



**GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT**



**AEROGEOPHYSIKALISCHE  
VERMESSUNG**

im Bereich

**Sibratsgfäll / Rindberg  
Vorarlberg**

Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekte ÜLG-28/05c

# AEROGEOPHYSIKALISCHE VERMESSUNG

im Bereich

## Sibratsgfäll Vorarlberg

von

Andreas Ahl  
Gerhard Bieber  
Peter Klein  
Klaus Motschka  
Alexander Römer  
Peter Slapansky  
Robert Supper  
Edmund Winkler

Wien, 2007

Geologische Bundesanstalt Wien

	ÜLG-20	ÜLG-28	ÜLG-35
2003a	Schruns		
2003b	Drautal/Gailtal 1		
2004	Drautal/Gailtal 1		Melk
2005a	Drautal/Gailtal 2	Arzberg 1	Jahresbericht
2005b		Drautal/Gailtal 1	Drautal/Gailtal 2
2005c		Sibratsgfäll	
2006a	Drautal/Gailtal 2	Drautal/Gailtal 2	Drautal/Gailtal 2
2006b	Eferding	Arzberg 2	
2006c	Ulrichsberg		

Rot: vorliegender Bericht  
Grau: erledigt  
Weiß: ausständige Berichte

## *Hydrogeologie Rindberg*



Bericht (ULG 28/35)

April 2007

---

**MAG GERHARD BIEBER (GBA)**

Dr. Andreas Ahl, Mag. Wolfgang Jaritz (ZT Moser/Jaritz), Dr. Peter Klein (GBA), DI Dr. Wolfgang Papesch (ARC Seibersdorf), Mag. Alexander Römer (GBA), Dr. Peter Slapansky (GBA), Mag. Robert Supper (GBA), Dr. Ingeborg Wimmer-Frey, DI Margarete Wöhrer-Alge (WLV)

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	6
1. Einleitung .....	10
2. Zielsetzung.....	10
3. Geologische Situation.....	13
3.1. Überblick.....	13
3.2. Geologie des hydrogeologischen Untersuchungsgebietes .....	16
3.2.1. Aptychen Schichten.....	17
3.2.2. Junghansen Schichten .....	17
3.2.3. Schelpen Serie .....	17
3.2.4. Feuerstätter Sandstein.....	17
4. Methodik/Auswertung.....	18
4.1. A) Hydrogeologische Reihenbeobachtung .....	18
4.1.1. Hydrologische Grundlage.....	19
4.1.2. Hydrochemie & Feldparameter .....	22
4.1.2.1. Statistische Auswertung.....	23
4.1.2.2. Piper Diagramm .....	28
4.1.2.3. CoDaPack Biplot-Diagramm.....	30
4.1.2.4. Zeitreihendiagramme (Ganglinien) .....	33
4.1.2.5. Beziehungsdiagramme .....	33
4.1.2.6. Konturplots.....	33
4.2. B) Isotopenhydrologische Reihenbeobachtung .....	38
4.2.1. Ermittlung der Regressionsgeraden zur Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes der Quellen am Rindberg anhand deren $\delta^{18}\text{O}$ Werte.....	39
4.2.2. Konturplots (Flächeninformation) .....	43
4.2.3. Zeitreihendiagramme der $\delta^{18}\text{O}$ Werte (Ganglinien) .....	44
4.2.4. Diskussion .....	45
4.3. Salztracerversuch .....	47
4.4. D) Geochemische-mineralogische Gesteinsanalytik und hydrochemische Untersuchung der Spurenelemente im Wasser.....	50
5. Quellcharakterisierung .....	56
5.1. Eichquelle 1 .....	57
5.2. Eichquelle 2.....	59
5.3. Baderquelle.....	61
5.4. Metzlerquelle.....	63
5.5. Lustenauer Ries Quelle.....	66
5.6. Kolbquelle.....	68
5.7. Vogt Quelle.....	71
5.8. Alpenrosequelle.....	74
5.9. Vögelquelle.....	76
5.10. Bodensonde.....	79
5.11. Eichquelle 5.....	82

6.	Diskussion .....	85
6.1.	Quellgruppe 1 .....	86
6.2.	Quellgruppe 2 .....	87
7.	Hydrophysikalische Bohrlochmessung Kernbohrung Bader .....	89
7.1.	Einleitung.....	89
7.2.	Messtechnik.....	89
7.3.	Durchführung.....	90
7.4.	Auswertung.....	93
7.5.	Interpretation .....	98
8.	Erweiterte Interpretation hydrogeologischer Ergebnisse unter Einbeziehung Aerogeophysikalischer Daten .....	99
8.1.	Darstellung der aerogeophysikalischen Vermessung Sibratsgfäll .....	99
8.1.1.	Elektromagnetik.....	99
8.1.2.	Gammaspektroskopische Betrachtung .....	110
8.2.	Geoelektrische Messungen .....	113
8.3.	Diskussion der Ergebnisse .....	120
8.3.1.	Gammaspektroskopie .....	120
8.3.2.	Aero-Elektromagnetik (AEM) und Geoelektrik) .....	122
9.	Resümee.....	127
	Literatur.....	131

## Anhang

Anhang A:	Quellen Rindberg – Feldparameter.....	133
Anhang B:	Hydrochemie – Haupt-/ Spurenelemente.....	135
Anhang C:	Quellen Rindberg – Hydrochemie Reihenuntersuchung.....	137
Anhang D:	Grundwasserphasen – Gesamtlösungsinhalt versus Einzelphasen.....	139

## Zusammenfassung

- **Ausgangssituation**

Anlassfall für die aerogeophysikalische Befliegung Sibratsgfäll 2000 war eine ausgedehnte Hangbewegung im Mai 1999 (Rindberg / Ost Sibratsgfäll) für die Frage, ob weitere Risikozonen in der Umgebung dieser Hangbewegung zu finden sind. Das Messgebiet betrifft einen tektonisch äußerst komplexen Abschnitt in der Flyschzone.

Das konkrete Ziel dieser Arbeit bestand darin massenbewegungsrelevante Parameter geophysikalisch zu erfassen, geologisch zu interpretieren und den Zusammenhang/Wechselwirkung zwischen den geophysikalischen Messergebnissen und geologischen-hydrogeologischen Parameter herzustellen.

In diesem Zusammenhang wurde auch versucht zu klären, ob auf Grund detaillierter hydrogeologischer Ergebnisse eine Zusatzinformation für die Aerogeophysikalische Auswertung der Elektromagnetikdaten (AEM) abzuleiten ist.

- **Methodik**

### Erarbeitung eines hydrogeologischen Modells

Für die Beurteilung der Wechselwirkung zwischen Massenbewegung und Grad der Durchfeuchtung bzw. Wasserwegigkeit wurde eine hydrogeologische Charakteristik des Hangwasserregimes durchgeführt. Dabei wurden folgende methodische Ansätze gewählt:

- Hydrogeologische Reihenbeobachtung (20.07.2004 – 30.06.2005)
- Isotopenhydrologische Reihenbeobachtung (20.07.2004 – 30.06.2005)
- Tracerversuch (Salztracer)
- Geochemische-mineralogische Gesteinsanalytik und hydrochemische Untersuchung der Spurenelemente im Wasser

### Verschnitt der Ergebnisse

Anschließend wurden die Ergebnisse aus der hydrogeologischen Bearbeitung mit den Ergebnissen aus

- Kartierung
  - Bohraufnahmen
  - Aerogeophysik
  - Bodengeophysik
  - Hydrogeologie
- zusammengeführt und interpretiert.

- Ergebnis

Durch die Kombination der flächenhaften Erfassung der geophysikalischen Parameter mittels Aerogeophysik, die in ausgewählten Bereichen durch bodengeophysikalische Messungen (in erster Linie Geoelektrik) ergänzt wurden, konnte in einer Zusammenschau mit den Ergebnissen der Detailkartierung, der Quellanalysen bzw. weiterer Messungen (Tracerversuch, Fluidlogging) ein schlüssiges geologisch/ hydrogeologisches Modell für das Hangbewegungsareal von Rindberg erarbeitet werden.

Dieses hydrogeologische Modell besteht aus den Quellgruppen 1 und 2, die innerhalb der jeweiligen Gruppen noch weiter strukturiert sind (siehe Abbildung A, B).

Dabei profitierte die hydrogeologische Großcharakterisierung einerseits von den Ergebnissen der geologischen Kartierung und der Aero/Boden-Geophysik, andererseits wurden anhand der differenzierten Quellcharakteristik der einzelnen Quellgruppen, durch die Beziehung Hydrofazies – Lithofazies – hydrogeologisches Einzugsgebiet, die Ergebnisse aus der Aero/Boden-Geophysik bestätigt und die Interpretationsansätze für die Aerogeophysik verfeinert.

#### Die Quellgruppe 1

Die Quellgruppe 1 ist durch eine geringe Mineralisation gekennzeichnet und besteht aus der Eichquelle 1, Eichquelle 2, Eichquelle 5, Vogtquelle, Alpenrose, Lustenauerriesquelle, Metzlerquelle und Baderquelle (siehe Abbildung A, B).

Die Eichquellen 1, 2 und 5 wurden für die Bestimmung der mittleren Höhen des Einzugsgebietes der Quellen am Rindberg aus dem  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel verwendet, die Einteilung in die Quellgruppe 1 erfolgte auf Grund ihrer geologischen Position und den hydrogeologischen Ergebnissen aus der Zeitreihenuntersuchung.

Innerhalb dieser Quellgruppe 1 werden Bader-, Metzler-, und Lustenauerriesquelle zu einer Einheit zusammengefasst. Der Aquifer dieser Quellen ist durch ein großes Einzugsgebiet mit starker Dämpfung aktueller meteorologischer Gegebenheiten (Niederschlag, Tauwetter..) gekennzeichnet und liegt in den bis zu 60 Meter mächtigen, durch interne Zerrüttung und Gefügauflockerung stark wasserdurchlässigen Aptychenschichten. An der Basis der Aptychenschichten, an der Grenze zu den grundwasserstauenden Junghansen Schichten treten die Bader-, Metzler-, und Lustenauerriesquelle als Schichtstauquellen zu Tage.

Das hydrogeologische Modell der Vogtquelle deutet auf ein kleines Einzugsgebiet mit einer deutlichen, niederschlagsbedingten Quellcharakteristik hin. In diesem Fall liegt der Grundwasserleiter im Feuerstätter Sandstein. Der Quellmechanismus ist wiederum auf die stauende Eigenschaft der Junghansen Schichten zurückzuführen.

Das hydrogeologische Modell der Alpenrosequelle stellt sich so dar, dass im Vergleich mit der Vogtquelle ein größeres Einzugsgebiet vorliegt, wobei auch hier ein deutlicher, unmittelbaren Einfluss von Niederschlagsereignissen zu erkennen ist. Der Quellmechanismus des

oberflächennahe Grundwasserleiter ist wiederum auf die stauende Eigenschaft feinteilreicher Lockermassen (Rutschmasse, Junghansen Schichten) zurückzuführen. Es ist anzunehmen, dass die Alimentation im Bereich des Feuerstätter Sandsteins zu suchen ist, zumal, vergleichbar mit der Vogtquelle, ein ähnlich hohes Einzugsgebiet vorliegt.

### Die Quellgruppe 2

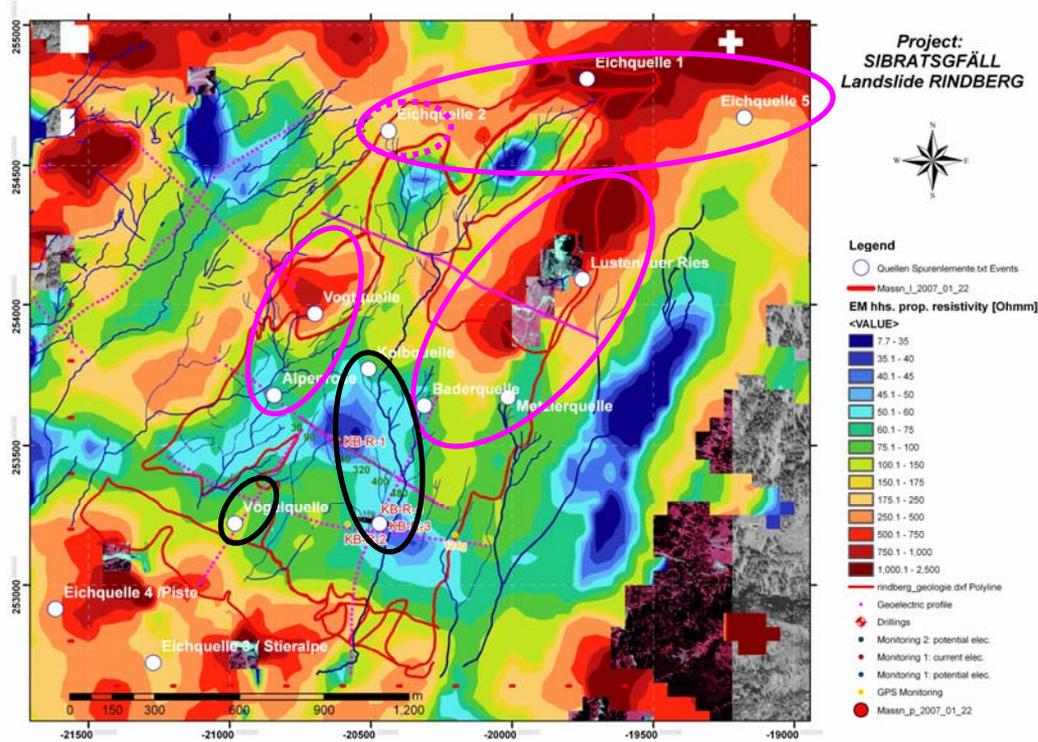
Im Vergleich zur Quellgruppe 1 ist die Quellgruppe 2 (Kolbquelle, Bodensonde, mit Einschränkung Vögelquelle) hydrochemisch durch eine wesentlich höhere Gesamtmineralisation (Kolbquelle, Bodensonde), sowie bei geringer Gesamtmineralisation (Vögelquelle) durch eine ähnliche Konzentration bestimmter Haupt- und Nebenelemente zueinander (Kalium; Natrium, Strontium, Chrom) charakterisiert. Besonders erwähnenswert ist der hohe Gehalt von Magnesium und Sulfat in der Kolbquelle.

Die Kolbquelle ist im Nahbereich von Feuerstätter Sandstein und/oder Aptychenschichten situiert. In allen AEM Inversionsmodellen ist im Bereich der Kolbquelle oberflächennah, bis zu einer Tiefe von ca. 20 m, ein Bereich mit einer geringfügig erhöhten Widerstandsverteilung (70 bis 250 ohmm) ausgebildet. Es ist anzunehmen, dass dieser Bereich den Aquifer darstellt. Das Liegende wird wiederum von einem niedrigohmigen (< 50 ohmm) Widerstandskörper (AEM), der feinklastischen Sedimenten entspricht (ang. Rutschmasse / Junghansen Schichten) aufgebaut. Das hydrogeologische Modell für die Kolbquelle sieht ein sehr kleinräumiges Einzugsgebiet vor. Dies spricht dafür, dass die Quelle nicht aus einem zusammenhängenden Aquifer der höherohmigen Aptychenschichten und/oder Feuerstätter Sandstein alimentiert wird.

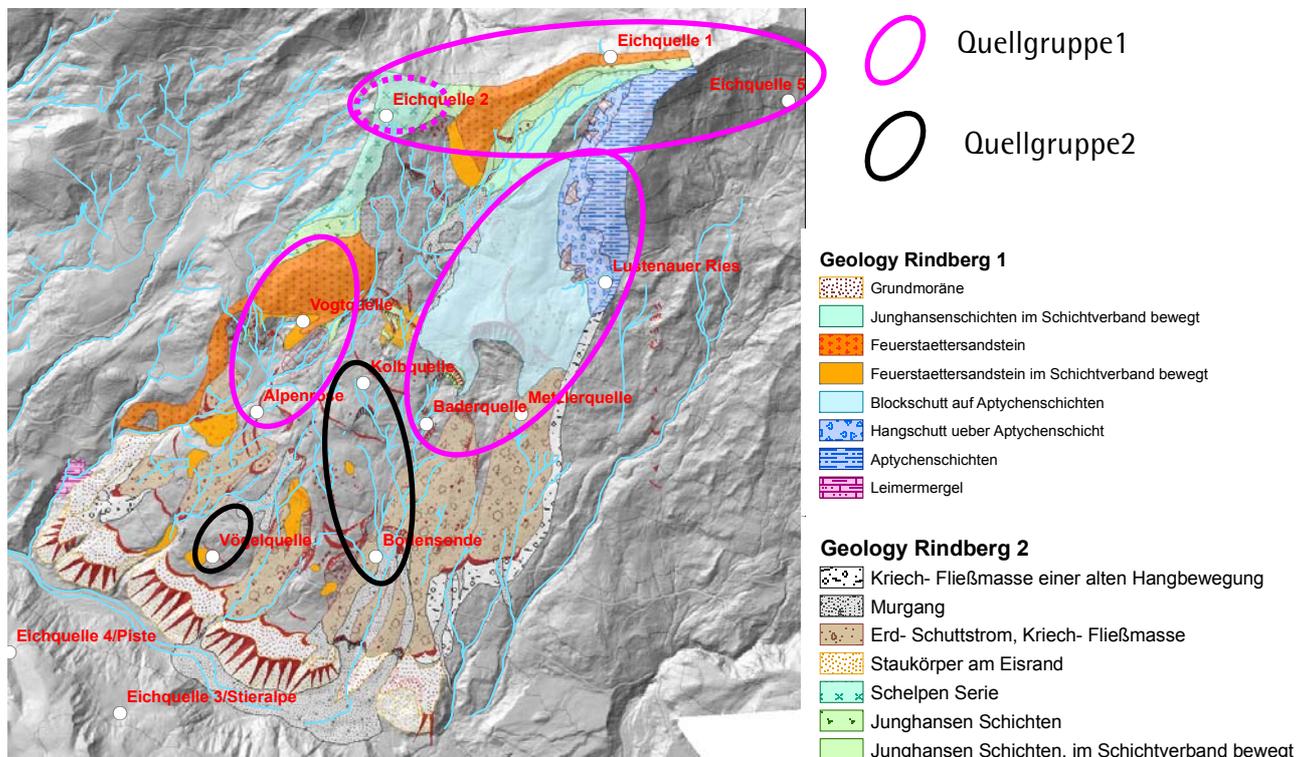
Das hydrogeologische Modell für die Quelle Bodensonde beschreibt einen oberflächennahen, feinkorndominierten Aquifer im Erd- Schuttstrom mit ortsgebundenem, kleinräumigen Einzugsgebiet der signifikant auf meteorologische Einflüsse (Niederschlag, Tauwetter im Winter) reagiert. Der relative Grundwasserstauer liegt an der Basis dieser Fließmasse in etwa 15 bis 20 m Tiefe. Das in der benachbarten Kernbohrung (Inklinometer) „Bader“ durchgeführte Fluid-Log zeigt nur in den hangendsten Abschnitten (bis 20 Meter Tiefe) eine Verdünnung der eingebrachten Salzlösung. Noch 9 Monate nach dem Fluid-Logging wurde im Bereich 25 bis 35 m Tiefe (Endtiefe 35 m) hochkonzentrierte Salzlösung angetroffen.

Die geringe Höhe des Einzugsgebietes der Kolbquelle und der Bodensonde, gepaart mit einer geringen Schüttung und einer unmittelbaren und ausgeprägten Reaktion des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes und der hydrochemischen Konzentration auf meteorologische Verhältnisse (Niederschlag, Tauwetter im Winter..) lässt auf ein lokales Einzugsbiet schließen, dass sich auch lithofaziell (Gesamtmineralisation; Spurenelemente) grundlegend von der Quellgruppe 1 unterscheidet.

Abbildung A zeigt die Einteilung der einzelnen hydrogeologischen Modelle in Bezug zur AEM Widerstandsverteilung, Homogener Halbraum (hhs) auf DHM mit Lage der Bodengeoelektrikprofile und beprobten Quellen. Abbildung B zeigt die Einteilung der einzelnen hydrogeologischen Modelle in Bezug zur geologischer Detailkartierung (Mag. Wolfgang Jaritz, Bearbeitungsstand: April (2006)



**ABB A** Hydrogeologische Modelle/Quellgruppen in Bezug zur AEM Widerstandsverteilung, Homogener Halbraum (hhs)



**ABB B** Hydrogeologische Modelle/Quellgruppen mit Geologischer Detailkartierung (Mag. Wolfgang Jaritz, Bearbeitungsstand: April (2006))

## 1. Einleitung

Im Rahmen des beispielhaften, komplexen, interdisziplinären methodischen Ansatzes der Rutschungsüberwachung und Methodenentwicklung der „Rutschung Rindberg“ (Gem. Sibratsgfall, Vorarlberg) wurden seitens der GBA im Zeitraum Juli 2004 bis Juli 2005 begleitende hydrogeologische Reihenuntersuchungen durchgeführt (Abb.1, 2 & 2a).

Zusätzlich wurde an der Kernbohrung „Bader“ ein FLUID-LOGGING durchgeführt. Die Kernbohrung Bader ist als Inklinometer ausgebaut, wobei die Kunststoffwand des Inklinometers perforiert ist und somit ein unmittelbarer, hydraulischer Zusammenhang des Wassers im Inklinometer mit dem Grundwasser besteht. Der Ringraum wurde mit Mittelkies verfüllt.

Das vorrangige Ziel bestand in der Überprüfung der „Filterstrecke“ (perforiertes Inklinometerrohr) auf natürliche Grundwasserzuflüsse und der Ermittlung der Schichtstärke dieser horizontalen Zuflüsse.

Die Wechselwirkung zwischen Massenbewegung und Grad der Durchfeuchtung bzw. Wasserwegigkeit ist praktisch an allen bekannten Rutschungen in irgendeiner Form von teils entscheidender Bedeutung. Ausgehend von der Annahme, dass der Hangwasserhaushalt, im speziellen der Eintrag des Niederschlags, im allgemeinen als Triggerfunktion für Bewegungsabläufe von Massenbewegungen fungiert, wurden detaillierte Untersuchungen des Hangwasserhaushaltes durchgeführt. Das Ziel bestand darin massenbewegungsrelevante Parameter geophysikalisch zu erfassen und einen Zusammenhang zwischen den geophysikalischen Messergebnissen und geologischen-hydrologischen Parameter herzustellen.

## 2. Zielsetzung

- Charakterisierung der einzelnen Quellen im Bezug zur mittleren Höhe ihres Einzugsgebietes, zur geologischen Situation und ihrem hydrochemischen Verhalten.
- Zusätzlicher Informationsgewinn bei der Interpretation der Aero-geophysikalischen Daten hinsichtlich der geologischen Untergrundverhältnisse / Strukturen unter Einbeziehung hydrogeologischer Untersuchungen.
- Kausale Zusammenhänge hydrologischer/hydrogeologischer Parameter (wechselnde Durchfeuchtung - abgeleitet von der Quellschüttungscharakteristik) mit geophysikalischen Parameter des Monitoringsystems (Widerstands- und Potentialänderungen) im Vorfeld einer Rutschung herzustellen.

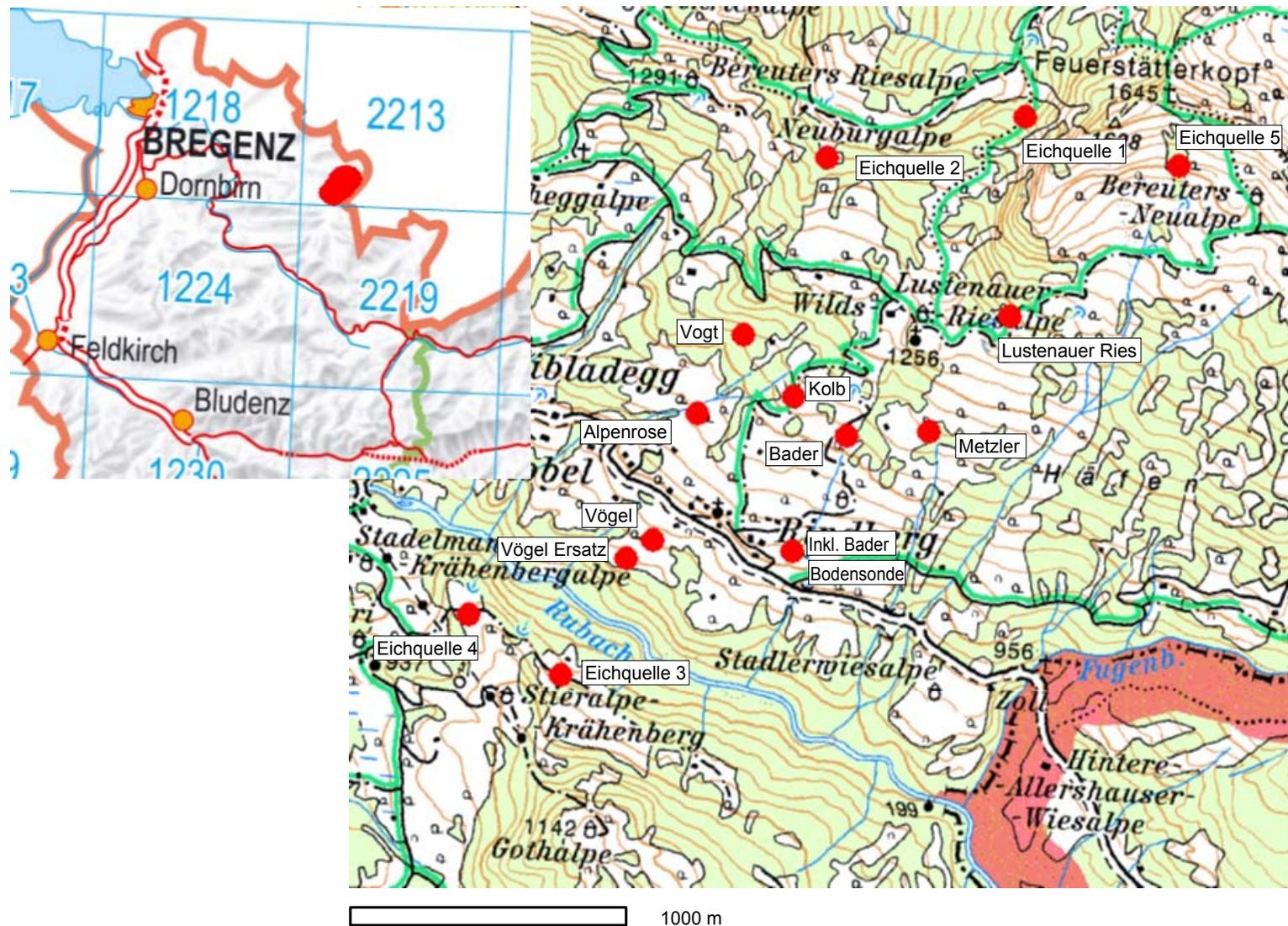


Abb.1: Lage der Probenahmestellen (Quellen), Ausschnitt aus ÖK 1:1,5 Mio & 1:50.000 (BEV)

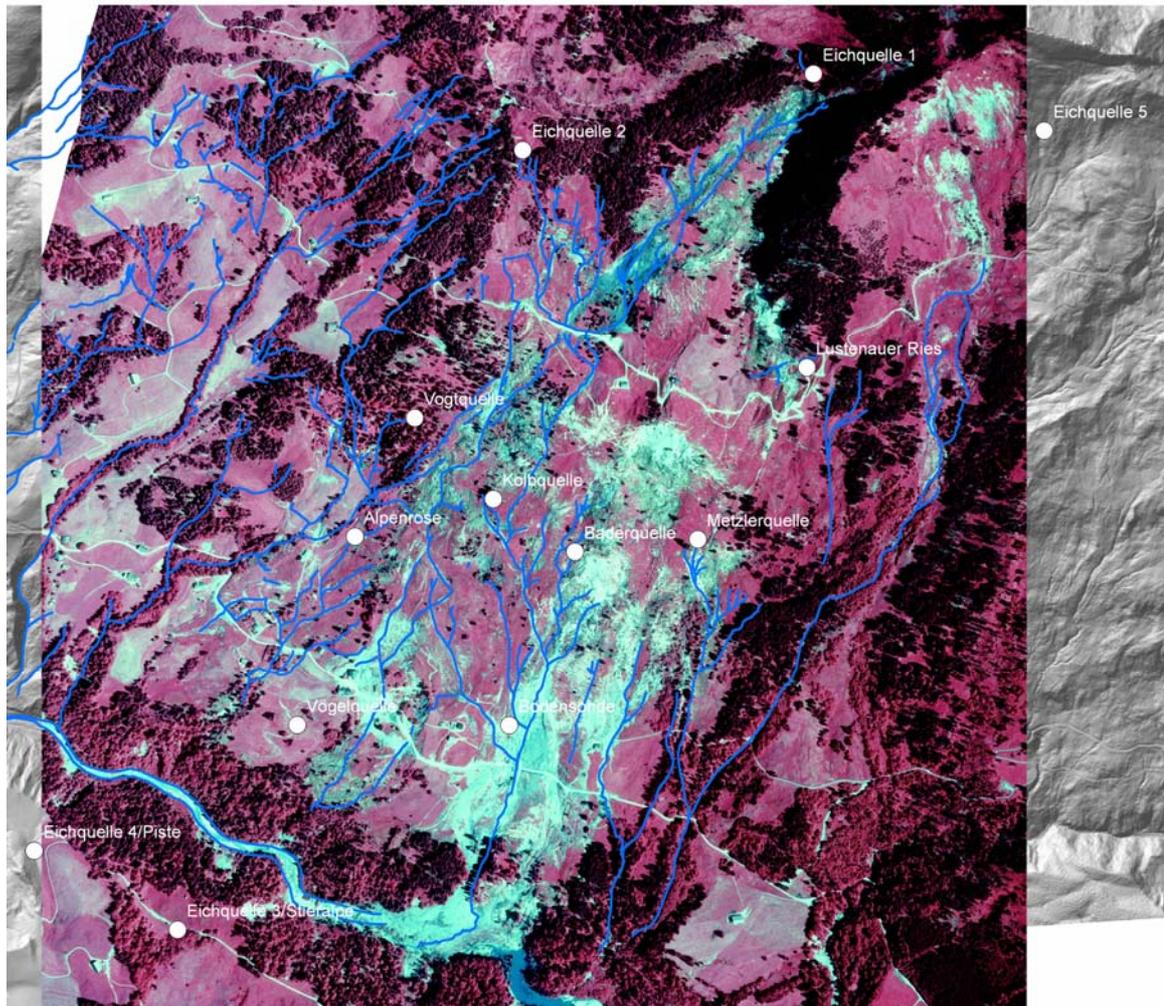


Abb.2: Lage der Probenahmestellen und des Entwässerungsnetzes, Orthofoto vom 19. Juni 2000

Quellenbezeichnung	Ortsbezeichnung	Seehöhe müA	X	Y
<b>Eichquelle 1</b>	westl. Feuerstätterkopf	1435	130265.11	254807.77
<b>Eichquelle 2</b>	nördl. Sommerstadel	1345	129562.17	254622.20
<b>Lustenauer Ries Quelle</b>	Lustenauer Ries	1285	130248.73	254091.07
<b>Kolbquelle</b>	Roßlöcher	1124	129491.25	253771.14
<b>Baderquelle</b>	Schuttstrom Bader	1112	129688.33	253642.84
<b>Metzlerquelle</b>	Schuttstrom Bader	1157	129985.27	253672.80
<b>Vogtquelle</b>	nördl. Vogt	1125	129301.86	253986.10
<b>Vögelquelle</b>	südl. Vögel	962	129017.79	253220.44
<b>Inklinometer Bader</b>	Schuttstrom Bader	1020	129524.99	253219.66
<b>Alpenrosequelle</b>	nordöstl. Vogt	1059	129156.67	253679.57
<b>Eichquelle 3</b>	Gegenhang NO Stieralpe	932	128728.69	252722.52
<b>Eichquelle 4</b>	Gegenhang auf Piste	945	128382.21	252914.69
<b>Eichquelle 5</b>	Bereuters Neualpe	1505	130822	254669.00
<b>Bodensonde</b>	östlich Inkl. Bader	1020	129530*	253219,66*

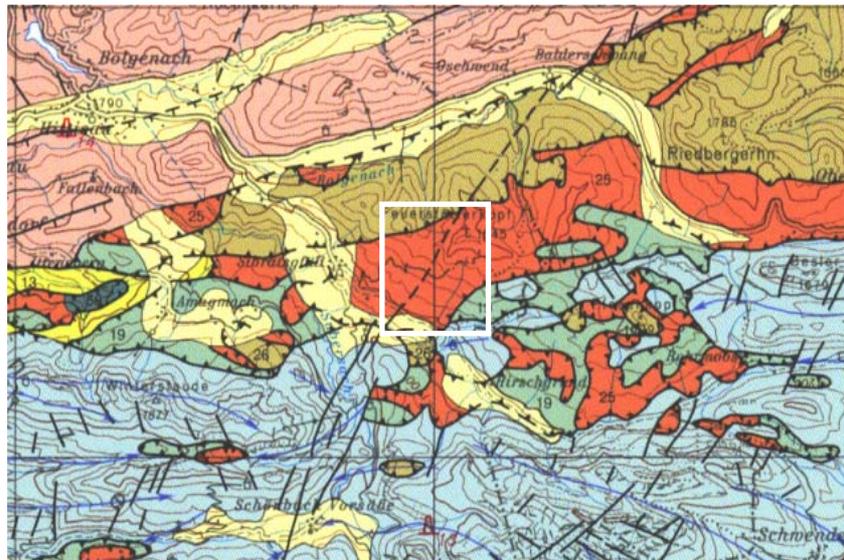
\* mündliche Mitteilung

Tab.1: Metadaten der beprobten Quellen

### 3. Geologische Situation

#### 3.1. Überblick

Anlassfall für die aerogeophysikalische Befliegung war eine ausgedehnte Hangbewegung im Mai 1999 (Rindberg / Ost Sibratsgfäll) und die Frage, ob weitere Risikozonen in der Umgebung dieser Hangbewegung zu finden sind. Das Messgebiet betrifft einen tektonisch äußerst komplexen Abschnitt in der Flyschzone (SEIBERL, 2002).



**Legende (relevanter Einheiten im Untersuchungsgebiet):**

- |  |   |
|--|---|
| <p><span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 4 Sediment am Talrand und im Gebirge: Moräne, Bach- und Hangschutt, Bergsturz (Glazial - Postglazial)</p> <p><span style="background-color: red; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 25 Feuerstätter Klippendecke (Wildflysch-Zone): extreme Gesteinszerrüttung, u.a. Konglomerat mit exotischem Kristallin (Oberkreide - Mitteleozän); mit Ophiolithen (58 - im nördlichen Bregenzerwald)</p> | <p><span style="background-color: green; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 19 Liebensteiner Decke (Kreide - Mitteleozän)</p> <p><span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 26 Vorarlberger Flysch (Oberkreide) (mit der Oberstdorfer Decke abgeschert aus der Zone von Prutz Ramosch ?)</p> |
|--|---|

Abb.2a: Ausschnitt aus der Geologisch-tektonischen Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998)

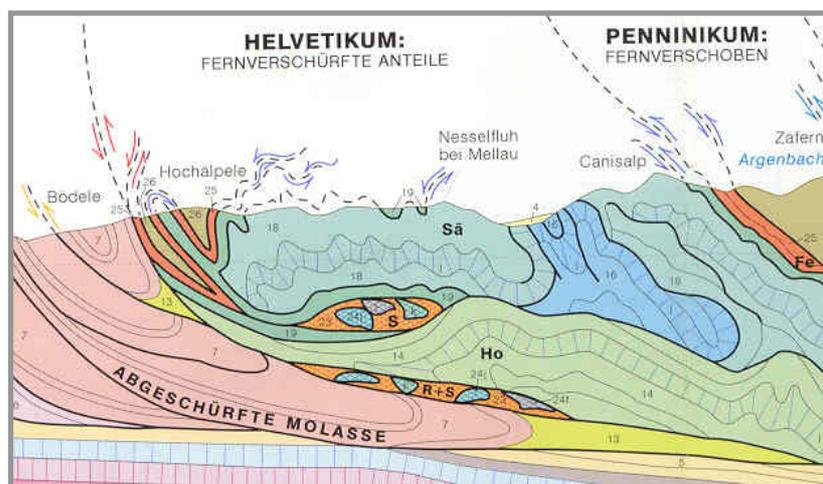


Abb.2b: Tektonischer Schnitt durch den Nordrand der Ostalpen im Bregenzer Wald; aus: OBERHAUSER & RATAY 1998

Die Nordgrenze des Messgebiets bildet das Balderschwanger Tal, das die abgeschürfte Molasse von den darauf überschobenen Serien des Helvetikums und Flysch trennt. Von Nord nach Süd finden sich im Messgebiet folgende tektonische Einheiten (vereinfacht):

- abgeschürfter und in die Schuppen und Decken des Ultrahelvetikums eingefalteter Flysch,
- Serien der Feuerstätter Klippendecke und
- Serien des helvetischen Deckenstapels.

Im Detail sind diese Serien mehrfach ineinander verschuppt und komplex verfaultet. Diese Intensiv-Tektonik am Alpennordrand führte zu einer weitgehenden Zerrüttung der Gesteinsserien. Der verbreitete hohe Zerklüftungsgrad, verbunden mit hochteilbeweglichen Gesteinsserien (Tonschiefer, Mergel, u.ä.) führt zu Risiken ausgedehnter Rutschungen und Hangkriechens. Ein aktuelles Beispiel ist die Rutschung am Rindberg östlich Sibratsgfäll. Den Hauptbewegungshorizont bilden dort die Sandstein-Tonschiefer-Abfolgen der Junghansenschichten.

Nicht nur tektonisch ist der Messbereich kompliziert, auch die stratigraphischen Verhältnisse innerhalb der einzelnen tektonischen Einheiten sind sehr differenziert. Eine Auflösung der Zusammenhänge zwischen Untergrundserie und geophysikalischen Messergebnissen muss daher besonders in diesem Fall den Weg über detaillierte Geländeaufnahmen gehen!

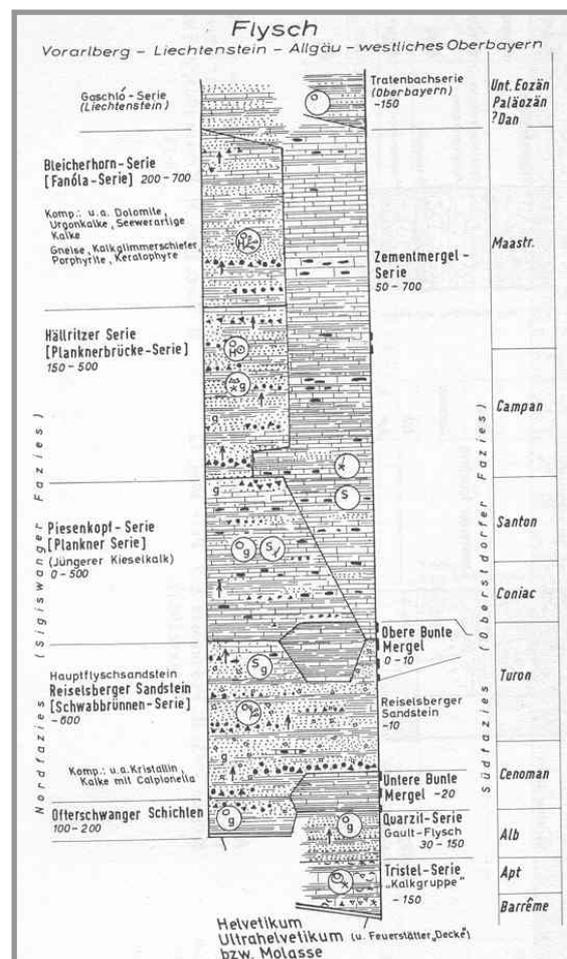


Abb.2c : Stratigraphie Rheno-danubischer Flysch/Vorarlberg; aus: GWINNER 1971

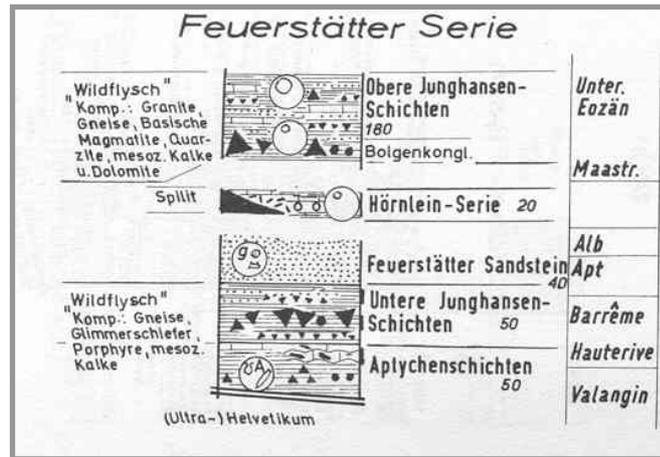


Abb.2d: Stratigraphie Feuerstätter Klippendecke; aus: GWINNER 1971

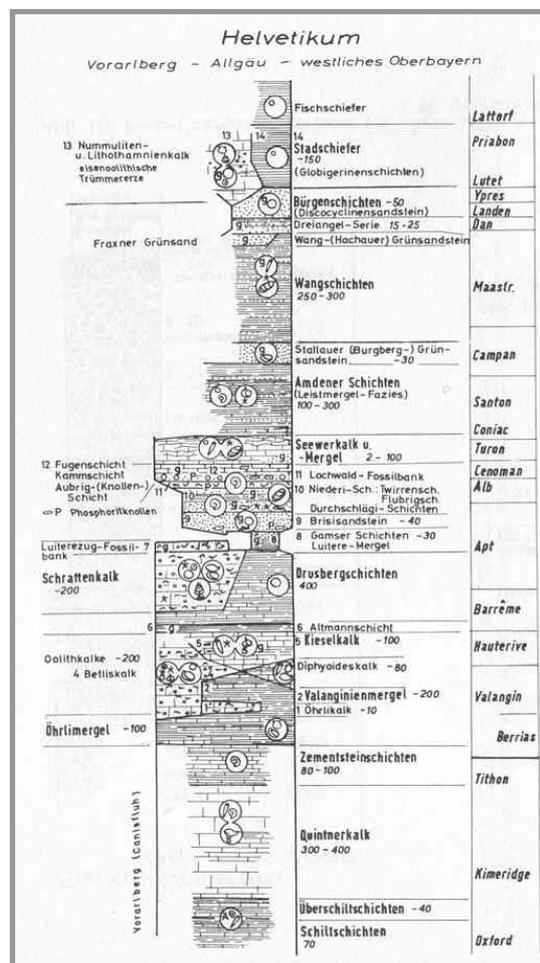
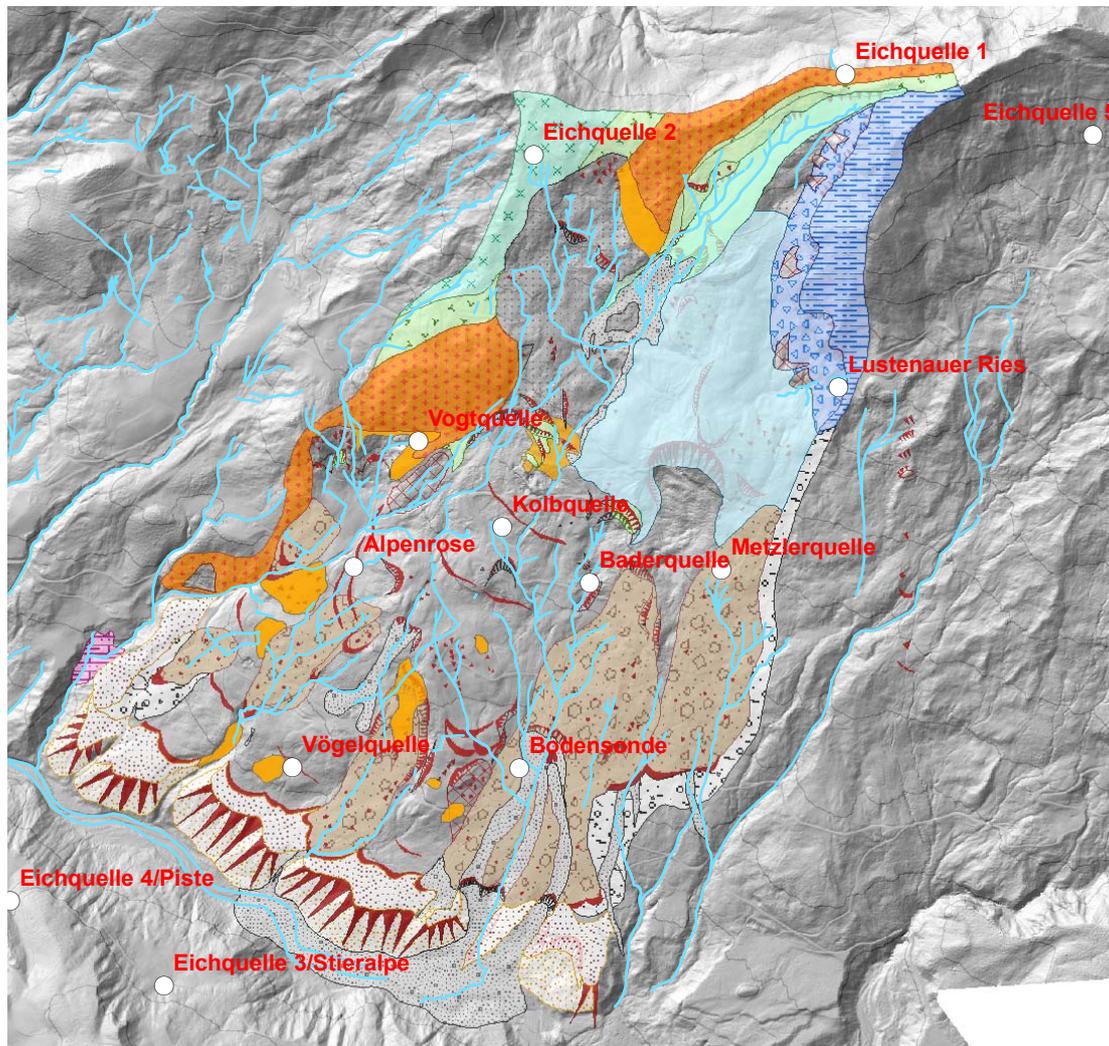


Abb.2e: Stratigraphie der helvetischen Decken in Vorarlberg; aus: GWINNER 1971

Nach der geologischen Manuskriptkarte des Blattes Bezau (ZACHER 1995) fehlen Reste von Moränen im Messgebiet. Möglicherweise wurden diese, soweit vorhanden, durch spät- und nacheiszeitliche Erosion und Hangbewegungen verlagert und abtransportiert. Die pleistozänen Sedimente werden durch Ablagerungen in Eisrandseen der Rückzugs- und Abschmelzphase des letzten Würmgletschers repräsentiert. Dies sind Schotterkörper, in denen immer wieder feinkörnige Sedimente (Schluffe, „Seetone“) eingelagert sind.

### 3.2. Geologie des hydrogeologischen Untersuchungsgebietes



#### Geology Rindberg 1

- Grundmoräne
- Junghansschichten im Schichtverband bewegt
- Feuerstaettersandstein
- Feuerstaettersandstein im Schichtverband bewegt
- Blockschutt auf Aptychenschichten
- Hangschutt ueber Aptychenschicht
- Aptychenschichten
- Leimermergel

- Quellen Rindberg
- Gewässernetz

#### Geology Rindberg 2

- Kriech- Fließmasse einer alten Hangbewegung
- Murgang
- Erd- Schuttstrom, Kriech- Fließmasse
- Staukörper am Eisrand
- Schelpen Serie
- Junghansen Schichten
- Junghansen Schichten, im Schichtverband bewegt
- Feuerstaettersandstein im Schichtverband bewegt

Abb.2f: Lage der Probenahmestellen auf geologischer Detailkartierung (Mag. Wolfgang Jaritz, Bearbeitungsstand: April 2006)

Das hydrogeologische Untersuchungsgebiet liegt zur Gänze im Bereich der Feuerstätter Decke (Penninikum). Diese wird von vier Gesteinseinheiten aufgebaut (siehe Abb. 2f).

Ursprünglich als stratigraphische Abfolge gedeutet

, werden die Gesteinsserien heute verschiedenen Faziesräumen am tektonisch zergliederten, europäischen Kontinentalabhang, bei gleichem alttertiärem Bildungsalter, zugeordnet (FESSLER 1992)

Nachfolgend werden die einzelnen Gesteinsserien lithologisch beschrieben (aus: Geomonitoring Rindberg, Jahresbericht 2001, Wildbach- und Lawinenverbauung / Gebietsbauleitung Bregenz)

### **3.2.1. Aptychen Schichten**

Die Aptychen Schichten werden von hellgrauen, dünnbankigen Mikriten (mit fließenden Übergängen ins rötliche und grünliche) aufgebaut. Sie treten in Wechsellagerung mit dunkel- bis hellgrauen Mergeln, teilweise rötlichen bis grünlichen Tonen und Tonmergeln auf. In den rötlichen Kalkbänken sind öfters bis zu 15 cm mächtige, rote, grüne oder schwarze Hornsteinkonkretionen eingelagert

### **3.2.2. Junghansen Schichten**

Unter Junghansen-Formation wird eine stark tektonisierte, verschuppte und zerscherte Wechselfolge von schwarzen Peliten und Tonschiefern mit wechselndem Sandgehalt, dunklen Mergeln, unterschiedlichen Psamiten sowie Konglomeraten und Breccien zusammengefasst.

### **3.2.3. Schelpen Serie**

Lithologisch setzt sich Schelpen Serie aus grauen bis bräunlichen Tonmergeln und hellbraunen bis ocker angewitterten Sandsteinen und Sandkalken zusammen. Die Schelpen Serie zeigt lithologisch ein Nahverhältnis zu den Gesteinen der Junghansen Schichten. Eine Differenzierung ist im Gelände meist schwierig.

### **3.2.4. Feuerstätter Sandstein**

Der Feuerstätter Sandstein wird als dichter, glaukonithaltiger Sandstein, mit scharfkantigem Bruch beschrieben, in dem stellenweise auch gröbere Einschaltungen mit einem Korndurchmesser von bis zu 4 cm auftreten. Eine Schichtung ist, wenn überhaupt vorhanden, meist undeutlich ausgeprägt, was dem Gestein ein massiges Aussehen verleiht.

## 4. Methodik/Auswertung

Für die Beurteilung der Wechselwirkung zwischen Massenbewegung und Grad der Durchfeuchtung bzw. Wasserwegigkeit wurde eine hydrogeologische Charakteristik des Hangwasserregimes durchgeführt. Dabei wurden folgende methodische Ansätze gewählt:

- A) HYDROGEOLOGISCHE REIHENBEOBACHTUNG (20.07.2004 – 30.06.2005)
- B) ISOTOPENHYDROLOGISCHE REIHENBEOBACHTUNG (20.07.2004 – 30.06.2005)
- C) TRACERVERSUCH (SALZTRACER)
- D) GEOCHEMISCHE-MINERALOGISCHE GESTEINSANALYTIK UND HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNG DER SPURENELEMENTE IM WASSER

### 4.1. A) Hydrogeologische Reihenbeobachtung (20.07.2004 – 30.06.2005)

An 12 Quellen (siehe Tab.1) im Hangbewegungsbereich Rindberg und an zwei Referenzquellen am Gegenhang (SE des Rubaches) wurden von Frau DI Margarete Wöhler-Alge (Wildbach und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Bregenz) in Form einer Reihenbeobachtung monatlich eine

- ▶ *hydrochemische Probenahme*
- ▶ *Aufnahme hydrogeologischer Feldparameter*

- Schüttung (l/sec)
- Leitfähigkeit ( $\mu\text{S/cm}$ )
- Wassertemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
- pH-Wert

durchgeführt.

Die Probenahme erfolgte je nach witterungsbedingter Zugängigkeit zu den Quellen am 20.7./19.08./23.09./04.11./26.11.2004 und 07.01./09.02./11.03./07.04./12.05/30.05./30.06.2005.

Der tatsächliche Zeitpunkt der Probenahme je Quelle ist den Diagrammen (Anhang A) zu entnehmen.

### 4.1.1. Hydrologische Grundlagen

Die hydrologischen Basisdaten für die Auswertung und Interpretation der hydrogeologischen Reihenbeobachtung in Sibratsgfäll wurden von DI Margarete Wöhler-Alge (Wildbach und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Bregenz) und von Mag. Wolfgang Jaritz (Büro Moser / Jaritz) zur Verfügung gestellt.

Diese Basisdaten umfassen:

- A.) Niederschlagsdaten des Hydrographischen Dienstes Österreich, HD Vorarlberg
  - 1.) Messstelle Sibratsgfäll, HZB-Nr.:100685, HD-Nr.:8000068
- B.) Niederschlagsdaten & Lufttemperatur der automatischen Messstelle (Fa. Sommer)
  - 2.) Roßlöcher Graben in Rindberg (Sibratsgfäll)
- C.) Daten der automatischen Erfassung der Schneemächtigkeit (Fa. Sommer)
  - 3.) Rindberg - Oberhangbereich am Westfuß des Feuerstätterkopfes (Anbruchbereich Feuerstätterkopf)

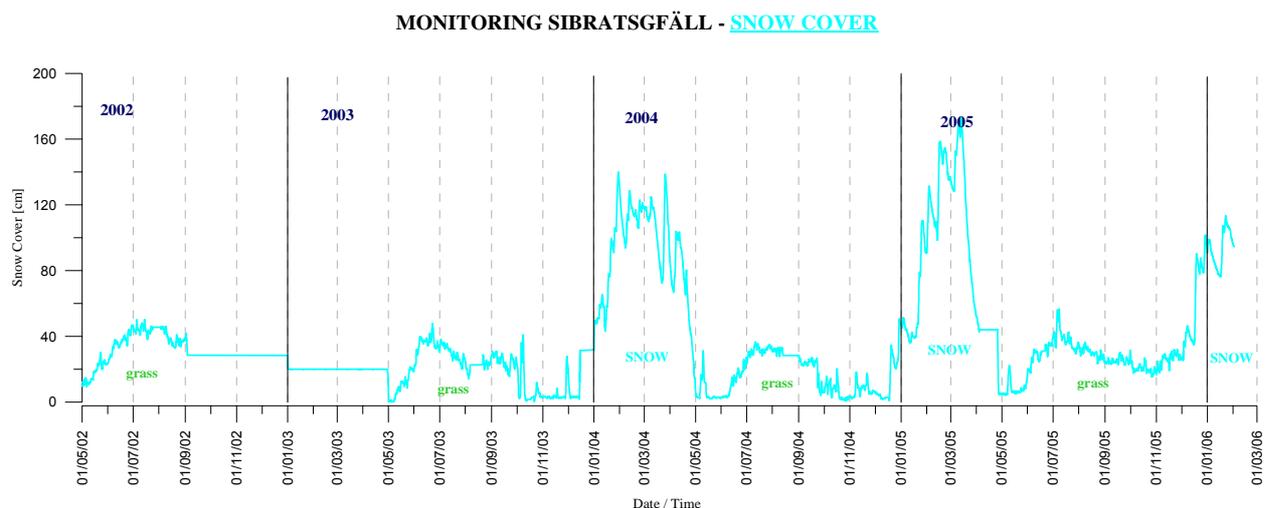


Abb.2g: Schneemächtigkeit (cm) im Untersuchungsgebiet (Radarmessung)

Aus: R. SUPPER et al.: Softwareentwicklung für ein optimiertes Geoelektrisches Monitoring der Hangrutschung Rindberg, Enderbericht".- Unveröffentl.Bericht Geol.Bundesanstalt, Wien 2007

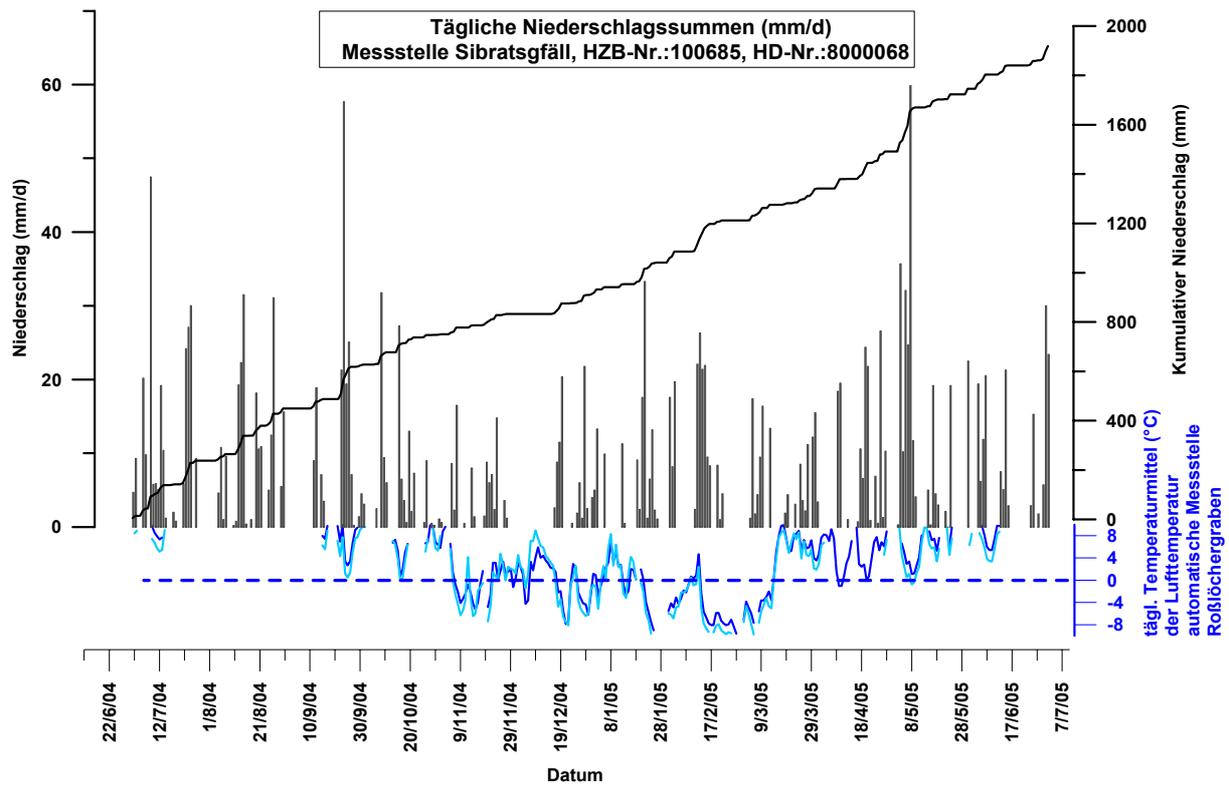


Abb.2h: Niederschlagsdaten der Messstelle Sibratsgfäll, HZB-Nr.: 100685

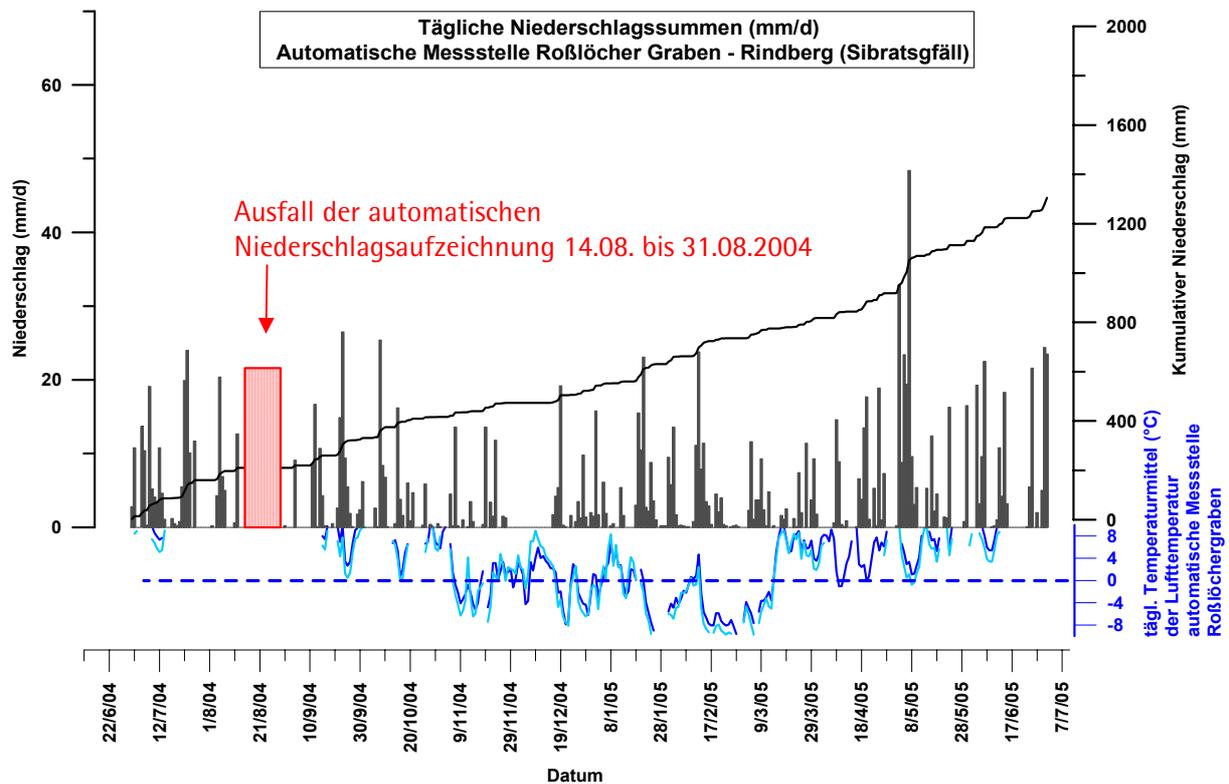


Abb.2i: Niederschlagsdaten der automatischen Messstelle Roßlöcher Graben in Rindberg

Zeitintervall zwischen Probenahmepunkten	Kumulativer Niederschlag	Durchschnittlicher Niederschlag /Tag	Messstation
	(mm)	(mm)	
01.07.2004 – 20.07.2004	88	4,6	Automatische Messstation
20.07.2004 – 19.08.2004	186	6,2	Automatische Messstation
19.08.2004 – 23.09.2004	181	5,2	Autom. Messstation & Messstation
23.09.2004 – 04.11.2004	125	2,9	Automatische Messstation
04.11.2004 – 26.11.2004	57	2,7	Automatische Messstation
26.11.2004 – 07.01.2005	80	1,9	Automatische Messstation
07.01.2005 – 09.02.2005	110	3,3	Automatische Messstation
09.02.2005 – 11.03.2005	108	3,8	Automatische Messstation
11.03.2005 – 07.04.2005	48	1,8	Automatische Messstation
07.04.2005 – 12.05.2005	252	7,2	Automatische Messstation
12.05.2005 – 30.05.2005	52	2,8	Automatische Messstation
30.05.2005 – 30.06.2005	182	5,8	Automatische Messstation

Tab.1a: Kumulative Niederschlagswerte zwischen den einzelnen Probenahmen

#### 4.1.2. Hydrochemie & Feldparameter

Anhand der hydrochemischen Analysen der Hauptparameter (Kationen/Anionen) und den „Feldparametern“ (Schüttung, Leitfähigkeit, Wassertemperatur, pH-Wert) werden die unterschiedlichen Quellen nach ihrem Wassertyp charakterisiert. Eine einzelne Analyse spiegelt die Quellcharakteristik (Status quo) zum Zeitpunkt der Probenahme mit all seinen Randbedingungen, wieder. Zeitreihen hingegen bieten nun zusätzlich die Möglichkeit, basierend auf der Änderung der hydrochemischen/hydrophysikalischen Parameter des Wassers, eine detaillierte Charakteristik der Quelle/des Grundwassers (hydrodynamische Charakteristik) in Abhängigkeit zu unterschiedlichen Rahmenbedingungen (hydrologische Parameter, lithofazielle Parameter) zu erstellen.

Die umfassende hydrochemische Analytik wurde an der Geologischen Bundesanstalt / FA Geochemie durchgeführt.

Die Auswertung und Darstellung der Analysenergebnisse erfolgte mit:

- *Statistik*
- *Piper Diagramm*
- *CoDaPack Biplot-Diagramm*
- *Zeitreihendiagrammen* (Ganglinien)
- *Beziehungsdigrammen* (Summe Kationen/Anionen versus Einzelparameter)  
(Ca/Mg – Na/K – HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub> – Verhältnisse)
- *Konturplots* (Flächeninformation)



Abb.3. Lustenauer Ries Quelle / Jänner 2005



Abb.4. Metzler Quelle / Juli 2004

#### 4.1.2.1. Statistische Auswertung

Die hydrochemischen Daten (Messwerte Kationen und Anionen in mg/l) der Reihenuntersuchungen an Quellen in Rindberg wurden einer einfachen statistischen Bearbeitung unterzogen. Das Ergebnis ist in den Tabellen 2 bis 5 dargestellt.

*Tabelle 2* zeigt die Statistik der **Kationen- und Anionensummen** hydrochemischer Reihenuntersuchungen in Rindberg. Es wurde jeweils der Minimum-, Maximum-, Mittel-, Medianwert sowie die Standardabweichung und die Standardabweichung in % (normiert auf Mittelwert) dargestellt. Damit ist es möglich, Aussagen hinsichtlich der hydrochemischen Charakteristik der Gesamtmineralisierung der einzelnen Quellen zu treffen. Durch die Standardabweichung in % kann die Schwankungsbreite der Gesamtmineralisation je Quelle (Abb. 4a) miteinander verglichen werden.

In der Tabelle 3 und 4 sind die Minimum-, Maximum-, Medianwerte der **einzelnen Parameter** der Hauptelemente (Ca, Mg, Na, K, Sr, HCO<sub>3</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) getrennt aufgelistet. Damit wird die hydrochemische Charakteristik der Gesamtmineralisation auch hinsichtlich der hydrochemischen Charakteristik der einzelnen Parameter verfeinert.

In der Tabelle 5 (Statistik Standardabweichung der einzelnen Parameter in % der hydrochemischen Reihenuntersuchungen Rindberg) wird die Schwankungsbreite in % für die einzelnen hydrochemischen Parameter (Ca, Mg, Na, K, Sr, HCO<sub>3</sub>, Cl, F, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) getrennt dargestellt. Durch die Standardabweichung in % kann die Schwankungsbreite eines einzelnen Parameters innerhalb der untersuchten Quellen miteinander verglichen werden.

Grün markierte Zellen in den Tabellen 2-5 stellen jeweils den Minimumwert, orange markierte Zellen den Maximalwert für einen Parameter dar.

Zusätzlich erfolgte mit der Software „*CoDaPack* (Thió et al., 2005) – *An Excel and Visual Basic Based Software for Compositional Data Analysis* – eine statistische Auswertung. Dabei werden Zusammensetzungsdaten (Composite Data) auf 100 % aufsummiert und für die statistische Analyse verwendet (z.B. Hydrochemische Analysedaten).

In der hydrochemischen Hauptkomponentendarstellung als Biplot (Abb. 7) wird die

- Gruppierung der kumulativen Anteile zueinander
- **Streuung der einzelnen Variablen** (Hauptelemente)  
Je länger die „Strahlen“ umso größer ist die Variation
- **Beziehung der einzelnen Elemente zueinander**  
= Lage der „Strahlen“ zueinander
- **Streuung innerhalb der einzelnen Probengruppen**  
(z.B. unterschiedliche Probenahmezeitpunkte an einer Quelle)

dargestellt.

Quellbezeichnung	Min (mg/l)		Max (mg/l)		Mittelwert (mg/l)			Medianwert (mg/l)			Standardabweichung		Standardabweichung in %
	Kationen summen	Anionen summen	Kationen summen	Anionen summen	Kationen summen	Anionen summen	eq	Kationen summen	Anionen summen	eq	Kationen	Anionen	%
Eichquelle 1	31.0	94.9	44.0	133.5	40.2	122.9	2.1	41.61	127.54	2.2	4.08	12.39	10.46
Eichquelle 2	43.8	133.5	54.9	165.9	50.0	151.6	2.5	50.58	153.71	2.5	3.78	11.26	7.57
Lustenauer Ries Quelle	49.0	150.2	59.7	184.2	53.8	165.7	2.7	54.33	167.69	2.8	3.23	9.89	5.94
Kolbquelle	86.0	249.1	123.2	349.6	112.4	320.3	5.9	117.63	333.18	6.2	11.49	30.94	10.39
Baderquelle	52.9	160.2	56.6	171.0	55.3	166.8	2.8	55.60	166.81	2.8	1.25	3.50	2.19
Metzlerquelle	51.0	155.2	57.3	173.4	54.9	166.2	2.8	55.80	168.80	2.8	2.20	6.22	3.91
Vogtquelle	14.8	44.5	31.5	95.1	25.4	76.8	1.3	27.95	84.73	1.4	5.96	18.02	23.42
Vögelquelle	38.8	110.9	63.6	189.9	55.1	163.6	2.7	60.77	181.75	3.0	8.95	28.82	16.94
Alpenrosequelle	43.6	133.7	51.1	156.1	46.8	143.5	2.4	46.71	142.92	2.4	2.21	6.73	4.70
Bodensonde	94.9	285.5	120.1	360.4	108.0	325.5	5.4	107.63	324.37	5.4	8.66	25.56	7.89
Eichquelle 5	37.0	114.0	47.8	146.9	41.4	127.2	2.1	40.36	124.02	2.0	4.79	14.86	11.64

Tab.2: Statistik der Kationen- und Anionensummen hydrochemischen Reihenuntersuchungen Rindberg

Quellenbezeichnung	Ca (mg/l)			Mg (mg/l)			Na (mg/l)			K (mg/l)			Sr (µg/l)		
	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median
Eichquelle 1	28.2	39.0	36.8	1.7	3.4	3.0	0.8	1.7	1.42	0.2	0.6	0.40	46	84	76
Eichquelle 2	42.0	52.4	48.6	0.9	1.2	1.0	0.5	0.9	0.69	0.3	0.5	0.41	150	215	200
Lustenauer Ries Quelle	46.0	56.2	50.7	1.8	2.2	2.0	0.8	1.2	1.05	0.2	0.5	0.36	57	79	74
Kolbquelle	68.0	98.0	91.3	8.2	13.5	13.0	6.2	13.0	9.65	1.8	2.9	1.91	124	485	433
Baderquelle	46.0	49.0	48.0	2.7	3.0	2.9	2.3	4.1	3.33	1.3	1.6	1.37	110	130	123
Metzlerquelle	46.0	51.5	50.0	2.0	2.3	2.2	2.2	3.2	2.94	0.5	0.8	0.60	70	88	85
Vogtquelle	13.5	28.0	25.3	0.5	1.4	1.1	0.5	2.0	1.31	0.2	0.4	0.27	31	72	56
Vögelquelle	29.8	53.0	49.2	1.5	3.5	2.8	3.0	5.8	5.40	1.2	3.8	2.80	108	325	285
Alpenrosequelle	39.0	46.0	41.8	2.6	3.0	2.8	1.5	1.8	1.68	0.3	0.5	0.45	118	140	132
Bodensonde	85.0	106.0	98.0	3.2	4.0	3.7	3.6	9.7	5.55	1.2	1.6	1.38	235	315	271
Eichquelle 5	35.0	45.2	38.3	1.3	1.7	1.4	0.4	0.5	0.44	0.3	0.3	0.30	36	45	39

Tab.3 : Statistik Kationen der hydrochemischen Reihenuntersuchungen Rindberg

Quellenbezeichnung	HCO <sub>3</sub> (mg/l)			Cl (mg/l)			NO <sub>3</sub> (mg/l)			SO <sub>4</sub> (mg/l)			H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (mg/l)		
	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median
Eichquelle 1	85.4	115.2	111.3	0.3	0.8	0.4	1.50	3.00	1.9	5.7	16.6	14.0	3.2	4.0	3.7
Eichquelle 2	127.4	155.7	146.9	0.2	0.5	0.2	0.50	0.90	0.8	4.8	9.1	6.0	4.1	5.3	4.8
Lustenauer Ries Quelle	145.0	178.7	161.4	0.2	0.6	0.3	1.60	3.50	2.1	2.7	4.1	3.4	3.4	4.2	3.8
Kolbquelle	144.0	190.4	175.0	0.1	0.7	0.4	1.00	3.00	2.0	86.0	178.0	150.0	5.0	5.6	5.2
Baderquelle	144.0	154.8	148.9	0.4	0.7	0.5	4.60	5.40	5.0	10.6	15.5	11.9	3.1	4.4	4.0
Metzlerquelle	143.5	158.2	152.2	0.3	0.6	0.3	2.90	3.80	3.3	8.3	14.8	10.9	3.3	4.0	3.8
Vogtquelle	39.5	87.0	77.1	0.3	0.5	0.4	0.90	1.90	1.1	2.6	7.0	6.2	3.3	5.0	4.1
Vögelquelle	95.0	182.0	169.4	1.5	4.0	2.6	0.40	4.00	1.3	5.5	10.0	6.8	4.7	8.0	7.3
Alpenrosequelle	120.6	141.0	129.0	0.3	0.7	0.4	1.10	1.90	1.6	10.8	13.5	11.6	3.4	3.9	3.6
Bodensonde	265.6	334.9	300.8	0.6	2.7	1.1	0.40	1.20	0.8	12.7	27.0	21.0	3.8	5.1	4.2
Eichquelle 5	110.3	142.1	119.7	0.2	0.3	0.2	0.70	1.30	1.1	2.8	3.5	2.9	3.3	3.6	3.4

Tab.4 :Statistik Anionen und H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> der hydrochemischen Reihenuntersuchungen Rindberg

Quellenbezeichnung	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	HCO <sub>3</sub> (%)	Cl (%)	F (%)	NO <sub>3</sub> (%)	SO <sub>4</sub> (%)	Sr (%)	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Eichquelle 1	9.02	21.02	24.98	26.36	8.80	40.16	33.38	20.00	26.72	18.94	9.26
Eichquelle 2	7.42	12.41	19.56	16.98	7.05	39.67	26.61	19.05	21.88	11.65	9.58
Lustenauer Ries Quelle	6.05	6.92	15.31	23.10	6.12	34.61	19.97	23.86	14.52	9.35	6.92
Kolbquelle	10.57	12.53	22.84	14.95	8.56	37.30	20.99	34.53	17.85	25.10	3.90
Baderquelle	1.77	3.10	17.71	7.10	1.91	18.19	17.30	5.11	13.88	5.52	9.02
Metzlerquelle	3.68	5.06	11.61	16.38	3.37	27.11	17.81	8.07	16.33	7.26	6.96
Vogtquelle	22.84	29.81	47.15	23.49	23.83	22.25	37.17	29.27	32.00	26.30	13.17
Vögelquelle	17.70	21.40	22.97	30.35	20.65	31.75	32.37	83.60	20.42	31.6	15.83
Alpenrosequelle	4.83	5.04	6.40	11.87	4.69	29.06	33.64	16.11	7.52	6.10	5.24
Bodensonde	7.43	9.45	31.44	9.76	7.66	58.37	6.05	32.66	22.18	10.49	11.39
Eichquelle 5	11.56	13.21	14.29	10.92	11.78	22.22	18.95	25.20	10.92	9.72	4.38
Mittelwert	9.35	12.72	21.30	17.39	9.49	32.79	24.02	27.04	18.57	14.73	8.70

Tab.5: Statistik Standardabweichung der einzelnen Parameter in % der hydrochemischen Reihenuntersuchungen Rindberg

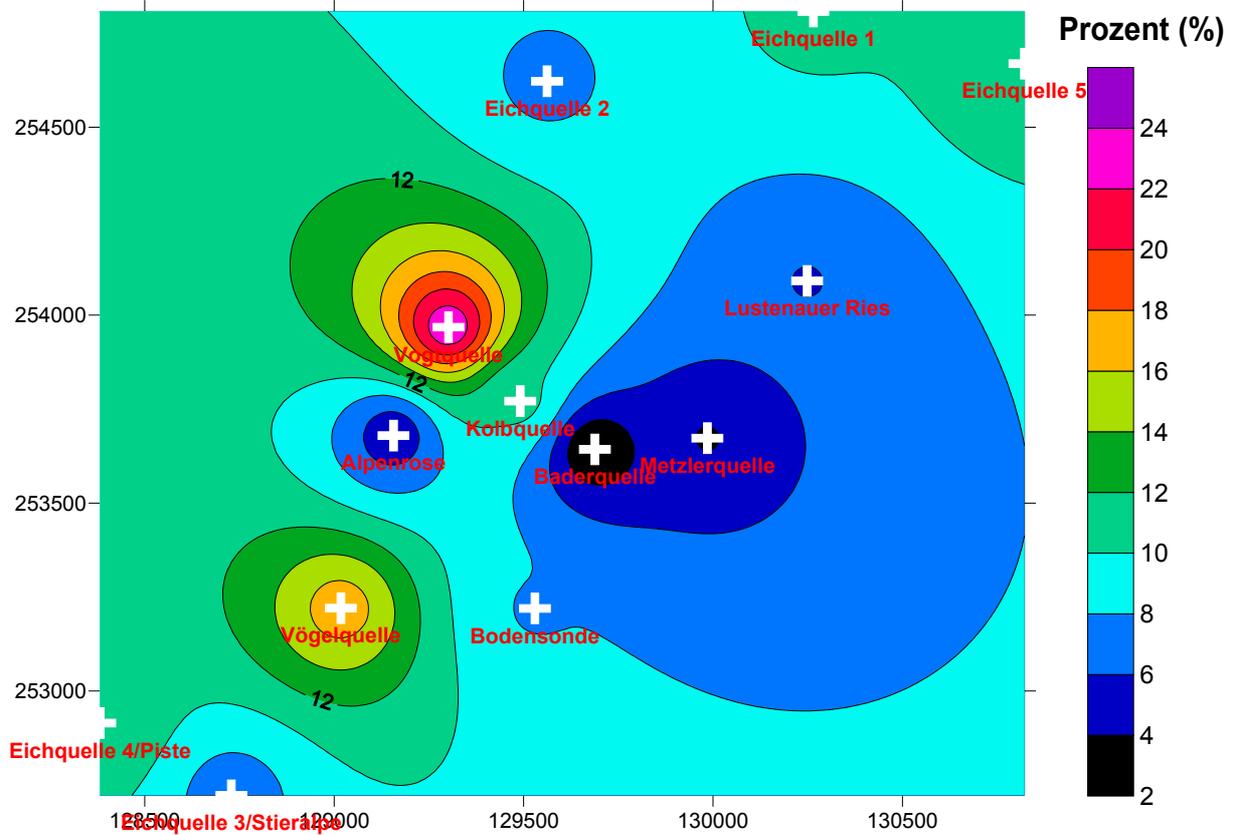


Abb. 4a: Standardabweichung in Prozent (%) vom Medianwert (Reihenbeobachtung) der Gesamtmineralisierung der einzelnen Quellen am Rindberg

#### 4.1.2.2. Piper Diagramm

Eine übersichtliche Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Wasserproben am Rindberg ist der Abbildung 5 zu entnehmen. In dieser Darstellung können die Ionenbeziehungen zwischen den Kationen und den Anionen und der Kationen bzw. der Anionen jeweils untereinander verglichen werden.

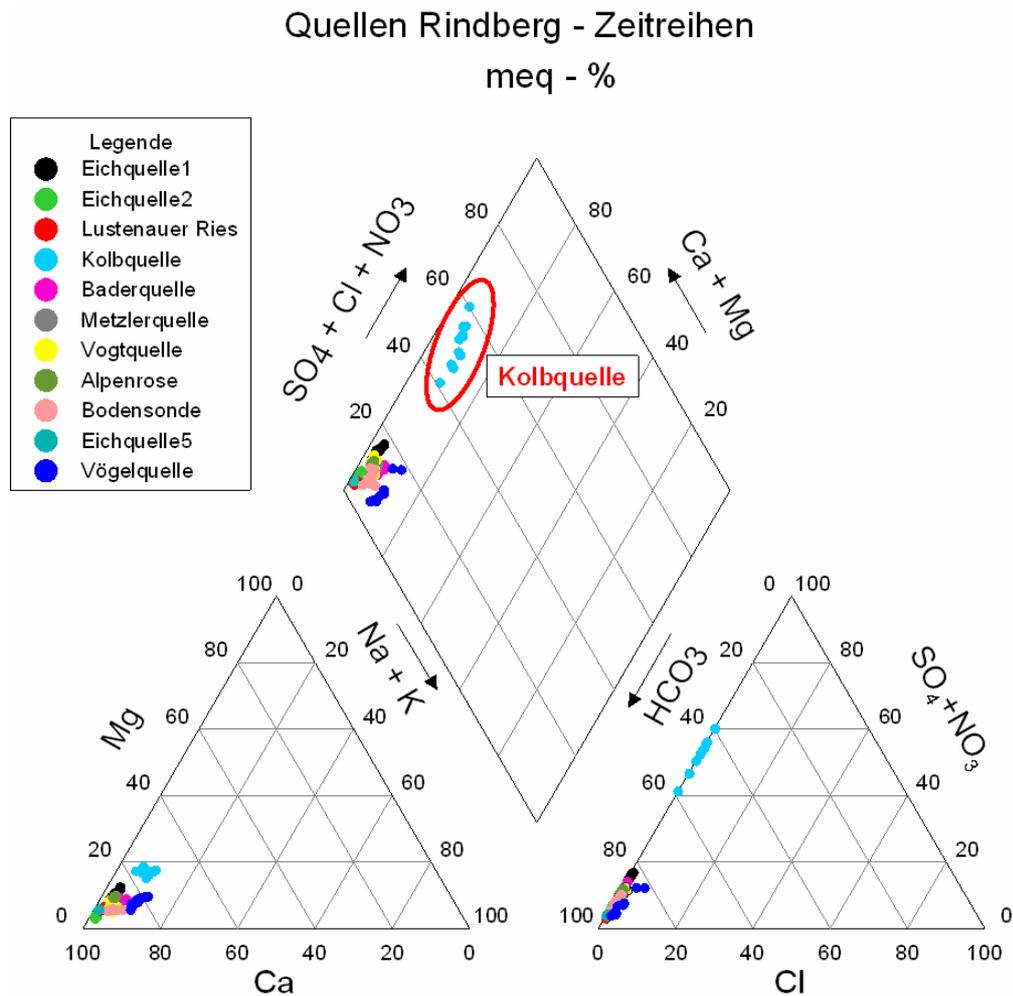


Abb.5: Darstellung und Typisierung der beprobten Quellen im Piper-Diagramm

*Hydrochemische Wassertypen (Untertypen)  
(FURTAK & LANGGUTH 1967 modifiziert)*

- ① Erdalkalisch - carbonatische Wässer (Untertypen 8 - 10)
- ② Erdalkalische carbonatisch - sulfatische Wässer
- ③ Erdalkalisch - sulfatische Wässer
- ④ Erdalkalisch - alkalisch - carbonatische Wässer
- ⑤ Erdalkalisch - alkalisch - sulfatische Wässer
- ⑥ Alkalische - carbonatische Wässer
- ⑦ Alkalische - sulfatische Wässer
- ⑧ Ca - carbonatische Wässer (Mg < 20 (eq)%; Untertyp von 1)
- ⑨ Ca - Mg - carbonatische Wässer (Mg = 20 - 40 (eq)%; Untertyp von 1)
- ⑩ Dolomit - carbonatische Wässer (Mg > 40 (eq)%; Untertyp von 1)

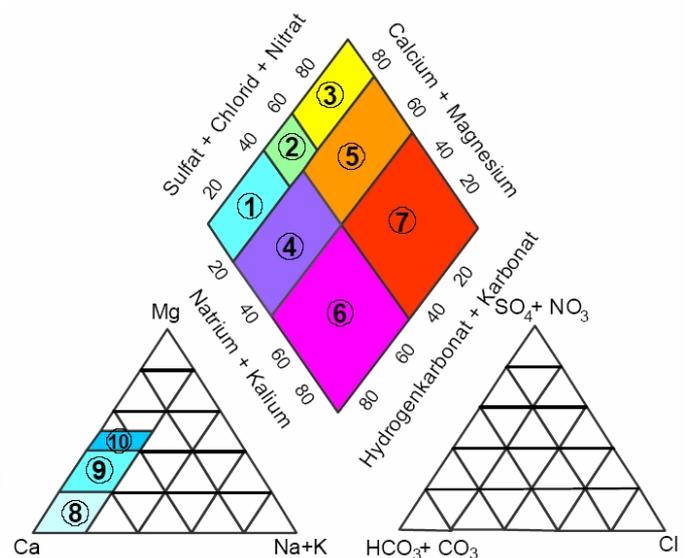


Abb.6: Einteilung der Wassertypen nach Furtak & Langguth, 1967 aus: Hydrochemische Karte Österreichs, Umweltbundesamt 2005

Die Abbildung 5 zeigt, dass mit einer Ausnahme (Kolb Quelle), Ca – carbonatische Wässer (Ca-HCO<sub>3</sub>) dominieren. Hingegen entspricht die hydrochemische Zusammensetzung der Kolbquelle einem erdalkalisch carbonatisch-sulfatischem Wasser (Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>).

#### 4.1.2.3. CoDaPack Biplot-Diagramm

Zusätzlich erfolgte mit der Software „*CoDaPack* (Thió et al., 2005) – *An Excel and Visual Basic Based Software for Compositional Data Analysis* – eine statistische Auswertung. Dabei werden Zusammensetzungsdaten (Composite Data) auf 100 % aufsummiert und für die statistische Analyse verwendet (z.B. Hydrochemische Analysedaten).

In der hydrochemischen Hauptkomponentendarstellung als Biplot (Abb. 7) wird die

- **Gruppierung** der kumulativen Anteile zueinander
- **Streuung der einzelnen Variablen** (Hauptelemente)  
Je länger die „Strahlen“ umso größer ist die Variation
- **Beziehung der einzelnen Elemente zueinander**  
= Lage der „Strahlen“ zueinander
- **Streuung innerhalb der einzelnen Probengruppen**  
(z.B. unterschiedliche Probenahmezeitpunkte an einer Quelle)

dargestellt.

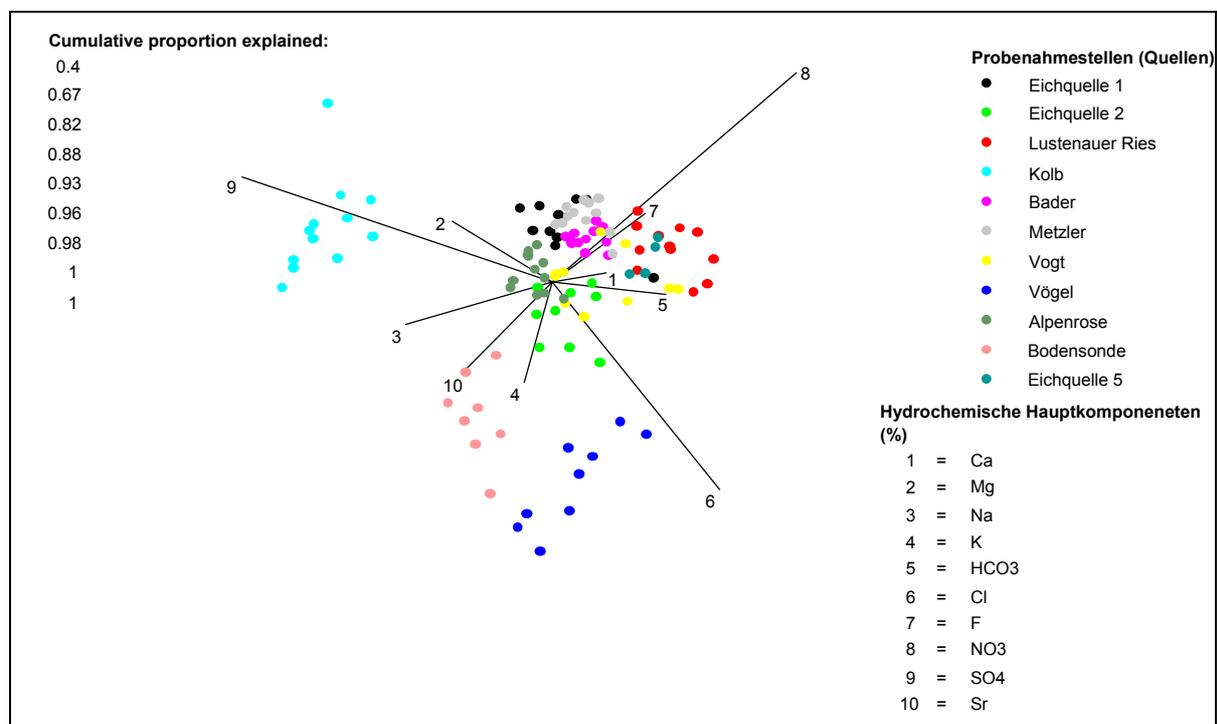


Abb.7: Graphische Darstellung der hydrochemischen Daten Rindberg (mg/l) als „Compositional Biplot-Diagramm mit der Software „CoDaPack (Thió et al., 2005)

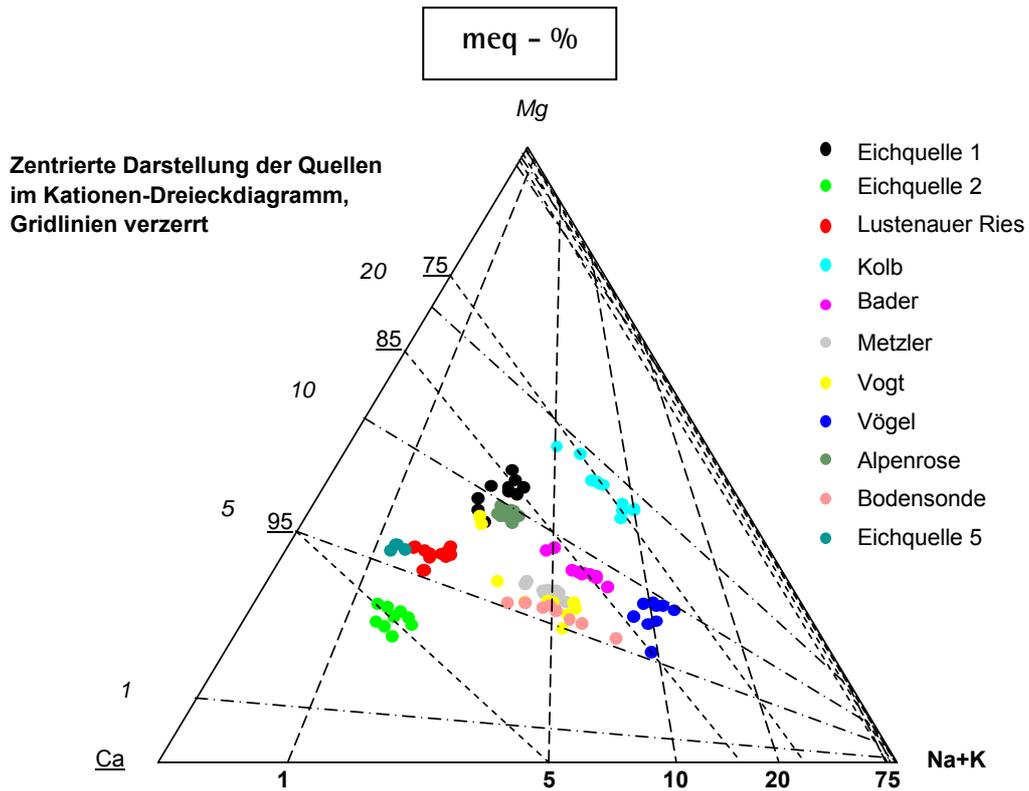


Abb.8: Ternäre Darstellung der Kationenbeziehung (meq %), Daten graphisch im Dreiecksdiagramm zentriert, frei gewählte Grid-Werte

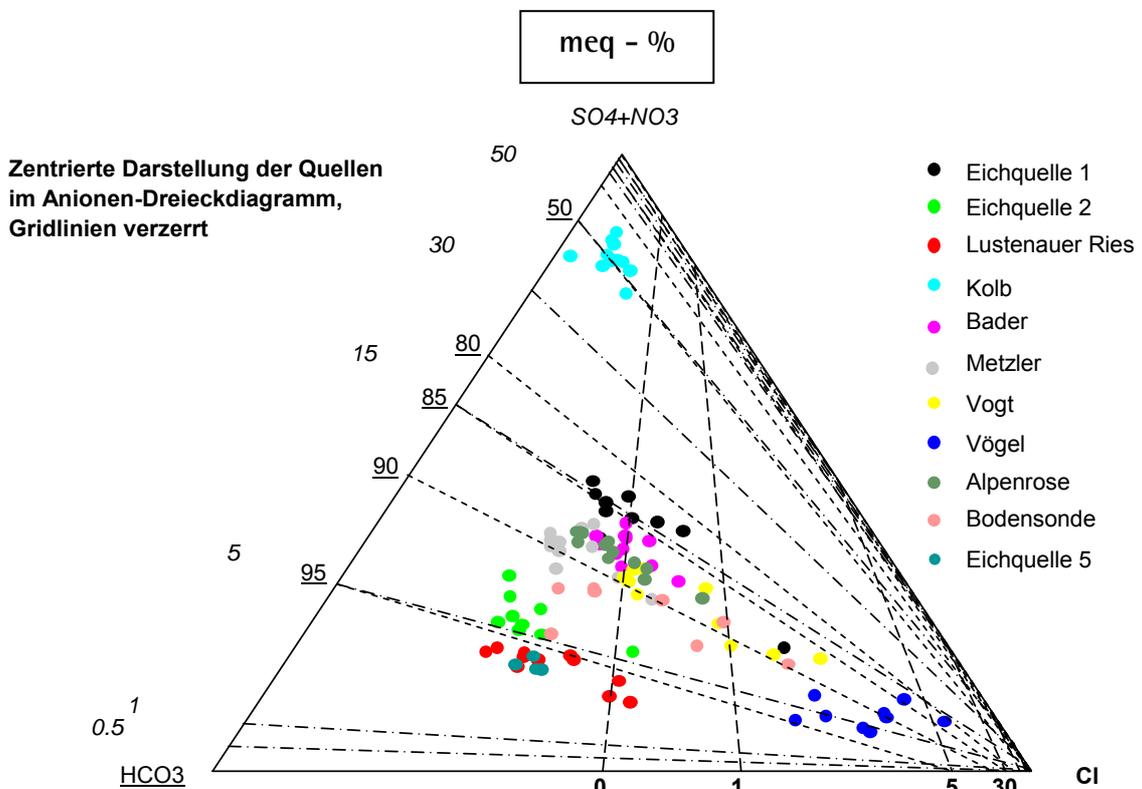


Abb.9: Ternäre Darstellung der Anionenbeziehung (meq %), Daten graphisch im Dreiecksdiagramm zentriert, frei gewählte Grid-Werte

Die Darstellung der hydrochemischen Hauptelemente als Biplot in der Abb. 7 zeigt anhand der Länge der „Strahlen“ die Streuung in den einzelnen Variablen (Hauptelementen). Sehr geringe Streuungen weisen die Elemente Ca, Mg, und HCO<sub>3</sub> auf. Die größten Streuungen werden durch die Elemente SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub> verursacht.

Dazu muss aber beachtet werden, dass dieselbe Streuung (Variabilität) in den Werten nichts über ihre tatsächliche Konzentration des Hauptparameters aussagt und daher nur bedingt miteinander zu vergleichen sind. D.h. eine Variabilität in den Werten von einem zu zwei mg/l (vgl. Cl) zeigt die gleiche Streuung wie Werte, die von 100 zu 200 mg/l streuen (vgl. SO<sub>4</sub>) und daher womöglich eine größere Bedeutung besitzen.

Anhand der Chemie lassen sich vor allem die Kolbquelle (deutlicher Einfluss von SO<sub>4</sub>), die Bodensonde (deutlicher Einfluss von K, Sr) und die Vögelquelle (deutlicher Einfluss von K und Cl) als „eigenständige“ Gruppen im Sinne der hydrochemischen Zusammensetzung ansprechen.

Splittert man die ternäre Darstellung im Kationen- bzw. Anionendreieck des PIPER-Diagramms (Abb. 5) noch detaillierter auf (Abb. 8 & 9 in der zentrierten Dreiecksdarstellung mit frei gewähltem grid) so ist ersichtlich, dass auch noch in geringsten Konzentrationsunterschieden (z.B. Eichquelle 1 und Lustenauerriesquelle) deutliche Gruppierungen vorliegen.

#### 4.1.2.4. Zeitreihendiagramme (Ganglinien)

Es wurden a) hydrochemische Zeitreihendiagramme (Abb.13) und b) Zeitreihendiagramme der Feldparameter (Schüttung, Leitfähigkeit, Wassertemperatur und pH-Wert) in der Abbildung 14 über den Zeitraum eines hydrologischen Jahres erstellt.

Diese Zeitreihen wurden in Beziehung zum Niederschlag (tägliches Mittel in mm) und zur Lufttemperatur (tägliches Mittel °C) gesetzt. Zusätzlich beinhaltet das Zeitreihendiagramm der Feldparameter  $^{18}\text{O}$  Ganglinien (Sauerstoff – 18). Mit diesen Diagrammen wird die Wechselwirkung des Grundwassers auf hydrologische Einflussgrößen beschrieben und trägt zur Charakterisierung des (dynamischen) Grundwassersystems bei.

Die täglichen Niederschlags- und Temperaturwerte vor Ort (Mess- Systemtechnik Sommer) wurden seitens des ZT Büro MOSER/JARITZ bearbeitet und zur Verfügung gestellt.

#### 4.1.2.5. Beziehungsdiagramme

Für eine detaillierte Interpretation der hydrochemischen Veränderung der einzelnen Wässer zu verschiedenen Probenahmezeitpunkten wurde die Äquivalentsumme der Kationen zu den Äquivalenten der einzelnen Kationen in Beziehung gesetzt (Abb.16). Desgleichen wurde die Äquivalentsumme der Anionen zu den Äquivalenten der einzelnen Anionen in Beziehung gesetzt. Daraus lassen sich einerseits Rückschlüsse auf Zumischung/Abführung einzelner hydrochemischer Parameter ziehen, oder andererseits ein allfälliger Verdünnungsmechanismus des Grundwassers (z.B. Regen, Schneeschmelze) erkennen.

Zusätzlich wurden Beziehungsdiagramme in Form von „Verhältnisdiagrammen“ dargestellt. Dabei wird das Verhältnis von zwei Messwertparametern (Äquivalente) auf der Ordinate (Y-Achse) den Äquivalentsummen (Kationen oder Anionen) auf der Abszisse (x-Achse) gegenübergestellt und beschrieben. Folgende Verhältnisse wurden dargestellt:  $\text{Ca/Mg} - \text{Na/K} - \text{HCO}_3/\text{SO}_4$  (Abb. 10-12). Dadurch lassen sich einerseits Gruppierungen darstellen, andererseits kann bei Reihenuntersuchung auf Grund der Änderung des Verhältnisses der beiden Messwertparameter zueinander auf dynamische, hydrochemische Eigenschaften geschlossen werden.

#### 4.1.2.6. Konturplots

Die Verteilung der einzelnen hydrochemischen Parameter (Haupt-Kationen & Anionen, elektr. Leitfähigkeit, Strontium, Kieselsäure) jeder Quelle werden flächig als Konturplots dargestellt. Verwendet wird dabei der Medianwerte der einzelnen Parameter einer hydrogeologischen Zeitreihe (z.B. der Parameter Strontium – Abb. 15). Zusammen mit den Ergebnissen der hydrochemischen Spurenelementanalytik wird damit versucht eine Korrelation zwischen „Hydrofazies“ und „Lithofazies“ (Geologie) herzustellen.

Die zahlreichen Diagramme hinsichtlich *Zeitreihendiagramme*, *Beziehungsdiagramme* und *Konturplots* sind als Anhang A-D als großformatige Plots beigefügt. Nachfolgend sind diesbezüglich Beispieldiagramme dargestellt (Abb. 13-16).

### Calcium-Magnesiumverhältnis

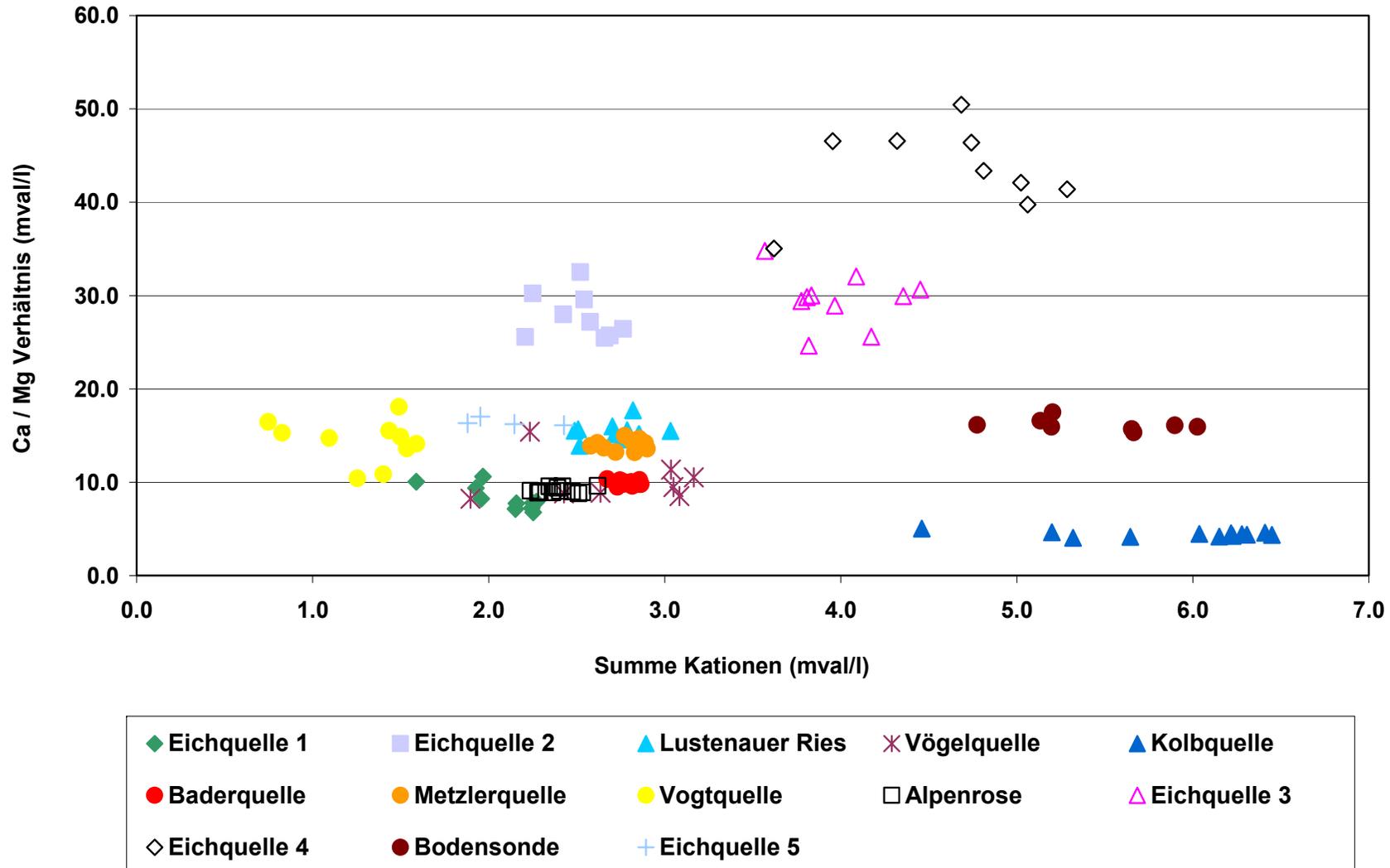


Abb.10: Calcium / Magnesium Verhältnisdiagramm

### Natrium-Kalium Verhältnis

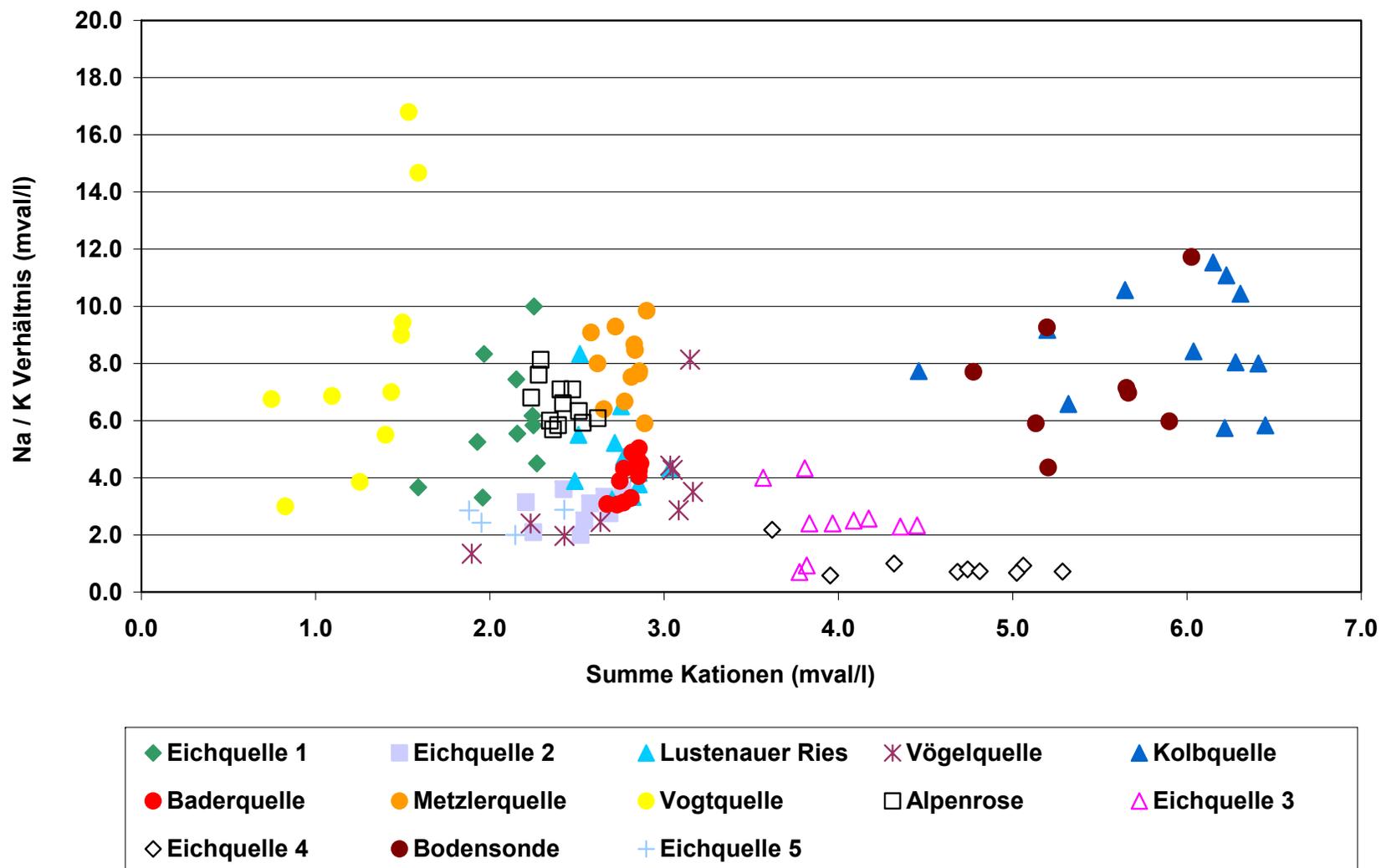


Abb.11: Natrium / Kalium Verhältnisdiagramm

### Hydrogenkarbonat-Sulfat Verhältnis

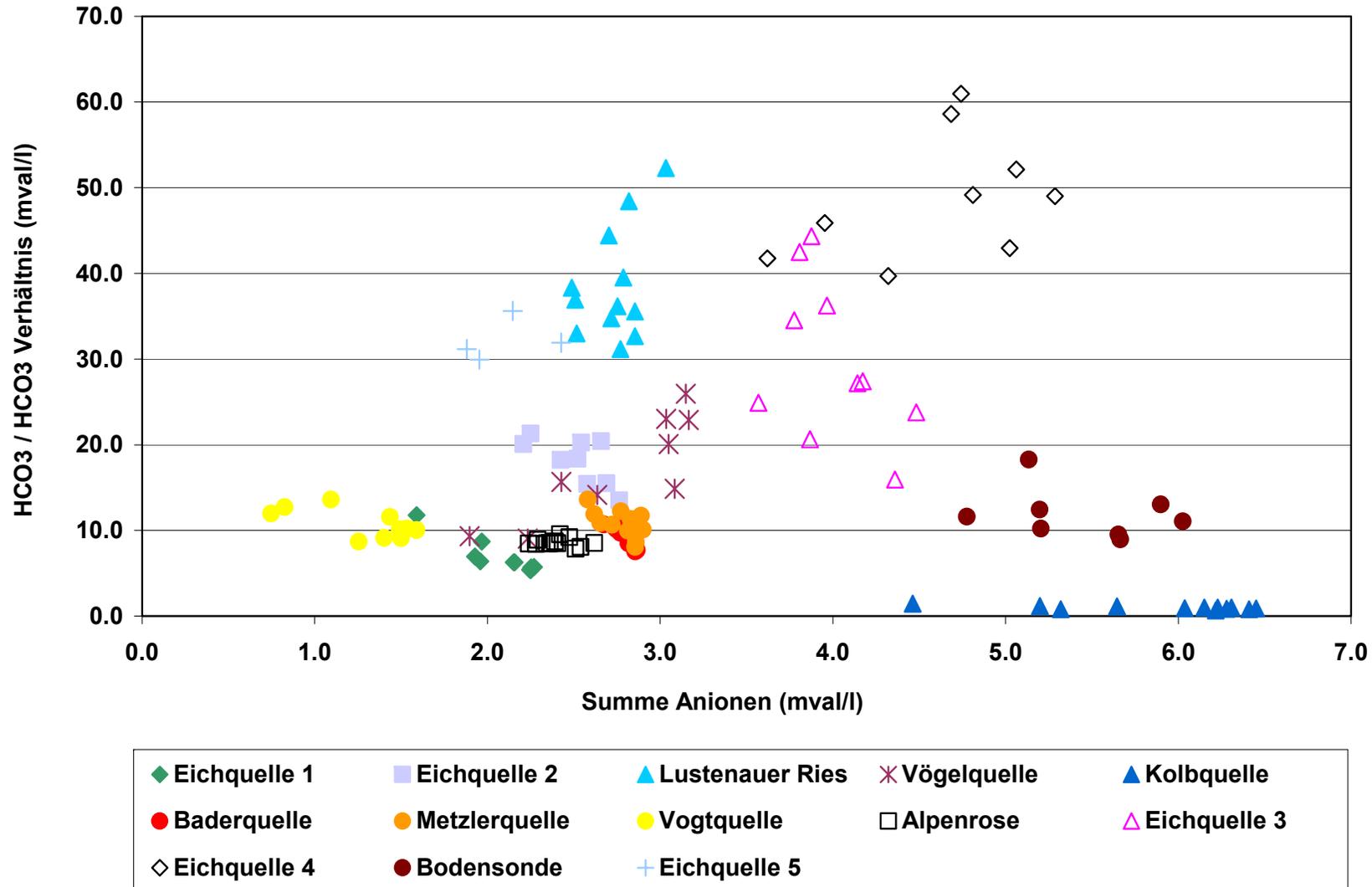


Abb.12: Hydrogenkarbonat / Sulfat Verhältnisdiagramm

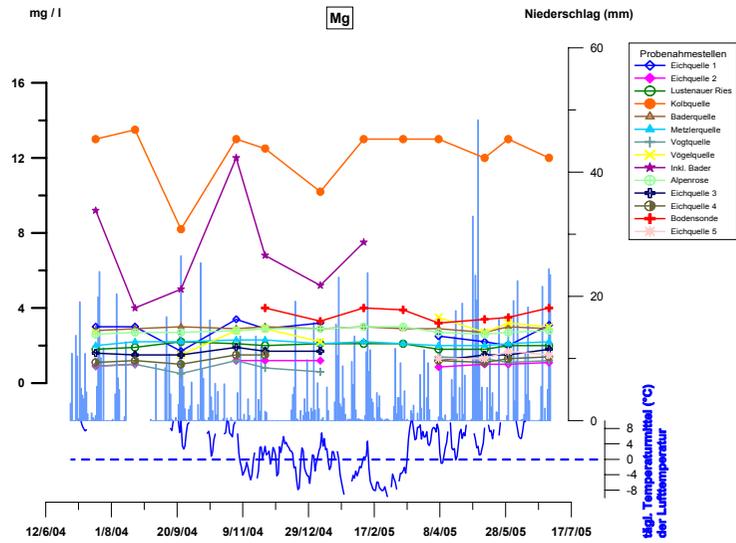


Abb.13: Hydrochemisches Zeitreihendiagramm Magnesium

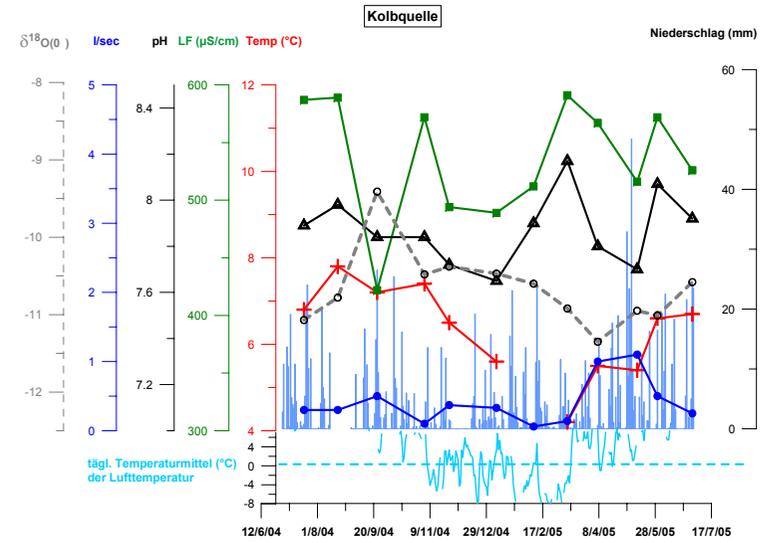


Abb.14: Zeitreihendiagramm der Feldparameter / Kolbquelle

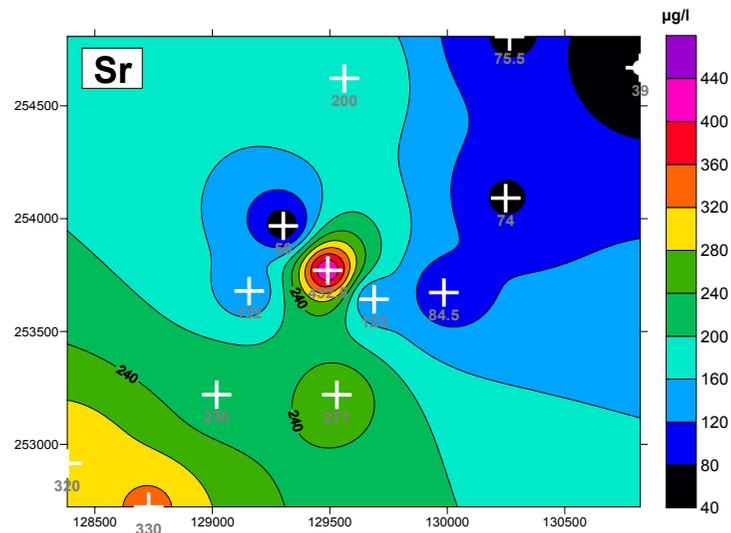


Abb.15: Konturplot Strontiumverteilung

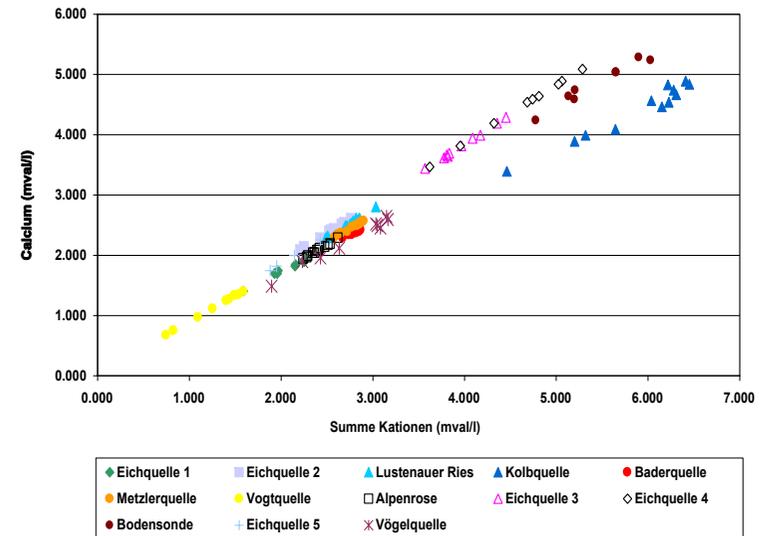


Abb.16: Beziehungendiagramm Summe Kationen/Kationen

## 4.2. B) Isotopenhydrologische Reihenbeobachtung

An denselben Quellen und auch zum gleichen Probenahmezeitpunkt wie bei der hydrogeologischen Reihenbeobachtung wurden von Frau DI Margarete Wöhrer-Alge (Wildbach und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Bregenz) in Form einer Reihenbeobachtung monatlich eine

► *isotopenhydrologische Probenahme ( $^{18}\text{O}$ )*

durchgeführt.

Die Probenahme erfolgte je nach witterungsbedingter Zugängigkeit zu den Quellen am 20.7./19.08./23.09./04.11./26.11.2004 und 07.01./09.02./11.03./07.04./12.05/30.05./30.06.2005.

Der tatsächliche Zeitpunkt der Probenahme je Quelle ist den Diagrammen (Anhang A) zu entnehmen.

Die Isotopenanalyse ( $^{18}\text{O}$ ) sowie die fachliche Betreuung (DI. Dr. Papesch) erfolgte im ARC Seibersdorf resarch.

### Isotopenuntersuchungen: Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}$ )

Das natürliche Wasser besteht aus „leichten“ ( $^{16}\text{O}$ ) und „schweren“ ( $^{18}\text{O}$ ) Molekülen. Da das aus „schweren“ Molekülen bestehende Wasser einen geringeren Dampfdruck hat als „leichteres“, Wasser kommt es überall dort, wo Phasenumwandlungen (Schmelzen, Verdampfen, Kondensieren usw.) stattfinden zu Isotopentrennprozessen. Das Ausmaß der Isotopenfraktionierung ist umso größer, je niedriger die Temperatur bei der Phasenumwandlung ist.

Beim Transport feuchter Luftmassen landeinwärts hat der zuerst fallende Niederschlag den höchsten Gehalt an „schweren“ Molekülen, die verbleibende Luftfeuchtigkeit wird durch Ausregnen immer leichter (Kontinentaleffekt).

**Die Temperaturabhängigkeit** Isotopenfraktionierung führt zu einer Abhängigkeit des Isotopengehaltes ( $^{18}\text{O}$ ) im Niederschlag von der geographischen Breite und von der Jahreszeit (Breiten- und Temperatureffekt.)

Durch den Einfluss der orographischen Erhebung (Temperatur) auf die Sauerstoff Isotopenzusammensetzung (Verhältnis  $^{16}\text{O} / ^{18}\text{O}$ ) kommt es mit zunehmender Höhe zu einer Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes im Niederschlag (**Höheneffekt**), wobei die Intensität dieser Fraktionierung örtlich und zeitlich stark schwanken kann. Auf Grund dieser Tatsache ist es möglich, aus dem  $^{18}\text{O}$  Gehalt von Grund- und Quellwässern auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes zu schließen. Grundwässer (Quellwässer) die keine signifikanten jahreszeitlichen Schwankung im Isotopengehalt zeigen, weisen auf Grund der starken

Dämpfung auf längere Verweilzeiten des Grundwassers (höheres Alter) von einigen Jahren (+-10) oder mehr hin.

Der Delta  $^{18}\text{O}$  Gehalt wird als Relativwert zu einem Meeresstandart ( $\delta^{18}\text{O}$ : 0,0 ‰) in Promille angegeben.

Einen Überblick unterschiedlicher  $\delta^{18}\text{O}$  Gehalt ist nachfolgender Tabelle (D.RANK, 1989) zu entnehmen.

Lokation	$\delta^{18}\text{O}$ - ‰	
	Niederschlag	Grundwasser
Alpen	-14	-13
Neusiedler See	-9,5	-3,5
Donaubereich		-10 bis -9,5

Tab.6: Typische  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittelwerte in Österreich

Die Auswertung und Darstellung der Analyseergebnisse erfolgte durch:

- *Ermittlung der Regressionsgeraden*
- *Konturplots (Flächeninformation)*
- *Zeitreihendiagrammen (Ganglinien)*

#### 4.2.1. Ermittlung der Regressionsgeraden zur Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes der Quellen am Rindberg anhand deren $\delta^{18}\text{O}$ Werte

Die Berechnung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes beruht auf der Annahme, dass aus dem  $\delta^{18}\text{O}$  Gehalt der Quellwässer, bei Kenntnis des Höheneffektes, auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes geschlossen werden kann (D.RANK 1989).

Für die Berechnung der Mittleren Höhe des Einzugsgebietes wurde jeweils der Medianwert der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte der einzelnen Quellwässer des baseflow herangezogen.

Die Berechnung der Regressionsgeraden (Steigung) zur Bestimmung des Höheneffektes (Zunahme/Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes je 100 m Seehöhe) erfolgte aus der Abschätzung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes für zwei Quellen (E1 & E5) mit dem höchsten und einer Quelle (E3) mit dem niedrigsten Einzugsgebiet (vgl. Tab. 7).

Die Eichquellen 2 (hohes Einzugsgebiet) und 4 (niedriges Einzugsgebiet) wurden nach Rücksprache mit DI Dr. Papesch zur Bestimmung der Regressionsgeraden als unbrauchbar eingestuft.

Der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 2 entspricht dem  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 5 und ist damit deutlich niedriger als der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 1. Auf Grund der Abreicherung des schwereren Isotops ( $\text{O}-18$ ) mit zunehmender barometrischer Höhe müsste das im Vergleich zur Eichquelle 2 höher liegende Einzugsgebiet der Eichquelle E1 einen niedrigeren  $^{18}\text{O}$  Gehalt (‰) in der Eichquelle 1 bedingen. Jedoch genau das Gegenteil ist der Fall. Dies würde bedeuten, dass das Einzugsgebiet (mittlere Höhe) der Eichquelle 2 über dem mittleren Einzugsgebiet der Eichquelle 1, auf etwa 1500-1600 m Seehöhe zu liegen kommt, was orographisch nicht möglich ist. Das Einzugsgebiet der Quelle E2 (1345 m) ist genau begrenzt und liegt mit ca. 1370 m Seehöhe deutlich niedriger als das vermutliche Einzugsgebiet der Eichquelle 1.

Als mögliche Erklärung wurde die Tatsache, dass E2 nur eine Schüttung von maximal 0,1 l/se aufweist, herangezogen. Dies könnte bedeuten, dass auf Grund der Evapotranspiration (Verdunstung und Wasserbedarf der Vegetation) Sommerniederschläge nicht bis in den gesättigten Bereich vordringen („bereits in der ungesättigten Zone verbraucht werden“). Eine Anreicherung des Grundwassers erfolgt demnach nur in der kalten Jahreszeit, wenn die Evapotranspiration verschwindend gering ist. Durch die im Winter geringere Kondensationstemperatur kommt nur Wasser mit einem niedrigeren Gehalt an Sauerstoff 18 Isotopen zur Grundwasserneubildung.

Deutliche Unterschiede im  $\delta^{18}\text{O}$  Wert liegen auch zwischen den auf etwa gleicher Seehöhe situierten Eichquellen 3 & 4 vor. Hier ist anzunehmen, dass die niedrigeren  $\delta^{18}\text{O}$  Werte der Eichquelle 4 entweder generell auf ein höheres, mittleres Einzugsgebiet des Wassers schließen lassen, oder eine Zumischung von Wasserkomponenten aus höheren Einzugsgebieten vorliegt.

Für die Berechnung der Regressionsgeraden (Abb. 17) wurde daher der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 3 herangezogen und die mittlere Höhe ihres Einzugsgebietes auf 1100 müA festgelegt. Diese mittlere Höhe des Einzugsgebietes für den  $\delta^{18}\text{O}$  Wert von  $-10,43$  ‰ korreliert sehr gut mit dem  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Bodensonde ( $-10,50$ ‰) auf 1020 müA.

Eichquelle	Lage müA	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ (Medianwert)	Mittlere Höhe des Einzugsgebietes
E1 / Eichquelle 1	1435	-11,28	1500
E5 / Eichquelle 5	1505	-11,58	1600
E3 / Eichquelle 3	935	-11,43	1100

Tab.7: Basisdaten zu Berechnung der Regresionsgeraden

Die daraus berechnete Regressionsgerade hat eine Steigung von  $0,22$  ‰ / 100 m Seehöhe (Abb.17)

**Regressionsgerade**  
**arithmetisches Mittel & Medianwert der  $\delta^{18}\text{O}$  - Isotopen des baseflow**  
 (ohne Einfluss des Starkniederschlages 21. bis 25. 09. 2004 mit 123 mm - HD Vorarlberg)  
 &  
**mittlere Höhe des Einzugsgebietes der Quellen Rindberg**

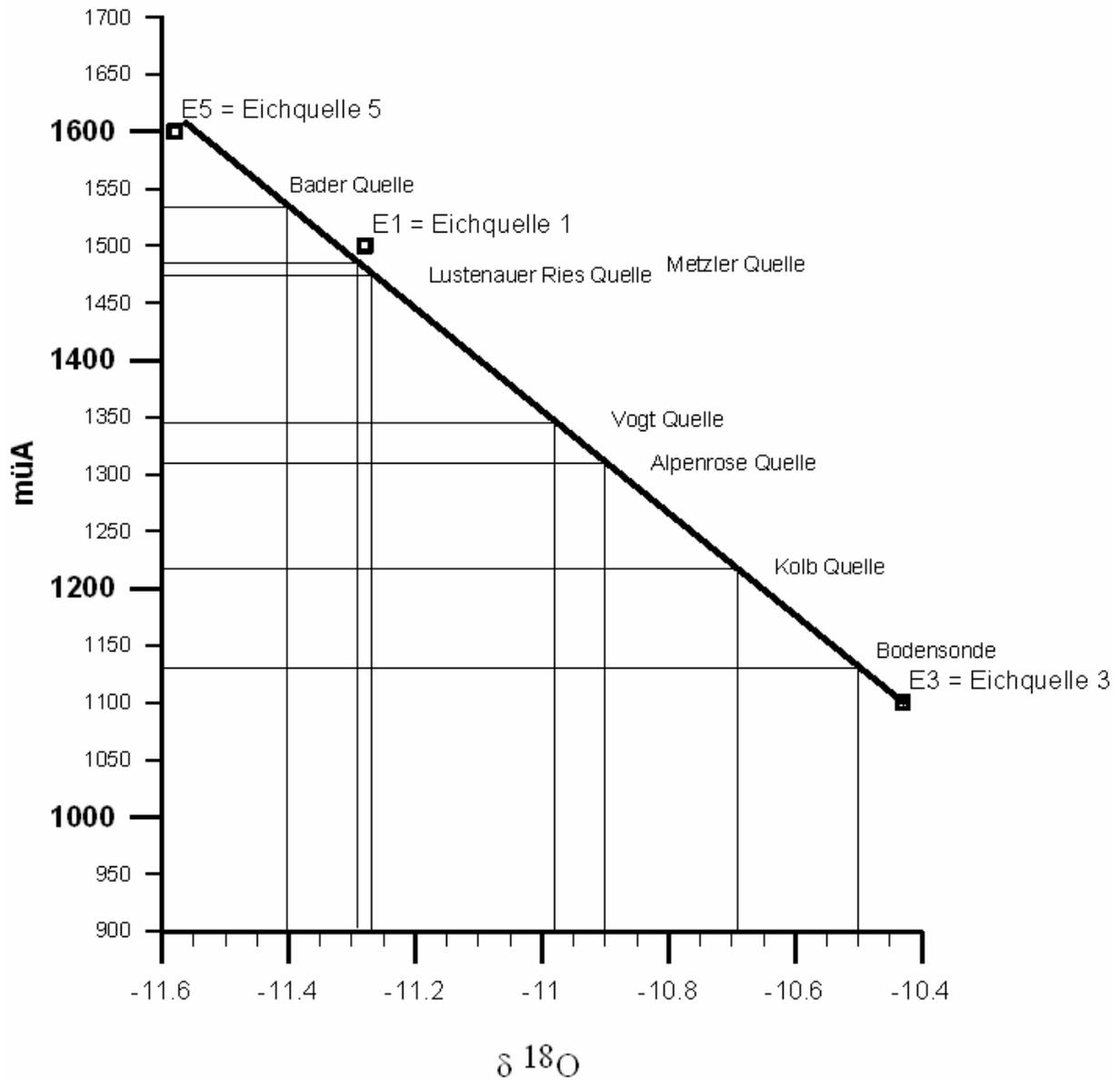


Abb. 17: Bestimmung der mittleren Höhen des Einzugsgebietes der Quellen am Rindberg aus dem  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel

Bezeichnung der Wasserspende	Median $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Mittelwert $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Min / Max $\delta^{18}\text{O}$ Wert (‰)	Standardabweichung	Standardabweichung in % vom Medianwert	Mittlere Seehöhe (müA) des Einzugsgebietes	Engerer Bereich der Infiltration Seehöhe (müA)
<b>Eichquelle 1</b>	-11.28	-11.14	-11.41/-9,58	0.47	4.14	1500	1475-1525
<b>Eichquelle 2</b>	-11.56	-11.70	-12.20/-11.46	0.27	2.35	1600 ?	1575-1625
<b>Lustenauer Ries</b>	-11.27	-11.28	-11.94/-10.6	0.36	3.22	1470	1445-1495
<b>Kolbquelle</b>	-10.69	-10.67	-11.35/-9.41	0.49	4.59	1220	1195-1245
<b>Baderquelle</b>	-11.40	-11.40	-11.95/-11.01	0.27	2.38	1530	1505-1555
<b>Metzlerquelle</b>	-11.29	-11.11	-11.82/-9.37	0.63	5.56	1480	1455-1505
<b>Vogtquelle</b>	-10.98	-10.86	-11.64/-9.75	0.57	5.18	1350	1325-1375
<b>Alpenrose</b>	-10.90	-10.71	-11.52/-9.53	0.66	6.03	1310	1285-1335
<b>Bodensonde</b>	-10.50	-10.38	-11.49/-8.71	0.83	7.91	1130	1105-1155
<b>Eichquelle 3</b>	-10.43	-10.42	-11.69/-9.39	0.72	6.86	1100	1075-1125
<b>Eichquelle 4</b>	-10.94	-10.91	-11.89/-9.77	0.74	6.76	1330	1305-1355
<b>Eichquelle 5</b>	-11.58	-11.59	-11.78/-11.42	0.15	1.31	1600	1575-1625

Tab. 8: Statistische Auswertung der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte und mittlere Höhe des Einzugsgebietes, basierend auf der graphischen Ermittlung der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte des baseflow

#### 4.2.2. Konturplots (Flächeninformation)

Die Medianwerte einer hydrogeologischen Zeitreihe der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert jeder Quelle in Rindberg wurden flächig als Konturplots dargestellt (Abb.18). Die Gegenüberstellung der relativen Unterschiede der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte lässt anhand der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert die Verteilung der unterschiedlichen Höhen der mittleren Einzugsgebiete erkennen. Abb. 18a stellt die Standardabweichung der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte der einzelnen Quellen, normiert auf den jeweiligen Medianwert, dar. Damit kann die Schwankungsbreite der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte der einzelnen Quellen miteinander verglichen werden.

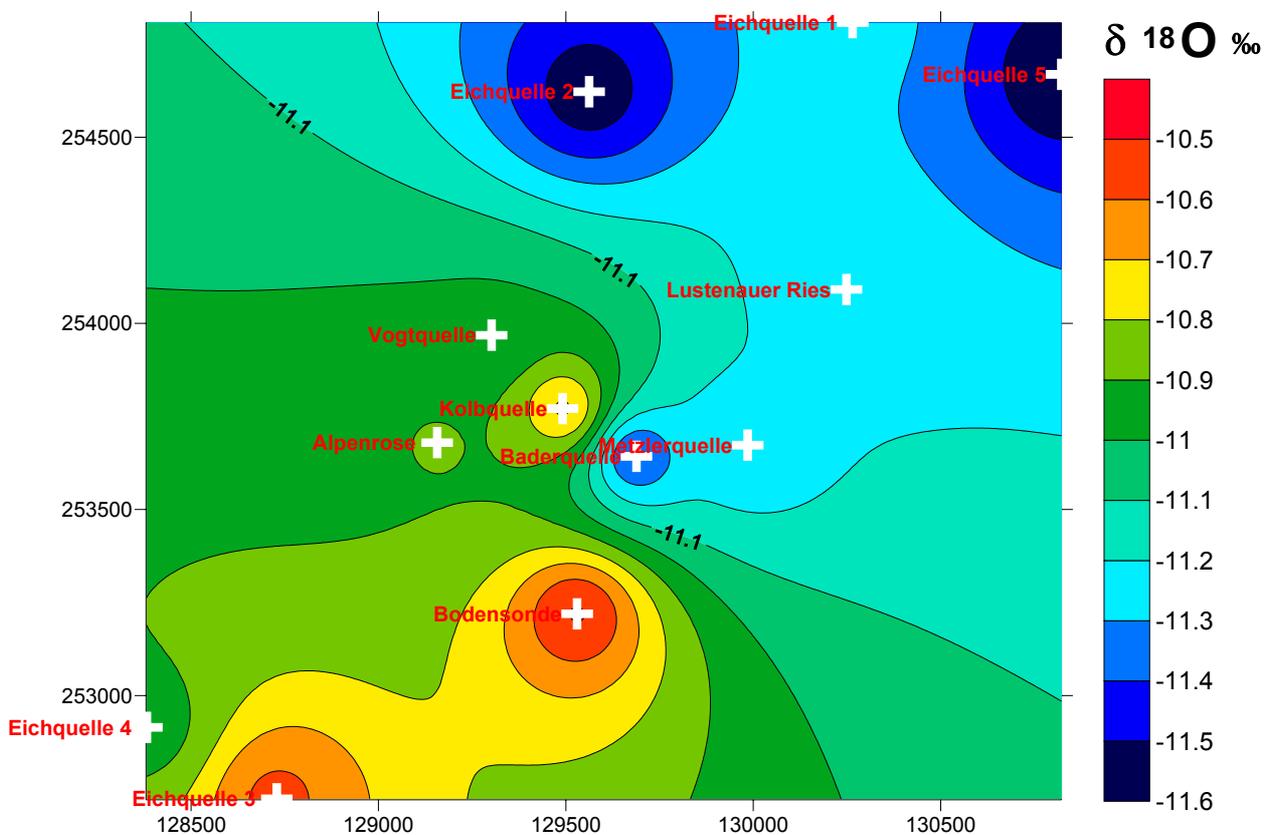


Abb. 18: Medianwerte der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert jeder Quelle in Rindberg als Konturplot

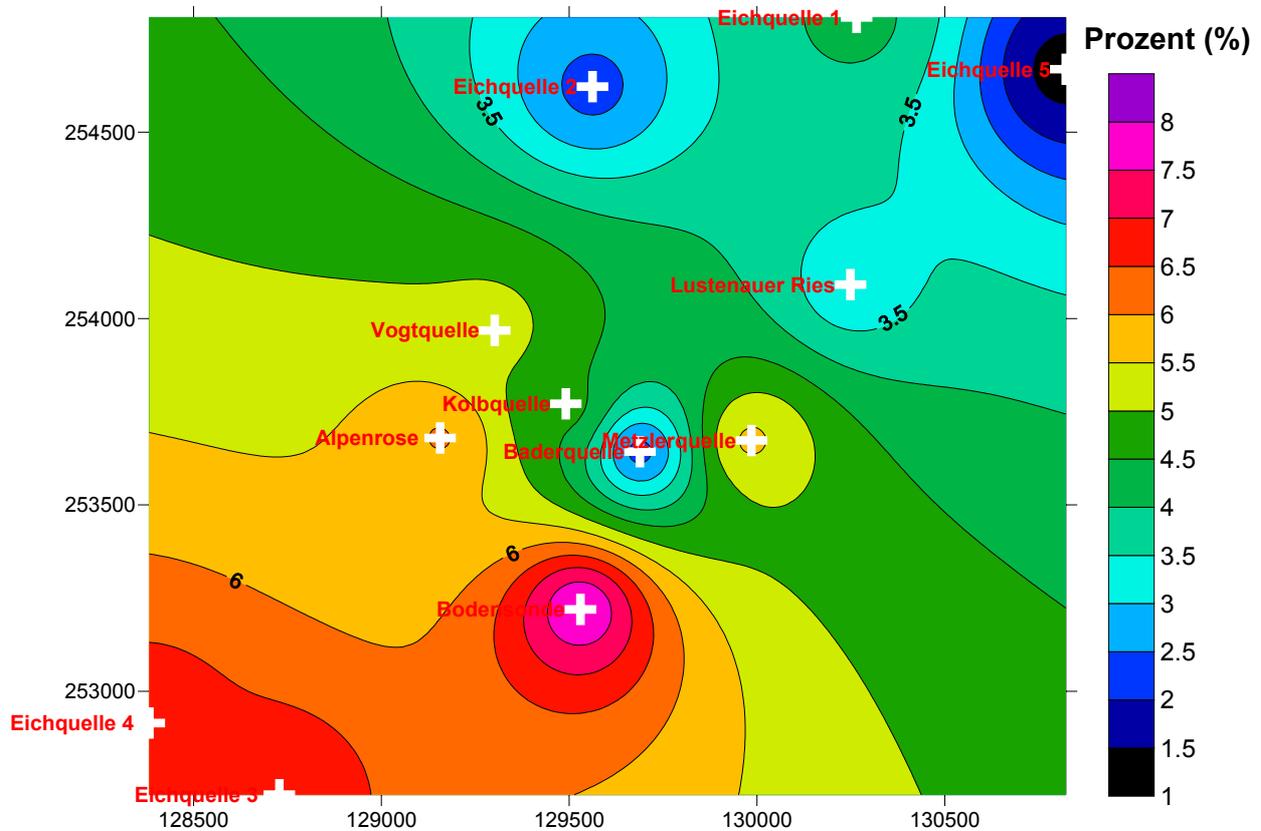


Abb. 18a: Standardabweichung in Prozent (‰) vom  $\delta^{18}\text{O}$  Medianwert der Quellen in Rindberg

#### 4.2.3. Zeitreihendiagramme der $\delta^{18}\text{O}$ Werte (Ganglinien)

Die  $\delta^{18}\text{O}$  Werte zu den einzelnen Probenahmezeitpunkten eines hydrogeologischen Jahres für jede Quelle wurden als Ganglinien

- der hydrologischen Situation (Niederschlag, Temperatur)
- den Feldparametern (Schüttung, Leitfähigkeit, Wassertemperatur und pH-Wert)

gegenübergestellt.

Anhand dieser Zeitreihen wird die Wechselwirkung der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte mit der hydrologischen Situation (tägliches Mittel von Niederschlag und Lufttemperatur) sowie mit der hydrogeologischen Situation (Schüttung, Leitfähigkeit) beschrieben. Die Interaktion dieser Einflussgrößen wird zur Charakterisierung des (dynamischen) Grundwassersystems herangezogen.

Die unter a) angeführten Beziehungen sind als Zeitreihendiagramm in der Abbildung 19 (Ganglinien der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte) dargestellt. Die unter b) angeführten Beziehungen (Feldparameter/ $\delta^{18}\text{O}$  Werte) wurden als einzelne Zeitreihendiagramme je Quelle bereits im Kap. A behandelt (Plot siehe Anhang A).

Die aufgearbeiteten, täglichen Niederschlags- und Temperaturwerte vor Ort (Mess – Systemtechnik Sommer) wurden seitens des ZT Büro Moser/Jaritz zur Verfügung gestellt.

#### 4.2.4. Diskussion

Im Wesentlichen lassen sich, abhängig von der meteorologischen Situation folgende Situationen beschreiben:

Alle Quellen zeigen zum Messzeitpunkt 07.04.2005 eine deutliche Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes. Der Witterungsverlauf (Temperaturmessstelle vor Ort, ZAMG-Klima-Monatsübersicht) zeigt ab Mitte März eine wesentliche Lufttemperaturerwärmung, die verbreitet zur Schneeschmelze führte. Dies verursacht den niedrigen  $\delta^{18}\text{O}$  Wert in allen Quellen.

Alle Quellen mit Ausnahme von Metzler- und Baderquelle reagieren auf die großen Niederschlagsmengen im August/September ( $\sim 300$  mm). Innerhalb eines Monats vor der Probenahme am 23.09.2004 (19.08.2004 bis 23.09.2004) fielen 181 mm Niederschlag, wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte. Dies hatte eine signifikante Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes am 23.09.2004 zur Folge. In der Alpenrose und in der Vogtquelle macht sich dieses Niederschlagsereignis zeitverzögert auch noch im November 2004 bemerkbar.

Der Einfluss von Warmphasen im Winter (feuchtmilde Luft mit Regen) kann dazu führen, dass der Niederschlag (Regen) auf Grund des Temperatureffektes einen höheren  $^{18}\text{O}$  Gehalt aufweist. Reagieren nun die Quellen zeitversetzt auf dieses Niederschlagsereignis auch mit einer Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes im Quellwasser so ist anzunehmen, dass eine unmittelbare Beeinflussung der Quelle durch den Niederschlag vorliegt. Dieser natürliche „Tracer“ hebt sich dann als „scharfer“ Peak vom baseflow ab (Abb.19). Zu den Messzeitpunkten 7.1.2005 und 11.03.2005 sind: Metzlerquelle, Alpenrosenquelle, Bodensonde und Vogtquelle davon betroffen. Insbesondere der „flächige“ Quellaustritt der Metzlerquelle dürfte dazu geführt haben, dass Regen direkt in den Quellaustritt gelangte und damit die Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Wertes verursacht hat. Im Gegensatz dazu deutet ein abrupter Rückgang des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes (Kältepeak) in den Wintermonaten auf den Einfluss von Niederschlagsereignissen im November/Dezember, möglicherweise in Form von Schnee mit anschließendem Tauwetter hin.

Die stärkste Dämpfung (homogenste Entwicklung) in den  $\delta^{18}\text{O}$  Werten weist die Baderquelle auf. Dies deutet auf längere Verweilzeiten des Grundwassers hin. Eine unmittelbare Beeinflussung durch meteorologische Verhältnisse ist nicht zu erkennen. Einen ähnlichen Isotopenjahresgang zeigen noch Metzler- und Lustenauerriesquelle, wobei bei beiden Quellen einmalig ein deutlicher  $\delta^{18}\text{O}$  Peak vorliegt (Metzlerquelle am 11.3.2005; Lustenauerriesquelle am 23.09.2004). Ein hoher  $^{18}\text{O}$  Gehalt im November/Dezember sowie ein niedriger  $^{18}\text{O}$  Wert in den Sommermonaten lässt auf eine zum Niederschlag um einige Monate (bis zu einem halben Jahr) zeitversetzte Reaktion dieser Quellen schließen.

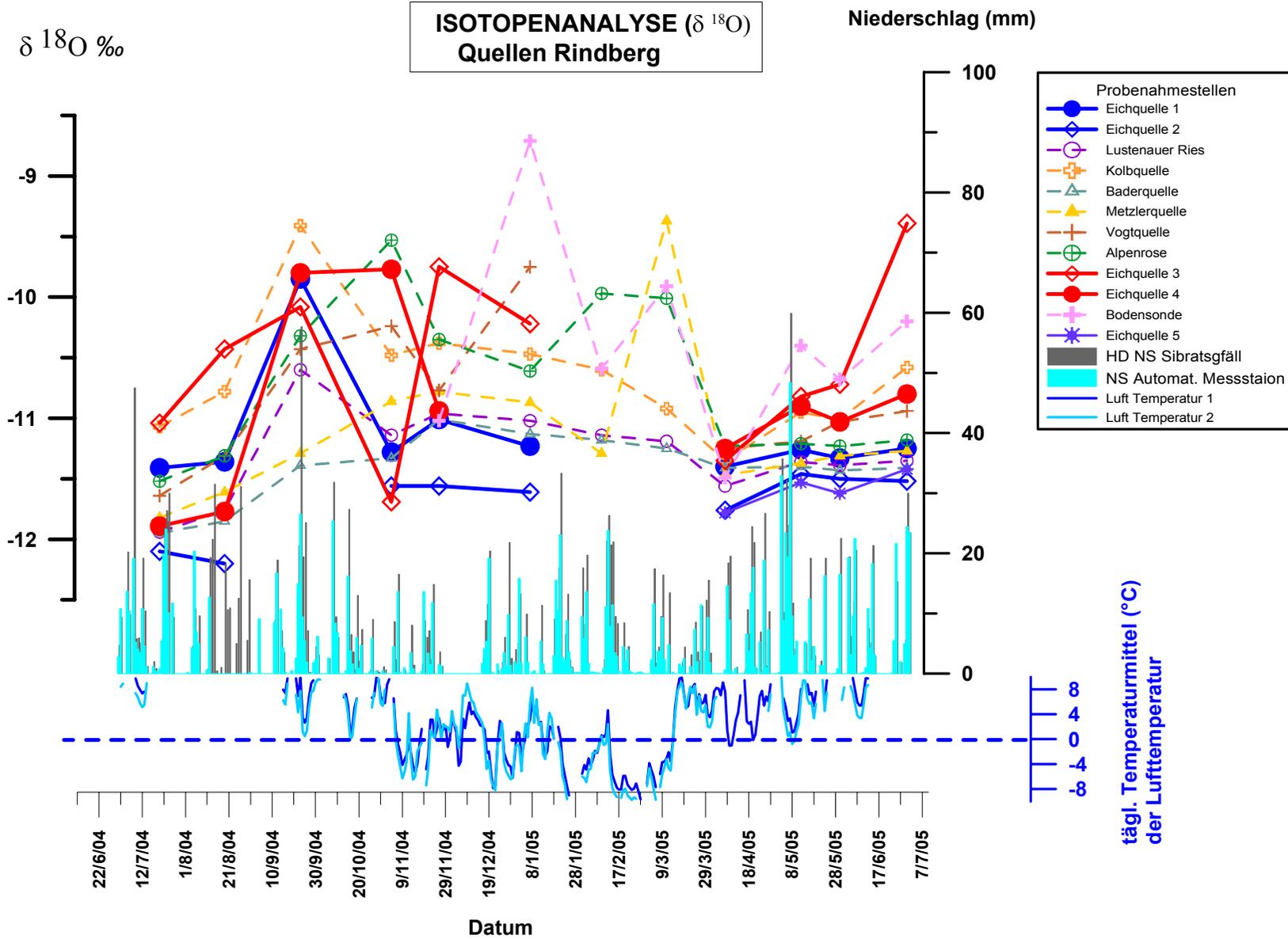


Abb.19:  $\delta^{18}\text{O}$  Ganglinien der Wasserspenden (Quellen) in Rindberg im Vergleich zum Niederschlag (mm) und zur Lufttemperatur (°C)

### 4.3. Salztracerversuch

Zur Präzisierung grundwasserhydraulischer Zusammenhänge der Quellen am Rindberg wurde durch das Büro Moser/Jaritz in Zusammenarbeit mit der WLV Vorarlberg und der Geologischen Bundesanstalt ein zweiphasiger Salztracerversuch durchgeführt.

#### Salztracer/Phase 1

Im Bereich des Versickerungstrichters „Lustenauer Ries“ (unterhalb, westlich der Lustenauer Ries Quelle) wurde am 06.10.2006 in der Zeit von 13:30 bis 16:30 eine Salzlösung (500 kg Streusalz in 8000 l Wasser gelöst) eingebracht. Für den Nachweis des Salzdurchganges wurden an den Quellen Metzler, Bader und Kolb ein automatisches Leitfähigkeitsmonitoringsystem eingerichtet. Die LF-Aufzeichnungen ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) begannen am 10.06.2006 (246  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), wobei bereits am 11.06.2006 ein Anstieg der Leitfähigkeit in der Metzlerquelle (250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) zu beobachten war. Am 16.10.2006 wurde der höchste Leitfähigkeitswert (270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) in dieser Quelle registriert. Die Abklingkurve setzt sich bis Mitte November 2006 fort (252  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) und erreicht Mitte Dezember den Ausgangswert von 247  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Der Verlauf der Leitfähigkeitskurve von Kolb- und Bader Quelle zeigen keine Beeinflussung durch den Salztracer.

Auf Grund nicht eindeutigen Auswertergebnisse hinsichtlich des Verlaufes der Leitfähigkeitskurve der Metzlerquelle (keine „Nullmessung“ der Leitfähigkeit, keine hydrochemische Begleitmessungen) wurde der Salztracerversuch wiederholt.

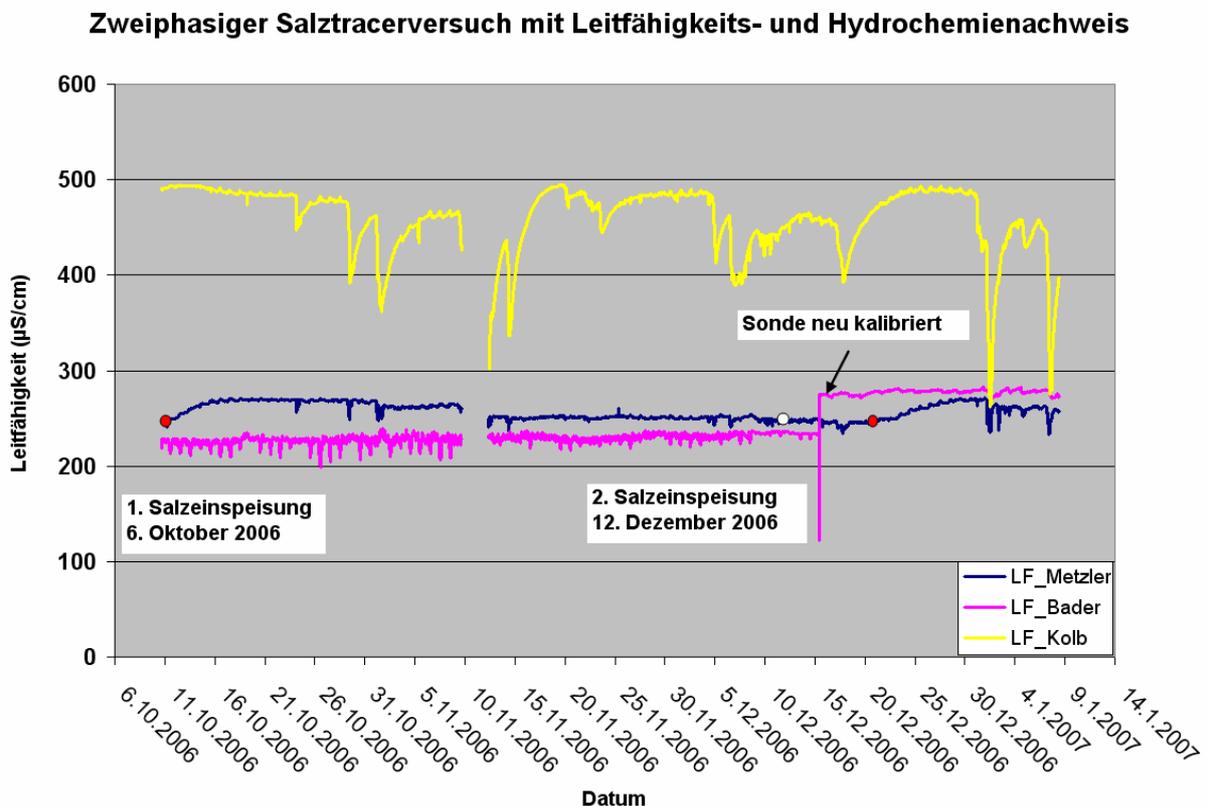


Abb.19 a: Darstellung des Salztracerversuches

Salztracer/Phase 2

Wiederum wurde im Bereich des Versickerungstrichters „Lustenauer Ries“ (unterhalb, westlich der Lustenauer Ries Quelle) am 12.12.2006 eine Salzlösung (500 kg Streusalz gelöst in 4000 l warmen Wasser) eingebracht. Am Vortag wurde die Lustenauer Ries Quelle ausgeleitet, sodass zum Zeitpunkt der Salzeinspeisung nur geringfügige Mengen an Schmelzwasser in die Einspeisestelle gelangten. Für den Nachweis des Salzdurchganges wurden dieselben Quellen (Metzler, Bader und Kolb) mit einem Leitfähigkeitsmonitoringsystem instrumentiert.

Zusätzlich zur hydrogeologischen Beweissicherung anhand der elektrischen Leitfähigkeit vor der Einspeisung wurden an den relevanten Quellen (Metzler, Bader und Kolb) auch hydrochemische Proben genommen (vor und nach der Einspeisung) und auf ihre Hauptparameter analysiert (FA Geochemie, GBA).

Die Auswertung des Verlaufes der Leitfähigkeitskurven Phase 2 zeigt ein mit der Auswertung der Leitfähigkeitskurven der Phase 1 vergleichbares Ergebnis. Kolb und Baderquelle werden durch die eingebrachte Salzlösung nicht beeinflusst. Die große Schwankungsbreite der elektrischen Leitfähigkeit der Kolbquelle ist auf den unmittelbaren Einfluss von Niederschlagsereignissen zurückzuführen.

Die Metzler Quelle reagiert auf den eingebrachten Salztracer (Streusalz, ~NaCl) am 21.12.2006 mit einer Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit. Am 30.12.2006 wurde der höchste Leitfähigkeitswert (277  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) registriert. Danach ist wiederum der Rückgang der elektrischen LF bis zum Aufzeichnungsende am 08.01.2007 (257  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) zu beobachten.

Für den hydrochemischen Nachweis des Tracerdurchganges wurden am 15./28. und 30.01. 2007 Proben gezogen.

Dass es sich bei der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit in der Metzlerquelle tatsächlich um den Tracerdurchgang handelt ist auch durch die begleitenden hydrochemischen Untersuchungen belegt. Genauso wurde „kein“ Tracerdurchgang durch hydrochemische Analysen belegt ist. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 8 a ersichtlich.

Datum	METZLER QUELLE				BADER QUELLE				KOLB QUELLE			
	LF $\mu\text{S}/\text{cm}$	Na mg/l	Cl mg/l	Ca mg/l	LF $\mu\text{S}/\text{cm}$	Na mg/l	Cl mg/l	Ca mg/l	LF $\mu\text{S}/\text{cm}$	Na mg/l	Cl mg/l	Ca mg/l
15.12.2006	279	4,05	0,9	53,0	278	4,1	0,7	50,0	537	10,2	0,7	90
28.12.2006	308	4,6	10,1	57,0	279	5,3	0,7	50,5	568	12,0	0,1	92,5
30.12.2006	302	4,4	10,1	56,0	273	4,3	0,7	49,5	---	---	---	---

Tab. 8a: Hydrochemischer Nachweis des Salztracerversuches

Langzeitbeobachtungen der hydrochemischen Verhältnisse der Metzlerquelle (Reihenbeobachtung) über ein Jahr zeigten, dass die Chloridkonzentration immer unter 1 mg/l lag.

Durch diesen Markierungsversuch wurde der Nachweis einer hydraulischen Verbindung zwischen „Versickerungsbereich“ der Lustenauer Ries Quelle und der Metzler Quelle (Entfernung ca. 430 m) erbracht. Die daraus ermittelte Abstandsgeschwindigkeit beträgt demnach etwa 50 m/Tag.

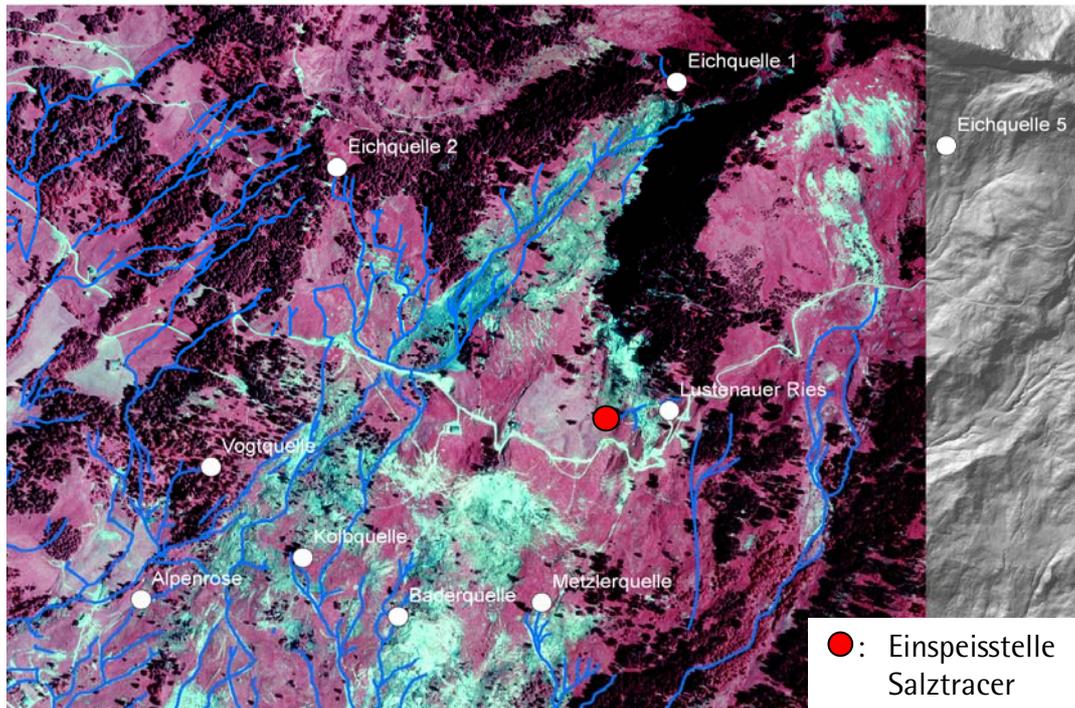


Abb.19 b: Lage der Einspeisestelle des Salztracerversuches am 10.06.2006 und am 12.12.2006



Abb.19 e: Salzeinspeisung am 10.06.2006 in die Versickerungsstelle

Abb.19 c: Einspeisestelle, Senke westlich Lustenauer Riesalpe in der die Lustenauer Riesquelle versickert



Abb.19 d: LF Registrierung Metzler Quelle

#### 4.4. D) Geochemische-mineralogische Gesteinsanalytik und hydrochemische Untersuchung der Spurenelemente im Wasser

Einmalig wurde die Spurenelementkonzentration (Tracer) in den Quellen (30.06.2005) und den geologischen Leitgesteinen (06.06.2005) analysiert. Anhand dieser hydrochemischen Tracerelemente (Ba, Cr, Cu, Sr, Zn, Pb, Fe, Mn, Cd) wurde versucht eine Korrelation zwischen „Hydrofazies“ und „Lithofazies“ herzustellen.

Das Ziel lag in der Charakterisierung des Grundwassers in Abhängigkeit von durchflossenen Sedimenten/Gesteinen. Im Abgleich mit der Gesteinschemie wird versucht Rückschlüsse auf den „geologischen“ Aquifer bzw. auf das Einzugsgebiet des Grundwassers zu erhalten (Korrelation zwischen „Hydrofazies“ und „Lithofazies“/Geologie) .

Die „Lithofazies“ wurde anhand relevanter Proben mittels einer

- ▶ **Gesamtmineralogischen Untersuchung (Tab. 10)**  
(Quarz, Feldspat, Schichtsilikate, Calcit, Dolomit)
- ▶ **Geochemischen Gesteinsuntersuchung (Tab. 9)**  
Hauptelemente in %-  
Spurenelemente in ppm

Die „Hydrofazies“ wurde anhand der Quellen am Rindberg in Form einer

- ▶ **Hydrochemischen Spurenelementanalytik (Einmalbeprobung Tab. 11)**
- ▶ **Hydrochemischen Hauptelementanalytik (Tab. 11)**  
(Medianwerte der Zeitreihenbeobachtung über ein Jahr)

charakterisiert.

Die für diese Fragestellung relevanten Gesteinsproben und die für die Interpretation notwendige Geologie im Bereich der Hangbewegung Rindberg wurde vom betreuenden Geologen vor Ort, Mag. Wolfgang Jaritz (Büro Moser / Jaritz) zur Verfügung gestellt.

Die umfassende hydrochemische, geochemische und mineralogische Analytik wurde an der Geologischen Bundesanstalt, FA Geochemie & Rohstoffgeologie, durchgeführt.

Die Auswertung und Darstellung der Analysenergebnisse erfolgte mit:

- *Tabellen*
- *Konturplots*
- *Kreisdiagrammen*

Die Ergebnisse der mineralogischen, geochemischen und hydrochemischen Untersuchungen in Rindberg werden als Tabellen dargestellt (Tab.9-11). In der Tabelle 11 sind die hydrochemischen Analysen der Quellen in Rindberg als Spurenelemente (Einmalbeprobung) und als Hauptelemente (Medianwerte der Zeitreihenbeobachtung über ein Jahr) dargestellt.

Anschließend sind die mineralogischen Analysenergebnisse der Gesteinsproben als Kreisdiagramme (Abb. 20) dargestellt.

Im Konturplot (Anhang B) wird nun die Lithofazies (Ergebnisse aus der mineralogischen und geochemischen Gesteinsanalytik & geologischen Detailkartierung) der Hydrofazies (Haupt- und Spurenelemente der Quellen) gegenübergestellt und diskutiert.

CH-26/05	1	2	3	4
Probe	Junghansen Schichten	Schelpen Serie	Aptychen Schichten	Feuerstätter Sandstein
Per cent				
SiO <sub>2</sub>	65	45	16	83
TiO <sub>2</sub>	1	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	11	2	2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	5	1	1
MnO	0	0	0	0
MgO	2	1	1	1
CaO	1	17	44	5
Na <sub>2</sub> O	1	1	<0,1	1
K <sub>2</sub> O	3	2	0	1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0
CO <sub>2</sub>	5	15	34	4
SO <sub>3</sub>	1	1	0	1
Summe	99.86	99.84	100.10	99.77

ppm				
Ba	349	323	54	57
Ce	97	50	39	43
Co	10	6	5	4
Cr	619	101	49	67
Cs	10	5	7	5
Cu	88	32	21	6
Ga	17	13	4	3
Ge	3	2	1	1
Hf	6	5	<3	<3
La	57	28	26	26
Mo	<1	<1	<1	<1
Nb	13	10	3	2
Ni	94	42	60	72
Pb	133	42	24	48
Rb	121	80	21	19
Sr	115	495	216	60
Th	12	10	4	3
U	4	4	2	<2
V	146	83	17	33
W	24	5	2	31
Y	32	20	21	5
Zn	148	80	27	12
Zr	204	113	16	80
Summe	2303	1550	618	575

Tab.9: Geochemische Analyse von 4 Gesteinsproben

Proben- bezeichnung	Labor- Nr.	Quarz	Feldspat	Schicht- silikate	Calcit	Dolomit	Sonstige
Junghansen Schichten	GB_Jung_G	30	<3	70	0	0	Hellglimmer/Illit, Chlorit und/oder Kaolinit, quellfähige Dreischichtminerale
Schelpen Serie	GB_Sch_G	20	<5	40-50	25-35	0	Hellglimmer/Illit, Chlorit und/oder Kaolinit, quellfähige Dreischichtminerale
Aptychen Schichten blau	GB_Apt_blaue_G	~10	0	<5	85-95	0	Sp.Hämatit
Aptychen Schichten rot	GB_Apt_rot_G	~10	0	5-15	80-90	0	Sp.Hämatit
Feuerstätter Sandstein	GB_Feuer_G	~90	0	<5	~10	0	

Tab.10: Gesamtmineralogische Analyse von 5 Gesteinsproben

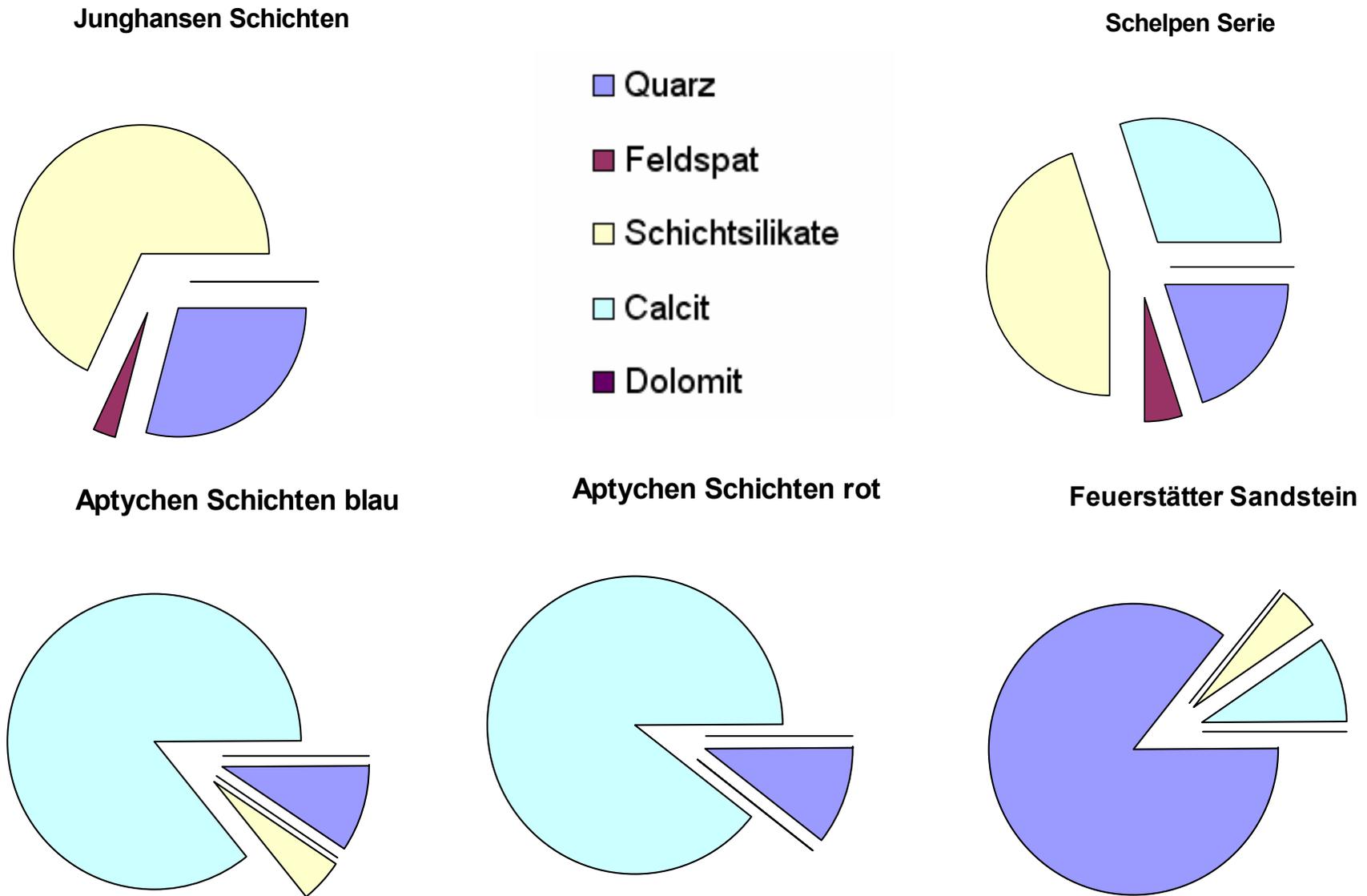


Abb. 20: Darstellung der gesamtmineralogischen Zusammensetzung an relevanten Gesteinsproben Rindberg

Bezeichnung	Al	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sr	Zn	Zr
CH-44/05	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Eichquelle 1	5	50.0	0.09	0.82	0.87	3.7	3.50	0.42	90.0	11.0	<5
Eichquelle 2	<5	162.0	0.04	0.24	0.09	15.7	2.40	<0.1	185.0	12.0	<5
Lustenauer Ries	<5	190.0	0.01	0.27	<0.01	<1	<1	<0.1	76.0	11.0	<5
Kolbquelle	<5	125.0	<0.01	0.37	<0.01	<1	<1	<0.1	400.0	7.0	<5
Baderquelle	<5	40.0	<0.01	0.20	<0.01	<1	<1	<0.1	120.0	4.0	<5
Metzlerquelle	<5	34.0	<0.01	0.51	<0.01	7.5	1.00	<0.1	90.0	7.0	<5
Vogtquelle	<5	62.0	<0.01	0.07	<0.01	4.0	4.50	<0.1	80.0	9.0	<5
Vögelquelle	<5	95.0	<0.01	0.14	<0.01	<1	3.00	<0.1	390.0	8.0	<5
Alpenrose	35	75.0	0.27	0.73	3.75	220.0	105.00	1.85	345.0	17.0	<5
Bodensonde	<5	75.0	<0.01	<0.01	<0.01	12.0	10.00	<0.1	395.0	12.0	<5
Eichquelle 5	<5	20.0	0.03	0.35	<0.01	<1	<1	<0.1	65.0	3.0	<5
Bezeichnung	Ca	Mg	Na	K	Sr	HCO3	Cl	NO3	SO4	F	H2SiO3
CH-44/05	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Eichquelle 1	36.8	3.0	1.42	0.40	76	111.3	0.4	1.9	14.0	0.040	3.7
Eichquelle 2	48.6	1.0	0.69	0.41	200	146.9	0.2	0.8	6.0	0.028	4.8
Lustenauer Ries	50.7	2.0	1.05	0.36	74	161.4	0.3	2.1	3.4	0.038	3.8
Kolbquelle	91.3	13.0	9.65	1.91	433	175.0	0.4	2.0	150.0	0.062	5.2
Baderquelle	48.0	2.9	3.33	1.37	123	148.9	0.5	5.0	11.9	0.045	4.0
Metzlerquelle	50.0	2.2	2.94	0.60	85	152.2	0.3	3.3	10.9	0.044	3.8
Vogtquelle	25.3	1.1	1.31	0.27	56	77.1	0.4	1.1	6.2	0.033	4.1
Vögelquelle	49.2	2.8	5.40	2.80	285	169.4	2.6	1.3	6.8	0.037	7.3
Alpenrose	41.8	2.8	1.68	0.45	132	129.0	0.4	1.6	11.6	0.031	3.6
Bodensonde	98.0	3.7	5.55	1.38	271	300.8	1.1	0.8	21.0	0.039	4.2
Eichquelle 5	38.3	1.4	0.44	0.30	39	119.7	0.2	1.1	2.9	0.024	3.4

Tab.11: Hydrochemische Analysen der Spurenelemente (Einmalbeobachtung - µg/l) und der Hauptelemente (Medianwerte der Zeitreihenbeobachtung - mg/l)

## 5. Quellcharakterisierung

Nachfolgend wird jede Quelle anhand ihrer wichtigsten Parameter beschrieben. Dazu ist zu sagen, dass das Hauptaugenmerk auf die hydrochemische sowie isotohydrologische Situation, auch in Wechselwirkung mit hydrologischen/meteorologischen Rahmenbedingungen, fokussiert war.

Dies bedeutet, dass die Feldparameter der Quellen (Schüttung  $-l/sec-$ , Leitfähigkeit  $-\mu S/cm-$  und der pH Wert routinemäßig bei jeder Beprobung erhoben wurden. Die Schüttungsmessungen erfolgten sowohl an vollständig gefassten Quellen, als auch an Überläufen sowie an nicht gefassten Quellen, z.T. auch nur an einzelnen Quelllästen (großflächige Vernässungszonen). Daher ist es nicht möglich für alle Quellen qualitative Aussagen über die Absolutbeträge der Schüttung zu treffen. Sehr wohl, und von besonderem Interesse, sind Aussagen hinsichtlich der Wechselwirkung mit der hydrologischen/meteorologischen Situation (Niederschlag, Temperatur, Schneeschmelze) möglich, die wesentlich zur Charakterisierung der Quelle beitragen.

Im Zuge der Bearbeitung hat sich herausgestellt, dass vor allem die Feldparameter (Schüttung, Leitfähigkeit und pH-Wert), die Isotopenuntersuchungen: (Sauerstoff  $^{18}O$ ), sowie die Hydrochemie der Hauptelemente als „harte Fakten“ für die Beurteilung der Quell-Grundwassercharakteristik anzusehen sind.

Im Gegensatz dazu ist die Charakterisierung des Grundwassers in Abhängigkeit von durchflossenen Sedimenten/Gesteinen (Korrelation zwischen „Hydrofazies“ und „Lithofazies“/Geologie anhand der Spurenelementkonzentration im Wasser sowie in den Leitgesteinen) durch eine größere Bandbreite an Interpretationsmöglichkeiten gekennzeichnet. Oftmals liegt eine Kombination von Spurenelementen im Grundwasser vor, die in den geochemisch untersuchten Leitgesteinen nicht in derselben Konzentration, oder Zusammensetzung vorkommt. Daraus abgeleitet lässt sich schließen, dass die Spurenelementkonzentration auch darauf zurückzuführen ist, dass unterschiedliche Leitgesteine durchflossen wurden, wobei allfällige geochemische Prozesse (z.B. Ausfällung) nicht berücksichtigt wurden. Auch zu bedenken ist, dass der Lösungsinhalt wesentlich von der Verweildauer des Grundwassers abhängt.

Einschränkend muss auch noch betont werden, dass jeweils nur eine einzige Gesteinsprobe aus einem relevanten Leitgestein der geochemischen Spurenelementanalyse unterzogen wurde. Eine statistische Untermauerung der Spurenelementkonzentration in den jeweiligen Leitgesteinen (Schwankungsbreite der einzelnen Elemente, relevante Hauptspurenelemente) liegt dadurch nicht vor. Aus den oben angeführten Überlegungen sind die Ergebnisse aus der Spurenelementkonzentration als wertvoller, zusätzlicher Hinweis in der Quell-Grundwassercharakteristik zu betrachten um Rückschlüsse auf den „geologischen“ Aquifer bzw. auf das Einzugsgebiet des Grundwassers zu erhalten.

## 5.1. Eichquelle 1

Art der Wasserspende: Quelle  
 Probenort: Quellast 1 (von 2)  
 Seehöhe (müA): 1435  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1500  
 Geologie: Hangend Aptychenschichten, Liegend (Stauer): Junghansen  
 Quelltyp: Schichtstauquelle  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	163,1 / 169,15
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,1 / 2,2
Standardabweichung (%)	10,46

### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	1,49 / 1,00	198,59 / 206,00	4,82 / 4,80
Standardabweichung (%)	73,88	9,63	4,97

Eine Niederschlagssumme von 181 mm innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte, führte zu einer Zunahme der Schüttung am 23. 09. 2004 bei gleichzeitig abnehmender elektrischer Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ebenso bedingten die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) eine deutliche Zunahme der Schüttung am 12.05.2005, wobei in dieser Situation die elektrische Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) keine Reaktion zeigt. Generell liegen relativ konstante Wassertemperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ ) vor. In den Monaten Oktober und November ist eine geringfügige Zunahme der Wassertemperaturen zu beobachten (etwas zeitversetzt zur Lufttemperatur), die gegen Dezember wieder abnimmt. Die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche verursachen einen Rückgang der Wassertemperatur bis in den Juni (Schneesmelze).

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Am 23.09.2004 ist eine signifikante Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes (Wärmepeak) in der Eichquelle 1 vorhanden. Dies mag auf die vorangegangenen Niederschlagssummen (181 mm seit 19.08.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte, zurückzuführen sein. Hingegen führen die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) zu einer geringfügigen Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes (Kältepeak). Abgesehen vom scharfen Peak im September homogener Isotopengang.

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Grundsätzlich geringe Gehalte von allen Kationen und allen Anionen.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die Charakterisierung der einzelnen Hauptelemente hinsichtlich des Einflusses von Niederschlag und/oder Schneeschmelze zeigt, dass 44 mm Regen in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme am 23.09.2004 die Konzentration der Kationen Ca, Mg, Na, K, Sr sowie der Anionen HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, und der Kieselsäure (H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) verringerte. Hingegen stieg der Gehalt von Chlorid im Quellwasser etwas an. Unterschiedlich ist die Reaktion auf die Schneeschmelze/Niederschlag im April/Mai. Mit Ausnahme von Mg, K und SO<sub>4</sub> (Konzentration nimmt geringfügig ab) nimmt bei den übrigen Parametern (Ca, Na, Sr, HCO<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) die Konzentration geringfügig zu.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Der im Vergleich zu den übrigen Quellen ausgeprägt hohe Chromgehalt sowie die ebenfalls erhöhten Werte von Cu und Pb, bei einem gleichzeitig geringen Sr Gehalt, weist auf Junghansens Schichten oder Schelpenserie hin. Die geringe Barium- und Strontiumkonzentration widerspricht dem und deutet auf den Einfluss von Aptychenschichten hin. Im Abgleich mit der geologischen Kartierung ist anzunehmen, dass es sich um ein Mischwasser mit dem Einzugsgebiet aus den Aptychenschichten und den Junghansenschichten handelt.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Generell geringe Variabilität in der hydrochemischen Zusammensetzung (einheitliche hydrochemische Zusammensetzung über eine bestimmte Zeitreihe). Im Vergleich zur Bader-, Metzler- und Lustenauer Riesquelle mit der einheitlichsten hydrochemischen Zusammensetzung (über eine bestimmte Zeitspanne) liegt jedoch eine etwas größere Schwankungsbreite der einzelnen Parameter (Hauptelemente) vor.

Diese Schwankungen in der hydrochemischen Zusammensetzung werden als Trends (Zumischung / Abführung) angesprochen.

In der Eichquelle 1 liegen diese Trends vor allem bei Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Sulfat und Hydrogenkarbonat, im geringen Ausmaß vor, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch die Konzentration der Einzelparameter zunimmt. Die steiler ansteigende Gerade der Kalium-, Natrium- und Sulfatkonzentration, sowie der stark schwankende Kaliumgehalt bei z.T. gleich bleibender Kationensumme weist darauf hin, dass mehr Kalium/Natrium/Sulfat zugeführt/abgeführt wird als durch Verdünnungseffekte mit Regenwasser bewirkt wird. Hingegen nimmt die Konzentration von Chlorid und Nitrat bei zunehmender Gesamtmineralisation ab.

Das Calcium/Magnesiumverhältnis zeigt, dass sich bei zunehmender Kationensumme das Verhältnis zugunsten von Magnesium verschiebt. Im Detail bedeutet dies, dass sowohl die Konzentration von Calcium und Magnesium zunimmt, wobei jedoch die Zunahme der Magnesiumkonzentration größer ist.

Das Natrium-/Kaliumverhältnis zeigt keinen generellen Trend. Das Kationenverhältnis schwankt bei gleich bleibender Kationensumme beträchtlich. Dies ist nicht auf

Verdünnungsprozesse durch Niederschlag, sondern auf unterschiedliche Zumischung bzw. Abführungsprozesse von K zurückzuführen.

Bei zunehmender Anionensumme verschiebt sich das Verhältnis von Hydrogenkarbonat zu Sulfat zugunsten von Sulfat. Im Detail bedeutet dies, dass sowohl die Konzentration von Hydrogenkarbonat und Sulfat steigt, wobei die Zunahme der Sulfatkonzentration größer ist.

## 5.2. Eichquelle 2

Art der Wasserspende: diffuser Quellaustritt  
 Probenort: Quellvernässung  
 Seehöhe (müA): 1345  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1600 !!  
 Geologie: Schelpenserie  
 Quelltyp: Schichtstauquelle ??  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	201,6 / 204,29
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,5 / 2,5
Standardabweichung (%)	7,57

### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	0,27 / 0,20	235,8 / 236,5	6,38 / 6,45
Standardabweichung (%)	124,71	6,28	12,53

Grundsätzlich niedrige Schüttung, die am 19.08.2004 (Probenahme) auf ca. 100 mm Niederschlag (Zeitraum 01. bis 18.08.2004) nur minimal reagiert. Sehr wohl ist aber eine deutliche Zunahme der Schüttung, bedingt durch die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) gegeben. Geringfügige, etwas zeitversetzte (<1 Monat) Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) jeweils nach großen Niederschlagsmengen sowohl im September 2004 als auch im Mai 2005. Die Wassertemperatur erreicht anfangs November ihren Höchstwert und fällt dann auf ein Minimum im Jänner 2005. Unmittelbar anschließend an die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) ist eine geringfügige Temperaturabnahme zu beobachten (Schneesmelze).

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Im Wesentlichen homogene Isotopenganglinie. Infolge Wassermangels im Herbst (23.09./4.11.2004) und meteorologischer Widrigkeiten im Winter liegt keine durchgehende

Isotopenganglinie vor. Die geringfügig erhöhten  $^{18}\text{O}$  Gehalte im Winter (November 2004 bis Jänner 2005) weisen auf eine Phasenverschiebung zum Niederschlag im Herbst hin.

Wie bereits erwähnt, entspricht der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 2 dem  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 5 und ist damit deutlich niedriger als der  $\delta^{18}\text{O}$  Wert der Eichquelle 1. Die entsprechenden Umstände wurden bereits im Kapitel B (Seite 22) behandelt. Es wird demnach angenommen, dass eine Anreicherung des Grundwassers nur in der kalten Jahreszeit, wenn die Evapotranspiration verschwindend gering ist, stattfindet. Durch die im Winter geringere Kondensationstemperatur kommt nur Wasser mit einem niedrigeren Gehalt an Sauerstoff 18 Isotopen zur Grundwasserneubildung.

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Grundsätzlich liegen, vergleichbar mit der Eichquelle 1, geringe Konzentrationen von Kationen und Anionen vor. Eine Ausnahme bilden die Kationen Calcium und Strontium, die durch deutlich höhere Konzentrationen im Vergleich zur benachbarten Eichquelle 1 gekennzeichnet sind.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung ist im Wesentlichen durch einen homogenen Verlauf der Kationen- und Anionenkonzentration gekennzeichnet. Die Schneeschmelze im April/Mai 2005 führt zu einer geringfügigen Zunahme der Kationen- und Anionengehalte. Deutlich ist dies bei Ca, Sr und  $\text{HCO}_3$  ersichtlich. Aufgrund minimalster Wasserführung am 23.09.2004 konnte keine Wasserprobe genommen werden. Daher kann in diesem Fall die Auswirkung von 181 mm Regen innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte, nicht beurteilt werden.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Als Leitpeak fällt die hohe Bariumkonzentration bei ebenfalls erhöhten Strontium- und Zinkwerten auf. Die Spurenelemente Chrom, Kupfer, Blei sind im Vergleich zu allen übrigen Wasserspenden (vgl. auch Eichquelle 1) durch ausgeprägte Minima charakterisiert. Im Vergleich mit der geochemischen Spurenelementanalytik an relevanten Leitgesteinen (Lithofazies) weist die Spurenelementverteilung der Eichquelle 2 (Kombination von hohen Bariumkonzentrationen mit niedrigen Chromwerten) auf durchflossene Schelpenserie hin, wobei die deutlich erhöhte Kieselsäurekonzentration auf ein „quarz-feldspat“ reicheres Einzugsgebiet schließen lässt.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Generell geringe Variabilität in der hydrochemischen Zusammensetzung (einheitliche hydrochemische Zusammensetzung über eine bestimmte Zeitreihe). Im Vergleich zur Baderquelle mit der einheitlichsten hydrochemischen Zusammensetzung liegt jedoch eine etwas größere Schwankungsbreite der einzelnen Parameter (Hauptelemente) vor.

Zumischungs-/Abführungs- oder Lösungsprozesse sind deutlich bei allen Hauptelementen entwickelt, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch die Konzentration der Einzelparameter (Hauptelemente) zunimmt. Die steiler ansteigende Gerade der Kalium-, Natrium und Sulfatkonzentration, sowie der stark schwankende Kaliumgehalt bei z.T. gleich bleibender Kationensumme weist darauf hin, dass mehr Kalium/Natrium/Sulfat zugeführt/abgeführt wird als durch Verdünnungseffekte mit Regenwasser bewirkt wird. Die Konzentration von Nitrat nimmt bei zunehmender Gesamtmineralisation ab.

Sowohl beim Calcium-/Magnesiumverhältnis als auch beim Natrium/Kaliumverhältnis ist kein ausgeprägter Trend vorhanden (Punktwolke). Das Kationenverhältnis schwankt jeweils bei gleich bleibender Kationensumme beträchtlich. Dies ist nicht auf Verdünnungsprozesse durch Niederschlag, sondern auf unterschiedliche Zumischung bzw. Abführungsprozesse zurückzuführen.

Das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis verschiebt sich bei zunehmender Anionensumme zugunsten von Sulfat, wobei sowohl die Konzentration von Hydrogenkarbonat und Sulfat steigt, aber die Zunahme der Sulfatkonzentration größer ist.

### 5.3. Baderquelle

Art der Wasserspende: gefasste Quelle  
 Probenort: 3 künstliche Quellläste  
 Seehöhe (müA): 1112  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1530  
 Geologie: Hangend: Aptychenschichten (umgelagert)  
 Liegend: Junghansen-Schichten (umgelagert)  
 Quelltyp: Schichtstauquelle  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	222,1 / 222,4
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,8 / 2,8
Standardabweichung (%)	2,19

#### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S/cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	8,97 / 7,2	261,2 / 263	6,6 / 6,55
Standardabweichung (%)	54,9	3,49	2,74

Von einer hohen Schüttungsmenge im Juli ausgehend nimmt diese bis in den Oktober hinein ab und zeigt dadurch keine unmittelbare Auswirkung auf die großen Niederschlagsmengen im August und September (~330 mm). Erst zeitversetzt ist Ende November eine Erhöhung der Schüttung (zeitgleich mit einem hohen  $^{18}\text{O}$  Gehalt) zu beobachten. Der maximale

Schüttungsanstieg im Frühjahr 2005 ist bereits anfangs April zu beobachten und wird als Auswirkung einer „Warmperiode“ im März interpretiert (Schneesmelze?). Diese hohe Schüttungsmenge (ca. 15 bis 20 l/sec) ist erst gegen Ende Mai deutlich rückläufig. Es ist anzunehmen, dass auch die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) die hohe Schüttung im Mai 2005 beeinflussen. Eine geringfügige Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit ( $\sim 30 \mu\text{S/cm}$ ) wurde am 26.11.2004 (verzögerte Auswirkung der großen Niederschlagsmengen im August und September) und am 09.02.2005 gemessen. Die Schneesmelze (März) und die großen Regenmengen in der ersten Maiwoche mit einer deutlich erhöhten Schüttungsmenge führten hingegen zu keiner Änderung der elektrischen Leitfähigkeit. Die Wassertemperatur bleibt bis Ende November auf hohem Niveau und nimmt dann geringfügig ( $^{\circ}\text{C } 0,4$ ) ab und bleibt bis anfangs Sommer 2005 auf diesem Niveau.

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Baderquelle ist durch einen schwach entwickelten Jahresgang, jedoch zeitlich versetzt zum Niederschlag (zum Jahrestemperaturgang des Niederschlages), gekennzeichnet. Der  $^{18}\text{O}$  Gehalt nimmt ab dem Sommer 2004 stetig zu, erreicht im Winter, gleichzeitig mit einem geringfügigen Schüttungsanstieg (26.11.2004) den Höhepunkt und nimmt dann wieder kontinuierlich bis zum Messende im Juni 2005 ab. Es ist anzunehmen dass die Phasenverschiebung zum Niederschlag ca. ein halbes Jahr beträgt. Ein wesentlicher Einfluss durch die meteorologische Situation (Starkregen, Schneesmelze) ist nicht vorhanden. Die Schneesmelze gepaart mit den hohen Niederschlagssummen in der 1. Maiwoche (150 mm) beeinflusst die Isotopenganglinie nicht.

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Die Mineralisation der Baderquelle ist durchschnittlich durch etwas höhere Konzentrationen der Werte im Vergleich zu den Eichquellen 1 und 2 gekennzeichnet. Im Vergleich zu den maximalen Konzentrationen relevanter Quellen liegt die Mineralisation jedoch im unteren Drittel. Innerhalb dieses eher gering mineralisierten Grundwassers sind im Vergleich zu den übrigen Wasserspenden die Kalium-, Natrium- und Nitratwerte geringfügig erhöht.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung ist im Vergleich zu den übrigen Quellen im Wesentlichen durch einen äußerst homogenen Verlauf aller Kationen- und Anionenkonzentrationen gekennzeichnet. Im Detail liegt dennoch eine geringfügige Zunahme der Konzentrationen im Herbst (September/Okttober) mit Höhepunkt im Winter (bis Mitte März) vor. Die Schneesmelze in Verbindung mit den großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) führt bei allen Quellen zu einer geringfügigen Abnahme der Konzentration aller Parameter (Hauptelemente, Sr und  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ).

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Die Spurenelementkonzentration ist in allen Parametern (Spurenelemente) durch äußerst geringe Konzentrationen gekennzeichnet.

Die durchgehend geringe Konzentration der Hauptelemente und der Spurenelemente bei angenommener, längerer Verweilzeit des Grundwassers spricht in Bezug auf die geologisch kartierte Lithofazies (Aptychenschichten, Junghansenschichten) dafür, dass die Aptychenschichten den Aquifer bilden. Die allgemein niedrigen Konzentrationen der Spurenelemente sprechen auch gegen ein Einzugsgebiet der Baderquelle in der Schelpenserie, wobei die niedrige Kieselsäurekonzentration auch gegen ein Einzugsgebiet im Feuerstätter Sandstein spricht.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Baderquelle zeigt die konstanteste hydrochemische Zusammensetzung über den gesamten Untersuchungszeitraum, ausgeprägte Trends liegen nicht vor. Im geringsten Ausmaß sind Schwankungen (Zumischungs-/Abführungs- oder Lösungsprozesse) in allen untersuchten Elementen festzustellen, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch die Konzentration der Einzelparameter (Hauptelemente) zunimmt. Bei Natrium, Kalium und Sulfat wird mehr zugeführt als Verdünnungsprozesse (Niederschlag) bewirken. Hingegen nimmt die Konzentration von Nitrat bei zunehmender Gesamtmineralisation ab. Das Element Kalium ist am stabilsten

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis bleibt bei minimaler Änderung der Kationensumme gleich (geringer Verdünnungseffekt durch Regen oder eine mengenmäßig gleiche Zu- oder Abführung von Ca und Mg).

Das Natrium-/Kaliumverhältnis verschiebt sich bei zunehmender Kationensumme zugunsten von Natrium, wobei sowohl die Konzentration von Natrium als auch von Kalium steigt, aber die Zunahme der Natriumkonzentration größer ist.

Das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis verschiebt sich bei zunehmender Anionensumme durch eine deutliche Zunahme des Sulfatgehaltes zugunsten von Sulfat. Im Detail bedeutet dies, dass sowohl die Konzentration von Hydrogenkarbonat und Sulfat steigt, wobei aber die Zunahme der Sulfatkonzentration größer ist.

## 5.4. Metzlerquelle

Art der Wasserspende:	Quelle ungefasst, 2 Quellläste, größere Vernässungszone
Probenort:	nach Zusammenfluß der beiden Hauptquellläste
Seehöhe (müA):	1157
Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus $\delta^{18}\text{O}$ Jahresmittel (müA):	1480
Geologie:	Hangend: Aptychenschichten (umgelagert) Liegend: Junghansen-Sschichten (umgelagert)
Quellentyp:	Schichtstauquelle
Wassertyp:	Ca-HCO <sub>3</sub>

**Mineralisation:**

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	221,1 / 224,6
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,8 / 2,8
Standardabweichung (%)	3, 91

**Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):**

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S/cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	5,83 / 3,25	257,08 / 258,0	6,65 / 6,50
Standardabweichung (%)	124,01	4,26	6, 18

Ausgehend von einer hohen Schüttungsmenge im Juli nimmt diese bis in den Oktober hinein ab, wobei keine unmittelbare Auswirkung der großen Niederschlagsmengen im August und September ( $\sim 330$  mm) auf die Schüttung zu erkennen ist. Erst zeitversetzt ist Ende November eine geringfügige Erhöhung der Schüttung (zeitgleich mit einem hohen  $^{18}\text{O}$  Gehalt) zu beobachten. Ab April 2005 nimmt die Schüttung deutlich zu (Auswirkung der „Warmperiode“ im März – Schneeschmelze?). Die maximale Schüttung ( $\sim 25$  l/sec) wird Mitte Mai erreicht und verringert sich bis Ende Mai auf ca. 5 l/sec. Es ist anzunehmen, dass auch die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) die hohe Schüttung im Mai 2005 beeinflussen. Eine geringfügige Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit ( $\sim 30$   $\mu\text{S/cm}$ ) wurde vom 23.09. bis 26.11.2004 (verzögerte Auswirkung der großen Niederschlagsmengen im August und September) und am 09.02.2005 gemessen. Die Schneeschmelze in Kombination mit hohen Niederschlagsmengen im Mai bei einer deutlich erhöhten Schüttung, führt zu einer geringfügigen Abnahme der elektr. Leitfähigkeit um etwa 20  $\mu\text{S/cm}$ . Die Wassertemperatur folgt der Lufttemperatur (etwas phasenversetzt zur Lufttemperatur im Herbst/Winter, möglicherweise beeinflusst durch flächigen Quellaustritt).

**Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )**

Die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Metzlerquelle ist durch einen schwach entwickelten Jahresgang, jedoch zeitlich versetzt zum Niederschlag (zum Jahrestemperaturgang des Niederschlages), gekennzeichnet (vgl. auch Baderquelle). Der  $^{18}\text{O}$  Gehalt nimmt ab dem Sommer stetig zu, erreicht im Winter seinen Höhepunkt und nimmt dann wieder kontinuierlich ab. Das bestimmende Element ist der scharfe Peak am 11.3.2005 (hoher  $^{18}\text{O}$  Gehalt). Dies dürfte vor allem auf den „flächigen“ Quellaustritt der Metzlerquelle zurückzuführen sein, wobei Regen (feuchtmilde Meeresluft mit Regen bis über 1000 m vom 11. bis 13. 02. 2005) im Nahbereich des Quellaustritt gelangt sein könnte und damit die Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Wertes verursacht hat. Die Phasenverschiebung der Isotopenganglinie zum Niederschlag beträgt etwa ein halbes Jahr. Die Schneeschmelze gepaart mit den hohen Niederschlagssummen in der 1. Maiwoche (150 mm) beeinflusst die Isotopenganglinie nicht.

**Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)**

Die Gesamtmineralisation der Metzlerquelle entspricht der Baderquelle. Im Vergleich zur Eichquelle 1 und 2 liegt durchschnittlich eine etwas höhere Konzentrationen vor. Im Vergleich zur Gesamtmineralisation der übrigen Quellen liegen die Metzlerquelle, sowie die Baderquelle

im Mittelfeld. Innerhalb dieses eher gering mineralisierten Grundwassers ist im Vergleich zu den übrigen Wasserspenden die Nitratkonzentration geringfügig erhöht. Grundsätzlich nimmt die Konzentration der verschiedenen Elemente im Vergleich zur Baderquelle etwas ab.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung ist im Vergleich zu den übrigen Quellen im Wesentlichen durch einen äußerst homogenen Verlauf aller Kationen- und Anionenkonzentrationen gekennzeichnet. Im Detail konnten dennoch drei unterschiedliche Trends herausgearbeitet werden. Generell liegt eine im Jahresvergleich hohe, oder auf hohem Niveau noch leicht zunehmende Konzentration, der Kationen und Anionen (Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>) sowie von Sr und H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> im Herbst und Winter (bis Mitte März 2005) vor (vgl. Baderquelle). Unterbrochen wird diese höhere Konzentration von einer kurzfristigen Abnahme der Konzentration im September (Probenahme: 23.09.2004). Kalium ist durch eine länger andauernde, geringfügige Abnahme der Konzentration im Herbst (September bis November) gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu steigt die Konzentration von SO<sub>4</sub> ab Juli stetig an, nimmt Ende November kurzfristig ab, und erreicht erst im März 2005 die höchste Konzentration. Gemeinsam ist allen Parametern der deutliche Rückgang der Konzentration im April/Mai (Schneeschnelze/großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 mit 150 mm Regen)

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Die Spurenelementkonzentration ist mit Ausnahme von Chrom und Zink in allen übrigen Parametern (Spurenelemente) durch eine äußerst geringe Konzentration gekennzeichnet.

Die durchgehend geringe Konzentration der Hauptelemente sowie der Spurenelemente bei angenommener, längerer Verweilzeit des Grundwassers spricht in Bezug auf die geologisch kartierte Lithofzies (Aptychenschichten, Junghansschichten) dafür, dass die Aptychenschichten den Aquifer bilden. Die allgemein niedrigen Konzentrationen der Spurenelemente sprechen auch gegen ein Einzugsgebiet der Metzlerquelle in der Schelpenserie, wobei die niedrige Kieselsäurekonzentration auch gegen ein Einzugsgebiet im Feuerstätter Sandstein spricht. Die erhöhten Chrom- und Zinkgehalte bei einer gleichzeitig geringen Strontiumkonzentration sind ein Hinweis auf durchflossene Junghansschichten.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Metzlerquelle zeigt ähnlich der Baderquelle sehr konstante hydrochemische Zusammensetzung über den gesamten Untersuchungszeitraum, ausgeprägte Trends liegen nicht vor. In geringem Ausmaß sind Schwankungen (Zumischungs-, Abführungs oder Lösungsprozesse) in allen untersuchten Elementen festzustellen. Diese Prozesse treten minimal bei Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium sowie Hydrogenkarbonat und Sulfat auf, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch die Konzentration der Hauptelemente zunimmt.

Ähnlich der Baderquelle wird bei Natrium, Kalium und auch Sulfat etwas mehr zugeführt/abgeführt als Verdünnungsprozesse (Niederschlag) bewirken.

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis bleibt trotz Änderung der Kationensumme in etwa gleich (Verdünnung durch Regenwasser oder eine mengenmäßig gleiche Zu- oder Abführung von Ca und Mg).

Das Natrium-/Kaliumverhältnis ist durch eine große Schwankungsbreite bei z.T. gleich bleibender Kationensumme gekennzeichnet (Punktwolke). Es zeichnet sich dennoch ein Trend (Verschiebung) zugunsten von Kalium (es wird im Verhältnis mehr Kalium als Natrium zugeführt) ab. Das

Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis verschiebt sich bei zunehmender Anionensumme durch eine deutliche Zunahme des Sulfatgehaltes zugunsten von Sulfat, (es wird im Verhältnis mehr Sulfat als Hydrogenkarbonat zugeführt).

## 5.5. Lustenauer Ries Quelle

Art der Wasserspende: Quelle gefasst  
 Probenort: Überlauf  
 Seehöhe (müA): 1285  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1470  
 Geologie: Hangend: Aptychenschichten (umgelagert)  
 Liegend: Junghansen-Schichten (umgelagert)  
 Quelltyp: Schichtstauquelle  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	219,5 / 222,02
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,7 / 2,8
Standardabweichung (%)	5,94

### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	1,29 / 0,81	250,7 / 251,0	6,43 / 6,40
Standardabweichung (%)	87,57	6,15	9,15

Ähnliche Quellcharakteristik wie Bader- und Metzlerquelle. Ausgehend von einer höheren Schüttungsmenge im Juli und August nimmt diese bis in den Oktober hinein ab, wobei keine unmittelbare Auswirkung der großen Niederschlagsmengen von Mitte August (19.08.) bis anfangs November (04.11.2004) von ca. 300 mm in der Schüttung am 23.09. und 04.11.2004 zu erkennen ist. Erst zeitversetzt ist Ende November eine geringfügige Erhöhung der Schüttung gegeben. Ab April nimmt die Schüttung wieder deutlich zu (Auswirkung der „Warmperiode“ im März/April – Schneeschmelze?). Die maximale Schüttung (~ 3l/sec) wird Mitte Mai erreicht und verringert sich bis Ende Mai auf ca. 1l/sec. Es ist anzunehmen, dass auch die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) die hohe Schüttung im Mai 2005 beeinflussen. Die geringfügige Erhöhung der Schüttung Ende November führt auch zu

einer geringfügigen Abnahme (ca. 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) der elektr. Leitfähigkeit. Die Schneeschmelze (März/April 2005) in Kombination mit hohen Niederschlagsmengen im Mai bei einer deutlich erhöhten Schüttungsmenge führt, vergleichbar mit der Metzlerquelle, zu einer Abnahme der elektr. Leitfähigkeit um etwa 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Wassertemperatur folgt der Lufttemperatur ohne wesentliche Phasenverschiebung zueinander.

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Lustenauer Ries Quelle deutet einen schwach entwickelten Jahresgang, zeitlich versetzt zum Niederschlag (zum Jahrestemperaturgang des Niederschlages), an (vgl. Baderquelle). Der  $^{18}\text{O}$  Gehalt nimmt ab dem Sommer 2004 signifikant zu, erreicht im September seinen Höhepunkt und nimmt dann auf hohem Niveau bis Ende Juni 2005 kontinuierlich ab. Überlagert wird dieser Jahresgang von einem ausgeprägten „Wärmepeak“ (Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes) am 23.09.2004 der entweder auf den zeitverzögerten Einfluss der großen Niederschlagsmengen im August/September (181 mm) schließen lässt, oder viel eher eine Reaktion auf 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme darstellt.

Hingegen führt die Schneeschmelze (März 2005) zu einer geringfügigen Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes (Kältepeak).

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Die Gesamtmineralisation der Lustenauer Ries Quelle ähnelt der Bader- und der Metzlerquelle. Im Vergleich zur Eichquelle 1 und 2 liegt durchschnittlich eine geringfügig höhere Konzentration vor. Im Vergleich zur Gesamtmineralisation der übrigen Quellen sind die Lustenauer Ries Quelle, die Metzlerquelle, sowie die Baderquelle eher gering mineralisiert. Sie liegen im unteren Drittel des Mineralisationsbereiches. Die einzelnen Parameter (Kationen, Anionen) im Vergleich zu den übrigen Wasserspenden keine signifikante Anomalie.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung ist im Vergleich zu den übrigen Quellen im Wesentlichen durch einen äußerst homogenen Verlauf aller Kationen- und Anionenkonzentrationen gekennzeichnet und ähnelt damit der Gangliniencharakteristik der Metzler-/Baderquelle. Generell liegt ein sehr niedriges Konzentrationsniveau sämtlicher Parameter vor.

Im Detail zeigt sich, dass die höchsten Elementkonzentrationen punktuell im September (November) vorliegen und diese dann im Winter (bis Mitte März 2005) auf hohem Konzentrationsniveau stagnieren (Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$ , Cl, Sr,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ). Eine geringfügige, kurzfristige Abnahme der Konzentration trat bei den Elementen Ca,  $\text{HCO}_3$  und Sr im August auf, nicht aber im September (vgl. Metzlerquelle). Die Elemente Na, K und  $\text{SO}_4$  sind in diesem Untersuchungszeitraum (Juli 2004 bis März 2005) durch einen homogenen Konzentrationsverlauf, ohne wesentliche Änderung der Gehalte, gekennzeichnet. Gemeinsam ist allen Parametern der deutliche Rückgang der Konzentration im April/Mai (Schneeschmelze/großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 mit 150 mm Regen).

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Signifikant ist, dass Barium in der Lustenauer Ries Quelle die höchste Spurenelementkonzentration aller beprobten Wasserspenden aufweist. Zusätzlich liegt auch Zink, und abgeschwächt Chrom in einer höheren Konzentration vor. Unter der Annahme, dass die Aptychenschichten den Aquifer repräsentieren und die Junghansenschichten den relativen Stauer bilden ist anhand der Spurenelementgehalte der geochemisch untersuchten Gesteinsproben ein bedeutender Einfluss der Junghansenschichten anzunehmen. Geringe Strontiumgehalte sprechen gegen einen hydrogeologischen Einfluss aus der Schelpenserie, niedrige Kieselsäurekonzentration auch gegen ein Einzugsgebiet im Feuerstätter Sandstein.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Lustenauer Ries Quelle zeigt ähnlich der Bader- und Metzlerquelle eine sehr konstante hydrochemische Zusammensetzung über den gesamten Untersuchungszeitraum, ausgeprägte Trends liegen nicht vor. Im geringen Ausmaß sind Schwankungen (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse) in allen untersuchten Elementen festzustellen.

Diese Prozesse sind minimal bei Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium sowie Hydrogenkarbonat zu beobachten, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch die Konzentration der Hauptelemente zunimmt. Die steiler ansteigenden Geraden der Kalium-, Natrium- und Sulfatkonzentration, sowie deren stark schwankende Konzentrationen bei z.T. gleich bleibender Kationensumme weisen darauf hin, dass mehr Kalium/Natrium/Sulfat zugeführt/abgeführt wird als durch Verdünnungseffekte mit Regenwasser bewirkt wird.

Im Vergleich zu Bader- und Metzlerquelle ist das Calcium-/Magnesiumverhältnis durch eine größere Schwankungsbreite gekennzeichnet (Punktwolke). Ein Trend ist nicht abzuleiten.

Das Natrium-/Kaliumverhältnis verschiebt sich bei zunehmender Kationensumme zugunsten von Kalium (es wird mehr Kalium als Natrium zugeführt).

Das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis ist durch einen großen Schwankungsbereich des Verhältnisses (Verhältnis 30 bis 50) bei z.T. gleich bleibender Anionensumme gekennzeichnet, wobei sowohl die Konzentration von Hydrogenkarbonat als auch von Sulfat steigt, aber die Zunahme der Sulfatkonzentration größer ist.

## 5.6. Kolbquelle

Art der Wasserspende:	Quelle gefasst
Probenort:	Überlauf
Seehöhe (müA):	1124
Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus $\delta^{18}\text{O}$ Jahresmittel (müA):	1220
Geologie:	Hangend: Feuerstätter Sandstein Liegend: Rutschkörper ?
Quellentyp:	Schichtstauquelle, Überlaufquelle
Wassertyp:	Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>

**Mineralisation:**

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	432,7 / 450,8
Mittelwert / Medianwert (eq)	5,9 / 6,2
Standardabweichung (%)	10,39

**Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):**

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S/cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	0,41 / 0,32	536,4 / 546,5	6,3 / 6,6
Standardabweichung (%)	79,7	9,7	16,7

Eine Niederschlagssumme von 181 mm innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte, führte zu einer geringfügigen Zunahme der Schüttung am 23. 09. 2004 bei gleichzeitig, signifikant abnehmender elektrischer Leitfähigkeit ( $-170 \mu\text{S/cm}$ ). Am 26.11.2004 und 07.01.2005 ist ebenfalls eine geringfügige Erhöhung der Schüttung zu beobachten (gleichzeitig Abnahme der elektr. Leitfähigkeit). Dieses ist auf die Niederschläge (Regen) bzw. auf das tägliche Temperaturmittel der Lufttemperatur über  $^{\circ}\text{C}$  0 (kurzfristiges Tauwetter; 24./25.12.2004 und 01.01. bis 07.01.2005) zurückzuführen. Ab April nimmt die Schüttung wieder deutlich zu, parallel dazu, die elektr. Leitfähigkeit deutlich ab („Warmperiode“ im März – Schneeschmelze ?). Die maximale Schüttung ( $\sim 1\text{l/sec}$ ) wird Mitte Mai erreicht und verringert sich bis Ende Mai auf ca.  $0,5\text{l/sec}$ . Es ist anzunehmen, dass die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) die hohe Schüttung im Mai 2005 beeinflussen. Die Schneeschmelze (März) führt in Kombination mit großen Niederschlagsmengen im Mai bei einer deutlich erhöhten Schüttungsmenge zu einer Abnahme der elektr. Leitfähigkeit um etwa  $70 \mu\text{S/cm}$ . Die Wassertemperatur folgt der Lufttemperatur mit einer minimalen Zeitverschiebung im Herbst/Winter.

**Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )**

Die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Kolbquelle deutet einen schwach entwickelten Jahresgang, zeitlich versetzt zum Niederschlag (zum Jahrestemperaturgang der Lufttemperatur), an. Der  $^{18}\text{O}$  Gehalt nimmt ab dem Sommer 2004 signifikant zu, erreicht im September seinen Höhepunkt und nimmt dann bis anfangs April 2005 kontinuierlich ab. Überlagert wird dieser Jahresgang von einem ausgeprägten „Wärmepeak“ (Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes) am 23.09.2004 der entweder auf den zeitverzögerten Einfluss der großen Niederschlagsmengen im August/September (181 mm) schließen lässt, oder viel eher eine Reaktion auf 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme darstellt. Hingegen führt die Schneeschmelze (März 2005) zu einer deutlichen Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes anfangs April 2005 (Kältepeak-Schneeschmelze). Ab Mai 2005 nimmt der  $^{18}\text{O}$  Gehalt wieder zu (Wärmeeinfluss des Regens).

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Die Gesamtmineralisation der Kolbquelle unterscheidet sich deutlich von den bisherigen Quellen. Zum einen liegt die höchste Gesamtmineralisation vor (450 mg/l), wobei alle analysierten Parameter (Hauptelemente) mit Ausnahme von Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), Nitrat und Chlorid hohe Gehalte aufweisen. Zum anderen bedingt der hohe Gehalt von Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) sogar den Wassertyp ( $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ ).

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung ist durch eine mehrphasige Dynamik gekennzeichnet. Alle untersuchten Elemente reagieren auf die Schneeschmelze (April 2005) und die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) mit einer Abnahme des Kationen/Anionengehaltes.

Auf die Niederschlagssumme von 181 mm innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte, reagieren die Hauptelemente Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Sulfat, Hydrogenkarbonat und Chlorid sowie  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  unmittelbar und prägnant mit einer Abnahme des Kationen-/Anionengehaltes. Interessant ist nun, dass bei Kalium, und Strontium bereits zuvor, am 19.08.2004, ein deutlicher Peak zu beobachten ist, wobei bei Kalium der Gehalt steigt und bei Strontium punktuell eine signifikante Abnahme zu verzeichnen ist.

Im Zeitraum vom 26.11.2004 bis 07.01.2005 oder nur am 07.01.2005 ist bei den meisten Parametern (Ca, Mg, Na, K,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , Sr,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) eine Abnahme der Konzentration festzustellen. Dies könnte auf den Einfluss von Niederschlägen (Regen), gepaart mit Tauwetter im November/Dezember 2004 und anfangs Jänner 2005 zurückzuführen sein.

Eine Ausnahme stellt der Konzentrationsverlauf der Kieselsäure dar, die nach hoher Konzentration im Sommer/Herbst ab November 2004 bis zum 12.05.2005 stetig abnimmt und dann, nach den großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm), wieder deutlich zunimmt.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Signifikant ist, dass Strontium in der Kolbquelle die höchste Spurenelementkonzentration aller beprobten Wasserspenden aufweist. In Kombination mit deutlich erhöhten Bariumwerten und etwas erhöhten Chromgehalten ist im Vergleich mit den geochemisch untersuchten Gesteinsproben auch ein Einfluss aus der Junghansen-/Schelpenserie anzunehmen. Interessant ist, dass die eng benachbarte Vogt- sowie Baderquellen durch ein Minimum der Strontiumkonzentration gekennzeichnet sind.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Kolbquelle ist im Vergleich zu den bisher besprochenen Quellen durch ausgeprägte hydrochemische Trends (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse), über den gesamten Untersuchungszeitraum gekennzeichnet.

Augenscheinlich ist, dass diese Trends (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse) einerseits auf Verdünnungsprozesse (Regenwasser) zurückzuführen sind (Kalzium, Magnesium) andererseits mehr zugeführt (Sulfat) oder weniger bis nichts zugeführt wird (Hydrogenkarbonat, Kalium) als durch Verdünnungseffekte mit Regenwasser bewirkt wird. Es ist anzunehmen, dass eine hydrochemische Zumischung aus zumindest einer weiteren Grundwasserphase besteht (vgl. auch Natrium).

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis bleibt trotz deutlicher Änderung der Kationensumme gleich. Dieser Verdünnungseffekt ist auf den Einfluss des Niederschlags zurückzuführen oder auf eine mengenmäßig gleiche Zu- oder Abführung von Calcium und Magnesium.

Das Natrium-/Kaliumverhältnis zeigt keinen generellen Trend. Allerdings schwankt das Kationenverhältnis bei gleich bleibender Kationensumme beträchtlich. Dies ist vor allem auf Zumischung bzw. Abführungsprozesse von Natrium zurückzuführen. Verdünnungsprozesse durch Niederschlag treten in den Hintergrund.

Das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis nimmt mit größerer Anionensumme geringfügig ab. Dies ist auf die Zunahme der Sulfatkonzentration zurückzuführen (die Hydrogenkarbonatkonzentration nimmt nur leicht zu). Grundsätzlich ist dieses annähernd gleich bleibende Verhältnis auf den Einfluss des Niederschlags (Verdünnungseffekt) oder auf eine mengenmäßig annähernd gleiche Zu- oder Abführung von Hydrogenkarbonat und Sulfat zurückzuführen.

## 5.7. Vogt Quelle

Art der Wasserspende: Quelle ungefasst  
 Probenort: Quellaustritt  
 Seehöhe (müA): 1125  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1350  
 Geologie: Hangend: Feuerstätter Sandstein  
 Liegend: Junghansen Schichten  
 Quelltyp: Schichtstauquelle  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	102,2 / 112,7
Mittelwert / Medianwert (eq)	1,3 / 1,4
Standardabweichung (%)	23,4

### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S/cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	0,51 / 0,1	123,9 / 137,9	6,52 / 6,10
Standardabweichung (%)	207,4	23,6	12,9

Der zu Beginn einer Vernässungszone beprobte Quellaustritt ist durch eine generell geringe Schüttung ( $< 0,5$  l/sec) gekennzeichnet. Die Niederschlagssumme von 181 mm innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme erfolgte, führte zu einer nur äußerst geringfügigen Zunahme der Schüttung am 23. 09. 2004 bei gleichzeitig, deutlich abnehmender elektrischer Leitfähigkeit ( $- 70 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Am 26.11.2004 und 07.01.2005 ist ebenfalls eine geringfügige Zunahme der Schüttung bei gleichzeitig abnehmender elektrischer Leitfähigkeit zu beobachten. Es ist anzunehmen, dass dies auf Niederschläge (Regen) bzw. auf das tägliche Temperaturmittel der Lufttemperatur über  $^{\circ}\text{C}$  0 (kurzfristiges Tauwetter am 24./25.12.2004 und 01.01. bis 07.01.2005) zurückzuführen ist. Ab April nimmt die Schüttung signifikant zu („Warmperiode“ im März/April – Schneeschmelze?). Die maximale Schüttung ( $\sim 3$  l/sec) wird Mitte Mai erreicht und nimmt bis Ende Mai auf 0.1 l/sec. ab. Es ist anzunehmen, dass die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) zu der hohen Schüttung im Mai 2005 (Probenahme: 12.05.2005) führten. Die Schneeschmelze (März/April 2005) in Kombination mit hohen Niederschlagsmengen im Mai 2005, bei einer deutlich erhöhten Schüttungsmenge, führt im Gegensatz zur Kolbquelle, zu einer nur minimalen Abnahme der elektr. Leitfähigkeit um etwa  $15 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Wassertemperatur folgt der Lufttemperatur ohne wesentliche Phasenverschiebung zueinander.

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Vogt Quelle deutet einen schwach entwickelten Jahresgang, zeitlich versetzt zum Niederschlag (zum Jahrestemperaturgang der Lufttemperatur), an. Der  $^{18}\text{O}$  Gehalt nimmt ab dem Sommer 2004 bis zum 04.11.2004 stetig zu, sinkt dann bis zum 26. 11. 2004 etwas ab (kurzfristiger Einfluss von Niederschlag, vgl. auch elektrische Leitfähigkeit) und erreicht im Jänner 2007 den höchsten Gehalt. Dies weist auf den Einfluss von Niederschlägen mit einem höheren  $^{18}\text{O}$  Gehalt („Wärmepeak“) hin. Der breite „Wärmepeak“ im September/November 2004 (hoher  $^{18}\text{O}$  Gehalt) lässt auf den zeitverzögerten Einfluss der großen Niederschlagsmengen im August/September ( $\sim 300$  mm) schließen. Ab 07.04.2005 bis zum 30.06.2005 liegt generell ein niedriger  $^{18}\text{O}$  Gehalt im Quellwasser vor („breiter Kältepeak“ – Einfluss kälteren Schneeschmelzwassers). Gegen Juni nimmt der  $^{18}\text{O}$  Gehalt wieder etwas zu. Eine signifikante Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes zeitgleich mit der maximalen Schüttung im Mai 2005 (Kältepeak-Schneeschmelze) konnte nicht beobachtet werden.

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Die Vogt Quelle ist durch die niedrigste Gesamtmineralisation aller beprobten Wasserspenden charakterisiert. Sämtliche Hauptelemente weisen eine äußerst geringe Konzentration auf. Eine Ausnahme stellt die Kieselsäure ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) dar, deren Konzentration im Vergleich zu den übrigen Quellen im Mittelfeld liegt.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung der Vogtquelle ist bei generell geringen Konzentrationen sämtlicher Parameter im Wesentlichen durch eine Abnahme der Mineralisation infolge Verdünnungseffekte durch Niederschläge und/oder Schneeschmelze gekennzeichnet.

Dazu zählt die Niederschlagssumme von 181 mm innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme (23.09.2004) erfolgte. Dies führte zu einer deutlichen Konzentrationsabnahme sämtlicher Parameter am 23. 09. 2004.

Dazu zählt der Zeitraum vom 26.11.2004 bis 07.01.2005 in dem bei den meisten Parametern (ausgenommen Kalium und Chlorid) eine Abnahme der Konzentration vorliegt. Es ist anzunehmen, dass dies auf Verdünnungseffekte durch den Einfluss von Niederschlägen (Regen) bzw. Tauwetter (tägliches Temperaturmittel der Lufttemperatur über °C 0 am 24./25.12.2004 und 01.01. bis 07.01.2005) zurückzuführen ist.

Und alle untersuchten Elemente reagieren auf die Schneeschmelze und die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) mit einer Abnahme des Kationen-/Anionengehaltes.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Wie bei den Hauptelementen weisen auch die meisten Spurenelemente eine äußerst geringe Konzentration auf. Geringfügig sind der Zink- und der Bariumgehalt erhöht. Unter der Annahme, dass der Feuerstätter Sandstein den Aquifer repräsentiert und die Junghansen-Schichten den relativen Stauer bilden ist anhand der Spurenelementgehalte der geochemisch untersuchten Gesteinsproben ein geringfügiger Einfluss der Junghansen-Schichten möglich.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Trotz ihrer geringen Mineralisation ist die Vogtquelle durch ausgeprägte hydrochemische Trends (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse), über den gesamten Untersuchungszeitraum gekennzeichnet. Diese Prozesse sind deutlich bei Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium sowie bei Hydrogenkarbonat und Sulfat zu beobachten, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch die Konzentration dieser Hauptelemente unterschiedlich stark zunimmt. Die unterschiedlichen Konzentrationen bei z.T. gleich bleibender Kationensumme (Kalium) weisen darauf hin, dass mehr Kalium zugeführt/abgeführt wird als durch Verdünnungseffekte mit Regenwasser bewirkt wird. Die Konzentration von Nitrat nimmt mit zunehmender Anionengesamtmineralisation geringfügig ab.

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis zeigt keinen generellen Trend. Allerdings schwankt das Kationenverhältnis bei gleich bleibender Kationensumme beträchtlich. Dies ist vor allem auf unterschiedliche Zumischung bzw. Abführungsprozesse von Magnesium zurückzuführen.

Ein ähnlicher Sachverhalt liegt beim Natrium/Kaliumverhältnis vor. Das schwankende Na/K Verhältnis ist auf die unterschiedliche Zumischung bzw. Abführungsprozesse von Natrium zurückzuführen.

Das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis tendiert dazu mit zunehmender Anionensumme, innerhalb eines größeren Schwankungsbereiches (Streuung), abzunehmen. Dies ist auf die verhältnismäßig stärkere Zunahme des Sulfatgehaltes gegenüber der Zunahme des Hydrogenkarbonatgehaltes zurückzuführen.

## 5.8. Alpenrosequelle

Art der Wasserspende: gefasste Quelle  
 Probenort: 1 künstlicher Quellast  
 Seehöhe (müA): 1059  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1310  
 Geologie: Rutschkörper ?  
 Quelltyp: Schichtstauquelle; Überlaufquelle ?  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	190,3 / 189,6
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,4 / 2,4
Standardabweichung (%)	4, 7

### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	2,3 / 2,2	224,2 / 222,0	7,0 / 7,2
Standardabweichung (%)	35,1	5,13	7,1

Von einer hohen Schüttungsmenge im Juli ausgehend nimmt diese bis Ende November nur geringfügig ab. Dadurch ist auch belegt, dass keine unmittelbare Auswirkung von großen und kurzfristig vor der Probenahme am 23.09.2004 erfolgten Niederschlägen (20.-23. 09. 2004 mit 44 mm Regen) auf die Schüttung besteht. Von etwa derselben Schüttungsmenge wie Ende November 2004 ausgehend, nimmt ab April 2005 die Schüttung signifikant zu („Warmperiode“ im März/April – Schneeschmelze ?). Die maximale Schüttung ( $\sim 3,5\text{l}/\text{sec}$ ) wird bereits anfangs April erreicht und dauert bis Mitte Mai. Ende Juni ist die Schüttung auf  $1,6\text{l}/\text{sec}$  rückläufig. Es ist anzunehmen, dass die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) zu der hohen Schüttung im Mai 2005 (Probenahme: 12.05.2005) führten. Interessant ist, dass gleichzeitig mit geringfügig abnehmender Schüttung im November auch ein Rückgang der elektrischen Leitfähigkeit um ca.  $30\ \mu\text{S}/\text{cm}$  zu beobachten ist (phasenversetzte Reaktion auf die großen Niederschlagsmengen im August/ September ( $\sim 330\ \text{mm}$ ) oder kurzfristiger Einfluss von Regen im November). Die Schneeschmelze (März/April 2005) in Kombination mit hohen Niederschlagsmengen im Mai, bei einer deutlich erhöhten Schüttungsmenge, führt zu einer nur geringfügigen Abnahme der elektr. Leitfähigkeit um etwa  $20\ \mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Alpenrosequelle ist durch eine deutliche Amplitudenschwankung gekennzeichnet und deutet einen schwach entwickelten Jahresgang, zeitlich versetzt zum Niederschlag (zum Jahrestemperaturgang der Lufttemperatur), an. Der  $^{18}\text{O}$  Gehalt nimmt ab dem Sommer 2004 bis zum 04.11.2004 stetig zu (Einfluss der großen Niederschlagsmengen im August/ September  $\sim 330\ \text{mm}$ ) und sinkt dann bis zum 07.01. 2005 kontinuierlich ab. Dieser Rückgang des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes (Kältepeak) wird auf den Einfluss von Niederschlagsereignissen im November/Dezember, möglicherweise in Form von Schnee mit

anschließendem Tauwetter (vgl. Abnahme der elektr. Leitfähigkeit) zurückgeführt. Die Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes im Quellwasser (Februar, März 2005) wird als Weiterführung des phasenversetzten Einflusses der großen Niederschlagsmengen im August/ September (~330 mm) interpretiert. Denkbar ist auch, aber auf Grund der hohen Schneelage im Februar/März eher unwahrscheinlich, ein Einfluss kurzfristige Warmphasen mit Niederschlag (Regen) im Winter. Ab 07.04.2005 bis zum 30.06.2005 liegt generell ein niedriger  $^{18}\text{O}$  Gehalt im Quellwasser vor („breiter Kältepeak“ - Einfluss kälteren Schneeschmelzwassers). Gegen Juni nimmt der  $^{18}\text{O}$  Gehalt wieder leicht zu. Eine signifikante Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes zeitgleich mit der maximalen Schüttung im April/Mai 2005 (Kältepeak-Schneeschmelze) konnte nicht beobachtet werden.

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Die Alpenrosequelle reiht sich mit ihrer niedrigen Gesamtmineralisation am Ende einer gedachten Linie (Eichquelle 5 - Eichquelle 1 und 2 bis zur Vogt und Alpenrosequelle) mit ähnlich niedriger Gesamtmineralisation ein. Dementsprechend sind auch die Konzentrationen aller einzelnen Hauptelemente (Kationen / Anionen) im Vergleich zu den übrigen Wasserspenden niedrig, wobei kein Element diesem Trend widerspricht.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenuntersuchung ist im Wesentlichen durch eine kontinuierlich geringfügig zunehmende (Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Sr) bzw. gleichbleibende (Na, K) Konzentration vom Juli 2004 bis zum März 2005 gekennzeichnet. Unterbrochen wird dieser homogene Konzentrationsverlauf nur von einer kurzfristigen und geringfügigen Konzentrationsabnahmen im September ( $\text{SO}_4$  Ende November). Diese kurzfristige Konzentrationsabnahme am 23.09.2004 wird auf die große Niederschlagssumme von 181 mm innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme am 23.09.2004 erfolgte, zurückgeführt.

Alle untersuchten Elemente reagieren auf die Schneeschmelze (März/April 2005) und die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) mit einer Abnahme des Kationen-/Anionengehaltes im April/Mai 2005.

Gegenläufig zu diesem Trend verläuft die Chloridkonzentration, die ab Beginn der Untersuchungen (Juli 2004) bis zum Ende (Juni 2005) stetig abnimmt und dabei keine Beeinflussung hinsichtlich meteorologischer Verhältnisse zeigt (die Konzentration liegt mit ca. 1 mg/l nahe der Nachweisgrenze).

Die generell geringe (< 4 mg/l) Konzentration der Kieselsäure steigt bis zum September an, nimmt dann kontinuierlich bis Ende Mai 2005 ab und steigt gegen Juni 2005 wieder merklich an. Auch hier ist keine unmittelbare Beeinflussung durch meteorologische Verhältnisse erkennbar.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Die Spurenelementkonzentration ist in allen Parametern (Spurenelemente) mit Ausnahme von Barium, durch äußerst hohe Konzentrationen gekennzeichnet. Schließt man eine anthropogene Beeinflussung aus (Metall-Drainagenrohr-Metallrohr als Zuleitung) so weisen die hohen Konzentrationen einzelner Spurenelemente im Vergleich mit den geochemisch untersuchten Gesteinsproben auf einen Einfluss aus den Junghansenschichten (Chrom, Cu, Zn) und /oder Schelpenserie (Sr) hin.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Alpenrosequelle zeigt ähnlich der Bader-/Metzlerquelle- und Lustenauerriesquelle eine weitgehend konstante hydrochemische Zusammensetzung über den gesamten Untersuchungszeitraum, ausgeprägte Trends liegen nicht vor. In geringem Ausmaß sind Schwankungen (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse) in allen untersuchten Elementen festzustellen, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation auch der Gehalt der Hauptelemente zunimmt. Bei Kalium und Natrium ist dieser Trend durch eine größere Streuung der Gehalte bei gleich bleibender Kationensumme verschleiert. Dies deutet nicht auf Verdünnungseffekte des Grundwassers sondern auf Zumischungs-/ Abführungsprozesse von Kalium/Natrium hin. Am geringsten ist die Konzentrationszunahme von Natrium im Verhältnis zur Zunahme der Kationensumme ausgebildet. Die geringfügige Änderung von Nitrat- und Chloridgehalten folgt keinem Trend (Punktwolke).

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis bleibt trotz deutlicher Änderung der Kationensumme etwa gleich. Dieser „Verdünnungseffekt“ ist auf den Einfluss des Niederschlags zurückzuführen oder auf eine mengenmäßig annähernd gleiche Zu- oder Abführung von Calcium und Magnesium.

Das Natrium-/Kaliumverhältnis zeigt bei gleich bleibender Kationensumme deutlich Schwankungen (Punktwolke), wobei sich das Verhältnis bei zunehmender Kationensumme eher zugunsten von Kalium entwickelt. Im Detail bedeutet dies, dass sowohl die Konzentration von Natrium als auch von Kalium steigt, aber die Zunahme der Kaliumkonzentration größer ist.

Das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis zeigt keinen generellen Trend, sondern ist durch eine geringe Streuung (Punktwolke) gekennzeichnet. Dies ist auf minimal unterschiedliche Zumischung bzw. Abführungsprozesse von Sulfat zurückzuführen.

## 5.9. Vögelquelle

Art der Wasserspende:	Quelle gefasst
Probenort:	Quellfassung (Metallrohr) - Viehtränke
Seehöhe (müA):	962
Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus $\delta^{18}\text{O}$ Jahresmittel (müA):	---
Geologie:	Rutschmasse Unterhang, Stirnwulst
Quellentyp:	Aquiferverengung ?
Wassertyp:	Ca-HCO <sub>3</sub>

**Mineralisation:**

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	218,7 / 242,5
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,7 / 3,0
Standardabweichung (%)	16,94

**Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):**

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S/cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	0,07 / 0,04	255,6 / 276,5	9,86 / 9,85
Standardabweichung (%)	137,7	19,2	32,0

Vorab sei angemerkt, dass auf Grund der lückenhaften Probenahmen und wechselnder Probenahmestellen und fehlender isotopenhydrogeologischer Beprobung nur beschränkt Aussagen möglich sind.

Diese gering schüttende Quelle (< 0,3 l/sec) zeigt keine unmittelbare Auswirkung der großen Niederschlagsmengen im August und September (~330 mm) auf die Schüttung im Herbst (19.08.2004; 23.09.2004). Nachdem die Quelle am 23.09.2004 ausgetrocknet ist, nimmt ab November die Schüttung wieder zu und erreicht anfangs Jänner 2005 mit 0,3 l/sec den Maximalwert. Die Schneeschmelze im März/April/ 2005 sowie die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) führten zu einem nur äußerst geringen Schüttungsanstieg (Probenahme: 12.05.2005). Im Februar/März konnte die Quelle nicht beprobt werden. Die minimale Zunahme der Schüttung (26.11.2004 und 12.05.2005) führt jeweils zu einer deutlichen Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit um ca. 100  $\mu\text{S/cm}$ . Die Wassertemperatur folgt der Lufttemperatur ohne wesentliche Phasenverschiebung zueinander.

**Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )**

Eine Isotopenhydrogeologische Beprobung und Interpretation wurde nicht durchgeführt.

**Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)**

Die Vögelquelle ist mit 242  $\mu\text{S/cm}$  etwas höher mineralisiert als die Alpenrosequelle und liegt demnach im Bereich der Bader-/Metzler- und Lustenauer Ries Quelle. Sie bildet das etwas höher mineralisierte Ende der gedachten Linie (Eichquelle 5 - Eichquelle 1 und 2 bis zur Vogt und Alpenrosequelle). Im Vergleich zur Alpenrosenquelle und Vogtquelle sind vor allem die Gehalte von Natrium, Kalium Strontium und Chlorid deutlich erhöht. Die geringe Konzentration von Calcium, Magnesium und Sulfat ist ident mit der benachbarten Alpenrosenquelle und Vogtquell. Signifikant ist der höchste Gehalt an Kieselsäure, vergleichbar mit Kolb- und Eichquelle 2.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Grundsätzlich lassen sich zwei unterschiedliche Trends in der hydrochemische Zeitreihenauswertung darstellen.

Trend1 ist durch einen stark schwankenden Konzentrationsverlauf gekennzeichnet. Es ist anzunehmen, dass die Abnahme der Konzentration der meisten Parameter (Ca, Mg, Na, Sr, HCO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) im Herbst/Winter 2004 (23.09.2004/26.11.2004 bis 07.01.2005) und Mai 2005 (12.05.2005) auf Verdünnungseffekte durch Niederschläge/Schneesmelze zurückzuführen sind. Die generell hohe Konzentration anfangs April 2005 deutet auf einen Anstieg der Konzentration im Winter hin.

Trend 2 ist durch einen gegensätzlichen, ebenso stark schwankenden Konzentrationsverlauf der Elemente Kalium, Sulfat, Nitrat und Chlorid gekennzeichnet, wobei jeweils am 23.09 2004 und vom 26.11.2004 bis 07.01.2005, nach relevanten Niederschlagsereignissen eine deutliche Zunahme der Konzentration erfolgt. Anhand der betroffenen Parameter könnte die Ursache in einer Beeinflussung dieser Quelle durch landwirtschaftlich genutzte Betriebe liegen.

Ausschlaggebend für die starke Schwankung des Konzentrationsverlaufes sämtlicher Parameter (Trend1 und Trend 2) dürften 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme am 23.09.2004 sowie der Einfluss von Niederschlagsereignissen im November/Dezember, möglicherweise in Form von Schnee mit anschließendem Tauwetter (24./25.12.2004 und 01.01. bis 07.01.2005) sein.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Strontium stellt mit der hohen Spurenelementkonzentration das Leitelement in der Charakterisierung der Vögelquelle in Abhängigkeit von durchflossenen Sedimenten/Gesteinen (Korrelation zwischen „Hydrofazies“ und „Lithofazies“/Geologie anhand der Spurenelementkonzentration im Wasser sowie in den Leitgesteinen) dar. Geringe Gehalte weisen noch Barium und Zink auf. Alle übrigen Spurenelemente liegen in einer sehr geringen Konzentration vor, wobei der geringe Gehalt an Chrom als „negatives“ Leitelement zu verwenden ist. Im Vergleich mit den Spurenelementen an geochemisch untersuchten Gesteinsproben deutet diese Kombination von Spurenelementen in der Vögelquelle am ehesten auf einen signifikanten Einfluss der Schelpen Serie und/oder Aptychenschichten hin.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Mineralisation der Vögelquelle ist durch eine heterogene Zusammensetzung mit großen Schwankungsbreiten über den gesamten Untersuchungszeitraum charakterisiert. Deutlich zeichnen sich unterschiedliche Trends (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse) ab.

Die Elemente Calcium, Magnesium Natrium, und Hydrogenkarbonat zeigen deutliche Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse, wobei mit zunehmender Kationensumme auch die Konzentration dieser Hauptelemente entlang einer Geraden zunimmt. Eine größere Streuung der Werte um diese Gerade liegt bei Magnesium vor, sodass bei gleicher Kationensumme unterschiedliche Magnesiumkonzentrationen vorliegen. Im Gegensatz dazu tritt bei den Elementen Kalium, Sulfat, Chlorid und Nitrat mit zunehmender Kationen-/Anionensumme eine Abnahme der Konzentration ein. Ausgeprägt ist jeweils eine starke

Streuung der Gehalte, sodass bei gleicher Kationen-/Anionensumme auch deutlich unterschiedliche Gehalte vorliegen.

Anzunehmen ist, dass diese Trends (Zumischung, Abführung,) auch auf Verdünnungsprozesse durch Regenwasser zurückzuführen sind (Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>) wobei die Zunahme von K, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> bei abnehmender Kationen-/Anionensumme durch anthropogenen Eintrag zu erklären ist.

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis ist durch eine starke Streuung der Werte gekennzeichnet (Punktwolke), ein Trend ist nicht abzuleiten. Dies ist vor allem auf unterschiedliche, stark schwankende Zumischungs- bzw. Abführungsprozesse von Magnesium zurückzuführen.

Das Natrium-/Kaliumverhältnis verschiebt sich bei zunehmender Kationensumme zugunsten von Natrium, wobei eine starke Streuung der Werte vorliegt. In diesem Fall ist dies auf die Abnahme der Kaliumkonzentration bei gleichzeitiger, geringer Zunahme der Natriumkonzentration zurückzuführen. Auch treten bei gleich bleibender (hoher) Kationensumme unterschiedliche Na/K Verhältnisse auf.

Ein ähnlicher Trend liegt auch beim Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis vor. Das Verhältnis verschiebt sich mit zunehmender Anionensumme zugunsten von Hydrogenkarbonat, wobei eine starke Streuung der Werte vorliegt. In diesem Fall ist dies auf die deutliche Zunahme der Hydrogenkarbonatkonzentration bei gleichzeitiger, geringer Abnahme der Sulfatkonzentration zurückzuführen. Auch treten z.T. bei gleich bleibender Anionensumme unterschiedliche HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub> Verhältnisse auf.

## 5.10. Bodensonde

Art der Wasserspende: Drainagegraben  
 Probenort: Ausfluss Drainagegraben  
 Seehöhe (müA): 1020  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1130  
 Geologie: Schuttstrom  
 Quelltyp:  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	433,5 / 432,0
Mittelwert / Medianwert (eq)	5,4 / 5,4
Standardabweichung (%)	7,89

### Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	0,04 / 0,04	459,4 / 465,0	7,5 / 7,6
Standardabweichung (%)	48,5	11,6	23,9

Die Feldbeobachtungen dieser äußerst gering schüttenden Quelle ( $< 0,1$  l/sec) begannen erst am 26.11.2004. Deshalb sind mögliche, unmittelbare Auswirkungen der großen Niederschlagsmengen im August und September 2004 ( $\sim 330$  mm) auf die Schüttung am 19.08.2004 und 23.09.2004 nicht nachzuvollziehen. Fest steht auch, dass keine zeitversetzte Reaktion der Schüttung im Winter auf die großen Niederschlagsmengen im August und September 2004 einsetzte, da es im gesamten Messzeitraum kaum messbare Änderungen des Schüttungsverlaufes gab ( $\pm 0,5$  l/sec).

Eine geringfügige Zunahme der Schüttung, zugleich auch die maximale Schüttung im Untersuchungszeitraum ( $0,09$  l/sec), ist am 07.01.2005 (vgl. auch  $^{18}\text{O}$  Gehalt) zu beobachten. Hingegen führt die Schneeschmelze im März/April 2005 zu keinem Schüttungsanstieg. Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers hat ihren niedrigsten Wert am 26.11.2004 ( $356 \mu\text{S/cm}$ ), pendelt sich dann bei ca.  $450 \mu\text{S/cm} \pm 20 \mu\text{S/cm}$  ein, reagiert auf die Schneeschmelze im März/April 2005 mit einer kurzfristigen Abnahme (vgl.  $^{18}\text{O}$  Gehalt) am 07.04.2005 und erreicht am letzten Messzeitpunkt (30.06.2006) den Höchstwert mit  $542 \mu\text{S/cm}$ . Eine ausgeprägte Wechselwirkung der elektr. Leitfähigkeit mit meteorologischen Randbedingungen ist nicht gegeben. Die Wassertemperatur folgt der Lufttemperatur ohne wesentliche Phasenverschiebung zueinander.

### Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Kennzeichnend für die ( $\delta^{18}\text{O}$ ) Isotopenganglinie der Bodensonde ist die oftmalige, ausgeprägte Schwankung des  $\delta^{18}\text{O}$  Wertes. Der höchste  $^{18}\text{O}$  Gehalt im Quellwasser (Wärmepeak) wird im Winter (07.01.2005) erreicht. Dieser, und der „Wärmepeak am 11.03.2005, wird auf einen kurzfristigen Einfluss von Niederschlagsereignissen mit einem höheren  $^{18}\text{O}$  Gehalt („warmer“ Regen) zurückgeführt. Signifikant spiegelt sich auch der Einfluss der Schneeschmelze (März/April 2005) durch den geringsten Gehalt an  $^{18}\text{O}$  im Quellwasser (Kältepeak) am 07.04.2005, wieder. Die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 ( $150$  mm) bewirken eine sofortige Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes im Quellwasser (Wärmepeak).

Generell ist anzunehmen, dass selbst kurzfristige Änderungen im Witterungsverlauf (z.B. Warmphasen mit Niederschlag –Regen– im Winter) unmittelbar eine Änderung des  $\delta^{18}\text{O}$  Wertes bewirken.

### Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)

Die Quelle Bodensonde zählt mit  $432 \mu\text{S/cm}$  neben der Kolbquelle zu der höchst mineralisierten Quelle im Untersuchungsgebiet. Dies ist vor allem auf die Höchstkonzentration der Hauptelemente Calcium und Hydrogencarbonat zurückzuführen. Die Konzentration aller übrigen Hauptelemente liegt im Vergleich zu den übrigen Wasserspenden im Mittelfeld. Hydrochemisch scheint eine Beziehung zwischen Bodensonde und Kolbquelle (Ca, Na, K, Sr, und  $\text{SO}_4$ ) sowie Bodensonde und Alpenrosenquelle (Na, K) zu bestehen. Der relativ niedrige Gehalt an Kieselsäure deutet auch auf eine hydrochemische Verwandtschaft mit Metzler-, Lustenauer-, Eichquelle 5 u. 1 hin.

### Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)

Die hydrochemische Zeitreihenauswertung ist grundsätzlich durch einen einheitlichen Konzentrationsverlauf der Hauptelemente gekennzeichnet. Zu Beginn der Messungen (26.11.2004) liegt generell eine hohe Konzentration aller Parameter mit Ausnahme von Sulfat und Chlorid vor (möglicherweise lag bereits eine niedrige Konzentration von Sulfat und Chlorid, im September/Anfang November 2004 bedingt durch die hohen Niederschlagsmengen im August/September/Oktober 2004 mit etwa 420 mm vor). Diese generell hohe Konzentration am 26.11.2004 sinkt dann zum 07.01.2005 signifikant ab (vgl. Isotopenganglinie - höherer Lufttemperaturen, gepaart mit Niederschlägen in Form von Regen/Schnee im November/Dezember), wobei die Konzentration von Sulfat und Chlorid, gegenläufig zum allgemeinen Trend, zunimmt. Es ist anzunehmen, dass diese ausgeprägten, gegenläufigen Konzentrationsverläufe unmittelbar auf den Einfluss von Niederschlag (Tauwetter) in Form von Verdünnungseffekten, bzw. Anreicherungseffekten zurückzuführen sind.

In den Wintermonaten (Feber, März) steigt die Konzentration wieder deutlich an und nimmt dann im April / Mai 2005, bedingt durch den Einfluss der Schneeschmelze im März/April 2005 und den große Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) wieder signifikant ab. Bis zum Ende des Messzeitpunktes ist wieder ein Anstieg der Konzentration zu verzeichnen.

Einen ähnlichen Konzentrationsverlauf zeigt auch die Kolb- und Vögelquelle. Analog zur Charakteristik der Kolb- und Vögelquelle weist auch der Konzentrationsverlauf der Hauptelemente der Bodensonde auf einen unmittelbaren Einfluss von Niederschlag/Schneeschmelze (Verdünnungseffekt) hin.

Eine Ausnahme stellt die Kieselsäurekonzentration dar, die vergleichbar mit den übrigen Parametern, eine hohe Konzentration im November aufweist und dann in den Wintermonaten kontinuierlich bis zum 07. April 2005 abnimmt. Ab Mai, bis zum Ende des Messzeitpunktes, ist wieder ein Anstieg der Konzentration zu verzeichnen.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Strontium (sehr hohe Spurenelementkonzentration) und Chrom (äußerst geringe Spurenelementkonzentration) stellen die Leitelemente in der Charakterisierung der Bodensonde in Abhängigkeit von durchflossenen Sedimenten/Gesteinen (Korrelation zwischen „Hydrofazies“ und „Lithofazies“/Geologie anhand der Spurenelementkonzentration im Wasser sowie in den Leitgesteinen) dar. Im Vergleich zu den übrigen Quellen ist auch der Zinkgehalt in der Bodensonde deutlich erhöht. Im Vergleich mit den Spurenelementen an geochemisch untersuchten Gesteinsproben deutet diese Kombination von Spurenelementen in der Bodensonde am ehesten auf einen signifikanten Einfluss der Schelpen Serie und/oder Aptychenschichten hin.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Bodensonde, vergleichbar mit der Kolbquelle, ist durch ausgeprägte hydrochemische Trends aller Elemente (Zumischungs-, Abführungs- oder Lösungsprozesse), über den gesamten Untersuchungszeitraum gekennzeichnet.

Augenscheinlich ist, dass diese Trends (Zumischung, Abführung) einerseits auf Verdünnungsprozesse (Regenwasser) zurückzuführen sind (Calcium, Magnesium, Kalium, Hydrogenkarbonat), wobei mit abnehmender Kationensumme auch die Konzentration dieser Hauptelemente entlang einer Geraden abnimmt. Eine größere Streuung der Werte um diese Gerade liegt bei Magnesium und Kalium vor, sodass z.T. bei gleicher Kationensumme unterschiedliche Konzentrationen vorliegen. Dies ist als ein Hinweis für eine zusätzliche, geringfügige Zumischung/Abführung von Magnesium / Calcium zu interpretieren.

Deutlich sind diese unterschiedlichen Zumischungs- /Abführungstendenzen beim Element Natrium (Chlorid, Nitrat) entwickelt. Auch wird mehr Sulfat zugeführt (weniger abgeführt) als durch Verdünnungseffekte (Regen) bewirkt wird. D.h. es wird zusätzlich Sulfat ins Grundwassersystem zugeführt.

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis bleibt trotz deutlicher Änderung der Kationensumme gleich. Dieser Verdünnungseffekt (in etwa gleich bleibendes Verhältnis) ist auf den Einfluss des Niederschlags zurückzuführen oder auf eine mengenmäßig annähernd gleiche Zu- oder Abführung von Calcium und Magnesium.

Das Natrium-/Kaliumverhältnis zeigt keinen generellen Trend. Allerdings schwankt das Kationenverhältnis bei gleich bleibender Kationensumme beträchtlich. Dies ist vor allem auf Zumischung bzw. Abführungsprozesse von Na zurückzuführen. Verdünnungsprozesse durch Niederschlag treten in den Hintergrund.

Ebenso zeigt das Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis keinen generellen Trend. Das Kationenverhältnis schwankt bei gleich bleibender Kationensumme beträchtlich. Dies ist vor allem auf Zumischung bzw. Abführungsprozesse von Sulfat zurückzuführen.

### 5.11. Eichquelle 5

Art der Wasserspende: Quelle  
 Probenort: Quellursprung  
 Seehöhe (müA): 1505  
 Mittlere Höhe des Einzugsgebietes aus  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel (müA): 1600  
 Geologie:  
 Quelltyp: Schichtstauquelle/Hangschuttquelle ?  
 Wassertyp: Ca-HCO<sub>3</sub>  
 Mineralisation:

	Gesamtmineralisation
Mittelwert / Medianwert (mg/l)	168,8 / 164,4
Mittelwert / Medianwert (eq)	2,1 / 2,0
Standardabweichung (%)	11,6

**Feldparameter (Schüttung / LF / Temp):**

	Schüttung (l/sec)	LF ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Wassertemp ( $^{\circ}\text{C}$ )
Mittelwert / Medianwert	0,63 / 0,56	205,7 / 203,00	4,82 / 480
Standardabweichung (%)	42,1	9,63	10,7

Die Feldbeobachtungen dieser höchst gelegenen Quelle (1505 müA) begannen erst am 07.04.2005. und erstreckten sich daher nur im Frühjahr/Frühsummer 2005. Notwendig wurde die Beprobung dieser zusätzlichen Quelle vor allem für die Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes der Quellen in Rindberg als Eichquelle ( $\delta^{18}\text{O}$  Isotopenhydrologie). Deshalb sind die Ergebnisse der Feldparameter sowie der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Reihenuntersuchungen nur auf diesen Zeitraum beschränkt, geben aber im Vergleich mit den übrigen Quellen relevante Informationen.

In diesem kurzen Zeitraum zeigt die Reihenbeobachtung am 12.05.2005 die maximale Schüttung. Es ist anzunehmen, dass die großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) zu dieser höheren Schüttung bei gleichzeitig geringerer elektrischer Leitfähigkeit im Mai 2005 (Probenahme: 12.05.2005) führten. Der Maximalwert für die elektrische Leitfähigkeit und der Wassertemperatur wird am 30.05.2005 erreicht.

**Isotopenganglinie ( $\delta^{18}\text{O}$ )**

Die Isotopenganglinie zeigt vom 07.04.2005 bis zum 30.06.2005 generell eine homogene Entwicklung, die durch eine geringfügige, aber kontinuierliche Zunahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes gekennzeichnet ist. Minimale Schwankungen des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes am 12./30.05.2005 weisen auf einen kurzfristigen, witterungsbedingten Einfluss hin. Ein deutlicher Kältepeak (Abnahme des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes auf Grund der Schneeschmelze) ist anhand dieser zeitlich kurzen Isotopenganglinie nicht nachvollziehbar. Jedoch deutet der geringe  $^{18}\text{O}$  Gehalt am 07.04.2005 auf den Einfluss der Schneeschmelze hin.

**Hydrochemie Hauptelemente (Konturplot)**

Vergleichbar mit der Eichquelle 1 ist auch die Eichquelle 5 durch äußerst geringe Gehalte aller Kationen und Anionen gekennzeichnet. Hinsichtlich des relativ kleinräumigen Einzugsgebietes sind kürzere Verweilzeiten des Grundwassers und damit verbunden auch ein geringeres Lösungspotential anzunehmen und zu berücksichtigen.

**Hydrochemie Hauptelemente (Ganglinie)**

Die geringfügige Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit am 30.05.2005 spiegelt sich auch in einer geringfügigen Zunahme aller beprobten hydrochemischen Parameter zum selben Messzeitpunkt wieder. Eine Wechselwirkung mit meteorologischen Verhältnissen lässt sich in diesem kurzen Zeitintervall nicht beschreiben. Anzunehmen ist, dass die geringfügige Zunahme der Konzentration sämtlicher Parameter (Hauptelemente, Sr und  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) auf den Rückgang des Verdünnungseffektes der großen Regenmengen in der 1. Maiwoche 2005 (150 mm) zurückzuführen ist.

### Hydrochemie Spuren (Konturplot)

Ähnlich der Konzentrationsverteilung der Hauptelemente ist die Eichquelle 5 durch äußerst geringe Gehalte aller beprobten Spurenelemente (meist Minima) gekennzeichnet. Der ausgeprägt hohe Chromgehalt sowie die ebenfalls erhöhten Werte von Cu, Pb und Zn der Eichquelle 1 sind in der Eichquelle 5 nicht mehr vorhanden. Im Vergleich mit den Spurenelementen an geochemisch untersuchten Gesteinsproben mag der etwas erhöhte Chromgehalt der Eichquelle 5 als ein Indiz für den Einfluss der Junghansen Schichten gelten.

### Hydrochemische Beziehungs- und Verhältnisdiagramme

Die Eichquelle 5 zeigt ähnlich der benachbarten Eichquelle 1 eine weitgehend konstante hydrochemische Zusammensetzung über den gesamten Untersuchungszeitraum (April bis Juni 2005), ausgeprägte Trends liegen nicht vor. In geringem Ausmaß sind Schwankungen (Zumischung, Abführung) in allen untersuchten Elementen festzustellen, wobei mit zunehmender Gesamtmineralisation die Konzentration der einzelnen Hauptelemente zunimmt. Bei Natrium und Kalium ist dieser Trend durch eine größere Streuung der Gehalte verschleiert. Die geringfügige Änderung von Nitrat- und Chloridgehalten folgt keinem Trend (Punktwolke).

Das Calcium-/Magnesiumverhältnis bleibt trotz deutlicher Änderung der Kationensumme gleich. Dieser Effekt ist auf den Einfluss des Niederschlags (Verdünnung) zurückzuführen oder auf eine mengenmäßig annähernd gleiche Zu- oder Abführung von Calcium und Magnesium. Sowohl beim Natrium/Kaliumverhältnis als auch beim Hydrogenkarbonat-/Sulfatverhältnis ist kein ausgeprägter Trend vorhanden (Punktwolke). Dies ist nicht nur auf Verdünnungsprozesse durch Niederschlag, sondern auch auf unterschiedliche Zumischung bzw. Abführungsprozesse zurückzuführen.

## 6. Diskussion

Im Vorhinein ist zu erwähnen, dass sich das Resümee dieser hydrogeologischen Bearbeitung von Rindberg ausschließlich auf Wasserspenden in Rindberg selbst bezieht. Die für die Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes aus dem  $\delta^{18}\text{O}$  Jahresmittel herangezogenen Quellen (Eichquelle 3 und Eichquelle 4) am Gegenhang werden hier nicht berücksichtigt.

Die hydrogeologische Großcharakterisierung in Rindberg basiert auf:

- der Auswertung hydrogeologischer Feldparameter
- der Auswertung der hydrochemischen Reihenbeobachtung
- Auswertung hydrochemischer Spurenelemente
- der isotopenhydrologischen Auswertung der Reihenbeobachtung des Sauerstoff -18 Gehaltes in den Quellwässern

in Wechselwirkung mit hydrologischen und geologisch-lithologischen Einflussgrößen.

Die hydrochemische Interpretation ergibt zwei Großgruppen (**Quellgruppe 1 & Quellgruppe 2**), die sich signifikant in der Gesamt- und Einzelmineralisation (z.B. Calcium, Natrium, Kalium, Strontium, Hydrogenkarbonat, Sulfat) unterscheiden. Diese Zweiteilung ist in allen hydrochemischen Darstellungen (**Piper Diagramm; Compositional Biplot-Diagramm; Kationen/Anionen-Dreieckdiagramm, Grundwasserphasenplot-Gesamtlösungsinhalt versus Einzelkonzentration; und in den einzelnen Verhältnisdiagrammen - Kalzium/Magnesium; Natrium/Kalium; Hydrogenkarbonat/Sulfat**) nachvollziehbar. Andererseits ist diese Gruppierung auch durch die Auswertung des Sauerstoff -18 Gehaltes in den Quellwässern belegt, wobei die Vogt- sowie die Alpenrosequelle hydrochemisch eher der Quellgruppe 1, isotopenhydrogeologisch eher der Quellgruppe 2 zuzuordnen sind.

Unabhängig von der Quellgruppierung zeigt sich, dass in den Sommermonaten (Juli-August), trotz bedeutsamer Regenmengen (01.07.2004 bis 19.08.2004 mit 274 mm) ein unmittelbarer Einfluss des Niederschlages auf sämtliche analysierte Quellparameter nicht vorhanden ist. Eine erste, deutliche Beeinflussung einzelner Quellen ist in der Beprobung am 23.09.2004 sichtbar. Quellen, bei denen auf Grund ihrer Quellcharakteristik auf ein größeres Einzugsgebiet geschlossen werden kann reagieren auf die vorangegangenen Niederschlagsereignisse im Sommer/Herbst, zeitlich versetzt (Phasenverschiebung zum Niederschlag,) ab November 2004.

## 6.1. Quellgruppe 1

Die **Quellgruppe 1** ist durch eine geringe Mineralisation (Anhang B) gekennzeichnet und besteht aus der Eichquelle 1, Eichquelle 2, Eichquelle 5, Vogtquelle, Alpenrose, Lustenauerriesquelle, Metzlerquelle und Baderquelle.

Auf Grund der äußerst geringen Gesamtmineralisation und der trotzdem hohen Standardabweichung in der Gesamtmineralisation bei einer geringen mittleren Höhe des Einzugsgebiets ( $\delta^{18}\text{O}$ ) nimmt die Vogtquelle innerhalb dieser Gruppe eine Sonderstellung ein.

Zur **Quellgruppe 2**, die durch eine wesentlich höhere Mineralisation gekennzeichnet ist, werden die Kolbquelle, die Bodensonde und mit Einschränkung die Vögelquelle gezählt.

In der Quellgruppe 1 ist deutlich zu erkennen, dass Bader-, Metzler- und Lustenauerriesquelle anhand der geringen Standardabweichung des  $\delta^{18}\text{O}$  Wertes und der Gesamtmineralisation, gepaart mit einem hohen Einzugsgebiet (1450 – 1550 müA) und konstant höheren Schüttungsmengen eine hydrogeologische Affinität besitzen. Diese Affinität zeigt sich auch im Calcium/Magnesiumverhältnis bzw. im Hydrogenkarbonat/Sulfatverhältnis wobei sich mit ang. längerer Verweildauer (Lustenauer Ries-, Metzler-, Baderquelle) das Verhältnis kontinuierlich zugunsten von Magnesium bzw. Sulfat verschiebt.

Generell ist auch eine Zunahme der Gesamtmineralisation (z.B. Na,  $\text{SO}_4$ ) ausgehend von Eichquelle 1 & 2 und Lustenauerriesquelle über Metzler- zur Baderquelle gegeben (längerer Fließweg) gegeben.

Es ist anzunehmen, dass diese „gereiften“ Quellen (Bader-, Metzler- und Lustenauer Ries Quelle) ein größeres Einzugsgebiet mit höheren Verweilzeiten des Grundwassers beanspruchen, und dadurch aktuelle meteorologische Gegebenheiten zeitverzögert und / oder stark gedämpft wiedergeben werden. Trotz hoher Niederschlagssummen (580 mm) vom Juli 2004 bis Oktober 2004 nimmt die Schüttung der o.a. Quellen in diesem Zeitraum kontinuierlich ab und erreicht im März ihren Tiefpunkt. Unterbrochen wird dieser Trend nur von einer geringfügigen Schüttungszunahme, begleitet von einer Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit, Ende November (kurzfristiger Einfluss der Niederschläge im November). Signifikant bildet sich die Schneeschmelze (März/April 2005) mit erhöhten Niederschlagswerten im April/Mai (07.04.2005 bis 12. 05.2005 mit 252 mm) in einer Verdopplung der Abflusswerte ab, ohne dabei eine nennenswerte Änderung des  $\delta^{18}\text{O}$  Wertes herbeizuführen.

Die signifikant unterschiedlichen Spurenelementkonzentrationen in der Bader-, Metzler- und Lustenauerriesquelle (Ba, Cr, Zn) weisen aber darauf hin, dass Sedimente/Gesteine mit unterschiedlichen Spurenelementgehalten durchflossen werden. Diese unterschiedliche Spurenelementkonzentration in den Quellen kann entweder auf eine Zumischung einer zusätzlichen Grundwasserphase in ein bestehendes Grundwassersystem, oder auch mit einem eigenständigen, von den übrigen Quellen separierten Aquifer erklärt werden.

Durch einen Markierungsversuch mit einem Salztracer (Natriumchlorid) durch das Büro Moser/Jaritz und begleitender hydrochemischer Analytik (GBA) wurde der Nachweis einer hydraulischen Verbindung zwischen „Versickerungsbereich“ der Lustenauer Ries Quelle und der Metzler Quelle (Entfernung ca. 460 m) erbracht. Die daraus ermittelte Abstandsgeschwindigkeit beträgt demnach etwa 50 m/Tag.

Vogt und Alpenrosequelle sind durch eine größere Standardabweichung des  $\delta^{18}\text{O}$  Wertes bei einem generell niedrigeren Einzugsgebiet (1300 bis 1350 müA) gekennzeichnet. Der größere Schwankungsbereich des  $^{18}\text{O}$  Gehaltes im Quellwasser (geringe Dämpfung) weist auf einen deutlichen, unmittelbaren Einfluss von Niederschlagsereignissen (Schneeschnmelze) hin. Wie die Bader-, Metzler- und Lustenauer Ries Quelle reagieren beide Quellen mit einer deutlichen Schüttungszunahme nur auf die Schneeschnmelze im Frühjahr 2005, obwohl sich in beiden Quellen die hohen Niederschlagssummen (580 mm) vom Juli 2004 bis Oktober 2004 durch eine Abnahme der elektr. Leitfähigkeit im September/November 2004 durchpaust. Die unmittelbare und ausgeprägte Reaktion ( $^{18}\text{O}$  Gehalt, elektr. Leitfähigkeit) der Vogtquelle am 23.09.2004 auf 181 mm Niederschlag innerhalb von einem Monat (19.08.2004 bis 23.09.2004), wobei 44 mm Niederschlag in den letzten beiden Tagen vor der Probenahme fielen, ist auf ein nahe liegendes Infiltrationsgebiet zurückzuführen.

Ähnlich die Reaktion der Alpenrosequelle, wobei der maximale Peak ( $^{18}\text{O}$  Gehalt, elektr. Leitfähigkeit) um ca. 1-2 Monate zeitverzögert (November 2004) auftritt. Gegaart mit einer größeren Schüttungsmenge ist dieser „breite“ (zeitlich längere), in der Amplitude aber kleinere (gedämpfte) Peak der elektrischen Leitfähigkeit einem etwas größeren Einzugsgebiet zuzuordnen.

Hinsichtlich der signifikant erhöhten Werte in allen Spurenelementen der Alpenrosequelle (im Vergleich zu allen übrigen Wasserspenden) sind zusätzlich zu geogen bedingten Ursachen auch anthropogen bedingte Ursachen zu diskutieren (z.B. Quellfassung).

## 6.2. Quellgruppe 2

Im Vergleich zur Quellgruppe 1 ist die Quellgruppe 2 (Kolbquelle, Bodensonde, Vögelquelle ?) hydrochemisch durch eine wesentlich höhere Gesamtmineralisation (Kolbquelle, Bodensonde), bedingt durch höhere Gehalte relevanter Hauptelemente (z.B. Calcium, Sulfat, Hydrogenkarbonat) sowie bei geringer Gesamtmineralisation (Vögelquelle) durch eine ähnliche Konzentration bestimmter Haupt- und Nebenelemente zueinander (Kalium; Natrium, Strontium, Chrom) charakterisiert. Besonders erwähnenswert ist der hohe Gehalt von Magnesium und Sulfat in der Kolbquelle.

Eine Affinität dieser Quellen zueinander wird, sowohl durch den ähnlichen Konzentrationsverlauf (Abb. 20a & 20b) bestimmter Hautelemente (z.B. Na, Ca,  $\text{HCO}_3$ , Sr) sowie durch Verhältnisdiagramme (Calcium /Magnesium – Abb.10, Natrium / Kalium – Abb.11 und Hydrogenkarbonat / Sulfat – Abb.12) eindeutig belegt. Deutlich wird diese Beziehung auch im „Compositional Biplot-Diagramm“ (Abb. 7) dargestellt.

Die sehr hoch mineralisierten Quellen Kolb und Bodensonde zeigen eine geringe Standardabweichung in der Gesamtmineralisation, obwohl im Detail (Hydrochemie - Reihenuntersuchung, Anhang C) deutlich der Einfluss meteorologische Phänomene (Niederschlag, Schneeschnmelze) zu erkennen ist. Die Standardabweichung des Sauerstoff -18 Gehaltes in den Quellwässern ist in der Kolbquelle mäßig, in der Bodensonde stark entwickelt. Generell ist daraus abzuleiten, dass beide Quellen unmittelbar auf meteorologische

Phänomene (Niederschlag, Schneeschmelze), vor allem in Zeiten in denen die Evapotranspiration niedrig ist (Herbst, Winter, Frühling), reagieren.

Die geringe Höhe des Einzugsgebietes dieser beiden Quellen (1130 -1220 müA), gepaart mit einer geringen Schüttung und einer unmittelbaren und ausgeprägten Reaktion des <sup>18</sup>O Gehaltes und der hydrochemischen Konzentration auf meteorologische Verhältnisse lässt auf ein lokales Einzugsbiet schließen, dass sich auch lithofaziell (Gesamtmineralisation; Spurenelemente) grundlegend von der Quellgruppe 1 unterscheidet.

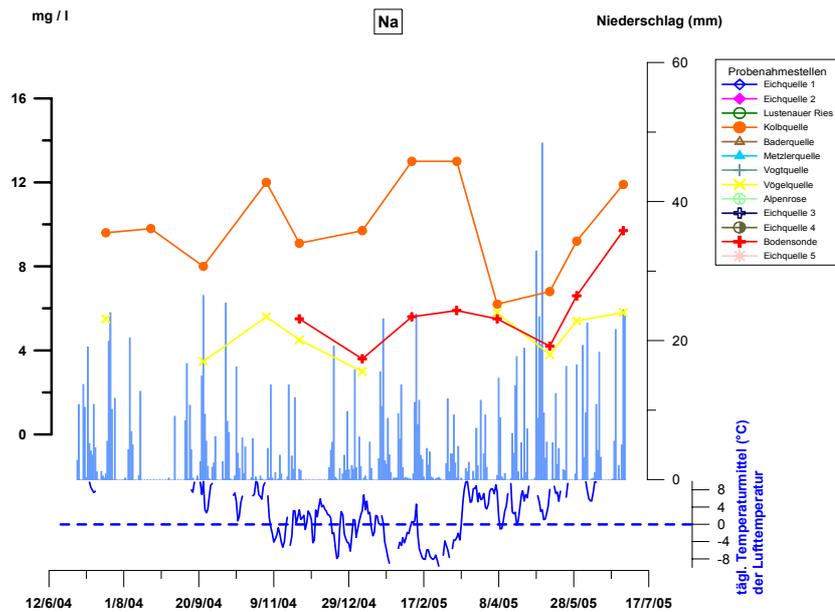


Abb.20a: Vergleichbarer Konzentrationsverlauf von Natrium in der Kolb-, Boden- und Vögelquelle

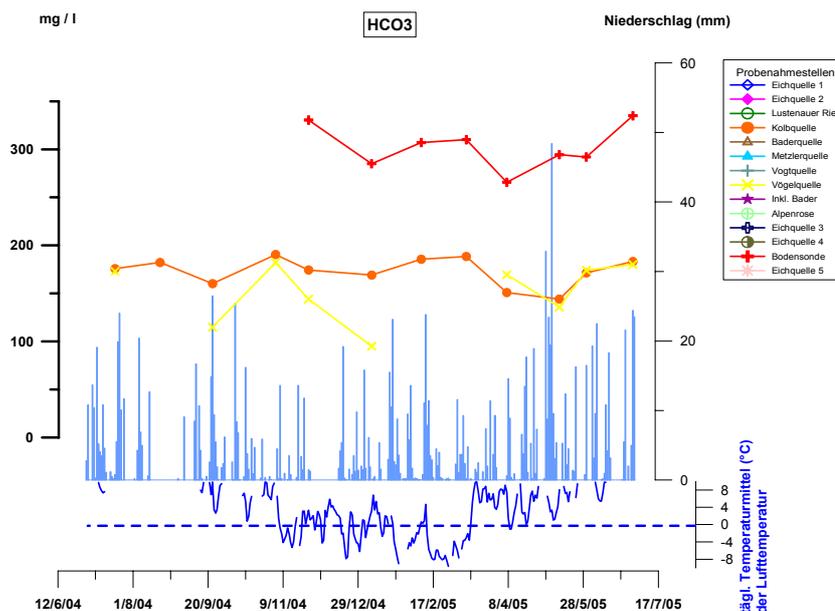


Abb.20b: Vergleichbarer Konzentrationsverlauf von Hydrogenkarbonat in der Kolb-, Boden- und Vögelquelle

## 7. Hydrophysikalische Bohrlochmessung Kernbohrung Bader

### 7.1. Einleitung

Als ein Teil des Forschungsprojektes „Geomonitoring Rindberg“ wurde für die geophysikalische Voruntersuchung im Bereich der Hangbewegung RINDBERG ein geophysikalisches Geomonitoringsystem (Gleichstromgeoelektrik) eingerichtet. Das Ziel bestand darin massenbewegungsrelevante Parameter geophysikalisch zu erfassen und einen Zusammenhang zwischen den geophysikalischen Messergebnissen und geologischen-hydrologischen Parametern herzustellen.

Um die geophysikalischen Ergebnisse im Bereich der Monitoringstrecke (Profilschnitt mit der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes) geologischen und massenbewegungsrelevanten Parametern zuzuordnen wurde an einer relevanten Stelle die Kernbohrung „BADER“ auf 35 m abgeteuft und als Inklinometer ausgebaut.

Im Zeitraum 21.07. 2004 bis 12.04.2005 wurde in der Kernbohrung „Bader“ ein FLUID-LOGGING durchgeführt. Die Kernbohrung Bader ist als Inklinometer ausgebaut, wobei die Kunststoffwand des Inklinometers perforiert ist und somit ein unmittelbarer, hydraulischer Zusammenhang des Wassers im Inklinometer mit dem Grundwasser besteht. Die Ringraumverfüllung besteht aus Mittelkies.

Das vorrangige Ziel bestand in der Überprüfung der „Filterstrecke“ (perforiertes Inklinometerrohr) auf natürliche Grundwasserzuflüsse und der Ermittlung der Schichtstärke dieser horizontalen Zuflüsse.

### 7.2. Messtechnik

Der elektrische Widerstand von „Bohrlochwässern“ steht in direkter Relation zur Gesamtmineralisation des Grundwassers (hydraulischer Zusammenhang). Durch eine gezielte Veränderung der Salinität im Wasser des Bohrlochs und darauf folgende, periodische Messungen des elektrischen Widerstandes können im statischen Zustand (ohne Abpumpen) sowohl horizontale als auch vertikale natürliche Grundwasserströme erfasst werden.

Darüber hinaus können Wasserzuflüsse in ihrer Tiefenlage in einer dynamischen Pumpphase bei konstanter Förderrate erkannt und der Filtrationskoeffizient  $K$  insitu ermittelt werden.

Die horizontale Fließgeschwindigkeit (m/Tag) wird von Darcy's Gesetz abgeleitet.

Parallel zu den einzelnen Widerstandsmessungen werden kontinuierliche Temperaturmessungen durchgeführt.

Die horizontale Fließgeschwindigkeit in m/Tag wird von Darcy's Gesetz abgeleitet:

$$V = (1,57 \times d / t_0 - n) \times \ln(C_1 - C_0) / (C_t - C_0) \times 1440 \quad (\text{im verrohrten BL})$$

wobei  $V$  = horizontale Fließgeschwindigkeit des Grundwassers (m/s)  
 $d$  = Bohrlochdurchmesser (m)  
 $t$  = Zeitintervall zwischen den Messungen (s)  
 $C_0$  = natürliche Grundwassermineralisation (g/l)  
 $C_1$  = Mineralisation des Grundwassers nach Erhöhung (z.B. NaCl)  
 $C_t$  = Mineralisation des Grundwassers in der Zeit  $t$

Der Filtrationskoeffizient  $K$  wird nach folgender Formel berechnet:

$$K = Q / H \times S \quad (\text{m/s})$$

wobei  $Q$  = konstante Pumpmenge (m<sup>3</sup>/s)  
 $H$  = Stärke der Filterstrecke (m)  
 $S$  = Differenz zwischen Ruhewasserspiegel und Wasserspiegel während des Pumpens (m)

### 7.3. Durchführung

Das Fluidlogging wurde in zwei Tranchen durchgeführt.

#### A) Log 1

Nach einer „Null Messung“ der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur wurde am 21.07.2004 um 11:00 eine Salzlösung mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 45 mS/cm und einer Temperatur von 12 °C von unten in das Bohrloch eingebracht. Zu diesem Zweck wurde in einem wassergefüllten Kunststoffbehälter handelsübliches Streusalz zur Lösung gebracht. Mit einer Oberwasserpumpe und einem Kunststoffschlauch wurde diese Lösung in 34 m Tiefe (Endtiefe) so lange eingebracht, bis der Überlauf aus dem Bohrloch dieselbe elektrische Leitfähigkeit wie aus dem Kunststoffbehälter aufwies. Dann wurde das Bohrloch mit der zweifachen Menge des Bohrlochvolumens durchgespült (ca. 500 Liter). Die Kontrolle der elektrischen Leitfähigkeit erfolgte mittels LF Geräten (WTW) in 30 m Tiefe und am Überlauf. Anschließend erfolgten periodisch teufenspezifische Messungen der elektrischen Leitfähigkeit (mS/cm) und der Temperatur (°C). Um 15:00 Uhr wurde der statische Zustand mit einem dynamischen Prozess (Kurzpumpphase) beendet. Dabei war der Saugschlauch in 34 m Tiefe situiert. Die Förderrate betrug 0,1 l/sec, die Absenkung 0,5 m. Anschließend wurde wieder ein Fluid-Logging durchgeführt.

Datum	Vorgang	Bemerkung
21.07.2004 -10:30	Fluid-Logging	Null-Messung
21.07.2004 -11:00	Einspeisung Salzlösung	LF: 45 mS/cm; Temp: 12 °C
21.07.2004 -11:45	Fluid-Logging	
21.07.2004 -12:25	Fluid-Logging	
21.07.2004 -14:30	Fluid-Logging	
21.07.2004 -15:00	Kurzpumpversuch	0,1l/sec, Absenkung 0,5 m
21.07.2004 -15:10	Fluid-Logging	

Tab.12: Workflow Fluid-Logging Tranche 1 (Log 1)

## B) Log 2

Nach der Durchführung des Fluid-Logs (**Log 1**) um 15:10 wurde nochmals eine Salzlösung mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 75 mS/cm und einer Temperatur von 23 °C in das Bohrloch, wie zuvor beschrieben, eingebracht.

Die Kontrolle der elektrischen Leitfähigkeit erfolgte mittels LF Geräten in 30 m Tiefe (WTW Cond 197i) und am Überlauf (WTW Cond 340i). Anschließend wurden periodisch teufenspezifische Messungen der elektrischen Leitfähigkeit (mS/cm) und der Temperatur (°C) – FLUID-LOGGING – durchgeführt.

Die Auswertung der ersten Logs (**Log 1**) am nächsten Tag (22.07.2004) zeigte, dass bereits bei der Salzeinspeisung eine heterogene Verteilung der eingebrachten Lösung vorlag. Um eine wünschenswerte homogene Verteilung der eingebrachten Salzlösung im Bohrloch zu erhalten, wurde am 22.07.2004 / 18 Uhr (**Log 2**) die Lösung im Bohrloch solange durchmischt (im Kreis gepumpt), bis eine homogene Verteilung der Lösung entstand.

Anschließend daran, am nächsten Tag (23.07.2004) und am 26.07. 2004 wurden FLUID\_LOGS durchgeführt. Das abschließende Fluid-Log erfolgte 9 Monate später, am 12.04.2005.

Datum	Vorgang	Bemerkung
21.07.2004 -16:30	Einspeisung Salzlösung	LF: 75 mS/cm; Temp: 23 °C
21.07.2004 -16:40	Fluid-Logging	
21.07.2004 -17:15	Fluid-Logging	
21.07.2004 -18:45	Fluid-Logging	
22.07.2004 -9:55	Fluid-Logging	
22.07.2004 -12:45	Fluid-Logging	0,1l/sec, Absenkung 0,5 m
22.07.2004 -17:22	Fluid-Logging	
22.07.2004 -18:00	Durchmischung	Homogene Verteilung zu erhalten
23.07.2004 -11:30	Fluid-Logging	
23.07.2004 -13:00	Fluid-Logging	
26.07.2004 -17:00	Fluid-Logging	
12.04.2005 - 13:00	Fluid-Logging	

Tab.13: Workflow Fluid-Logging Tranche 2 (Log 2)

Nachfolgende Abbildungen (Abb. 21-23) zeigen die Durchführung des FLUID-LOGGINGS



Abb.21: Vorbereitung zur Einspeisung der salinaren Lösung



Abb.22: Einspeisung der salinaren Lösung / Kontrolle der elektr. Leitfähigkeit



Abb.23: FLUID-LOGGING

## 7.4. Auswertung

Die Auswertungen der periodisch, unter verschiedenen Bedingungen durchgeführten hydrophysikalischen Bohrlochmessungen werden als Diagramme dargestellt.

Ausgehend von der graphischen Darstellung der Messserie vor dem Beginn des FLUID-LOGGINGS (Null-Log) unterteilen sich die Plots grundsätzlich in Plots *Log 1* und Plots *Log 2*. Die Plots Log 1 beziehen sich auf das erste FLUID-LOGGING am 21.07.2004 von 10:30 Uhr bis 15:10 Uhr. Die Plots Log 2 beziehen sich auf das FLUID-LOGGING vom 21.07.2004, 16:30 Uhr bis am 12.04.2004.

Zum einen werden die original Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit (mS/cm) und der Temperatur in Form von „Liniendiagrammen“ dargestellt (Abb. 24 -28). Zum anderen erfolgte eine Auswertung der Messergebnisse dahingehend, dass zwischen den einzelnen Messtranchen die Differenzen („Balkendiagramme“) berechnet wurden, und somit relevante Änderungen signifikanter zum Ausdruck kommen. Um die zum Teil unterschiedliche Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Messungen zu berücksichtigen, wurden die berechneten Differenzen auf ein Zeitintervall von einer Stunde normiert (Abb. 30-34).

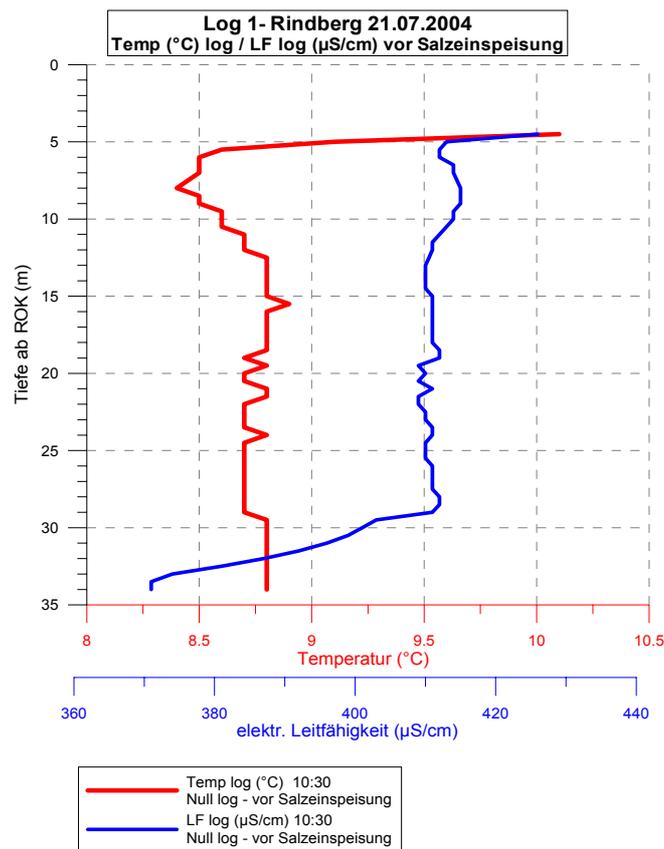


Abb.24: Hydrophysikalische Bohrlochmessung vor Einbringung der salinaren Lösung

Originalmesswerte der Tranchen Log 1 & Log 2 in Form von Liniendiagrammen

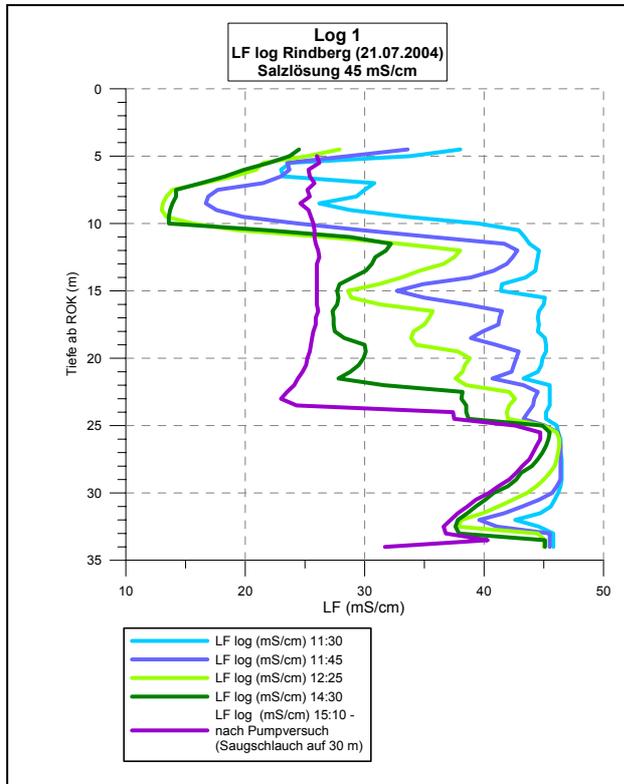


Abb.25: FLUID-LOGGING Log1/LF

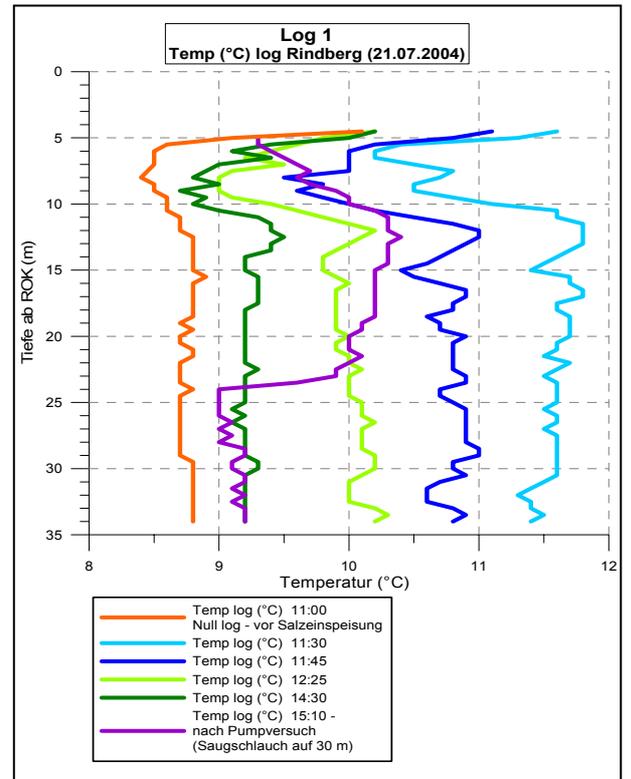


Abb.26: FLUID-LOGGING Log1/Temp

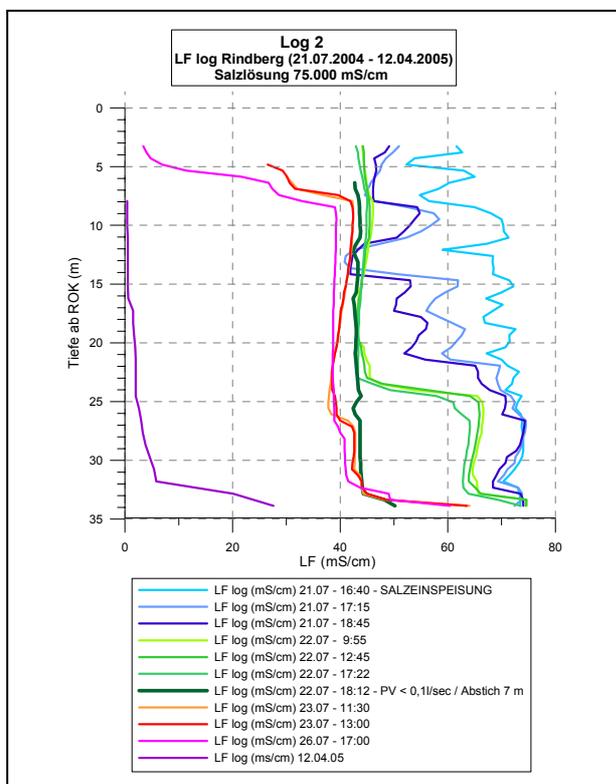


Abb.27: FLUID-LOGGING Log2/LF

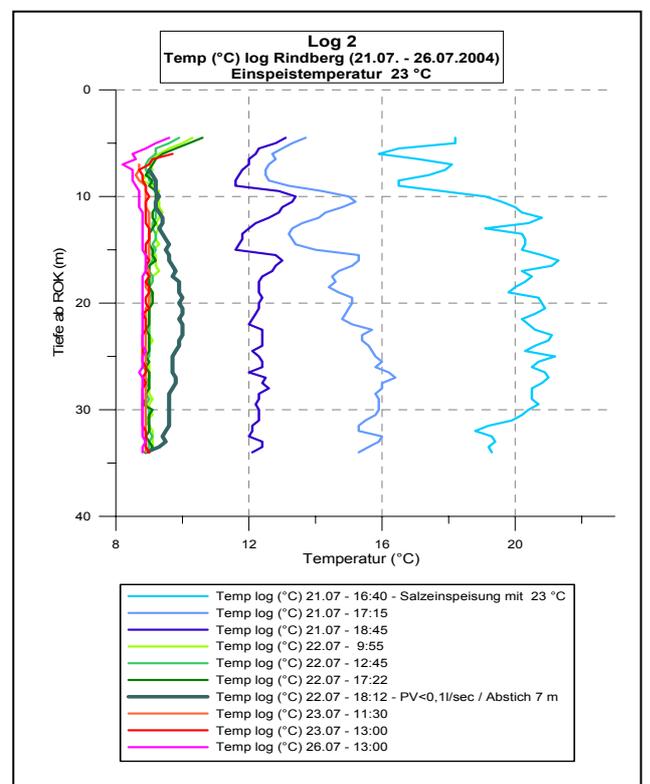


Abb.28: FLUID-LOGGING Log2/Temp

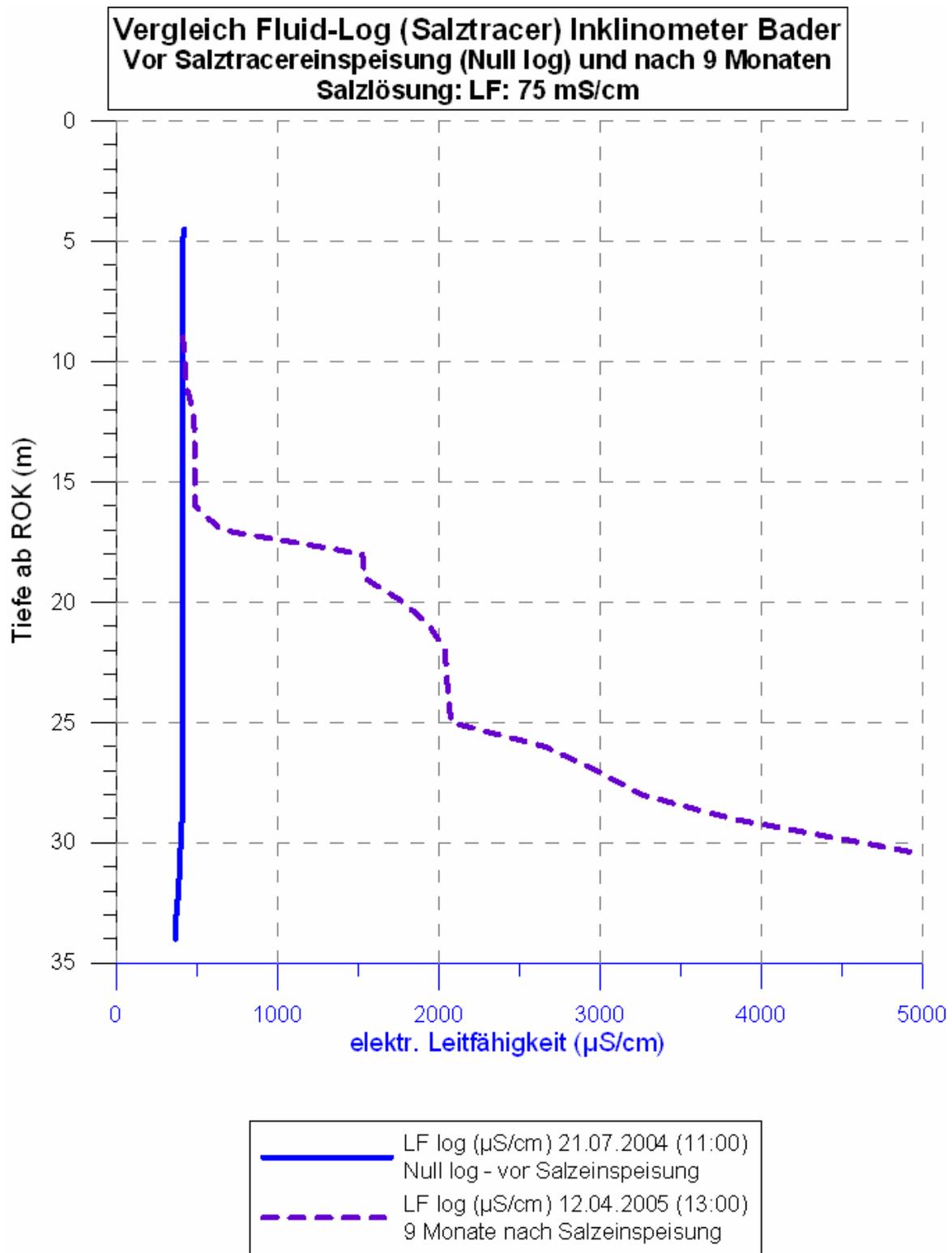


Abb.29: FLUID-LOGGING Log2/LF vor Salzeinspeisung und 9 Monate nach Salzeinspeisung

### Differenzdarstellung der Messwerte der Tranchen Log 1 und Log 2 in Form von Balkendiagrammen

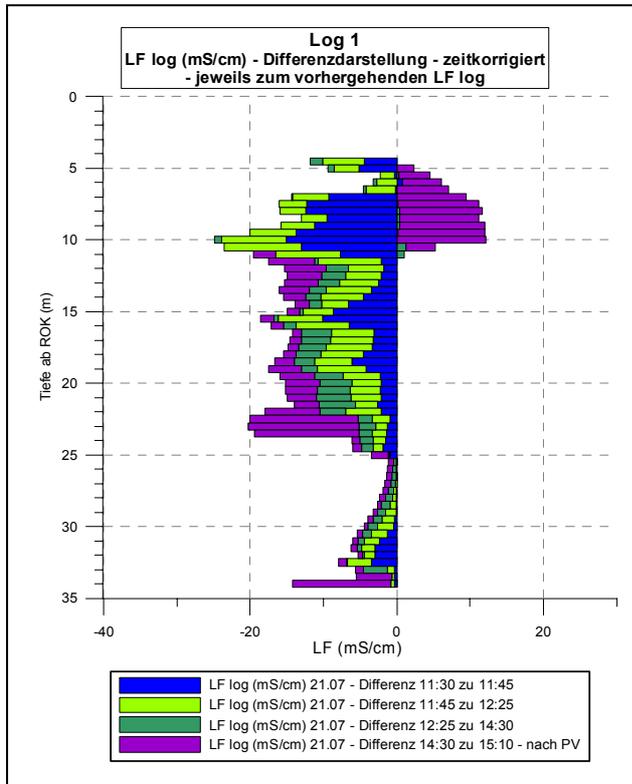


Abb.30: FLUID-LOGGING Log1/ LF-zeitkorrigiert

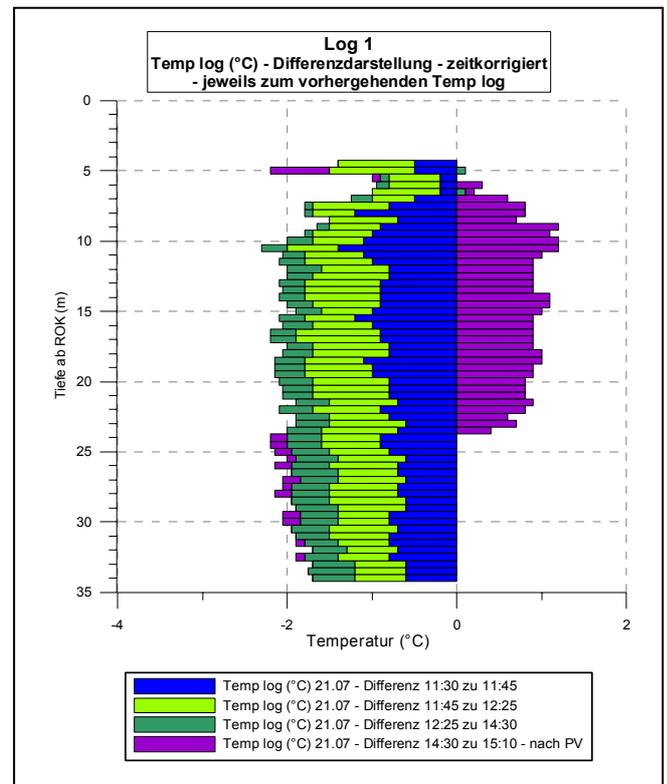


Abb.31: FLUID-LOGGING Log1/Temp.-zeitkorrigiert

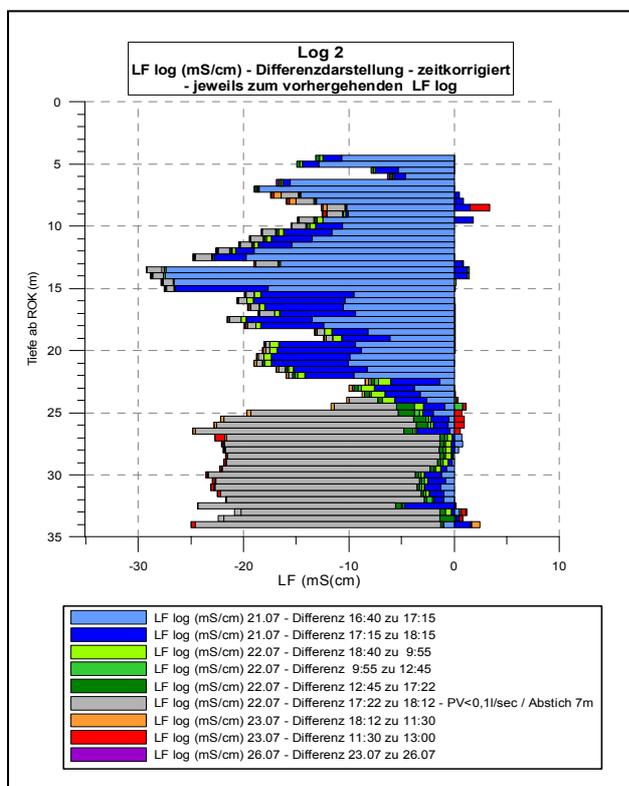


Abb.32: FLUID-LOGGING Log 2/LF-zeitkorrigiert

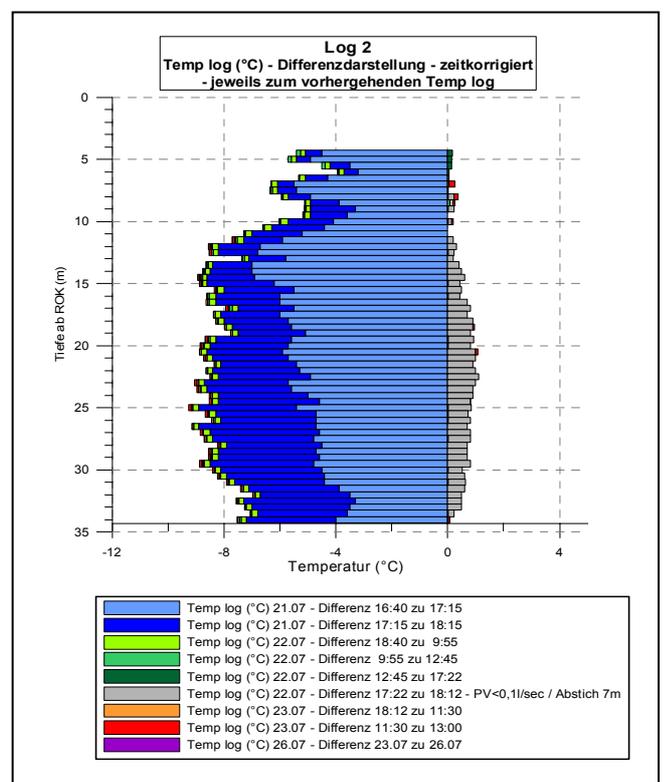


Abb.33: FLUID-LOGGING Log 2/Temp.-zeitkorrigiert

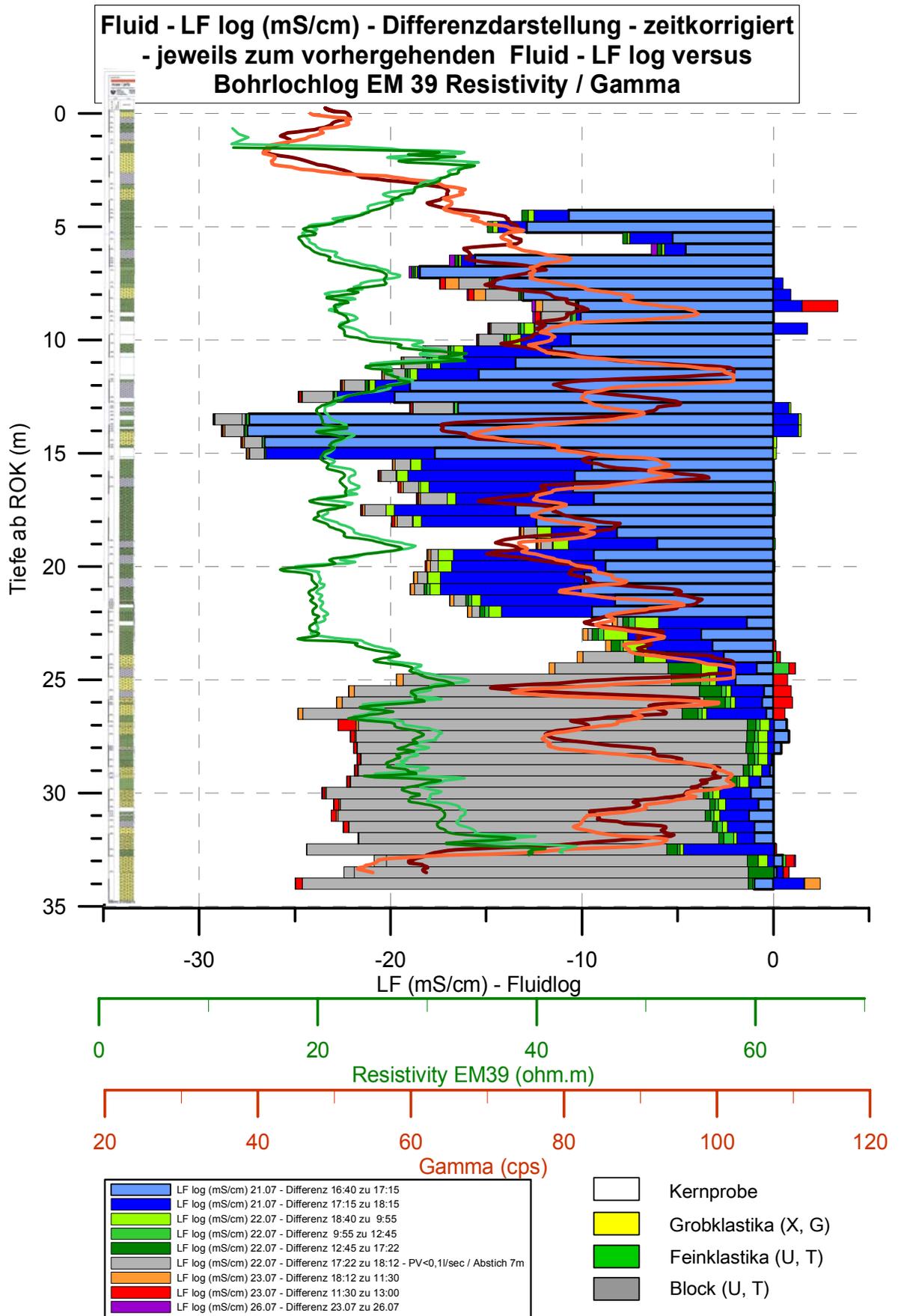


Abb.34: FLUID-LOGGING Log 2/LF-zeitkorrigiert versus Geologie (Bohrkernaufnahme) und Bohrlochlog (Resistivity/Gamma)

## 7.5. Interpretation

Die Ergebnisse der Auswertung des im statischstatischen Zustand (ohne Abpumpen) durchgeführten FLUID\_LOGGINGS zeigen sowohl in der Tranche 1 – Log 1 (21.07.2004 von 10:30 Uhr bis 15:10 Uhr) als auch in der Tranche 2 – Log 2 (21.07.2004, 16:30 Uhr bis am 26.07.2004, 17:00 Uhr) vergleichbare Ergebnisse.

Deutlich ist ersichtlich, dass ab einer Tiefe von ca. 25 m eine nur äußerst langsame Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit zu beobachten ist. Im Tiefenbereich von 25 m bis zur Geländeoberkante wurden zwei Abschnitte, die durch einen markanten Rückgang der elektrischen Leitfähigkeit gekennzeichnet sind, lokalisiert.

Wie aus der Abb. 9 und 11 zu entnehmen ist, liegen diese Bereiche einer maximalen Verdünnung zwischen 6 und 10 m und zwischen 13 bis 15 m unter GOK. Die kontinuierlich mitgeführten Temperaturlogs bestätigen diesen Sachverhalt.

Die Ergebnisse der geophysikalischen Bohrlochlogs in der Abbildung 34 (EM 39 – Resistivity / Gamma) zeigen generell, dass das Messsubstrat geophysikalisch durch eine „Wechselagerung“ im Meter bis max. 5 Meter Bereich gekennzeichnet ist. Im Vergleich mit der Bohrkernaufnahme ist ersichtlich, dass diese Wechselagerung vor allem lithologisch durch unterschiedliche Gehalte an Fein- und Grobklastika bedingt ist. Die maximale Verdünnung und damit der höchste Wasserzufluss liegt zwischen 13 und 15 m unter GOK und korrespondiert mit einem ca. 1 m mächtigen, gröberklastischen Abschnitt in der Bohrkernaufnahme. Im selben Tiefenbereich weist eine niedrige Gammakonzentrationen (EM 39) auf einen geringeren, feinklastischen Matrixanteil hin.

In der dynamischen Pumpphase ist erkennbar, dass die oben angesprochenen Tiefenbereiche durch eine Umkehrreaktion der Messparameter gekennzeichnet sind. D.h., es kommt zu einer Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit, sowie zu einer Zunahme der Wassertemperatur (Abb. 30 und 31). Zu erkennen ist dies an den violetten Balken in den Abbildungen 30 und 31, die in den positiven Bereich ausschlagen. Dies ist auf die Mobilisation der salinaren Einspeisung bereits aus dem anstehenden Gebirge, bzw. aus dem Ringraum durch Umfließungsverhältnisse zu erklären.

Jedoch muss angemerkt werden, dass Aussagen die auf Grund der durchgeführten Kurzpumpversuche (dynamische Verhältnisse) vorliegen nur als Trend zu verstehen sind. Auf Grund der minimalen Ergiebigkeit ( $< 0,1$  l/sec) wurde kein stationärer Grundwasserzustand erreicht, sodass bereits nach kurzer Zeit die physikalische Leistungsgrenze der Oberwasserpumpe (Absenkung auf 7 m unter GOK) erreicht wurde.

Der Starkregen (Gewitter in den Morgenstunden) am 23.07.2004 spiegelt sich in der deutlichen Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit (Verdünnung durch Niederschlagswasser) bis 8 m Tiefe wieder (Abb.27, roter Graph), und ist somit als ein Indiz für die oberflächennahe Infiltration zu sehen.

Interessant ist, dass die Kontrollmessung 9 Monate nach der Salzeinspeisung (Abb. 29) ab 15 m unter GOK noch immer deutlich erhöhte Leitfähigkeitswerte (1 mS/cm bis 20 mS/cm) aufweist. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass die Verdünnung (Wasserzufluss) vor allem auf die hangenden Abschnitte des Inklinometers beschränkt ist. Ab etwa 15 bis 20 m unter GOK ist nur mehr mit geringsten Wasserzuflüssen zu rechnen.

## 8. Erweiterte Interpretation hydrogeologischer Ergebnisse unter Einbeziehung aerogeophysikalischer Daten

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Aerogeophysikalischen Befliegung Sibratsgfall (Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Sibratsgfall/Vlgb, Wien 2000) dargestellt. Die aerogeophysikalischen Basisdaten wurden nachträglich auf Grund verbesserter Auswertalgorithmen (Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Melk/NÖ, Wien 2005) speziell für massenbewegungsrelevante Fragestellungen reinterpretiert und als zahlreiche Ergebnisplots (Aero-Elektromagnetik, Aero-Gammaspektroskopie) dargestellt.

Bodengeophysikalische Messungen (Gleichstromgeoelektrik, Elektromagnetik, Bodenradiometrie) dienen einerseits zur Kalibrierung der aerogeophysikalischen Daten, andererseits wurden dadurch auch gezielt massenbewegungsrelevante Detailfragen behandelt.

Die Ergebnisse aus den geophysikalischen Aufnahmen (Aerogeophysik, Bodengeophysik) werden den Ergebnissen aus der Quellcharakterisierung gegenübergestellt und geprüft ob dadurch ein zusätzlicher Nutzen entweder für die Interpretation der Aerogeophysikalischen Vermessung und oder ein Nutzen für die hydrogeologische Interpretation gezogen werden kann. Im Endeffekt soll dadurch das Wissen über massenbewegungsrelevante Parameter verdichtet werden.

### 8.1. Darstellung der aerogeophysikalischen Vermessung Sibratsgfall

Für die Darstellung der aerogeophysikalischen Vermessung werden folgende Parameter verwendet.

#### 8.1.1. Elektromagnetik

Bei der elektromagnetischen Messmethode werden auf induktivem Weg Wirbelstromsysteme im vermessenen Untergrund erzeugt. Diese sind eine Funktion der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit. Man kann daher umgekehrt aus den, den Wirbelströmen entsprechenden magnetischen Sekundärfeldern und über bestimmte Modellannahmen auf die elektrischen Verhältnisse im Messgebiet schließen.

Für die Inversion wurde die Methode der „probabilistischen Inversion von AEM-Daten“ (wurde in den letzten beiden Jahren entwickelt) verwendet. Dabei wird nicht nur ein einziges Modell für jeden Messpunkt ermittelt, sondern für eine große Zahl von Modellen eine Wahrscheinlichkeit berechnet. D.h. es wird ermittelt welche Modelle mit den Messdaten mehr oder weniger im Einklang sind als andere Modelle. Im einfachsten Fall wird das Modell mit der größten Wahrscheinlichkeit als Resultat der Inversion betrachtet -> "Inversion ohne Vorinformationen". Für die Ermittlung eines Inversionsergebnissen kann jedoch auch Vorwissen aus der Geologie und der Geophysik einfließen. Als Ergebnis einer solchen "Inversion mit Vorinformationen" wird das Modell mit der höchsten Wahrscheinlichkeit, das aber auch mit

dem Vorwissen im Einklang steht, angesehen. Dabei kann es natürlich vorkommen, dass das Vorwissen und die AEM-Daten sich widersprechen. In solchen Fällen wird kein Modell ausgegeben. Bei den oben angesprochenen Modellen kann es sich zur Zeit entweder um homogene Halbräume oder um 2-Schichtmodelle handeln.

Bei der Auswertung und Interpretation geophysikalischer (insbesondere elektromagnetischer) Messdaten besteht das Hauptproblem darin, dass mathematisch-physikalische Modelle mit geologischen Modellvorstellungen in Übereinstimmung zu bringen sind.

Die Vorstellungen des Geologen über Untergundaufbau, Schichtung, Mächtigkeiten, u.a. spiegeln sich in den physikalisch abgeleiteten Messdaten oft nur mit unscharfen Grenzen wieder.

Dies ist einerseits bedingt durch die (Rand-)Bedingungen geoelektrischer / elektromagnetischer Messungen:

Bei der Hubschrauber-geophysik wird an jedem Messpunkt der scheinbare (Durchschnitts-) Widerstand eines halbkugeligen Raumes mit einem Durchmesser an der Erdoberfläche von etwa 150m erfasst. Die Messungen geben damit „schleifende“ Werte entlang der Messlinie wider.

Der Untergrund-Widerstand hängt von einer Reihe von Faktoren ab - wie Porosität, Grad der Wassersättigung im Porenraum, Mineralisation des Wassers im Porenraum, Tongehalt, Bodentemperatur, u.ä. Der Geologe hat somit bei der Interpretation weniger auf die eigentlichen Gesteinseigenschaften zu achten, sondern vielmehr auf Faktoren wie Wassersättigung oder Lehm-/Tonfüllungen in Kluft- und Porenräumen und ähnliche Phänomene.

Andererseits bestehen auch unterschiedliche Zugänge zu „Schicht-Modellen“. Der Geologe sieht die „Schichtung“ aus dem Blickwinkel der Entwicklung des Gesteinsuntergrundes, überlagert durch Verwitterungszone und Bodenbildung. Für den (Geo-)Physiker sind die Schicht-Modelle variabel in Abhängigkeit (physikalisch) zu definierenden Randbedingungen.

Mehrschichtmodelle (Zweischichtmodelle), wie sie derzeit für die EM-Daten der Hubschrauber-geophysik gerechnet werden, können somit auf zwei Wegen entwickelt werden:

a. indem das Rechenmodell das mathematisch-theoretisch wahrscheinlichste Modell aus den jeweiligen Messdaten auswählt (auf Basis der theoretischen Grundlagen der Elektromagnetik) oder

b. indem der Geophysiker gemeinsam mit dem Geologen lokale oder kleinregionale Zwei- (Mehr-) Schichtfälle auf Basis der geologischen Situation beschreibt und diese Randbedingungen - wie erwartbare Widerstände oder erwartbare Mächtigkeiten - der Modellrechnung unterlegt. Beide Wege wurden im vorliegenden Fall beschränkt.

In den folgenden Abbildungen (Abb.36 & 37) wurden die Aero-Elektromagnetik (AEM) Daten als Homogener Halbraum invertiert und das Ergebnis als Widerstandsplot mit Lage der Quellen und der bodengeoelektrischen Profile dargestellt.

In den Abbildungen 39 bis 59 wurden die Aero-Elektromagnetik (AEM) Daten mit der Methode der „probabilistischen Inversion“ als Zweischichtfall invertiert und in Form von parallelen Widerstandstiefensektionen dargestellt. Dabei wurde die Inversion ohne Vorinformation der Inversion mit Vorinformation ( $r_1 < r_2$ ) je Widerstandstiefensektionen gegenübergestellt um bestimmte Strukturen zu vergleichen.

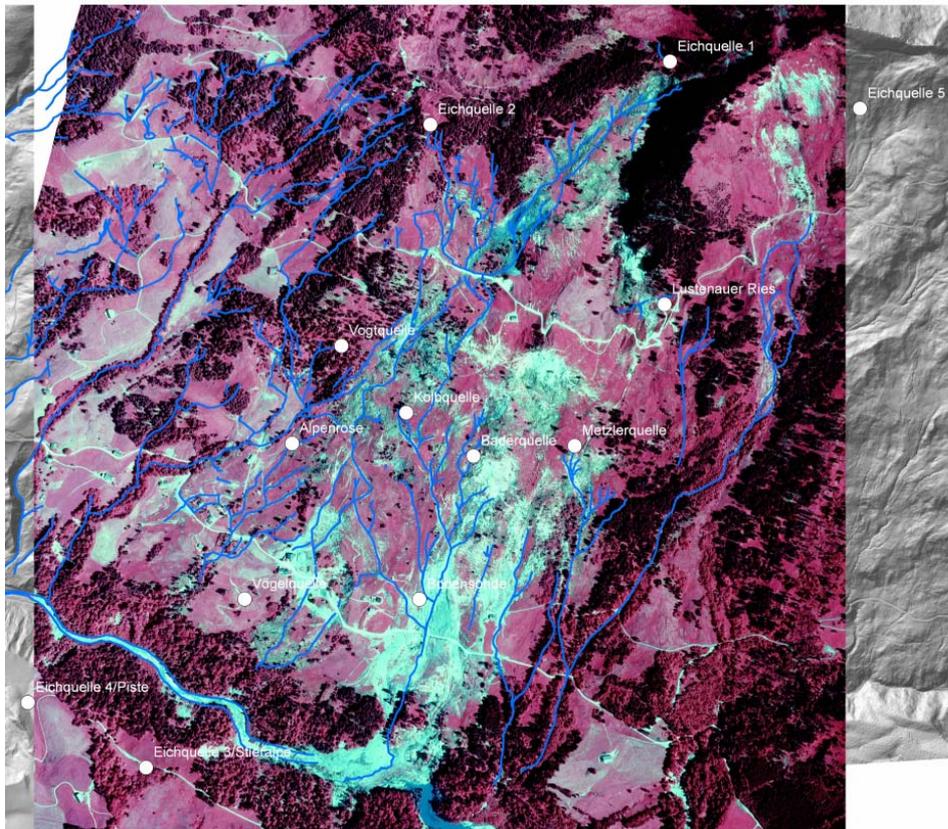


Abb.35: Lage der Probenahmestellen und des Entwässerungsnetzes, Orthofoto vom 19. Juni 2000

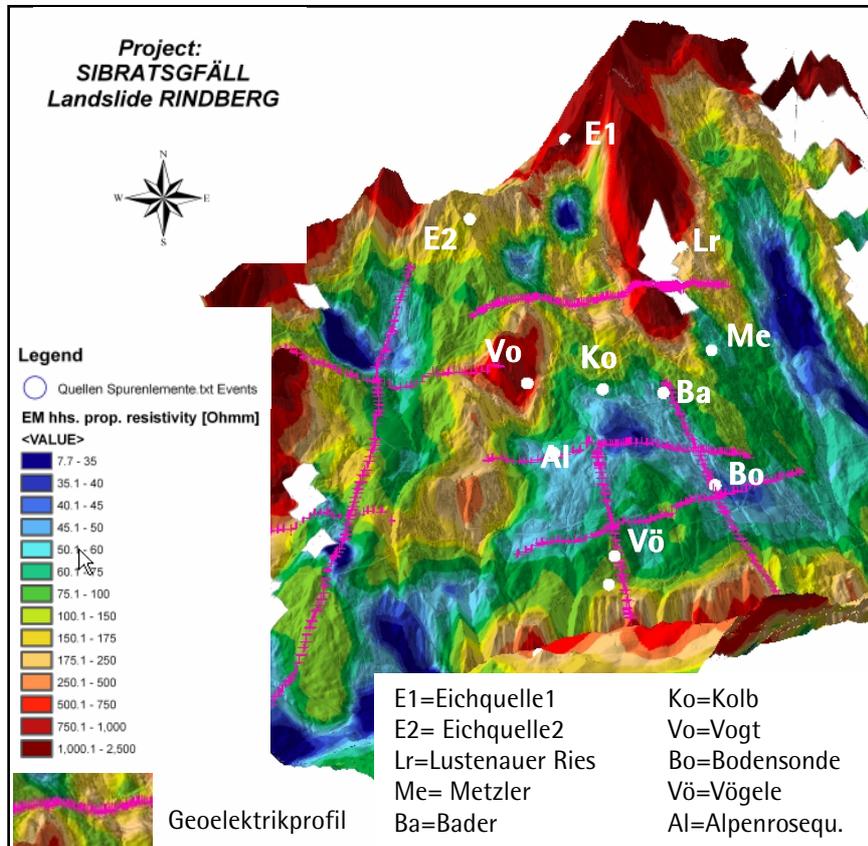


Abb.36: AEM Widerstandsverteilung, Homogener Halbraum (hhs) auf DHM mit Lage der Bodengeoelektrikprofile und beprobten Quellen

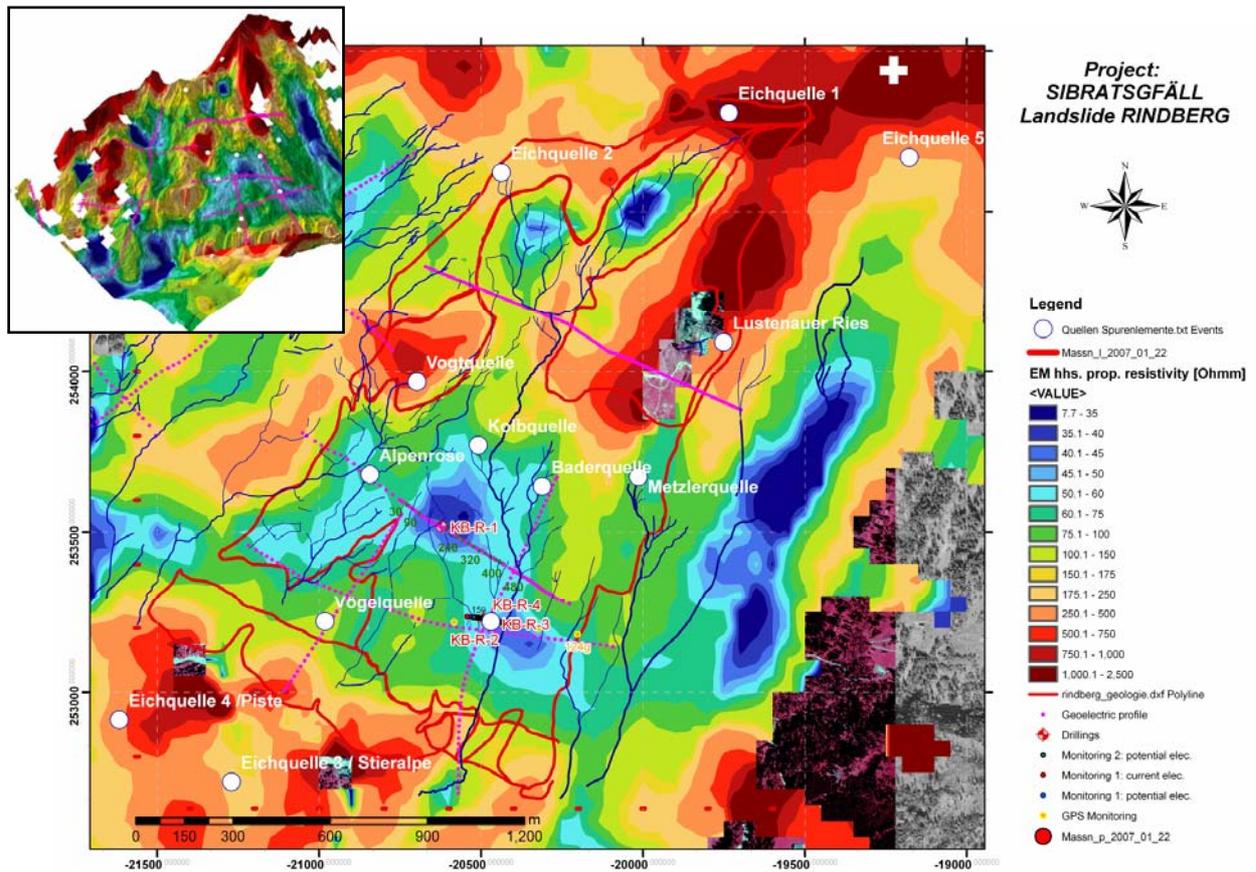


Abb.37: AEM Widerstandsverteilung, Homogener Halbraum (hhs) auf DHM mit Lage der Bodengeoelektrikprofile und beprobten Quellen

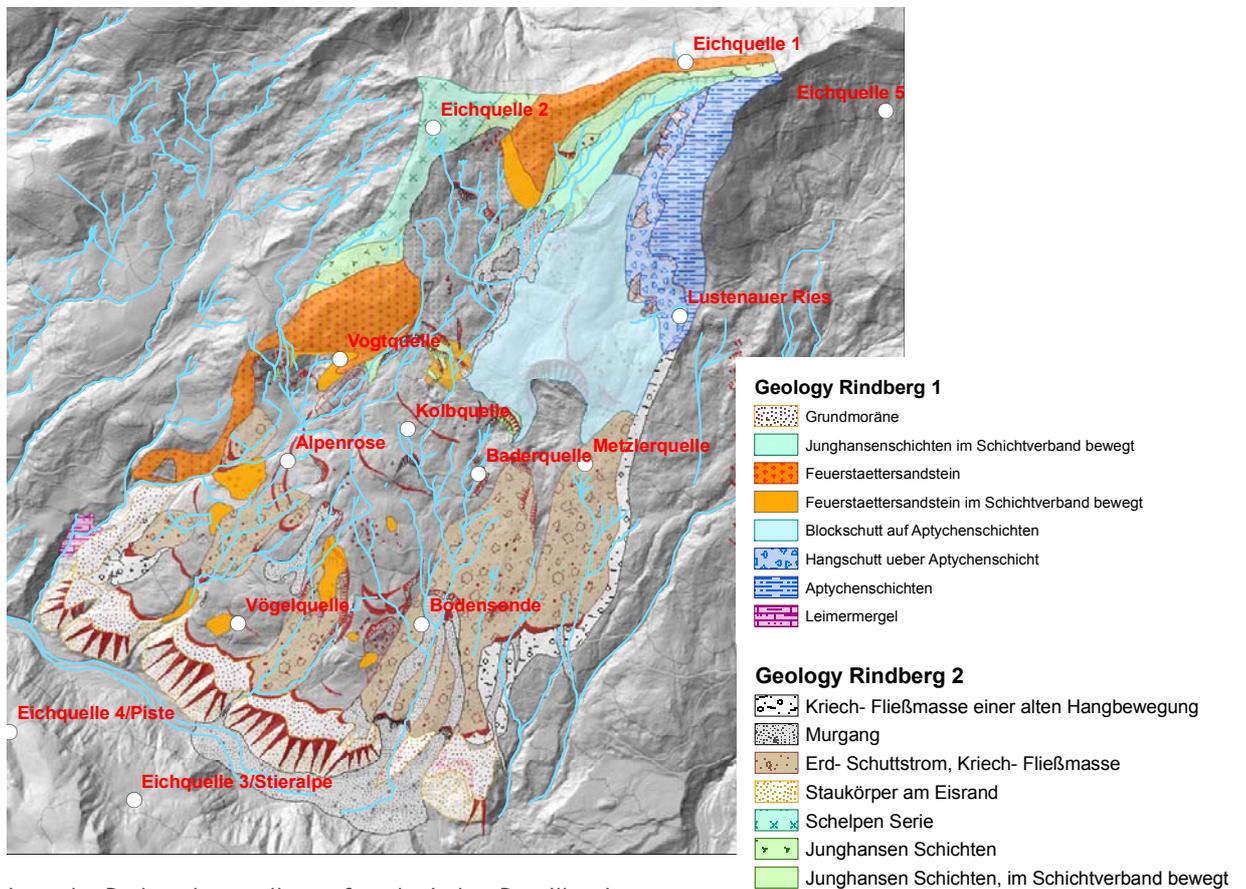
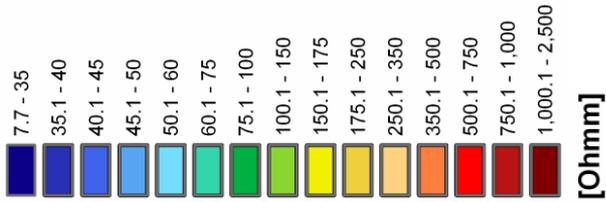


Abb.38: Lage der Probenahmestellen auf geologischer Detailkartierung (Mag. Wolfgang Jaritz, Bearbeitungsstand: April (2006)



**AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)**  
**Ohne Vorinformation**

**AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)**  
**Mit Vorinformation (r1 < r2)**

Abb. 39 & 40:  
Widerstand in  
0,7-1,3 m Tiefe

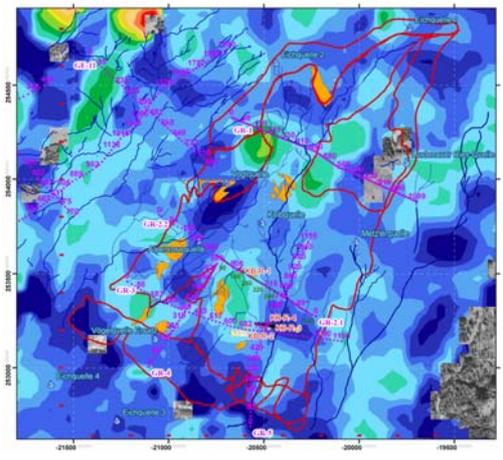
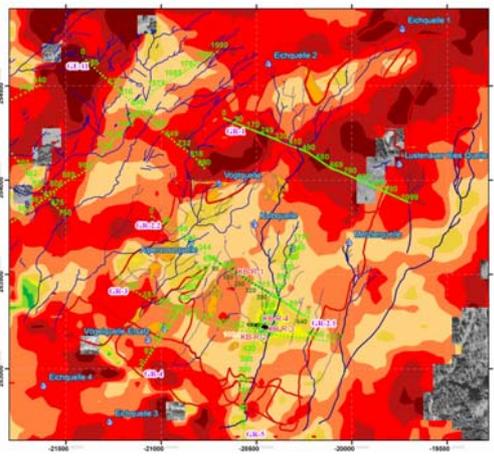


Abb. 41 & 42:  
Widerstand in  
1,3 - 2 m Tiefe

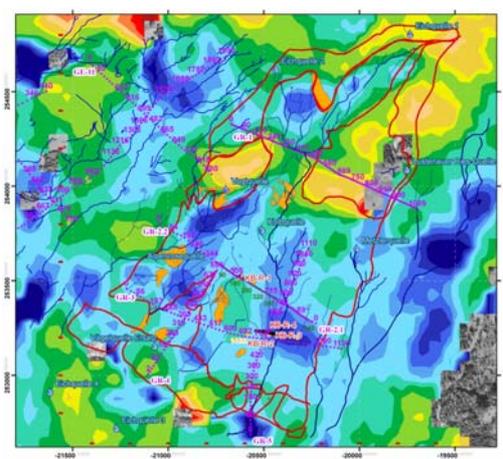
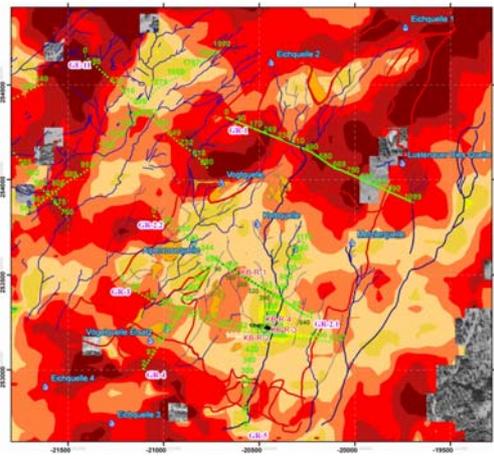
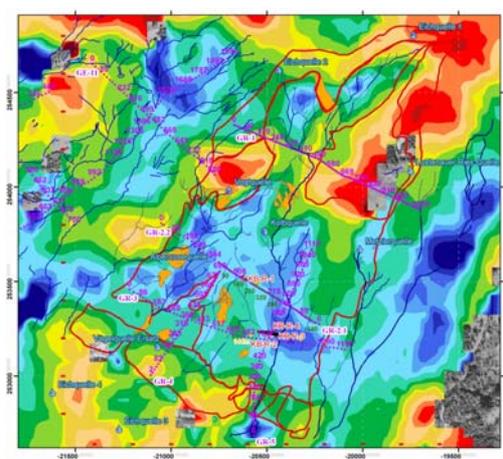
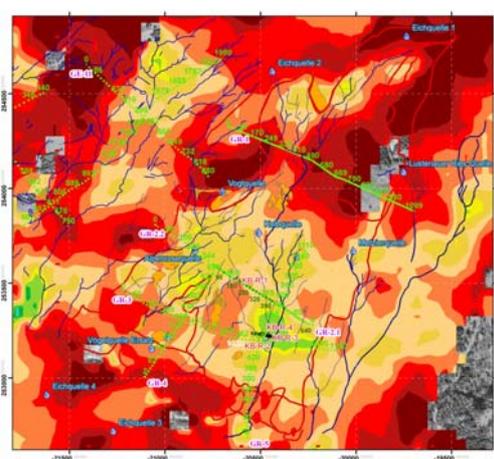
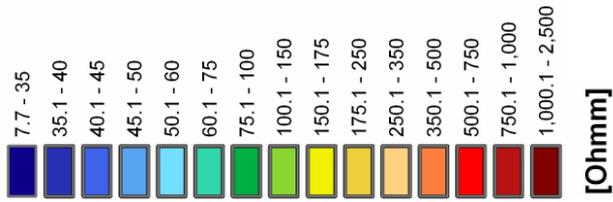


Abb. 43 & 44:  
Widerstand in  
2-3,1 m Tiefe





**AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)**  
Ohne Vorinformation

**AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)**  
Mit Vorinformation ( $r_1 < r_2$ )

Abb. 45 & 46:  
Widerstand in  
3,1-5 m Tiefe

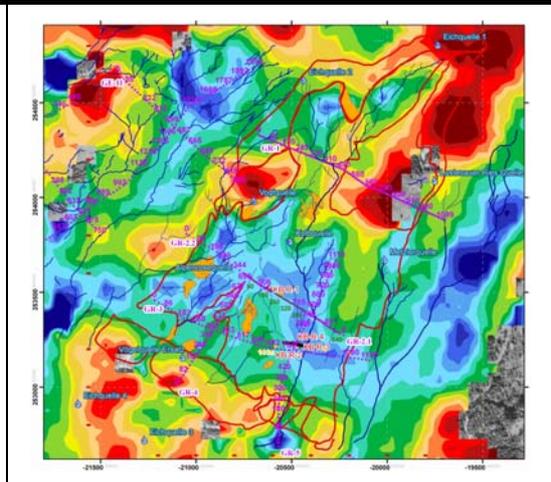
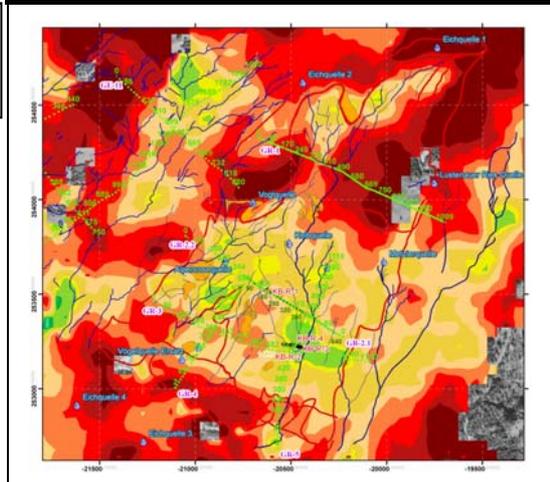


Abb. 47 & 48:  
Widerstand in  
5-8 m Tiefe

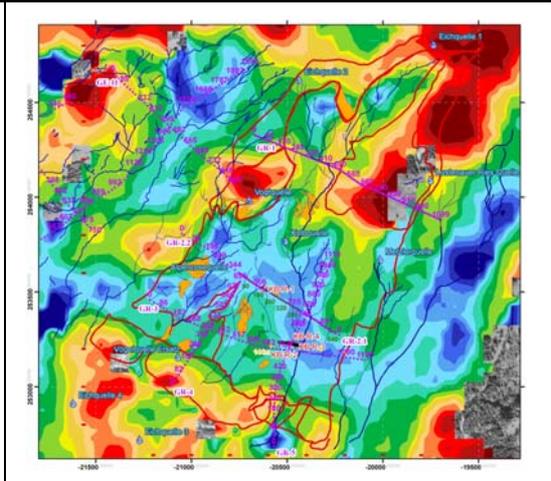
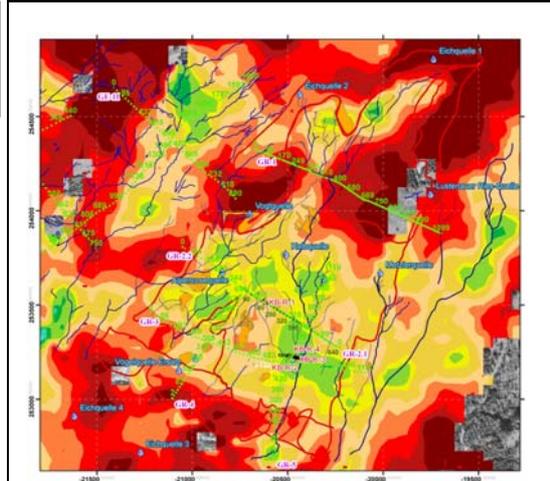
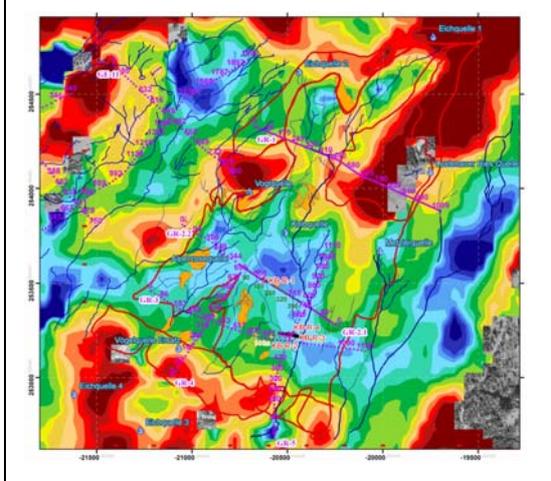
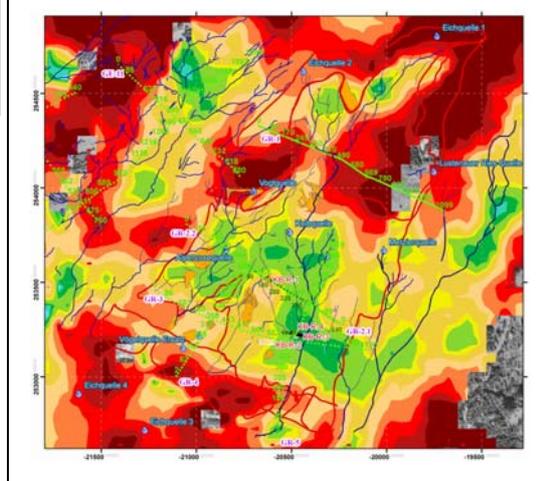
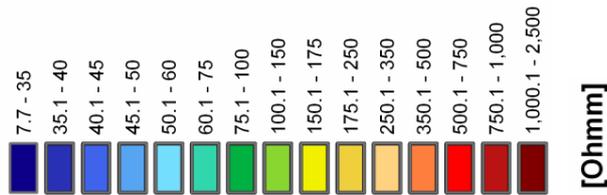


Abb. 49 & 50:  
Widerstand in  
8-12 m Tiefe





AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)  
Ohne Vorinformation

AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)  
Mit Vorinformation ( $r_1 < r_2$ )

Abb. 51 & 52:  
Widerstand in  
12-20 m Tiefe

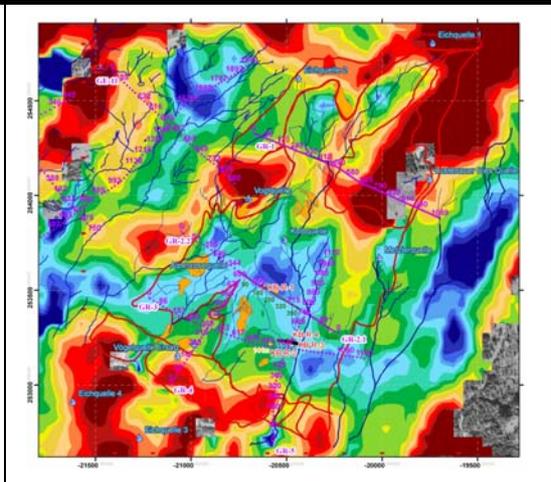
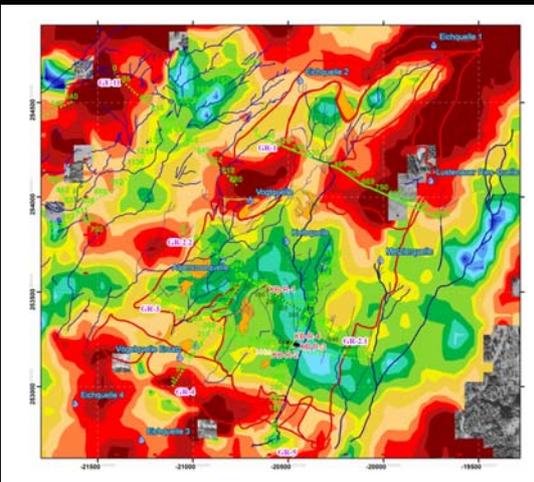


Abb. 53 & 54:  
Widerstand in  
20-31 m Tiefe

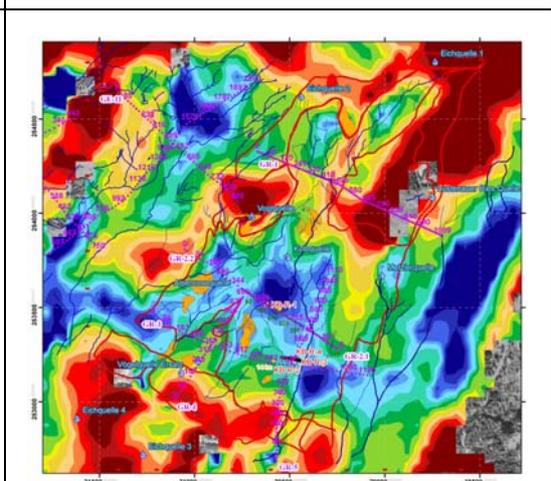
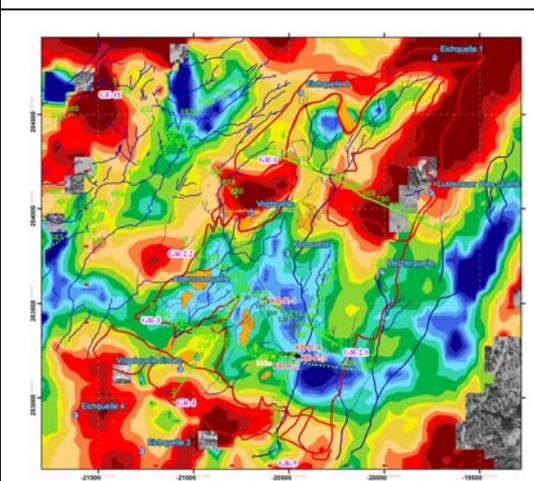
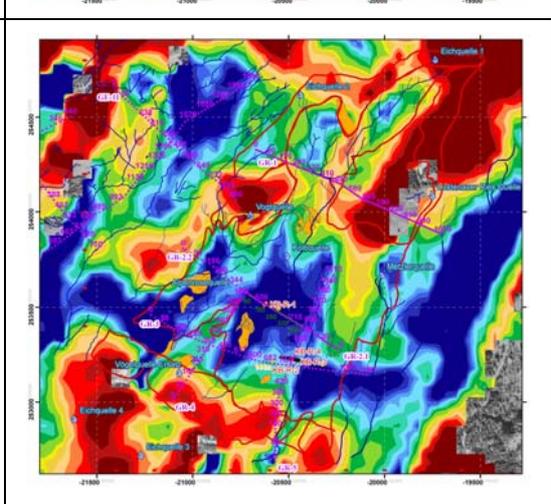
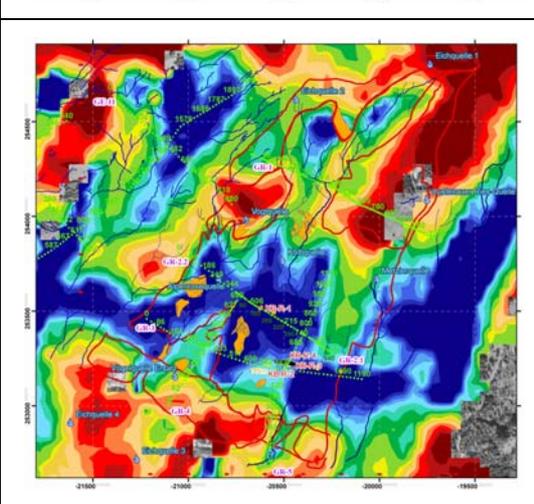
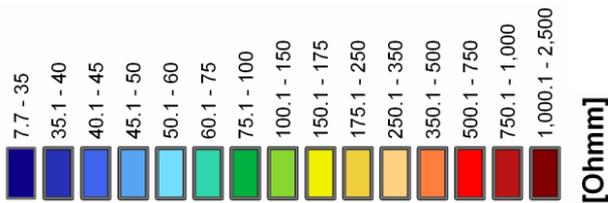


Abb. 55 & 56:  
Widerstand in  
31-50 m Tiefe





AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)  
Ohne Vorinformation

AEM 2 Schicht Inversion (Ohmm)  
Mit Vorinformation ( $r1 < r2$ )

Abb. 57 & 58:  
Widerstand in  
50-80 m Tiefe

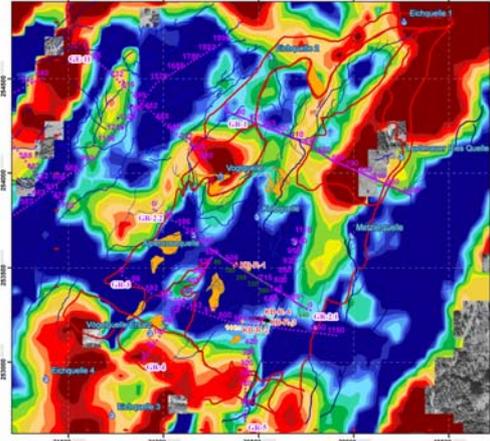
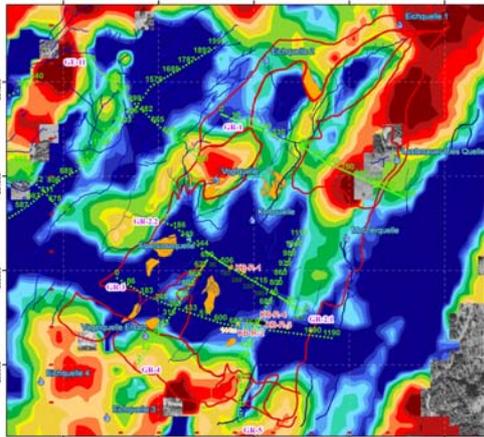
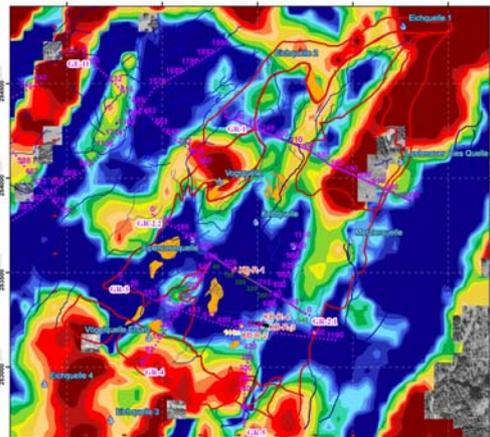
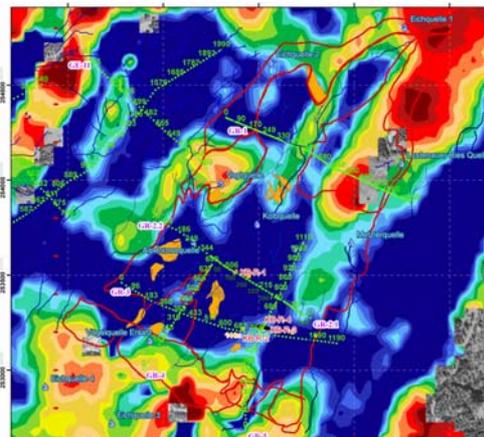


Abb. 57 & 58:  
Widerstand in  
80-130 m Tiefe



In den Abbildungen 59 bis 61 wurden die Aero-Elektromagnetik (AEM) Daten mit der Methode der „probabilistischen Inversion“ als Zweischichtfall invertiert und in Form von parallelen Widerstandstiefensektionen dargestellt. Dabei wurde die Inversion ohne Vorinformation der Inversion mit Vorinformation ( $r1 > r2$ ) je Widerstandstiefensektionen gegenübergestellt um die Relevanz bestimmter Strukturen zu vergleichen.

Abb. 59:  
Mächtigkeit der 1. Schicht aus der 2 Schicht - Auswertung

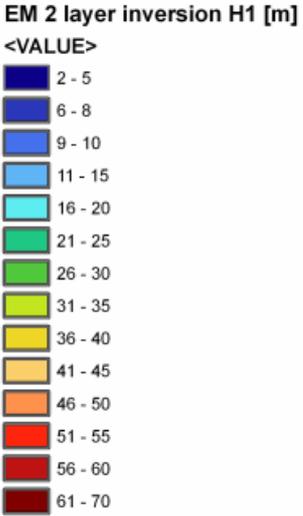
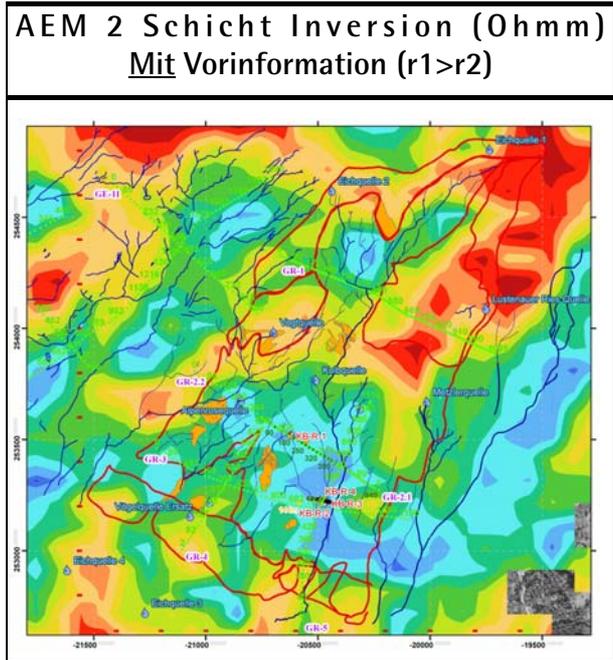


Abb. 60:  
Widerstand der 1. Schicht aus der 2 Schicht- Auswertung

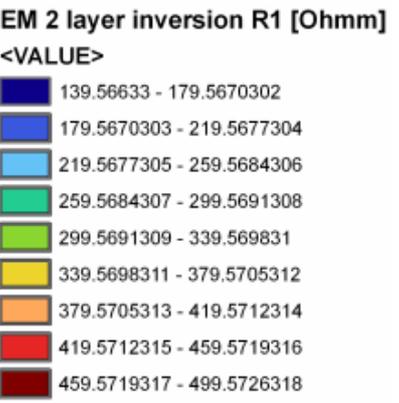
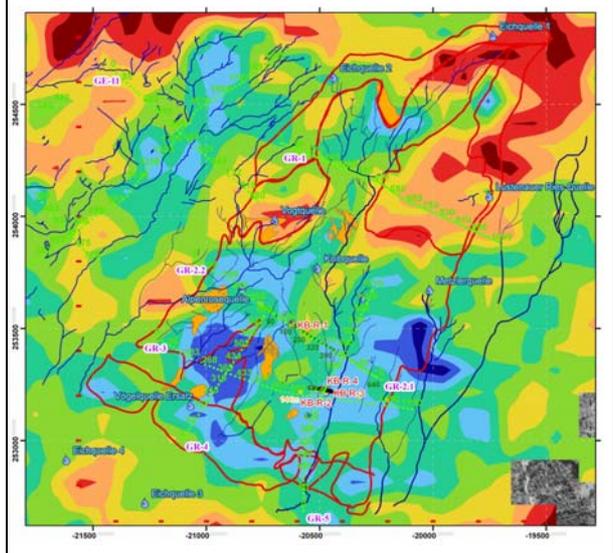
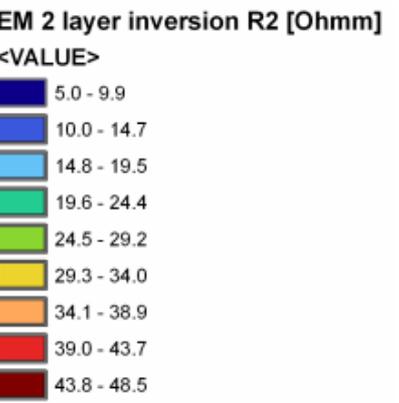
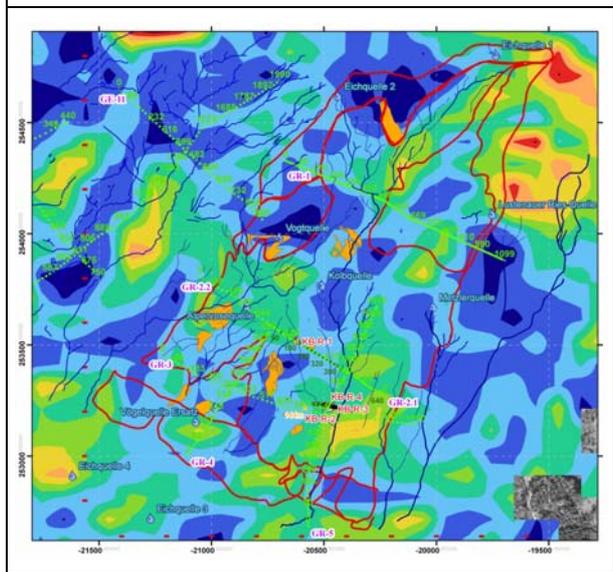


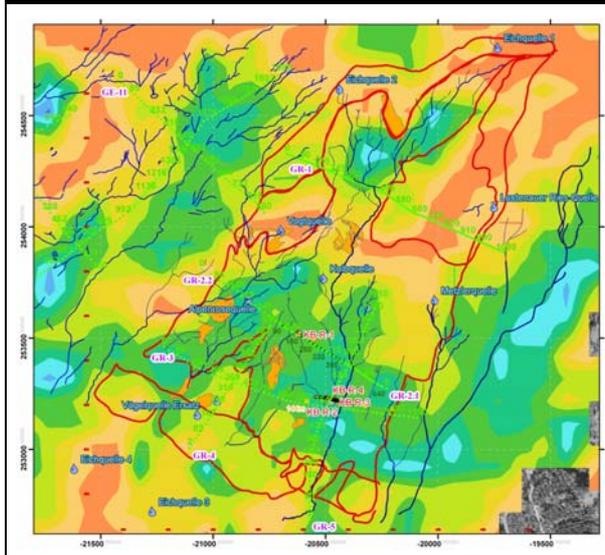
Abb. 61:  
Widerstand der 2. Schicht aus der 2 Schicht- Auswertung



In den Abbildungen 62 bis 66 wurden die Aero-Elektromagnetik (AEM) Daten mit der Methode „Tabellensuchansatz“ als 3-Schichtfall invertiert und die entsprechenden Ergebnisse (H1=Mächtigkeit der 1. Schicht, R1=Widerstand der 1. Schicht, H2= Mächtigkeit der 2. Schicht, R2=Widerstand der 2. Schicht und R3= Widerstand der 3. Schicht) ohne Vorinformation dargestellt.

Abb. 62:  
Mächtigkeit der 1. Schicht aus der 3 Schicht - Auswertung

**AEM 3 Schicht Inversion (Ohmm)**  
**Ohne Vorinformation - „Tabellensuchansatz“**



**EM 3 layer inversion H1 [m]**

<VALUE>

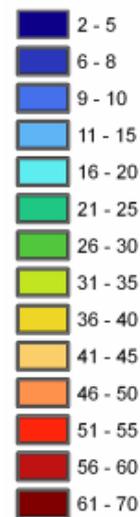
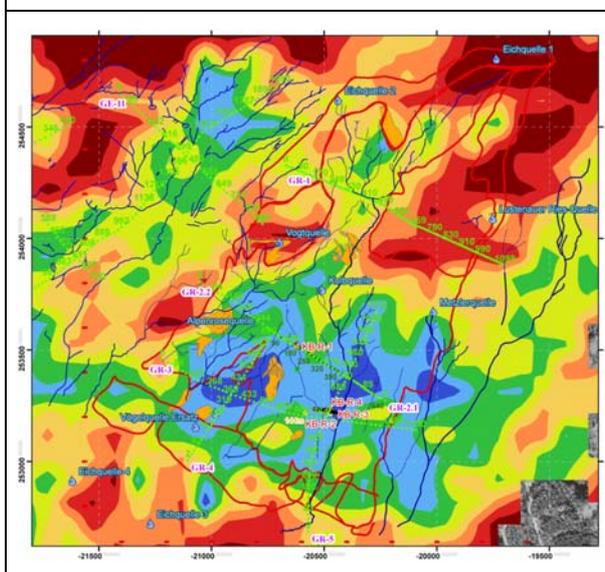
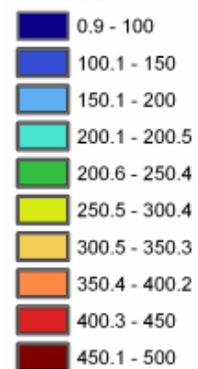


Abb. 63:  
Widerstand der 1. Schicht aus der 3 Schicht- Auswertung



**EM 3 layer inversion R1 [Ohmm]**

<VALUE>



**AEM 3 Schicht Inversion (Ohmm)  
Ohne Vorinformation - „Tabellensuchansatz“**

Abb. 64:  
Mächtigkeit der 2.  
Schicht aus der 3  
Schicht -  
Auswertung

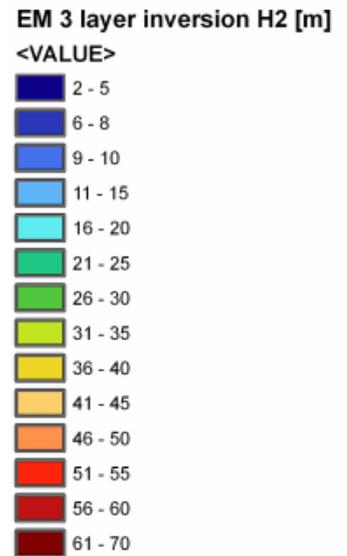
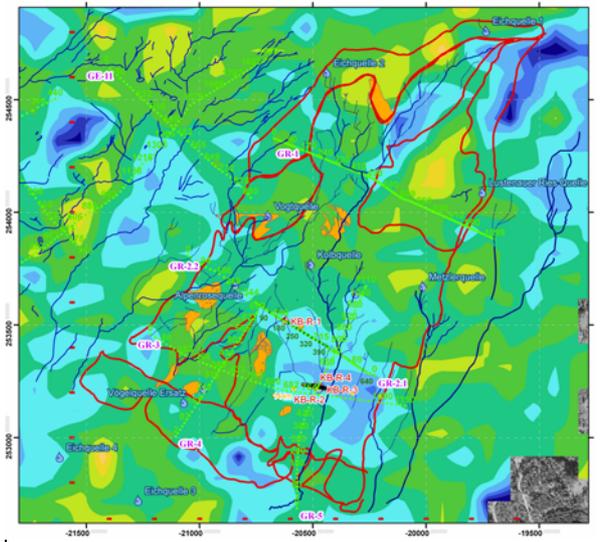


Abb. 65:  
Widerstand der 2.  
Schicht aus der 3  
Schicht-  
Auswertung

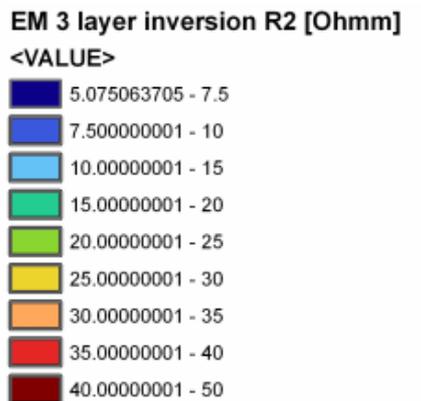
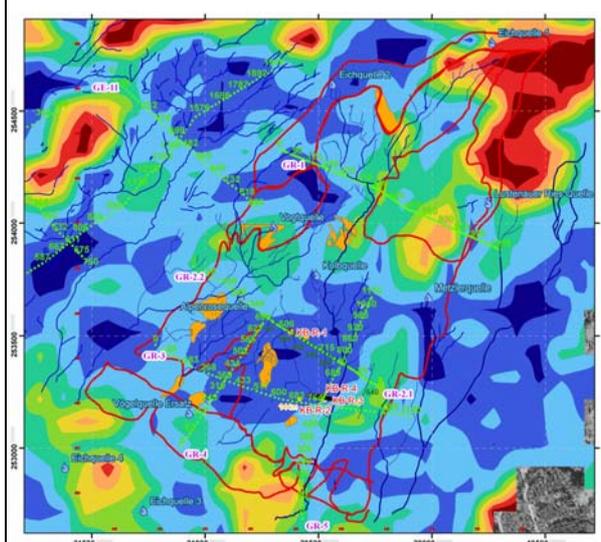
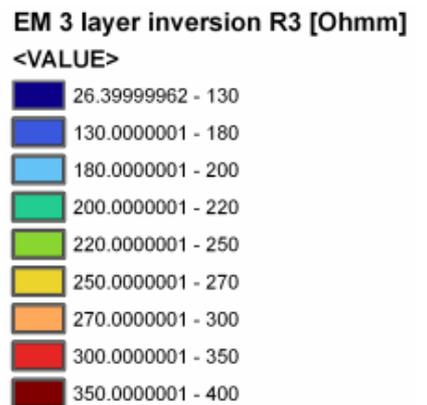
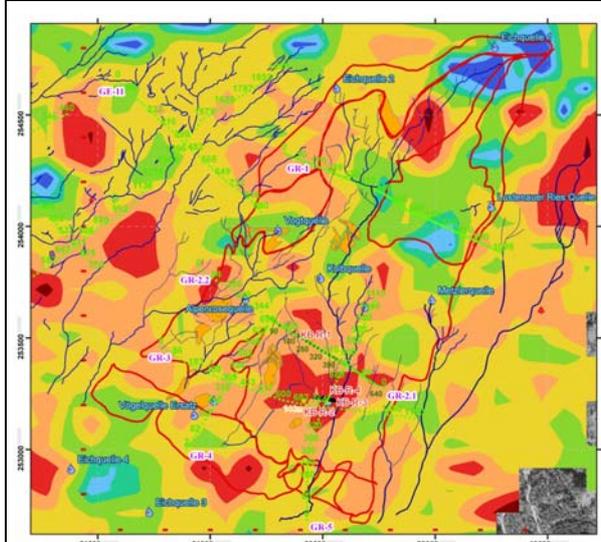


Abb. 66:  
Widerstand der 3.  
Schicht aus der 3  
Schicht-  
Auswertung



### 8.1.2. Gammaskopische Betrachtung

Die Gammastrahlenspektrometrie ermöglicht die flächenhafte Charakterisierung von Gesteinsserien in Bezug auf ihre K-, U- und Th-Gehalte, sowie die Erkennung von lithologischen Inhomogenitäten innerhalb einer Gesteinsserie.

Ohne auf den technischen Ablauf, sowie auf die notwendigen Korrekturschritte der Gammastrahlenspektrometrie einzugehen, ist vor allem erwähnenswert, dass die Eindringtiefe des Messsystems auf wenige cm beschränkt ist, und somit die ermittelte Strahlungsintensitäten nur Auskunft über die hangendste Verteilung dieser Elemente zulässt.

Die Auswertung der aerogeophysikalischen Vermessung Sibratsgfall (2000) mittels Gammastrahlenspektrometer ist in den Abbildungen 68 bis 71 dargestellt. Zu sehen sind die Äquivalentkonzentrationen des Kalium-, Thorium- und Uranfenster sowie die gesamte Dosisleistung (gesamte Gammastrahlung im Bereich zwischen 0,2 und 3,0 MeV).

Begleitend dazu wurde für die Bestimmung der spezifischen  $\gamma$ -Strahlung von Kalium, Uran und Thorium an ausgewählten Bodenprofilen ein Gammaskopimeter vom Typ GS-256 der Firma Geofyzika Brno eingesetzt. Für die vorliegenden bodenradiometrischen Messungen wurde Kalium in den Kanälen 108-125, Uran in den Kanälen 130-148 und Thorium in den Kanälen 195-218 des Gammaskopimeters GS-256 erfasst. Die Messungen erfolgten mit einer Akkumulationszeit von 2 Minuten, die aufgrund von Testmessreihen als akzeptabler Kompromiss zwischen Messgenauigkeit und Zeitaufwand ermittelt wurde.

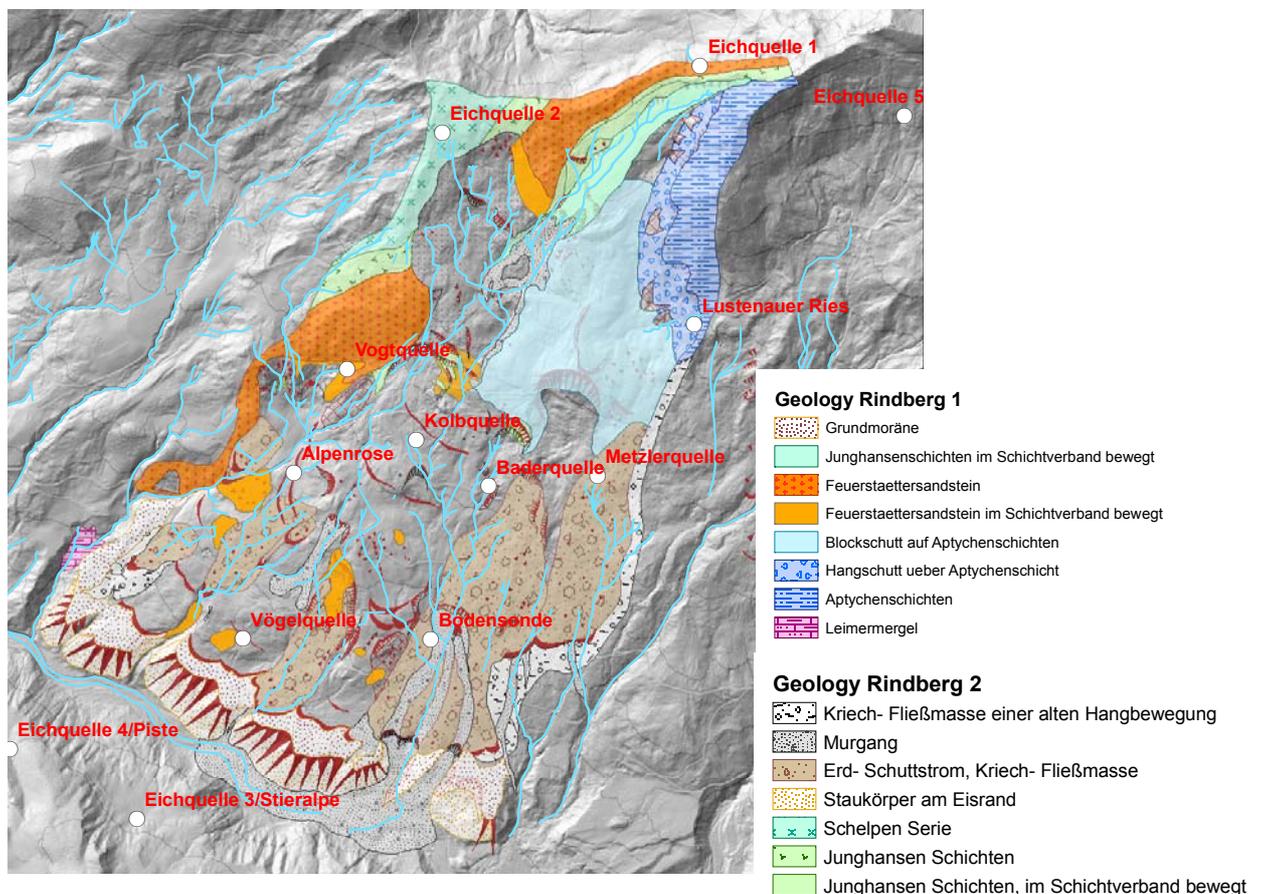


Abb.67: Geologischer Detailkartierung mit Lage der beprobten Quellen (Mag. Wolfgang Jaritz, Bearbeitungsstand: April (2006)

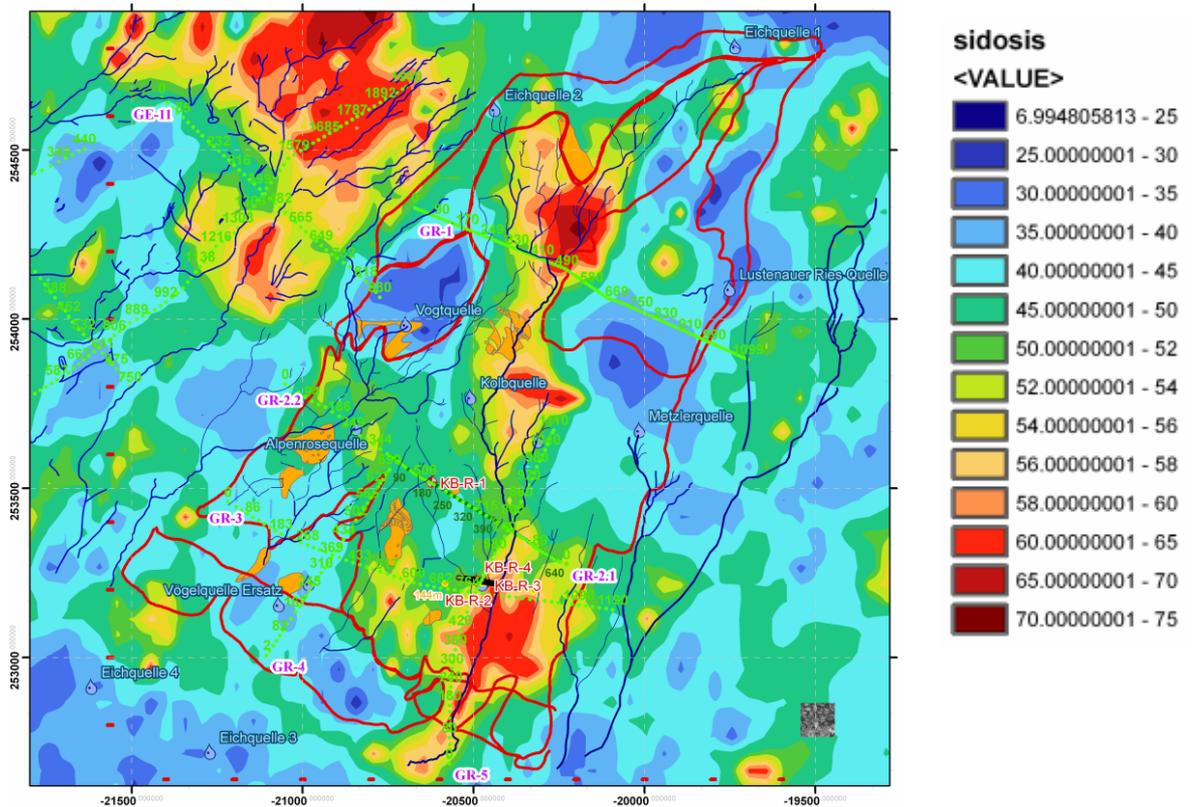


Abb.68: Karte der Dosisleistung (nSv/h)

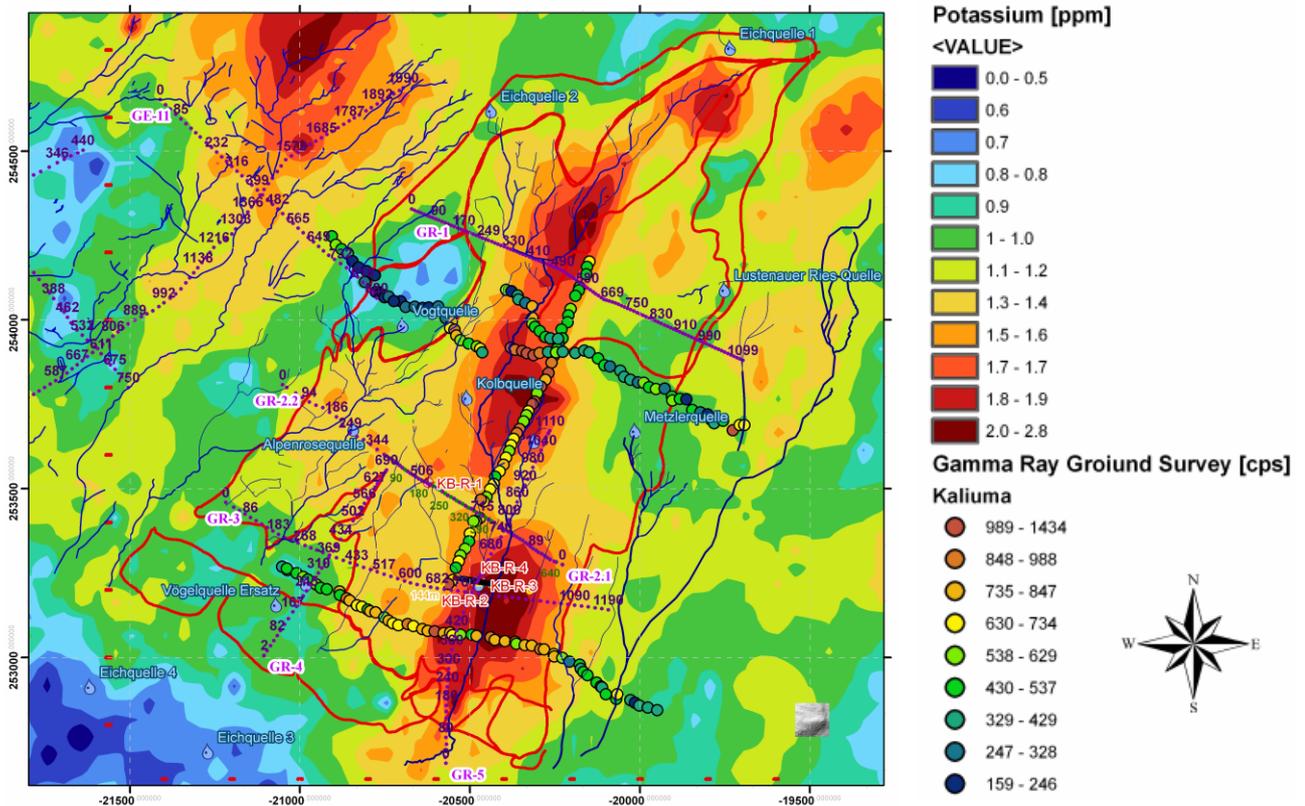


Abb.69: Karte der Kaliumgehalte (%)

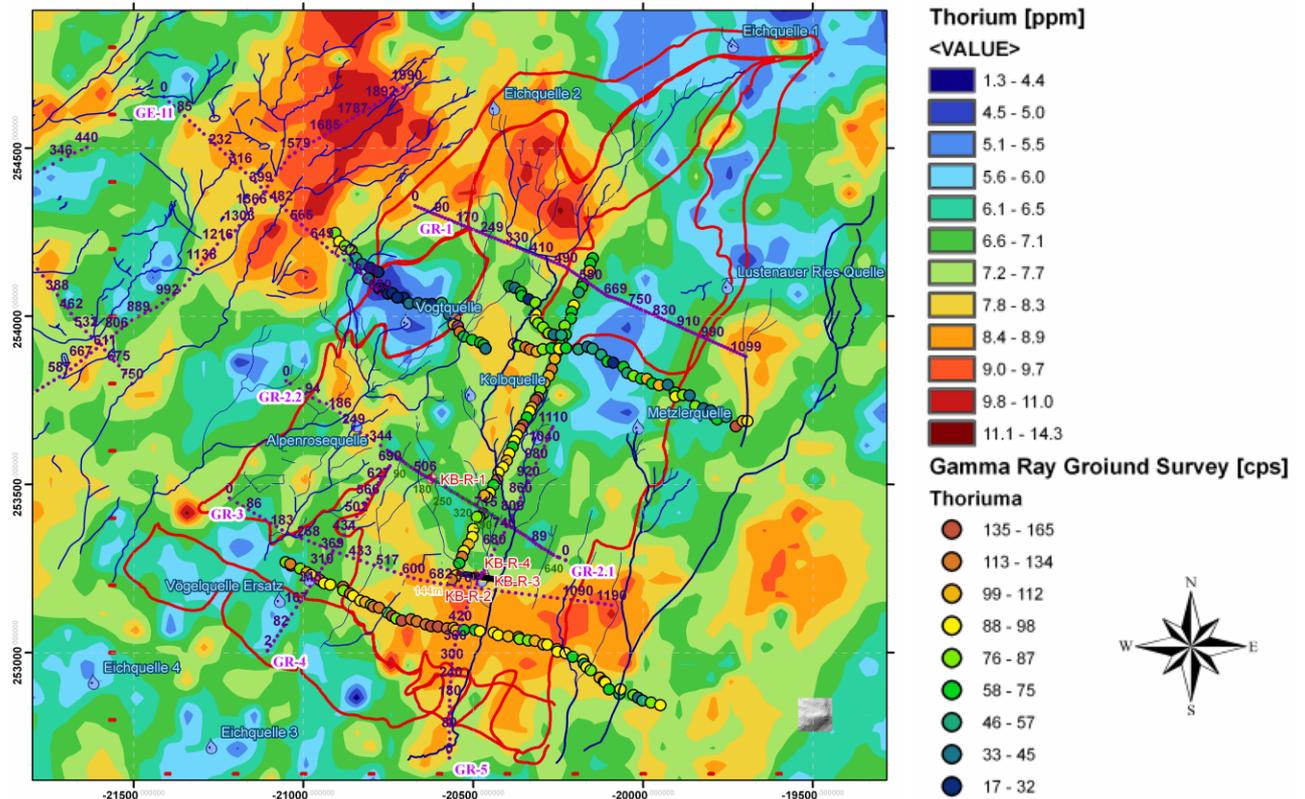


Abb.70: Karte der Thoriumgehalte (ppm)

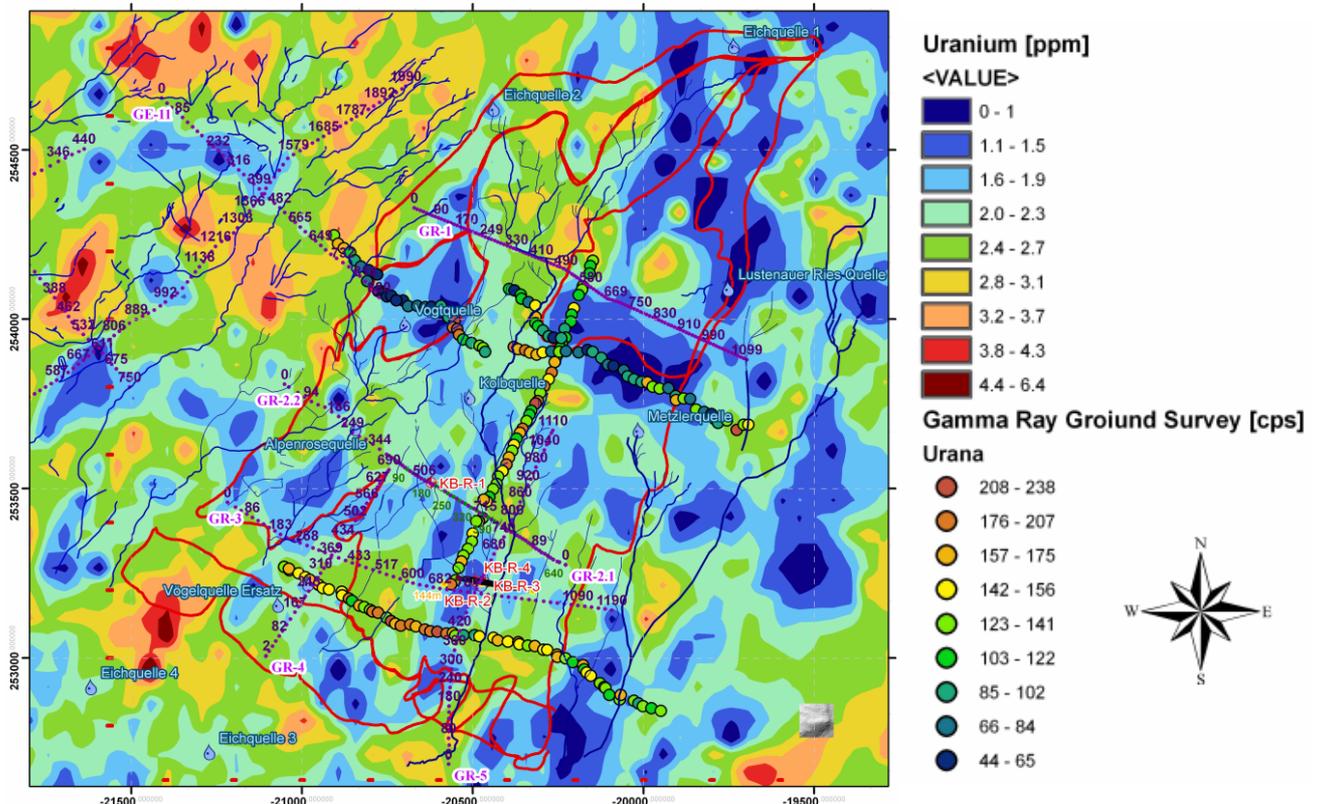
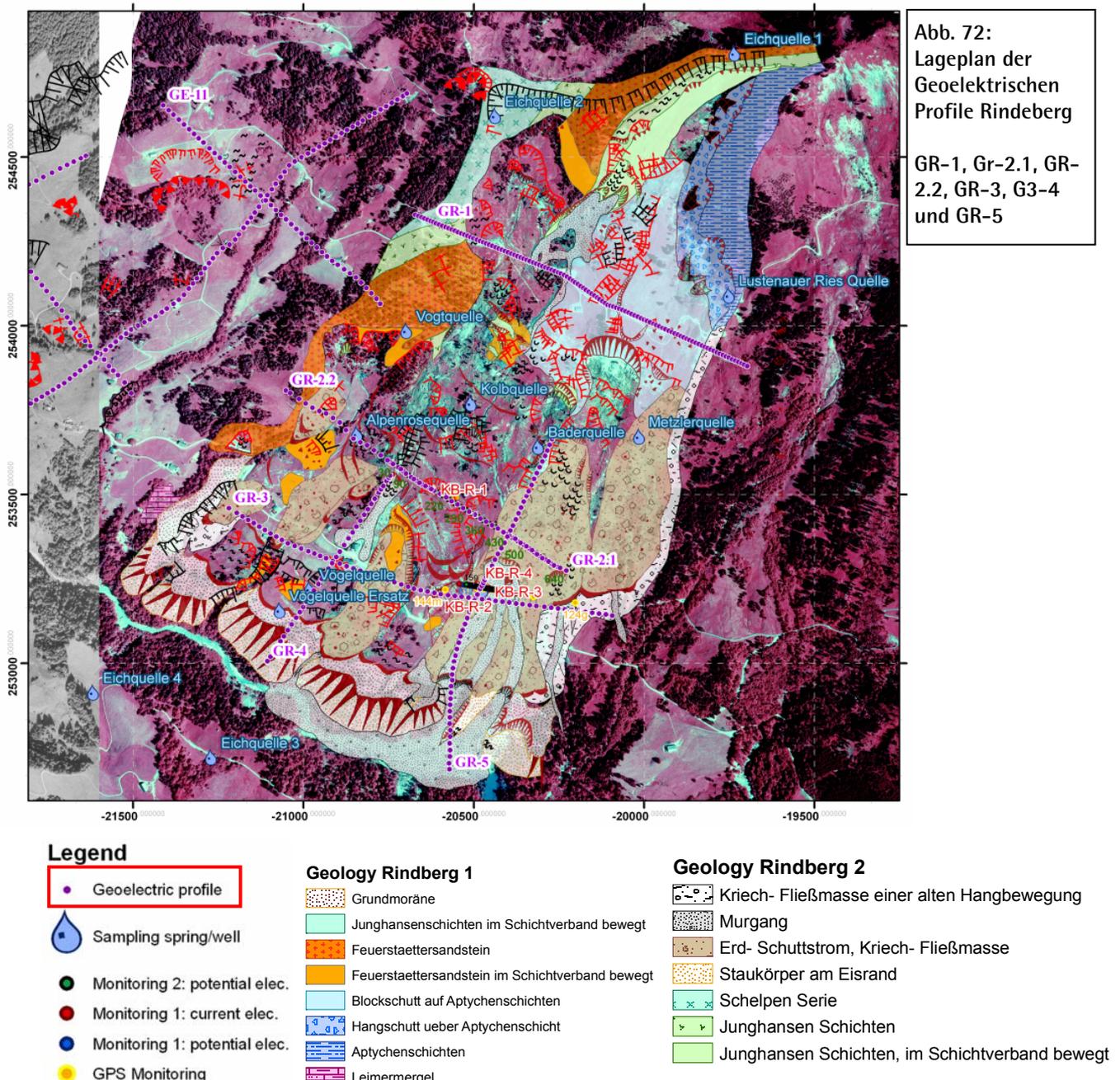


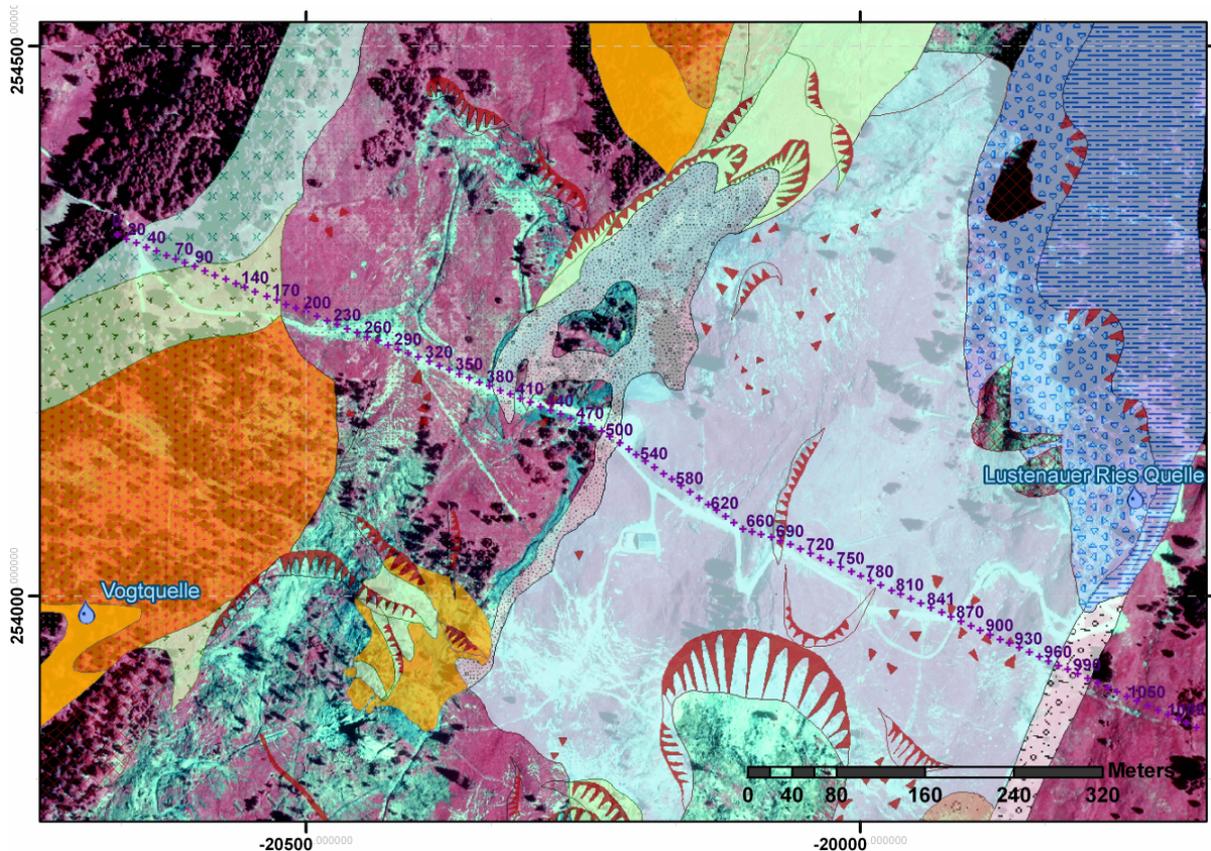
Abb.71: Karte der Urangehalte (ppm)

## 8.2. Geoelektrische Messungen

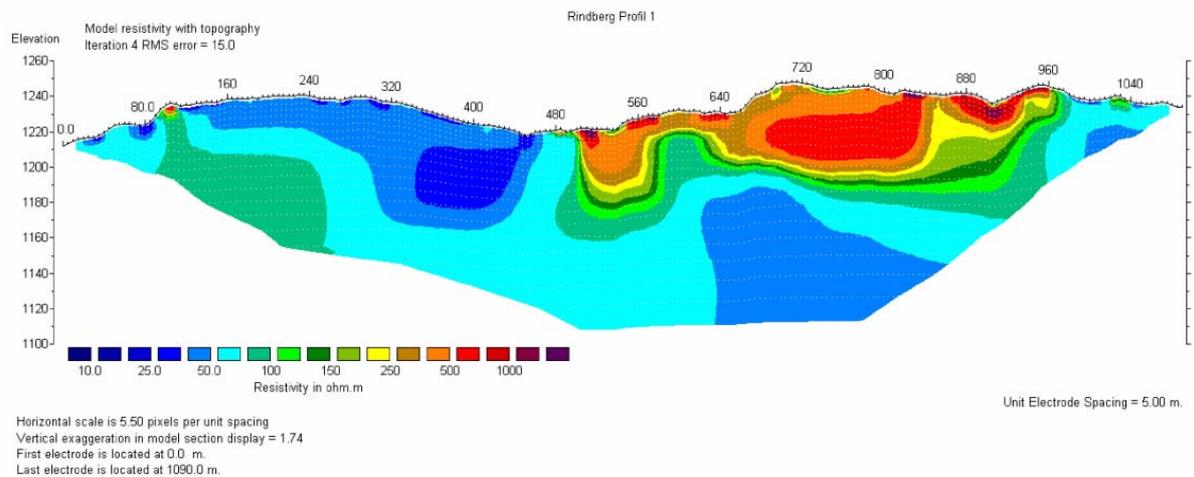
Bodengeophysikalische Messungen (Gleichstromgeoelektrik, Elektromagnetik) dienen einerseits zur Kalibrierung der aerogeophysikalischen Daten (EM, Widerstandstiefenprofile), andererseits wurden dadurch auch gezielt massenbewegungsrelevante Detailfragen behandelt. In diesem Kapitel finden die bodengeoelektrischen Vermessungen vor allem für die Interpretation der hydrogeologischen Situation im Konnex mit den Ergebnissen der Aeroeophysik Verwendung.

Die Abbildung 72 zeigt einen Übersichtsplan der Lage der Geoelektrischen Profile GR-1, Gr-2.1, GR-2.2, GR-3, G3-4 und GR-5 in Rindberg auf geologischer Detailkartierung (Jaritz, 2006) In den nachfolgenden Abbildungen wird die Widerstandstiefenverteilung entlang der einzelnen Profile als Profilschnitt dargestellt. Um die Dynamik der Widerstandsverteilung zu zeigen wurden bestimmte Profile mit zwei unterschiedlichen Widerstandsverteilungen dargestellt.





**Results of Geoelectric Inversion**



**LEGENDE**

- Beprobungsquellen
- Drillings
- Geoelectric profile

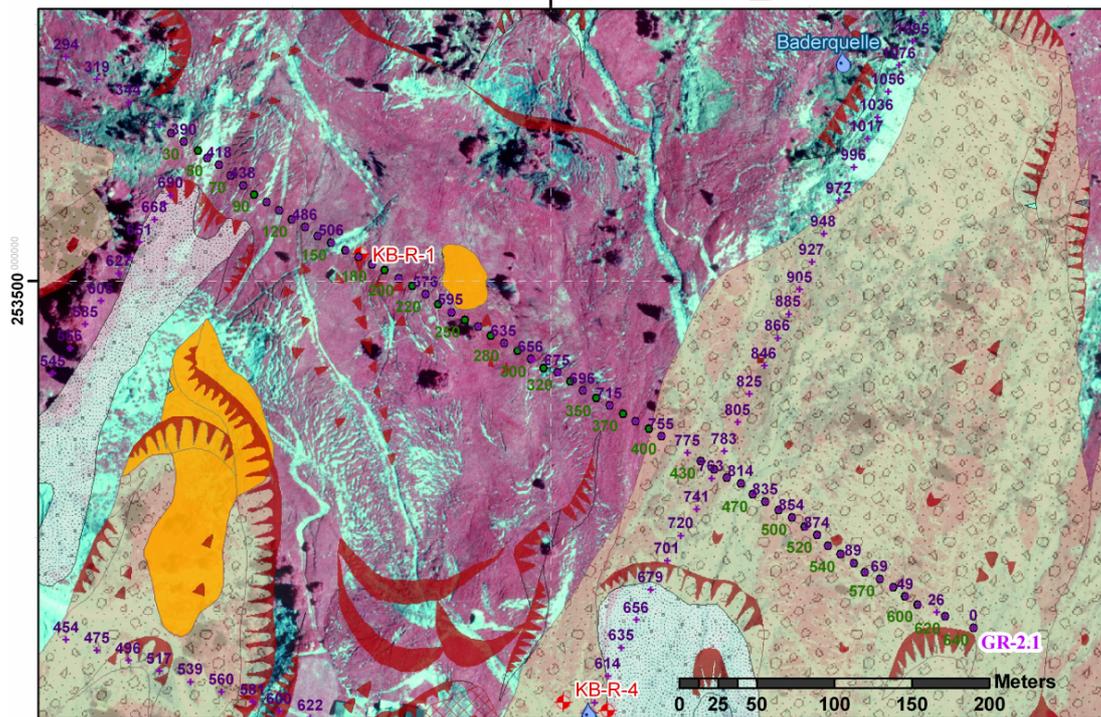
**Geology Rindberg 1**

- Grundmoräne
- Junghansschichten im Schichtverband bewegt
- Feuerstaettersandstein
- Feuerstaettersandstein im Schichtverband bewegt
- Blockschutt auf Aptychenschichten
- Hangschutt ueber Aptychenschicht
- Aptychenschichten
- Leimermergel

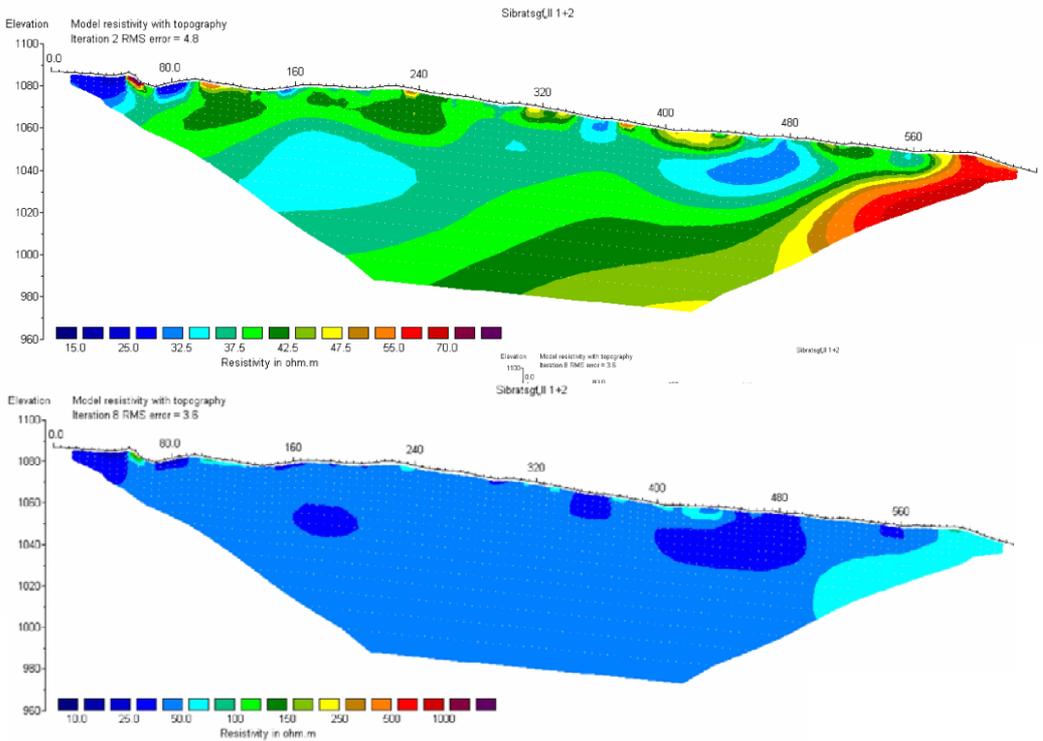
**Geology Rindberg 2**

- Kriech- Fließmasse einer alten Hangbewegung
- Murgang
- Erd- Schuttstrom, Kriech- Fließmasse
- Staukörper am Eisrand
- Schelpen Serie
- Junghansen Schichten
- Junghansen Schichten, im Schichtverband bewegt

Abb.73: Geoelektrikprofil Rindberg 1; GR-1

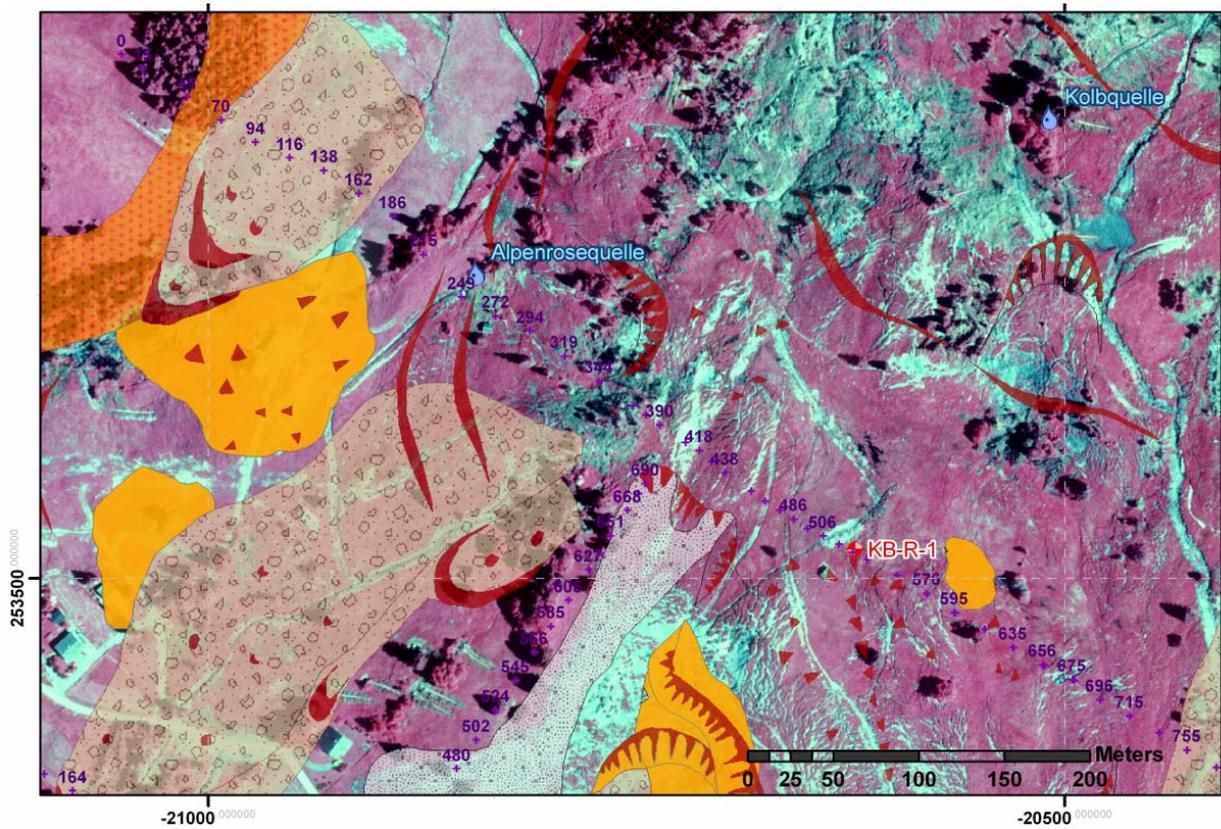


**Results of Goelectric Inversion**

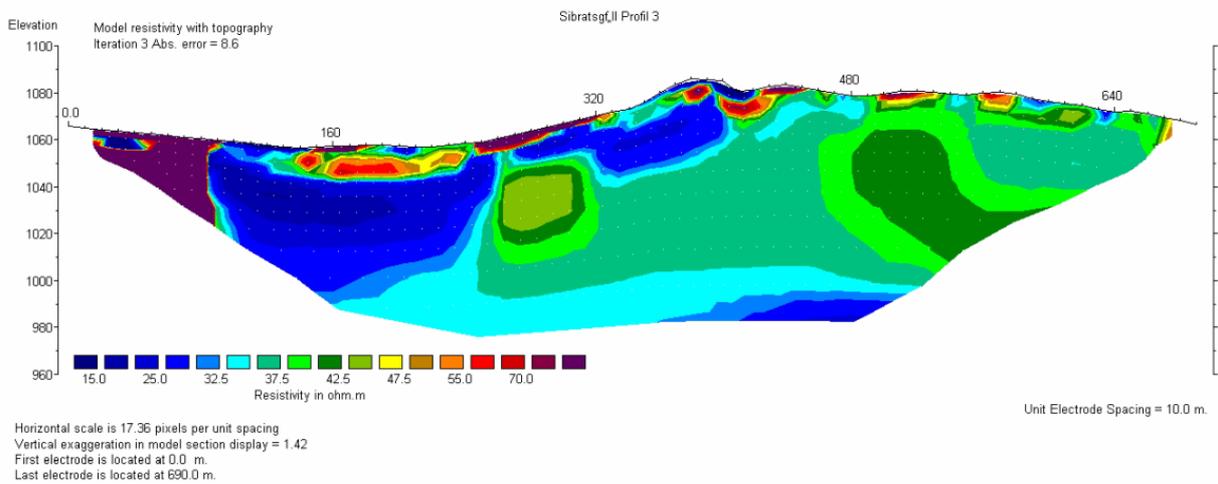


- |   |   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li> Beprobungsquellen</li> <li> Drillings</li> <li> Goelectric profile</li> </ul> | <p><b>Geology Rindberg 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Grundmoräne</li> <li> Junghansschichten im Schichtverband bewegt</li> <li> Feuerstaetersandstein</li> <li> Feuerstaetersandstein im Schichtverband bewegt</li> <li> Blockschutt auf Aptychenschichten</li> <li> Hangschutt ueber Aptychenschicht</li> <li> Aptychenschichten</li> <li> Leimermergel</li> </ul> | <p><b>Geology Rindberg 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Kriech- Fließmasse einer alten Hangbewegung</li> <li> Murgang</li> <li> Erd- Schuttstrom, Kriech- Fließmasse</li> <li> Staukörper am Eisrand</li> <li> Schelpen Serie</li> <li> Junghansen Schichten</li> <li> Junghansen Schichten, im Schichtverband bewegt</li> </ul> |
|---|---|---|

Abb.74: Goelektrikprofil Rindberg 2; GR-2.1

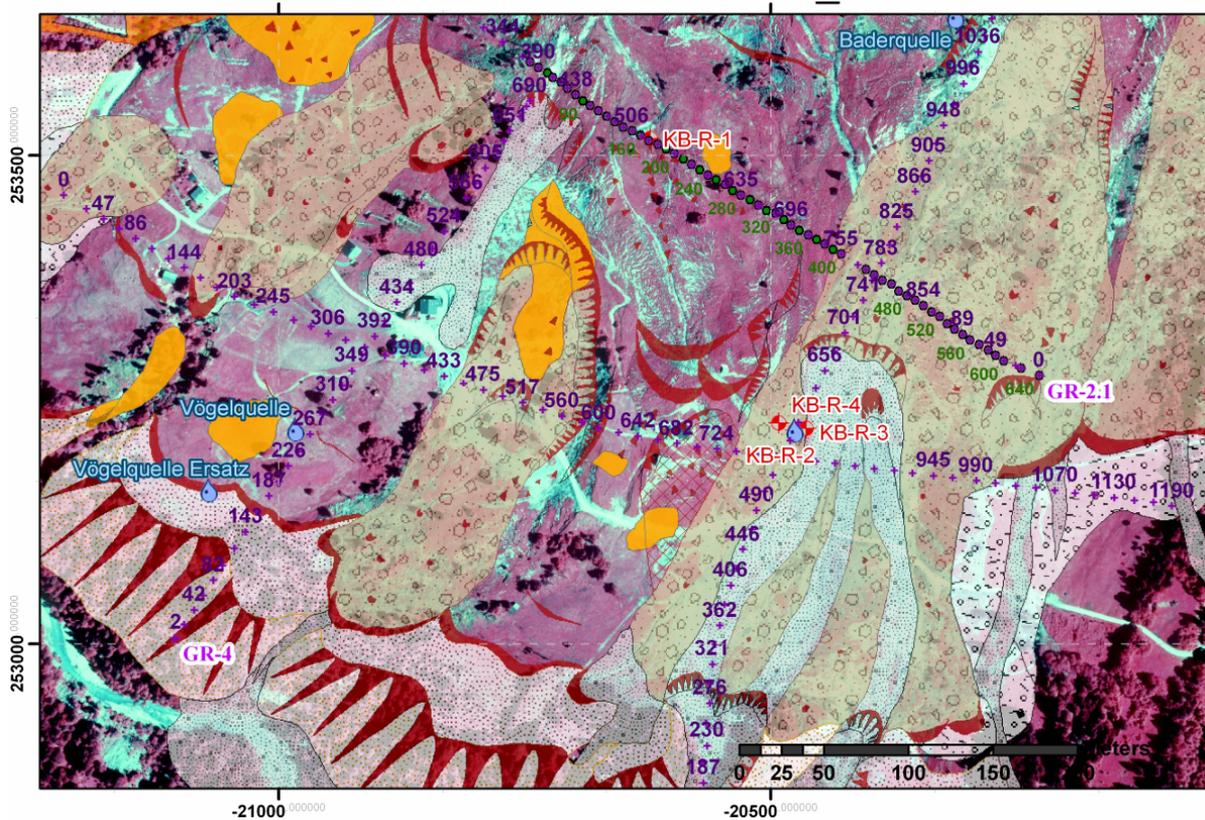


**Results of Goelectric Inversion**

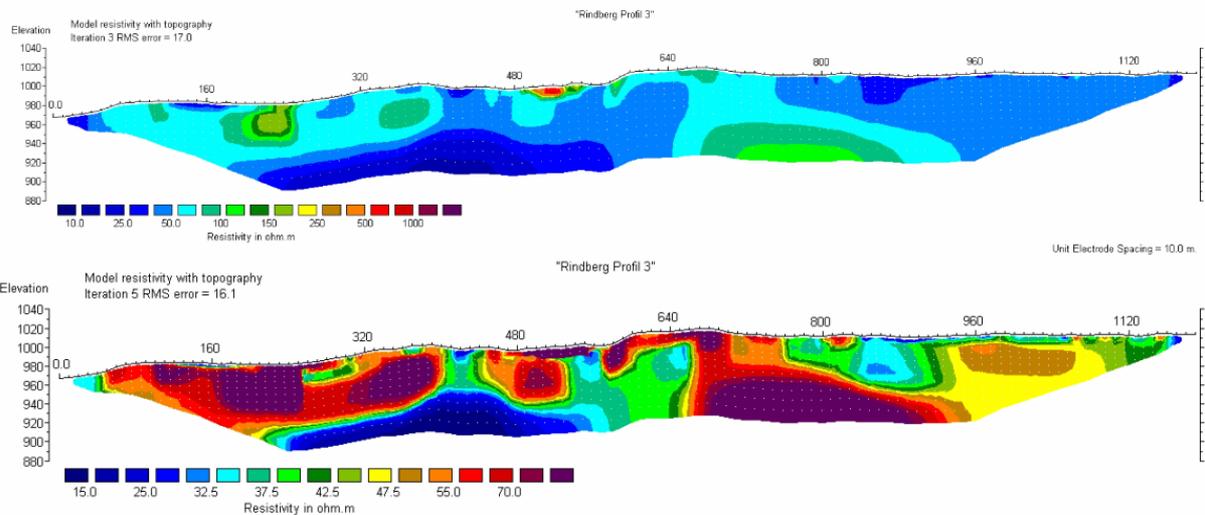


Beprobungsquellen  Drillings  Goelectric profile	<p><b>Geology Rindberg 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Grundmoräne</li> <li> Junghansschichten im Schichtverband bewegt</li> <li> Feuerstaettersandstein</li> <li> Feuerstaettersandstein im Schichtverband bewegt</li> <li> Blockschutt auf Aptychenschichten</li> <li> Hangschutt ueber Aptychenschicht</li> <li> Aptychenschichten</li> <li> Leimermergel</li> </ul>	<p><b>Geology Rindberg 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Kriech- Fließmasse einer alten Hangbewegung</li> <li> Murgang</li> <li> Erd- Schuttstrom, Kriech- Fließmasse</li> <li> Staukörper am Eisrand</li> <li> Schelpen Serie</li> <li> Junghansen Schichten</li> <li> Junghansen Schichten, im Schichtverband bewegt</li> </ul>
--	---	---

Abb.75: Geoelektrikprofil Rindberg 2; GR-2.2



Results of Geoelectric Inversion



Horizontal scale is 10.07 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 1190.0 m.

- Beprobungsquellen
- Drillings
- Geoelectric profile

Geology Rindberg 1

- Grundmoräne
- Junghansenschichten im Schichtverband bewegt
- Feuerstaettersandstein
- Feuerstaettersandstein im Schichtverband bewegt
- Blockschutt auf Aptychenschichten
- Hangschutt ueber Aptychenschicht
- Aptychenschichten
- Leimermergel

Geology Rindberg 2

- Kriech- Fließmasse einer alten Hangbewegung
- Murgang
- Erd- Schuttstrom, Kriech- Fließmasse
- Staukörper am Eisrand
- Schelpen Serie
- Junghansen Schichten
- Junghansen Schichten, im Schichtverband bewegt

Abb.76: Geoelektrikprofil Rindberg 3; GR-3

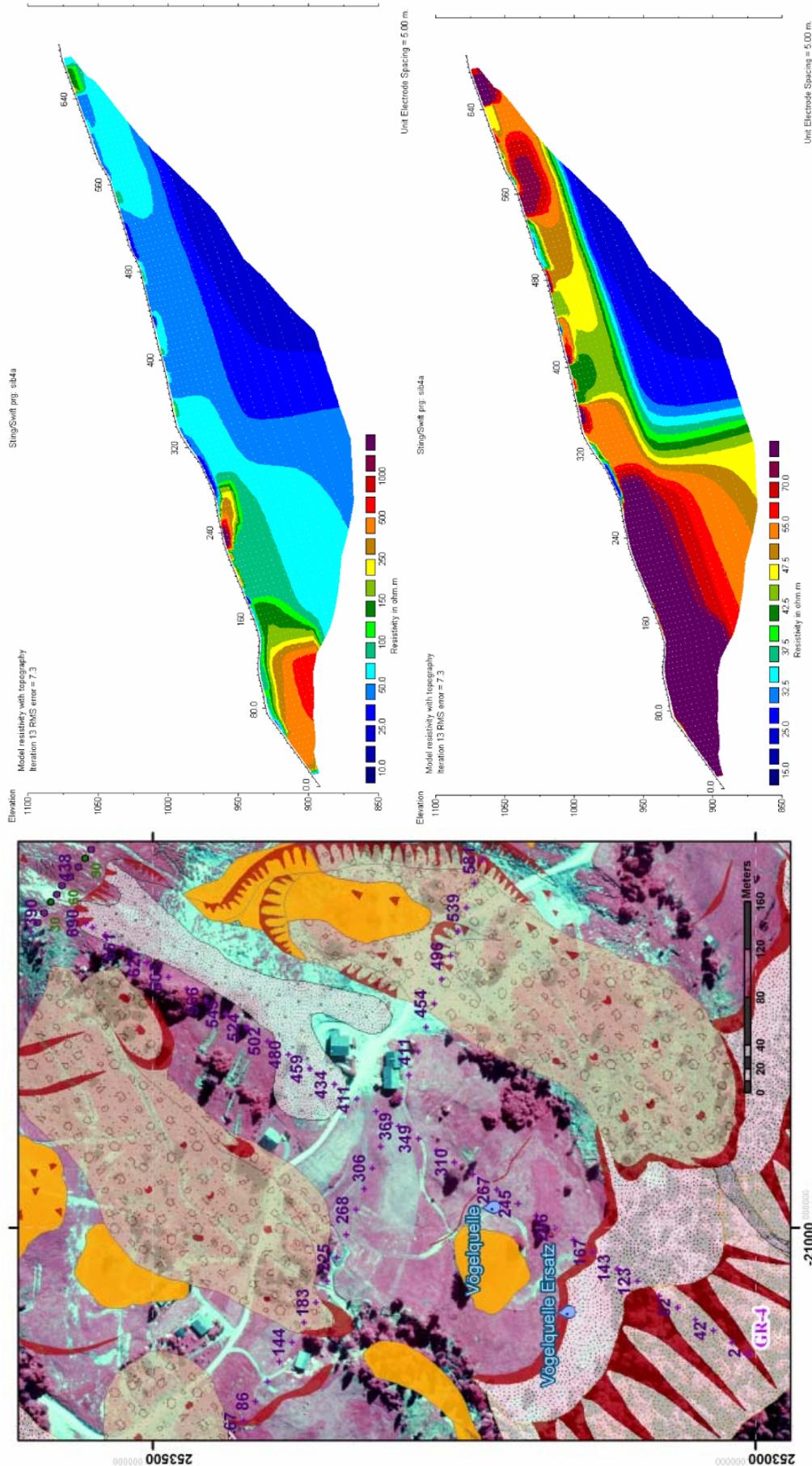
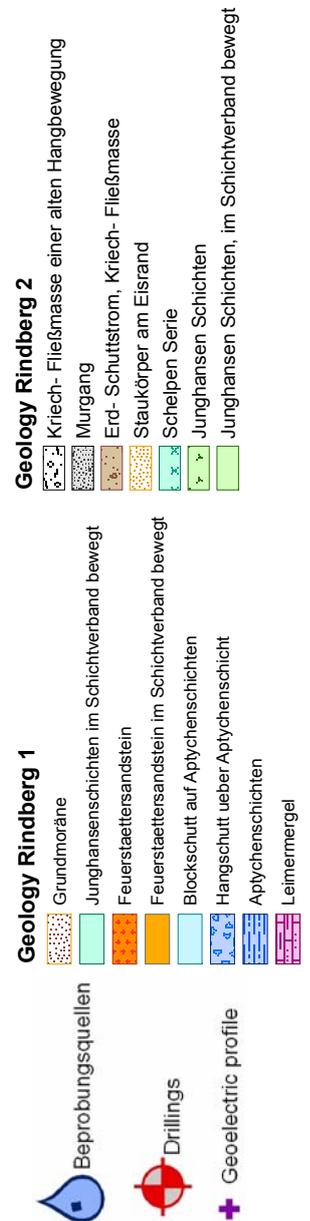


Abb.77: Geoelektrikprofil Rindberg 4; GR-4



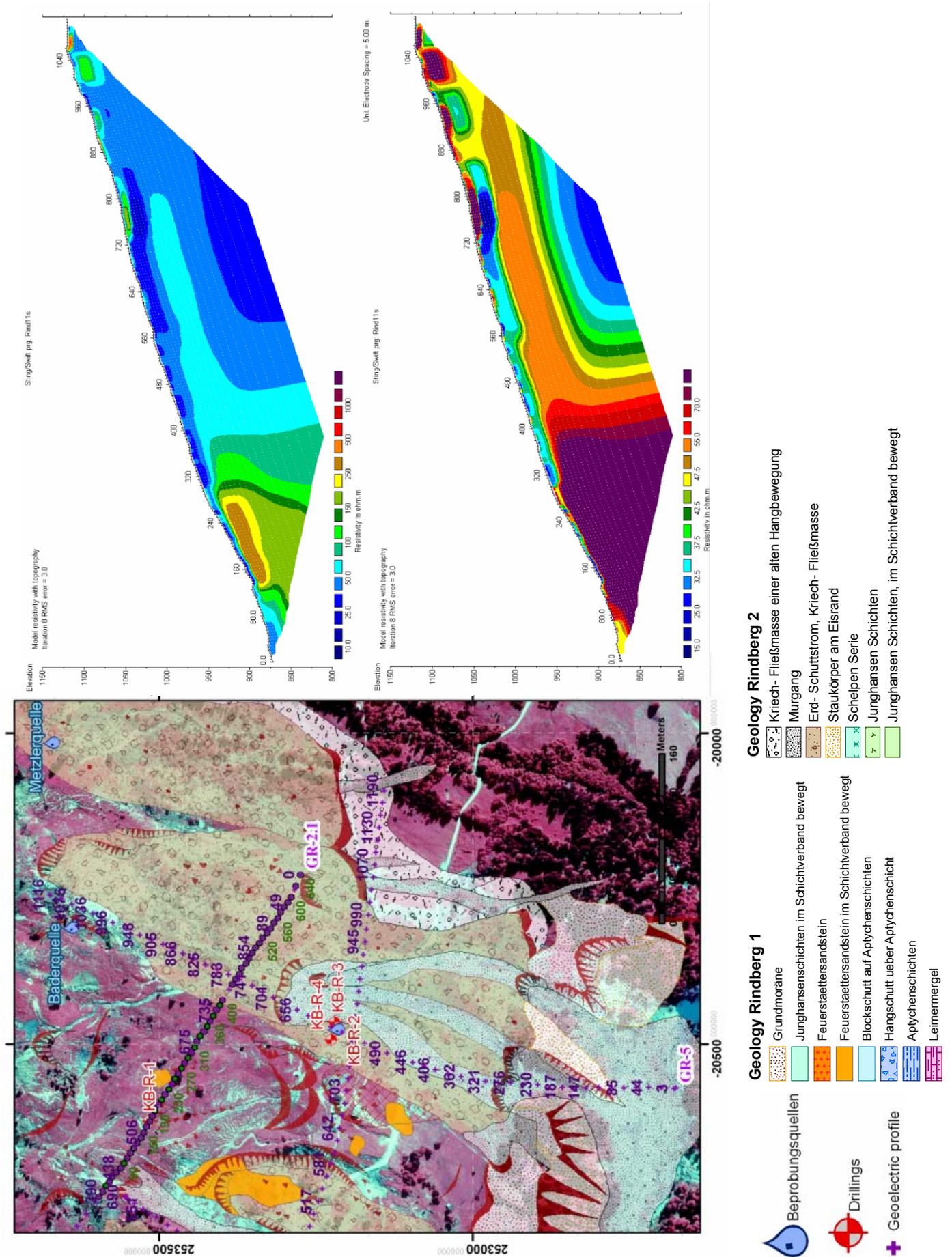


Abb.78: Geoelektrikprofil Rindberg 5; GR-5

### 8.3. Diskussion der Ergebnisse

#### 8.3.1. Gammaskopie

Die Auswertung der aerogeophysikalischen Vermessung Sibratsgfäll (2000) mittels Gammastrahlenspektrometrie ist in den Abbildungen 68 bis 71 dargestellt. Zu sehen sind die Äquivalentkonzentrationen des Kaliumfensters und des Thoriums sowie die gesamte Dosisleistung (gesamte Gammastrahlung im Bereich zwischen 0,2 und 3,0 MeV).

Begleitend dazu wurde für die Bestimmung der spezifischen  $\gamma$ -Strahlung von Kalium, Uran und Thorium an ausgewählten Bodenprofilen ein Gammaskopie vom Typ GS-256 der Firma Geofyzika Brno eingesetzt.

Da diese Methode nur Ergebnisse über die Strahlungsintensitäten der „anstehenden“ Geologie (Eindringtiefe wenige cm) liefert sind Aussagen hinsichtlich der hydraulischen Grundwasserverhältnisse im Untergrund begrenzt, zumal dieses Gebiet in einem ausgedehnten Hangbewegungsareal liegt.

Beeinflusst wird die Intensität der Messsignale der natürlichen radioaktiven Strahlung nicht nur von der Geologie sondern auch von der Feuchtigkeit des Bodens und von der Vegetation (Landschaftsnutzung), die je nach Art und Dichte eine unterschiedliche große Dämpfung verursacht. Das Messgebiet selbst liegt in einer landwirtschaftlich klein strukturierten Grünlandfläche die sich mit kleinsten Waldflächen abwechselt.

In den Tabellen 14 bis 16 werden die Ergebnisse der Gammaskopie (Aerogeophysik und Bodenprofile) den geochemisch ermittelten Werten relevanter Leitgesteine im Untersuchungsgebiet gegenübergestellt.

Kalium	Aero (ppm) Radiometrie	Boden (cps) Radiometrie	Gesteinsproben K2O %
Aptychen Schichten	0,8-1,4 / 1,1	538-629	0
Junghansen Schichte	0,8-1,7 / 1,25	---	3
Schelpen Serie	1,1-1,2 / 1,15	---	2
Feuerstätter Sandstein	0,7-1,2 / 0,95	159-328	1
Erd- Schuttstrom	1-2,8 / 1,9	538-988	---

Tab. 14: Gehalt des radioaktiven Elements Kalium aus der Gammaskopie im Vergleich mit Gehalten aus geochemischen Analysen verschiedenen Gesteinen, die für das Untersuchungsgebiet relevant sind

Thorium	Aero (ppm) Radiometrie	Boden (cps) Radiometrie	Gesteinsproben Thorium (ppm)
Aptychen Schichten	4,5-7,1 / 5,8	46-112	4
Junghansen Schichte	4,5-7,7 / 6,1	---	12
Schelpen Serie	7,8-8,9 / 8,4	---	10
Feuerstätter Sandstein	4,5-5,5 / 5,0	17-45	3
Erd- Schuttstrom	6,6-11,0 / 8,8	76-165	---

Tab. 15: Gehalt des radioaktiven Elements Thorium aus der Gammaskopie im Vergleich mit Gehalten aus geochemischen Analysen verschiedenen Gesteinen, die für das Untersuchungsgebiet relevant sind

Uran	Aero (ppm) Radiometrie	Boden (cps) Radiometrie	Gesteinsproben Thorium (ppm)
Aptychen Schichten	0,0-2,3 / 1,1	66-141	2
Junghansen Schichte	1,1-3,1 / 2,1	---	4
Schelpen Serie	2,0-2,7 / 2,4	---	4
Feuerstätter Sandstein	0,0-1,5 / 0,8	44-84	<2
Erd- Schuttstrom	0,0-3,1 / 1,6	123-238	---

Tab. 16: Gehalt des radioaktiven Elements Uran aus der Gammaskopie im Vergleich mit Gehalten aus geochemischen Analysen verschiedenen Gesteinen, die für das Untersuchungsgebiet relevant sind

Werte, die sehr hohe Gehalte darstellen, sind rot gekennzeichnet, Werte die niedrige Gehalte darstellen sind blau gekennzeichnet.

Vergleich der Messergebnisse mit Durchschnittswerten von Kalium, Uran und Thorium aus der Literatur:

Durchschnittswert für:	Kalium (%)	Thorium (ppm)	Uran (ppm)
Sandstein	1,7	10,4	2,9
Ton, Tonschiefer	2,7	11,5	4,0
Kalkstein	0,3	1,8	1,6

Tabelle 17: Mittelwerte der Gehalte radioaktiver Elemente in verschiedenen Gesteinen, die für das Untersuchungsgebiet relevant sind (SCHÖN, 1983).

Durchschnittswert für:	Kalium (%)	Thorium (ppm)	Uran (ppm)
Kalk	0,3	1,5	2,0
Schiefer und Siltstein	2,7	12,0	3,7
Quarzit	0,9	1,8	0,6
Arkose	2,3	5,0	1,5
Grauwacke	1,3	7,0	2,0

Tabelle 18: Durchschnittsgehalte der radioaktiven Elemente in unterschiedlichen Sedimentgesteinen (RYBACH, 1988).

Zusammenfassend lassen sich die Messergebnisse in zwei Gruppen darstellen. Zum einen sind sandsteinreiche (Feuerstätter Sandstein) oder karbonatisch (Aptychen Schichten) betonte Serien durch sehr geringe Gehalte sämtlicher radioaktiver Parameter (K, U, Th) gekennzeichnet. Die Minimalwerte im Untersuchungsgebiet werden durch den Feuerstätter Sandstein selbst repräsentiert.

Maximalwerte liegen dort vor, wo tonreiche Gesteinsserien an der Geländeoberfläche aufgeschlossen sind, bzw. deren Schutt und Umlagerungsprodukte (Erd-, Schuttstrom,

Murgang) zu einer feinkorndominierten „Masse“ führten. Zu den Sedimenten mit einer höheren natürlichen radioaktiven Strahlung zählen die Junghansen Schichten sowie die Schelpenserie. Beide Gesteinsserien sind durch ähnliche K-, U- und Th-Gehalte sowohl in der Aero-Radiometrie als auch in den geochemisch ermittelten Werten, gekennzeichnet. Die Maximalwerte im Untersuchungsgebiet liegen häufig im Bereich der feinkorndominierten „Masse“ des Erd- bzw. Schuttsroms.

Sehr deutlich ist diese Zweiteilung der K-, U- und Th-Gehalte zusammengefasst in der Darstellung der gesamten Dosisleistung nachzuvollziehen (Abb. 68).

Die beschriebenen K-, U- und Th-Gehalte der relevanten Leitgesteine (Tab. 14 bis Tab.16) stimmen größenordnungsmäßig mit den in der Literatur beschriebenen Gehalten (RYBACH, 1988 und SCHÖN, 1983) überein.

### 8.3.2. Aero-Elektromagnetik (AEM) und Geoelektrik

Die nachfolgende Auswertung der AEM sowie der terrestrischen Geoelektrik ist im Wesentlichen eine Kurzzusammenfassung des Forschungsberichtes:

PIRKL, H., JARITZ, W. & MARKART, G.:

Einsatz von Hubschrauber-geophysik bei der Naturraumanalyse von Wildbacheinzugsgebieten. Beispielsmessgebiete in Vorarlberg Sibratsgfall, Doren, Langen und Schesatobel.-

Unveröffentl. Bericht, Wien/Gmunden/Innsbruck 2002

und ist bei der Sektion Vorarlberg des FTD-WLV, Rheinstr.32/4, 6900 Brgenz oder im Archiv der Geologischen Bundesanstalt einzusehen.

Die Zusammenfassung des o.a. Berichtes wurde durch eigene Ergebnisse ergänzt und erweitert.

#### Hangbewegung

Wie die geologischen Untersuchungen zeigten, ist das lithologische und tektonische Inventar der Talflanke maßgeblich für die jüngsten und auch länger zurückliegenden Hangbewegungen im weiträumigen Untersuchungsraum verantwortlich. Vor allem die Gesteinsserien der Feuerstätter Decke (Junghansen Schichten und Schelpen Serie) mit ihrem veränderlich festen Charakter und den vorherrschenden Tonschiefer- und Tonmergelabfolgen weisen eine geringe Verwitterungsresistenz auf. Hangabwärts lösen sich abgetrennten Großluftkörper kontinuierlich auf und zerfallen rasch zu feinteilreichen Lockermassen. Diese werden durch verschiedenste Prozesse (Hangkriechen, Rutschungen, Muren, etc.) umgelagert und im mittleren und unteren Hangabschnitt akkumuliert. Innerhalb dieser Materialien vollzieht sich die Bewegung kriechend bis fließend, d.h. durch Korn-an-Korn-Bewegung quasi bruchlos in der Dimension der bewegten Masse (ZT-Büro MOSER/JARITZ 2001).

### AEM/Geoelektrik

Da in diesem Hangbewegungsareal hinsichtlich der geophysikalischen Widerstandsverteilung von kleinräumig unterschiedlichen „geologischen Schichtmodellen“ auszugehen ist, und diese gemeinsam nicht mit einem einzigen geophysikalischen Berechnungsmodell zu erfassen sind, wurden die AEM Daten mit unterschiedlichen Modellen invertiert.

Als Basis erfolgt die Inversion der AEM Daten unter der Betrachtung eines homogenen Halbraums (Abb. 37). Dabei wird von einem lithologisch-geologisch einheitlichen Körper ausgegangen. Da beim homogenen Halbraum eventuell auch unterschiedliche lithologisch-geologische Verhältnisse zu einem Widerstandskörper zusammengefasst werden, beruht deshalb die Änderung des Widerstandes auch auf einer Änderung (Mächtigkeit, Ausbildung) einer oder mehrerer geologischer Sequenzen im Messkörper.

Für die 2 Schicht-Inversion wurde einerseits das mathematisch-theoretisch wahrscheinlichste Modell (ohne Vorinformation) aus den jeweiligen Messdaten ausgewählt und in Form von Widerstandstiefensektionen dargestellt und der Inversion mit Vorinformation (Widerstand der 1. Schicht < als Widerstand der 2. Schicht) gegenübergestellt (Abb. 39 bis 56).

Optional wurden die AEM Daten mit der Vorinformation: Widerstand der 1. Schicht > als Widerstand der 2. Schicht als 2 Schichtfall invertiert und dargestellt (Abb. 59 bis 61).

Abschließend wurden die Aero-Elektromagnetik (AEM) Daten mit der Methode „Tabellensuchansatz“ als 3-Schichtfall ohne Vorinformation invertiert (Abb. 62 bis 66).

Generell zeigen alle Inversionansätze (Modelle) ein ähnliches Muster der Widerstandsverteilung hinsichtlich relevanter geologisch-lithologischer Großstrukturen. Die markantesten Unterschiede betreffen den oberflächennahen Bereich der Widerstandsverteilung bis zu einer Tiefe von etwa 10 m. Darunter gleichen sich die unterschiedlichen Modelle zu einem einheitlichen Modell an. Dieser Unterschied im Hangenden beruht auf dem Einfluss der Vorinformation die je nach Vorgabe (z.B.  $r_1 < r_2$ ) nur unter allen möglichen Rechenmodellen eine Gewichtung herbeiführt. Die generelle Struktur der Widerstandsverteilung bleibt dabei aber erhalten. Unterstützt durch die Widerstandsverteilung einer terrestrischen Geoelektrik kann nun seitens des Bearbeiters das optimale Modell ausgewählt werden.

### AEM/Geoelektrik – Rindberg Mittel und Unterhang

In der Aero-Geophysik wird diese Feinkorn dominierte Masse im Mittel- und Unterhang durch die gemessenen, sehr niedrigen scheinbaren Widerstände deutlich (Abb. 37 und 39 bis 56). Dabei ist laut Messdaten mit Mächtigkeiten > 50 m auszugehen. Diese Interpretation wurde durch die in diesem Hangareal abgeteufte Kernbohrung untermauert. Diese schloss bis 47 m unter Gelände ausschließlich feinteilige Lockermassen auf, die wiederum Junghansen Schichten auflagerten. Das in der benachbarten Kernbohrung (Inklinometer) „Bader“ durchgeführte Fluid-Log zeigt nur in den hangendsten Abschnitten (bis 20 Meter Tiefe) eine Verdünnung der eingebrachten Salzlösung. Noch 9 Monate nach dem Fluid-Logging wurde im Bereich 25 bis 35 m Tiefe (Endtiefe 35 m) hochkonzentrierte Salzlösung angetroffen. Die geoelektrischen Profile GR-2.1 (Abb. 74) und GR-2.2 (Abb. 75) werden durch niedrigohmige Widerstandsverteilungen (10 bis 40 ohm) bis 70 m Tief dominiert. Es ist anzunehmen, dass

der bis zu 10 m mächtige, etwas höherohmiger Körper (50 bis 80 Ohmm) im Hangenden des Profils GR-2.2 (Abb. 75) als Aquifer für die Alpenrosequelle fungiert.

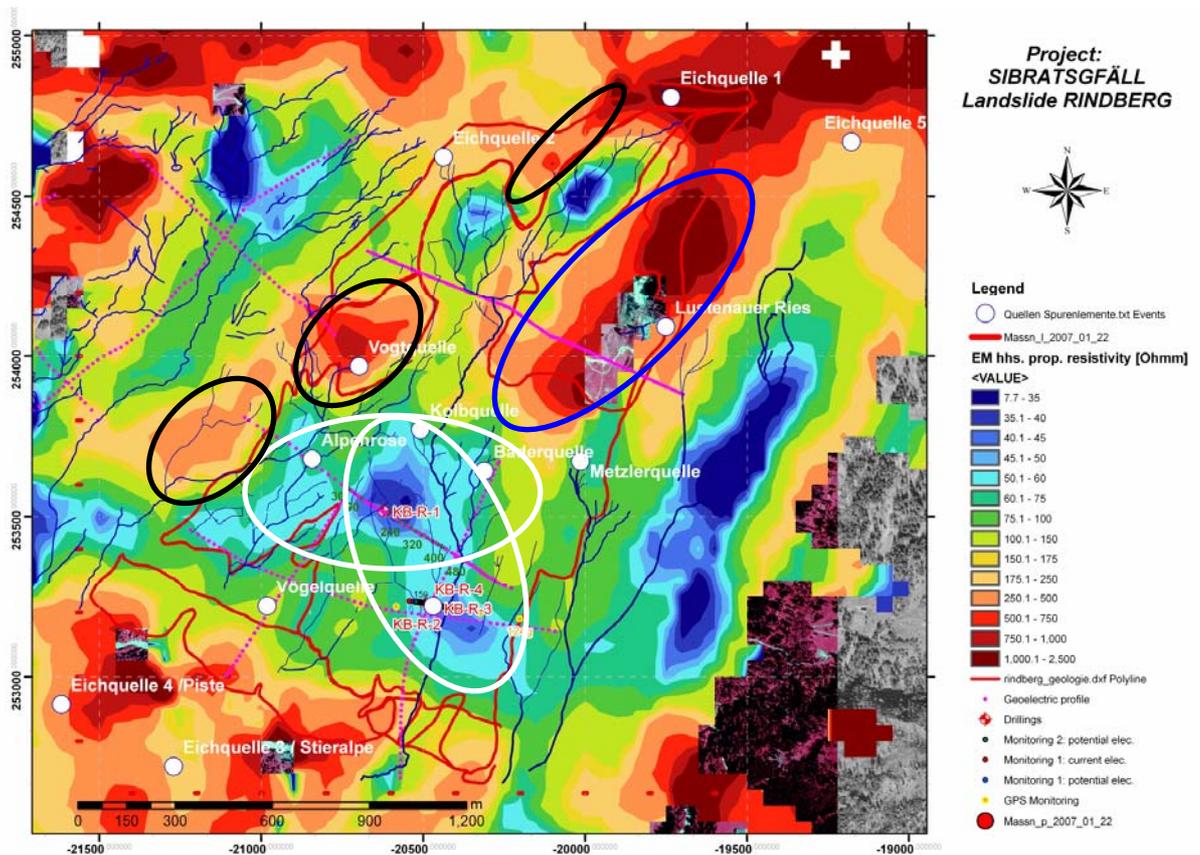


Abb. 79: AEM Widerstandsverteilung, Homogener Halbraum (hhs) auf DHM mit Lage der Bodengeoelektrikprofile, beprobten Quellen und AEM/Geoelektrik –

- weiße Ellipse: Feinkorn dominierte Masse im Mittel- und Unterhang
- schwarze Ellipse: Feuerstätter Sandstein
- blaue Ellipse: Aptychenschichten

Bereits in der geologischen Erstbeurteilung wurde deutlich, dass es sich mechanisch um eine äußerst komplex zusammengesetzte Hangbewegung handelt, wobei im verformten Böschungskörper mehrere, sich starr, mechanisch spröde verhaltende Teilkörper mit gänzlich anderem Versagensmuster stecken. Dabei konnten kleinräumige, ein- und auflagernde Körper aus Feuerstätter Sandstein (Rosslöcher, Kolb, Ochensberger, Vogt), sowie der großräumig auflagernde Körper der Aptychen Schichten im Bereich der Lustenauer Riesalpe unterschieden werden (Abb.80).

Diese, im Vergleich zu der feinkörnigen, sie umgebenden Masse, hochohmigen Körper sind in den Messdaten der Aero-Geophysik nur dann nachweisbar, wenn eine Größe von rd. 30 x30 m überschritten wird. So konnten die isolierten Areale aus Feuerstätter Sandstein inmitten der Hangbewegungsmasse im Bereich Rosslöcher (1) und Kolb (2) deutlich, sowohl was Abgrenzung und Tiefererstreckung betrifft nachgewiesen werden. Die Bereiche Vogt (3), und Gerbersgraben (4) sind undeutlich zu erkennen. Ein Umstand der auf die bereits kleinräumige Ausdehnung dieser Komplexe zurückzuführen ist. Der Feuerstätter Sandsteinkomplex Ochensberger (5) konnte nicht gemessen werden.

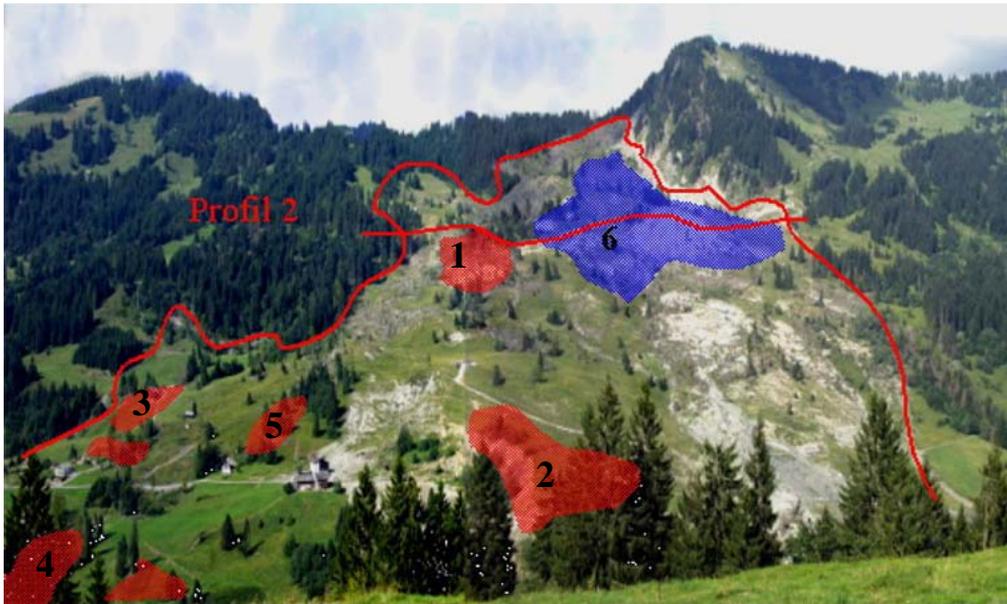


Abb.80: Areale aus Feuerstätter Sandstein (rot) und Aptychen Schichten (blau)

Besonders der Komplex Kolb ist in den Aero-Geophysikdaten klar erkennbar. Hier konnte sowohl durch den Geländebefund, als auch durch die terrestrische Geophysik (Profil GR-2.2, Profilmeter 0 bis 100 / Abb. 75) das Messergebnis sowohl in Tiefe als auch Ausdehnung gut bestätigt werden.

#### AEM/Geoelektrik - Aptychenschichten-Komplex

Bereits bei der Interpretation der terrestrischen Geophysik wurde die besondere Bedeutung des großen, zusammenhängenden Aptychenschichten-Komplex im Bereich der Lustenauer Ries-Alpe (Abb. 79, blaue Ellipse) für das Verständnis der Hangbewegungsmechanik deutlich. Dabei konnte die Verbreitung der Aptychen Schichten, die laut Oberflächengeologie im Westen bis zum tiefsten Punkt des Forstweges zwischen Sommerstadel und Lustenauer Alpe und im Osten bis zur Begrenzung des gegenständlichen Hangbewegungsareals reichte, auch in der Geoelektrik gut nachgewiesen werden (Abb. 73 / GR-1). Im östlichen Abschnitt erreichen die Gesteine der Aptychenschichten laut terrestrischer Geophysik eine Gesamtmächtigkeit von ca. 60 m bis 65 m (Bereich Lustenauer Alpe, Messpunkt 720; Lage lt. GR-1). Die im geoelektrischen Profil ausgewiesene scharfe Grenze zu niedrigohmigen Serien ( $< 100 \text{ ohm}\cdot\text{m.}$ ) stellt vermutlich den Bewegungshorizont bzw. die Bewegungsfläche unterhalb des Aptychenschichten-Komplexes dar. Als Bewegungshorizont werden wasserstauende, Feinteil-dominierte Junghansen Schichten ( $< 50 \text{ ohm}\cdot\text{m.}$ ) angenommen. Die Aptychenschichten sind hingegen mit sehr hohen spezifischen Widerständen ( $> 300 \text{ ohm}\cdot\text{m.}$ ) aufgrund einer, durch die Bewegung verursachten, starken internen Zerrüttung und Gefügauflockerung (Bildung von offenen Klüften und Schichtflächen) stark wasserdurchlässig und erscheinen daher im Vergleich zu allen anderen Hangbewegungsarealen als vergleichsweise „trocken“.

Die aerogeophysikalischen Messdaten bestätigen dieses Bild sowohl hinsichtlich Verbreitung als auch Tiefe (Abb. 55 bis 58). Dabei ist ein kontinuierliches Auftauchen niedrigohmiger Bereiche von Nordwesten Richtung Südosten (generelle Einfallsrichtung der Serien!) unter den

Aptychenschichten ab einer Tiefe von rd. 40 m festzustellen. Generell ist anzumerken, dass die AEM 2 Schicht Inversion in dieser Tiefe bereits an ihrer Auflösungsgrenze angelangt ist und daher die Mächtigkeit der Aptychenschichten (bis zu 130 m) überbetont wurde.

Die zwischen der östlichen Begrenzung des Hangbewegungsareals und bis zur Höhe der Wildalpe im Schichtverband aufgeschlossenen Aptychen Schichten setzen sich östlich der Hangbewegung nicht mehr fort, sondern werden dort von einer Wechselfolge von Junghansen Schichten und der Serie mit Feuerstätter Sandstein abgelöst. Diese geologische Situation äußert sich in den aerogeophysikalischen Messdaten in Form niedriger Widerstände (Abb. 53 & 54), die vor allem in den höheren Hangregionen unterhalb des Feuerstätter Gipfels ab einer Tiefe von rd. 23 m deutlich erkennbar sind.

#### AEM/Geoelektrik - Unterster Hangabschnitt / Eisrandstaukörper

Im untersten Hangabschnitt des Hangbewegungsareals befindet sich ein mächtiger Eisrandstaukörper (Abb. 67), der überwiegend aus grobkörnigem Lockermaterial aufgebaut wird. Die demnach zu erwartenden hohen Widerstandswerte wurden sowohl in der terrestrischen (Abb. 77 / GR-4, Profilmeter 0 bis 280 & Abb. 78 / GR-5, Profilmeter 0 bis 300) als auch in der aerogeophysikalischen Vermessung (Abb. 44, bis 56) nachgewiesen. Besonders eindrucksvoll erkennt man den hochohmigen Körper in der 3-D Ansicht der Widerstandsverteilung des Befliegungsgebietes (Abb.81; Pfeil).

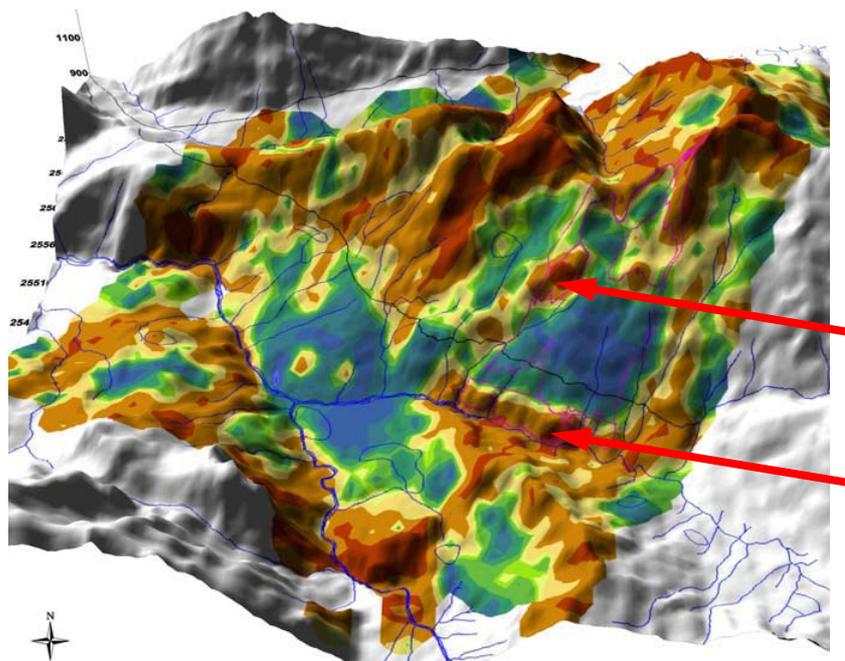


Abb.81: „3-D“-Darstellung des Messparameters Elektromagnetik im Messgebiet Sibratsgfäll

## 9. Resümee

Der Vergleich der Einteilung der hydrogeologischen Großgruppen (Quellgruppe 1 & Quellgruppe 2) mit den Ergebnissen aus der Aero-geophysikalischen Befliegung (AEM) und den terrestrischen, geoelektrischen Vermessungen zeigt, dass weitestgehend kausale Zusammenhänge bestehen.

Deutlich ist zu erkennen, dass die Quellen der Quellgruppe 1 (Eichquelle 1, Eichquelle 2, Eichquelle 5, Vogtquelle, Alpenrose, Lustenauerriesquelle, Metzlerquelle und Baderquelle) jeweils im Nahbereich höherohmiger ( $> 350 \text{ ohm}$ ) Widerstandsverteilungen aus der AEM (Aero-Elektromagnetik) liegen (vgl. Abb. 37) die, wie in den Abbildungen 39 bis 58 (AEM) ersichtlich ist, auch eine größere Tiefenerstreckung aufweisen.

Anhand der geologischen Detailkartierung Jaritz 2006 (Abb. 38) ist ersichtlich, dass die höherohmige Widerstandsverteilung im Bereich der Eichquelle 1 und der Vogtquelle dem Feuerstätter Sandstein zuzuordnen sind. Hingegen liegen die Bader-, Metzler-, und Lustenauerriesquelle im Randbereich der ausgedehnt höherohmigen Bereiche der Aptychenschichten (Abb. 38, Jaritz 2006).

Als Bewegungshorizont im Liegenden der Aptychenschichten werden wasserstauende, Feinteildominierte Junghansen Schichten ( $< 50 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ ) angenommen. Die Aptychenschichten sind hingegen mit sehr hohen spezifischen Widerständen ( $> 300 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ ) aufgrund einer, durch die Bewegung verursachten, starken internen Zerrüttung und Gefügauflockerung (Bildung von offenen Klüften und Schichtflächen) stark wasserdurchlässig und erscheinen daher im Vergleich zu allen anderen Hangbewegungsarealen als vergleichsweise „trocken“. Im östlichen Abschnitt erreichen die Gesteine der Aptychenschichten laut terrestrischer Geophysik eine Gesamtmächtigkeit von ca. 60 m bis 65 m (Bereich Lustenauer Alpe, Messpunkt 720; Lage lt. GR-1)

Diese geologisch/geophysikalische Beschreibung der geologischen Situation Aptychenschichten korreliert mit dem hydrogeologischen Modell der Bader-, Metzler-, und Lustenauerriesquelle, das im wesentlichen auf ein großes Einzugsgebiet mit starker Dämpfung aktueller meteorologischer Gegebenheiten (Niederschlag, Tauwetter..) hinweist. Als Aquifer wird der mächtige, höherohmige Bereich der Aptychenschichten bestätigt, wobei die Junghansen Schichten im Liegenden (niedrigohmig,  $< 50 \text{ ohm}$ ) als Stauer fungieren. Sehr prägnant wird diese Situation durch das Bodengeoelektrikprofil GR-1 (Abb. 73) beschrieben. In der Abbildung 78 (Geoelektrikprofil Rindberg; GR-5) ist das Ausbeißen der Junghansen Schichten (Grundwasserstauer) im Bereich der Baderquelle (Profilmeter 1000 bis Ende) als signifikant niedrigohmiger ( $< 50 \text{ ohm}$ ) mächtiger Widerstandskörper zu sehen.

An der Grenze zwischen höherohmigen Aptychenschichten und niederohmigen Junghansenschichten treten die Bader-, Metzler-, und Lustenauerriesquelle als Schichtstauquellen zu Tage. Anzunehmen ist, dass innerhalb der Aptychenschichten (Aquifer) unterschiedliche Wasserwegigkeiten vorliegen.

Eine ähnliche Situation liegt bei der Vogtquelle vor, der höherohmige ( $> 300$  ohmm) Bereich aus der AEM (Abb. 37) im Hangenden wird allerdings von Feuerstätter Sandstein eingenommen, der in diesem Fall als Aquifer anzusprechen ist. Das hydrogeologische Modell der Vogtquelle deutet auf ein kleines Einzugsgebiet mit einer deutlichen, niederschlagsbedingten Quellcharakteristik hin. Diese Situation wird auch durch die relativ kleinräumig begrenzte, höherohmige Anomalie (Feuerstätter Sandstein) aus der AEM bestätigt. Der Quellmechanismus ist wiederum auf die stauende Eigenschaft der niedrigohmigen Junghansen Schichten ( $< 50$  ohmm) zurückzuführen (vgl. Abb. 40 bis 58)

Interessant ist die Situation der Alpenrosequelle, die im Inversionsmodell Homogener Halbraum (hhr) im Bereich geringfügig erhöhter (60 bis 75 ohmm) Widerstandswerte liegt (Abb. 37). In den Tiefensektionen der Widerstandsverteilung aus der AEM 2 Schicht Inversion mit ( $r_1 < r_2$ ) und ohne Vorinformation (Abb. 40 bis 58) ist dieser geringfügig erhöhte Widerstandsbereich nicht enthalten. In der AEM 2 Schicht Inversion mit Vorinformation  $r_1 > r_2$  (Abb. 60) und in der AEM 3 Schicht Inversion ohne Vorinformation (Abb. 63) ist ein minimal erhöhter Widerstandskörper (200 bis 300 ohmm) zu erkennen. Das direkt über die Alpenrosequelle verlaufende geoelektrische Profil GR-2.2 (Abb. 75) bestätigt diesen hangenden, höherohmigen Widerstandskörper (Profilmeter 160 bis 300) mit einer maximalen Mächtigkeit von 10 m. Im Liegenden ist sowohl in allen AEM Inversionsmodellen sowie in der Geoelektrik ein niedrigohmiger Widerstandskörper, der feinklastischen Sedimenten entspricht (ang. Rutschmasse/Junghansenschichten), anzutreffen.

Hinsichtlich der hydrogeologischen Situation der Alpenrosequelle ist denkbar, dass dieser höherohmige Bereich (Geoelektrikprofil GR-2.2; Profilmeter 160 bis 300) den Aquifer darstellt, wobei die Alimentation im Bereich des Feuerstätter Sandsteins zu suchen ist, zumal, vergleichbar mit der Vogtquelle, ein ähnlich hohes Einzugsgebiet vorliegt. Als Grundwasserstauer sind die liegenden, niedrigohmigen, feinteilreichen Lockermassen (Rutschmasse, Junghansenschichten) anzusprechen.

In einer ähnlichen geologischen Situation, im Nahbereich von Feuerstätter Sandstein und/oder Aptychenschichten (vgl. Abb. 37, 38 & 39 bis 66) ist die Kolbquelle situiert. In allen AEM Inversionsmodellen ist im Bereich der Kolbquelle oberflächennah, bis zu einer Tiefe von ca. 20 m, ein Bereich mit einer geringfügig erhöhten Widerstandsverteilung (70 bis 250 ohmm) ausgebildet. Das Liegende wird wiederum von einem niedrigohmigen ( $< 50$  ohmm) Widerstandskörper (AEM), der feinklastischen Sedimenten entspricht (ang. Rutschmasse/Junghansenschichten), aufgebaut.

Unter Einbeziehung des hydrogeologischen Modells ist in diesem Fall die Zusatzinformation aus der AEM für die Quellcharakterisierung der Kolbquelle gering. Es konnten keine zusätzlichen Hinweise auf die außergewöhnlich hohe Gesamtmineralisation (z.B.  $\text{SO}_4$  Konzentration) abgeleitet werden, auch die laterale und vertikale Ausbildung des Aquifers konnte nicht zufriedenstellend geklärt werden. Das hydrogeologische Modell sieht ein sehr kleinräumiges Einzugsgebiet vor. Dies spricht dafür, dass die Quelle nicht aus einem zusammenhängenden Aquifer der höherohmigen Aptychenschichten alimentiert wird. Detaillierte Ergebnisse hinsichtlich der Struktur des Aquifers sind durch zusätzliche geoelektrische Profile zu erwarten.

Die Quelle Bodensonde liegt im Mittel- bis Unterhang des Untersuchungsgebietes. Dieser wird in diesem Abschnitt von Feinkorn dominierten Sedimenten aufgebaut, und ist in der Aero-Geophysik in allen Inversionsmodellen durch sehr niedrige Widerstände ( $< 50 \text{ ohmm}$ ) gekennzeichnet (Abb. 37 und 39 bis 56). Dabei ist laut Messdaten von Mächtigkeiten  $> 50 \text{ m}$  auszugehen. Diese Interpretation wurde durch die in diesem Hangareal abgeteufte Kernbohrung untermauert. Diese schloss bis 47 m unter Gelände ausschließlich feinteilreiche Lockermassen auf, die wiederum Junghansen Schichten auflagerten. Die geoelektrischen Profile GR-2.1 (Abb. 74) und GR-2.2 (Abb. 75) und GR-3 (Abb. 76) bestätigen diese generell niedrigohmigen Widerstandsverteilungen (10 bis 50 ohmm) bis 100 m Tiefe.

Das hydrogeologische Modell für die Quelle Bodensonde beschreibt einen oberflächennahen, feinkorndominierten Aquifer im Erd- Schuttstrom mit ortsgebundenem, kleinräumigen Einzugsgebiet der signifikant auf meteorologische Einflüsse (Niederschlag, Tauwetter im Winter) reagiert. Der relative Grundwasserstauer liegt an der Basis dieser Fließmasse in etwa 15 bis 20 m Tiefe. Das in der benachbarten Kernbohrung (Inklinometer) „Bader“ durchgeführte Fluid-Log zeigt nur in den hangendsten Abschnitten (bis 20 Meter Tiefe) eine Verdünnung der eingebrachten Salzlösung. Noch 9 Monate nach dem Fluid-Logging wurde im Bereich 25 bis 35 m Tiefe (Endtiefe 35 m) hochkonzentrierte Salzlösung angetroffen.

Im Fall der Quelle Bodensonde korrelieren die Ergebnisse (niedrige Widerstandsverteilung) aus der Aero-Geophysik (EM) und aus der detaillierten Bodengeoelektrikvermessung mit den Ergebnissen der Bohrkernaufnahmen und dem hydrogeologischen Modell. Dieses Ergebnis ist auf die gesamte geologisch/hydrogeologische Situation des niedrigohmigen Widerstandskörpers im Bereich Mittel- bis Unterhang Rindberg (Abb. 37 bis 66) bis in große Tiefe anzuwenden.

Die Vögelquelle liegt im untersten Hangabschnitt des Hangbewegungsareals, an der Stirnwulst der Rutschmasse im Nahbereich zum mächtigen Eisrandstaukörper (Abb. 67), der überwiegend aus grobkörnigem Lockermaterial aufgebaut wird. In der Aero-geophysik (AEM) wird dieser Bereich im Inversionsmodell Homogener Halbraum (hhr) als geringfügig erhöhter Widerstandskörper (75 bis 150 ohmm) ausgeschieden (Abb. 37). Auch in den Tiefensektionen der Widerstandsverteilung aus der AEM 2 Schicht Inversion mit Vorinformation ( $r_1 < r_2$ ) und ohne Vorinformation (Abb. 39 bis 58) ist dieser geringfügig erhöhte Widerstandsbereich ab 5m Tiefe bis in 50 m Tiefe zu verfolgen. Ab einer Tiefe von 50m ist ein Übergang zu extrem niedrigohmigen Widerstandsbereichen ( $< 40 \text{ ohmm}$ ) gegeben. Diese Widerstandsverteilung wird auch durch die geoelektrischen Profile GR-3, Profilmeter 200 bis 500 (Abb. 76) und GR-4, Profilmeter 240 bis 600 (Abb. 77) durch eine wesentlich detailliertere Auflösung der Widerstandstiefenverteilung bestätigt.

Es ist anzunehmen, dass dieser geringfügig erhöhte Widerstandsbereich (75 bis 150 ohmm) bis etwa 50 m Tiefe auf feinteilreiche Lockermassen im Bereich der Stirnwulst der Rutschmasse zurückzuführen sind. In dieser Rutschmasse sind im Schichtverband bewegte Feuerstätter Sandsteinkomplexe eingelagert. Ab etwa 50m Tiefe lagert dieser Komplex wiederum sehr feinkörnigen Sedimenten auf (Junghansen Schichten).

Die Interpretation der Wechselwirkung der Ergebnisse aus der Aero- und Bodengeophysik mit dem hydrogeologischen Modell der Vögelquelle ist mit Schwächen behaftet, da für diese äußerst gering schüttende Quelle kein befriedigendes, hydrogeologisches Modell erarbeitet werden konnte. Anhand der angenommenen geologischen/hydrogeologischen Situation im

Vergleich zu den geophysikalischen Ergebnissen werden zwei hydrogeologische Modelle für die Vögelquelle favorisiert.

Modell 1 geht davon aus, dass der Aquifer sehr oberflächennah, in der geringmächtigen (< 10 m) niedrigohmigen (< 20 ohmm) Hangdeckschicht liegt, sodass am Hangfuß durch die Verengung dieses Aquifers eine Quelle entsteht. Diese niedrigohmige Hangbedeckung ist im Profil GR-4 (Abb. 77) zwischen Profilmeter 250 und 350 ersichtlich.

Modell 2 geht davon aus, dass der Aquifer im Liegenden dieser extrem niedrigohmigen Hangbedeckung, in der etwas höherohmigen Rutschmasse selbst liegt. Als Rechargegebiet für diese periodisch nur gering schüttende Quelle kommt dann der Bereich oberhalb des Hanges, ab Profilmeter 360 (vgl. Geoelektrikprofil GR-4, Abb.77) in Frage. Als Quellmechanismus wird wieder eine Verengung des Aquifers am Hangfuß angenommen.

## Literatur

FESSLER, U.; KIESSLING, T., RISCH, H. & ZACHER, W. (1992): Die vorquartäre Geologie im Andelsbucher Becken (Vorarlberg). Jb. Geol. B.-A., Wien, Bd. 135, Heft 4, S. 825-843.

GWINNER, M.P.: Geologie der Alpen.- Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1971

OBERHAUSER, R. & RATAJ, W.: Geologisch-tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg 1.200.000.- Geologische Bundesanstalt, Wien 1998

PIRKL, H., JARITZ, W. & MARKAT, G. (2002). Einsatz von Hubschrauber-geophysik bei der Naturraumanalyse – Beispielmessgebiete Sibratsgfall, Doren, Langen und Schesatobel.- Unveröff. Bericht.

RANK, D. (1989): Isotopenverhältnisse – die Fingerabdrücke des Wassers. – Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwiss. Kenntnisse in Wien, 127, 147-176, 17 Abb., Wien

RYBACH, L. (1988): Determination of Heat Production Rate.- In: Haenel, R., Rybach, L. & Stegena, L. (Eds.): Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination, 125-142, 11 Fig., 7 Tab., Dordrecht etc. (Kluwer Akad. Publ.).

SCHÖN, J. (1983): Petrophysik: Physikalische Eigenschaften von Gesteinen und Mineralen.- 405 S., 194 Abb., 70 Tab.; Berlin (Akademie - Verlag).

SEIBERL, W. et al.: Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Sibratsgfall/Vlbg.- Unveröffentl. Bericht Geol. Bundesanstalt, Wien 2002

SUPPER, R. et al (2007): Softwareentwicklung für ein optimiertes Geoelektrisches Monitoring der Hangrutschung Rindberg, Endbericht".- Unveröffentl. Bericht Geol. Bundesanstalt, Wien 2007

ZACHER, W.: Geol. Manuskriptkarte Blatt 112 Bezau.- Unveröffentl. Manuskriptkarte Archiv Geol. Bundesanstalt, München 1995

WÖHRER G., SUPPER R., JARITZ W.: Geomonitoring Rindberg, Rutschüberwachung und Methodenentwicklung, Jahresbericht 2001.

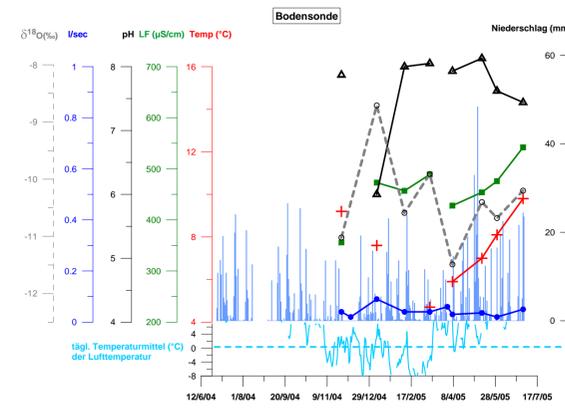
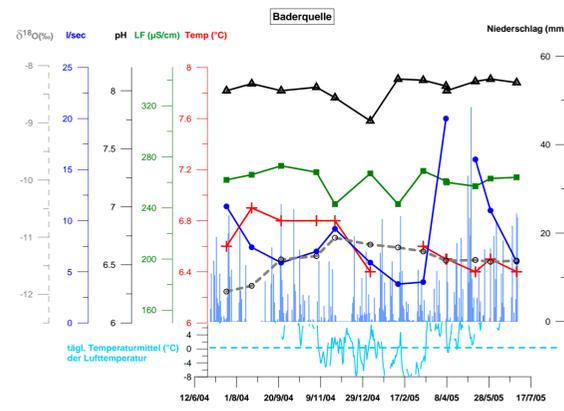
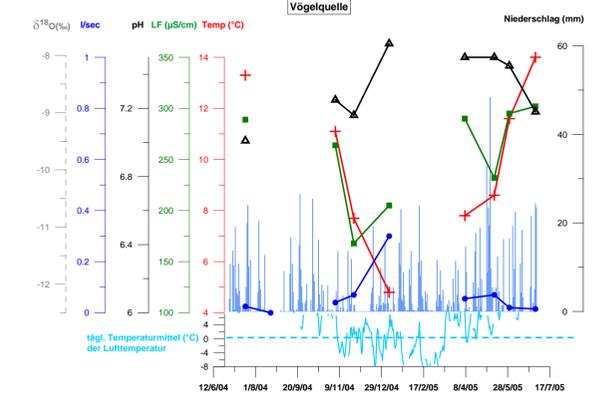
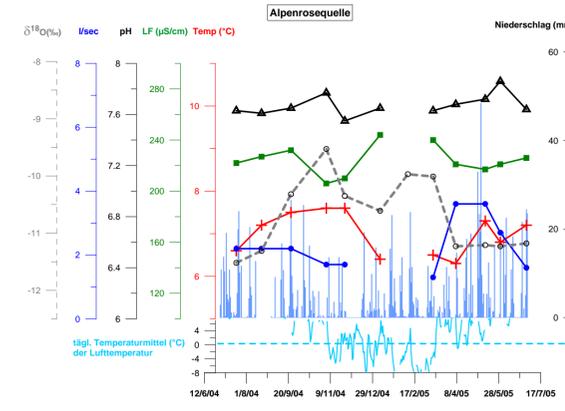
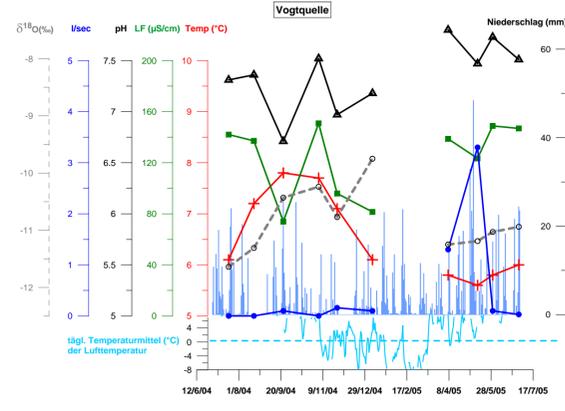
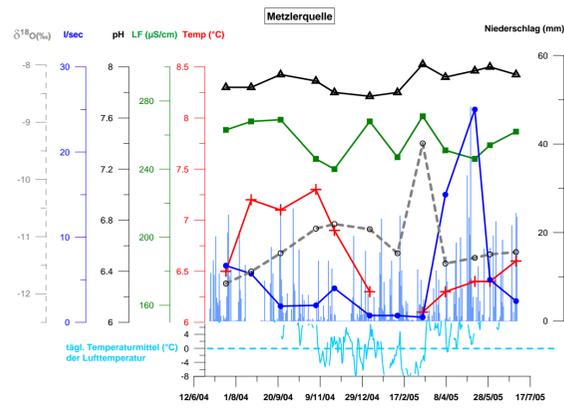
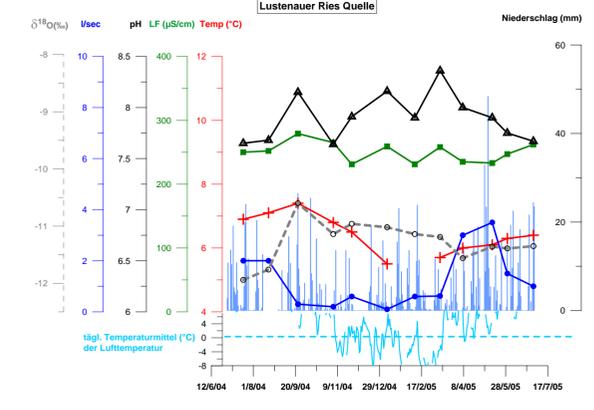
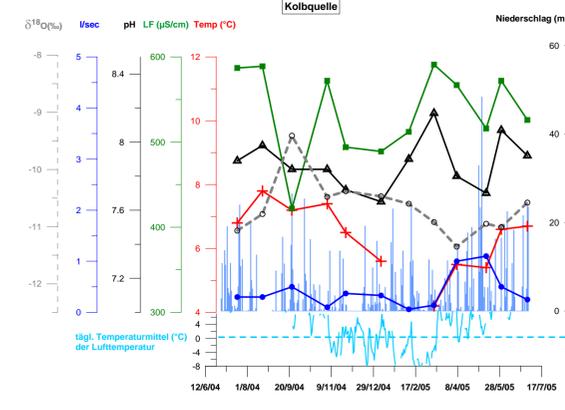
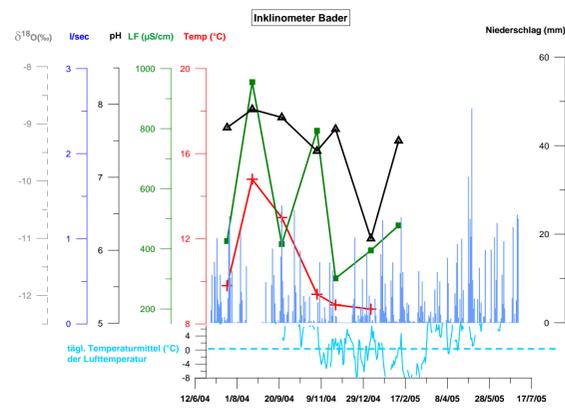
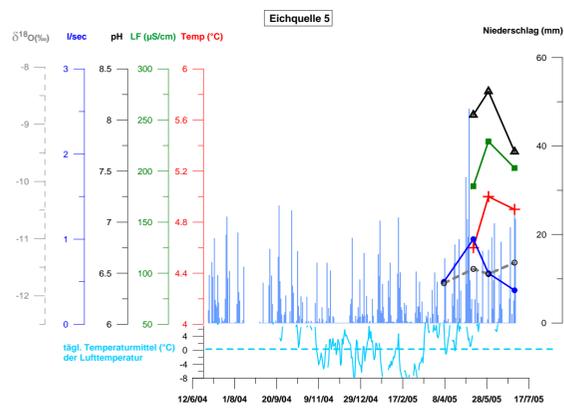
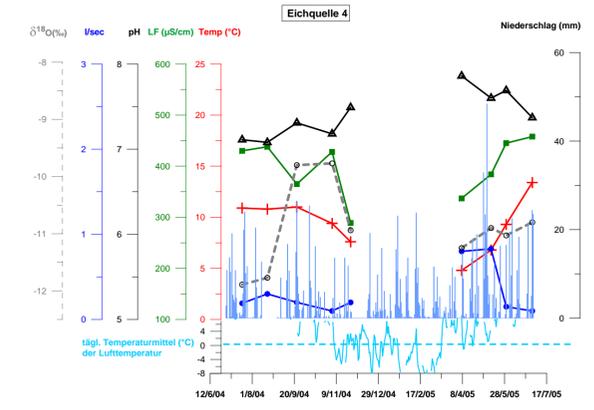
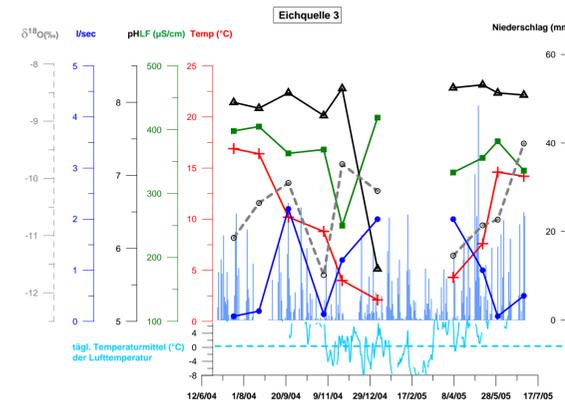
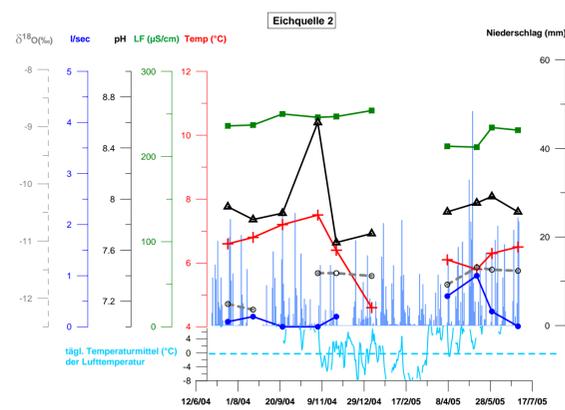
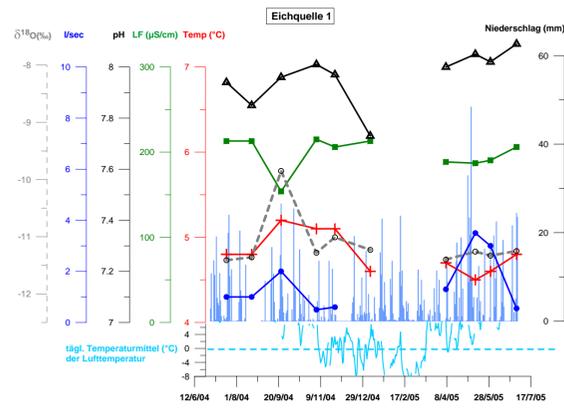
## Ausgewählte und weiterführende Literatur

Albrecht H., Jaritz W., Supper R., Wöhler-Alge M.: Geomonitoring Rindberg, Wildbach und Lawinenverbau, Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering, Sonderheft 2002 Vorarlberg, Nr. 148, Imst, Austria, 2003.

- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P.: Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomalienhinweisen aus regionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten (ÜLG 28/97).- Unveröffentl.Bericht Archiv Geol.Bundesanstalt, Wien 1998
- DE GRAAFF, L.W.S.: Zur Morpho- und Chronostratigraphie des Oberen Würm in Vorarlberg.- Jb.Geol.BA, 135, 809-824, Wien 1992
- DE JONG, M.G.G., DE GRAAFF, L.W.S. & RUPKE, J.: Der Eisabbau im Vorderen Bregenzerwald und in den Nachbargebieten (Vorarlberg, Österreich ; Bayern, Deutschland) nach dem letzteiszeitlichen Eishochstand.- Jb.Geol.BA, 138, 27-54, Wien 1995
- HEINZ, H. & SEIBERL, W.: Bewertung und Problematik aerogeophysikalischer Anomalien im österreichischen Bundesgebiet.- Abh.Geol.Bundesanstalt, 44, Wien 1990
- Hofmann R.: Bodenmechanische Berechnungen, Parameterstudien: Rutschung Rindberg, Perchtoldsdorf 02/2005
- LOACKER, H.: Kraftwerksbauten im Bregenzer Wald und ihre Anpassung an die geologischen Verhältnisse.- Jb.Geol.BA, 135, 857-866, Wien 1992
- SEIBERL, W. et al.: Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Krumbach-Doren/Vlbg.- Unveröffentl.Bericht Geol.Bundesanstalt, Wien 2002
- ZACHER, W.: Geol.Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 113 Mittelberg.- Geol.Bundesanstalt, Wien 1990
- WÖHRER G., SUPPER R., JARITZ W.: Geomonitoring Rindberg, Rutschüberwachung und Methodenentwicklung, Jahresbericht 2002.
- WÖHRER G., SUPPER R., JARITZ W.: Geomonitoring Rindberg, Rutschüberwachung und Methodenentwicklung, Jahresbericht 2004.
- ZT-BÜRO MOSER: Hangbewegung Rindberg, Gde.Sibratsgfäll. Geologische Erstbeurteilung.- Unveröffentl. Bericht, Gmunden 1999a
- ZT-BÜRO MOSER: Hangbewegung Rindberg, Gmd.Sibratsgfäll. Weiterführende Untersuchungen.- Unveröffentl. Bericht, Gmunden 1999b
- ZT-BÜRO MOSER: Hangbewegung Rindberg, Gmd.Sibratsgfäll. Geologische Interpretation der geophysikalischen Untersuchungen.- Unveröffentl.Bericht, Gmunden 2000
- ZT-BÜRO MOSER/JARITZ: Großhangbewegung Rindberg – Schadensbild, Ursache, Prognose in: Georissen – Geologisch bedingte Naturgefahren in Österreich.- Bericht zu Seminar und Workshop Geol.Bundesanstalt, Wien 2001
- ZT-BÜRO MOSER/JARITZ: Gde.Sibratsgfäll – Aufschlussarbeiten 2001. Bohrdokumentation.- Unveröffentl. Bericht, Gmunden 2002a
- ZT-BÜRO MOSER/JARITZ: Geomonitoring Rindberg – Rutschungsüberwachung und Methodenentwicklung.- Jahresbericht 2001 Forsttechn.Dienst WLW/Sektion Vorarlberg, Bregenz 2002

# Anhang A

## Quellen Rindberg - Feldparameter



Probenahmezeitpunkt:

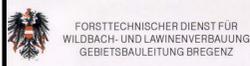
- 20.07.2004
- 19.08.2004
- 23.09.2004
- 04.11.2004
- 26.11.2004
- 07.01.2005
- 09.02.2005
- 11.03.2005
- 07.04.2005
- 12.05.2005
- 30.05.2005
- 30.06.2005

## ANHANG A: Quellen Rindberg - Feldparameter

**Hydrogeologie Rindberg / Teilbericht**  
 Begleitende hydrogeologische Untersuchungen  
 zur Bewertung und Interpretation der  
 aerogeophysikalischen Untersuchungen  
 in einem Hangbewegungsareal



MEßGEBIET:  
SIBRATSGFÄLL



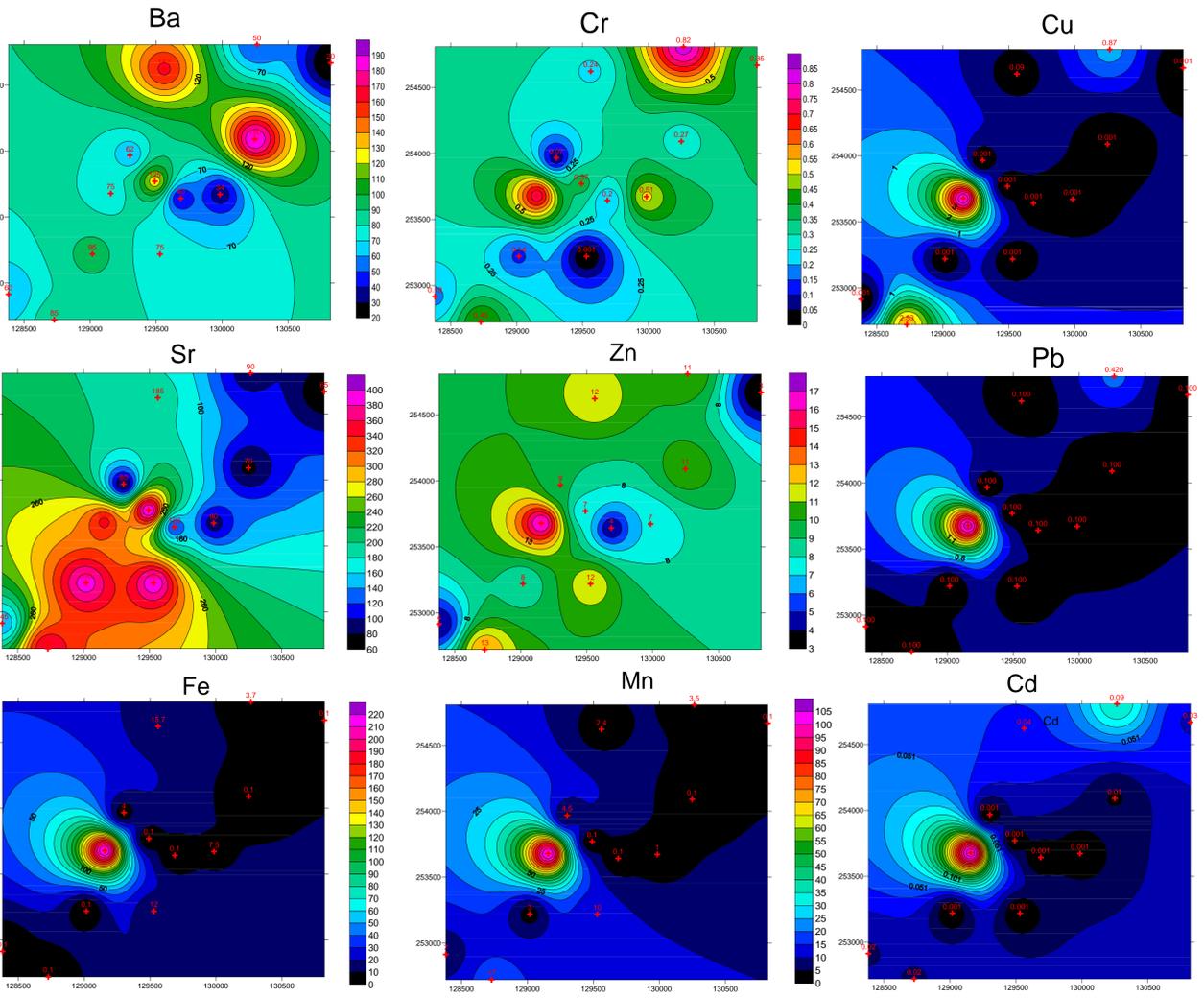
Geologische  
Bundesanstalt

moser / jaritz  
Ziviltechnikergesellschaft Erdwissenschaften / Geologie

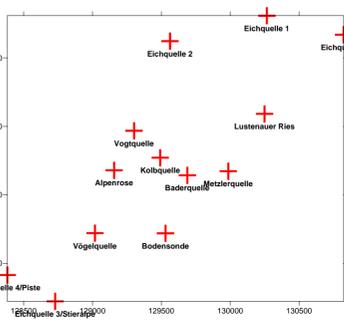
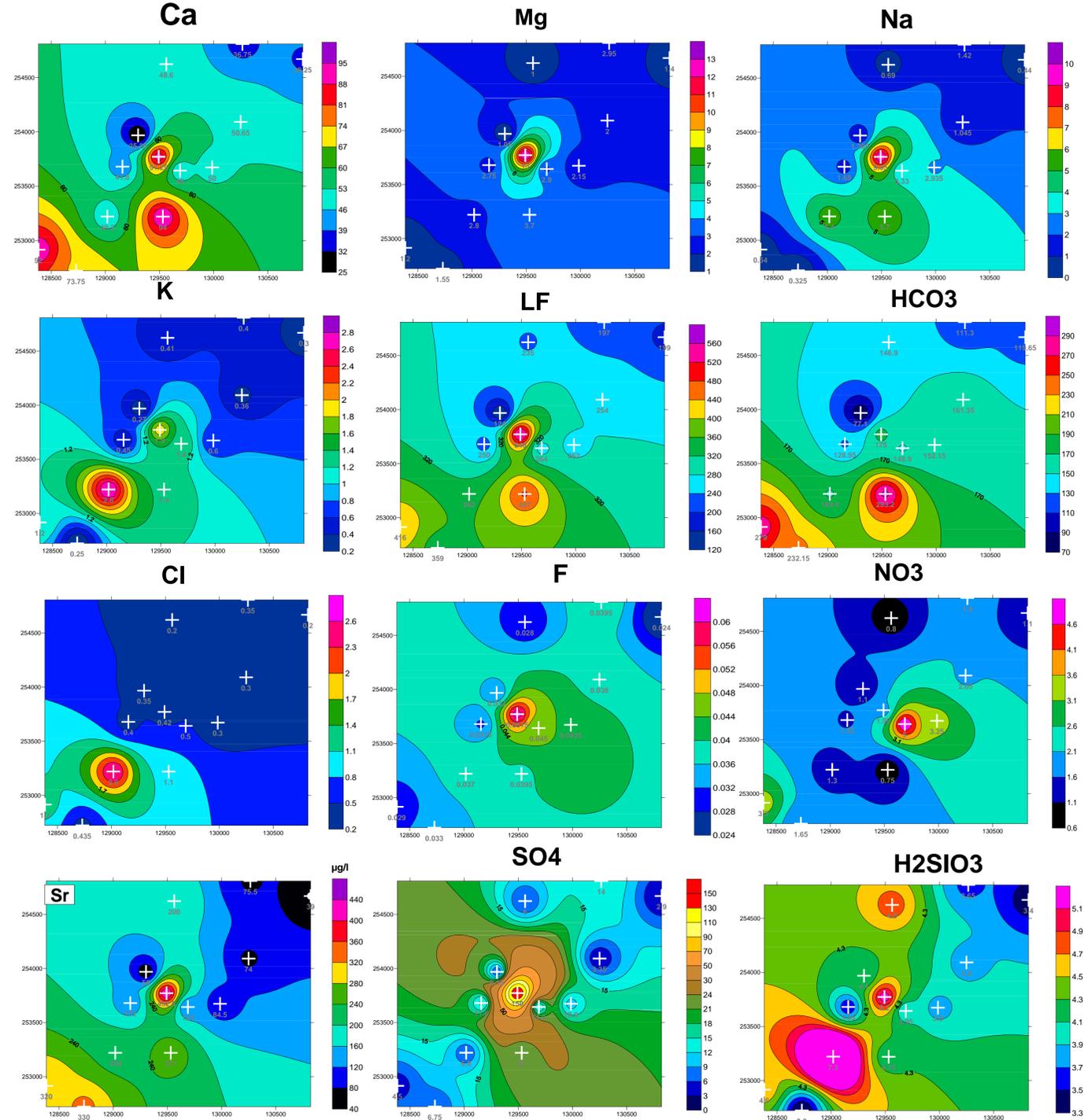
# Anhang B

## Hydrochemie - Haupt-/ Spurenelemente

## Spurenelementkonzentration in Wasserproben / Rindberg (ppm)



## Konzentration der Hauptelemente (Medianwert) / Rindberg (mg/l)



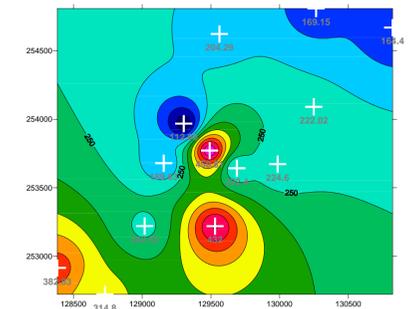
GEOCHEMIE - GESTEINSPROBEN RINDBERG - ppm  
PROBENAHEME: JARITZ 05.2005

CH-26/05	1	2	3	4
Probe	Junghansen Schichten	Schelpen Serie	Aptychen Schichten	Feuerstätter Sandstein
ppm				
Ba	349	323	54	57
Ce	97	50	39	43
Co	10	6	5	4
Cr	619	101	49	67
Cs	10	5	7	5
Cu	88	32	21	6
Ga	17	13	4	3
Ge	3	2	1	1
Hf	6	5	<3	<3
La	57	28	26	26
Mo	<1	<1	<1	<1
Nb	13	10	3	2
Ni	94	42	60	72
Pb	133	42	24	48
Rb	121	80	21	19
Sr	115	495	216	60
Th	12	10	4	3
U	4	4	2	<2
V	146	83	17	33
W	24	5	2	31
Y	32	20	21	5
Zn	148	80	27	12
Zr	204	113	16	80
Summe	2303	1550	618	575

GEOCHEMIE - GESTEINSPROBEN RINDBERG - per cent (%)  
PROBENAHEME: JARITZ 05.2005

CH-26/05	1	2	3	4
Probe	Junghansen Schichten	Schelpen Serie	Aptychen Schichten	Feuerstätter Sandstein
Per cent				
SiO2	65	45	16	83
TiO2	1	0	0	0
Al2O3	14	11	2	2
Fe2O3	5	5	1	1
MnO	0	0	0	0
MgO	2	1	1	1
CaO	1	17	44	5
Na2O	1	1	<0,1	1
K2O	3	2	0	1
H2O <sub>110°C</sub>	2	1	0	0
H2O+	1	1	1	1
P2O5	0	0	0	0
CO2	5	15	34	4
SO3	1	1	0	1
Summe	99,86	99,84	100,10	99,77

## Gesamtmineralisation



## ANHANG B: Hydrochemie - Haupt-/Spurenelemente

**Hydrogeologie Rindberg / Teilbericht**  
Begleitende hydrogeologische Untersuchungen zur Bewertung und Interpretation der aerogeophysikalischen Untersuchungen in einem Hangbewegungsareal



MESSGEBIET:  
SIBRATSGFÄLL

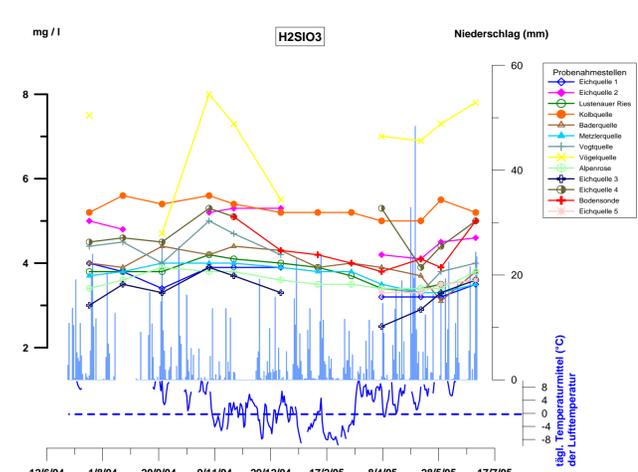
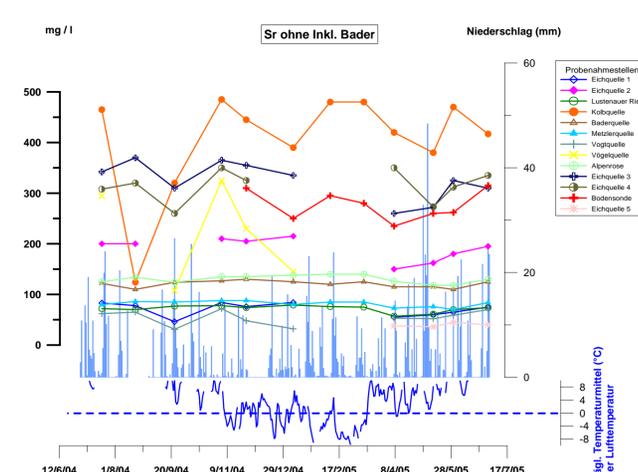
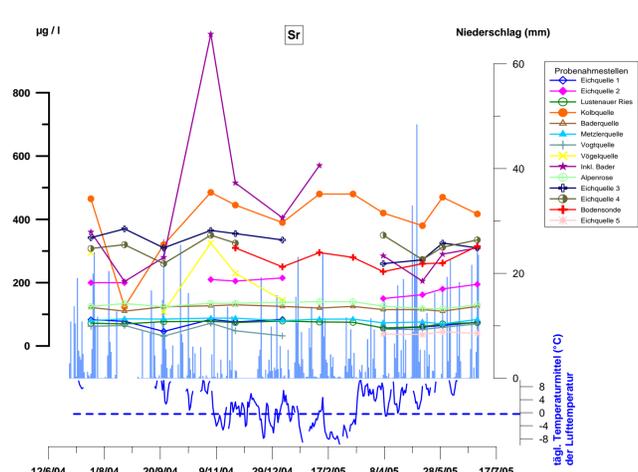
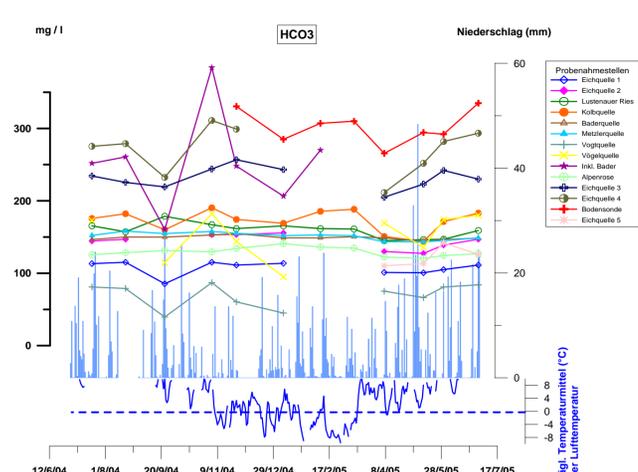
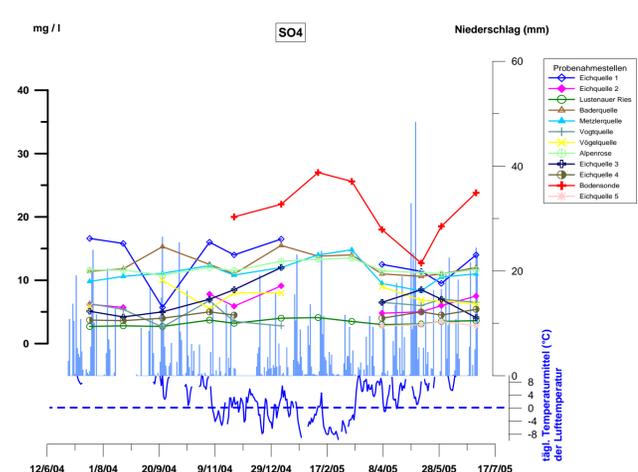
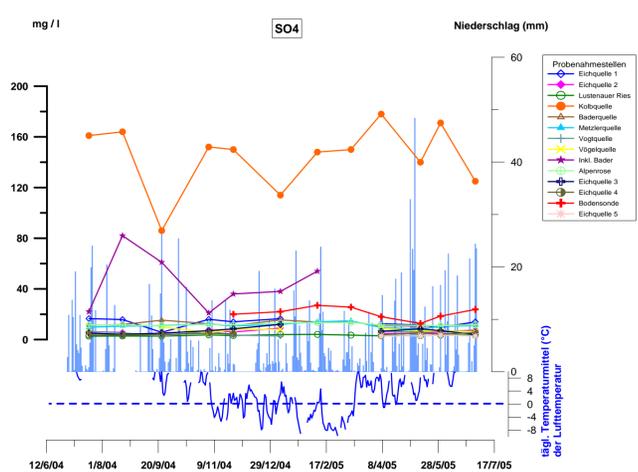
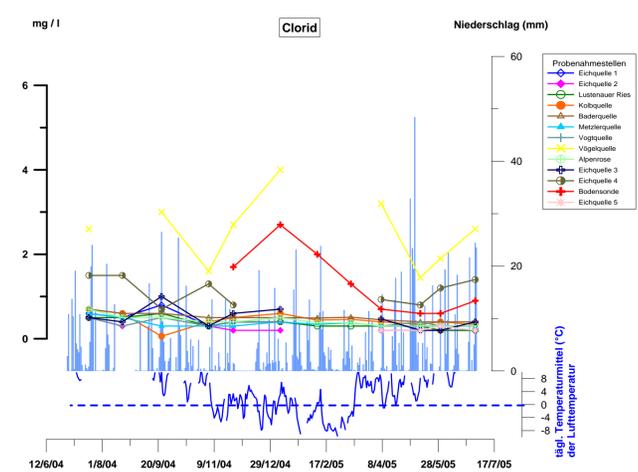
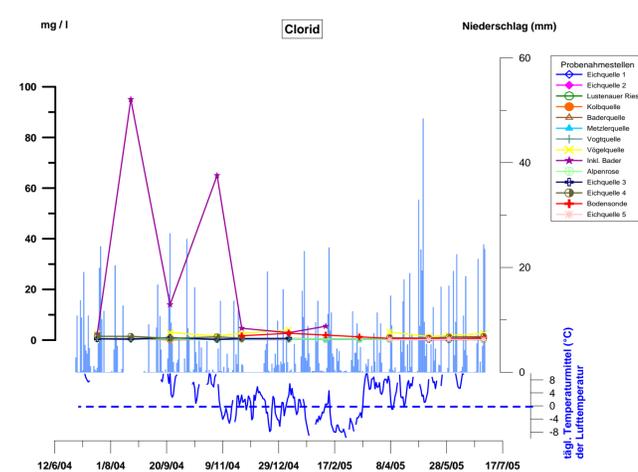
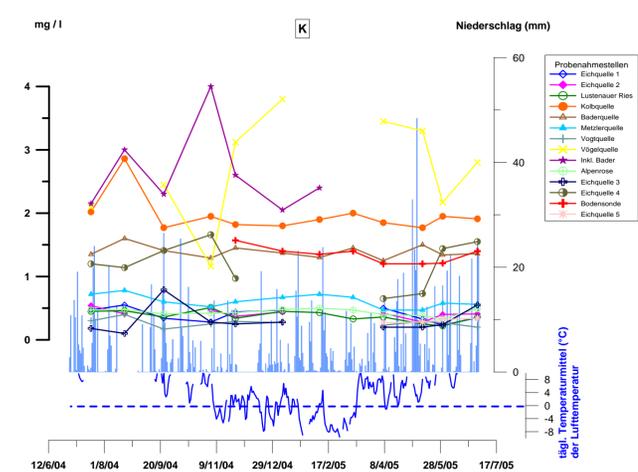
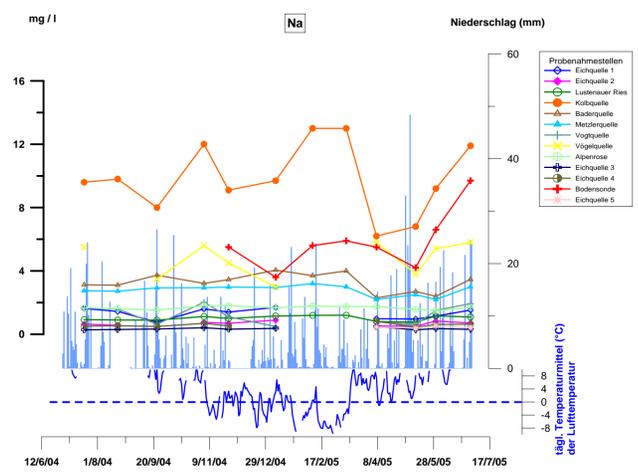
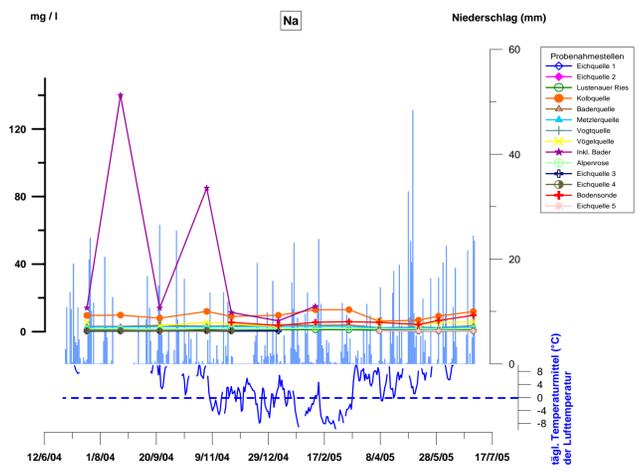
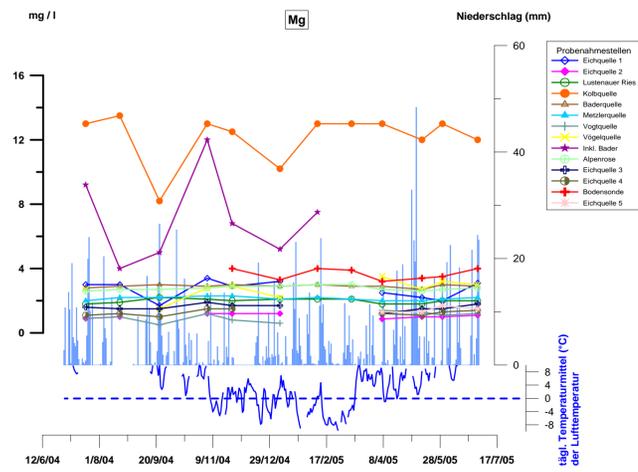
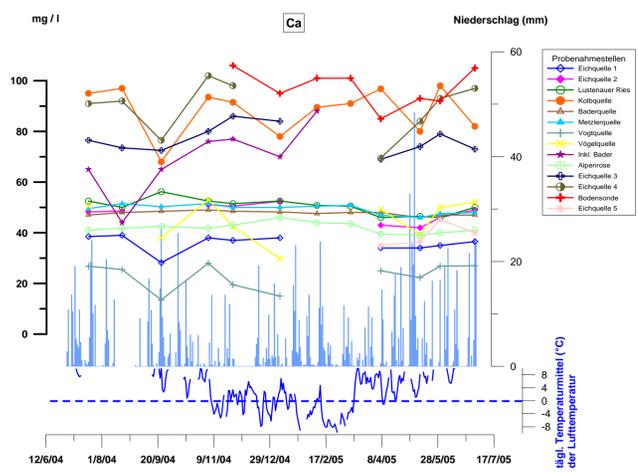


Geologische Bundesanstalt

moser / jaritz  
Ziviltechnikergesellschaft Erdwissenschaften / Geologie

# Anhang C

## Quellen Rindberg - Hydrochemie Reihenuntersuchung



**ANHANG C: Quellen Rindberg - Hydrochemie Reihenuntersuchung**

Hydrogeologie Rindberg / Teilbericht  
 Begleitende hydrogeologische Untersuchungen zur Bewertung und Interpretation der aerogeophysikalischen Untersuchungen in einem Hangbewegungsareal

**AERO-GEOPHYSIK**  
 Bodengeophysik  
 ÖSTERREICH

MEBGEBIET:  
 SIBRATSGFÄLL

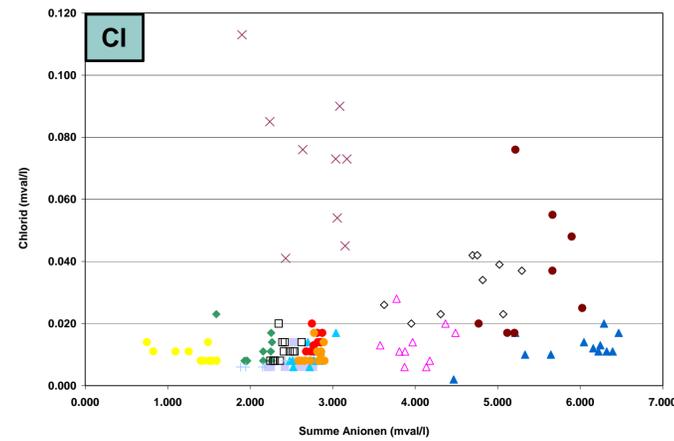
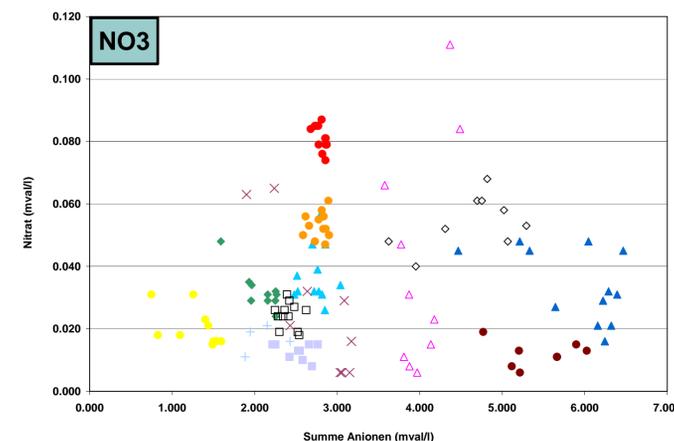
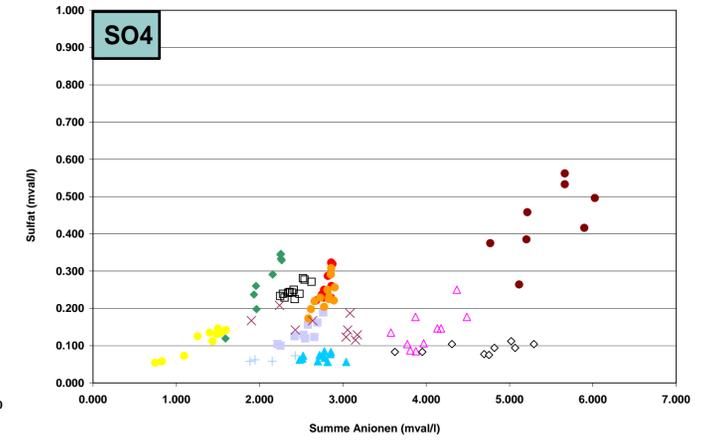
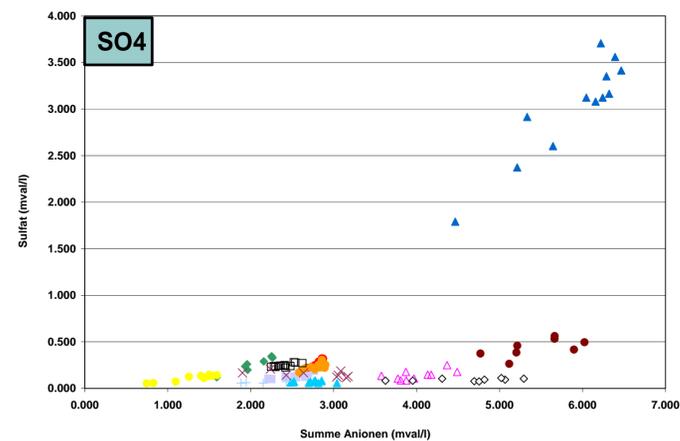
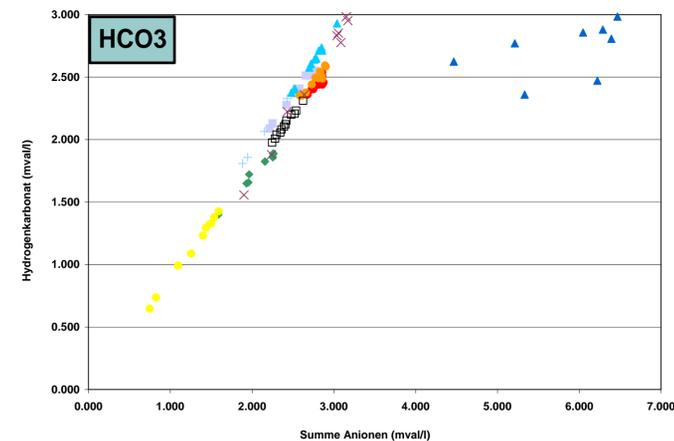
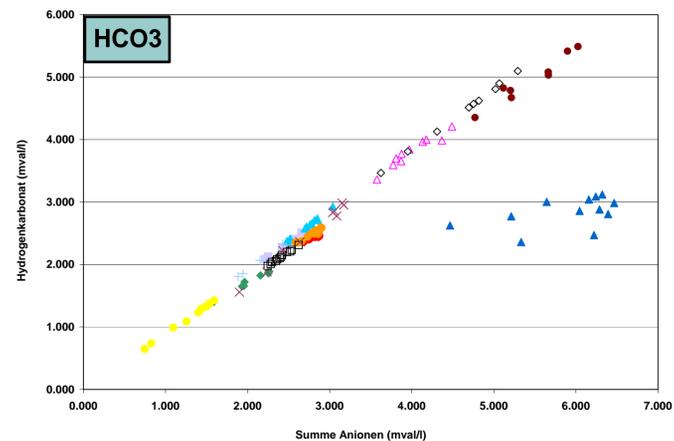
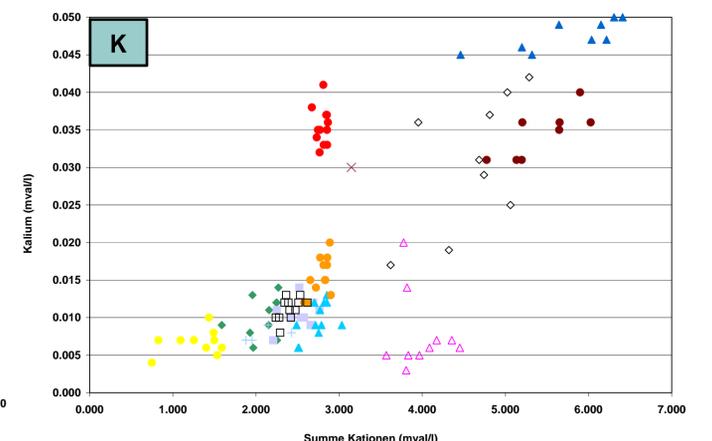
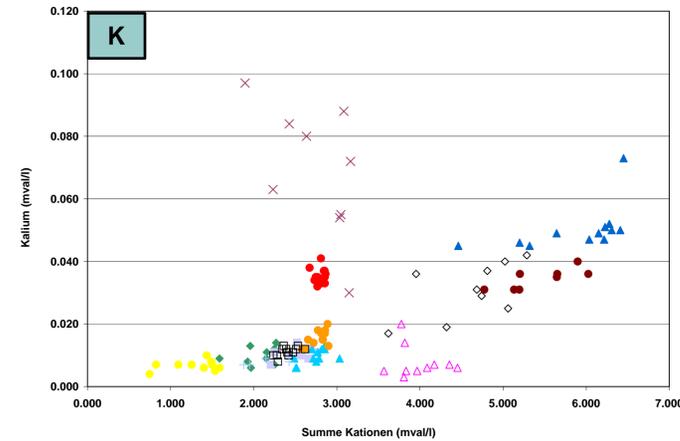
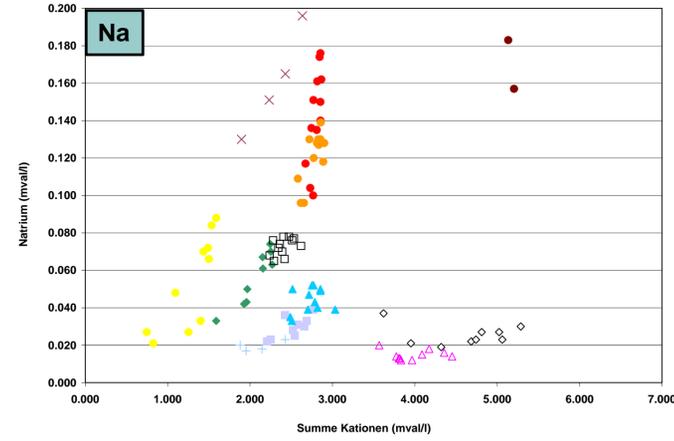
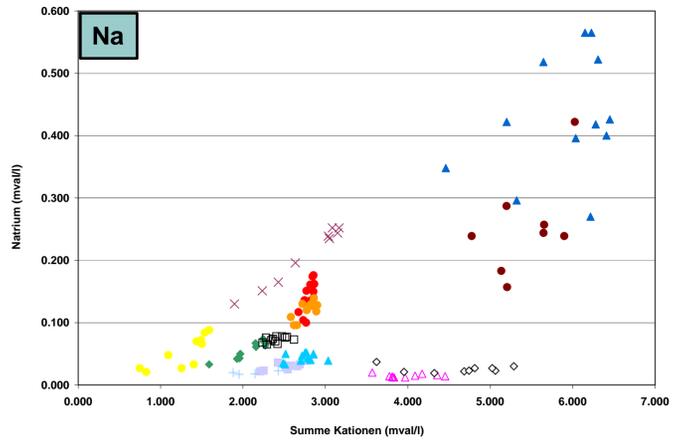
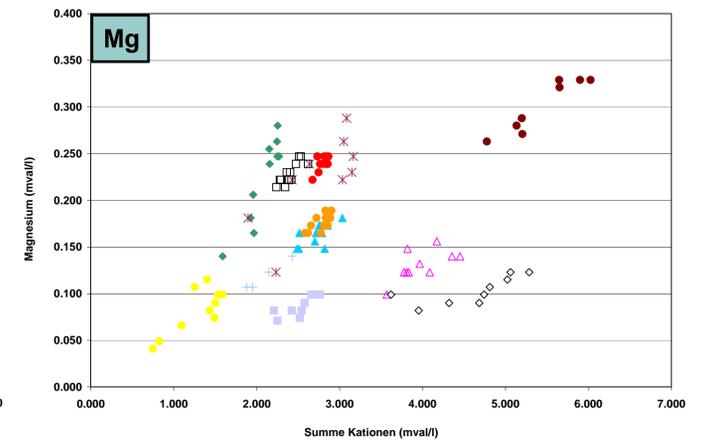
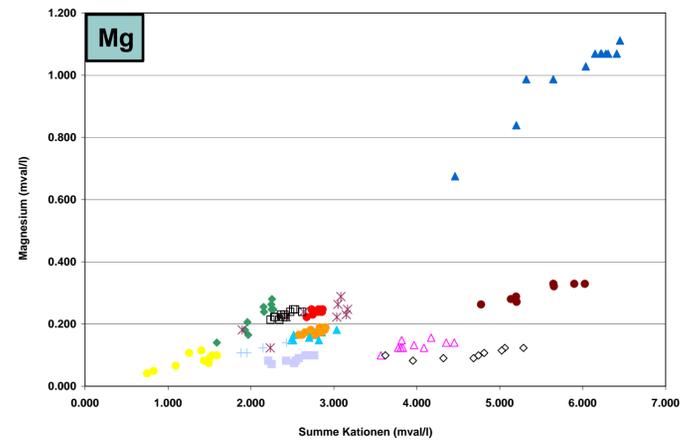
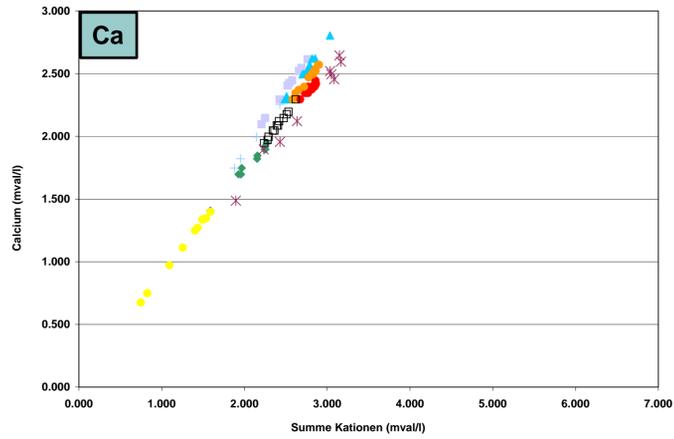
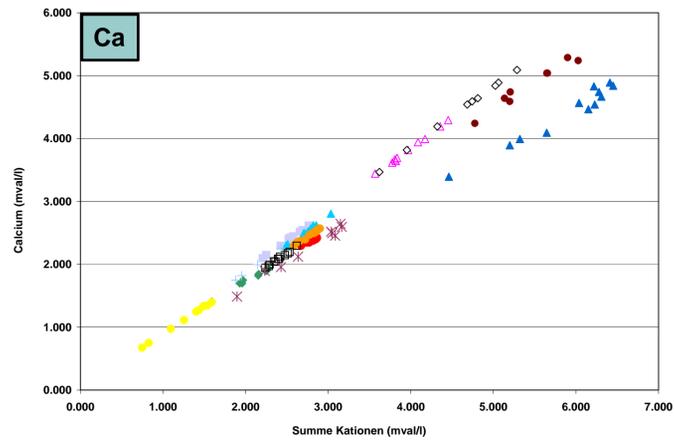
FORSTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG GEBIETSBAULEITUNG BREGENZ

**Geologische Bundesanstalt**

**moser / jaritz**  
 Ziviltechnikergesellschaft Erdwissenschaften / Geologie

# Anhang D

## Grundwasserphasen - Gesamtlösungsinhalt versus Einzelphasen



**ANHANG D: Grundwasserphasen**  
Gesamtlösungsinhalt versus Einzelkonzentration

Hydrogeologie Rindberg / Teilbericht  
Begleitende hydrogeologische Untersuchungen zur Bewertung und Interpretation der aerogeophysikalischen Untersuchungen in einem Hangbewegungsareal

**AERO-GEOPHYSIK**  
Bodengeophysik  
ÖSTERREICH

MESSGEBIET:  
SIBRATSGFÄLL

FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG GEBIETSBAULEITUNG BREGENZ

Geologische Bundesanstalt

moser / jaritz  
Ziviltechnikergesellschaft Erdwissenschaften / Geologie