nachvollziehbare Kriterien zu legen, die jedenfalls der vorwiegend in Österreich vorherrschenden alpinen Karstsituation entsprechen.

Gegenwärtig läuft eine COST-Aktion unter österreichischer Beteiligung (Joanneum Research und Umweltbundesamt), die die Methodenverbesserung und einen Methodenvergleich der Grundwasser Vulnerabilitätsbewertung zum Ziel hat.

Um diese Verbesserungen im Karstwasserschutz zu erreichen bedarf es einer intensiven Zusammenarbeit der zuständigen Behörden (Bund – Länder), der Bevölkerung und der einschlägigen außeruniversitären und universitären wissenschaftlichen Institutionen.

### 2.9.2.5 Auswertung und Interpretation von Niederschlags-Isotopenmodellen

Um die Daten des Niederschlags-Isotopenmessnetzes für Altersberechnungen und hydrologische Interpretationen (z. B. RANK, 1999; FORSTER & WEISE, 1997) optimal oder präziser nutzen zu können, bedarf es Forschungsprojekte, um im Brückenschlag zwischen Hydrogeologie und Meteorologie isotopenhydrologische Modelle für verschiedene Gebiete zu entwickeln. Im generellen sollten Forschungsprojekte auf diesem Gebiet folgende Fragen klären:

- Vorhandensein von sammlungstechnischen Fraktionierungen des Niederschlages.
- Veränderungen der Isotopenzusammensetzung des Niederschlages im Übergang zum Karbonat(karst)grundwasser.
- Änderung der Isotopenverteilung des Niederschlages mit der geographischen Höhe (Temperatur?), regionaler und/oder jahreszeitlicher Verteilung.
- Verbindung zwischen Änderungen im Klima- und Isotopenverhältnissen und Erstellungen von Isotopenhydrologischen Modellen.

## 2.10 Literatur

### 2.10.1 Allgemein

- ALBINET, M. & MARGAT, J. (1970): Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Bull. BRGM, 2<sup>e</sup> séries, 3, 13-22.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H. & PETTY, R. J. (1987): DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrologic settings. US EPA Report, 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK.
- BAUMGARTNER, M. F. & WEINGARTNER, R. (1995): Schneeschmelz und Abfluss-Modellierung in den Alpen unter Einbezug von Fernerkundungsdaten. Österr. Wasser- u. Abfallwirtsch., 47, 216-224, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1959): Österreichisches Wasserrechtsgesetz idgF, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1973): Zum Schutze d. Wasservorkommen im Hochschwabgebiet. Nr. 345, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1989): Verordnung des Bundesministers für Gesundheit und öffentlicher Dienst vom 15. Nov. 1989 über den Nitratgehalt im Trinkwasser (Trinkwasser-Nitratverordnung). Nr. 557, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1991a): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Erhebung der Wassergüte in Österreich (WGEV). Nr. 338, 1631-1660, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1991b): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft betreffend Schwellenwerte für Grundwasserinhaltsstoffe (Grundwasserschwellenwertverordnung-GSwV), Nr. 502, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1991c): Verordnung des Bundesministers für Gesundheit; Sport und Konsumentenschutz über den Gehalt an Pestiziden im Trinkwasser (Trinkwasser-Pestizidverordnung). Nr. 448, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1993): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen von Einzelobjekten in Extremlagen (3. Emissionsverordnung für kommunales Abwasser). Nr. 869, Österr. Staatsdruckerei, Wien.

- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1996a): Verordnung Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässern und öffentlichen Kanalisationen (AAEV) – Nr. 186, 985-1002, Staatsdruckerei Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1996b): Verordnung des Bundesministers für Gesundheit und Konsumentenschutz mit der die Trinkwasser-Nitratverordnung geändert wird. Nr. 714, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1997): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, mit der die Grundwasserschwellenwertverordnung abgeändert wird. Nr. 213, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT) (1998): Verordnung der Bundesministerin für Frauenangelegenheiten und Verbraucherschutz über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Nr. 235, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BGBL (BUNDESGESETZBLATT), (1995): Übereinkommen zum Schutz der Alpen (Alpenkonvention). Nr. 477, 6411-6415, Österr. Staatsdruckerei, Wien.
- BLUM, W.; SPIEGEL, H. & WENZEL, W. W. (1996): Bodenzustandsinventur: Konzeption, Durchführung und Bewertung: Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. 102 S., Univ. Bodenkultur, Wien.
- BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. 292 S., Springer, Berlin
- BROUYÈRE, S.; JEANNIN, P. Y.; DASSARGUES, A., GOLDSCHIEDER, N.; POPESCU, I. C.; SAUTER, M.; VADILLO, I. & ZWAHLEN, F. (2001): Evaluation and validation of vulnerability concepts using a physically approach. 7<sup>th</sup> conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besancon 20-22 Sep. 2001, Sci. Techn. Envir., Mém. H. S. n° 13, 67-72, Besancon.
- CARTER, A. D.; PALMER, R. C. & MONKHOUSE, R. A. (1987): Mapping the vulnerability of groundwater to pollution from agricultural practice, particularly with respect to nitrate. In: van Duijvenbooden W and van Waegeningh HG (eds) TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information, 38, 333 – 342.
- CHOVANEC, A. & KOLLER-KREIMEL, V. (1999): Indikatoren einer nachhaltigen Nutzung von Oberflächengewässern. In: GÖTZ, B. (Hrg.): Umweltindikatoren für Österreich, Conference papers, 26, (38-52), 178 S. Umweltbundesamt Wien.
- CICHOCKI, G. & ZOJER, H. (1999): Vulnerability Mapping: Austrian Approach (AA) draft version. 4 S., Unpubl. Ber. 5. MCMeeting COST-Aktion 620, Bratislava.
- CIVITA, M. (1990): Legenda unificata per le carte della vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei (Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps). In: Studi sulla vulnerabilità degli Acquiferi, Pitagora Bologna: 13
- CIVITA, M. & DE MAIO, M. (1997): SINTACS: Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (methodologia e automatizzazione). 191 S., Pitagora Editrice, Bologna.
- CORDT, G. & SCHOLZ, W. (1998): Abwasserentsorgung von Schutzhütten: Fallbeispiele nach dem Stand der Technik. Ber., 124 S., Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- CORNIELLO, A.; DUCCI, D. & NAPOLITANO, P. (1997) Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using GIS: an example in the "Piana Campana", southern Italy. In: Marinis, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (eds). Engineering Geology and the Environment, 1721 – 1726, Balkema, Rotterdam.
- COST620 (1998): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Minutes 3<sup>rd</sup> Management Committee Meeting, Liège 12-13 March.
- DALY, D., DASSARGUES, A., DREW, D.; DUNNE, S.; GOLDSCHIEDER, N.; NEAL, S.; POPESCU, I. C. & ZWAHLEN, F. (2001): Main concepts of the „European Approach“ for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. Submitted to Hydrogeology Journal.
- DALY, D. & DREW, D. (1999): Irish Methodologies for Karst Aquifer Protection. Proceedings 7<sup>th</sup> Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, 1-8, April 10-14, Harrisburg/Hershey, PS.
- DALY, D. & WARREN, D. (1994): Vulnerability mapping. Groundwater Newsletter No. 25, Geological Survey of Ireland, Dublin.
- DAV; ÖAV & CORDT, G. (1995): Forschungsauftrag: „Vergleichsuntersuchung verschiedener Abwasserreinigungssysteme im Gebirge, (Mehrlüttenstudie). Österr. Alpenverein, Innsbruck.
- DAVIS, S. N. & DEWIESE, R. J. M. (1967): Hydrogeology. 463 S., Wiley, London.
- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie – Begriffe zur quantitativen Hydrologie. 78 S., (Okt.), Beuth Verl., Berlin.
- DoELG/EPA/GS IRELAND (1999): Groundwater Protection Schemes. 24 p., Department of the Environment and Local Government / Environmental Protection Agency / Geological Survey of Ireland, Dublin.
- DOERFLIGER, N. (1996): Advance in karst groundwater protection strategy using artificial tracer test analysis and multiattribute vulnerability mapping (EPIK method). Thèse, Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchatel.
- DOERFLIGER, N. & ZWAHLEN, F. (1998): Praxishilfe: Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten (Methode EPIK). 56 S., Bundesamt f. Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- DREW, D. (1995): Glossary of karstic terminology used in the COST Action 65 report. In: EUROPEAN COMMISSION: (11-13) Karst groundwater protection (Final report COST action 65), 446 p., EUR 16547EN, ECSC-EC-EAEC, Brussels.

- DREW, D. & HÖTZL, H. (1999): The management of karst environments. In: DREW, D. & HÖTZL, H. (Hrg.): Karst Hydrogeology and Human Activities: Impacts, Consequences and Implications. 259-273, International contributions to hydrogeology, 20, 322 S., Balkema, Rotterdam.
- DTV-ATLAS ÖKOLOGIE (1990): dtv-Atlas zur Ökologie, Nr. 3228, 283 S., Dt. Taschenb. Verl., München
- DVGW (1993): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete: I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. 38 S., Dt. Ver. D. Gas- u. Wasserfaches e.V., Eschborn.
- DYCK & PESCHKE (1995): Grundlagen der Hydrologie. – 3. Auflage, 535 S., Verlag für Bauwesen, Berlin.
- EBNER, F.; FRANK, W.; MANDL, G.; PASCHER, G.; PESTAL, G. & SCHNABEL, W. (1997): Geologische Basiskarte von Österreich 1:500 000. Geol. Bundesanst., Wien.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (1985): DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. EPA/600/2-85/018.
- EUROPÄISCHE UNION (2000): Richtlinie 2000/ / EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Gemeinsamer Entwurf, PE-CONS 3639/00, 19. Jul. 2000, 62 S., Brüssel.
- EUROPEAN COMMISSION (1995): In: Chapter 5: Guidelines for Karst groundwater protection (435-445) Karst groundwater protection (Final report COST action 65), 446 S., EUR 16547EN, ECSC-EC-EAEC, Brussels.
- FETTER C. W. (1988): Applied Hydrogeology, 592 p., Merrill Publ., London
- FINK, M. H. (1973): Mehrsprachiges Lexikon der Karst und Höhlenkunde. Entwurf. ISU, Int. Speleol. Union.
- FINNER, H. (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 392 S., E. Schweizerbart, Stuttgart.
- FISCHER, J. A. (1999): Limestone ordinance of New Jersey and Pennsylvania: a practitioner's experiences. Engineering Geology, 52, 61-66, Amsterdam.
- GOGU, R. & DASSARGUES, A. (2000): Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. Environmental Geology, 39, 549-559, Berlin.
- GOLDSCHIEDER, N.; KLUTE, M.; STURM, S. & HÖTZL, H. (2000): The PI method – a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. – Zeitschrift für angewandte Geologie, 46 (2000) 3, S. 157-166.
- GRATH, J. & KRALIK, M. (1997): 3 Qualität der Grundwasservorkommen in Bezug zur Trinkwasserversorgung in Österreich. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrg): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1996, 161-164, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 231 S., Wien. (<http://www.ubavie.gv.at>)
- GRATH, J. (1999): Grundwasserqualität – Darstellung des Zustandes als Indikator für eine nachhaltige Nutzung. In: GÖTZ, B. (Hrg.): Umweltindikatoren für Österreich, Conference papers, 26, (53-60), 178 S. Umweltbundesamt Wien.
- GRUBER, D. (2001): Wasserschongebiete und Wasserrechtliche Rahmenverfügungen Österreichs. Umweltbundesamt Wien (in Vorbereitung).
- GUNDERSEN, P. (1991): Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification. Forest Ecology and Management, 44, 15-28.
- HABERER, K. (1989): Umweltradioaktivität und Trinkwasserversorgung, Oldenburg Verlag München, Wien.
- HERLICKSKA, H., SCHEIDLEDER, A., RAJNER, V. & RANK, D. (1994): Tritiummeßnetz Österreich, Jahresbericht 1993, Report, UBA, Wien.
- HÖLTING B. (1989): Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 396 S., Enke, Stuttgart.
- HÖLTING B., HAERTLÉ, T., HOHBERGER, K. H., NACHTIGALL, K. H., VILLINGER, E, WEINZIERL, W. & WROBEL, J. P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Geol. Jb., C63, 5-24, Hannover.
- HÖTZEL, H.; ADAMS, B.; ALDWELL, R.; DALY, D.; HERLICKSKA, H., HUMER, G.; DEKETELAERE, D.; SILVA, M. L.; SINDLER, M.; TRIPET, J. P. (1995): In: Chapter 4: Regulations (403-434) Karst groundwater protection (Final report COST action 65), 446 p., EUR 16547EN, ECSC-EC-EAEC, Brussels.
- HUMER, G., RAJNER, V. & RANK, D. (1993): Tritiummeßnetz Österreich, Jahresbericht 1992, Report, 93-082, 7 S., BFPZ Arsenal-Umweltbundesamt, Wien.
- HUMER, G., RANK, D., TRIMBORN, P. & STICHLER, W: (1995): Niederschlags - Isotopenmessnetz Österreich. Monographie, 52, 86 S., Umweltbundesamt, Wien.
- JEANNIN, P. Y.; CORNATON, F.; ZWAHLEN, F. & PERROCHET, P. (2001): VULK: a tool for intrinsic vulnerability assessment and validation. 7<sup>th</sup> conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besancon 20-22 Sep. 2001, Sci. Techn. Envir., Mém. H. S. n° 13, 185-190, Besancon.
- JURITSCH G. & WIENER L. (1993): Salzburger Bodenzustandsinventur. 237 S., Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg.
- KATZENSTEINER, K. (1999): Die Einflüsse von Vegetation und Boden auf den Wasserhaushalt des Karstsystems. – Endbericht NATIONALPARK KALKALPEN Karstprogramms von 1994 bis 1997, S. 72-97, Oberösterreich.
- KEIMEL, T. & KRALIK, M. (2001): Time – Input Method: Groundwater – Vulnerability at an Alpine Test-Site. 7<sup>th</sup> conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besancon 20-22 Sep. 2001, Sci. Techn. Envir., Mém. H. S. n° 13, 199-204, Besancon.
- KRALIK, M. (1999a): A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. Applied Geochemistry, 1999, 807-816, Amsterdam.

- KRALIK, M. (1999b): Quellwasser als Umweltindikator für die nachhaltige Nutzung des Alpen Raumes. In: GÖTZ, B. (Hrg.): Umweltindikatoren für Österreich, Conference papers, 26, (61-67), 178 S. Umweltbundesamt Wien.
- KRALIK, M. (2001): Spring dynamics as a tool to evaluate Groundwater-Vulnerability. 7<sup>th</sup> conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besancon 20-22 Sep. 2001, Sci. Techn. Envir., Mém. H. S. n° 13, 215-218, Besancon.
- KRALIK, M.; WEBER, K.; BRUNNER, B.; GÖTTLE, A.; JAKOB, A.; LIECHTI, P.; OTTAVI, C.; TROCHERIE, F. & ZUPAN, M. (1998): Establishing of Environmental Indicators, Subtopic Water, for the Alpine Region within the Framework of the Alpine Observatory. Report R-156, 45 S., Umweltbundesamt, Wien.
- KRANJC, A. (1997): Slovene Classical Karst: „Kras“. 254 S., Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Ljubljana.
- LAMOREAUX, P. E.; POWELL, W. J. & LEGRAND, H. E. (1997): Environmental and legal aspects of karst areas. Environmental Geology, 29, 23-36, Berlin.
- LANDESGESETZBLATT SALZBURG (1985): Gesetz über den Schutz und die Erfassung von Höhlen im Land Salzburg (Salzburger Höhlengesetz). 1985/63, Salzburg.
- LASSNIG, M. (1996): Eckdaten der Wasserwirtschaft in Österreich. 178 S., Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- MALIK, P. & SVASTA, J. (1999): REKS – an alternativ method for karst groundwater vulnerability estimation: Hydrogeology and Land Use Management. Proc. XXIX IAH Congress Int. Assoc. of Hydrogeologists, Sept. 6-12<sup>th</sup>, 79-85, Bratislava.
- MATTHESS, G. & UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie: Grundwasserhaushalt. 438 S., Bornträger, Berlin.
- MOOG, O. (1995): Fauna Aquatica Austriaca. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- MÜLLER, G. (1979) Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veränderungen seit 1971. Umschau, 79, 778-783.
- MÜLLER, T. (1999): Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie. 367 S., Springer, Berlin
- MUTSCH, F. (1992): Schwermetalle In: FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN (Hrsg.): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur, Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst., 168, Bd. 2, (145-192), Wien.
- NUP (1995): Österreich Nationaler Umwelt Plan. 324 S., Bundesministerium f. Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- ÖNORM B 2400 (1986): Hydrologie: Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen. 33 S., (1. Feb.), Österr. Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1069 (1988): Bestimmung der Feldkapazität von Böden. 2 S., Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM M 6232 (1997): Richtlinien für die ökologischen Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern [Guidelines for the ecological study and assessment of rivers (bilingual edition)]. 01.05.1997, 84 S., Österreichische Normungsinstitut, Wien.
- ÖROK (2000): Hydrogeologie und Wasserrechtliche Festlegungen. Örok-Atlas zur räumlichen Entwicklung Österreichs, Bl. 11.05.01/2000, Wien.
- OTTESEN R. T., BOGEN J., BOLVIKEN B. AND VOLDEN, T., (1989): Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. J. Geochem. Exploration **32**, 257-277.
- ÖVGW (1995): Schutz- und Schongebiete: Richtlinie W 72. 45 S., Österr. Ver. f. d. Gas- u. Wasserfach, Wien.
- ÖVGW (1999): Betriebsergebnisse der Wasserwerke Österreichs 1997. 12 S., Österr. Ver. f. Gas- u. Wasserfach, Wien.
- ÖWAV(1984a): Leitfaden für den natur- und landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern. Regelblatt 301, 151 S., Österr. Wasser- u. Abfallwirtsch. Verb., Wien.
- ÖWAV (1992): Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten. Regelblatt 25, 37 S., Österr. Wasser- u. Abfallwirtsch. Verb., Wien.
- ÖWAV (1997): Richtlinie für den Gewässerschutz im Hochgebirge. Regelblatt 1, Entwurf 1997 in CORDT & SCHOLZ (1998), Österr. Wasser- u. Abfallwirtsch. Verb., Wien.
- PARRIAUX, A.; MANDIA, Y.; DUBOIS, J. D. (1990): The concept of protection zones in karstic mountains. In: Parriaux, A. (ed.) Monographic: water resources in mountainous regions. Memoires International Association of Hydrogeologists, 22, Part 1-2, p. 1136-1143.
- RAJNER, V, RANK, D: & SCHEIDLEDER, A. (1996): Tritiumnetz Österreich Jahresbericht 1994. Report UBA-96-128, 16 S., BFPZ Arsenal-Umweltbundesamt, Wien.
- RICHTLINIE 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. 71 S., Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- RICHTLINIE DES RATES 78/659/EG (1978): Richtlinie des Rates über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungswürdig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. European Union, Brussel.
- RICHTLINIE DES RATES 91/414/EWG (1991): Richtlinie des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. Europäische Union, Brussel.
- RICHTLINIE DES RATES 91/676/EWG (1991): Richtlinie des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Europäische Union, Brussel.

- RICHTLINIE DES RATES 98/83/EG (1998): Richtlinie des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Europäische Union, Brüssel.
- ROBINS, N.; ADAMS, B.; FOSTER, S. & PALMER, R. (1994): Groundwater vulnerability mapping: the British perspective. *Hydrogéologie*, 3, 35-42.
- SAMPL, H. (1995): Baggerseen und ihre Wechselbeziehungen zum Grundwasser. 150 S., Ber. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- SCHEIDLEDER, A., HERLICKSKA, H., RAJNER, V. & RANK, D. (1994): Tritiummeßnetz Österreich: Jahresbericht 1993. BFPZ Arsenal-Umweltbundesamt, UBA-Rep.-94-109, 13 S., Wien.
- SCHEIDLEDER, A.; KRALIK, M.; RANK, D.; RAJNER, V. & TESCH, R. (1998): Tritiummeßnetz Österreich: Jahresbericht 1995 - 1996. Report R-148, 32 S., BFPZ Arsenal-Umweltbundesamt, Wien.
- SVOMA, J. (1988): Use of remote sensing methods in groundwater protection. 762-765, Proc. 21st., IAH-Congr., Guilin/China.
- SVOMA, J. (1990): Remote sensing methods for the detection of rock medium and groundwater contamination. Proc. Intern. Sympos. Remote Sensing and Water Resources, Aug. 20-24, Enschede, Holland
- VINCE, G. (1998): Digitale Dokumentation der Wasserschongebiete Österreichs. Stand der Bearbeitung August 1998. Interner Ber., 584, 63 S., Umweltbundesamt, Wien.
- von HOYER, M. & SÖFNER, B. (1998): Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate (Karst): Areas in Germany. Bundesanst. f. Geowissenschaften, Hannover.
- von HOYER, M. (1999): COST action 620: Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers: Working Group I: Protective Cover – Main Parameters. 25 S. unpubl. Manuskript.
- VRBA, J. & ZAPOROZEC, A. (1994) Guidebook on mapping Groundwater Vulnerability, International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, 16, 1994, Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Hannover.
- WALTER, R. (1998): Hygienische Aspekte der Trinkwasseraufbereitung aus Oberflächenwasser. Mitt. d. Sanitätsverwaltung, 5/1998, 3-13, Wien.
- WASSER WIRTSCHAFTSKONZEPT TIROL (1997): Projekt: Trinkwasserversorgung und Abwasserversorgung von Alpinobjekten. S. 23, In: Bericht 1997, Amt d. Tiroler Landesreg., Innsbruck.
- WEISS, P. (1998): Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. Monographie, 97, 242 S., Umweltbundesamt, Wien.
- ZECHMEISTER, H. (1997): Schwermetalldeposition in Österreich erfaßt durch Biomonitoring mit Moosen (Studie 1995). 145 S., Monographien Bd. 94, Umweltbundesamt Wien.
- ZETINIGG, (1997): Die neue ÖVGW – Richtlinie W 72 "Schutz- und Schongebiete". Mitt. Österr. Geol. Ges., 88, 41-50, Wien.
- ZIBUSCHKA, F.; FÜRHACKER, M.; LINDNER, G.; GANAHL, P. & Riedelsperger, H. P. (1999): Langzeituntersuchung über Trinkwassernutzung aus Hochgebirgsspeichern. Schriftenreihe d. Forsch. i. Verbund, 58; 58 S., Wien.

### 2.10.2 Literatur Karbonat(karst)grundwasser Österreich

- BAUER, F. (1955): Aufgaben und Gliederung einer Karstuntersuchung. Mitt. D. Höhlenkommission, 1954, 2-6, Bundesminist. F. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- BAUER, F. (1970): Aufgaben der karsthydrologischen Forschung in Österreich. Österr. Wasserwirtschaft, 22, 127-138, Wien.
- BENISCHKE R., HARUM T. & LEDITZKY H. (1996): Berechnung von Karbonat-Kohlensäure-Gleichgewichten: Ein Hilfsmittel zur Charakterisierung der Hydrodynamik und Herkunft von Karstwässern. Mitt. Österr. Geol. Ges., 87, 37-46.
- FINK, M. H. (1993): Aktuelle Umweltprobleme im Karstgebiet der Ostalpen. Bull. Soc. Géogr. De Liège, 29, 177-183.
- HEINZ – ARVAND, M.; TÖLLY, I.; GRUBER, D.; NAGY, M. & WEBER, K. (2001): Dokumentarische Erfassung der karsthydrologischen Untersuchungen im gesamten Bundesgebiet Österreichs (1992-1997). Rep. (in Vorbereitung) Umweltbundesamt, Wien.
- HERLICKSKA, H. & GRAF, K. (1992): Dokumentation karsthydrologischer Untersuchungen in Österreich. Rep. 057, 78 S., Umweltbundesamt, Wien.
- HERLICKSKA, H.; SCHEIDLEDER, A.; KRALIK, M. & PHILIPPITSCH, R. (1996): Gesprächsplattform „Österreichischer Grundwasserkataster“: Arbeitsgruppe Karst - Kluftgrundwasser. Ber. 065, 78 S., Umweltbundesamt, Wien.
- KRALIK, M (1997): Karst- und Kluftgrundwässer. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1996, 123-160, 231 S. ,Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien (<http://www.ubavie.gv.at>).
- KRALIK, M. (1999c): Karst und Kluftgrundwasser. In: WWK/UBA (Wasserwirtschafts-kataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1998, 61-90, 221 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien. (<http://www.ubavie.gv.at>).
- KRALIK, M. (1999d): B/ 4.3 Niederschlags-Isotopenmeßnetz. In: WWK/UBA (Wasserwirtschafts-kataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1998, 96-103, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien. (<http://www.ubavie.gv.at>).



- KRALIK, M. (1999e): Karst Groundwater Quality in Austria. In: ANDREO, B. CARRASCO, F. & DURAN, J. J. (Hrg.): Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico. (535-540), Patronato de la Cueva de Nerja, 592 S., Nerja.
- KRALIK, M. (2000): Environmental Geology in Austria. In: NEUBAUER, F. & HÖCK, V. (eds.): Aspects of Geology in Austria. (345 S.). Mitt. Österr. Geol. Ges., 92, 315-337, Wien.
- KRALIK, M. (2001a): Strategie zum Schutz der Karstwassergebiete in Österreich. Ber. Umweltbundesamt, 88 S., Wien.
- KRALIK, M. (2001b): B/ 2 Karst und Kluftgrundwasser. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 2000, 89-109, 197 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien. (<http://www.ubavie.gv.at>)
- MENNE, B. (1998): Mikrobiologische Aktivität auf Karstgesteinen. Tagungsbd. 121-126, 4. Arbeitstagung: „Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes“ (ISBN 3-9500844-0-1), 22.-24. April, Österr. Forsch- u. Prüfzentrum Arsenal, Wien.
- ÖWAV (1984b): Leitlinie für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen für Trinkwasserzwecken. Regelblatt 201, 55 S., Österr. Wasser- u. Abfallwirtsch. Verb., Wien.
- PAVUZA, R. & TRAINDL, H. (1985): Zur Hydrochemie und Bakteriologie alpiner Karstwässer. Die Höhle 36(4): 123-142, Wien.
- PAVUZA, R. (1994): Das Karstwasser – Einfluss, Parameter und Bedeutung der Karsthydrogeologie bei speleologischen Fragestellungen. Merkblätter zur Karst- und Höhlenkunde, 4. Lieferung, 39-49, Wien.
- PHILIPPITSCH, R., KRALIK, M. & GRATH, J. (1998): Grundwasserqualität in Österreich: 2000 Meßstellen geben Auskunft. Tagungsbd. 113-119, 4. Arbeitstagung: „Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes“ (ISBN 3-9500844-0-1), 22.-24. April, Österr. Forsch- u. Prüfzentrum Arsenal, Wien.
- PROBST, M. & ZOJER, H. (1993): Evaluierung bisher durchgeführter Bund- Bundesländer – Projekte auf dem Gebiet der Wasserversorgung Teil III: Kluft- und Karstwasser. Unveröff. Ber. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeol., Forsch.ges. Joanneum, 169 S., Graz.
- RANK, D. (1999): B 4/2 Isotope im Karst- und Kluftgrundwasser. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1998, 92-95, 221 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien. (<http://www.ubavie.gv.at>)
- TRAINDL, H. & PAVUZA, R., (1990): Wechselbeziehungen zwischen dem Keimgehalt von Karst- und Grundwässern und den hydrogeologischen Rahmenbedingungen. Karst- Bulletin 12. Fachsektion Karsthydrogeologie im Verband österreichischer Höhlenforscher. Eigenverlag. Wien.
- TRIMMEL, H., (1961): Karst in Österreich (II/5). In: BOBEK, H. [Hrsg.]: Atlas der Republik Österreich 1:1 Mio., Freytag-Berndt und Artaria, Wien
- TRIMMEL, H., (1962): Gebirgsgruppengliederung für das Österreichische Höhlenverzeichnis (Arbeitsgebiet des Verbandes österreichischer Höhlenforscher) und für das Höhlenverzeichnis der Bayrischen Alpen. 60 S., Verband Österr. Höhlenforscher, Wien
- TRIMMEL, H.; BARDOLF, G.; FINK, M. H. & STUMMER, G.; (1978): Die Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1: 50 000. Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift "Die Höhle". Band 27, 112 S., Verband österreichischer Höhlenforscher., Wien.
- TRIMMEL, H., (1998): Karstlandschaftschutz: Die Karstlandschaften der österreichischen Alpen, der Schutz ihres Naturraumes und die nachhaltige Nutzung ihrer natürlichen Ressourcen. 119 S., Commission Internationale pour la Protection des Regions Alpines (CIPRA), Österreich, Wien.
- TRIMMEL, H.; PAVUZA, R. (1988): Environmental problems and investigations in the Karst areas of Austria. Proc. 21st., IAH-Congr., Guilin/China.
- WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (1997): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1996, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 231 S., Wien (<http://www.ubavie.gv.at>)
- ZOJER, H. (1993): Karstgrundwässer in Österreich. In: BIFFL, W. (Hrg.): Wasserreserven in Österreich: Schutz und Nutzung in Gegenwart und Zukunft. Vorträge 28. ÖWAV – Seminar, Ottenstein, Wiener Mitt. Wasser – Abwasser – Gewässer, 111, 83 – 98, Wien.
- ZOJER, H. (1999): Impacts from Tourism. In: DREW, D. & HÖTZL, H. (Hrg.): Karst Hydrogeology and Human Activities: Impacts, Consequences and Implications. 124-136, International contributions to hydrogeology, 20, 322 S., Balkema, Rotterdam.
- ZÖTL, J. (1974): Karsthydrogeologie. 291 S., Springer, Wien.
- ZÖTL, J. (1986): Karst Water: An Important Factor for the Drinking Water Supply in Austria. Environ. Geol. Water Sci., 7, 237-239, New York.

### 2.10.2.1 Burgenland

- FERKL, R. (1991): Hydrogeologische Untersuchungen im Raum Purbach - Unveröffentl. Diplomarbeit an der naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, 140 S., Wien.
- FERKL, R.; KOLLMANN, W. & MEYER, J. (1989): Hydrogeologische Kartierung und Aufschlußstätigkeit im Leithagebirge. Ber. Biolog. Forschungsinst. F. Burgenland, 71, 39-51, Illmitz.
- HEINZ-ARVAND, M. (1993): Ergebnisse eines Farbtacersversuches zur Grundwassererkundung und Festlegung des Schutzgebietes im Einzugsbereich der Gemeindebrunnen Purbach. BFB-Ber., 79, 149-157, Biol. Forschungsinst. F. Burgenland, Illmitz.
- KOLLMANN, W. (1984): 1983-1984 Südburgenländische Schwelle (Burg-N.Eisenberg) Burgenland. Unveröffentlichte Untersuchung; Proj. BA 5a, Geologische Bundesanstalt, Wien.

- KOLLMANN, W. (1990): Hydrogeologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet des Neusiedlersees (Leithagebirge. Geologische Bundesanstalt, Abt. Hydrogeologie, 231 S., Wien.
- TSCHULIK, M. (1984): Beitrag zur Hydrologie und Hydrogeologie der Ruster Hügel. Unpubl. Diplomarbeit, Institut für Geografie, Universität Wien, Wien.

### 2.10.2.2 Kärnten

- BRANDNER, R.; HACKER, P.; KONRAD, M.; PRAGER, C.; PROBST, G. & ZOJER, H. (1999): Hydrogeologische Grundlagenstudie Westliche Gailtaler Alpen – Lienzer Dolomiten (Kärnten – Osttirol). 2. unverf. Zwischenbericht, 68 S., Ist. Hydrogeol. U. Geothermie, Joanneum Research, Graz.
- BRENCIC, M.; BUDKOVIC, T.; FERJANCIC, L. & POLTNIG, W. (1995): Hydrologie der Westlichen Karawanken. (Hochstuhlgruppe). Beiträge zur Hydrogeologie, 46, 5 – 42, Graz.
- CLAR, E.; GAMERITH, W.; GRUBER, J.; HÜBL, G.; KOLLMANN, W. & RANK, D. (1995): Interdisziplinäre geowissenschaftliche Untersuchungen zur Beurteilung von Einzugsgebiet, Herkunft, Verweilzeit und Vorräten von Thermalwasservorkommen am Beispiel Bad Kleinkirchheim. Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt 17, Wien.
- FANK, J. G.; PROBST, G. & ZOJER, H. (1988): Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen. Zusammenfassung des Projektes „Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weiensee) 1981-1987. Unverf. Bericht, Joanneum GmbH, 40 S., Graz.
- GRUBER J. (1990): Kärntner Grundwasserkataster. 158 S., Kärntner Landesreg., Klagenfurt.
- HÖTZL, H.; MOSER, M.; REICHERT, B. & RENTSCHLER, K. (1994): Hydrogeologische Markierungsversuche in Massenbewegungen (Reppwandgleitung, östliche Karnische Alpen, Kärnten und Stubnerkogel, Salzburg). Beitr. zur Hydrogeologie, 45, 69-92, Graz.
- MÜLLER, H. W. & SCHWAIGHOFER, B. (1999): Adsorptions- und Filtereigenschaften von Böden auf Karbonatgesteinen gegenüber Schadstoffen im Einzugsgebiet der Thomas- und Unionquelle am Nordfu des Dobratsch in Kärnten. Unverf. Ber., 127 S., Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- POLTNIG, W.; PROBST, G. & ZOJER, H. (1996): Untersuchungen zur Speicherung und zum Schutz von Karstwässern der Villacher Alpe (Kärnten). Mitt. österr. Geolog. Ges., 87, 75 - 90, Wien.
- POLTNIG, W. & STROBL, E. (1996): Einflüsse von CO<sub>2</sub>-Exhalationen aus dem Bereich der Periadriatischen Naht auf Karstwässer des Hochobirmassivs (Karawanken, Kärnten). Beiträge zur Hydrogeologie, 47, 145-158, Graz.
- POLTNIG, W. & STROBL, E. (1997): Hydrogeologie der Karawanken: Abschnitt Hochstuhl - Loiblpa. Endbericht, österreichischer Teil. Unverf. Ber., Institut für Geothermie und Hydrogeologie (Joanneum Research, Graz) und Institut za Geologijo Geotekniko in Geofisika (Geoloski Zavodo, Ljubljana). Graz/Ljubljana.
- SPENDLINGWIMMER, R. & HEI, G. (1996): Endbericht zum Projekt: Schongebiet Petzen / Jaunfeld: Sondermeprogramm 1993/94 und Menetzverdichtung. Unverf. Ber., 85 S., Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- SPIEGLER, A. (1996): Der Karst im Nationalparkbereich des Tauernfensters. Kärntner Nationalparkschriften, 8, 85 - 97, Grokirchheim.
- STERNIG, H., (1988): Karstwasserreserven Villacher Alpe - Widerstreit zwischen des Interessen des Fremdenverkehrs und der Wasserversorgung - Folgen für den Wasserwerksbetrieb. Gas/Wasser/Wärme 42 (1988)9.
- STERNIG, H. (1993): Wasserreserven in Österreich: Schutz und Bewirtschaftung eines Karstgrundwasserkorpers (Villacher Alpen). In: BIFFL, W. (Hrg.): Wasserreserven in Österreich: Schutz und Nutzung in Gegenwart und Zukunft. Vorträge 28. ÖWAV – Seminar, Ottenstein, Wiener Mitt. Wasser – Abwasser – Gewässer, 111, 99 – 136, Wien.
- FANK, J., PROBST, G., ZOJER, H. (1988): Erkundung der unterirdischen Wasservorkommen in Kärnten. Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weiensee). Zusammenfassung 1981-1987 - Zusammenfassender unverf. Bericht, Graz.
- GOLDBRUNNER, J., RAMSPACHER, P., RIEPLER, F. & ZOJER, H. (1984): Erkundung unterird. Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeol. der zentralen Gailtaler Alpen (Weiensee) Bundesl.koop. L. Kärnten u. BM f.W. u.Forsch.; Inst.f.Geothermie u. Hydrogeologie, F.ges. Joanneum;unverf. publ. Endbericht, 58+60 S.Anh.,Graz.
- GOLDBRUNNER, J.E., RAMSPACHER, P. & ZOJER, H. (1979): Karsthydrogeologische Untersuchungen im Petzengebiet (Kärnten). Bundesl.koop. L. Kärnten u. BM f.Wissenschaft. u.Forsch., Inst.f.Geothermie u.Hydrogeol., Forsch.ges. Joanneum; unverf. Endber., 19 S., Graz.
- GRAF, F. & RAMSPACHER, P. (1987): Hydrogeologie Einzugsgebiet Hainschbauerquellen Karawanken, Phase III. Stadtwerke Klagenfurt, Gutachten, 4 S., Klagenfurt.
- HAIDER, H. & ZOJER, H. (1986): Karstwasserreserven der Villacher Alpe, Teil I. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, Endbericht (KA-24b), 70 S., Graz.
- POLTNIG, W., PROBST G., SCHEFZIK, G., NEUBAUER, E.A.K.; PROJEKTLEITER: ZOJER, H. (1989): Karstwasserreserven der Villacher Alpe, Teil III - Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, Endbericht (KA-24b), 49 S., 2 Teile, Graz.
- PROBST, G. & ZOJER, H. (1988): Karstwasserreserven der Villacher Alpe, Teil II. Endbericht (KA-24b), 49 S., 2 Teile, Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, Graz.

- PROBST, G.; POLTNIG, W.; NEUBAUER, E.A.K.; SCHEFZIK, G. & ZOJER, H. (1989): Karstwasserreserven der Villacher Alpe, KA-24b/Teil III – Endbericht. Endbericht (KA-24b), 49 S., 2 Teile, Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungs-ges. Joanneum, Graz.
- RAMSPACHER, P., RIEPLER, F. & ZOJER, H. (1982): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensee) - Bundesl.koop. Land Kärnten u. BM f.W. u.Forschung; Inst.f.Geothermie u. Hydrogeologie, F.ges. Joanneum;unveröffentl. Endbericht, 58 S.,Graz.
- RAMSPACHER, P., RIEPLER, F. & ZOJER, H. (1983): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensee) - Bundesl.koop. Land Kärnten u. BM f.W. u.Forschung; Inst.f.Geothermie u. Hydrogeologie, F.ges. Joanneum;unveröffentl. Endbericht, 60 S.,Graz.
- RAMSPACHER, P., RIEPLER, F. & ZOJER, H. (1985): Erkundung unterird. Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeol. der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensee). Bundesl.koop. L. Kärnten u. BM f.W. u.Forsch.; Inst.f.Geothermie u. Hydrogeologie, F.ges. Joanneum;unveröffentl. Endbericht, 44 S.,Graz.
- RAMSPACHER, P. & ZOJER, H. (1983): Bericht über den Markierungsversuch Petzen. Bundesl.koop. L. Kärnten u. BM f.Wissenschaft. u.Forsch., Inst.f.Geothermie u.Hydrogeol., Forsch.ges. Joanneum; unveröff. Endber., 35 S., Graz.
- RAMSPACHER, P., RIEPLER, F. ZOJER, H. STICHLER, W. (1991): Hydrogeologie des Förolacher Stollens, Gailtaler Alpen (Kärnten). Beitr. zur Hydrogeologie, 42, 60 S., Graz.
- SAMPL, H. (1983): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensee) - Bundesl.koop. Land Kärnten u. BM f.W. u.Forschung; unveröffentl. Bericht, 20 S.,Graz.
- STICHLER, W., WEISE, ST. & ZOJER, H. (1986): Erkundung unterird. Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeol. der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensee). Bundesl.koop. L. Kärnten u. BM f.W. u.Forsch.; unveröffentl. Bericht, 64 S.(insges. vier Bände), Graz.
- ZOJER, H. (1978a): *siehe Steiermark*
- ZOJER, H. (1978b): *siehe Steiermark*
- ZOJER, H. (1986): Hydrogeologie Einzugsgebiet Hainschbauerquellen, Karawanken, Phase I. I Stadtwerke Klagenfurt, Gutachten, 24 S., Klagenfurt.
- ZOJER, H. (1978): Hydrogeologische Studie in Karbonatgesteinsbereichen und tertiären Lockersedimenten (Plöckengebiet). Habilitationsschrift an der Technischen Univ. Graz, 92 S., Graz.
- ZOJER, H. (1980): Beitrag zur Kenntnis der Thermalwässer von Warmbad Villach (Villacher Alpe). Beitr. zur Hydrogeologie, 32, Graz.

### 2.10.2.3 Niederösterreich

- BAUER, F. (1962): Zur Frage des Einzugsbereiches der Quellen der I. Wiener Hochquellenleitung im Bereich des Raxmassives. Speläologisches Institut, Wien, 20.Oktober 1962, Z. 370-62/55, Wien.
- BAUER, F. (1969): Karsthydrologische Untersuchungen im Schneealpenstollen in den steirisch-niederösterr. Kalkalpen (Schneealpe). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 21, 193-214, Graz.
- BAUER, F. & VÖLKL, G. (1983): Versuchsbericht: Markierungsversuch Zistersdorf – Eselsquelle. Bundesanstalt f. Wasserhaushalt von Karstgebieten; unveröffentl. Ber., 5 S., Wien.
- BRÜGGEMANN, H.; DECKER, K.; HEINRICH, M.; KLEIN, P.; KOCIU, A.; LIPIARSKI, P.;PAVLIK, W.; PIRKL, H.R.; WIMMER, H. & FA. ÖKO-DATEN-SERVICE (1995): Wasserhöflichkeit und Wasserqualität sowie deren langfristige Sicherung in kalkalpinen Einzugsgebieten am Beispiel eines N-S Streifens in den niederösterreichischen Kalkalpen zwischen Ybbsitz und Göstling. Unpub. Ber., 264 S., Geolog. Bundesanst., Wien.
- DECKER, K. (1994): Strukturgeologie und Tektonik, Projekt Hydrogeologie Ybbsitz - Göstling. Unpub. Ber. Geolog. Bundesanst., Wien.
- DECKER, K. (1998): Karst springs, groundwater and surface runoff in the Calcareous Alps: assessing quality and reliance of long-term water supply. Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters (Proceedings of the Head Water 98 Conference held at Meran, Italy April 1998. IAHS Publ., 248, 149-156, Meran.
- DOSCH, F. (1956): Färbeversuch Hochschneeberg 1955. Gas-Wasser-Wärme, 10, H. 1/2, S.1-6/39-45, Wien.
- FINK, M. (1999): Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs 1:50 000: Blatt 73 – Türnitz (Türnitzer Alpen). Verb. Österr. Höhlenforscher, Wien.
- GANGL, G. (1990): Hydrogeologische Untersuchungen an den Heilquellen von Bad Deutsch Altenburg (Niederösterreich im Rahmen der Vorarbeiten für das Donaukraftwerk Hainburg (Hainburger Berge). Österr. Wasserwirtschaft, 42, 1-17, Wien.
- GANGL, G. (1997): An example of geological investigation in a karst area in Lower Austria (Hainburger Berge). In: KRANJC, A. (Hrg.): Tracer Hydrology 97, 227-228, Proc. 7th. Intern. Sympos. Water Tracing Portoroz /Slovenia 450 S., Balkema, Rotterdam.
- FRISCHHERZ, H., REISCHEL, R., (1983): Beobachtung der Quellschüttung und einfacher Qualitätsparameter an den Quellen der I. Wiener Hochquellenleitung. Österreichische Wasserwirtschaft. Jg. 35. Heft 9/10.
- RIEDEL-TASCHNER, I. (1992): Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs 1: 50 000. Blatt 61 - Hainburg. Verband österreichischer Höhlenforscher, Wien.
- SALZER, F. (1997): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Niederösterreich: Hydrogeologie der Karbonate zwischen Wien-Fluß und Schwechat-Fluß im Wienerwaldbereich. Unpub. Ber. Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien.
- FENZL, N. (1975): Hydrogeologie der Neuen Welt - Dissertation Universität Wien, 103 S., Wien.

- FINK, M. (1982): Grundsatzkonzept für die Wasserreserven im Bereich Göller-Gippel-Obersberg; Teil A u. B - Im Auftrag d. Abt. B/9 des Amtes d. Nö. Landesregierung; Klosterneuburg.
- FINK, M. (1965): Der erste erfolgreiche Färbeversuch am Schlagerbodenpolje (Frankenfels - St.Anton a.d. Jeßnitz) - Die Höhle, Jg. 16, S.67-73, Wien.
- FINK, M. (1986): Grundsatzkonzept für die Wasserreserven im Bereich Göller-Gippel-Obersberg: Quellbeurteilung Gippel (St. Aegyd am Neuwalde); Teil A: Bericht; Teil B: Befunde - Chem. Analysen d. Nö. Umweltschutzanst.; i.A.. der Abt. B/9 d. Amtes d. Nö. L.reg.; Wien.
- FINK, M.H. (1973): Der Dürrenstein. Ein Karstgebiet in den niederösterreichischen Alpen - Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift "Die Höhle", H.22, 144 S., Wien.
- FRISCHHERZ, H. & REISCHEL, R. (1983): Beobachtung der Quellschüttung und einfacher Parameter an den Quellen der I. Wiener Hochquellenleitung (Rax – Schneealpe, Nieder-österreich - Steiermark ). Österr. Wasserwirtschaft, 35, 207-213, Wien.
- GATTINGER, T.E. (1963): Hydrogeologische Stellungnahme zum Sesselliftprojekt Preiner Gscheid/Rax, 11.Oktober 1963 - Geologische Bundesanstalt, Wien.
- HACKER, P. (1985): Berndorfer Becken, Niederösterreich. unveröffentlichte Untersuchung, BVFA Arsenal, Wien.
- HACKER, P. & SCHROLL, E. (1983): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in den nördlichen Kalkalpen: Hydrogeologie im Einzugsgebiet der Erlauf und des Ötschers (Nieder-österreich). Bericht (NA 6e/F), 77S., BVFA Arsenal; Bundesländerkoop. Land NÖ u. BM f. Wissensch. u. Forschung, Wien.
- HACKER, P. & SCHROLL, E. (1984): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in d. nördlichen Kalkalpen: Hydrogeol. im Einzugsgebiet der Erlauf und des Ötschers (Nieder-österreich). Detailproj.1983 - Bericht (NA 6e/F), 104 S., BVFA Arsenal; Bundesländerkoop. Land NÖ u. BM f. Wissensch. u. Forschung, Wien.
- HACKER, P. & SCHROLL, E. (1985): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in d. nördlichen Kalkalpen: Hydrogeol. im Einzugsgebiet der Erlauf und des Ötschers; Proj.abschn.3. Bericht (NA 6e/F), 20 S., BVFA Arsenal; Bundesländerkoop. Land NÖ u. BM f. Wissensch. u. Forschung, Wien.
- HACKER, P. & SCHROLL, E. (1987): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in d. nördlichen Kalkalpen: Hydrogeol. im Einzugsgebiet der Erlauf und des Ötschers; Kombiniertes Markierungsversuch im Bereich Ötscher-Feldwiesen Alm-Gemeindealpe - Bericht (NA 6e/F), 135 S. etc., Wien.
- HACKER, P. & SPENDLINGWIMMER, R. (1989): Karstwasservorkommen oberes Erlaufstal: Forschungsvorhaben NA 6e/1982-1987, Endbericht, 36 S., Niederösterreichische Schriften, 24, Wissenschaft, Wien.
- MAGISTRAT WIEN (MA) 15 (1968): *siehe Steiermark* Färbeversuch Reisstal, 1967 (Rax, Niederösterreich - Steiermark). MA 15 - Hyg. Bakt. Untersuchungsanstalt, 27.Dezember 1968, Z.Hyg. 1752 A/68.
- MAGISTRAT WIEN (MA) 31 - WIENER WASSER-WERKE (1860): *siehe Steiermark*
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse: Großversuche im nordostalpinen Karst (Hochschneeberg, Niederösterreich). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 1959, H.1/2, S.50-55, Graz.
- NAGL, H. (1970): Karstmorphologische u. -hydrologische Beobachtungen in den Göstlinger Alpen. Die Höhle", 21, 9-32, Wien.
- PAVUZA, R. (1982): Karsthydrogeologie der Kalkvoralpen im Gebiet Waidhofen/Ybbs - Weyer, Nö/Oö. Dissertation Universität Wien, 195 S., Wien.
- PAVUZA, R. (1985): Ybbstaler Alpen – Opponitz, Niederösterreich, Unveröffentlichte Untersuchung
- PAVUZA, R., PROHASKA, W. & TRAIIDL, H. (1985): Karstverbreitungs- u. Karstgefährdungskarten Österreichs 1:50.000; Blatt 76 - Wiener Neustadt. Verband österr. Höhlenforscher, 67 S., Wien.
- PAVUZA, R. & TRAIIDL, H. (1983): Schwachat - W-Baden, Niederösterreich, Unveröffentlichte Untersuchung.
- PAVUZA, R. & TRAIIDL, H. (1984): Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs 1:50.000; Blatt 70 - Waidhofen/Ybbs - Verband österr. Höhlenforscher, 56 S., Wien.
- PAVUZA, R., TRAIIDL, H., PROHASKA, W. & SCHUCH, M. (1983): Die Geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse am Westrand des südlichen Wiener Beckens. Unveröffentlichte Untersuchung.
- REISCHEL, R. (1983): Beobachtung der Quellen der I. Wiener Hochquellenleitung und Beurteilung der Zusammenhänge von Schüttung u. Qualität (Rax – Schneealpe. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.
- RIEPLER, F. (1989): Gloggnitz – Reichenau (Niederösterreich; Hydrogeologische Beweissicherung. Unveröffentl. Bericht, 10 S., Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, Graz.
- RIEPLER, F. (1988): Bericht über die hydrogeologische Kartierung des Gebietes zwischen Reichenau a.d. Rax und Müzzuschlag. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeol., Forschungsges. Joanneum, unveröffentl. Bericht, 32 S., Graz 1988
- SALZER, F. (1997): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in NÖ: Hydrogeologie der Karbonate zwischen Wien-Fluß und Schwachat-Fluß im Wienerwald - Bereich. Unpubl. Endber. Österr. Forsch.- u. Prüfzentrum (ÖFPZ)-Arsenal, 90 S., Wien.
- SALZER, F. (1998): Änderungen einzelner Klimatelemente und ihre Auswirkung auf das Abflussverhalten von Quellen. Tagungsbd. 51-56, 4. Arbeitstagung: „Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes“(ISBN 3-9500844-0-1), 22.-24. April, Österr. Forsch- u. Prüfzentrum Arsenal, Wien.
- STEINKELLNER, M. (1993): Bedeutung der On – Line – Messung an Karstquellen und in ihrem Einzugsgebiet (Schneealpe). In: BIFFL, W. (Hrg.): Wasserreserven in Österreich: Schutz und Nutzung in Gegenwart und Zukunft. Vorträge 28. ÖWAV – Seminar, Ottenstein, Wiener Mitt. Wasser – Abwasser – Gewässer, 111, 137 – 155, Wien.

- STEINKELLNER, M. (1996): Ergebnisse von kontinuierlichen Messungen an Karstquellen (Schneealpe). Gas-Wasser-Wärme, 50, 129-137, Wien.
- STEINKELLNER, M. (1998): Auswirkungen von Niederschlagsereignissen und der Schneeschmelze auf Karstquellen (Schneealpe). Wiener Mitt. Wasser – Abwasser – Gewässer, 150, 165 S., Wien.
- STEINKELLNER, M., FRISCHHERZ, H., LANGER, G., (1993): Bedeutung der On-Line-Messung an Karstquellen und in ihrem Einzugsgebiet (Schneealpe). Österr. Wasserwirtschaft, 45, 233-238, Wien.
- TRAINDL, H. (1982): Hydrogeologie der Kalkvoralpen im Raum Waidhofen/Ybbs – Weyer. Dissertation Universität Wien, 224 S., Wien.
- TRIMMEL, H., BARDOLF, G., FINK, M.H., STUMMER, G. (1978): Die Karstverbreitungs- u. Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1:50.000; Blatt 73 – Türritz. Wissenschaftl. Beihefte zur Zeitschrift "Die Höhle", Bd. 27, 112 S., Wien.
- ZÖTL, J. (1963): Hydrogeologische Stellungnahme zum Sesselliftprojekt Preiner Gscheid / Rax, 5. Oktober 1963 (Gutensteiner Alpen) Unveröff. Ber., Graz.

#### 2.10.2.4 Oberösterreich

- ARVAND, M. (1976): Hydrologie des südöstlichen Dachsteinmassivs und der Schladminger Ramsau. Dissertation, Universität Wien, 140 S., Wien.
- ASBÖCK, B. (1999): Die Grundwasserneubildung von Lockersedimenten glazial übertiefer Täler aus Karstaquifere am Beispiel des Äußeren Weißenbachtals. 127 S., Unpubl. Diss. TU-Graz, Graz.
- BAUER (1953): Zur Verkarstung des Sengsengebirges. Mitt. der Höhlenkommission 1952, 7-14.
- BAUER, F. (1956): Zur Verkarstung des Sengsengebirges in Oberösterreich. Beiträge zur alpinen Karstforschung, H. 3, 14 S., Wien.
- BAUER, F. (1958): Quellwasserführung in Karstgebieten (Untersuchungsergebnisse aus dem Dachsteingebiet, Gjaidalm-Obertraun). Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 1958, Wien.
- BAUER, F. (1960): Sporentiftversuch Gosau 1960. Bericht des Speläologischen Instituts, geplant und durchgeführt für die Oö. Kraftwerke AG, 19 S., Wien.
- BAUER, F. (1975): Mollner Becken, Oberösterreich. Speläologisches Institut / Bundesanstalt für Wasserhaushalt von Karstgebieten; unveröff. Ber., Wien.
- BAUER, F. (1989): Die unterirdischen Abflußverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. Report, UBA-89-028, 73 S., Umweltbundesamt, Wien.
- BAUER, F.; ZÖTL, J. & MAYR, A. (1960): Neue karsthydrographische Forschungen und ihre Bedeutung für Wasserwirtschaft und Quellschutz (Dachstein, Oberösterreich). Wasser u. Abwasser, Bd. 1958, H.11, 2-18, Wien.
- 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.
- BUXBAUM, I. & KRÁLIK, M. (1999): Umweltgeologische Bewertung der partikulären Deposition am Integrated Monitoring Standort „Zöbelboden“ (Reichraming, OÖ). IM-Bericht, (im Druck), Umweltbundesamt Wien.
- BUXBAUM, I. (1999): Umweltgeologische Bewertung der Staubdeposition am Integrated Monitoring Standort „Zöbelboden“ (Reichraming, OÖ). Unpubl. Dipl. Arbeit, 105 S., Univ. Wien.
- GÄRTNER, A., HASEKE H., SCHRUTKA R. und STEINWENDNER N. (1994): Atlas der Geologie 1 : 20.000 Nationalpark Kalkalpen, 1. Verordnungsabschnitt - 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. (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. (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.
- HASEKE, H. & PRÖLL, A. (1997): Quellereigniskampagnen 1997 im Nationalpark Kalkalpen. 56 S., Ber. d. Nationalpark Kalkalpen, Molln..
- HASEKE, H. (2000): Markierungsversuch Zöbelboden Reichraminger Hintergebirge: In Zusammenarbeit mit dem ECE-Projekt „Integrated Monitoring“ des Umweltbundesamtes und dem Nationalpark Kalkalpen. Unpubl. Endbericht, 69 S., Amt der Oberösterreich. Landesregierung, Linz.
- HERLICKSKA H. & HOBIGER G. (1991): Karsthydrologische Untersuchungen im westlichen Dachsteinmassiv in Hinblick auf die Erlassung einer Wasserschongebietsverordnung: Markierungsversuche Dachstein-West 1990. Rep., UBA-91-056, 62 S., Umweltbundesamt, Wien.

- HERLICKSKA, H.; LORBEER, G.; BOROVIČZENY, F.; MANDL, G.; PAVUZA, R.; STUMMER, G.; LASSNIG, M. (1994): Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“ Bd. 1 Karstwasserqualität. Monographie, 41: 233 S., Umweltbundesamt, Wien.
- HERLICKSKA, H.; LORBEER, G.; HUMER, G.; BOROVIČZENY, F.; MANDL, G. W.; TRIMBORN, P. (1995): Pilot Project „Karst Water Dachstein“. (21-36) In: EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.): Karst groundwater protection (Final report COST action 65), 446 S., EUR 16547EN, ECSC-EC-EAEC, Brussels.
- HOLUBAR, P.; HEURITSCH, S. & SEPER, C. (1996): Konzeption und Test spezieller mikrobiologischer Methoden. Erkundung der pedogenen Organismenmobilität im Karstwasser. Jahresbericht 1996. Institut für angewandte Mikrobiologie, Universität für Bodenkultur, Wien.
- 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. & OTTNER, F. (1996): Analyse karstrelevanter Boden- und Gesteinsproben von repräsentativen Standorten des Nationalpark Kalkalpen. Projekt Karstdynamik im Nationalpark Kalkalpen. Unveröff. Studie i.A. des Nationalparkes Kalkalpen, Wien.
- KEIMEL, T. (1999): Hydrogeologische und umweltgeologische Untersuchungen zur Vorbereitung von Tracerversuchen in einem dolomitischen Kleinzugsgebiet in den nördlichen Kalkalpen (Integrated Monitoring des Zöbelbodens, Reichraming, OÖ). Unpubl. Dipl. Arbeit, 115 S., Univ. Wien.
- KEIMEL, T. & KRALIK, M. (2000): Hydrogeologische und umweltgeologische Untersuchungen zur Vorbereitung von Tracerversuchen in einem dolomitischen Kleinzugsgebiet in den nördlichen Kalkalpen (Integrated Monitoring des Zöbelbodens, Reichraming, OÖ). IM-Bericht, (im Druck), Umweltbundesamt Wien.
- 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.
- MIRTL, M. & LEITHNER, W. (1997): Geologische und hydrogeologische Aufnahme als Basis für Stoffbilanzen eines Kleinökosystems in den Nördlichen Kalkalpen. (Windischgarstener u. Reichraminger Alpen; Untersuchungen im Rahmen des Integrated Monitoring der UN-ECE durch das Umweltbundesamt). Mitt. Österr. Geol. Ges., 88, 51-60, Wien.
- PFLEIDERER, S., ARNDT, R., HÜBL, G., RÖMER, A., BRÜGGEMANN, H., DECKER, K., HEINRICH, M., KLEIN, P., KREUSS, O., PIRKL, H., RANK, D., PAPESCH, W. & REITNER, H. (1999): Geohydrologische und hydrogeologische, geochemische und tektonische Grundlagenstudie in den oberösterreichischen Kalkvorbergen nordöstlich der Enns. - Unveröff. Endbericht Auftragsforschung Proj.O-A-030/1997-99, Bibl.d.Geol. B.-A./Wiss.Archiv, 121 Bl., 67 Abb., 15 Tab., 9 Blg., 2 Anh..
- SCHEIDLER, A.; BOROVIČZENY, F.; GRAF, W.; HOFMANN, T.; MANDL, G.; SCHUBERT, G.; STICHLER, W.; TRIMBORN, P. & KRALIK, M. (2001): Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“: Bd. 2 Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. Umweltbundesamt Monographie 108 / Archiv f. Lagstättenforschung 21, Geologische Bundesanst., 155 S., Wien.
- SCHMIDT, S. (1999): Mikrobielle Belastung des Wassers (KBE/CFU und Fäkalindikatoren, 1994 – 1997). In: HASEKE, H. (Hrsg.): Nationalpark Kalkalpen (Oberösterreich): Karstprogramm. Ber. Nationalpark Kalkalpen, (151-167), 260 S., Molln. <http://ftp-waldoek.boku.ac.at/kalkalp/>
- 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.
- DINCER, T., PAYNE, B. R.; YEN, C. K. & ZÖTL, J. (1972): Das Tote Gebirge als Entwässerungstypus der Karstmassive der nördlichen Kalkhochalpen (Ergebnisse von Isotopenmessungen) Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 24, 71-109, Graz.
- HAIDER, R. (1983): Markierungsversuch beim Hochleckenhaus, westliches Höllengebirge. Hydrogeolog. Untersuchungsstelle Salzburg u. Institut f. Geothermie u. Hydrogeologie
- HERLICKSKA, H. & HOBIGER, G. (1991): Untersuchung der unterirdischen Abflußverhältnisse im westlichen Dachsteinmassiv in Hinblick auf die Erlassung einer Wasserschongebietsverordnung. Umweltbundesamt, Wien.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST (1973): Karstquellbeobachtungen im Sengsengebirge (Dauerbeobachtungen seit Juli 1973 im Quellgebiet der Steyr und der Steyrling). Im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung; unveröffentl. Untersuchung, Linz.
- KAPLANER, H. (1991): *Schnealpe, siehe Steiermark*
- KÖSSL, H. (1981): Zwischenbericht über die hydrogeologische Aufnahmen im oberösterreichischen Anteil des Warschenecks in der Zeit vom Juli bis Oktober 1981. Unveröffentl. Bericht, Universität Karlsruhe, im Auftrag der Oö. Landesregierung, Abt. Wasserbau.
- KÖSSL, H. (1982): Bericht über die Karstwasserbeprobung 1982 im Bereich des Warschenecks. Unveröffentl. Bericht, Universität Karlsruhe, im Auftrag der Landesregierung Steiermark, Ref. f. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung.
- KRAUTHAUSEN, B. (1980): Markierungsversuche Warscheneck 1973-1978. Bericht, 105 S., Im Auftrag der Oö. und der Steiermärk. Lreg..
- LÖFFLER, S. (o.J.): Karsthydrologische Untersuchungen d. Einzugsgebietes Attersee. MAB-Projekt; unveröff. Untersuchung.



- LOHBERGER, F. (1987): Grundwasseruntersuchungen im Mollner Becken - Unveröffentl. Untersuchung.
- MAYR, A. (1957): Das Hallstätter Trinkwasser. Hydrogeol. Studien aus dem Dachsteingebiet. Jahrbuch d. oberösterreich. Musealvereins, Nr. 101, 319-331, Linz.
- MAYR, A., MOSER & ZÖTL, J. (1959): Die Abgrenzung d. Einzugsbereiches der Gosaukraftwerke d. Oö. Kraftwerke AG. Unveröffentl. Untersuchung, Speläologisches Institut,; 10 S., Wien.
- PAVUZA, R. & TRAINDL, H. (1979): Totes Gebirge, Oberösterreich – Steiermark, Unveröffentlichte Untersuchungen.
- PAVUZA, R. (1982): *siehe Niederösterreich*
- PAVUZA, R. & TRAINDL, H. (1984): *siehe Niederösterreich*
- TRAINDL, H. (1982): *siehe Niederösterreich*
- SPELÄOLOGISCHES INSTITUT (1972): Bericht über die in den Jahren 1970 u. 1971 im Bereich des geplanten Wasserwerkes Haiden (Leonsberg) im Auftrag d. Stadtgemeinde Bad Ischl durchgeführten hydrologischen Untersuchungen. Speläologisches Institut; unveröffentl. Bericht, 24 S., Wien.
- SPELÄOLOGISCHES INSTITUT (1974): Bericht über den im Auftrag der Stadtgemeinde Bad Ischl durchgeführten Markierungsversuch Bad Ischl (Leonsberg) 1973. Speläologisches Institut; unveröffentl. Bericht, 23 S., Wien.
- SPIEGLER, A. (1996): *Goldber-, Glocknergruppe, siehe Kärnten*
- WIESER, F. (1978): Geologisches Gutachten, Quellbeurteilung für W6. Hornquellen in Gosau (Dachstein, Oberösterreich).
- ZOJER, H. (1978a): *Totes Gebirge, siehe Steiermark*
- ZOJER, H. (1978b): *Totes Gebirge, siehe Steiermark*
- ZÖTL, J. (1957a): Der Einzugsbereich von Quellen im Karstgebirge: Die Sporenttriftversuche Dachstein 1956 (Oberösterreich – Steiermark). Österr. Wasserwirtschaft, 9, 77-86; Wien.
- ZÖTL, J. (1957b): Hydrologische Untersuchungen im östlichen Dachsteingebiet. Mitteilungen des Naturwissensch. Vereins für Steiermark, Bd. 87, Graz.
- ZÖTL, J. & BRANDECKER, H. (1972): Studie zur Erfassung der Karstwasservorräte des Toten Gebirges. Im Auftrag des BMLF, 1972

### 2.10.2.5 Salzburg

- AUDRA, P. (1994): Karsts alpins: Genèse des grands réseaux souterrains: Exemples: le Tennengebirge (Autriche). Karstologia Mémoires no 5, Seyssins, France.
- BAUER, F. (1967): Hydrol. Untersuchungen im Hochköniggebiet zum Zwecke der Abgrenzung des Einzugsbereiches d. Hölln-Quelle. Speläolog. Institut beim BM f. L.u.F., durchgeführt im Auftrag d. Marktgemeinde Bischofshofen, 32 S., Wien.
- BAUER, F. & VÖLKL, G. (1986): Markierungsversuch Glanegg /Salzburg 1985. Umweltbundesamt Wien, Abt. für Wasserhaushalt von Karstgebieten, Ber. 17 S. und 30 S. Anhang, Wien.
- FINK, M. H. (1998): Die Karstlandschaft um den Radstädter Tauernpaß - ein alpines Schigebiet in Salzburg. Z. Geomorph. N.F., Suppl. -Bd. 109, 63 - 81, Berlin.
- FINK, M. (1995): Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarsten Österreichs 1:50 000: Blattausschnitt – Radstädter Tauernpaß (Salzburg; ÖK 126, 127, 156, 157). Verb. Österr. Höhlenforscher, Wien.
- GADERMAYR, W. (1990): Wasserversorgung des Salzburger Beckens mit Karstwasser aus dem Tennen- und Hagengebirge, Austria. Proc. 10<sup>th</sup> Intern. Congr. of Speleology, 13. – 20. Aug., Budapest.
- HASEKE- KNAPCZYK, H. (1989): Der Untersberg bei Salzburg. Die ober- und unterirdische Karstentwicklung und ihre Zusammenhänge. Ein Beitrag zur Trinkwasserforschung. Österreichische Akademie der Wissenschaften. Veröffentlichungen des Österreichischen MaB- Programmes. Band 15. Universitätsverlag Wagner. Innsbruck.
- HITSCH, E., WERNER, P. (1988): Probleme bei der Trinkwasseraufbereitung aus Karstwasser. Vom Wasser, 70, 233-243.
- LANDESGESETZBLATT SALZBURG (1985): Gesetz über den Schutz und die Erfassung von Höhlen im Land Salzburg (Salzburger Höhlengesetz). 1985/63, Salzburg.
- NAUMANN, U. (1993): Zur Wirkung der Mikrofiltration bei einer kleinen Karstquelle der Salzburger Wasserwerke. Österr. Wasserwirtschaft, 45, 281 - 284, Wien.
- SPIEGLER, A. (1992): Besondere Karst- und Landschaftsformen im Bereich der Großglockner-Hochalpenstraße. Unpub. Ber., Büro Dr. A. Spiegler, Wien.
- FINK, M. (1988): Radstädter Tauern (Salzburg): Untersuchung im Rahmen des MAB 6-Projektes der Österr. Akademie der Wissenschaften.
- GANAHL, P. (1979): Hohe Tauern - Glocknergebiet - Schmiedinger Kees. Abt. Hydrologie, Tauernkraftwerke AG, unveröffentl. Untersuchung.
- GANAHL, P. (1984): Hohe Tauern - Glocknergebiet - Bockkarkees – Käfertal. Abt. Hydrologie, Tauernkraftwerke AG, unveröffentl. Untersuchung.
- GANAHL, P. (1986): Nordrahmenzone, Gastein - Schwarzach (Thomasbach u. Paar Seen; Radstädter Tauern, Salzburg). Abt. Hydrologie, Tauernkraftwerke AG; unveröffentl. Untersuchung.
- GATTINGER, T.E. (1963): *siehe Niederösterreich*
- GOLDBRUNNER, J.E. (1986): Bericht über den am 12.5.1986 durchgeführten Markierungsversuch zur Erfüllung der Bedingung Nr. 40 des Wasserrechtsbescheides für das KW Wartbergkogel (Steiermark). Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, unveröffentl. Bericht, 5 S., Graz.

- HABART, F. & KLAPPACHER, W. (1983): MaB-Projekt, Bericht über die im Jahre 1982 durchgeführten Arbeiten - Bundesanstalt für Wasserhaushalt von Karstgebieten, Bericht, 5 S., Wien 1982 u. 1983.
- HARUM, T. & LEDITZKY, H.P. (1984): Hydrogeologie d. Osterhorngruppe, Einzugsbereich Tauglbach (St. Koloman) Teil II. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeol., Forschungsges. Joanneum, 2 Bände; Graz.
- KLAPPACHER, W. (1983): Hochkönig - westl. Vorland; Imlau – Höllbach. Unveröffentl. Untersuchung.
- KLAPPACHER, W. (1975): Quellaufnahmen im Höllengebirge. Landesverein f. Höhlenkunde Salzburg.
- KLAPPACHER, W. (1982): Osterhorngruppe - SW; Gaißau – Klausbach. Unveröffentl. Untersuchung.
- KLAPPACHER, W. (1984): Osterhorngruppe - S; Rußbach. Unveröffentl. Untersuchung.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1957): Bericht über den Sporenttriftversuch im Raume Altenmarkt und Deutung der Versuchsergebnisse - Speläologisches Institut, unveröffentlicher Bericht.
- MAURIN, V. & BRANDECKER, H. (1978): Tennengebirge, Salzburg, Unveröffentl. Untersuchung.
- MÜLLNER, WALLNER & GAMERITH, W. (1987): Hydrogeologie Osterhorngruppe. Detailuntersuchung Postalm, Teil 1. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, 44 S., Salzburg.
- MÜLLNER, WALLNER & GAMERITH, W. (1989): Hydrogeologie Osterhorngruppe. Detailuntersuchung Postalm, Teil 2. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, 52 S. + 33 S. Anhang, Graz.
- PRODINGER, F. (1983): Untersuchung der großen Karstquellen Winner-, Daxer-, Trickfall (Tennengebirge). Hydrographischer Landesdienst Salzburg.
- SPIEGLER, A. (1970): Die Taugl. - Landschaft u. Landschaftsgeschichte, Hydrographie u. Karst. Dissertation Univ. Wien, 156 S., Wien.
- TOUSSAINT, B. (1971): Hydrogeologie und Karstgenese des Tennengebirges (Salzburger Kalkalpen). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 23, S.5-115, Graz.
- ZÖTL, J. (1970): Osterhorngruppe - West; Folfern - St.Jakob, Mühlstein (Salzburger Mittelgebirge). Unveröffentl. Untersuchung.

#### 2.10.2.6 Steiermark

- AIGNER, H; GRATZER, R. & SCHMID, CH. (1989): Geophysikalische Untersuchungen an thermalen Kartswässern am Beispiel Gams / Hieflau (Grazer Bergland). Beitr. zur Hydrogeologie, 40, Graz.
- ASSADIAN, M. (1970): Die hydrogeologische Untersuchung des Tonion, Hoher Student und nähere Umgebung mit geologischer Aufnahme - Dissertation Universität Wien, 121 S., Wien 1970
- BATSCHKE, H., et al. (1967): Vergleichende Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966 (Semriach – Peggau). Steir. Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 1966/67, Bd. 18/19, S. 331-403, Graz.
- BATSCHKE, H., et al. (1967): Vergleichende Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966 (Buchkogelgebiet bei Graz). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 1966/67, Bd. 18/19, S. 331-403, Graz.
- BAUER, F. (1969): *Schneealpe, siehe Niederösterreich*
- BAUER, F. (1972): Markierungsversuch Hochschwab 1971. Speläologisches Institut, unpub. Bericht, 19 S., Wien 1972
- BAUER, F. (1978): Karsthydrologische Stellungnahme zum Projekt des Plabutschunnels. Bundesanstalt für Wasserhaushalt von Karstgebieten; unveröffentl. Ber., 65 S., Wien.
- BAUER, F. (1989): *Dachstein, siehe Oberösterreich*
- BENISCHKE, R.; HARUM, T.; STROBL, E. & ZOJER, H. (1989): Erfassung der Wasserreserven in den Eisenerzer Alpen / Fertigstellung - Endbericht. Unveröff. Ber. Inst. f. Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum GmbH, 32 S., Graz.
- BENISCHKE, R.; HARUM, T.; LEDITZKY, H. P.; STADLER, H. & ZOJER, H. (1992): Hydrogeologische Erfassung von Aquiferparametern und deren Wechselwirkung in einem Karst- und Porengrundwasserkörper, dargestellt im Bereich von Peggau, (Grazer Bergland), Mittelsteiermark, Teil III – Enbericht. unveröff. Ber. Inst. f. Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum GmbH, 56 S., Graz.
- DINCER, T. et al. (1972): *Totes Gebirge, siehe Oberösterreich*
- FABIANI, E. (1980): Grund- u. Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet - Teil II: Die Untersuchungen, Geschichte - Durchführung - Methodik - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, 45, Graz.
- FABIANI, E. (1980): Grund- u. Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet - Teil IV: Die Untersuchungen im Tragößtal - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, 47, Graz.
- FABIANI, E. (1980): Grund- u. Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet - Teil V: Untersuchungen in den südlichen Hochschwabtälern (Ilgenertag - Seegraben) - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, 48, Graz.
- FABIANI, E. (1980): Grund- u. Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet - Teil I: Naturräumliche Grundlagen, Geologie - Morphologie - Klimatologie - Ber. d. wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 44, 146 S., Amt d. Steiermärkische Landesreg., Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft, Graz.
- FRISCHHERZ, H. & REISCHEL, R. (1983): *siehe Niederösterreich*
- FUCHS, G. (1983): Der Karst am Ostufer der Weizklamm. Ber. d. wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, 65, 44 S., Graz.
- HACKER, P. (1972): Beiträge zur Hydrogeologie des Passailer Beckens und seiner Umrahmung (Steiermark). Dissertation Universität Graz, 259 S., Graz.



- HACKER, P. (1983): Kombiniertes Markierungsversuch im Weizer Bergland für die Erstellung der Karstwasserbilanz und zur Abgrenzung der Quelleinzugsgebiete (Teil 2) (Steiermark). Zwischenbericht (St A28D/82), 4 S., Institut für Geothermie u. Hydrogeologie, Graz.
- HACKER, P. (1991): Karsthydrologische Untersuchungen im Weizer Bergland (Grazer Bergland). Ber. d. wasserwirtschaftlichen Planung, 71, Amt d. Steiermärkische Landesreg., Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft, Graz.
- HACKER, P. & SCHROLL, E. (1984): Bericht über das Forschungsprojekt „Markierungsversuch Weizer Bergland“ (Grazer Bergland). Unveröff. Ber., Bundesversuchs- u. Forschungsanst. Arsenal, 137 S., Wien.
- HADITSCH, J.W. (1964): Bericht über eine hydrogeologische Aufnahme des Steinkogel-Frauenkogel-Zuges nordwestlich von Graz. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 63/64, H. 15/16, S. 155-174; Graz.
- HEINZ-ARVAND, M.; RANK, D. & BRYDA, G. (1997): Abflußdynamik im Schneealpenmassiv. Zur Abschätzung der Umwelteinflüsse auf die Qualität der Quellwässer. Report des Umweltbundesamtes R-143, Wien.
- HERLICKSKA H. & HOBIGER G. (1991) und HERLICKSKA, H.; et al. (1994, 1995): *Dachstein, siehe Oberösterreich*
- HUBER, A.; PÖSCHL, M. & ZETINIGG, H. (1991): Markierungsversuche in Karstgebieten der Steiermark. Ber. d. wasserwirtschaftlichen Planung, 72, 104 S., Amt d. Steiermärkische Landesreg., Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft, Graz.
- KAPLANER, H. (1991): Beobachtung und Bewertung quantitativer und qualitativer Parameter an Quellen im Einzugsgebiet der I. Wiener Hochquellenleitung (Schneealpe). Unpubl. Dipl. Arbeit, Univ. f. Bodenkultur, 89 S., Wien.
- KOLLMANN, W. (1975): Hydrogeologie der nördlichen Gesäuseberge. Unpubl. Diss. Univ. Graz, 300 S., Graz.
- KOLLMANN, W. (1983): Hydrogeologische Untersuchungen in den nördlichen Gesäusebergen. Bericht der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, 66, 287 S., Graz.
- KÖSSL, H. (1981) und (1982) *siehe Oberösterreich*
- KRAUTHAUSEN, B. (1980): *siehe Oberösterreich*
- LEDITZKY, H.P., HARUM, T. (1986): Hydrogeologisches Gutachten über das Einzugsgebiet der Franz-Josef-Quelle (Judenburg, Steiermark). Inst. f. Geothermie u. Hydrogeol., Forschungsges. Joanneum, unveröffentl. Bericht, 20 S., Graz.
- MAGER, U. (1979): Zur Geologie im Raume Eisenerz - Radmer und zu ihrem Einfluß auf die Hydrochemie der dortigen Grundwässer. Bericht der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, 42, 71 S., Graz.
- MAGISTRAT WIEN (MA) 15 (1964): Färbeversuch Ameisbühel - Schneealpe 1963. MA 15 - Hyg. Bakt. Untersuchungsanstalt, 28. Febr. 1964, Z Hyg. 409C/63, Wien.
- MAGISTRAT WIEN (MA) 31 - WIENER WASSER-WERKE (1893): Hochschwab (II. Wr. Hochquellenleitung) Steiermark II. Wiener Hochquellenleitung - seit 1893 ständige Quellenbeobachtungen.
- MAURIN, V. (1981): Bericht über die Karstwasserbeobachtung 1981 im Bereich des Warschenecks. Unveröffentl. Bericht, Universität Karlsruhe, im Auftrag der Oö. Landesregierung, Abt. Wasserbau.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1957): Bericht über hydrogeologische Untersuchungen im Raume der Tauplitz (Totes Gebirge). Speläologisches Institut; unveröffentl. Bericht, 10 S., Wien.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Die Untersuchung d. Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse: Großversuche im nordostalpinen Karst (Dachstein). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 1959, H. 1/2, S. 50-55, Graz.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse: Die Durchführung hydrologischer Versuche: Gradenbachtal bei Köflach. Steirische Beiträge zur Hydrogeol., Jg. 1959, H.1/2, S.56-149, Graz.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Unters. d. Zusammenhänge unterird. Wässer mit bes. Berücksichtigung d. Karstverhältnisse: Ergebnisse u. Erfahrungen bei d. Untersuchung d. unterird. Karstwässer im Raume des Buchkogels bei Graz. Steir. Beitr. z. Hydrogeol., Jg. 1959, H.1/2, S. 11-35, Graz.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Untersuchung d. Zusammenhänge unterird. Wässer m. bes. Berücksichtigung d. Karstverhältnisse: Erfahrungen bei hydrogeol. Untersuchungen am Lurhöhlensystem i.d. Mittelsteiermark. Steir. Beitr. z. Hydrogeol., Jg. 1959, H.1/2, S.35-49, Graz.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1964): Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge mit besonderer Berücksichtigung des versorgungswasserwirtschaftlichen Belange im Tauplitzgebiet (Oberösterreich – Steiermark). Österr. Wasserwirtschaft, 16, 112-123; Wien.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1972): Der Andritzursprung. Meßergebnisse zur Charakteristik einer großen Karstquelle am Stadtrand von Graz. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 24, 111-137, Graz.
- MEIDL, CH.; NOVAK, J. & WESSIAK, W. (1980): Untersuchungen über die Möglichkeit zur Entnahme von Grundwasser im südlichen Hochschwabgebiet und deren Bewirtschaftung. Berichte der wasserwirtschaftl. Rahmenplanung - Steiermark, Bd. 49, 61 S., Graz.
- PAVUZA, R. & ZHANG, D. (1997): Kurze Mitteilung über eine „Thermalquelle“ im Dolomitkarst bei Wildalpen (Hochschwab, Steiermark). Die Höhle, 48, 15-21, Wien.
- PLASS, N. (1996): Der Quellkataster der Steiermark: Zusammenfassende Darstellung. Ber. d. wasserwirtschaftl. Planung, 79/2, >200 S., Graz.
- PÖTSCHER, G. (1965): Die Gewässer des Jassingtales (Jassingtal (Pfarrlacke, Lamingbach, Sulfatquelle; Ein Beitrag zu den karsthydrologischen Untersuchungen im Hochschwabgebiet). Dissertation Universität Graz, 92 S., Graz.
- REISCHEL, R. (1983): *siehe Niederösterreich*

- REITINGER, J. & BLASCHKE, A.P. (1980-1987): Hochschwab – Ilgenertal, Steiermark. Unveröffentl. Untersuchung, Abt. Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Wien.
- RIEPLER, F. (1988): *siehe Niederösterreich*
- SCHMID, C., et al. (1980): Grund- u. Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet - Teil III: Geophysik - Isotopenuntersuchungen – Hydrochemie. Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, Bd. 46, 101 S., Graz.
- STADLER, H. (1991): Beitrag zur Hydrologie des Hochlantschgebietes (Grazer Bergland, Mittelsteiermark). Beitr. zur Hydrogeologie, 42, Graz.
- STEINKELLNER, M. (1996): *Schneealpe, siehe Niederösterreich*
- STEINKELLNER, M. (1998): *Schneealpe, siehe Niederösterreich*
- STEINKELLNER, M., FRISCHHERZ, H., LANGER, G., (1993): *Schneealpe, siehe Niederösterreich*
- ZETINIGG, H. (1982): Die Quellen des Schöcklgebietes. Ber. der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Steiermark, Bd. 60, S.122, Graz.
- ZOJER, H. & RIEPLER, F. (1989): Hochleistungsstrecke Gloggnitz – Mürzzuschlag. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeol., Forschungsges. Joanneum, unveröffentl. Bericht, 3 S., Graz.
- ZOJER, H. & ZÖTL, J. (1976): Die Bedeutung von Isotopenmessungen im Rahmen kombinierter Karstwasseruntersuchungen dargestellt am Beispiel aus dem Mittelsteirischer Karst - Österr. Wasserwirtschaft, 26, 62-70, Wien.
- ZOJER, H. (1978a): Hydrogeologische Studie in Karbonatgesteinsbereichen u. tertiären Lockersedimenten (Totes Gebirge, Westl. Karnische Alpen (Plöckengebiet), Grazer Bergland (Tannebenstock). Habilitationsschrift an der Technischen Universität Graz, 95 S., Graz.
- ZOJER, H. (1978b): Vergleiche von Ergebnissen der Anwendung von Isotopenmethoden in alpinen Karstgebieten. Beitr. zur Hydrogeologie, 30, Graz.
- ZOJER, H., GOLDBRUNNER, J.E., RAMSPACHER, P. & BENISCHKE, R. (1980): Der Wasserhaushalt des Plabutsch-Buchkogelzuges. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, unveröffentl. Bericht, 93 S., Graz.
- ZOJER, H., HARUM, T., LEDITZKY, H.P., GRAF, F. & FANK, J. (1988): Überprüfung der Schutzgebiete der Wasserversorgungsanlage (Quellfassungen) der Stadtwerke Judenburg. Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, unveröffentl. Bericht, 95 S., Graz.
- ZÖTL, J. & BRANDECKER, H. (1972): *Totes Gebirge, siehe Oberösterreich.*
- ZÖTL, J. (1957a): *Dachstein, siehe Oberösterreich.*
- ZÖTL, J. (1957b): *Dachstein, siehe Oberösterreich.*
- ZÖTL, J. (1961): Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes (Hochschwab, Totes Gebirge, Voralpe). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, N.F., Jg. 1960/61., 53 - 183, Graz.
- ZÖTL, J. (1963): *Rax (Gutensteiner Alpen), siehe Niederösterreich*

### 2.10.2.7 Tirol

- BRANDNER, R. et al., (1999): *Westliche Gailtaler Alpen – Lienzer Dolomiten; siehe Kärnten.*
- FLEISCHHACKER, E.; HEISSEL, G.; KUTZSCHBACH, W. & TENTSCHEIT, E. (1996): Die Rolle der Geologie im neuen „Wasserversorgungskonzept für Tirol“. Mitt. Österr. Geol. Ges., 87, 109-118, Wien.
- FORSTER, M. & WEISE, S. M. (1997): Isotopenhydrologische Untersuchungen von Grund- und Quellwässern im Raum Innsbruck. Beitr. Z. Hydrogeologie, 48, 49-68, Graz.
- GRAF, R., RAMSPACHER, P. & RIEPLER, F. (1989): Erfassung der Wasserreserven der östlichen Nordkette - Karwendel, Teil I. Bundesl.koop. Land Tirol und BM f. Wissensch. u. Forschung; Inst. f. Geoth. u. Hydrogeol., Forschungsgesellschaft Joanneum; unveröff. Endbericht, 68 S. + 120 S. Anhang; Graz.
- HEISSEL, G. (1993): Die hydrogeologie der Mühlauer Quellen im Lichte geologischer und strukturgeologischer Erkenntnisse unter Einbeziehung besonderer Aspekte der Geologie Tirols. 43 S., Amt Tiroler Landesreg., Innsbruck.
- INSTITUT F. GEOTHERMIE U. HYDROGEOLOGIE (1987): Lechtaler Alpen Zwieselbach – Plansee, Tirol. Institut f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.
- LEDITZKY, H.P., RAMSPACHER, P., RIEPLER, F. (1989): Erfassung der Wasserreserven der westlichen Nordkette zwischen Kranebitten und Martinswand, Teil II. unveröff. Bericht, 70 S. + 140 S. Anh.; Koop. L. Tirol u. BM f. Wissensch. u. Forschung; Inst. f. Geoth. u. Hydrogeol., Forschungsges. Joanneum, Graz.
- MUTSCHLECHNER, G. & JACOBY, E. (1977): Olperer - Zillertal (Spannagelhöhle). Universität Innsbruck, H.22; wissenschaftl. Beiheft zu "Die Höhle".
- PAVUZA, R. & TRAINDL, H. (1984): Hydrogeolog. Untersuchung im Raum Reutte (Lechtaler Alpen - Ammergebirge). Unveröffentl. Untersuchung.
- PAVUZA, R. (1986): Hydrogeologische Untersuchungen im Raum Imst (Lechtaler Alpen). Unveröffentl. Untersuchung.
- PAVUZA, R., TRAINDL, H. & SCHUCH, M. (1982): Hydrogeologische Untersuchung Seefeld (Karwendel). Unveröffentl. Untersuchung.
- PAVUZA, R., TRAINDL, H. & SCHUCH, M. (1983): Unterinntal - Raum Schwaz-Süd.
- PAVUZA, R., TRAINDL, H. & SCHUCH, M. (1983): Unterinntal - Umrahmung (Hall - Jenbach). Unveröffentl. Untersuchung.
- PAVUZA, R., TRAINDL, H. & SCHUCH, M. (1984): Unterinntal - Umrahmung (Ebbs - Oberaudorf). Unveröffentl. Untersuchung.

- RAMSPACHER, P. RIEPLER, F. & ZOJER, H. (1985): Wasserreserven im Schwarzwassertal Allgäuer Alpen, Tirol, 2. Arbeitsjahr. Bundesländerkooperation Land Tirol u. BM f. Wissenschaft u. Forschung; Institut f. Geothermie u. Hydrologie, Forschungsgesellschaft Joanneum; unveröff. Endbericht, 57 S., Graz.
- RIEPLER, F. & RAMSPACHER, P. (1986): Wasserreserven westliche Nordkette. Unveröff. Bericht, 22 S., Bundesländerkooperation Land Tirol und BM f. Wissenschaft u. Forschung; Institut f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum. Graz.
- RIEPLER, F. & RAMSPACHER, P. (1988): Wasserreserven westliche Nordkette (Tirol) - Unveröff. Bericht, 13 S. + 110 S. Anhang; Bundesländerkooperation Land Tirol und BM f. Wissenschaft u. Forschung; Institut f. Geothermie u. Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum; Graz.
- SCHÖNLAUB, H. & TENTSCHEIT, E. (1996): Erkundung und Modellierung im Grundwasserfeld Langkampfen (Tirol): Mitt. Österr. Geol. Ges., 87, 29-36, Wien.
- STANGL, G. (1992): Das Bergausschwemmungsphänomen (Amlach / Lienz Dolomiten). Unveröff. Diplomarbeit, Inst.f. Bodenforschung u. Baueologie, Univ.f. Bodenkultur, Wien.
- TIWAG - ABT. WK, ABT. BATT (1982): Gailtaler Alpen - Lienz Dolomiten, Ost-Tirol. Unveröffentl. Untersuchung, Abt. WK, Abt. Batt, Tiroler Kraftwerke AG; BVFA-Arsenal, Innsbruck.
- VÖLKL, G. (1985): Markierungsversuche im Kaisergebirge: Neue Ergebnisse mit dem Untersuchungsstand Februar 1985. Report 85-001, 7 S., Umweltbundesamt, Wien.
- VÖLKL, G. (1988): Karsthydrologische Untersuchungen im Kaisergebirge: Markierungsversuche zur Feststellung der Quelleinzugsgebiete als Grundlage für Schutz- und Schongebietsverordnungen. Report, UBA-88-024, 59 S., Umweltbundesamt, Wien.
- WEISS, E.H., SCHWINGENSCHLÖGL, R. (1986): Geologische Beurteilung über die Problematik von Feinkorneinschwemmungen und deren Mengenfeststellungen im Hauptdolomit des gefrästen Druckstollenabschnittes Amlach / Osttirol (Baulos 4) zwischen den Stationen 450 und 10000 Meter. Unveröff. Gutachten, Univ.f. Bodenkultur, Wien.

### 2.10.2.8 Vorarlberg

- ANONYMUS (1985-1988): Bereich Lorüns, Vorarlberg. Unveröffentl. Untersuchung, Landeswasserbauamt Bregenz.
- ANONYMUS (1986-1990): Gemeinde Nenzing, Vorarlberg. Unveröffentl. Untersuchung.
- GOLDSCHIEDER, N. & HÖTZL, H. (1999): Hydrogeological Characteristics of folded Alpine Karst Systems exemplified by the Gottesacker Plateau (German-Austrian Alps). Acta Carsologica, 28/1,87-103, Ljubljana.
- GOLDSCHIEDER, N. (1998): Der Ladstattschacht: tracerhydrologische Untersuchung einer organischen Altlast im alpinen Karst. Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, 50, 2-16, Univ. Karlsruhe, Karlsruhe.
- GOLDSCHIEDER, N.; ORTH, J. P.; VATER, K. & HÖTZL, H. (1999): Die Schwarzwasserhöhle – eine hydrogeologisch bedeutsame Estavelle im alpinen Karstgebiet Hochiften – Gottesacker (Kleinvalsertal, Vorarlberg, Österreich). Laichinger Höhlenfreund, 34, 69-96, Laichingen, Baden-Württemberg.
- GOLDSCHIEDER, N.; HÖTZL, H.; NEUKUM, CH. & WERZ, H. (2001): Tracer tests and vulnerability mapping in the alpine karst system Winterstaude as the scientific basis of a drinking water protection strategy for the community of Bezau (Austria). 7<sup>th</sup> conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besancon 20-22 Sep. 2001, Sci. Techn. Envir., Mém. H. S. n° 13, 171-174, Besancon.
- LEDITZKY, H.P., RAMSPACHER, P., SUTTERLÜTTI, R. (1990): Hydrogeologische Untersuchungen zur Abklärung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen (Gamperdonatal, Vorarlberg). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 1990, S. 5-34, Graz.
- WAGNER, G. (1950): Rund um den Hochiften und Gottesackergebiet (Vorarlberg ). 116 S., Öhringen (Verl. D. Hohenloheschen Buchhandlung Ferdinand Rau).
- ZÖTL, J. (1957c): Bericht über hydrologische Untersuchungen im Raume Formarinsee 1957. Speläologisches Institut, unveröffentl. Bericht, 9 S., Wien.
- ZÖTL, J. (1958): Ergebnisse des zweiten Sporentrittsversuches im Raume Formarinsee. Speläol. Inst., unveröff. Bericht, 8 S., Wien.

## 2.11 Fachausdrücke (Glossary)

- AOX** adsorbierbare organische Halogene Cl, Br, I (als Chlorid) DIN 38409 T.14 03.85  
Im Schlamm und Sediment DIN 38414 T.18 11.89
- Cenotes** sind Einsturzdolinen über einer hochliegenden Karstwasserfläche, die in den Karstwasserkörper hineinreichen und ein Durchmesser/Tiefe-Verhältnis unter 1 aufweisen. Die Wände sind senkrecht, gelegentlich überhängend. Der Typus ist in Yukatan (Mexiko) häufig (BÖGLI, 1978).
- DOC** Gelöster organisch gebundener Kohlenstoff (Dissolved Organic Carbon, DOC); damit wird die Summe des in gelösten organischen Verbindungen enthaltenen Kohlenstoffs angegeben (DIN 38409 T. 3 06.83) *siehe TC, TIC, TOC*

- Doline** einfache, trichter-, schüssel- oder kesselförmige geschlossene, muldenförmige Karsthohlformen mit unterirdischem Abfluss und einem Durchmesser, der größer ist als die Tiefe (FINK, 1973). Der Durchmesser variiert zwischen einigen Metern und 1000m bei einer Tiefe bis zu 100m und die Fläche zwischen 0,17 m<sup>2</sup> und 159 200 m<sup>2</sup> (BÖGLI, 1978).
- Epikarst** ist die oberste anstehende Zone eines verkarsteten Gesteins, dessen Durchlässigkeit durch erweiterte Lösungsklüfte und diffuse Verkarstung bedingt ist. Vegetation (CO<sub>2</sub>) beschleunigt die Bildung von Epikarst. Epikarst kann mit Boden und Sedimente gefüllt sein. (KLIMCHOUK, 1999).
- Estavelle** (die) (Wechselschlund) im Karst auftretendes (häufig in *Poljen*) Wasserspeiloch in dem u. U. zeitweilig auch Wasser versinken kann (s. a. *Kathavothre*) (MURAWSKI, 1992).
- Feldkapazität (FK)** ist die Wassermenge, die ein Boden gegen die Schwerkraft zurückhalten kann (Vol. % od. mm / dm Bodentiefe). In diesem Wasser können Stoffe, die der Boden nicht adsorptiv festhalten kann (z.B. Nitrat), gelöst sein. Die Feldkapazität ist daher auch ein Maß für die Fähigkeit des Bodens, die Verlagerung derartiger Stoffe in den Untergrund zu verhindern. Sie wird durch standardisierte Messung (z.B. ÖNORM L1069) bestimmt oder durch Standard-Tabellen aus pedologischen Büchern abgeschätzt (nach FINNER, 1994).
- Flurabstand, Grundwasserflurabstand** (*engl. depth to groundwater*): ist der Höhenunterschied zwischen Grundwasser Oberfläche des 1. Grundwasserstockwerkes und der Geländeoberfläche (ÖNORM B2400).
- Gründigkeit** ist die Mächtigkeit aller Bodenhorizonte (einschließlich Cv-Horizonte) über dem festen Gestein. Sie kann außer durch feste Gesteinsschichten auch durch verhärtete, verkittete oder extrem dicht gelagerte Schichten sowie durch Horizonte mit vorherrschendem Grobanteil (> 80%) begrenzt sein. Am treffendsten bestimmt man die Gründigkeit durch mehrere (3-5) Einschläge mit dem Schlagbohrer, der erhaltene Mittelwert stellt die Gründigkeit dar. In Böden mit hohem Skelettgehalt (Blockhalden) ist ein Mittelwert über 10 ermittelte Tiefen festzustellen (BLUM et al., 1996).
- Grundwasser** ist unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt, unter gleichem oder größerem Druck steht, als er in der Atmosphäre herrscht, und dessen Bewegung durch die Schwerkraft und Reibungskräfte bestimmt wird. Es umfaßt Poren-, Karst- und Klufgrundwasser (ÖNORM B 2400).  
Alles unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht (EUROPÄISCHE UNION 1998)
- guter chemischer Zustand des G.** den Zustand gemäß Tab. 2.3.2. von Anhang V (EUROPÄISCHE UNION, 1998):  
*Allgemein:* Die chemische Zusammensetzung des Grundwasserkörpers ist so beschaffen, dass die Schadstoffkonzentrationen
- wie unten angegeben keine Anzeichen für Salz- oder andere Intrusionen erkennen lassen;
  - die nach anderen einschlägigen Rechtsvorschriften der Gemeinschaft geltenden Qualitätsnormen nicht überschreiten;
  - nicht derart hoch sind, dass die in Artikel 4 spezifizierten Umweltziele für in Verbindung stehende Oberflächengewässer nicht erreicht, die ökologische oder chemische Qualität derartiger Gewässer erheblich verringert oder die terrestrischen Ökosysteme, die unmittelbar von dem Grundwasserkörper abhängen, erheblich geschädigt werden;
- Leitfähigkeit:* Änderungen der Leitfähigkeit sind kein Hinweis auf Salz- oder andere Intrusionen in den Grundwasserkörper
- guter mengenmäßiger Zustand des G.** den Zustand gemäß Tab. 2.1.2. von Anhang V (EUROPÄISCHE UNION, 1998):  
*Grundwasserspiegel:* Der Grundwasserspiegel im Grundwasserkörper ist so beschaffen, dass der Grundwasserbestand nicht von der langfristigen Jahresdurchschnittsrate der Entnahme überschritten wird.  
Dementsprechend unterliegt der Grundwasserspiegel keinen anthropogenen Veränderungen, die
- zu einem Verfehlen der ökologischen Qualitätsziele gemäß Artikel 4 (EUROPÄISCHE UNION, 1998) für in Verbindung stehende Oberflächengewässer,
  - zu einer erheblichen Verringerung der Qualität dieser Gewässer,

- zu einer erheblichen Schädigung von Landökosystemen führen würde, die unmittelbar von dem Grundwasserkörper abhängen, und Änderungen der Strömungsrichtung, die sich aus Änderungen des Grundwasserspiegels ergeben, können zeitweise oder kontinuierlich in einem räumlich begrenzten Gebiet auftreten; solche Richtungsänderungen verursachen jedoch keinen Zustrom von Salzwasser oder sonstige Zuströme und lassen keine nachhaltige, eindeutig feststellbare anthropogen bedingte Tendenz zu einer Strömungsrichtung erkennen, die zu einem solchen Zustrom führen könnte (EUROPÄISCHE UNION, 1998).

**Grundwassergebiet** ist ein hydrogeologisch oder geographisch abgrenzbares Gebiet mit einem Grundwasservorkommen (Wassergüte-Erhebungsverordnung {WGEV} BGBl. 1991 Ver. 338).

**Grundwassergüte** ist der unter Zuhilfenahme von physikalischen und chemischen Parametern bewertete qualitative Zustand des Grundwassers (Wassergüte-Erhebungsverordnung {WGEV}BGBl. 1991 Ver. 338).

**Grundwassergütemeßstelle** ist eine örtlich festgelegte Freilegung (Brunnen, Grundwassersonde) oder engbegrenzte Austrittsstelle des Grundwassers (Quelle), die insbesondere überörtlich wirksame Grundwasserverunreinigungen erfaßt und für die Entnahme repräsentativer Proben für physikalisch und chemische Untersuchungen geeignet ist (Wassergüte-Erhebungsverordnung {WGEV} BGBl. 1991/338).

**Grundwasserkörper** ein separates Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (EUROPÄISCHE UNION, 1998).

**Höhle** ein durch Naturvorgänge gebildeter, nachträglich mit festem, flüssigem oder gasförmigem Inhalt gefüllter unterirdischer größerer Hohlraum, der ganz oder überwiegend von anstehendem Gestein umschlossen ist.

**Umgebung einer Höhle** der mit einer Höhle in räumlichem, geologischem, ökologischem oder hydrologischem Zusammenhang stehende Bereich (vertikal und horizontal) (LGBl. Salzburg 1985/63 (Salzburger Höhlengesetz))

**Indikator:** *Parameter* oder von einem *Parameter* oder mehreren *Parametern* abgeleitete Größe, die Informationen zu bestimmten Fragestellungen liefert. (CHOVANEK & KOLLER-KREIMEL, 1999).

**Infiltration** ist die Bewegung des Sickerwassers pro Zeiteinheit in Folge von Niederschlägen, Beregnung oder Überstauung von oben her in den Boden, wenn das Matrixpotential höher ist, als dem Gleichgewicht mit der freien Grund- oder Stauwasseroberfläche entspricht (MATTHESS & UBELL, 1983).

**-srate** ist die Wassermenge, die je Zeiteinheit versickert (MATTHESS & UBELL, 1983).

**kummulative Infiltrationsrate** ist eine innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit versickernde Wassermenge (MATTHESS & UBELL, 1983).

**Karren(felder)** die Kleinformen der Korrosion, einige Millimeter bis einige Meter messend. Die Karren werden nach ihrer Hohlform genannt: Rinnen-, Hohl-, Wandkarren. Doch gibt es auch erhabene Formen wie Karrendorne, Spitzenkarren, Flachkarren. Die übergeordnete Einheit sind die **Karrenfelder** (BÖGLI, 1978).

**Karbonat(karst)wasser** ist ein Wasser das in seiner chemischen Zusammensetzung weitgehend im Lösungsgleichgewicht mit Karbonatgesteinen steht, die nahezu keine bis intensive Verkarstungserscheinungen zeigen (kommen in reinen Karbonatkluftaquiferen bis in Karbonatgebieten mit einem ausgebildeten dichten Karströhrennetzwerk vor).

**Karstgrundwasser** ist das unterirdische Wasser, in verkarsteten Gesteinen (hauptsächlich Kalke, Dolomite und z. T. gips- und salzführende Horizonte) (ÖNORM B2400, 1986).

**Karst Untergrundwasser** als das Untersuchungsziel reicht bis zum Austrittspunkt / -gebiet eines Aquifer (hinunter). [Das weist besser auf die natürliche Richtung des Grundwasserflusses und die Variationsmöglichkeit der Entnahmestelle hin.]

(Karst underground water as a target until (down to) the discharge point / area from the aquifer (This makes better reference to the natural direction of the groundwater flow and accommodates the possibility that exploitation locations may vary.) (COST620, 1998)

**Kluftgrundwasser** ist unterirdische Wasser in geklüfteten, nicht verkarsteten Gesteinen (Kristallingesteine) bezeichnet (ÖNORM B2400, 1986)

**Parameter:** Eigenschaft, die durch Messung, Beobachtung o. ä. erhoben wird (CHOVANEK & KOLLER-KREIMEL, 1999).

**Polje** (serbokroat. = Feld) ausgedehnte (1 bis mehrere hundert km<sup>2</sup>), allseits geschlossenen Hohlform im Karst mit zumeist ebenem Boden, stellenweis steile Umrahmung und

- deutlichem Hangknick. Das Polje hat einen unterirdischen Abfluss. Es kann trocken liegen, ganzjährig oder zeitweise durchfließen oder inundiert sein (FINK, 1973).
- Ponor** (serbokroat.: Abgrund; „Schlinger“, engl. *swallow hole*, *swallet*) ist jene Hohlform an dem ein Oberflächengerinne (-fluss) im Untergrund verschwindet (DREW, 1995). siehe *Katavothre* s. a. *Schwinde*.
- Quelle** ist eine engbegrenzte Austrittsstelle des Grundwassers (Wassergüte-Erhebungsverordnung {WGEV}BGBl. 1991 Ver. 338). (engl. spring)  
Räumlich eng begrenzte, natürliche Austrittsstelle von unterirdischem Wasser (ÖNORM B 2400)
- Risiko** ist die Wahrscheinlichkeit oder die zu erwartende Häufigkeit eines spezifischen nachteiligen Ereignisses. Risiko wird nicht als etwas absolutes gesehen, sondern als etwas relatives im Vergleich. [Es kann als nützlich im Zusammenhang mit den einzelnen Komponenten des Risikos und mit dem Modell *Quelle – Pfad – Ziel* als Rahmen zur Vermeidung / Minimierung von Verunreinigungen eines Ziels gesehen werden]
- RISIKO** = DIE WAHRSCHEINLICHKEIT EINES EREIGNISSES x EINTRETENDER SCHADEN (COST620 1998)  
(Risk is the likelihood or expected frequency of a specified adverse consequence. Risk is not intended as an absolute measure but as a means of relative measure or comparison. (Where it can be particularly useful is when the various components of risk are used , together with the *source – pathway - target* model, as a framework in considering prevention / minimisation of contamination and the protection of a target:  
**RISK** = PROBABILITY OF AN EVENT x CONSEQUENTIAL DAMAGE) (COST620 1998)
- Risikokartierung** bedeutet die Kombination von Karten von *Umweltgefahren* mit Karten der *Vulnerabilität* eines Gebietes (COST620 1998). (Risk mapping involves combining hazard maps and vulnerability maps (COST620 1998)).
- Schlinger** Wasser verschwindet in den Untergrund oder in einer Höhle unter Druck, wird also in den unterirdischen Wasserlauf gleichsam eingesaugt (TRIMMEL, 1968).
- Schwinde** Stellen, an denen Wasser in den Untergrund verschwindet oder in eine Höhle eintritt. S. können bei starker Wasserzufuhr – etwa in einer Hochwassersituation – zu einem *Schlinger* werden (TRIMMEL, 1968).
- Sickerwasser** (1) in Abwärtsbewegung befindliches unterirdisches Wasser (Hohlräume der Erdrinde) (ÖNORM B2400).  
(2) Wasser, das ein Bauwerk (z. B. einen Damm) durch- und/oder unterströmt (ÖNORM B2400).
- Sickerwassermenge bzw. -rate** (engl. percolation) ist jene Menge oder die Menge pro Zeiteinheit, die man in der ungesättigten Bodenzone antrifft (HÖLTING, 1989).
- TOC** Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Total Organic Carbon, TOC); das ist die Summe des organisch gebundenen Kohlenstoffs in gelösten und ungelösten Verbindungen (DIN 38409 T. 3 06.83)
- Transmissivität** (auch Transmissibilität) ist für eine homogene Schicht als Produkt aus Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  und Mächtigkeit  $M$  der grundwasserleitenden Schicht definiert:  $T = k_f * M$  [m /s] (HÖLTING 1989).
- Trockental** (engl. dry valley) ein Tal das keinen Fluss mehr an der Oberfläche führt. Die Wässer, die das Tal geformt haben, schufen sich unterirdische Wege (DREW, 1995).
- Umweltgefahr** ist ein Ereignis oder ein kontinuierlicher Prozess, die bei in Gang kommen die Fähigkeit besitzen, direkt oder indirekt, die Qualität der Umwelt negativ zu beeinflussen. Daraus folgt, dass diese ein Risiko darstellt , das etwas von Wert (ein *Ziel*) negativ beeinflusst wird.  
(Environmental hazard an event or continuing process, which if realised, will lead to circumstances having the potential to degrade, directly or indirectly, the quality of the environment. Consequently, a hazard presents a risk when it is likely to affect something of value (the *target*)) (Royal Society [London] Study Group in COST620, 1998)
- Umweltindikator:** *Parameter* oder von einem oder mehreren *Parametern* abgeleitete Größe, die Informationen über Zustand und/oder Entwicklungen der Umwelt liefert bzw. eine Bewertung ermöglicht (CHOVANEC & KOLLER-KREIMEL, 1999).
- Ungesättigte Zone** (Unsaturated zone is the zone between the land surface and the water table. It includes the root zone, intermediate zone, and capillary fringe. The pore spaces contain water at less than the atmospheric pressure, as well as air and other gases. Saturated

bodies, such as perched ground water, may exist in the unsaturated zone. Also called zone of aeration and *vadose zone* (FETTER 1988).

**Uvala** längliche, zuweilen talartig gewundene, meist aber schüsselförmige abflusslose Wanne im Karst mit unebenen Boden, der häufig durch Dolinen gegliedert ist (FINK, 1973).

**Vadose Zone** siehe *Ungesättigte Zone*

**Verwundbarkeit** siehe *Vulnerabilität*

**Vulnerabilität** bezeichnet die Verwundbarkeit (Empfindlichkeit) eines Ziels (Schutzgutes), gegenüber Verunreinigungen durch menschliche Aktivitäten (DALY & WARREN 1994) (Vulnerability of a target determines the sensitivity to contamination by human activity. (DALY & WARREN 1994))

**Spezifische Vulnerabilität** definiert die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber einen speziellen Schadstoff oder einer Gruppe von Schadstoffen. Sie berücksichtigt die Eigenschaften von Schadstoffen und deren Wechselwirkung mit verschiedenen Elementen der *Intrinsichen Vulnerabilität* (COST620 1998)

(Specific vulnerability is the term used to define the vulnerability of groundwater to a particular contamination or group of contaminants. It takes account of the properties of the contaminants and their relationship with the various components of intrinsic vulnerability. (COST620, 1998))

**Intrinsische Vulnerabilität** definiert die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber anthropogen erzeugten Schadstoffen. Sie berücksichtigt die inhärenten geologischen, hydrologischen und hydrogeologischen Charakteristika eines Gebietes, ist jedoch unabhängig von den speziellen Eigenschaften bestimmter Schadstoffe. (COST620 1998) (Intrinsic vulnerability is the term used to define the vulnerability of groundwater to contaminants generated by human activities. It takes account of the inherent geological, hydrological and hydrogeological characteristics of an area, but is independent of the nature of the contaminants (COST620, 1998)).

**Zwischenabfluss** (engl. Inter flow): der nach einer Fließstrecke in geringer Tiefe unter der Geländeoberfläche (das kurzzeitig in das Erdreich oder Sedimente infiltrierte Wasser) den Vorfluter zeitlich geringfügig gegenüber dem Oberflächenabfluss verzögert erreicht. Oberflächenabfluss + Zwischenabfluss bilden Zusammen den Direktabfluss (MÜLLER, 1999).