



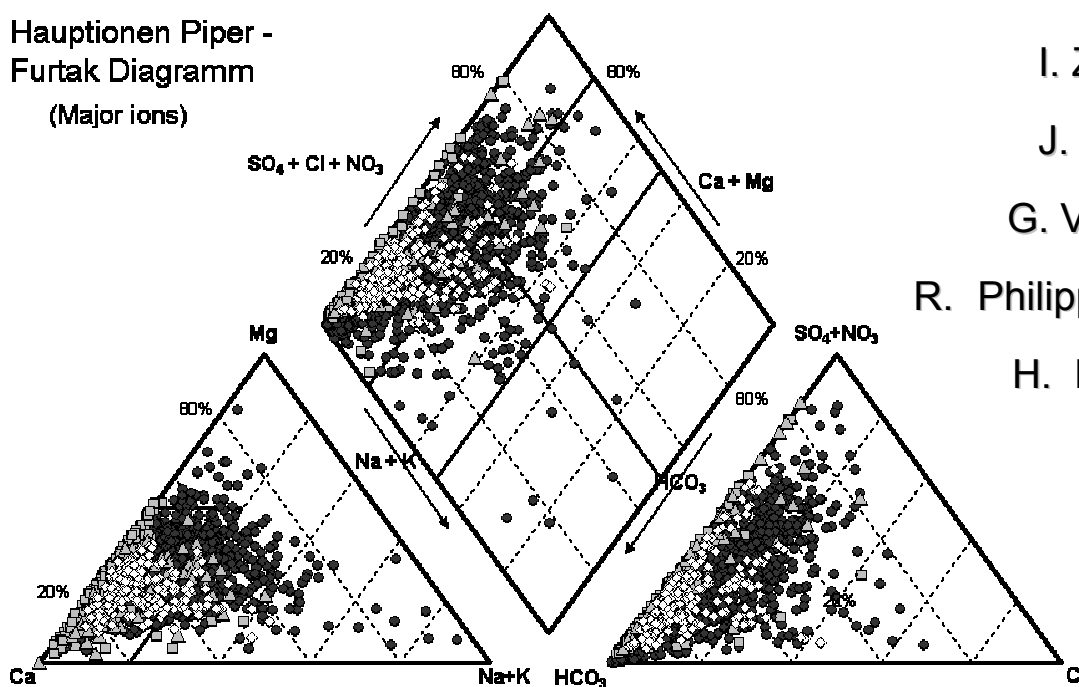
# HYDROCHEMISCHE KARTE ÖSTERREICHS

## Hydrochemical map of Austria

### Oberflächennaher Grundwasserkörper und Fließgewässer

### Mittelwerte von Wassergütererhebungsdaten (WGEV – Daten) 1991 - 2001

Hauptionen Piper -  
Furtak Diagramm  
(Major ions)



M. Kralik

I. Zieritz

J. Grath

G. Vincze

R. Philippitsch

H. Pavlik

BERICHTE

BE-216

Wien, 2004



**Projektleitung**

M. Kralik

**Autoren**

M. Kralik, I. Zieritz, J. Grath, G. Vincze, R. Philippitsch & H. Pavlik

**Übersetzung**

M. Kralik

**Lektorat**

J. Grath

**Satz/Layout**

F. Humer

**Titelphoto/-bild**

M. Kralik

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes finden Sie unter: [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Vienna,  
Österreich/Austria

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier/*Printed on recycling paper*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2004  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-665-X

## ZUSAMMENFASSUNG

Die hydrochemische Karte Österreichs basiert auf 2575 Messstellen und 0,7 Mio. Analysen der österreichischen Wassergütererhebung 1991-2001 (WGEV). Dazu zählen 2082 Porengrundwasserstellen, 243 Karst(Karbonat) und Kluft(Kristallin)-Quellen und 250 Fließgewässermessstellen. Die Mittelwerte der Hauptionen (Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl und NO<sub>3</sub>) wurden nach FURTAK et al. (1967) in sieben Wassertypen oder chemische Fazies klassifiziert. Der besonders in den alpinen Bereichen dominierende erdalkalisch-carbonatische Wassertyp wird entsprechend dem intensiven Kontakt mit Karbonaten mit steigendem Mg-Gehalt in drei Untertypen (1) überwiegend Ca-Karbonat (2) überwiegend Ca-Mg-Karbonat oder (3) überwiegend Dolomit geteilt. Diese Wassertypen werden in einer DIN-A0 Format Karte (1:500.000) und in einer DIN-A4 Karte (1:1.3 Mio.) farbig dargestellt. Die Häufigkeit der Wassertypen je Grundwasserkörper werden in einem zusätzlichen Set der Karten in Tortendigrammen ausgewiesen. Die verschiedenen Wassertypen unterstützen die nach geologischen Kriterien erfolgte Abgrenzung der Grundwasserkörper.

Erdalkalisch-sulfatische Wassertypen nehmen in Richtung panonisches Klima im Osten Österreichs in den Grundwasserkörpern zu, um im Seewinkel mit überwiegend alkalisch-sulfatischen Wässern zu enden. Eine natürliche Mineralisierung der Porengrundwässer wird von landwirtschaftlichen und siedlungsbedingten Emissionen überlagert. Dies ist besonders gut an der Beziehung Gesamtmineralisierung und steigendem Nitratgehalt abzulesen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich in der Regel der geochemische Gesteinshintergrund der geologischen Einheiten Österreichs in eindrucksvoller Weise in den Wasserchemismen abgebildet wieder findet, gleichzeitig aber auch allfällige anthropogene Einflüsse nachzuweisen sind.

## ABSTRACT

The hydrogeochemical map of Austria is based on 2575 monitoring sites and on 0.7 mio. analyses of the Austrian Water Quality Monitoring System (1991-2001, WGEV). This includes 1082 monitoring sites in porous aquifers, 243 springs from carbonate(karst) and crystalline(fractured) aquifers and 250 river monitoring sites. The mean values of the major ions (Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl und NO<sub>3</sub>) are shown in a piper diagram and classified according FURTAK et al. (1967) in seven water types or hydrochemical facies. The in the alpine realm predominating alkaline earth-carbonate water type is further subdivided due to its increasing Mg content in contact with (1) Ca-carbonate, (2) Ca-Mg-carbonate and (3) dolomite. These major water types are shown in a DIN-A0 format map (1:500.000) and in a DIN-A4 format map (1:1.3 Mio) in colour symbols. The frequency of the water types in the groundwater bodies is shown in pie-diagrams in an additional set of maps. The distribution of the different water types support the delineation of the groundwater bodies based on geological considerations.

The predominately alkaline earth-sulfate water types increase in frequency in the eastern end of Austria under panonic climatic influence. At the very end in the Seewinkel groundwater body finally the alkaline-sulfate water type occurs. The natural long term evolution of waters in porous aquifers are partly strongly modified by agricultural and waste water emission. This is clearly seen by a relation between increasing total mineralisation and nitrate content.

## DANK

Da alle hier dargestellten und beschriebenen Hauptionen der Fließgewässer- und Grundwässer aus dem staatlichen österreichischen Wassergütemessnetz stammen, das gemeinsam von Bund und Ländern betrieben wird, sei allen Kollegen, die an dem Betrieb und der

Verwaltung dieses Netzwerkes mitarbeiten herzlich gedankt. Insbesondere danken wir den Herrn MR Dr. R. Philippitsch und Dr. H. Pavlik (BMLFUW), die die Anregung eine hydrochemische Karte zu erstellen aufgegriffen und darüber hinaus auch mit hilfreichen Diskussionsbeiträgen gefördert haben.

## Finanzierung

Die Erstellung der hydrochemischen Karte Österreichs wurde finanziell überwiegend vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VII 1 - Nationale Wasserwirtschaft, getragen.

## 1 EINLEITUNG

Die lang gehegte Idee der Klassifizierung und Darstellung der Wasserchemie der österreichischen Grund- und Fließgewässer in Kartenform, wurde am 1. Workshop zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Oktober 2001 diskutiert. Ursprüngliches Ziel war es, die im Arbeitskreis E Grundwasser zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie vorgeschlagenen Abgrenzungen der Grundwasserkörper auch mittels Wasserchemismus zu überprüfen. Weiters war es auch ein Anliegen den vorherrschenden chemischen Haupttypus der einzelnen Grundwasserkörper zu bestimmen bzw. Messstellen mit erheblich abweichender Zusammensetzung aufzuzeigen.

Darüber hinaus kann diese erste österreichweite Zusammenstellung der Wassertypen für folgende Fragestellungen genutzt werden:

- Einfluss der Gesteine (Karbonat-, Kristallin-, Sand-, Tongesteine etc.) auf die Wasserzusammensetzung
- Entwicklung der Gesamtmineralisation (Summe der gelösten Ionen) in und über mehrere Grundwasserkörper hinweg
- Veränderung des natürlichen Wasserchemismus durch anthropogene (menschliche) Emissionen
- Hinweise für Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVEs)
- Informationen für Trinkwassergewinnung und Korrosionsschutz von Trinkwasserleitern

Es wurden in der hydrochemischen Karte nur die Messstellen der österreichischen Wassergütererhebung (WGEV) berücksichtigt. Einerseits liegen dies Daten digital vor, andererseits sind diese zu verschiedenen Jahreszeiten wiederholten Analysen (4x im Jahr) über verschiedene Qualitätssicherungsprogramme analytisch bestmöglich abgesichert. Es wurden die Mittelwerte von mindestens drei bis maximal 154 Proben herangezogen. Für die Bewertung standen zur Verfügung:

- 250 Fließwassermessstellen (monatlich bis vierzehntägig)
- 243 Karbonat(karst)- und Kristallin(kluft)quellen (vierteljährlich)
- 2082 Porengrundwassermessstellen (vierteljährlich)
- **2575 Summe der Messstellen**

Die Mittelwerte aller vorliegender Analysen aus den Jahren 1991-2001 der Hauptionen Kalzium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), Sulfat ( $\text{SO}_4$ ), Chlorid (Cl) und Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) wurden berechnet. Da der gängigen Praxis folgend alle Analysen kleiner Bestimmungs- und Nachweisgrenze durch Nullwerte ersetzt wurden, kommt es teilweise zur Unterschätzung insbesondere der relativ niedrigeren Mittelwerten von Na, K,  $\text{SO}_4$ , Cl und  $\text{NO}_3$ , während dies bei den relativ erhöhten nicht der Fall ist. Die Differenz der Summen der Kationen und Anionen (Ionenbilanz) überschreitet nur in weniger als 1% der Mittelwerte die 5%-Grenze.

Die Summe der Ionen wurde durch einfache Addition der oben erwähnten Parameter errechnet.

Die vorliegende Karte präsentiert erstmalig eine gesamtösterreichische Überblicksdarstellung des Wasserchemismus. Der Chemismus des Grundwassers wurde bisher lediglich an regionalen Detailstudien oder an einzelnen Flüssen publiziert. Als einziges Bundesland hat Kärnten (GRUBER 1990) mit Einzelmessungen eine flächendeckende Darstellung vorgelegt. PHILIPPITSCH (1995) stellt auf Grund der ersten WGEV-Daten einige Wassertypen Österreichs exemplarisch vor.

Auch wenn einzelne Regionen nicht im gewünschten Maße abgedeckt sind und besonders bei den Flüssen und Quellen eine Bevorzugung größerer Schüttungen ein nicht ganz repräsentatives Bild ergeben, so erlaubt die Karte doch eine zumindest generelle Übersicht der dominierenden Wasserinhaltsstoffe über das Bundesgebiet. Überdies belegen Änderungen in der hydrochemischen Wasser-Fazies natürliche Anomalien oder durch den Menschen verursachte Veränderungen.

## 2 KLASSIFIZIERUNGSSCHEMA

Nach eingehender Literaturrecherche und vielen Diskussionen mit verschiedensten internationalen Hydrochemikern, wurde die international gebräuchliche Darstellung nach PIPER (1944) zur Anwendung gebracht und die Wassertypen nach FURTAK et al. (1967) in Mol-% mit kleineren Modifikationen abgegrenzt (siehe **Tab. 1** und **Abb. 1**).

**Tab. 1:** *Hydrochemische Fazies oder Wassertypen nach FURTAK et al. (1967) (modifiziert). [Piper-diagram and classification according to FURTAK et al. (1967) (modified)].*

**Erdalkalische Wässer** ( $\text{Ca} + \text{Mg} > 80\%$ ;  $\text{Na} + \text{K} < 20\%$ )

1) Erdalkalisch - carbonatisch ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ )

(unterteilt in Untertypen **8**, **9**, **10**)

2) Erdalkalisch carbonatisch – sulfatisch ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 = 40-60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 = 40-60\%$ )

3) Erdalkalisch - sulfatisch ( $\text{SO}_4 > \text{Cl}, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 40\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 60\%$ )

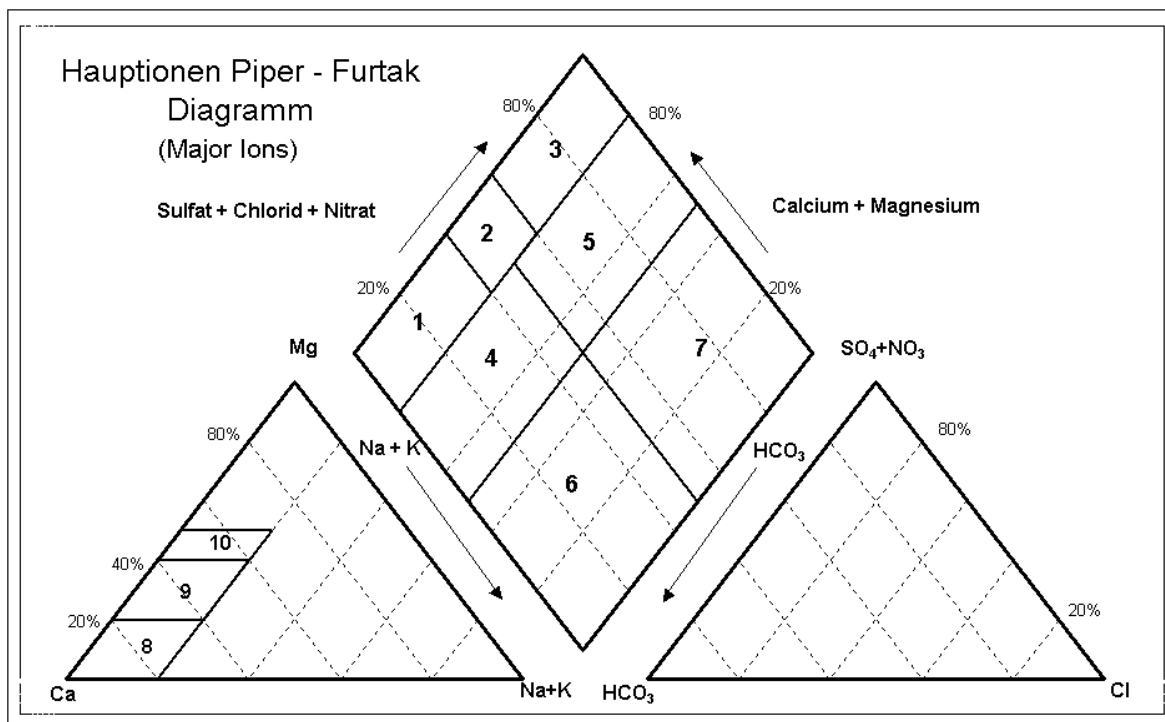
chloridisch ( $\text{Cl} > \text{SO}_4, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 40\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 60\%$ )

nitratisch ( $\text{NO}_3 > \text{SO}_4, \text{Cl}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 40\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 60\%$ )

**Erdalkalisch - Alkalische Wässer** ( $\text{Ca} + \text{Mg} 50 - 80\%$ ;  $\text{Na} + \text{K} = 20 - 50\%$ )

4) Erdalkalisch – alkalisch - carbonatisch ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 50\%$ )

Kalium dominiert ( $\text{K} > \text{Na}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 50\%$ )



**Abb. 1:** Piperdiagramm (PIPER, 1944) und Klassifizierung der Wässer nach FURTAK et al. (1967) modifiziert (siehe Text). [Piper-diagram and classification according to FURTAK et al. (1967)].

**5)** Erdalkalisch – alkalisch - sulfatisch ( $\text{SO}_4 > \text{Cl}, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;

$\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

chloridisch ( $\text{Cl} > \text{SO}_4, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

nitratisch ( $\text{NO}_3 > \text{SO}_4, \text{Cl}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

**Alkalische Wässer** ( $\text{Ca} + \text{Mg} < 50\%$ ;  $\text{Na} + \text{K} > 50\%$ )

**6)** Alkalisch - carbonatisch ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 50\%$ )

Kalium dominiert ( $\text{K} > \text{Na}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 50\%$ )

**7)** Alkalisch - sulfatisch ( $\text{SO}_4 > \text{Cl}, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

chloridisch ( $\text{Cl} > \text{SO}_4, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

nitratisch ( $\text{NO}_3 > \text{SO}_4, \text{Cl}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

**Unterteilung erdalkalisch - carbonatischer Wässer** ( $\text{Ca} + \text{Mg} > 80\%$ ;  $\text{Na} + \text{K} < 20\%$ ) in **Untertypen**. Vorwiegend in Kontakt mit

**8)** Überwiegend Ca-Karbonat ( $\text{Mg} < 20\%$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ )

**9)** Überwiegend Ca-Mg-Karbonat ( $\text{Mg} = 20\text{-}40\%$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ ) oder Mischungen von Subtypen **8)** und **10)**

**10)** Überwiegend Dolomit ( $\text{Mg} > 40\%$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ )

Das Klassifizierungsschema von FURTAK et al. (1967) ist klar strukturiert und wird u. a. auch häufig im deutschen Sprachraum angewandt (HILTMANN & KANTOR, 2001). Um

gerade den österreichischen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, wonach 60-80% der Messstellen in den Bereich der erdalkalisch-carbonatischen Wässer fallen, wurden diese weiter unterteilt. Häufigkeitsverteilungen der molaren Ca/Mg Verhältnisse ergeben relative Minima bei 3,5 und 1,4. Diese entsprechen ungefähr auch den 20% und 40% molaren Mg Anteil der Kationen Ca, Mg, Na und K. Daraus resultierend bot es sich an danach Wässer häufig in Kontakt mit Calcium-Karbonat, Calcium- und Magnesium-Karbonaten bzw. Mischwässern und solche vorwiegend in Kontakt mit Dolomiten zu unterscheiden.

Weiters werden über das Schema von FURTAK et al. (1967) hinaus in der Karte 1:500.000 einzelne Messstellen mit sulfat-, chlorid-, nitrat- und kalium-dominierten (häufigstes An- bzw. Kation) Wässern hervorgehoben. Dies ist von besonderem Interesse, da diese meist besondere Verhältnisse anzeigen.

Darüber hinaus wird in der Karte 1:500.000 der unterschiedlichen Mineralisation der Wässer Rechnung getragen. Entsprechend einem angedeuteten Minimum in der Häufigkeitsverteilung der Ionensummen bei 400 mg/l wurden die Symbole aller Messstellen mit einem Ionensummen-Mittelwert größer als 400 mg/l *fett* umrandet. Solche mit weniger als 400 mg/l zeigen eine *normale* Umrandung. Diese Ionensumme von 400 mg/l entspricht ungefähr einer Leitfähigkeit von 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3 IONENSUMMEN

In der hydrochemischen Karte 1:500.000 werden die Mittelwerte größer und kleiner 400 mg/l in fetten oder in normalen Symbolen dargestellt. Die Mittelwerte, Mediane und 10% bzw. 90% Perzentile von den Flüssen, Kluft-Kristallin bzw. Karst-Karbonat-Quellen und den Porengrundwässern unterscheiden sich jedoch signifikant (**Tab. 2**).

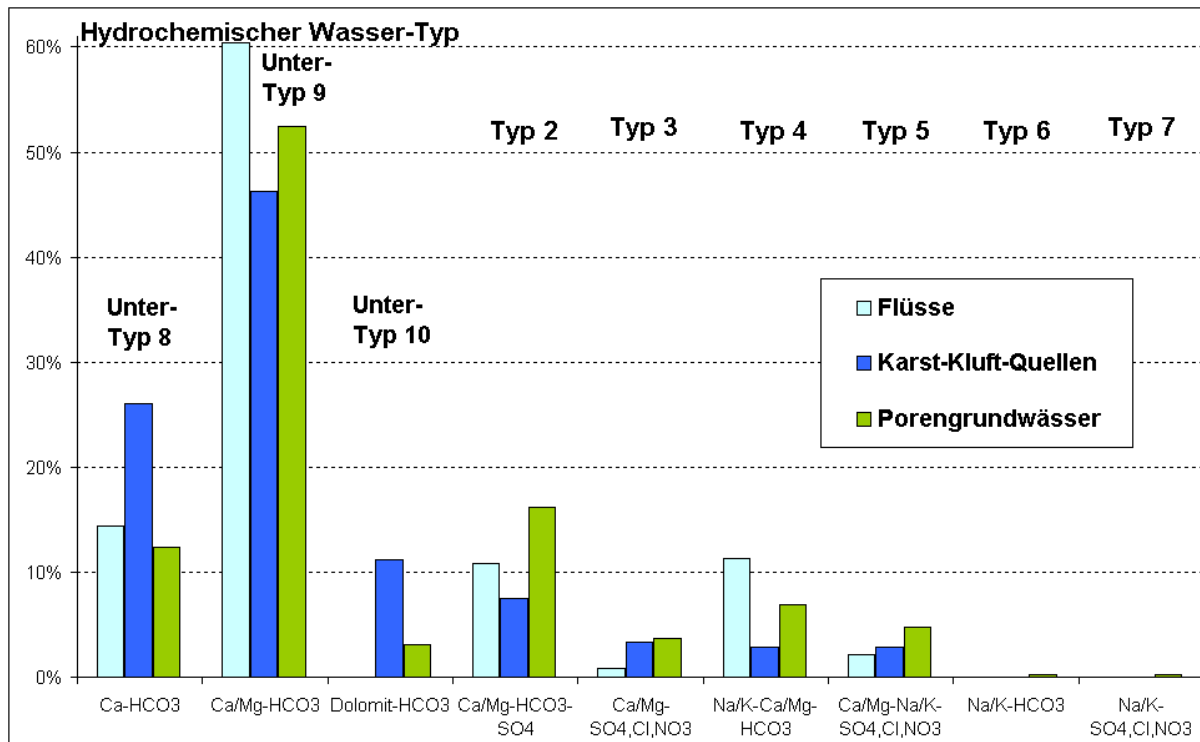
**Tab. 2:** Mittelwert, Mediane und Perzentile der Ionensummen gelöster Stoffe [Mean, median and percentiles of the sum of dissolved ions].

Art der Wässer	Anzahl der Messstellen	Mittelwert (mg/l)	Median (mg/l)	10%-Perzentile (mg/l)	90%-Perzentile (mg/l)
Kluft-Kristallin	63	100	83	38	187
Karst-Karbonat	180	260	232	153	425
Flüsse	250	271	259	114	438
Porengrundwässer	2082	557	504	247	907

Die Ionensummen variieren zwischen 25 und 5484 mg/l. Die Mittelwerte steigen von Kluft-Kristallinwässern 100 mg/l über Fluss- und Karst-Karbonatwässern 271 bzw. 260 mg/l zu den Porengrundwässern 557 mg/l an. Zusätzlich besteht in den Porengrundwässern ein klimatischer Trend von den alpinen Beckenlagen zu den Sedimentbecken in Ostösterreich im panonischen Klima in dem durch die geringere Grundwasserneubildung die Mineralisierung stark ansteigt. So sind erdalkalisch-carbonatische Wässer (Typ 1) charakteristisch für einen aktiven und relativ raschen Grundwasserumsatz. Grundwässer vom Typus 2 und 3 (erdalkalisch carbonatisch – sulfatisch bzw. erdalkalisch sulfatisch) sind charakteristisch für langsamere Zirkulationen. Chlorid dominiert vor allem dort, wo der Grundwasserfluss minimal ist und es nahezu zu keiner Erneuerung des Grundwassers kommt. BACK (1960) führte den Begriff der hydrochemischen Fazies ein, der zusammen mit der Mineralisierung der Wässer eine Sequenz der Reaktionen und die Richtung des Grundwasserstromes anzeigen kann. Diese natürliche Sequenz kann jedoch durch menschliche Aktivitäten, insbesondere durch landwirtschaftliche Belastungen und durch häusliche Abwässer überlagert werden.

## 4 HYDROCHEMISCHE FAZIES

Die hydrochemischen Fazies basieren auf der Verteilung der sieben Wassertypen in den österreichischen Aquiferen mit einer Unterteilung des Wassertyps 1 in drei Untertypen. Die Wassertypen werden nach dem trilinearen Diagramm von PIPER (1944) und der



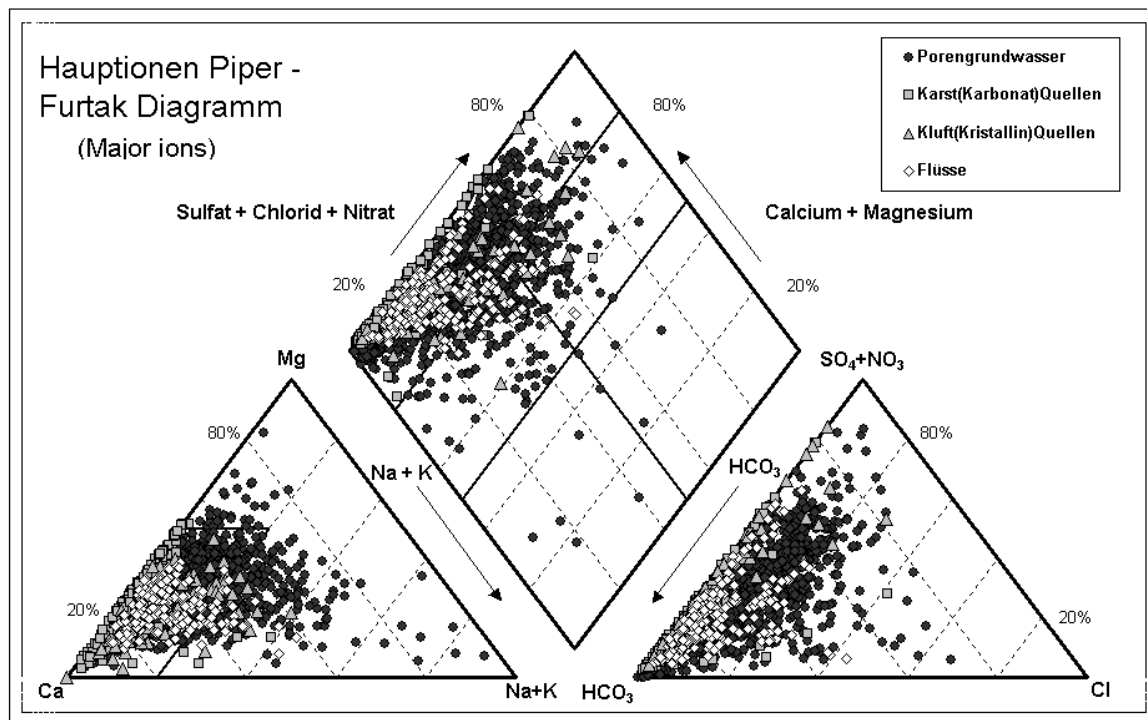
**Abb. 2:** Häufigkeit der hydrochemischen Wassertypen (FURTAK et al., 1967) nach Mittelwerten der WGEV-Daten (1991-2000) von Fließgewässern (FW), Karst- u. Kluftwässern (KK) bzw. Porengrundwässern (PG). [Frequency of hydrochemical facies or water types according (FURTAK et al., 1967) from mean values of the Austrian Water Quality Monitoring (WGEV). River water, karst(carbonate) and crystalline(fractured(crystalline))springs as well as porous aquifers].

Klassifizierung nach FURTAK et al. (1967) entsprechend der **Tab. 1** unterteilt. Der häufigste Wassertyp (1) sind erdalkalisch-carbonatische Wässer in Kontakt mit Ca und Mg reichen Gesteinen (Typ 9, Wechsellagerungen von Kalkstein und Dolomit bzw. Mischwässern verschiedenster Herkunft). Natürlich kommt dieser Mischtyp 9 am häufigsten in Fließgewässern vor (**Abb. 2**). Auch der erdalkalisch-alkalisch-carbonatische Wassertyp (4) tritt in Fließgewässern aus Kristallin – Gebieten relativ häufig auf. Dies dürfte durch eine relativ häufige Verschiebung von Wassertyp (1) und (2) zu Wassertyp (4) bedingt sein, die in dem gering mineralisierten Kristallinwässern bereits durch geringe menschliche Beeinflussung (Zugabe von Na und K) erfolgt (**Abb. 1**). Im alpinen Bereich tritt der erdalkalisch-sulfatische Wassertyp (3) vorwiegend in den gering mineralisierten und daher leicht veränderbaren Quell- und Fließgewässern des Ötz- und Pitztales (Tirol) durch die natürliche Verwitterung von Sulfidmineralen auf. In den Salzburger Kalkalpen oder Marmoren ist diese Wassertyp durch den intensiven Kontakt mit natürlichen Gipsvorkommen bedingt. Das häufige Vorkommen in den Porengrundwässern der östlichen Beckenlagen entspricht einer natürlichen langfristigen Mineralisierung (siehe **Kap. 7**), die zusätzlich auch mehr oder weniger durch landwirtschaftliche Düngungszugaben verstärkt wird.



Der zweithäufigste Wassertyp in den Karst(Karbonat)- und Kluft(Kristallin)aquiferen (KK) ist der erdalkalische-carbonatische Typ in Kontakt mit Ca-reichen Gesteinen (z.B. Kalksteine - Subtyp 8). In den Porengrundwässern sind erdalkalische carbonatisch-sulfatische Wässer (Typ 2) der zweithäufigste Wasser-Typ (**Abb. 2**).

Ein ähnliches Bild zeigen die **Abb. 3** und **Abb. 4**. Die Entwicklung geht vorwiegend von erdalkalisch-carbonatischen (Typ 1) über carbonatisch-sulfatischen (Typ 2 und 3) zu erdalkalisch-alkalisch-sulfatischen Wässern (Typ 5). Dies entspricht dem in der Einführung erwähnten natürlichen, zeitlichen Mineralisierungstrend der jedoch durch landwirtschaftliche und Siedlungsemissionen an Sulfat, Chlorid und Nitrat überlagert wurde.

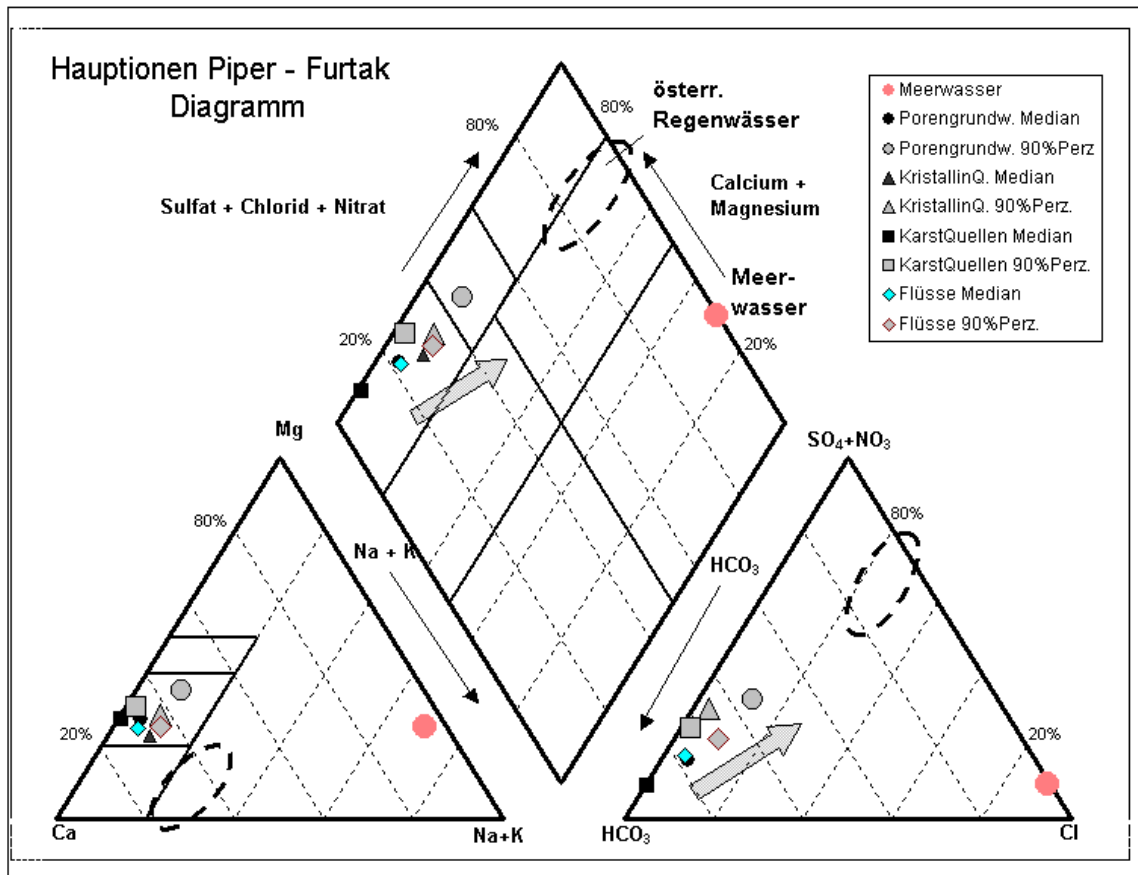


**Abb. 3:** Verteilung der Mittelwerte aller Poren-, Karst-Kluft und Fließwassermessstellen des österreichischen Wassergütemessnetzes (WGEV, 1991 – 2001). [Distribution of the mean values of all monitoring sites in porous-, karst(carbonate)-fractured(crystalline) aquifers and rivers of the Austrian water quality network].

Besonders in Gebieten von kristallinen Gesteinen, in denen bevorzugt Natrium (Na) und Kalium (K) aber auch Karbonate gelöst werden, treten in den Grundwässern und Flüssen erdalkalisch-alkalisch-carbonatische Wässer (Typ 4) auf. Letzter Wassertyp kann jedoch auch durch Mischung von überwiegend hydrogenkarbonatischen Erdalkalischen Wässern (Typ 1) mit überwiegend chloridischen (NaCl-salzhaltigen) Alkalischen Wässern (Typ 7) entstehen (siehe **Abb. 1**) wie sie in einzelnen Karst(Karbonat)-Quellen in Kontakt mit alten Salzlagerstätten in den oberösterreichisch-salzburgischen Kalkalpen auftreten. Auch kann diese Salzfracht durch menschliche Aktivitäten in die Fließgewässer oder in die Porengrundwässer (z.B. Salzstreuung, Düngung...) gelangen.

Sechs Messstellen von Porengrundwässern entsprechen den alkalisch-carbonatischen Wässern (Typ 6) und kommen nur vereinzelt in den Grundwasserkörpern vor. Nur drei durchwegs hochmineralisierte Porengrundwässer im Seewinkel, Wulka- bzw. Rabnitztal stellen einen Endpunkt der Entwicklung als überwiegend sulfatisch, chloridische bzw. nitratische Alkali - Wässer (Typ 7) dar. Das vierte Porengrundwasser dieses Typs im Vöckla – Ager – Traun – Alm - Gebiet ist durch industrielle Aktivitäten verändert.

Auffällig ist dass besonders in Kristallingebieten der Böhmischer Masse und der Oststeiermark häufig Nitrat als das dominierende Anion auftritt (Nitrat > Sulfat, Chlorid), was auf die leichte Veränderung sensibler, gering mineralisierter Kristallingrundwässern durch die Landwirtschaft und die generell leichtere Nitratauswaschung bei in Kristallingebieten üblichen saureren Bedingungen hinweist.



**Abb. 4:** Hauptionenverteilung und Entwicklung der Mediane und 90%-Perzentile der Grundwasser- bzw. Fließgewässer. [Major ions and trends of the median and 90%-percentiles of ground- and river waters].

Die Dominanz von erdalkalisch-carbonatischen Quellwässern (Typ 1 bzw. Subtypen 8-10) auch in den kristallinen Zentralalpen, dürfte durch eine bevorzugte Auswahl von Quellen mit etwas höherer Schüttung (l/s) bedingt sein, die sich in Kristallingebieten wiederum nur in Bereichen von verkarsteten Karbonat(Marmor)-Zwischenlagen finden lassen.

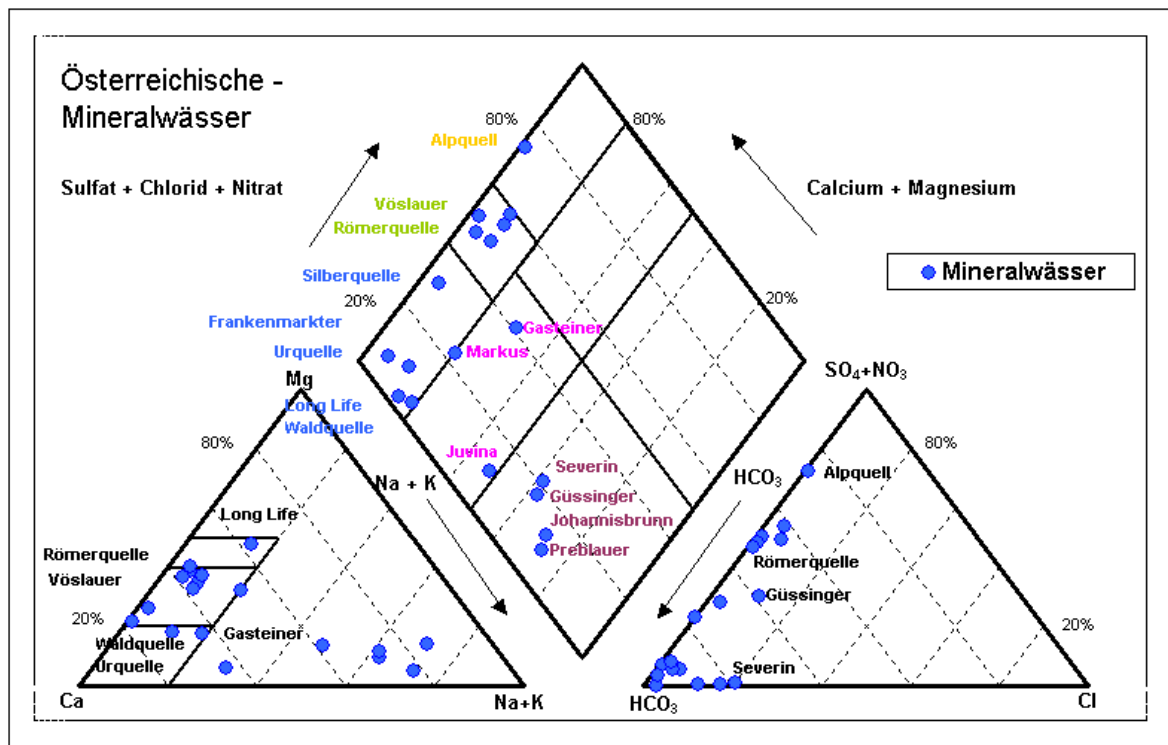


Abb. 5: Darstellung und Klassifizierung ausgewählter österreichischer Mineralwässer nach PIPER (1944) – FURTAk et al. (1967). [Selected Austrian mineral waters classified according to Piper – Furtak].

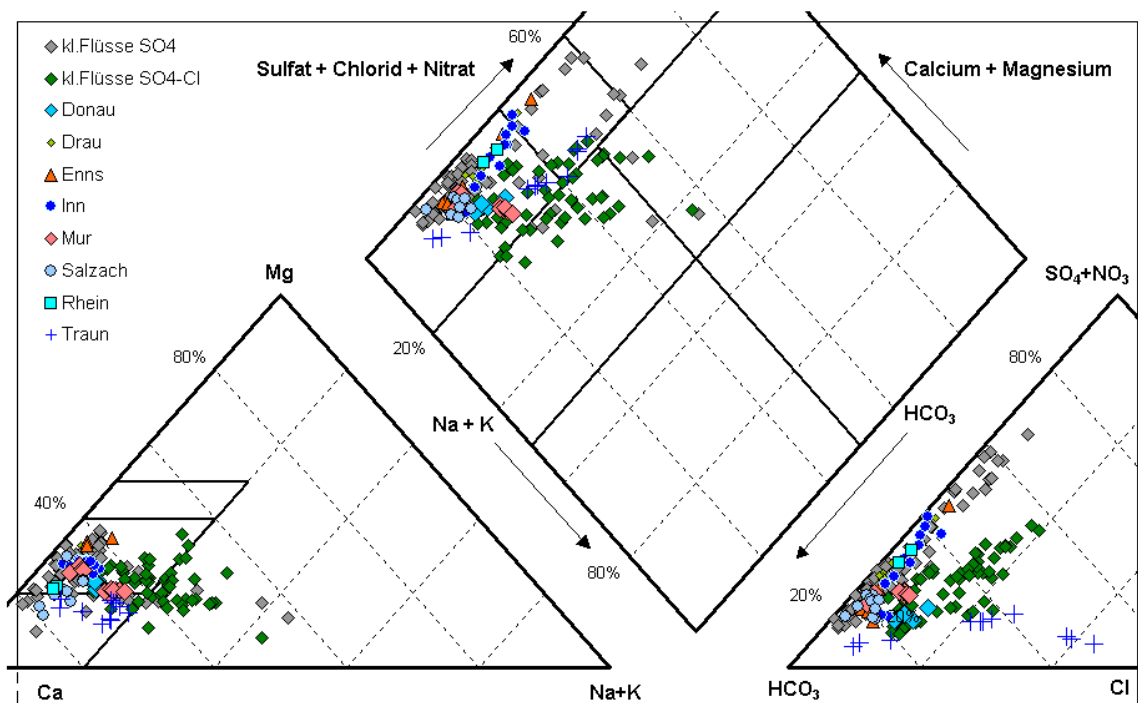


Abb. 6: Hauptionenverteilung und Trend der Mittelwerte der österreichischen Flusswässer. [Major Ion distribution and trends of the Austrian river waters].

Die österreichischen Mineralwässer lassen sich ebenfalls nach diesem System klassifizieren (siehe Abb. 5). Bedingt durch deren vorwiegenden Natur als Tiefenwässer fehlen verständli-

cherweise Wassertypen, in denen Nitrat, aber auch Chlorid vielfach durch menschliche Aktivitäten angereichert sind.

#### 4.1 Fließgewässer

Bezeichnenderweise sind die Medianwerte (50%Perzentile) der österreichischen Fließgewässer nahezu ident mit denen der Porengrundwässer (**Abb. 4**), was für einen intensiven Austausch spricht. Die meisten Flüsse entsprechen dem gut durchmischten Untertyp 9 (Ca-Mg Karbonat). Nur wenige Flüsse entsprechen dem Untertyp 10 (Ca-Karbonat, z.B. obere Salzach und obere Traun), dem Typ 2 (erdalkalische carbonatisch-sulfatische Wässer) und 3 (erdalkalische sulfatische Wässer) bzw. Typ 4 (erdalkalisch-alkalisch-carbonatische Wässer, z.B. Böhmisches Masse) und Typ 5 (erdalkalisch-alkalisch-sulfatische Wässer, z.B. Thaya) (siehe **Abb.6**).

Besonders kleine Flüsse zeigen eine mehr sulfat-dominierte (z.B. Öztaler Ache, Rosanna u. Alfenz) bzw. eine sulfat-chlorid dominierten Entwicklung (z.B. Thaya, March, Kamp, Gr. Mühl, Schwechat, Wien, Lafnitz, Raab und Leitha). Nur die untere Traun (ab Gmunden) ist als einziger Fluss klar chlorid-dominiert.

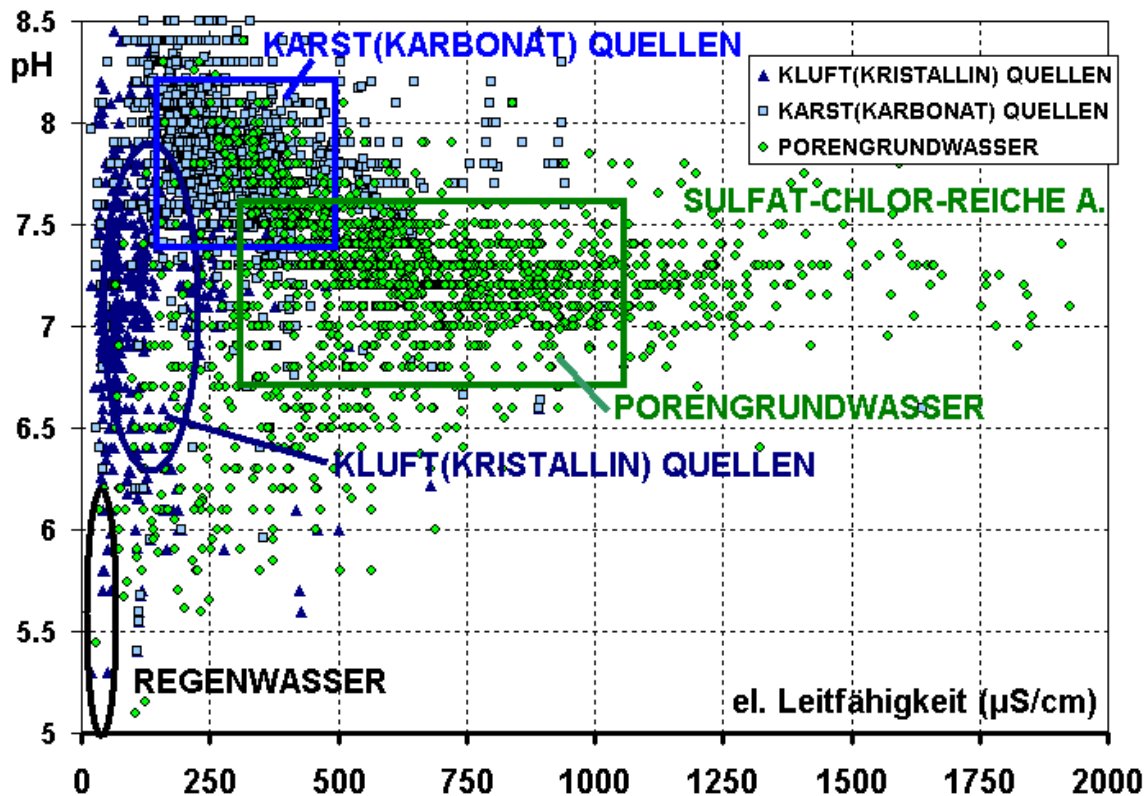
Die großen Flüsse zeigen eher ein einheitliche, durchschnittliche Zusammensetzung. Der obere Inn und die Drau zeigen etwas höhere Sulfatgehalte und die Donau und untere Mur geringfügig höhere Chlorid-Gehalte (**Abb.6**).

Während der Sulfat-Entwicklung wahrscheinlich durch Verwitterung von natürlichen Sulfiden herrührt, scheint der gemischte Sulfat-Chlorid und der Chlorid-Trend der Traun durch menschliche Aktivitäten (Landwirtschaft, Siedlungs- und Industrieabwässern) überprägt zu sein.

## 5 HÄUFIGKEIT DER WSSERTYPEN IN DEN GRUNDWASSERKÖRPERN

Die Häufigkeit der Wassertypen nach FURTAK et al. (1967, modifiziert) wurde je Grundwasserkörper oder Gruppen von Grundwasserkörpern in **Annex I** und sowohl in der Karte A4 1:1,3 Mio. als auch in der Karte A0 1:500.000 als Tortendiagramme dargestellt. Eine Darstellung in den Karten erfolgte nur, wenn zumindest drei Beobachtungsmessstellen vorhanden sind. Auch wenn in vielen Grundwasserkörpern oder Gruppen von Grundwasserkörpern die Anzahl der Messstellen zu gering sind, um die Verteilung der Wassertypen wirklich repräsentativ zu erfassen, so spiegeln die Tortendiagramme gut die Entwicklung wieder, die sich einerseits aus Gesteinsverwitterung und klimatischem Einfluss ergibt. So zeigen die Grundwasserkörper Rheintal und Helvetikum den höchsten Anteil von dem Untertyp 10 (erdalkalisch-carbonatische Wässer im Kontakt mit Ca-Karbonaten) an, dem im Grundwasserkörper Seewinkel der höchste Anteil an Wassertyp 5 (erdalkalisch-alkalisch-sulfatische Wässer) gegenübersteht.

## 6 LEITFÄHIGKEIT UND pH-WERTE DER ÖSTERREICHISCHEN GRUNDWÄSSER



**Abb 7:** Leitfähigkeit versus pH-Werte der Mittelwerte österreichischer Wässer aus einer früheren WGEV-Auswertung (1991-1999). Niederschlagswässer nach unpublizierten Daten der TU-Wien (Dr. Kalina). Die Rahmen bilden die 10%- und 90%-Perzentile der Karbonat(Karst) und Porengrundwässer. [Electric conductivity and pH-values of Austrian waters from mean values (1991-1999) of the Austrian Water Quality Network. The frames are formed by the 10%- and 90%-percentiles of carbonate(karst) spring waters and porous aquifer data].

Frühere Auswertungen der Leitfähigkeitsmessungen und pH-Werte (Mittelwerte WGEV-Daten 1991-1999) zeigen, dass trotz fließender Übergänge die 10%- und 90%Perzentile von Karst(Karbonat) Quellen und von Porengrundwässern nur gering überlappende Felder bilden (**Abb. 7**).

Österreichische Regenwässer haben einen vorwiegenden pH-Bereich von 5 – 6 abhängig ob Säuren den pH-Wert absenken oder Auflösung von Karbonatstäuben in der Deposition diesen abpuffern. Die Leitfähigkeitswerte schwanken dementsprechend zwischen 2-30 µS/cm.

In Kluft(Kristallin) Quellen steigen durch Silikat- und geringe Karbonatverwitterung die pH-Werte von ungefähr 6,2 auf bis zu 7,7, bei einem Anstieg der Leitfähigkeit von ungefähr 50 auf 200 µS/cm.

Ein Wechsel von intensiver Karbonatverwitterung und –ausfällung in Karst(Karbonat) Quellen hebt den pH-Wert im Bereich von 7,3 bis 8,3 weiter an und steigert die Leitfähigkeit von 170 auf 480 µS/cm.

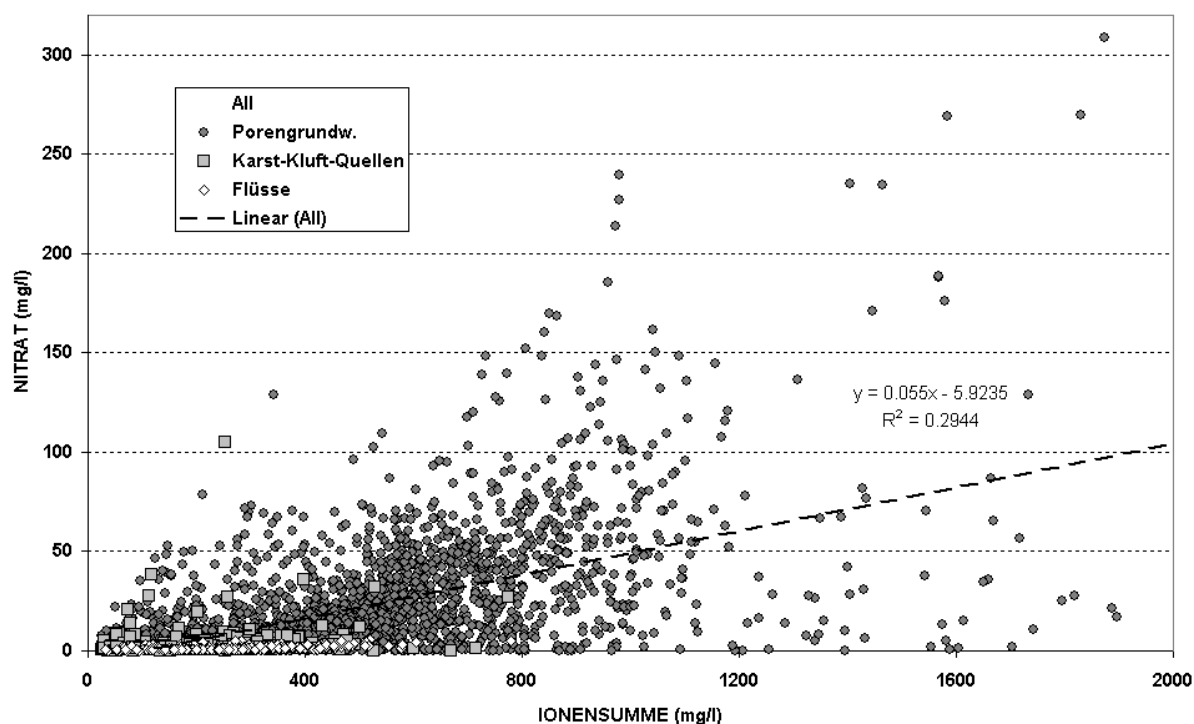
Längere Aufenthaltsdauer und langsamer Fließgeschwindigkeiten im Porengrundwässern erzeugen Reaktionen, die die pH-Werte auf den Bereich von 6,7 bis 7,6 wieder absenken. Entsprechend der Gesteinsverhältnisse und unterschiedlichen Verweilzeiten umfassen die

Leitfähigkeiten einen weiten Bereich von 350 – 1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Darüber sind bis 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sulfat- und chloridreiche Porengrundwässer dominierend (**Abb. 7**).

Basierend auf diesen relativ raschen und einfachen Leitfähigkeits- und pH-Messungen kann vielfach bereits im Gelände die Herkunft dieser Grundwässer statistisch abgeschätzt werden.

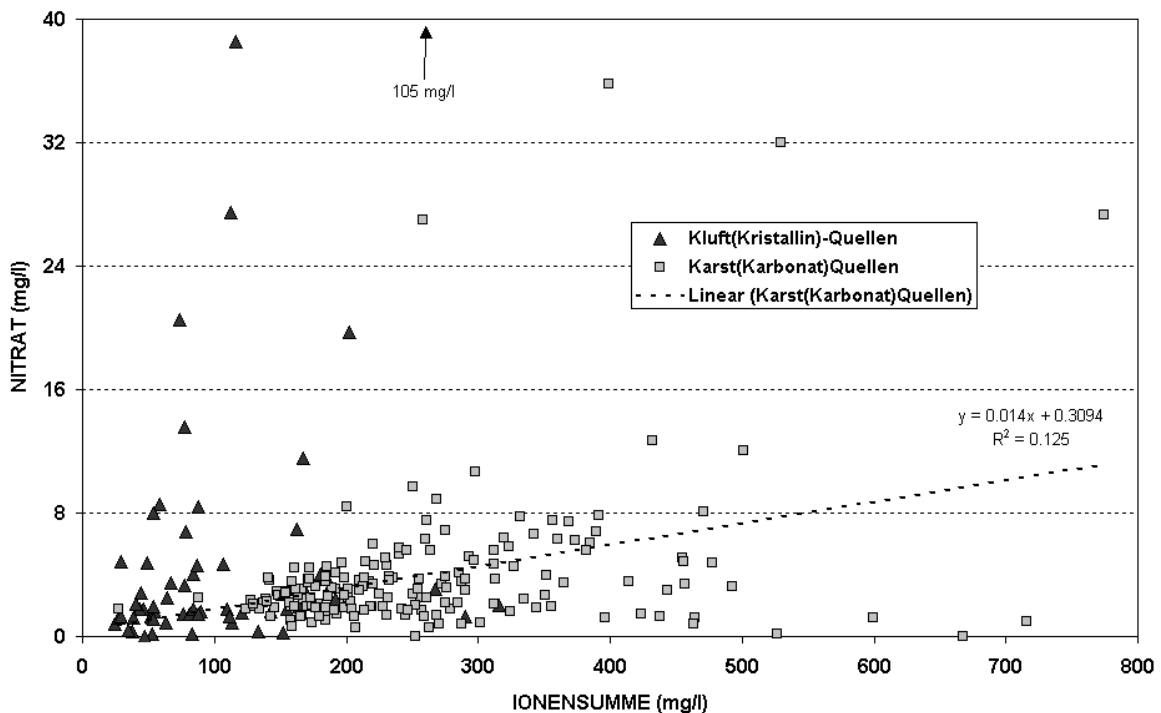
## 7 NITRATGEHALTE DER WÄSSER

Die Mittelwerte der Nitrat( $\text{NO}_3$ )gehalte der Porengrundwässer je Beobachtungsstation schwanken zwischen  $<0,5$  – 1320 mg/l und beträgt im Mittel 25 mg/l. Auch wenn der Trend nicht signifikant ist so zeigt **Abb. 8** doch, dass mit steigender Gesamtionensumme eine Entwicklung zu höheren Nitratwerten zunimmt. Die Verteilung deutet darauf hin, dass bei geringer Grundwasserneubildung und längeren Aufenthaltszeiten der Porengrundwässer nicht nur die Gesamtmineralisierung der Wässer weitestgehend natürlich zunimmt sondern auch die Nitratgehalte. Auch wenn die Trennung zwischen natürlicher Nitratbildung aus der Umwandlung aus organischem Material im Boden und in den Sedimenten des Aquifers und der Zugabe durch Emissionen aus Landwirtschaft und Siedlungswässern schwierig ist, so zeigt die **Abb. 8**, dass bereits bei Nitratgehalten von mehr als 5% der Gesamtionenbilanz, aber mit großer Wahrscheinlichkeit bei mehr als 10% eine künstliche Nitratanreicherung in den Porengrundwässern erfolgen dürfte.



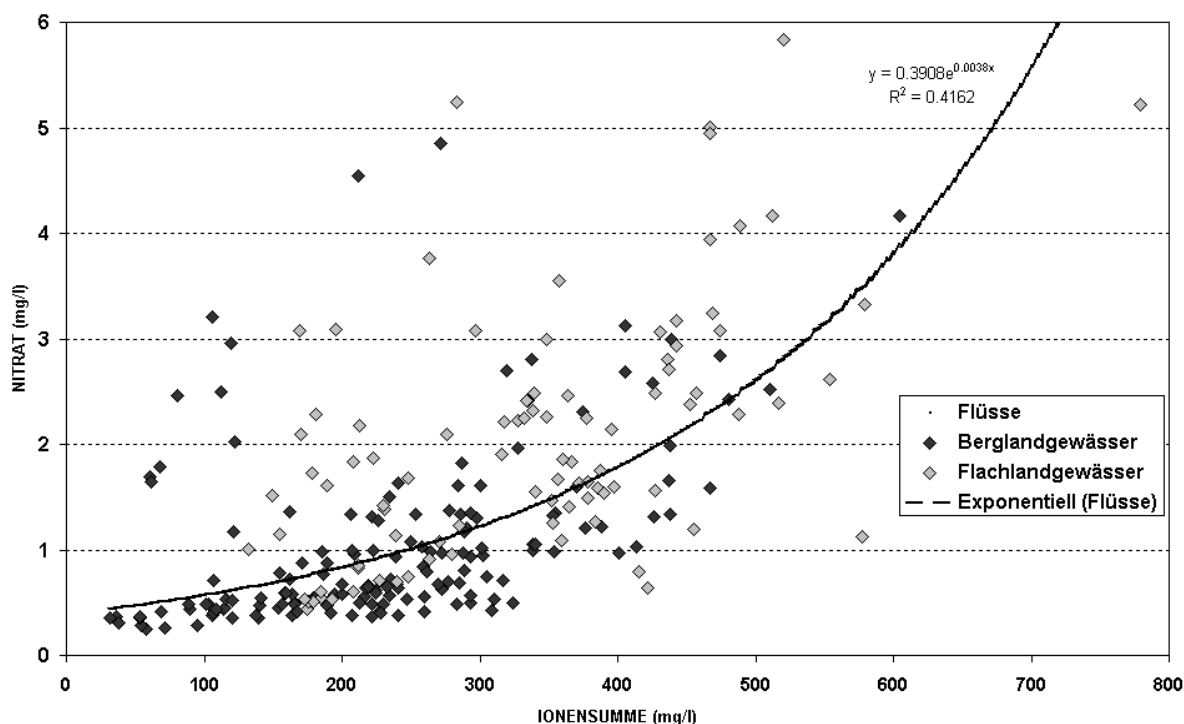
**Abb 8:** Ionensumme versus Nitratgehalt von Porengrundwässern, Karst(Karbonat)- und Kluft(Kristallin)-Quellen bzw. österreichischen Flusswässern. [Total sum of ions versus nitrate content in porous, karst(carbonate) spring waters and fractured(crystalline) aquifers as well as in river waters].

Die Mittelwerte der Nitratgehalte der Karst(Karbonat)- oder Kluft(Kristallin)-Quellen schwanken zwischen <0,5 – 105 mg/l und betragen im Mittel 4-6 mg/l. Die Nitratgehalte sind in den Kluft(Kristallin)-Quellen meist geringer als der vergleichbare Gesamtstickstoff in den Niederschlägen (KRALIK, 2001) und in den Karst(Karbonat)Quellen größtenteils geringer als 8 mg/l. Bloß in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Bereichen des oststeirischen Kristallins und dem weststeirischen Hügelland bzw. in 2 Einzelfällen im Burgenland und Kärnten wird dieser Wert von 8 mg/l überschritten (**Abb. 9**).



**Abb. 9:** Ionensumme versus Nitratgehalt von Karst(karbonat) und Kluft(kristallin)-Aquiferen. [Total sum of ions versus nitrate content in porous, karst(carbonate) and fractured(crystalline) aquifers].

Wie bereits eingangs erwähnt bedingt das häufige Ersetzen aller Wert unter der Bestimmungsgrenze durch „Null-Werte“ Mittelwerte, die die wahren Konzentrationen etwas unterschätzen. Trotzdem kann man aus der **Abb. 10** erkennen, dass die alpinen Flüsse (Berglandgewässer) in einem engen Bereich unter 1 mg/l  $\text{NO}_3$  aufscheinen. Der Nitratgehalt der Flüsse in Beckenlagen (Flachlandgewässer) steigt dann mit höherer Mineralisation fast exponentiell auf 3 – 4 mg/l  $\text{NO}_3$  an. Auch lassen sich unschwer einzelne Messstellen mit relativer, vermutlich durch menschliche Aktivitäten bedingt, Nitrat-Anreicherungen in Flusswässern erkennen.



**Abb 10:** Ionensumme versus Nitratgehalt von österreichischen Flusswässern. [Total sum of ions versus nitrate content in river waters].

## 8 DIN A4 KARTEN 1: 1.3 MIO.

In der DIN A4 Karte mit einem Maßstab von ca. 1 : 1,3 Mio. werden auf dem Hintergrund der vereinfachten geologischen Karte 1:500.000 (EBNER et al. 1997) und der Abgrenzung der einzelnen Grundwasserkörpern bzw. Gruppen von Grundwasserkörpern die in **Tab. 1** erwähnten Wassertypen farblich ausgewiesen. In der Karte mit der Häufigkeit der Wassertypen in Tortendiagrammen wurde wegen der Übersichtlichkeit die einzelnen Monitoringpunkte weggelassen.

## 9 DIN A0 KARTEN 1:500.000

In der DIN A0 Karte mit einem Maßstab von ca. 1 : 500.000 werden zusätzlich zu der DIN A4 Karte Mittelwerte mit Ionensummen von > 400 mg/l mit stark umrandeten Symbolen ausgewiesen. Darüber hinaus werden Monitoringpunkte in denen  $K > Na$ , sowie  $Cl$  oder  $NO_3$  die dominierenden Anionen sind mit zusätzlichen farbigen Symbolen gekennzeichnet. Aus Platzgründen und wegen der besseren Zuordnung wurden quadratischen Quellsymbole mit ihrer WGEV-Number versehen. Auch wenn einzelne Monitoringstationen von den Torten-Häufigkeitsdiagrammen überdeckt werden, konnte bei diesem Maßstab die einzelnen Symbole der Stationen beibehalten werden.



## 10 AUSBLICK

Diese Kurzdarstellung der Hydrochemie der oberflächennaher Grundwasserkörper sollte in einer wissenschaftlichen Arbeit weiter ausgewertet werden. Überdies harrt die Hydrochemie der seit den letzten Jahren beobachteten Tiefenwässer einer ähnlichen Kurzdarstellung, um die praktischen und wissenschaftlichen Informationen einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

## 11 LITERATUR

- BACK, W. (1960): Origin of hydrochemical facies of ground water in water in the Atlantic Coastal Plain. In: BACK, W. & FREEZE, R. A. (eds.): Chemical hydrogeology: Benchmark Papers in Geology, v. 73, 79-87, Pa., Hutchison Ross Publishing Co., Stroudville.
- 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.
- EBNER, F.; FRANK, W.; MANDL, G.; PASCHER, G.; PESTAL, G. & SCHNABEL, W. (1997): Geologische Basiskarte von Österreich 1:500 000. Geol. Bundesanst., Wien.
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H. R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. Mem. IAH-Congress, 1965, 86-96, Hannover.
- GRUBER, J. (1990): Kärntner Grundwasserkataster. 158 S., Kärntner Landesreg., Klagenfurt.
- HÖLTING, B. (1996): Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 441 S., Enke Verl. Stuttgart.

- HILTMANN, W. & KANTOR, W. (2001): 5.7 Geogene Grundwasserbeschaffenheit. In: Hydrologischer Atlas von Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn.
- KRALIK, M. (1999): Quellwasser als Umweltindikator für die nachhaltige Nutzung des Alpenen Raumes. In: GÖTZ, B. (Hrg.): Umweltindikatoren für Österreich, Conference papers, 26, (61-67), 178 S. Umweltbundesamt Wien.
- KRALIK, M. (2003): B/ 2 Karst und Kluffgrundwasser. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 2002, 76-98, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 178 S., Wien. (<http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/wasser/wgev/jb2002/>).
- PHILIPPITSCH, R., (1995): B/ 2 Geologie. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 1994, 1-48, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 244 S., Wien.
- PIPER, A. M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, 914-928.
- 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.
- UNESCO (1971): Legends for geohydrochemical maps. Techn. Papers i. hydrology, 14, 26 S., Paris.
- WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt (Hrg.) ) (2003): Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 2002, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 178 S., Wien. (<http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/wasser/wgev/jb2002/>).

