

Quartär- und Hydrogeologie in der Val Chaschauna (GR) – eine GIS und DGPS gestützte Datenaufnahme



DIPLOMARBEIT

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von

Christoph Haemmig | Stefan Strasky

2003

Leiter der Arbeit:

Prof. Dr. Christian Schlüchter | Institut für Geologie

Vorwort

Die Arbeit in der Engadiner Bergwelt war in mancherlei Hinsicht interessant, lehrreich und nicht zuletzt wunderschön. Ich möchte all jenen Personen danken, die zum Gelingen der Diplomarbeit beigetragen haben. Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Christian Schlüchter für die kompetente Leitung des Projekts. Die gemeinsamen Feldbegehungen waren stets aufschlussreich und haben viel zum Verständnis der lokalen Geologie beigetragen. Neben der fachlichen Beratung vor Ort waren die zahlreichen Gespräche immer wieder eine Motivation für weitere Untersuchungen.

Der SANW-Forschungskommission und Stiftung des Schweizerischen Nationalparks sei für die Unterstützung der Feldarbeiten gedankt. Für ein ideales Arbeitsumfeld sorgte das gesamte Parkpersonal. Speziell danke ich Dr. Flurin Filli und Dr. Thomas Scheurer für die Koordination des Forschungsprojekts und Dr. Ruedi Haller für seine kompetente und geduldige Hilfeleistung in allen technischen Belangen. In bester Erinnerung bleibt der Tag mit Parkwächter Curdin Florineth in der Val Mingèr.

Ein herzliches Dankeschön gebührt meinen Gastgeber im Engadin, insbesondere Duri Campell, dem Gemeindepräsidenten von S-chanf. Während den Feldarbeiten bot die von der Gemeinde zur Verfügung gestellte Unterkunft auf der Alp Vaüglia Suot ein gemütliches zu Hause. Am Alpeleben aktiv teilhaben durfte ich auf der Alp Chaschauna. Petra Reuter, die Casana-Sennerin, sorgte zusammen mit ihrem Team für eine familiäre Atmosphäre und brachte Abwechslung in den Geologen-Alltag.

Dr. Meredith Kelly danke ich für den Feldbesuch und die interessanten Diskussionen am Institut für Geologie in Bern. Ebenso wertvoll war die Einführung in die Ionenchromatographie von Dr. Fiona Roos und die hydrogeologischen Anregungen von Dr. Nick Waber, welche zu einem besseren Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Gestein und Wasser beigetragen haben. Bei der Dünnschliffbetrachtung standen mir Prof. Dr. Karl Ramseyer und Prof. Dr. Ivan Mercolli mit Ratschlägen zur Seite. Studienkollege Daniel Rufer war mir bei Problemstellungen jederzeit behilflich. Für sein überdurchschnittliches Engagement danke ich ihm herzlich.

Die Zusammenarbeit mit Stefan Strasky war eine schöne Erfahrung für mich. Ich danke ihm ganz herzlich für sein Engagement und die zwei sehr erlebnisreichen Feldsommer in der Val Chaschauna.

Philippe Matti und Reto Santschi bin ich sehr dankbar für die Mitgestaltung der Diplomarbeit.

Mein privates Umfeld hat mich stets motiviert und mir viel Freude bereitet. Ich nutze diese Gelegenheit Preeyasri Pothiratana für ihr Verständnis und die vielen Ermunterungen von ganzem Herzen zu danken. Weiter konnte ich stets auf die Unterstützung folgender Personen zählen: Bettina und Stefan Haemmig, Raschid Setoud, Patrick Lehmann, Markus Hertach, Arno Hunger und François Garraux.

Der grösste Dank gebührt meinen Eltern für ihr Interesse an meiner Arbeit. Ich konnte jederzeit auf ihre Unterstützung zählen.

II Zusammenfassung

Das geologische Kartenmaterial der oberen Val Chaschauna hatte sich vor unseren Studien auf grossräumige Betrachtungen des frühen 20. Jahrhunderts und auf neuere, kleinmassstäbliche Arbeiten für den nordöstlichsten Talbereich beschränkt. Wesentliches Ziel unserer Untersuchungen war deshalb, eine genaue geologische Bestandesaufnahme der oberen Val Chaschauna vorzunehmen. Diese erfolgte – verteilt über die Jahre 2001 und 2002 – während fünfmonatiger Feldaufnahmen. In Kombination mit einem differentiellen globalen Positionierungssystem (DGPS) wurden weite Teile der Val Chaschauna in einem mobilen geographischen Informationssystem (GIS) erfasst. Neben der Festgesteinsgeologie kartierten wir primär die jüngsten geologischen Prozesse. Je nach Art des am Prozess beteiligten Transportmediums unterschieden wir zwischen Massenbewegungen mit massgeblicher Frostwirkung (periglaziale Denudation), den wasser- und schwerkraftbedingten Massenbewegungen sowie den glazialen und fluviatilen Formen. Gleichzeitig testeten wir den Einsatz des mobilen GIS in alpinem Gebiet und zeigten Vor- und Nachteile eines solchen Systems auf.

Ein zweiter Schwerpunkt bildete die hydrogeologische Datenerhebung. Zu diesem Zweck hielten wir sämtliche Quellen der oberen Val Chaschauna kartographisch fest und untersuchten 47 Quellen genauer. Sieben weitere Quellen massen wir im Schweizerischen Nationalpark (SNP) und dessen Umgebung, bei Buffalora, Punt dal Gall und in der Val Mingèr im Rahmen eines langzeitlichen Quellenmonitorings. Die meisten zur Beobachtung ausgewählten Quellen beprobten wir zwischen August 2001 und Oktober 2002 viermal und massen sie im Feld auf folgende physikalisch-chemische Parameter: Schüttung, pH-Wert, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, Carbonat- und Gesamthärte. Im Labor bestimmten wir danach die Ionenkonzentration der Quellwässer chromatographisch. Die chemische Zusammensetzung des Wassers erlaubte Klassifikation und Einteilung der Quellen nach Grundwassertypen. Die geographische Verteilung der Wassertypen über das Untersuchungsgebiet stellten wir in einer hydrogeologischen Karte dar. Dabei wurde ersichtlich, dass der Wassertyp von der Verweildauer des Wassers im Untergrund und den lokalen geologischen Gegebenheiten abhängt. Abschliessend stellten wir sämtliche Analysedaten jeder untersuchten Quelle in einem Quellenblatt zusammen, weshalb für die obere Val Chaschauna nun ein praktisch vollständiges Quelleninventar vorhanden ist. Unsere Diplomarbeiten sind soweit ein Beitrag zum internationalen UNO-Jahr des Süsswassers.

In einem letzten Schritt transferierten wir alle raumbezogenen Daten zur Nachbearbeitung vom mobilen GIS ins Programm ArcGIS®. Dabei entstanden die detaillierte geologische Karte der Val Chaschauna im Massstab 1:2500 und die hydrogeologischen Karten.

III Inhaltsverzeichnis

I	Vorwort	1	
II	Zusammenfassung	2	
III	Inhaltsverzeichnis	3	
1	Untersuchungsgebiet	5	Stefan Strasky (S)
2	Geologie	7	
2.1.1	Heutige Geologie - reliktsches Dokument lokaler Erdgeschichte	7	S
2.1.2	Tektonisches Fenster	16	Christoph Haemmig (C)
2.2	Die wichtigsten Gesteine	18	C
2.2.1	Das Kristallin	18	C
2.2.2	Metabasaltische Gänge	20	C
2.2.3	Vulkanische Gesteine	24	C
2.2.4	Der Verrucano	26	C
2.2.5	Der Buntsandstein	28	C
2.2.6	Die Rauhwacke	30	C
2.2.7	Anhydrit und Gips	31	C
2.2.8	Dolomit	32	C
3	Jüngste geologische Prozesse	37	
3.1	Glaziale Landschaftsformen	37	C
3.1.1	Schliffgrenze	37	C
3.1.2	Moränen	38	C
3.1.3	Roches moutonnées	41	C
3.1.4	Erratiker	41	C
3.1.5	Schneehaldenmoräne	41	C
3.1.6	Eisrandterrassen	42	C
3.2	Periglaziale Denudationsprozesse	43	S
3.2.1	Erdzungen, Girlandenrasen und Wanderblöcke	44	S
3.2.2	Nivationsnischen	46	S
3.2.3	Frostverwitterung und Felsenmeer	47	S
3.2.4	Strukturboden	47	S
3.2.5	Blockgletscher	48	S
3.3	Wasser- und schwerkraftbedingte Massenbewegungen	51	
3.3.1	Gehängeschutt	51	S
3.3.2	Murgänge	51	S
3.3.3	Rutschungen	53	C
3.4	Fluviatiles System	54	S
3.4.1	Alluviale Schuttkegel	55	S
4	Methoden	58	
4.1	Wasseranalysen im Gelände	58	C
4.1.1	Carbonathärte	58	C
4.1.2	Gesamthärte	58	C
4.1.3	Temperatur	59	C

4.1.4	pH-Wert	60	C
4.1.5	Redoxpotential	60	C
4.1.6	Sauerstoffkonzentration	60	C
4.1.7	Elektrische Leitfähigkeit	61	C
4.1.8	Schüttung	61	C
4.2	Ionenchromatographische Laboruntersuchungen	62	S
4.3	Geographisches Informationssystem (GIS)	68	C
4.3.1	Das mobile GIS	68	C
4.3.2	Persönliche Erfahrungen	71	C
4.3.3	Das Programm ArcGIS®	72	C
4.4	Software AquaChem®	73	C
5	Hydrogeologie	74	
5.1	Einleitung	74	C
5.2	Grundwasser als Teil des globalen Wasserkreislaufes	75	S
5.2.1	Atmosphärischer Hintergrund: Niederschlag	77	S
5.3	Gestein-Wasser-Interaktionen	79	S
5.3.1	Auflösung und Ausfällung	79	S
5.3.2	Oxidation und Reduktion	80	S
5.3.3	Sorption	81	S
5.4	Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	82	C
5.5	Die Herkunft der wichtigsten Ionen	84	C
5.5.1	Natrium	84	C
5.5.2	Kalium	84	C
5.5.3	Calcium	85	C
5.5.4	Magnesium	85	C
5.5.5	Eisen	86	C
5.5.6	Chlorid	86	C
5.5.7	Nitrat	86	C
5.5.8	Sulfat	87	C
5.5.9	Hydrogencarbonat	87	C
5.5.10	Fluorid	87	C
5.6	Quellentypen	88	C
5.7	Wassertypen	89	C
5.8	Quellbericht	93	C
5.8.1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Typ	93	C/S
5.8.2	Ca-Mg-HCO ₃ -Typ	112	C/S
5.8.3	Ca-SO ₄ -Typ	169	C/S
5.8.4	Ca-Mg-SO ₄ -Typ	188	C/S
5.8.5	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃ -Typ	191	C/S
5.8.6	Mg-Ca-HCO ₃ -Typ	194	C/S
5.8.7	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Typ	201	C/S
6	Anhang	204	
6.1	Thematische Karten		C/S
6.2	Kurzanleitung geo-mobile®		S
6.3	Tabellen und Diagramme		C/S
6.4	Abbildungsverzeichnis		C/S
6.5	Literaturverzeichnis		C/S

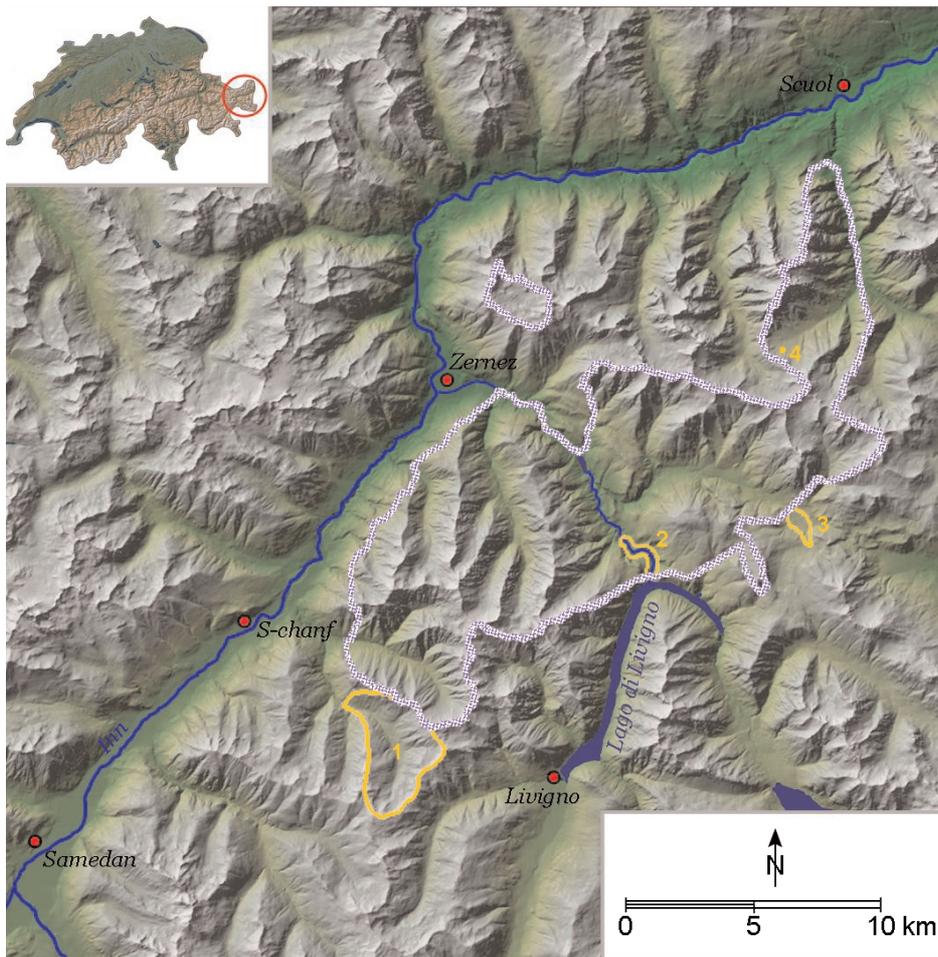
1 Untersuchungsgebiet

Die Feldarbeiten der vorliegenden Arbeit fanden im Engadin statt, einem südöstlichen Gebiet des Kantons Graubünden. Das Engadin ist ein ausgeprägtes Hochtal im Zentrum der Alpen, dessen Talgrund sich auf einer Distanz von 92 km von 1815 im Westen auf 990 m ü.M. im Osten senkt. Zu beiden Seiten zweigen Nebentäler ab, so auch die östlich gelegene Val Varusch im Oberengadin bei S-chanf. Die Val Varusch verzweigt sich weiter in die Val Trupchun und die Val Chaschauna, unser Hauptuntersuchungsgebiet. Den obersten Bereich der Val Chaschauna charakterisiert ein Nord-Süd-verlaufendes, gut ausgebildetes U-Tal, bis mit dem Abbiegen nach Westen die Talmorphologie zusehends asymmetrischer wird. Weiter talabwärts, ab der Alp Chaschauna, nimmt das Relief zu; die talentwässernde Ova da Chaschauna schneidet sich immer tiefer in die lithologischen Einheiten ein.

Das Kartiergebiet für die detaillierten geologischen Aufnahmen umfasst ungefähr acht Quadratkilometer der oberen Val Chaschauna (Abb. 1.1). Der Höhenunterschied von den untersten kartierten Elementen (um die Alp Chaschauna herum, 2210 m ü.M.) bis zu den höchstgelegenen erfassten Aufschlüssen (2917 m ü.M.) beträgt gut 700 m. Begrenzt ist die untersuchte Fläche im Südosten durch die italienisch-schweizerische Landesgrenze und im Nordosten durch die steil abfallenden Felswänden des Val Trupchun–Val Chaschauna-Grates (Grenze zum SNP). Die westliche Gebietsgrenze ist weitgehend an die Verteilung der höchstgelegenen Quellen in der orographisch linken Talseite gebunden. Die geologische Grundlage der Val Chaschauna wechselt kleinräumig: Die felsreiche östliche Talflanke und den Talabschluss dominieren Sedimente (hauptsächlich Dolomit). In weiten Teilen der westlichen Talflanke überwiegen kristalline Gesteine, Aufschlüsse sind jedoch selten. Die geringe Aufschlussdichte, das Fehlen markanter Felsgipfel und die weichen Oberflächenformen lassen erahnen, dass die gesamte westliche Talflanke einst von Eis überflossen wurde. Die rätoromanische Sprache trägt dem Landschaftsbild Rechnung und bezeichnet die Westseite mit Munt (deutsch: Kuppe) Chaschauna. Im Gegensatz dazu stehen die Bergspitzen (rätoromanisch: Piz) der Ostseite. Die höchsten Gipfel kulminieren auf 2900–3070 m ü.M. und blieben während der letzteiszeitlichen Maximalausdehnung (LGM) eisfrei (Nunataker). Heute liegt die klimatische Schneegrenze ausserhalb der Val Chaschauna, und die klimatische Waldgrenze reicht mit rund 2300 m ü.M. nur im untersten Bereich ins Untersuchungsgebiet hinein. Der Grossteil der Arbeitsfläche liegt deshalb in der periglazialen Höhenstufe und ist mit mittleren Erdoberflächentemperaturen um die 0 °C gekennzeichnet. Die Vegetation wird bis auf eine Höhe von 2700 m ü.M. aus weitflächigen Grasheiden gebildet. Darüber hinaus lösen sich die Rasen in Flecken auf. Die ausgedehnten Weidegebiete werden alpwirtschaftlich genutzt, dienen aber auch den wildlebenden Säugetieren als Nahrungsquelle. Während der Schonzeit nutzt vor allem das Schalenwild des angrenzenden SNP und des italienischen Parco Nazionale dello Stelvio die höchstgelegenen Weideflächen der Val Chaschauna.

Der Arbeitsbereich für den hydrogeologischen Teil in der Val Chaschauna ist mit dem zuvor umrissenen Gebiet praktisch identisch, einzig im Südwesten liegt die Grenze weiter talabwärts, ungefähr 400 m nördlich der Alp Vaüglia Suot. Weitere hydrogeologische Untersuchungsgebiete liegen im – respektive an der Grenze zum – SNP und

gehören wie die Val Chaschauna zum Entwässerungssystem des Inns. Mit Punt dal Gall wird in Abbildung 1.1 das Gebiet unterhalb der Staumauer des Lago di Livigno bezeichnet, das während ungefähr drei Kilometern dem Lauf des Spöls folgt. Die Arbeitsfläche von Buffalora befindet sich im Ofenpassgebiet, südlich der Ofenpassstrasse im Umkreis von einem Kilometer von der Alp Buffalora. Das vierte Arbeitsgebiet liegt in der hinteren Val Mingèr.



SNP-Grenzen Gebietsgrenzen: (1) Val Chaschauna; (2) Punt dal Gall; (3) Buffalora; (4) Val Mingèr

Abb. 1.1: Lage der Untersuchungsgebiete und des SNP innerhalb der Schweiz sowie wichtige geographische Bezeichnungen. (Grundkarte: Atlas der Schweiz interaktiv © Swisstopo).

2 Geologie

2.1.1 Heutige Geologie – reliktsches Dokument lokaler Erdgeschichte

Heiss und feucht war das Klima zu Beginn der Karbonzeit vor 360 Millionen Jahren (Ma). Unter diesen tropischen Bedingungen verbreiteten sich rasch die ersten Bärlappgewächse und Farne des Oberdevons und stellten bald eine beträchtliche Biomasse dar. Der auf diese Weise neu entstandene Lebensraum begünstigte die Entwicklung der Amphibien und das Leben an Land. Mit der Eroberung des kargen Festlandes setzte die Flora des Karbons gewissermassen den Grundstein für eine erfolgreiche Evolution an Land.

Während derselben Epoche wurde ein anderes erdgeschichtliches Kapitel eingeleitet, das später ebenfalls einen Grundstein legen sollte: die Bildung eines Superkontinents. Angetrieben von der Wärmeenergie aus radioaktivem Zerfall und stetiger Erdauskühlung bewegten sich alle Kontinentalplatten der Erde aufeinander zu. Die kleineren Kontinentalschollen lagerten sich nach und nach den grossen Kratonen an, bis es zwischen Oberkarbon und frühem Perm zur finalen Kollision von Laurasia mit dem Südkontinent Gondwana kam. Als Folge des Zusammenstosses der beiden Grosskontinente ging die variskische Gebirgsbildung hervor; mit ihr bildeten sich tiefe Granitintrusionen und oberflächliche vulkanische Aktivitäten. Exponierte variskische Höhenzüge wurden schon während und in grösserem Ausmass nach ihrer Entstehung erodiert. Der Abtragungsschutt der kristallinen Gesteine wurde in See- und Moorbecken abgelagert und somit das Relief reduziert. Die Einebnung führte zu den ersten Sedimentbildungen. Die veränderten tektonischen Verhältnisse führten aber auch zu Klimaanpassungen. Im Gegensatz zum feuchtwarmen Klima des Unterkarbons wurde es im Perm auf dem neu gebildeten Superkontinent Pangäa zunehmend arider. Im winzigen Gebiet, das die Schweiz damals in der riesigen Landmasse einnahm, herrschten kontinentale, zum Teil wüstenähnliche Bedingungen. Dies führte zu vermehrter Oxidation der Sedimente und somit zum typisch rotvioletten Erscheinungsbild terrestrischer Ablagerungen. Komplexe Bewegungen innerhalb der Kruste öffneten im variskischen Untergrund zusätzlich Gräben. Diese unregelmässigen Tröge wurden danach mit klastischen Sedimenten (Verrucano) aufgefüllt (im Kartiergebiet = Chazforà-Formation).

Der eingeebnete, kristallin-metamorphe Untergrund variskischen Ursprungs mit intrudierten Gängen und sedimentverfüllten Permokarbon-Trögen wird als Grundgebirge bezeichnet. Diese Einheit bildete die Basis für die mesozoisch-tertiäre Geschichte und darf somit wortwörtlich als Grundstein der weiteren geologischen Entwicklung bezeichnet werden.

Obwohl sich das geographische Weltbild mit dem ausgedehnten Pangäa-Festland im Laufe der Triaszeit nur geringfügig veränderte, waren vereinzelte Meeresspiegelschwankungen von Bedeutung. So war unter anderem die tiefe, äquatornahe Meeresbucht der Paläotethys, die gegen den ehemaligen Gondwanakontinent vorstiess, für die weitere Sedimentbildung wichtig. Die langsame Transgression des Meeres gegen Nordwesten überflutete das flache Gebiet der südöstlichsten Schweiz schon zu Beginn der Trias (alpine Trias). Eine letzte Hochzone in Zentraleuropa lieferte aber immer noch detritisches Material, das in den litoralen Gebieten zur Ablagerung kam

(Fuorn-Formation). Allmählich dominierte das marine Milieu den Sedimentationsraum (S-charl-Formation und Vallatscha-Formation). Während der mittleren Trias entstanden so vor allem Carbonate; in den Randbecken führte das Verdunsten von Meerwasser zu geringmächtigen Evaporitbildungen (Raibler-Formation). Das charakteristische Gesteinspaket der heutigen Ostalpen, der Hauptdolomit, sedimentierte erst in der oberen Trias, auf einer ausgedehnten Carbonatplattform im untiefen Meer. Die idealen Lebensbedingungen für carbonatproduzierende Organismen, kombiniert mit starker Subsidenz, ermöglichten in dieser Epoche die Ablagerung enorm mächtiger Serien (Hauptdolomit-Gruppe).

Gegen Ende der Triaszeit bahnte sich eine Umgestaltung der Erde an. Bruchsysteme entstanden, die Landmasse als Ganzes senkte sich etwas ab. Das Auseinanderbrechen von Pangäa begann – keine 100 Ma nach dessen Zusammenschluss. Die prägenden plattentektonischen Veränderungen ereigneten sich in der Jura-Periode mit der Öffnung neuer Ozeanbecken und der damit verbundenen Ausbildung der alpinen paläogeographischen Räume.

Die Öffnung des Zentralatlantiks erzeugte eine sinistrale Bewegung Afrikas gegenüber Europa. Bei dieser Blattverschiebung kam es zu neuen Beckenbildungen, die von der Tethys – dem Urmittelmeer – geflutet wurden. Auch die Schweiz war von diesen Vorgängen betroffen, lag doch ihr nordwestlicher Raum auf der europäischen Kontinentalplatte, der südöstliche hingegen auf der apulischen Platte. So gingen aus dieser Zeit die drei unterschiedlichen Zonen des Ablagerungsraumes der zukünftigen Alpen hervor: das Helvetikum und das Nordpenninikum des europäischen Kontinentalrandes, das neu gebildete Südpenninikum mit ozeanischer Kruste als Untergrund und schliesslich die zum apulischen Kontinentalrand gehörenden Räume des Ostalpins und des Südalpins.

Der für die vorliegende Arbeit relevante Ablagerungsraum des Ostalpins lag am südlichen, passiven Kontinentalrand der mesozoischen Tethys. Beweise für eine derartige paläogeographische Stellung sind am Rande unseres Untersuchungsgebietes zu finden und wurden mit diversen Arbeiten erbracht. Das Hauptaugenmerk der Studien galt vor allem den flachmarinen Kalken und Mergeln des Überganges zwischen Trias und Jura (Kössen-Formation) sowie den liasischen Syn-Rift-Sedimenten (Allgäu-Formation).

Die frühjurassischen Extensionsbewegungen zerstörten die während der Trias aufgebaute Carbonatplattform und legten ein kompliziertes Muster von submarinen Becken und Hochzonen an. Im Anschluss an eine "Rifting"-Phase wurde jeweils ein charakteristisches Sedimentprisma abgelagert, das allgemein einen "thinning-and fining-upward"-Trend zeigt. Die Basis des Prismas bilden unsortierte Breccien, abgelagert von dünnbankigen Kalken und Calciturbiditen mit zwischengelagerten Megabreccien (Chaschauna-Breccie). Darüber folgen zuerst dickbankige, danach vermehrt dünnbankige Calciturbidite, in welchen gegen oben immer mehr Normalsedimente, bestehend aus bioturbirten Mergeln und Kalken, zwischengelagert sind. Resedimentfreie Serien belegen schliesslich das Ausklingen der riftbedingten Sedimentation (EBERLI 1988). Die Asymmetrie der Syn-Rift-Ablagerungen und deren Fazieswech-

sel sind typisch für Halbgrabenstrukturen. Sie geben Aufschluss über die Position und das Einfallen der liasischen Abschiebungen. Im Gebiet des Chaschauna-Grenzgrates zu der Val Trupchun, nordöstlich der Alp Chaschauna, wurde ein Durchschnittswinkel von 61° zwischen den Prä-Rift-Schichten und den Abschiebungsflächen bestimmt. Die Brüche fallen allesamt in Richtung Osten ein, also zum Kontinent hin (FROITZHEIM 1988).

Ein Beispiel einer synsedimentären Abschiebung ist am Grenzgrat Val Chaschauna–Val Trupchun, nordwestlich des Piz Chaschauna, zu sehen und in der Abbildung 2.1 dargestellt. Die hangende Einheit wird durch die Allgäu-Formation gebildet, bestehend aus liasischen Kalken und Mergeln. Darin eingelagert finden sich Megabreccien (Chaschauna-Breccie) von submarinen Blockstürzen und “debris flows“, welche für den Anfang der Beckenfüllung am Fusse des Abhanges typisch sind.

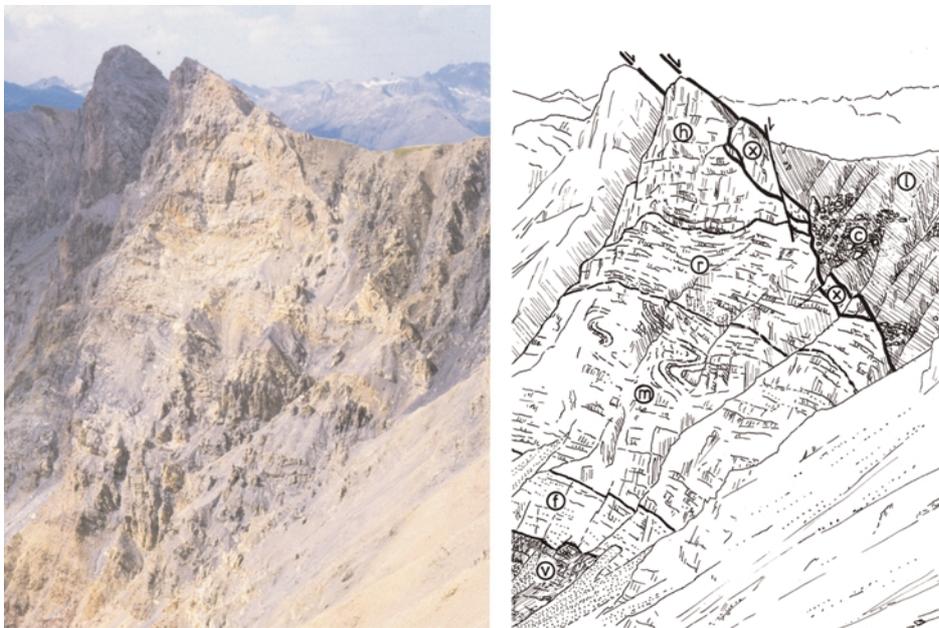


Abb. 2.1: Liasische synsedimentäre Abschiebung in der Ortler-Decke am Grenzgrat Val Chaschauna–Val Trupchun (linker Gipfel: 801040/162700). (v): Verrucano; (f): klastische Gesteine der Fuorn-Formation; (m): Carbonate der mittleren Trias; (r): Raibler-Formation; (h): Hauptdolomit; (l): Allgäu-Formation; (c): Chaschauna-Breccie. (x) markiert Hauptdolomitpakete, die entlang der Abschiebungsfläche versetzt wurden (aus FROITZHEIM 1988).

Biostratigraphische Untersuchungen von FURRER (1993) ergaben für den oben abgebildeten Extensionsbruch ein frühes Sinemurium-Alter. Der Blick über die Val Chaschauna hinaus zeigt aber, dass die Ausbildung des passiven Kontinentalrandes nicht in einer einzigen kontinuierlichen Phase erfolgte. Weiter östlich reichen die Bruchalter bis ins frühe Hettangium, im Westen hingegen sind die Abschiebungen dem obersten Lias zuzuordnen. Somit lief die Extension des Kontinentalrandes in zwei Phasen ab: Die erste Phase setzte in den südöstlichsten Gebieten im frühen Hettangium ein und erreichte im Sinemurium ihr Maximum, während die zweite Phase vorwiegend den nordwestlichen Teil betraf und im Toarcium aktiv war. Die paläogeographische Rekonstruktion dokumentiert eine von Osten nach Westen fortschreitende Fragmentierung des Kontinentalrandes oder – bildlicher ausgedrückt – das progressive Zerbrechen vom Kontinent gegen den Ozean hin. Dabei entstand als dominantes Bruchsystem eine Schar von heute ungefähr Nord-Süd-verlaufenden Brüchen. Die Brüche und die asymmetrische Verteilung der angrenzenden Beckensedimente belegen generell, wie am Beispiel des Chaschauna-Grenzgrates gezeigt, gegen den Kontinent einfallende Abschiebungen. Diese Beobachtungen stehen aber im Gegensatz

zum klassischen Modell eines symmetrischen, passiven Kontinentalrandes. Die Verschiebung des “Spreading“-Zentrums oder eine grosse Abscherungsfläche im tiefen Krustenbereich und oberen Mantel sind mögliche Ursachen für die asymmetrische Entwicklung des südlichen Kontinentalrandes der Tethys im Ostalpen-Querschnitt (EBERLI 1988).

Eine Rekonstruktion des ostalpinen passiven Kontinentalrandes unter Annahme von grossen Abscherungsflächen zur Zeit des späten Juras geben FROITZHEIM & EBERLI (1990). In ihrer schematischen Darstellung kommen auch die unterschiedlichen Mächtigkeiten der unteren und mittleren Jurasedimente zur Geltung und das ausgeglichene Relief im späten Jura.

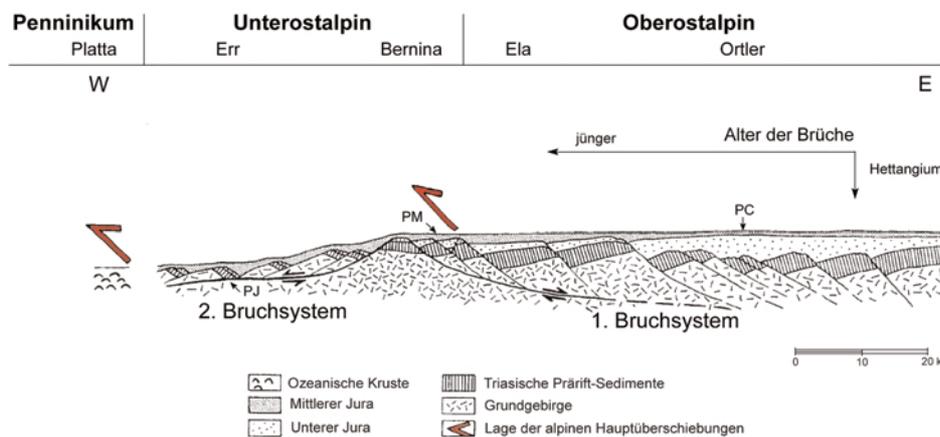


Abb. 2.2: Die Rekonstruktion des ostalpinen passiven Kontinentalrandes im späten Jura zeigt die Geometrie von zwei extensionalen Bruchsystemen und die Lage der späteren alpinen Überschiebungsbahnen. Die Ablagerungen des unteren Jura beweisen, dass das östliche Bruchsystem älter ist als das westliche. PJ = Abscherungsbahn am Piz Jenatsch; PM = Piz Mezzaun; PC = Piz Chaschauna (nach FROITZHEIM & EBERLI 1990).

Gegen das Ende der Jurazeit wurde der ganze Bereich tiefer gelegt. Der Ablagerungsraum kam unter die Carbonat-Kompensationstiefe zu liegen, wobei sich anstelle von Carbonaten Radiolarite bildeten (Blais-Radiolarit). An der Grenze Jura/Kreide entstanden die Aptychenkalke – ein milieucharakteristisches Sediment für marine Ablagerungen zwischen der Calcit- und der höher gelegenen Aragonit-Kompensationstiefe (Russena-Aptychenkalk).

Die Sedimentbildungen der Kreidezeit brachten wenig Abwechslung und bestanden vorwiegend aus hemipelagischen bis pelagischen Kalken (Chanel-Formation). Umso interessanter gestalteten sich dafür die Bewegungen der Kontinentalplatten. Die tektonischen Vorgänge der letzten Periode des Mesozoikums waren massgeblich an der Entwicklung des heutigen Weltbildes beteiligt. Lagen die Kontinente zu Beginn der Kreide (vor 144 Ma) noch dicht beieinander, hatte sich der Atlantik am Ende dieser Periode schon deutlich verbreitert, und das ehemalige Gondwana war im Wesentlichen in seine Tochterkontinente zerfallen. Ausschlaggebend für die zukünftige Platznahme des Ostalpins in seiner heutigen Position war der Vorzeichenwechsel von einer positiven zu einer negativen Extension in der mittleren Kreide. Als Folge dieser Umkehr des Bewegungssinnes stoppte die Öffnung des Tethysbeckens, und die apulische und europäische Platte begannen sich einander zu nähern. Aus divergierenden Plattengrenzen wurden konvergierende, aus dem passiven apulischen Kontinentalrand wurde ein aktiver Kontinentalrand. Ursache dieser plattentektonischen Umkehrvorgänge war – wie bereits zuvor bei der Bildung der Tethys – die Öffnung des Atlantiks. Mit der Entstehung des Südatlantiks setzte im Gegenuhrzeigersinn eine Rotationsbewegung Afrikas und Apuliens ein. Die Nordkomponente dieser Drehung

fürte zur Verengung des Tethysbeckens und schliesslich zur Kollision von Apulien mit Europa. Der Grossteil der ozeanischen Kruste des Tethysgrundes wurde dabei unter die afrikanische Kontinentalkruste subduziert. Ein anderer Teil entging der Versenkung und wurde obduziert. Unter dem anhaltenden Druck der kollidierenden Platten zerbrach die Oberkruste in einzelne Decken, die dachziegelartig übereinander gestapelt wurden. Die ursprünglich benachbarten paläogeographischen Ablagerungsräume findet man deswegen in übereinander geschobenen Decken wieder. Aufgrund der hauptsächlich Nordwest-verlaufenden Druckspannungen wurde der ostalpine Deckenstapel über die penninischen und helvetischen Bereiche geschoben, was ihn heute zum höchsten Bauelement der Schweizer Alpen macht.

Einen Überblick über die heutige Verteilung der Decken im Osten der Schweiz verschafft die tektonische Karte von Graubünden:

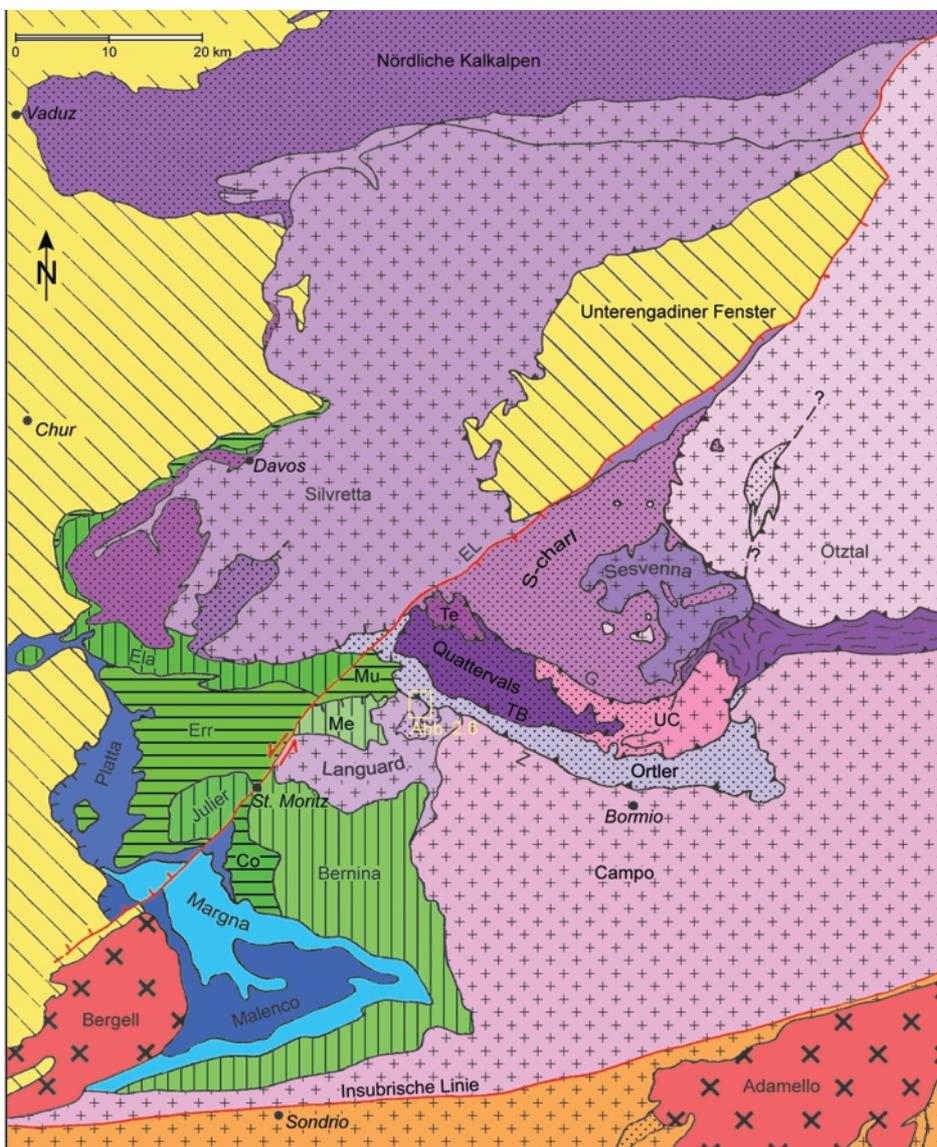
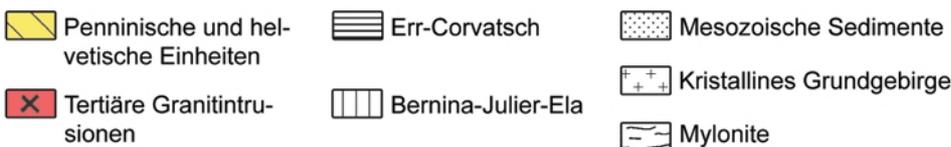


Abb. 2.3: Tektonische Karte von Graubünden (nach CONTI 1994). Die insubrische Linie begrenzt die Ostalpin gegen Süden. Im Westen bilden penninische Einheiten die Grenze zum Ostalpin. Die Trennung in Unter- und Oberostalpin entspricht der heutigen tektonischen Lagerung, wobei das Unterostalpin früher näher beim Südpenninikum lag. Farbgebung: rosa-violett: Oberostalpin; grün: Unterostalpin; blau: Südpenninikum. Co: Corvatsch; Me: Mezzaun; Mu: Murtiröl; Te: Terza; UC: Umbrail-Chavalatsch; EL: Engadiner Linie; G: Gallo Linie; TB: Trupchun-Braulio-Überschiebung; Z: Zebrü-Überschiebung.



Die tektonische Entwicklung des ostalpinen Raumes wird nach FROITZHEIM et al. (1994) in fünf Phasen eingeteilt. Den Anfang machte die spätkretazische Trupchun-Phase (100–80 Ma) – eine erste richtige Gebirgsbildungsphase mit Westnordwest-Schub. Überschiebungen individueller Decken innerhalb des Ostalpins und eine Gesamtverfrachtung der ostalpinen Einheiten auf südpenninische Ophiolite prägten diese Phase. Besondere Beachtung verdient das Verhalten der oberostalpinen Ortler-Decke, bildet sie heute doch die markanten Gipfel der Ostflanke der Val Chaschauna. Nach CONTI (1994) und CONTI et al. (1994) spielten die westnordwestgerichteten Bewegungen der Trupchun-Phase die entscheidende Rolle beim Bau der Ortler-Decke. Entlang der Zebrü-Überschiebung wurde die Ortler-Decke auf die ausschliesslich aus Kristallin bestehende Campo-Decke und weiter im Westen, unter anderem in der Val Chaschauna, auf die Languard-Decke überschoben. Der Überschiebungsbetrag der Ortler-Decke wird auf mindestens 60 km geschätzt. Die Ortler-Decke ihrerseits wurde weiter nördlich, ausserhalb unseres Arbeitsgebietes von der Quattervals-Decke ebenfalls in Richtung Westnordwest überfahren. Diese Überschiebungsbahn wird als Trupchun-Braulio-Linie bezeichnet.

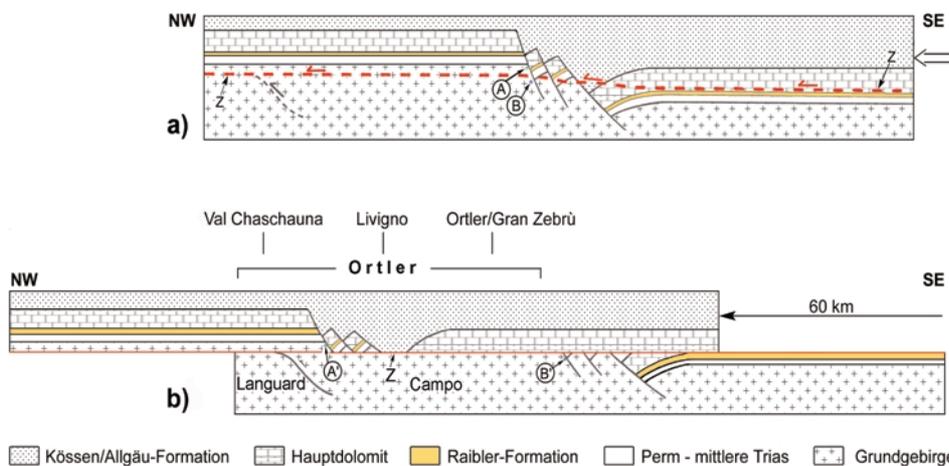


Abb. 2.4: Schematischer Längsschnitt entlang der Zebrü-Überschiebung. a) zeigt die Situation nach der jurassischen Extension, aber vor der alpinen Deformation. In b) ist das Resultat der Trupchun-Phase abgebildet. A-A' und B-B' repräsentieren dieselben Punkte, einmal vor beziehungsweise nach der Überschiebung. Z: Zebrü-Überschiebung (nach CONTI 1994).

In der Zeit vor 80–65 Ma (FROITZHEIM et al. 1994) war die Ducan-Ela-Phase aktiv – eine Periode der Extension mit dominanter Ost-West-Dehnung und ost- bis südostgerichteten Abschiebungen. Nach SCHMID et al. (1997) ist diese spätorogene Dehnung möglicherweise auf einen gravitativen Kollaps der überdickten Kruste zurückzuführen, was nichts anderes bedeuten würde, als dass das eben erst gebildete Gebirge aufgrund des eigenen Gewichts auseinanderglitt. Eine Abschiebungsbewegung zwischen den oberostalpinen Einheiten (Ortler- und Languard-Decke) und den unterostalpinen Einheiten in der untersten Val Chaschauna (ausserhalb des Untersuchungsgebietes) und der Val Trupchun wird der Ducan-Ela-Phase zugeordnet und in der Literatur als Trupchun-Mezzaun-Abschiebung beschrieben. Mit der Ursache für die biotische Krise am Ende des Mesozoikums kam auch die zwischenzeitliche Extension zum Erliegen.

Die dritte Gebirgsbildungsphase entsprach erneut einer Kollisionstektonik. Dieser neue Zyklus der alpinen Orogenese wurde nach der Typlokalität am Piz Blaisun als Blaisun-Phase bezeichnet. Charakteristisch für diesen Abschnitt war die Überprägung der älteren Extensionsstrukturen durch ost- bis südoststreichende Falten.

Diese Faltung entstand wahrscheinlich während der frühtertiären (ab 50 Ma), nordgerichteten Überschiebung des Deckenstapels aus südpenninischen Ophioliten sowie unter- und oberostalpinen Decken über die nordpenninischen Einheiten (FROITZHEIM et al. 1994). Bei der grossräumigen Verfaltung während der Blaisun-Phase wurde mitunter auch die Zebrù-Überschiebung verkippt, so dass diese heute parallel zu ihrer ursprünglichen Transportrichtung nach Osten verfolgbar ist (SCHMID et al. 1997).

Mit der Turba-Phase im Früh- bis Mitteloligozän setzten erneut Ost-West-Dehnungsbewegungen ein. Diese Extensions-Episode war weniger bedeutend für die interne Geometrie der ostalpinen Einheiten als für die stark betroffene Grenzzone zwischen den ostalpinen und penninischen Einheiten. Nach FROITZHEIM et al. (1994) führte die Turba-Phase lokal zu einer extensionalen Entkoppelung dieser beiden Stockwerke (Turba-Mylonitzone).

Die fünfte und letzte Phase der Gebirgsbildung im ostalpinen Raum prägte die spätoligozäne postkollisionale Phase – eine komplexe Episode mit vorwiegend Nordwest-Südost-Verkürzung der ostalpinen Decken. In diesen Abschnitt gehören unter anderem Bewegungen an der insubrischen Linie, welche ihrerseits im Zusammenhang mit dem Eindringen des Bergeller Plutons stehen. Von grosser Bedeutung sind auch die kombinierten sinistralen Versätze mit Rotationsbewegungen entlang der Engadiner Linie nahe der Oligozän/Miozän Grenze. Untersuchungen von CLAUSEN (2001) erbrachten Hinweise für eine anhaltende Aktivität der Engadiner Linie und dokumentieren mögliche postglaziale Bewegungen in der Val Laschadura.

Die heutige Geologie der Val Chaschauna zeigt Spuren erdgeschichtlicher Vergangenheit. Anhand von Profilen erhält die geologische Oberfläche eine neue Dimension und kann somit räumlich betrachtet und interpretiert werden. Die zwei nachfolgenden Profile von CONTI (1994) und FROITZHEIM (1988) veranschaulichen die Tiefenausdehnung entlang des nordöstlichen Grates der Val Chaschauna. Diese interpretierten Profilschnitte ermöglichten, zusammen mit anderen Unterlagen, den ungefähren Verlauf der Zebrù-Überschiebung im Untersuchungsgebiet zu ermitteln.

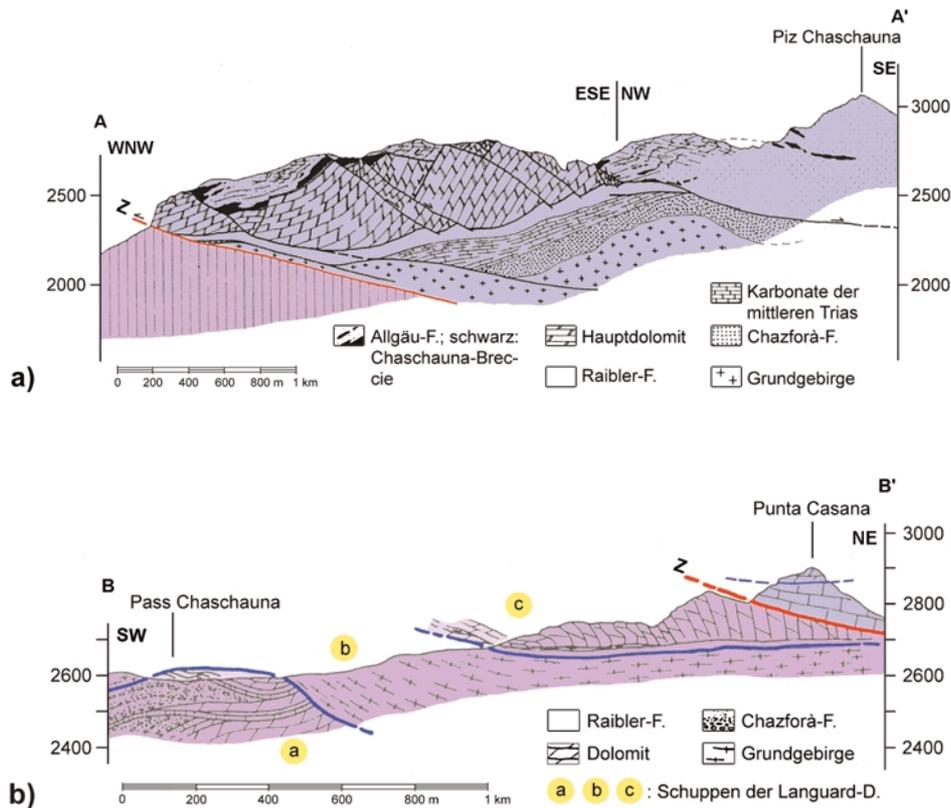


Abb. 2.5: Profile des nordöstlichen Gates der Val Chaschauna. Die Profilsuren sind in Abb. 2.6 eingezeichnet. Z: Zentralschraube a) nach FROITZHEIM 1988; b) nach CONTI 1994).

Abschliessende Bemerkung: Die Arbeiten von CLAUSEN (2001) und anderen Autoren haben gezeigt, dass die alpine Tektonik auch heute noch andauert. Verdeutlicht wird diese Tatsache unter anderem mit Messungen der aktuellen Erdkrustenbewegungen. Im Raum unseres Arbeitsgebietes betragen die heutigen Hebungen zwischen 1.1 und 1.2 mm/Jahr (bezogen auf eine Referenzstation in Aarburg). Unter Abzug der modernen mittleren Denudationsrate von weniger als 0.15 mm/Jahr ergibt dies ein Gebirgswachstum im Untersuchungsraum von zurzeit ungefähr 1 mm/Jahr (SCHLUNEGGER & HINDERER 2003).

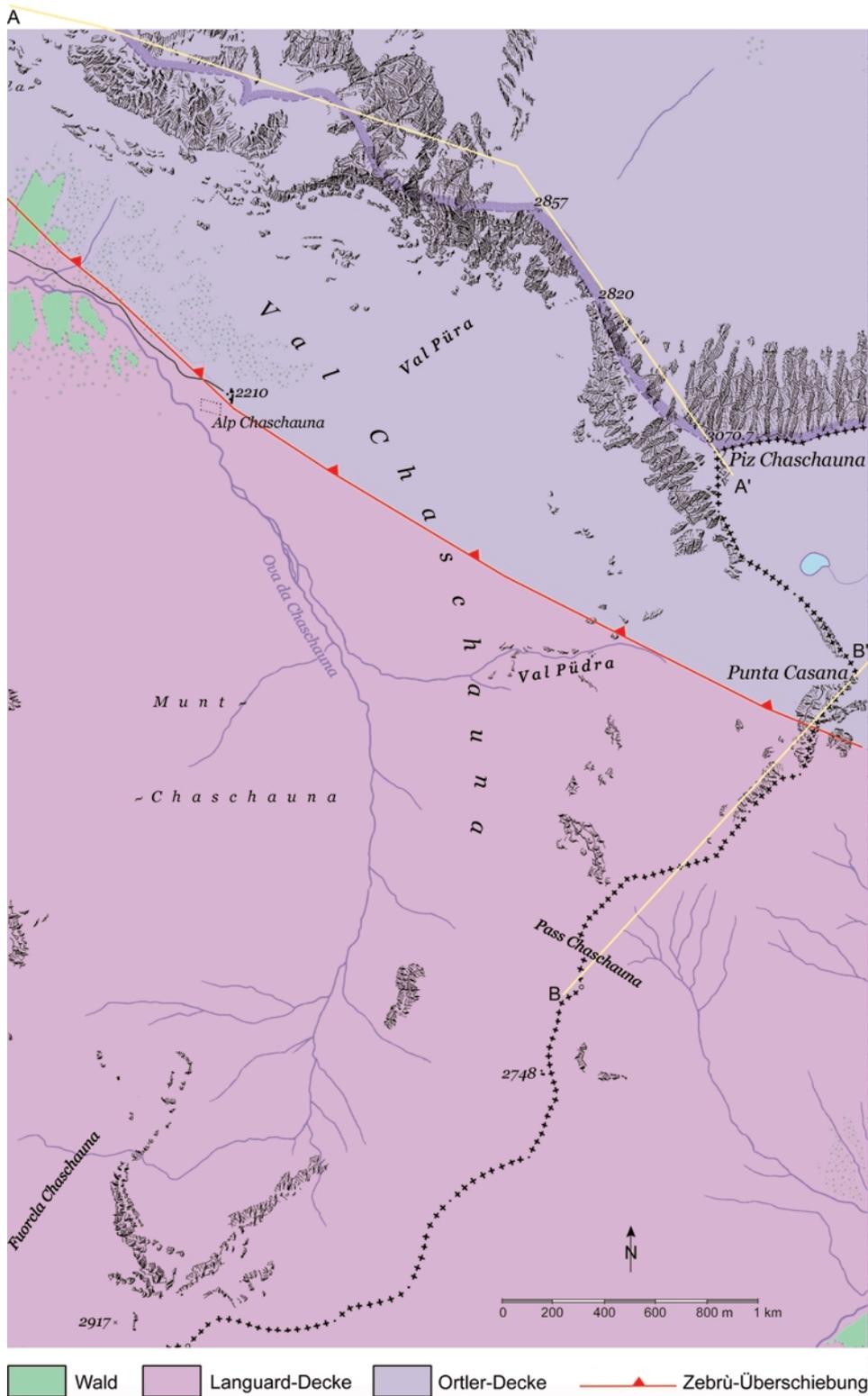


Abb. 2.6: Verlauf der Zembrü-Überschiebung in der Val Chaschauna.

2.1.2 Tektonisches Fenster

Ein langgezogener Rücken bildet eine spezielle Landschaftsform eingangs der Val Püdra. Orthogneis und zwei parallel verlaufende metabasaltische Gänge sind dort direkt aufgeschlossen. Auf dem Grat der bergzugewandten Seite lassen sich kleinere und bis Meter grosse Dolomit Gesteinsbruchstücke finden. Woher stammt dieser Dolomit? In der näheren Umgebung, sprich auf den Talflanken links und rechts des Rückens, ist nirgends Dolomit anstehend. Der nächst höher gelegene Dolomitaufschluss befindet sich gut 350 Meter hangaufwärts in den Triassedimenten des Piz Chaschauna. Die Geländemorphologie und das nur lokale Auftreten von Dolomit auf dem Rücken, lassen einen Felssturz aus dieser Gegend unwahrscheinlich erscheinen. Aus diesen Gründen liegt die Vermutung nahe, dass Dolomit im Rücken anstehend ist. Wir haben folglich eine anstehende Abfolge Orthogneis-Dolomit-Orthogneis vor uns, die ohne tektonische Bewegung nicht zu erklären ist. Hier tritt die Verschuppung von Dolomit mit Orthogneis als Fenster zu Tage. Ein Fenster deshalb, weil diese „Sandwich-Struktur“ in der näheren Umgebung nirgends zu finden ist. Erst weiter südlich im Tal ist der Kontakt aufgeschlossen. Der Orthogneis ist sozusagen der „Fensterrahmen“.

Der gesamte Rücken ist von einer gering mächtigen Moränenbedeckung überzogen. Das Entwässerungssystem hat auf der südlichen Seite des Felsrückens einen aktiven Schwemmfächer mit zahlreichen Rinnen geschaffen. Auf der nördlichen Seite ist der Boden etwas höher gelegen und versumpft.



Abb. 2.7: Der langgezogene Felsrücken stellt ein tektonisches Fenster am Eingang der Val Püdra dar.

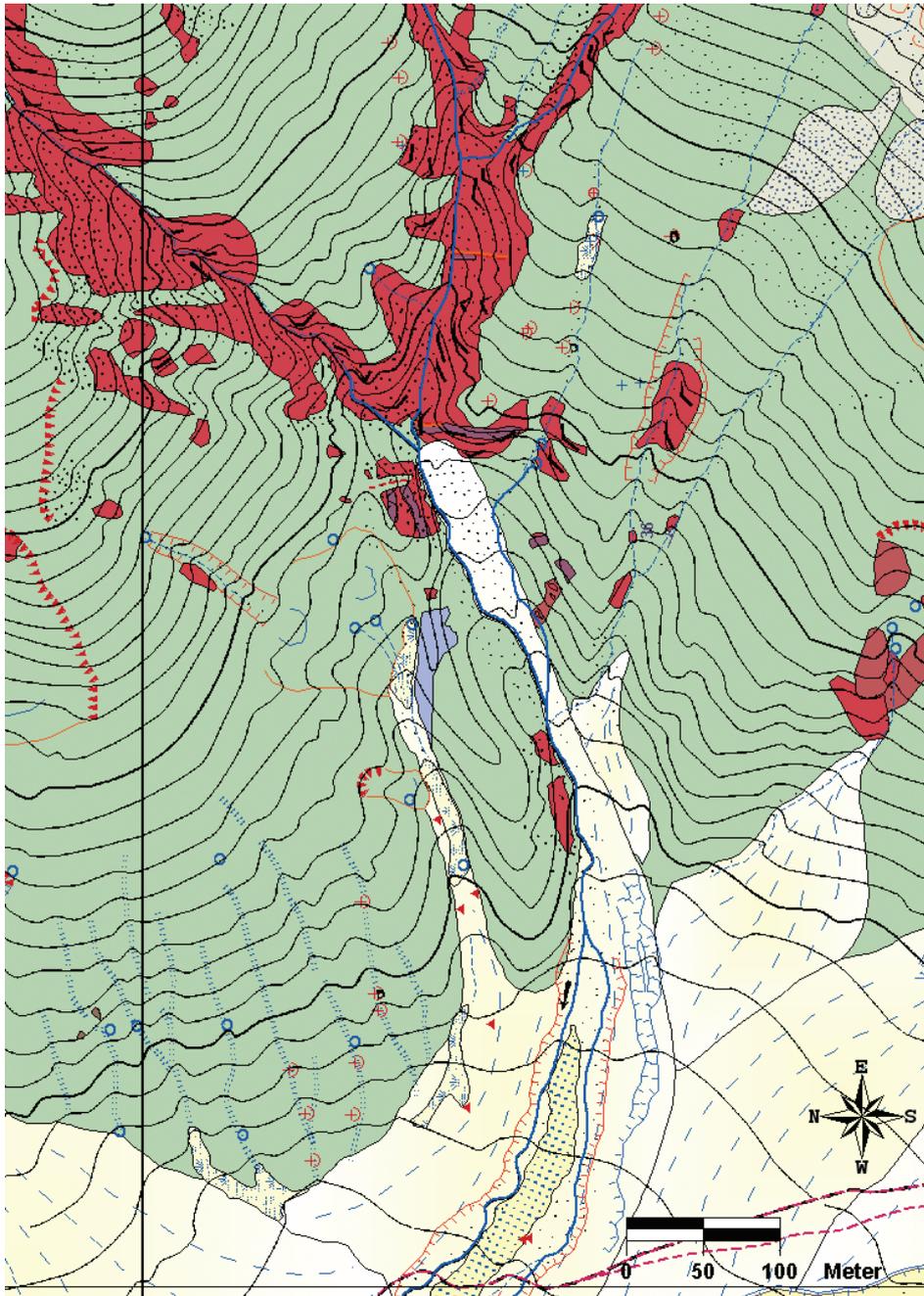


Abb. 2.8: Kartenausschnitt Val Püdra. Der verwitterte Dolomit ist auf der Karte blau, Orthogneis rot eingezeichnet.

2.2 Die wichtigsten Gesteine

Hier soll ein Überblick über die im Kartiergebiet angetroffenen Lithologien vermittelt werden. Es sind dies die Gesteine der Ortler- beziehungsweise Languard-Decke, welche sich in der tektonischen Einheit des Ostalpins, genauer des Oberostalpins, befinden. Die Ortler-Decke enthält eine mehr oder weniger normal liegende, aber trotzdem nur lokal vollständige Abfolge vom Kristallin bis zu den Dolomiten jüngeren Alters. Eine relativ vollständige Abfolge kann südöstlich der Alp Chaschauna in der Val Püra betrachtet werden. Die Beschreibung erfolgt in stratigraphischer Reihenfolge, beginnend mit der ältesten lithologischen Einheit.

2.2.1 Das Kristallin

Die älteste Einheit bildet das variskische metamorphe Grundgebirge. In der Val Chaschauna ist das Kristallin der Languard- und Ortler-Decke anstehend, wobei sich zwei Gesteinstypen unterscheiden lassen: Im Kartiergebiet sind einerseits Orthogneise und andererseits Paragneise anstehend. Beide Gesteinstypen werden häufig von basaltischen Gängen durchschlagen. Die kristallinen Gesteine haben dieselbe alpintektonische Beanspruchung (mit Ausbildung von deutlichen Linearstrukturen) erlitten, wie die Gesteine des hangenden Verrucanos (SCHMID 1973).

Die westliche Talseite der Val Chaschauna ist hauptsächlich aus kristallinen Gesteinen der Languard-Decke aufgebaut. Auf der östlichen Talflanke wird das Kristallin in der Regel von Verrucano und im südlichen Teil von Dolomiten überlagert.

Das Kristallin wird generell von silikatliebenden, gelblich-grünen Flechten punktuell bewachsen. Es handelt sich um die Art *Rhizocarpon geographicum*.

Der Orthogneis

Orthogneis kommt in verschiedenen Varianten vor. Meistens als heller Glimmerschiefer mit viel Muskovit. Oftmals sind aber auch kalifeldspatreiche Varietäten anzutreffen.

Orthogneise sind per Definition das metamorphe Produkt eines magmatischen Protholiths. Die Orthogneise bilden mächtigere Einheiten als die Paragneise, die im folgenden Abschnitt näher beschrieben werden.



Abb. 2.9: Anschliff von einem Augengneis mit eingeregelteten Feldspat-Porphyroblasten.



Abb. 2.10: Augengneis mit verwitterungsresistenten Feldspat-Augen. Die abgewinkelten Flächen des Handstücks deuten auf einen Transport im Gletscher hin. (Selbes Handstück wie in Abb. 2.9).

Gesteinsprobe	11C
Fundort	Südlich vom Val Püra (801154.4/161451.0)
Gesteinstyp	Muskovit führender Augengneis
Lithostratigraphische Einheit	Orthogneis der Ortler-Decke

Feldbefund:

Das hier beschriebene Gestein ist massig und hart. Grosse weisse Kalifeldspataugen, die mehre cm lang sein können, sind das typische Erkennungsmerkmal dieses Gesteins. Diese Feldspäte sind gelängt und eingeregelt, so dass man von einer Paralleltexur sprechen kann. Weiter auffallend ist der hohe Quarz- und Glimmeranteil. Der Glimmer ist in Bändern angeordnet und trägt ebenfalls zum parallelen Gefüge der Feldspäte bei. Im Gelände wittern die Feldspataugen aus dem Gestein hervor.

Mikroskopische Beschreibung:

Der Kalifeldspat bildet Megakristalle. Eine schwach ausgeprägte Foliation lässt sich unter dem Mikroskop ausmachen. Der am häufigsten vertretene Quarz zeigt ein inequigranular-interlobates Gefüge. Der oft leicht saussuritisierte Kalifeldspat bildet cm-grosse Phänokristalle. Die Mikroklin-Gitterung ist schwach ausgeprägt, jedoch sind die perthitischen Entmischungen im Kalifeldspat gut zu sehen. Einfache Zwillinge sind teilweise in diesem Mineral zu erkennen. Auch Verwachsungen von Quarz mit Kalifeldspat sind an einigen Körnern zu beobachten. Weiter ist Plagioklas mit polysynthetischer Verzwillingung, kleinen Biotit-, und ebenfalls kleinen Eisenhydroxid-Einschlüssen vorhanden. Der Glimmer ist in Bändern angeordnet. Diese Glimmerbänder sind meist um die Feldspäte angeordnet und bilden ein Fließgefüge.

Mineralbestand:

Quarz (55 %), Kalifeldspat (15 %), Plagioklas (15 %), Schichtsilikate (10 %) (Chlorit, Biotit, Sericit), akzessorische Mineralien (5 %): Fe-Hydroxide und Epidot

Interpretation:

Die Mineralzusammensetzung mit den Hauptgemengeteilen Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas sowie Glimmer als Nebengemengteil, weist auf ein granitisches Ausgangsgestein hin. Der Biotit wird in Hellglimmer und Chlorit umgewandelt. Die Eisenhydroxide entlang den Korngrenzen sind vermutlich sekundär durch ein mineralisiertes Fluid im Gestein entstanden.

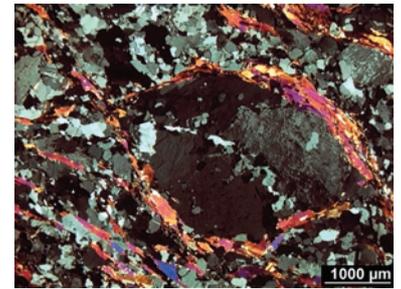


Abb. 2.11: Dünnschliffbild von einem Kalifeldspat-Auge mit Biotit-Saum.

Der Paragneis

Dieses Gestein ist in der Regel weniger kompakt als der Orthogneis. Paragneise sind definitionsgemäss metamorphe Sedimentgesteine, so genannte Metasedimente. Charakteristisch für diese Gesteine ist der normalerweise hohe Aluminiumgehalt, was im Feld makroskopisch durch die Granateinschlüsse sichtbar wird (Abb. 2.12). Minerale wie Biotit und Chlorit sind im Unterschied zu den Orthogneisen vermehrt im Korngemisch enthalten. Die kartierten Paragneise sind grösstenteils in der Grünschiefer-Fazies einer Metamorphose unterworfen worden. Teilweise ist der Paragneis stark verschiefert und anfällig auf physikalische Verwitterung. So sind Schutthalden aus verwitterten, glimmerreichen Schieferfragmenten nicht selten und im Feld schon von grosser Distanz an der violett-grünlichen Farbe zu erkennen.

Im Feld ist die Unterscheidung von Ortho- und Paragneis oft schwierig, da teilweise ein fließender Übergang vorliegt.



Abb. 2.12: Paragneis-Anschliff: Eine Paralleltexur und Granate (dunkle Punkte) sind charakteristisch für diesen Gesteinstyp.

2.2.2 Metabasaltische Gänge

Im Kartiergebiet durchschlagen vielerorts basaltische Gänge das kristalline Grundgebirge. Die frisch erscheinenden, diskordant das Kristallin durchschlagenden, aber nicht in den Verrucano intrudierenden Diabas-Gänge dürften im frühen Perm nach der variskischen Hauptphase und vor der Sedimentation des Verrucanos eingedrungen sein. Die Mächtigkeit der Gänge beträgt in der Regel wenige Meter. Bei der Betrachtung von Dünnschliffen hat sich gezeigt, dass der Diabas vermutlich in der Grünschiefer-Fazies einem Alterationsprozess unterworfen wurde.

Im Gelände bildet dieses sehr harte Gestein oft Härtlinge. So ist Diabas nicht selten an Kreten und anderen exponierten Lokalitäten anstehend.

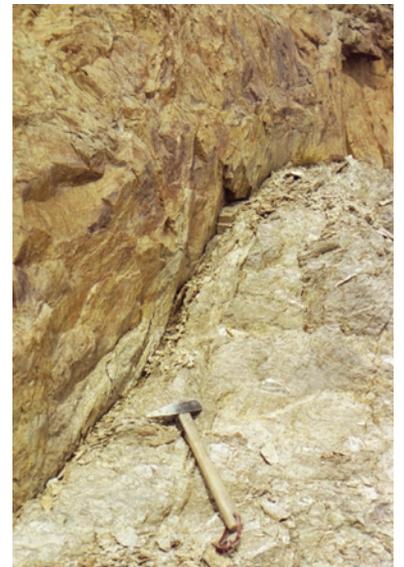


Abb. 2.13: Scharfer Kontakt zwischen einem metabasaltischen Gang (links) und Orthogneis (rechts).

Gesteinsprobe	20C
Fundort	Val Püra (801236.2/162197.3)
Gesteinstyp	Granat führender Glimmerschiefer
Lithostratigraphische Einheit	Paragneis (Metasediment) der Ortler-Decke

Feldbefund:

Schieferiges Gestein mit relativ grossen (bis 10 mm Durchmesser) Quarzen. Teilweise sind diese Quarze deformiert und extrem gelängt. Deren Einregelung ist parallel zur Schieferung. Rote, relativ idiomorphe Granate befinden sich im Schiefer, wobei alle eine ähnliche Korngrösse aufweisen. Kleine, dunkle Klüfte durchstreifen das Gestein. Auffallend ist der hohe Hellglimmeranteil. Im Feld fällt das Gestein durch seine glänzende, dunkle Farbe auf. Der Schiefer ist nicht kompakt und verwittert in blättrige Gesteinsbruchstücke.

Mikroskopische Beschreibung:

Bei der Betrachtung unter dem Mikroskop fällt die Inhomogenität des Gesteins auf. Glimmerbahnen zeigen eine Feinfältelung und bilden ein Fließgefüge um linsenförmige Quarzaggregate und Granat-Porphroblasten. Die Quarzkörner sind ineinander verzahnt.

Biotit ist nur reliktilsch erhalten. Auffallend ist der hohe Gehalt an Titanit, welcher anhand der bernsteinfarbenen pleochroitischen Farbe und der hohen Doppelbrechung einfach zu erkennen ist. Gut erhaltene Granate zeigen einen Zonarbau der Einschlüsse.

Mineralbestand:

Quarz (35 %), Hellglimmer (30 %), Titanit (15 %), Granat (10 %), Epidot (5 %), akzessorische Mineralien (5 %): Chlorit, Magnetit und Rutil

Interpretation:

Die Mineralzusammensetzung deutet darauf hin, dass es sich hier um einen Paragneis handelt. Biotit wurde retrograd in Hellglimmer, Titanit und Epidot umgewandelt. Charakteristisch für dieses Gestein sind die zum Teil stark retrograd umgewandelten Granate. Es hat eine Pseudomorphose im Granat stattgefunden, so dass vom ursprünglichen Mineral praktisch nur noch die Form übrig geblieben ist. An dessen Stelle wuchsen viel Magnetit, Hellglimmer, Epidot, Titanit und Rutil. Der Zonarbau im Granat lässt das synkinetische Wachstum erkennen. Während der Deformationsphase kristallisierte Quarz im Druckschatten des Granats.

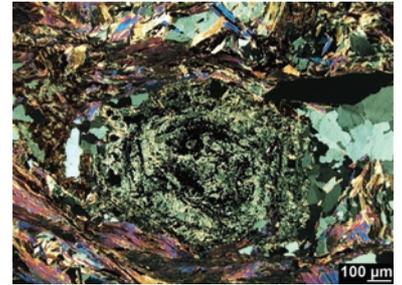


Abb. 2.14: Dünnschliffbild von einem Granat mit Zonarbau. Quarz im Druckschatten.

Gesteinsprobe	24
Fundort	Val Püra (801242.1/162056.2)
Gesteinstyp	Staurolith führender Hellglimmerschiefer
Lithostratigraphische Einheit	Paragneis (Metapelit) der Ortler-Decke

Feldbefund:

Grünlich-graues Gestein mit zahlreichen, augenartigen Quarzeinschlüssen. Viel Hellglimmer und grünliche Mineralien geben dem Gestein seine Farbe. Die Quarze sind bis mehrere cm gelängt und im Gefüge eingeregelt. Diese Einregelung ist für eine schwache Paralleltexur verantwortlich und ergibt schlussendlich das gneisige Erscheinungsbild. Auffallend ist der hohe Hellglimmeranteil. Vereinzelt treten idiomorphe Granate auf, welche aus dem Gestein herauswittern. Das Gestein ist hart und massig.

Mikroskopische Beschreibung:

Die Quarzlinzen werden von Hellglimmerbändern umflossen oder teilweise sogar durchschlagen. Der Hellglimmer kommt in grossen Mengen vor und zeigt eine Feinfältelung. Der grösste Teil des Biotits ist in Chlorit umgewandelt. Die Kontakte zwischen den gleichkörnigen Quarzen können als interlobat beschrieben werden. Grosse, bis zu 2 cm lange Staurolithe sind ein weiteres Charakteristikum für diesen metamorphen Gesteinstyp. Im Staurolith sind die Kreuzwillinge mit einem Winkel von etwa 60° schön zu sehen. Der Staurolith ist in einer Umwandlung begriffen, was an den stängeligen Rutil-Einschlüssen gut zu erkennen ist. Um den Rutil hat sich ein Reaktionshof aus Hellglimmer gebildet. Im Druckschatten des Granats sind vereinzelt schön ausgeprägte Quarzlinzen zu finden. Akzessorisch sind Illmenit und Turmalin vorhanden.

Mineralbestand:

Quarz (35 %), Hellglimmer (25 %), Chlorit (20 %), Staurolith (10 %), Granat (5 %), akzessorische Mineralien (5 %): Illmenit, Rutil und Turmalin

Interpretation:

Die Mineralzusammensetzung dieses Gesteins spricht für einen Paragneis. Staurolith bildet eine Paragenese mit Granat und Biotit. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass Staurolith ein günstiges Indexmineral für die Amphibolitfazies ist.

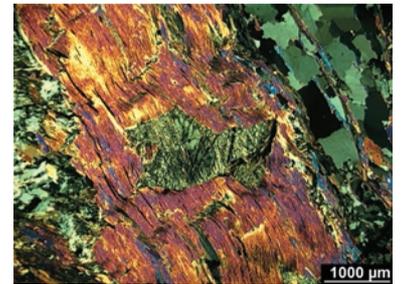


Abb. 2.15: Dünnschliffbild von einem Staurolith mit Kreuzwillingen (grau) umgeben von viel Hellglimmer.

Gesteinsprobe	108
Fundort	Kessel unterhalb Punta Casana (802014.4/159977.7)
Gesteinstyp	Metabasaltischer Gang
Lithostratigraphische Einheit	Metabasaltischer Gang (Diabas-Gang) des Languard-Kristallins

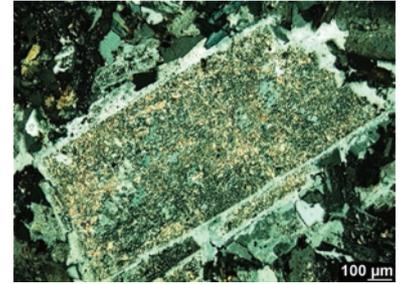


Abb. 2.16: Dünnschliffbild von einem alterierten Plagioklas mit einem Albitsaum.

Feldbefund:

Es handelt sich um ein grobkörniges, kompaktes Gestein. Chlorit verleiht dem Gestein eine grünliche Farbe und die zahlreichen mafischen Mineralien sorgen zusätzlich für ein eher dunkles Erscheinungsbild. Weissliche Feldspäte treten als grosse Phäno-kristalle auf. Eine Einregelung der Mineralien ist nicht erkennbar. Das Gestein ist in der Regel von hellgrünen Flechten punktuell bewachsen.

Mikroskopische Beschreibung:

Plagioklas ist das häufigste Mineral und kommt in sehr unterschiedlichen Korngrößen vor. Alterierte und frische Plagioklase sind im Gestein gleichermassen vertreten. Die Plagioklaskristalle zeigen in der Regel die typischen polysynthetischen Zwillinge. Im Randbereich der alterierten Plagioklase hat sich ein Albitsaum gebildet. Die leistenförmigen Plagioklase bilden ein Gerüst, ein sog. intersertal Gefüge. Entlang den Korngrenzen haben sich lokal Eisenhydroxide gebildet. Der pleochroitisch stark flaschengrüne Chlorit zeigt unter gekreuzt polarisiertem Licht eine anomale metallisch-blaue Farbe. Teilweise ist zu beobachten, wie der Chlorit die Risse in noch relativ frischen Plagioklasen ausfüllt. Akzessorisch sind Titanit und Magnetit zu finden.

Mineralbestand:

Plagioklas (60 %), Quarz (15 %), Chlorit (15 %), Hellglimmer (5 %), akzessorische Mineralien (5 %): Karbonat, Epidot, Titanit und Magnetit

Interpretation:

Das Intersertalgefüge der Plagioklase ist typisch für Ganggesteine. Der hohe Plagioklasgehalt und die reliktsch vorhanden Pyroxen- oder Amphibolminerale deuten auf einen basaltischen Chemismus hin. Häufig sind die Plagioklase stark alteriert und fast vollständig in Hellglimmer umgewandelt. Vermutlich waren ursprünglich noch Amphibole und Pyroxene im magmatischen Protolith vorhanden. Heute sind von diesen Mineralien nur noch deren Umwandlungsprodukte zu erkennen. Dabei handelt es sich um Epidot, Chlorit und Calcit. Es lässt vermuten, dass der basaltische Gang in der Grünschieferfazies einem Alterationsprozess unterworfen wurde. Dabei haben Mineralreaktionen stattgefunden, wobei das Gefüge jedoch nicht wesentlich verändert wurde.

2.2.3 Vulkanische Gesteine

Lokal sind Rhyolithe anstehend. Ein schöner Aufschluss befindet sich nordöstlich der Alp Chaschauna. Es sind dies vermutlich Ablagerungen von vulkanischen Ergüssen mit einer Mächtigkeit von ungefähr 40 Metern.

Das Gestein hat eine rötlich-violette Farbe. Phänokristalle aus Quarz und Kalifeldspat sind oft in der entglasten Matrix vorhanden (Abb. 2.17). Ebenfalls häufig sind Pyriteinsprenglinge zu beobachten. Die Rhyolithe liegen direkt auf dem Kristallin oder auf wenig mächtigen Sandsteinen. Im Hangenden der Rhyolithe ist der Verrucano anstehend.

Der Vulkanismus in der Val Chaschauna ist möglicherweise gleich alt wie derjenige der Ruina-Formation sensu stricto in der Val Müstair (etwa 30 km östlich der Val Chaschauna). Dies würde für eine Ablagerung am Ende der variskischen Gebirgsbildungsphase sprechen. In der Val Müstair waren an den Rändern eines sich allmählich senkenden, asymmetrischen Grabens lokal rhyolithische Vulkane tätig. Ihre vorwiegend pyroklastischen Produkte lagerten sich sowohl im Graben selbst, wie auch in dessen Umgebung ab. Dies würde die relativ grossflächige Verbreitung dieser Gesteine erklären (DÖSSEGER 1974).



Abb. 2.17: Rhyolith-Anschliff: Bunt farbiges Korngemisch in einer feinkörnigen Matrix.

Gesteinsprobe	15
Fundort	Val Püra (801407.4/162073.1)
Gesteinstyp	Rhyolithischer Vulkanit
Lithostratigraphische Einheit	Vulkanit der Ortler-Decke

Feldbefund:

Das Gestein, welches hier beschrieben werden soll, besitzt bunt farbige Körner in einer feinkörnigen Matrix. Die Mineralkomponenten sind grobkörnig. Auffallend sind die zahlreichen Pyritkristalle. Eckige Quarze sind in der feinkörnigen, rötlichen Matrix eingebunden. Das Gestein ist massig und besitzt keine Einregelung der Minerale. Rötliche Feldspäte sind die grössten Mineralien im Kornaggregat.

Mikroskopische Beschreibung:

Unter dem Mikroskop ist eine mikrokristalline Matrix mit vielen Mineraleinsprenglingen zu sehen. Die grossen, eckigen Quarzkörner sind oft zerbrochen. Blättrige bis stängelige Biotite sind zahlreich in der Matrix eingeschlossen. Meistens sind Zirkone mit schönen Reaktionshöfen im Biotit zu sehen.

Der Kalifeldspat ist alteriert, was an der matten Struktur im einfach polarisierten Licht sichtbar wird. Plagioklas zeigt oft die mineralspezifischen polysynthetischen Zwillinge.

Mineralbestand:

Entglaste Matrix (40 %), Quarz (20 %), Plagioklas (15 %), Kalifeldspat (10 %), Biotit (10 %), akzessorische Mineralien (5 %): Hellglimmer, opake Mineralien, Pyrit, Illmenit und Zirkon

Interpretation:

Quarz, Plagioklas und Kalifeldspat sind die Hauptgemengeteile in der entglasten Matrix und weisen auf eine rhyolithische Zusammensetzung des Gesteins hin. Der Biotit ist nur schwach verformt und teilweise zerbrochen. In einer späteren Phase wurde das Gefüge schwach deformiert, was sich in der typisch undulösen Auslöschung des Quarzes zeigt. Es scheint, dass eine Umwandlung von Biotit zu Hellglimmer stattgefunden hat.

Die Matrix ist entglast und wurde unter Wassereinfluss vertont. Möglicherweise befindet sich noch amorphe Kieselsäure in der Matrix.

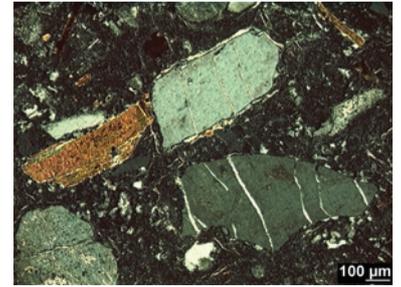


Abb. 2.20: Dünnschliffbild von zerbrochenen Quarzkomponenten, die in einer entglasten Matrix schwimmen. Links im Bild ist ein Biotit (braun) zu sehen.

2.2.4 Der Verrucano

Der Verrucano ist ein klastisches Sediment, meist bestehend aus ungebankten rot-violetten, grünen und rot-violett gefleckten Konglomeraten, Sand- und Siltsteinen. Stellenweise könnte man den Verrucano als geröllführende Breccie bezeichnen. Deutlich lässt sich eine erhebliche tektonische Beanspruchung erkennen. Der Quarz ist oft zerdrückt, linear gestreckt und von Sericitblättchen umschlossen. In der Val Chaschauna darf der Verrucano dem so genannten Val Püra-Member zugeordnet werden, welcher seinerseits der Chazforà-Formation zugerechnet werden kann (DÖSSEGER 1974). Der Verrucano in unserem Kartiergebiet gehört zur Ortler-Decke, jedenfalls was den nordöstlichen Teil betrifft (SOMM 1965). Der Verrucano im südlichen Talteil kann man zur Languard-Decke zählen. Stratigraphisch gehört der hiesige Verrucano zu den Ablagerungen zwischen Perm und früher Trias des Münstertaler Verrucanos.

In unserem Kartiergebiet zieht der Verrucano der Ortler-Decke mehr oder weniger als kontinuierliches Band unter den Triassedimenten durch: südöstlich der Alp Chaschauna beginnend, danach der östlichen Talflanke folgend, bis er schliesslich südlich des Piz Chaschauna auskeilt. Weiter finden wir Verrucano an wenigen Stellen im südlichen Talende lokal aufgeschlossen.

In der Val Püra ist der Verrucano fast 50 m mächtig. Das Sedimentationsgefüge lässt auf eine kontinentale, fluviatile Sedimentation schliessen. Das Sediment wurde also vermutlich in Flusssystemen und alluvialen Ebenen abgelagert. Die grosse Korngrösse (zum Teil mehrere cm) der Komponenten im Konglomerat deuten auf eine kurze Transportdistanz des Materials hin. Wahrscheinlich hat zur Zeit der Ablagerung im Hinterland eine tiefgründige lateritartige Verwitterung stattgefunden, deren Schutt durch Schichtfluten in lokalen Senken akkumuliert wurde. Dabei ist sowohl vulkanischer, als auch kristalliner Detritus abgelagert worden.

Wie ist die rote Färbung entstanden? Dafür sind wohl in erster Linie Eisen (III)-Verbindungen (unter anderem Hämatit) verantwortlich. Die Färbung könnte primär, das heisst sedimentär bedingt sein, da die Vulkanoklasten mehrheitlich rot gefärbt sind. Nach DÖSSEGER (1974) kann heute nicht mehr entschieden werden, ob die rote Farbe primär durch die eingesedimentierten hämatitreichen Klasten, eine sekundäre Entstehung an Ort und Stelle oder allenfalls durch diagenetische Prozesse entstanden ist.

Konkordant über dem Verrucano folgen die Sedimente der Fuorn-Formation, welche im nächsten Abschnitt kurz beschrieben werden. Für eine genaue Beschreibung des Val Püra-Members sei auf die Arbeit von DÖSSEGER (1974) verwiesen.



Abb. 2.18: Erosionsdiskordanz im Verrucano mit einer grobklastischen Schicht im Hangenden.



Abb. 2.19: Anschliff von einem typischen Verrucano: Grosse Quarz- und Feldspatkristalle, sowie Gesteinsbruchstücke sind die dominanten Komponenten in der rötlichen Matrix.

Gesteinsprobe	19
Fundort	Val Püra (801320.8/162231.3)
Gesteinstyp	Grobkörniger Quarzsandstein
Lithostratigraphische Einheit	Verrucano der Chazforà-Formation

Feldbefund:

Rotes, grobklastisches Gestein. Grosse, bis auf mehrere cm ausgelängte, weisse Quarzkomponenten sind ein typisches Merkmal für diesen Gesteinstyp. Die Quarze sind die grössten Komponenten im Sediment. Gesteinsbruchstücke und Fe-Oxide tragen zum makroskopisch rötlichen Erscheinungsbild bei. Stellenweise ist das Gestein plastisch deformiert worden, eine Paralleltexur ist jedoch nicht sichtbar.

Mikroskopische Beschreibung:

Dicht gepacktes, schlecht sortiertes Gestein. Glimmerreiche Partien, Quarz, sericitisierter Plagioklas und Gesteinsfragmente dominieren das Sediment mengenmässig. Die detritischen Hellglimmer haben eine Farbe hoher Ordnung unter gekreuzt polarisiertem Licht. Die markoskopisch dunkelroten Partien bestehen aus Hämatit. Glimmerreiche Partien erscheinen auf den ersten Blick wie eine Matrix. Bei einer genaueren Betrachtung zeigt sich jedoch, dass es sich um viele kleine Gesteinsbruchstücke handelt und praktisch keine Matrix vorhanden ist. Dolomit tritt nicht als detritische Komponenten auf, sondern verfüllt als Zement einzelne Porenräume.

Mineralbestand:

Quarz (50 %), Gesteinsbruchstücke (20 %) (vermutlich Vulkanoklasten und Kristallinfragmente), Hellglimmer (10 %), Hämatit (10 %), sericitisierter Plagioklas (5 %), akzessorische Mineralien (5 %): Biotit und Dolomit

Interpretation:

Der Hämatit ist nach der Ablagerung des Sediments entstanden und somit handelt es sich um ein diagenetisches Oxidationsprodukt. Die Biotite werden typischerweise durch Eisenoxid ersetzt. Die Oxidation findet bevorzugt im Biotit statt, da mehr Fe^{2+} im Biotit als im Hellglimmer vorhanden ist. Nach der Sedimentation der Körner hat wohl eine Infiltration von Ton in den Porenraum stattgefunden. Einzelne Poren sind dabei vermutlich leer geblieben und wurden erst später mit einsetzender Deformation geschlossen.

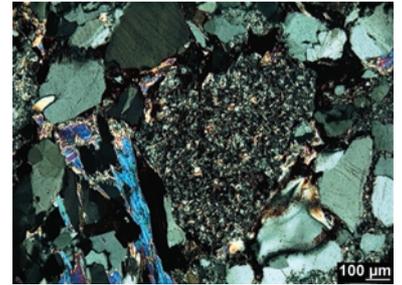


Abb. 2.21: Dünnschliffbild von einem Vulkanoklasten (im Zentrum) umgeben von Quarz (grau) und Hellglimmer (blau).

2.2.5 Der Buntsandstein

Das hier beschriebene Gestein ist ein kompakter, meistens grobkörniger Sandstein, welcher direkt auf dem Verrucano abgelagert wurde. Weil der Sandstein in der Kontaktzone zum Verrucano eine rötliche Farbe zeigt, ist es schwierig die Grenze zwischen diesen zwei Schichten zu ziehen. Die im Sandstein auftretende Bankung kann jedoch als Unterscheidungskriterium benutzt werden. Der Buntsandstein schäumt schwach mit sechszehntiger Salzsäure, wobei der Verrucano keine Reaktion zeigt. Als weiteres Unterscheidungsmerkmal kann somit der unterschiedliche Carbonatgehalt beigezogen werden.

In den vorwiegend detritischen Sedimenten können verschiedene Zonen ausgeschieden werden. In der Kontaktzone zum Verrucano befinden sich, wie bereits erwähnt, rote Sandsteine, gefolgt von grünlich-gelben, quarzreichen Sandsteinen. Diese werden ihrerseits von grünen und roten Siltschiefern und Sandsteinen, Rauhwacken und Dolomiten überlagert. In der Literatur werden diese Sedimente als Fuorn-Formation zusammengefasst und zeitlich der frühen bis mittleren Trias zugeordnet (SCHMID et al. 1997).

Ein schöner Buntsandstein-Aufschluss befindet sich nordöstlich der Alp Chaschauna, unterhalb des inaktiven Blockgletschers. An dieser Lokalität wurde auch ein Fossil gefunden, vermutlich ein Schachtelhalmgewächs der Art *Equisetes sp.* (nach MENKVELD, mündliche Mitteilung).



Abb. 2.22: Fossiles Stück Holz von einem Schachtelhalmgewächs der Art *Equisetes sp.* im Buntsandstein.

Gesteinsprobe	22
Fundort	Val Püra (801266.9/162317.3)
Gesteinstyp	Grobkörniger Quarzsandstein
Lithostratigraphische Einheit:	Sandstein der Fuorn-Formation (Ortler-Decke)

Feldbefund:

Grobkörniger, dichter, Quarzsandstein. Quarz ist eindeutig am häufigsten im Korngemisch enthalten. Gut zu sehen sind auch die weissen Feldspäte. Weiter auffallend sind die zahlreichen rostig-braunen Mineralien. Vereinzelt durchschlagen calcitische Klüfte das Gestein.

Der Sandstein wittert im Feld rosa an und schäumt leicht mit sechsprozentiger Salzsäure.

Mikroskopische Beschreibung:

Unter dem Mikroskop fällt die inhomogene Kornverteilung auf. Grosse Quarzkomponenten, und feinkörnige Komponenten lassen sich erkennen. Der feinkörnige Anteil lässt sich weiter unterscheiden: Zum einen besteht die Matrix aus feinkörnigem Quarz und zum anderen aus einer aufgearbeiteten, ehemaligen Matrix aus Silcrete-Geröllen. Die Unterscheidung dieser beiden Gemengteile ist nicht unproblematisch, da optische Unterschiede nur bedingt sichtbar sind. Die grossen Quarzkomponenten sind eckig und in der Regel zerbrochen. Polykristalline Quarzkomponenten sind ebenfalls zu beobachten. Dolomit wächst teilweise in den Quarz hinein und umgekehrt. So ist im Dünnschliff ein Dolomitkorn mit einem anhedralen Quarzeinschluss zu erkennen. Hämatit befindet sich überall dort, wo es Karbonat hat und zwar vorzugsweise im Randbereich der Karbonatkomponenten. Weiter sind als Gesteinsbruchstücke basische Vulkanite (evt. Andesit) enthalten. Diese Komponenten erkennt man an der gesprenkelten, mosaikartigen Oberfläche unter gekreuzten Polarisatoren. Vereinzelt gehen Styrolithe durch das Gestein, was an der feinen Verzahnung des Quarzes sichtbar wird. Hellglimmer und saussuritisierte Plagioklase sind akzessorisch vorhanden. Hellglimmer bildet meist einen feinen Saum um die Klasten.

Mineralbestand:

Quarz und polykristalline Quarzkomponenten (60 %), Silcrete-Komponenten (20 %), sericitisierter Plagioklas (10 %), Calcit (5 %), akzessorische Mineralien (5 %): Dolomit, Vulkanoklasten, Hämatit und Hellglimmer

Interpretation:

Quarz ist der Hauptgemengeteil und somit kann das Gestein als Quarzsandstein bezeichnet werden. Es ist möglich, dass es sich beim beschriebenen Gestein um einen verkieselten Boden handelt. Das würde heissen, dass nachträglich eine Verkieselung der vermutlich ehemals tonigen Matrix stattgefunden hat. Dolomit ist vermutlich erst später auskristallisiert, da er sich an die Quarzkörner anschmiegt. Durch einen Verwitterungseffekt wird Dolomit in Fe-Hydroxid umgewandelt.



Abb. 2.23: Dünnschliffbild (einfach polarisiert) von einem Dolomitkristall, umgeben von einem Saum aus Eisen-Hydroxid.

2.2.6 Die Rauhacke

Dieses Gestein kann als zellig-poröser Dolomit oder Kalk beschrieben werden. Die löchrige Struktur ist durch sekundäre Auslaugung relativ leicht löslicher Bestandteile entstanden. Grosse Rauhacke Aufschlüsse sind selten in unserem Kartiergebiet anzutreffen. Oft findet man Rauhacke-Gerölle im Talgrund. Das hier beschriebene Sediment ist zusammen mit hellen Dolomiten Bestandteil der so genannten Raibler-Formation. Nach FRANK (1986) können drei verschiedene Makro-Rauhacketypen unterschieden werden, wobei es verschiedene Übergangstypen gibt.

1. Stratiforme Rauhacken

Schaumig bis eckig-poröses Calcitgestein, mit oder ohne Dolomit in den Poren (Abb. 2.24). Dieser Gesteinstyp kann auch Gerölle als Fremdkomponenten enthalten.

2. Tektonische Rauhacken

Von tektonischen Rauhacken spricht man, sofern das Gestein intensiv von Calcitadern durchzogen ist. Dieser Typ ist in der Nähe von tektonischen Kontakten verbreitet.

3. „Unechte“ Rauhacken

Hier handelt es sich um Dolomite mit einem hohen, teilweise calcitisch zementierten Porenvolumen.

Vermutlich treten lokal Sulfateinschlüsse auf, die direkt mit den Rauhacken in Verbindung stehen. Wir haben in Gebieten, wo Rauhacke und Sandsteine anstehend sind, stark sulfathaltiges Quellwasser gemessen mit Konzentrationen von über $1000 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$. Morphologisch bildet die Rauhacke charakteristische Säulen, die mehrere Meter hoch sein können. Ebenfalls sehr typisch ist das Auftreten von Blockschutt.

Zur Vegetation: Das Edelweiss (*Leontopodium alpinum*) wächst bevorzugt auf carbonathaltigen Böden und so bildet die Rauhacke das ideale Substrat für das Wachstum der seltenen Alpenpflanze. In der hinteren Val Chaschauna wachsen die Edelweisse ausschliesslich im näheren Umfeld der Rauhackevorkommen.



Abb. 2.24: Handstück einer stratiformen Rauhacke.

2.2.7 Anhydrit und Gips

Anhydrit und Gips sind sowohl die Bezeichnungen eines Minerals, als auch eines Gesteins. Wir beschreiben hier das Gestein. Chemisch gesehen unterscheiden sich Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) aufgrund ihres Wassergehalts. Auf dem Grat des Chaschauna-Pass ist ein mehrere Meter mächtiger Anhydritkomplex aufgeschlossen. Anhydritschichten bilden dort eine Wechsellagerung mit Rauhwacke (Abb. 2.25). Diese weichen, chemischen Sedimente werden schnell erodiert, was topographisch mit der Entstehung eines kleinen Sattels im Gelände sichtbar wird. Es ist eine Seltenheit, dass Anhydrit an der Oberfläche aufgeschlossen ist, da sich dieser unter Wassereinfluss zu Gips umwandelt. Bei der Dünnschliffbetrachtung wurde sichtbar, dass die Umwandlung stellenweise schon stattgefunden hat. Normalerweise ist Anhydrit erst ab einer Tiefe von 30-40 m ab Oberfläche anstehend (SCHAAD 1995). Die hier beschriebenen Evaporite können stratigraphisch vermutlich zur Raibler-Formation gezählt werden. Die Gesteine der Raibler Gruppe wurden in einem flachen, warmen, oft übersalzten Meer abgelagert. Für eine genauere Beschreibung der paläogeographischen Situation sei auf das Kapitel 2.1.1 verwiesen.

Diese leicht deformierbaren Sedimente bilden häufig Abscherhorizonte. Es ist anzunehmen, dass auch in unserem Kartiergebiet im Hangenden und Liegenden der Gips- und Anhydritschichten tektonische Bewegungen stattgefunden haben. Direkte Indizien dafür haben wir jedoch im Feld nicht finden können.

Durch Lösungsprozesse sind beim Chaschauna-Pass Senkungstrichter, so genannte Lösungsdolinen mit einem Durchmesser von mehreren Metern entstanden.



Abb. 2.25: Wechsellagerung von Anhydrit (weiss) und Rauhwacke (braun) beim grossen Anhydrit-Aufschluss auf dem Chaschauna-Pass.

2.2.8 Die Dolomite

Wir befinden uns im Einzugsgebiet der Engadiner Dolomite. Die Dolomitgesteine in der Val Chaschauna sind vielfältig, weshalb hier versucht wird, einen kurzen Überblick zu vermitteln. Für ausführliche Beschreibungen sei auf die Arbeiten von DÖSSEGER et al. (1982), FURRER (1993) und EBERLI (1985) verwiesen.

In der Val Chaschauna sind die Dolomite der Ortler- und Languard-Decke anstehend. Im Kessel von Chaschauna und südöstlich der Alp Chaschauna sind die Dolomite mehr als 100 Meter mächtig.

Die Unterscheidung der verschiedenen Dolomite gestaltet sich im Feld schwierig, da kaum Unterscheidungsmerkmale vorhanden sind. Aufgrund dieser Tatsache haben wir bei unserer Kartierung keine Differenzierung vorgenommen und die verschiedenen Dolomit-Formationen lithologisch einheitlich als Dolomit auskartiert. Einen Überblick über die mannigfaltigen Dolomit-Formationen und ihre stratigraphische Stellung zeigt folgendes Profil:

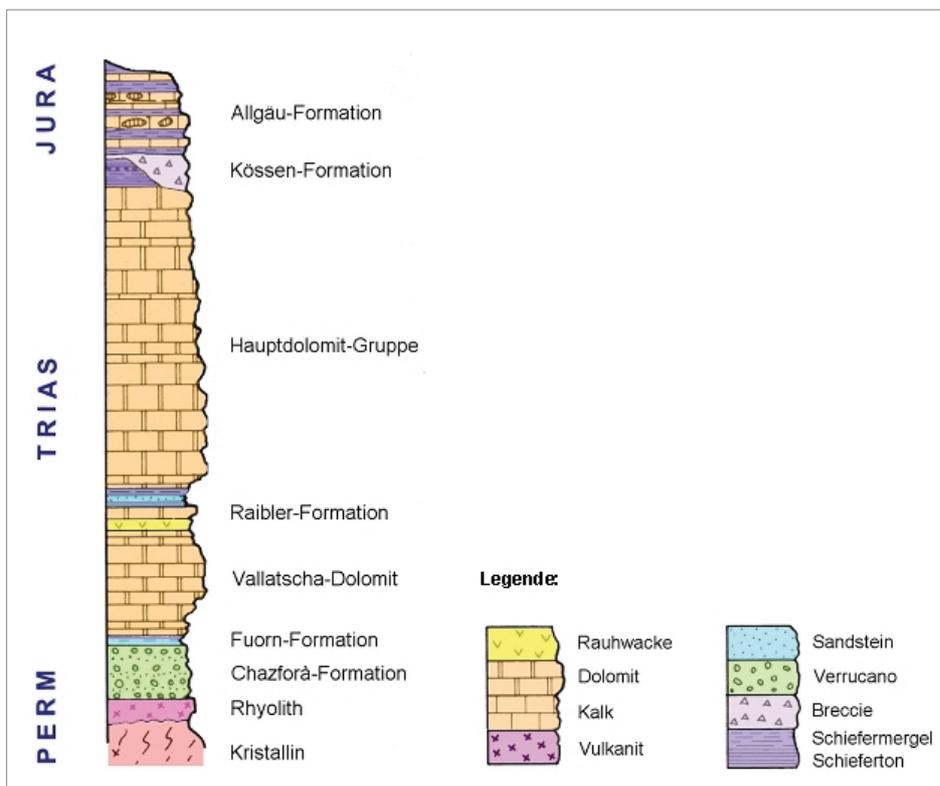


Abb. 2.26: Stratigraphie der Ortler-Decke in der Val Chaschauna und Val Trupchun. Erläuterungen der geologischen Karte 1:50 000 des Schweizerischen Nationalparks (nachbearbeitet).

Die ersten Dolomite treten in der Fuorn-Formation auf, wo sie lokal eine Wechsellagerung mit Tonschiefern und Sandsteinen bilden (Abb. 2.27). Über der Fuorn-Formation stehen die Carbonatgesteine der mittleren Trias an. In der Val Chaschauna wird dieses düstere, grau anwitternde Gestein Vallatscha-Dolomit genannt (Abb. 2.28). Die Raibler-Formation unterbricht die Dolomitabfolgen und zieht als gering mächtiges Band zwischen diesen durch. Im Hangenden der gelblich anwitternden Raibler-Formation folgt der Hauptdolomit. Dieser besteht vorwiegend aus grob- bis mittelbankigen Dolomiten, welche morphologisch als steile Wände in Erscheinung treten. Das Gestein ist fossilarm und hat eine hellgraue Farbe. Die Obergrenze wird je nach Region mit dem erstmaligen Einsetzen der Kössen- oder Allgäu-Formation gezogen.

Die Kössen-Formation unterscheidet sich von der liegenden Hauptdolomit-Formation vor allem durch den grossen Anteil an dunklen Schiefertönen und Mergeln; von der hangenden Allgäu-Formation durch die unregelmässige Bankung, die gelben Dolomite und das Fehlen von Verkieselungen und Hornsteinen. Die Obergrenze der Kössen-Formation liegt im Bereich der Trias-Jura-Grenze (DÖSSEGER et al. 1982).

Auf dem Chaschaunagrät (ausserhalb des Kartiergebietes) sind verschiedene chaotische Megabreccien (mit hausgrossen Einzelblöcken aus Hauptdolomit) und Konglomerate anstehend, welche FURRER (1993) als Chaschauna-Breccie bezeichnete (Abb.2.30). Stratigraphisch ist die Breccie in die untere Allgäu-Formation eingelagert, liegt aber zum Teil direkt auf schichtparallelen oder diskordant abgeschnittenen Sedimenten der Kössen- und Hauptdolomit-Formation.

An verschiedenen Orten haben wir Fossilien im Dolomit gefunden. Es sind dies Ammoniten und Belemniten (Abb. 2.31). Die Ammoniten sehen denjenigen aus dem Lias ähnlich. Es könnten Individuen folgender Arten sein: *Alsatites sp.*, *Vermiceras sp.* oder *Coraniceras sp.*. Der Belemnit könnte möglicherweise der Art *Nanobelus sp.* angehören (GEISTER, mündliche Mitteilung). Da die Fundstellen nicht anstehend sind, wagen wir keine eindeutige Zuordnung zu einer der erwähnten Formationen.

Vielorts bilden die Dolomite grosse Trockenschutthalden, wobei der Gehängeschutt stellenweise verkittet sein kann.

Noch ein paar Worte zur Vegetation: Auf dem Dolomit selbst wächst in der Regel eine rot-orange Flechte, welche vermutlich zur Art *Xanthoria elegans* gehört. Dort wo durch die Verwitterung ein carbonatreicher Boden entstanden ist, wächst vielerorts die Achtblättrige Silberwurz (*Dryas octopetala*). Doch die ausgeprägten Trockenschutthalden sind generell ein vegetationsfeindliches Milieu.

Der Dolomit ist lokal verkarstet. Oberhalb eines mächtigen Dolomitaufschlusses im Gebiet des Chaschauna-Pass lassen sich zahlreiche Dolinen finden. Sie sind in einer Reihe angeordnet und haben einen Durchmesser von weniger als fünf Meter. Der Dolinenboden ist mit Sedimenten abgedichtet, so dass sich nach einem starken Regenfall kleine Seen in den Depressionen bilden (Abb. 2.32).



Abb. 2.27: Dolomit in Wechsellagerung mit Tonschiefern.



Abb. 2.28: Dolomit mit vielen Bioklasten, vor allem Muscheln und Schnecken.



Abb. 2.29: Durchadertes Handstück, welches aus einem hellgrauen Dolomit und einem dunkelgrauen kieseligen Sediment besteht. Ein Stylolithkontakt trennt diese beiden Gesteinstypen.



Abb. 2.30: Breccie mit Dolomit-Komponenten in einer roten, feinkörnigen Matrix.



Abb. 2.31: Fossilien aus dem Lias: Ammoniten und ein Belemnit (oben rechts). (Balkenlänge = 1 cm).

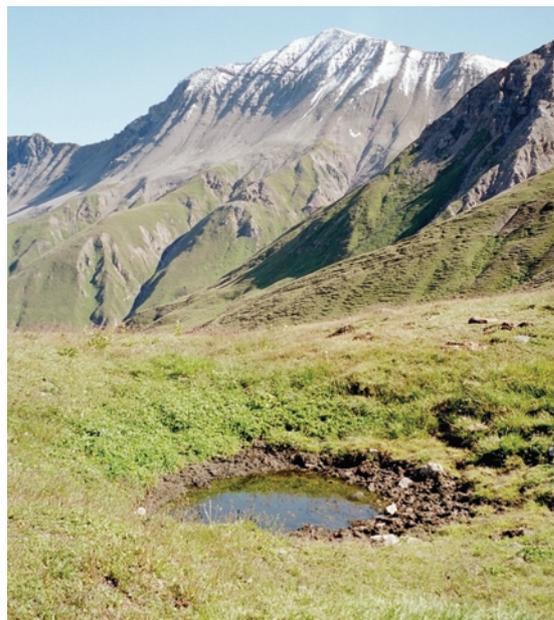


Abb. 2.32: Eine mit Wasser gefüllte Doline mit einem Durchmesser von ungefähr 3 Metern. Im Hintergrund ist der Piz Chaschauna zu sehen.

Gesteinsprobe	6
Fundort	Nördlich der Alp Chaschauna (800704.3/162433.1)
Gesteinstyp	Feinkörniger hellgrauer Dolomit (Crystalline nach DUNHAM)
Lithostratigraphische Einheit	Mitteltrias-Karbonatgestein der Ortler-Decke

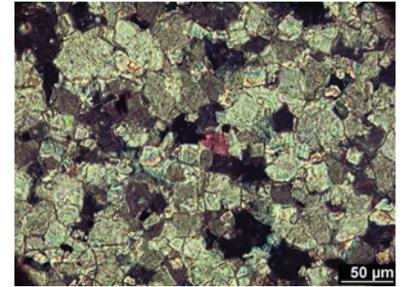


Abb. 2.33: Dünnschliffbild von Dolomit-Rhomboedern.

Feldbefund:

Makroskopisch fällt das betrachtete Gestein durch seine Feinkörnigkeit auf. Das Sediment hat eine hellgraue Farbe und besitzt Partien mit roter Färbung. Dabei handelt es sich um rote, schleierhafte Linien. Ein weiteres Merkmal sind die bräunlich-roten Klüfte, welche das Gestein durchschlagen. Zusätzlich ziehen kleine, Calcitklüfte durch das Gestein. Mit sechsprozentiger Salzsäure schäumen nur die mit Calcit verfüllten Adern.

Mikroskopische Beschreibung:

Bei der mikroskopischen Betrachtung erscheint das Gestein sehr feinkörnig und homogen. Die auskristallisierten, idiomorphen Dolomitkristalle haben Korn-Korn-Kontakt. Die typische 120° Spaltbarkeit im Dolomit ist gut zu erkennen. Bei den dunkelroten Klüften, handelt es sich um Hämatit, der zwischen den Dolomit-Rhomboedern angeordnet ist.

Mineralbestand:

Dolomit (98 %), akzessorische Mineralien (2 %): Hämatit oder Limonit

Interpretation:

Das Sediment kann als kristallines Dolomitmosaik bezeichnet werden, welches durch diagenetische Prozesse entstanden ist. Indizien auf das Ursprungsgestein lassen sich nicht mehr finden.

Die schleierhaften Linien, welche meistens parallel zu den Klüften verlaufen, sind wahrscheinlich durch Diffusionsprozesse entstanden. Vermutlich sind mineralisierte Lösungen in das Sediment eingedrungen und haben das Gestein partiell reduziert. Später haben im Sediment evt. wieder Oxidationsprozesse stattgefunden.

Weiter ist erwähnenswert, dass der Dolomit bei der Karbonatfärbung keine Reaktion gezeigt hat. Der Dolomit ist also nicht eisenhaltig.

3 Jüngste geologische Prozesse

3.1 Glaziale Landschaftsformen

Heute sind in der Val Chaschauna keine Gletscher mehr vorhanden, jedoch sind vielerorts Zeugen von alten Vergletscherungen erhalten geblieben. Spezifische morphologische Formen und deren Inhalt sind untrügliche Zeichen glazialer Prozesse. Einzelne solche Formen werden im Folgenden kurz besprochen.

3.1.1 Die Schliftgrenze

Während der letzten pleistozänen Eiszeit war das gesamte Kartiergebiet mit Ausnahme der höchsten Berggipfel mit Gletschereis bedeckt. Zu jener Zeit befanden sich drei Eisdome in den Alpen, von welchen sich das Eis weit über die Alpen hinaus bis ins Alpenvorland erstreckte. Nur vereinzelt ragten Berge, so genannte Nunataker, aus dem Eis. Mit der Schliftgrenze kann gezeigt werden, bis zu welcher Höhe die Berge während des Maximums der letzten Eiszeit (LGM) mit Gletschereis bedeckt waren. Die Schliftgrenze markiert die Obergrenze der erosiven Tätigkeit eines Gletschers. Im Gelände trennt diese Grenze das vom Gletscher überschliffene vom unüberschliffenen Gebiet und wird durch eine Stufe sichtbar. Am besten ist die Schliftgrenze in kristallinen Gesteinen entwickelt.

Die Untersuchungen von FLORINETH (1998) zeigen, dass die Schliftgrenze des LGM in der Val Chaschauna vermutlich über 2820 m ü.M. liegt. Dies folgern wir aus einem Vergleich der Schliftgrenzen in der Nähe der Val Chaschauna: Cima del Fopel (2860), Piz d'Esan (2910), Crasta Mora (2820) und Piz Pischa (2940). Der Munt Chaschauna, welcher die westliche Talseite der Val Chaschauna bildet, war während des LGM mit Gletschereis bedeckt. Seine maximale Höhe von 2828 m ü.M. ist somit gleich der minimalen Höhe der Schliftgrenze in unserem Kartiergebiet.

In der Val Chaschauna ist keine Schliftgrenze sichtbar. Die Abwesenheit dieser Grenze ist vermutlich auf jüngere Verwitterungsprozesse in den anstehenden Dolomiten zurückzuführen. Erosion und Überdeckung mit Gehängeschutt haben die Schliftgrenze zum Verschwinden gebracht.

3.1.2 Moränen

Moränen sind einerseits durch ihre morphologische Form und andererseits durch ihren Inhalt definiert. Die englische Bezeichnung “till“ schafft Klarheit, denn diese beschreibt nur den Moräneninhalt, also das Sediment. Allgemein gültig ist dabei die Definition von Moräne als Sediment von DREIMANIS & LUNDQVIST (1984): „Moräne ist ein Sediment, das im Gletschereis transportiert und durch Gletschereis abgelagert worden ist, ohne oder mit nur geringfügiger Sortierung durch Wasser.“



Abb. 3.1: Zwei parallel verlaufende Moränenrücken unterhalb des Piz Chaschauna.

Aufgrund dieser Definition als auch der morphologischen Form haben wir im Untersuchungsgebiet einige Moränenrücken auskartieren können (Abb. 3.1). Die Moränenbedeckung ist heute vielerorts von einer Verwitterungsdecke überdeckt und deshalb nicht mehr direkt zugänglich. Im Kessel von Chaschauna und auf der östlichen Talflanke ist die Moränenbedeckung jedoch teilweise aufgeschlossen. Es ist dies das Gletschersediment sensu stricto, die Grundmoräne (“basal lodgement till“). Nach SCHLÜCHTER (1989) zählt die Grundmoräne zu den Ortho-Moränen (oder Primär-Moränen), welche direkt durch den Gletscher abgelagert worden sind.

In Anlehnung an SCHLÜCHTER (1989) sollen folgend die Eigenschaften der Grundmoräne erläutert werden.

1. Korngrössenzusammensetzung

Die Grundmoräne besitzt ein charakteristisches Korngemisch, welches durch den Gletscher selbst produziert wird. Die sedimentologische Bezeichnung für das glaziale Lockergestein ist Diamikt, das heisst alle Korngrößen von der Tonfraktion bis zu metergrossen Blöcken (Abb. 3.2) sind vorhanden. In einer Kornsummenkurve im halb-logarithmischen Diagramm weist die Grundmoräne folglich einen diagonalen Kurvenverlauf auf. Das Sediment ist nicht sortiert.



Abb. 3.2: Grundmoränenauflschluss bei den Koordinaten 801333/160752. Zu sehen sind die diamiktische Textur und die Negativformen im Sediment.

2. Wassergehalt und Plastizitätseigenschaften

Von Bedeutung ist der natürliche Wassergehalt im Zusammenhang mit den Plastizitätseigenschaften. Der Wassergehalt einer Grundmoräne liegt im Bereich der Ausrollgrenze (w_p), im Übergang von halbfestem zu plastischem Zustand. In einem Plastizitätsdiagramm, in dem der Plastizitätsindex (I_p) gegen die Fließgrenze (w_L) aufgetragen wird, liegen die Werte einer Grundmoräne auf der so genannten Till-Linie (T-Linie).

3. Lagerungsdichte

Die Grundmoräne ist ein stark kompaktiertes Sediment ohne sichtbare Porosität. Die maximale Verdichtung oder die höchste Lagerungsdichte ist bei einem streng definierten Wassergehalt am grössten. Dieser Wassergehalt entspricht dem natürlichen Wassergehalt einer Grundmoräne. Daraus folgt, dass die Grundmoräne maximal verdichtet ist. Das Korngemisch wird rein mechanisch durch Überlagerungsdruck und Scherkräfte des Gletschers verdichtet.

Wird ein Geschiebe aus der Grundmoräne entfernt, bleibt im Sediment eine Negativform zurück (Abb. 3.2). Dies ist ein weiteres charakteristisches Kriterium für eine Grundmoräne.

Bei der Verdichtung ist wichtig, dass das überschüssige (ausgepresste) Wasser drainieren kann. Zwischen Gletscher und Gletscheruntergrund muss Wasser abfließen können.

4. Einregelung (“till fabric“)

Die Grundmoräne entsteht durch Ankleistern beziehungsweise Steckenbleiben der Komponenten an der Gletscherbasis unterhalb der Gleichgewichtslinie. Dabei findet ein geregeltes Aufschieben von länglichen Gesteinen statt. Auch die Sandfraktion wird eingeregelt. An der Gletscherzunge werden die Komponenten parallel zur Gletscher-Hauptfliessrichtung eingeregelt.

Das “till fabric“ kann im Sediment eingemessen werden, womit wichtige Informationen über die Fließbewegungen des Eises gewonnen werden können.

5. Klüftung (“fissility“)

Dabei handelt es sich um eine Entlastungsklüftung, welche nach dem Wegfallen der Eisüberlast entsteht. Die Hauptflächen der feinen Spalten verlaufen senkrecht oder parallel zur Oberfläche.

6. Form der Geschiebe

Der Gletscher lagert Geschiebe mit charakteristischen Formen ab, die auf einen Transport im Gletscher hinweisen. Die oft bügeleisenförmigen Gesteine sind durch Abschmirgelungsprozesse des Gletschers bedingt (Abb. 3.3). Ebenfalls typisch ist die gekritzte Oberfläche der Geschiebe. Lithologie und Transportdauer im Eis sind wichtige Randbedingungen für die Zuformung. Harte kristalline Gesteine zeigen bevorzugt Gletscherschliffe, wogegen die weicheren Sedimentgesteine während dem Gletschertransport oft in kleine Gesteinsbruchstücke zerfallen.



Abb. 3.3: Gekritztes Geschiebe (Diabas) aus einem Moränenwall bei den Koordinaten 800715.1/159316.6.

3.1.3 Roches moutonnées (Rundhöcker)

Rundhöcker belegen eine kräftige Eiserosion in unserem Arbeitsgebiet. Im Kessel von Chaschauna ist ein schöner Rundhöcker anstehend. Es handelt sich um einen asymmetrischen stromlinienförmigen Felsbuckel mit einer Länge von ungefähr 4 m. Auf der gletscherzugewandten Seite (Stossseite) ist er abgeflacht und endet auf der Leeseite kantig und steil. Die Oberfläche ist mit Schliffen und Schrammen bedeckt. Heute können mit Hilfe der Orientierung der jeweiligen Stoss- und Leeseiten die lokalen Richtungen der Eisbewegung rekonstruiert werden. In unserem Beispiel wäre das Eis vom Kessel weg in Richtung Haupttal nach Nordosten geflossen. Nach BENN & EVANS (1998) entstehen die "roches moutonnées" bevorzugt unter geringmächtigen, temperierten Talgletschern und in der Nähe des Ausschmelzrandes ("melting margins") der Eisschicht. Es wäre möglich, dass der Rundhöcker während einer lokalen Vergletscherung des Kessels von Chaschauna in der kleinen Eiszeit (vor rund 150 Jahren), als das Eis geringmächtig war, seine heutige Form erhalten hat.



Abb. 3.4: Geschliffene Oberfläche eines "roche moutonnée" mit steil abfallender Leeseite (unten im Bild). Das Eis ist gegen den Betrachter geflossen.

3.1.4 Erratiker

Im Untersuchungsgebiet konnten einige Erratiker kartiert werden. Wir unterscheiden dabei zwischen Kristallin und Sedimenten. Erratiker oder Findlinge sind Gesteinsblöcke, die von einem Gletscher transportiert und abgelagert worden sind. Folgende zwei Kriterien lassen auf einen erratischen Block schliessen: (1) Das Gestein ist ortsfremd, das heisst im Ablagerungsgebiet nicht anstehend und (2) befindet sich an einer Stelle, wo es durch fluviatile oder gravitative Prozesse nicht hingelangen kann. Meistens sind die Blöcke kantengerundet und haben eine gekritzte Oberfläche.

Wenn ein solches Gestein nur in einem eng definierten Gebiet ansteht, kann die Verbreitung der erratischen Blöcke den Weg anzeigen, den das Eis zurückgelegt hat. In der Val Chaschauna sind die Erratiker Gneise und Dolomite, die im Tal zwar anstehen, jedoch ohne Gletschertransport kaum an den Ablagerungsort gelangen können. Es ist leider nicht möglich eine Fliessrichtung des Gletschers abzuleiten, da die Gesteine in der näheren Umgebung anstehend sind.

3.1.5 Schneehaldenmoräne (Firmoräne)

Diese Art von Moräne verdankt ihre Entstehung nicht einem Gletscher, sondern bildet sich kleinräumig am äusseren Rand eines Schneefelds, wo das ganze Jahr Schnee liegt. An der Front des Schneefeldes werden die Gesteine abgelagert, welche gravitativ über das Schneefeld transportiert wurden. Dies bedingt, dass das Schneefeld in einem steilen Gelände, wie zum Beispiel in der Val Chaschauna an einer Talflanke liegt. Heute ist das Schneefeld vollständig zurückgeschmolzen. Einzig übrig geblieben ist ein ungefähr 30 m langer, u-förmiger Wall. Diese Schneehaldenmoräne ist ungefähr ein Meter mächtig und mit Vegetation bewachsen (Abb. 3.5).



Abb. 3.5: Radial um eine Depression (Bildmitte) liegt der Wall der Schneehaldenmoräne.

3.1.6 Eisrandterrassen (Kameterrassen)

Die Eisrandterrassen entstehen an den Seiten von Talgletschern in einer Zone zwischen dem Gletscher und dem angrenzenden Talhang. Bäche, die von höherem Gelände kommen und an der Seite des Gletschers entlang fließen, sortieren das vom Gletscher freigegebene Sediment. Dabei kommt es zu einer Akkumulation von Schutt. Nach AHNERT (1999) bleibt nach dem Abschmelzen des Gletschers dieser Sand- und Schotterkörper an der Talflanke stehen und bildet eine Terrasse mit flacher Oberfläche.

Aufgrund von morphologischen Kriterien haben wir in der Val Chaschauna entlang der östlichen Talseite einige wenige Eisrandterrassen kartiert. Bäche, die aus den Seitentälern kommen, haben die Eisrandterrassen weitgehend erodiert.

3.2 Periglaziale Denudationsprozesse

Nach AHNERT (1999) steht das Adjektiv periglazial als Sammelbegriff für die natürlichen Eigenschaften kaltklimatischer Gebiete, die unvergletschert sind, deren Unterboden jedoch während des ganzen Jahres gefroren bleibt. Diese Definition erfordert zwei klimatische Randbedingungen der Periglazialgebiete: eine mittlere Jahrestemperatur unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und ausreichend sommerliche Wärme, um den im Laufe des Jahres fallenden Schnee vollständig zu schmelzen, so dass sich keine Gletscher bilden können. Die Periglazialgebiete der Erde liegen daher vor allem in den hohen Breiten: in der Arktis Europas, Asiens und Nordamerikas sowie auf den relativ kleinen unvergletscherten Randbereichen und Inseln der Antarktis. Die grössten rezenten Periglazialgebiete befinden sich in Nordasien. Ausserhalb der Subpolarbereiche gibt es die periglaziale Höhenstufe der Gebirge. Diese erstreckt sich von der natürlichen Waldgrenze bis an die Schneegrenze. Gemäss dieser Festlegung liegt das ganze Untersuchungsgebiet der oberen Val Chaschauna in dieser Höhenstufe.



Abb. 3.6: Periglaziallandschaft am italienisch-schweizerischen Grenzgrat; im Hintergrund die schneebedeckten Gipfel der Berninagruppe.

In den Periglazialgebieten wird der Boden in zwei Einheiten unterteilt: in eine untere, dauernd gefrorene Bodenschicht (Permafrost) und in eine obere Bodenschicht, die in der warmen Jahreszeit auftaut (Auftauboden). Bodengefrorenis alleine – so genannter trockener Permafrost – hat geringe Auswirkungen auf die Formung der Landoberfläche. Erst bei Anwesenheit von gefrierendem und wieder auftauendem Wasser setzt die typisch periglaziale Umgestaltung der Landoberfläche ein. Für das Auftreten der Periglazialerscheinungen ist somit vorwiegend der bewegliche Auftauboden verantwortlich.

In einem Gebiet wie der Val Chaschauna, wo der Permafrost nur noch stellenweise den Unterboden ausmacht, spricht man von diskontinuierlichem Permafrost. Für vorübergehende periglaziale Bedingungen, wie sie ebenfalls lokal vorherrschen, steht der saisonale Permafrost. Hier taut der Unterboden im Hoch- und Spätsommer zwar völlig auf, bleibt aber im Frühjahr und Frühsommer noch lange gefroren, während der Oberboden bereits aufgetaut ist. Der saisonale Permafrost hinterlässt Periglazialerscheinungen, die deutlich unterhalb der tatsächlichen Permafrostgrenze liegen. Die wichtigsten geomorphologischen Umweltbedingungen in Periglazialgebieten sind

einerseits Intensität und Häufigkeit des Frostwechsels, andererseits die Undurchlässigkeit des Permafrosts. Letztere führt dazu, dass das Niederschlags- und Schneeschmelzwasser im Auftauboden gestaut wird, dieser dadurch erhöhte Fließfähigkeit erhält und bei Gefrieren und Wiederauftauen des Bodenwassers Materialbewegungen hervorgerufen werden (AHNERT 1999).

Obschon die gesamte obere Val Chaschauna in der periglazialen Höhenstufe liegt, werden heute nur ihre höchsten Regionen (über 2600 m ü.M.) von periglazialen Bedingungen geprägt. Dies trifft sowohl für das Talende wie auch für die östliche Talflanke zu. Die westliche Talseite liegt heute hingegen ausserhalb dieser klimatischen Verhältnisse. Am eindrucklichsten präsentiert sich die Periglaziallandschaft am Süden des Tals, wo die karge Vegetation mit dem Gelben Alpen-Mohn (*Papaver aurantiacum*) und wenigen Polsterrasen das arktische Landschaftsbild verstärkt. Dass dieses Gebiet den subpolaren Regionen ähnlich ist, bestätigen ornithologische Beobachtungen. Der Mornellregenpfeifer (*Charadrius morinellus*), mit Hauptverbreitungsgebiet in der Arktis, rastet auf seinem Herbstzug an Stellen, die von der Vegetation und vom Landschaftsbild her mit seiner Heimat, dem nordischen Fjäll, übereinstimmen. Mitte August 2002 wurden nahe der italienischen Grenze zwei adulte Mornellregenpfeifer beobachtet. Zudem kam es im selben Gebiet 1998 zu einer Brut, welche neben jener von 1965 als bisher einzige bekannte Brutbeobachtung in der Schweiz gilt (MEIER-ZWICKY 1999).

Die einzelnen Landschaftselemente der Val Chaschauna, die den typischen Prozessen der periglazialen Zone zuzuordnen sind, werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.



Abb. 3.7: Gelber Alpen-Mohn (*Papaver aurantiacum*).



Abb. 3.8: Mornellregenpfeifer (*Charadrius morinellus*).

3.2.1 Erdzungen, Girlandenrasen und Wanderblöcke

An den meisten Hängen der Val Chaschauna finden starke Sedimentbewegungen statt. Neben der Abspülung durch Oberflächenwasser ist vor allem das Bodenfließen (die Solifluktion) massgeblich an den Materialumlagerungen beteiligt. Im Periglazialbereich werden die solifluidalen Prozesse als Gelifluktion bezeichnet, einer hangabwärts gerichteten, langsamen Massenbewegung über Dauerfrostboden. Ausgelöst wird dieser Fliessvorgang durch das Überschreiten der Fliessgrenze im wassergesättigten Auftauboden. Dies verlangt einen ausreichenden Anteil von feinkörnigem Material im Auftauboden, um das Wasser zu speichern. Mit dem verwitterten Moränenmaterial, das die Val Chaschauna grossflächig bis auf eine Höhe von 2600 bis 2700 m ü.M. überdeckt, ist diese Voraussetzung weitgehend erfüllt.



Abb. 3.9: Gelifluktionshang in der obersten Val Püdra.

Geschwindigkeitsunterschiede im Bodenfließen führen zur Ausbildung von Erdzungen (Gelifluktionsszungen), die mit einer konvexen Front hangabwärts wandern. Die Vorderkante einer solchen Erdzunge ist meist steil und enthält eine grössere Konzentration von Steinen als das Innere der Zunge. Die Längenausdehnung der kartierten Erdzungen liegt zwischen 1 und 20 m, das Breitenspektrum reicht von 0.5 bis 10 m. Teilweise werden die grösseren Gebilde von kleineren Erdzungen überlagert. Ausserhalb des Arbeitsgebietes, südöstlich des Pass Chaschauna, bewegen sich zwei riesige Gelifluktionsszungen von mehreren zehn Metern hangabwärts (Abb. 3.11).

Die jährlichen Bewegungsbeträge der Gelifluktion hängen unter anderem von der Hangneigung, der Bodenbeschaffenheit und von der Menge des verfügbaren Wassers ab. Mehrjährige Untersuchungen von VEIT et al. (1995) auf 2600–2700 m ü.M. in den Hohen Tauern ergaben jährliche Mittelwerte der in der sommerlichen Auftauphase stattfindenden periglazialen Gelifluktionsszungenbewegungen zwischen 0 bis 2 cm/Jahr und 20 cm/Jahr, je nach Gefälle und anderen lokalen Bedingungen wie beispielsweise Bewuchs und Durchfeuchtung.

Nach dem Grad der Beeinflussung des Bodenfließens durch die Vegetation wird zwischen freier und gebundener Gelifluktion unterschieden. Bei Letzterer wird die Hangabwärtsbewegung durch das Wurzelwerk einer geschlossenen Vegetationsbedeckung behindert beziehungsweise verzögert. Durch Bewuchs nicht eingeschränkt wird die Fliessbewegung des Bodens bei freier Gelifluktion. Eine häufig auftretende Form der gebundenen Gelifluktion stellen die Girlandenrasen dar (Abb. 3.13). Meistens sind diese Oberflächenformen direkt unterhalb von Dolomitaufschlüssen zu finden. Die vorwiegend aus Gräsern bestehende, girlandenförmige Wulst wirkt auf den Hang stabilisierend und hält die losen Gesteinsbruchstücke zusammen.



Abb. 3.10: Erdzunge bei den Koordinaten 801239/159724.



Abb. 3.11: Riesenerdzungen mit überlagerter Gelifluktion; südöstlich des Pass Chaschauna (II).

Ein besonderes Abbild der Gelifluktion und/oder des Frostkriechens stellen die Wanderblöcke dar (WASHBURN 1979). Wanderblöcke sind isolierte Gesteinsblöcke, die sich langsam hangabwärts bewegen. An ihrer talwärtigen Seite bildet sich eine Stauchwulst aus, während hangaufwärts eine Auswanderungsfurche den Bewegungsverlauf dokumentiert. Depression und Wulst entstehen bei der hangabwärtigen Bewegung des Steinblocks; ihre Grössenausdehnung ist direkt proportional zur Grösse des rutschenden Steins.

Die Höhenverteilung von Wanderblöcken und Girlandenrasen wurde von FURRER & DORIGO (1972) verwendet, um die Untergrenze der Gelifluktion in den Schweizer Alpen zu bestimmen. Die so ermittelte Gelifluktionsuntergrenze lag damals in einer Höhe von ungefähr 2200 m ü.M..

3.2.2 Nivationsnischen

Nivationsnischen entstehen im Bereich von Schneeflecken, die bis weit in den Sommer hinein Bestand haben. Sie bilden sich als Folge der Nivation – einem direkten wie auch indirekten Abtragungsvorgang durch Schnee. Der direkte Abtrag ereignet sich dabei an geneigten Oberflächen durch Schneerutschungen. Indirekt erfolgt die Denudation durch eine örtlich verstärkte Gelifluktion am hangabwärtigen Rand des Schneeflecks. Das anfallende Schmelzwasser durchtränkt den Auftauboden bis weit in die warme Jahreszeit hinein und hält so die Bodenbewegung länger am Laufen als an anderen, schneefreien Hangpartien. Mit dem Fortschreiten der Schneeschmelze verschiebt sich auch der Rand des Schneeflecks hangaufwärts und mit ihm die Stelle der intensivsten Nivation. Dieser Vorgang wiederholt sich Jahr für Jahr, so dass im Bereich des Schneeflecks durch den nivationsbedingten Materialabtransport eine Hohlform entsteht, die so genannte Nivationsnische. Die Muldenmorphologie löst einen positiven “feedback“-Prozess aus: Der Hohlraum bietet Platz für eine grössere Schneeansammlung und verstärkt somit den Nivationseffekt. Nivationsnischen entwickeln sich heute vor allem am Talabschluss der Val Chaschauna an nordexponierten Hängen mit geringer Sonneneinstrahlung.



Abb. 3.12: Wanderblock bei den Koordinaten 801880/160749.



Abb.3.13: Girlandenrasen auf basischem Substrat am Plaun dala Crappa.



Abb. 3.14: Nivationsnische am südlichen Talende.

3.2.3 Frostverwitterung und Felsenmeer

Wie zu Beginn bereits kurz angedeutet, spielen Häufigkeit und Intensität der Frostzyklen eine entscheidende Rolle im periglazialen Landschaftsbild. Dringt Wasser in Poren und Spalten eines Gesteins und sinkt danach die Temperatur unter den Gefrierpunkt, führt die Eisbildung zu einer Volumenzunahme von ungefähr neun Prozent (WASHBURN 1979). Bei häufigem Frostwechsel hält das Gestein diesen Volumenveränderungen nicht stand; es kommt zur Zerlegung des Festgesteins in groben Frostschutt. Am intensivsten ist die Frostsprengung im Frühling, wenn Schmelzwasser in Hohlräume eindringt und wieder gefriert. Dies äussert sich in dieser Jahreszeit mit verstärktem Steinschlag.

Auf ebenem oder sanft geneigtem Gelände kann die Frostverwitterung zur Ausbildung von Blockfeldern und Blockhängen, den so genannten Felsenmeeren, führen. Das Resultat einer solchen in situ erfolgten physikalischen Verwitterung ist am Munt Chaschauna zu sehen.

3.2.4 Strukturboden

Die Entstehung der Struktur- oder Frostmusterböden ist eines der typischen Merkmale der periglazialen Zone. Erneut wird der Bildungsvorgang vom alternierenden Gefrieren/Auftauen des Bodens gesteuert. An der Erdoberfläche werden die Steine bei jedem Frostwechsel horizontal bewegt, und zwar normalerweise weg von den feinteilreichen Partien, die sich wegen des gespeicherten Porenwassers beim Gefrieren ausdehnen und zugleich aufwölben. Die Steine bewegen sich von diesen Wölbungszentren radial nach aussen, bis sie den von benachbarten Wölbungszentren wegbelegten Steinen begegnen. Auf ebenen Flächen kommt es allmählich zu einer netzförmigen Anordnung von Steinen mit feinkörnigerem Material in den „Maschen“ des Netzes. Ein so entstandenes polygonales Steinnetz gehört in die Kategorie der sortierten Polygone und unterscheidet sich von den unsortierten Polygonen durch seine Genese. Nichtsortierte Polygone sind im Wesentlichen ein Ergebnis der Austrocknung des Bodens (Trockenrisse) und/oder der Eiskeilbildung, während sortierte Polygone durch frostdynamische Bodenbewegungen hervorgerufen werden (EHLERS 1994). Ein schönes Beispiel polygonaler Trockenrisse war im Sommer 2002 östlich des Bergwegs, ungefähr 200 m unterhalb der Fuorcla Chaschauna, zu sehen (Abb. 3.16).



Abb. 3.15: Frostsprengung im Orthogneis.



Abb. 3.16: Unsortierter Polygonboden bei den Koordinaten 799900/158580.

In steileren Hangpositionen fehlen die polygonalen Muster, dafür kommen streifenartige Materialsortierungen vor – die Steinstreifen. Hangabwärts gerichtete schmale Bänder von Steinen, getrennt durch parallele Bänder aus Feinmaterial, charakterisieren diese Oberflächenstruktur. Eine vom Feinmaterial ausgehende laterale Bewegung zu den beiden benachbarten Steinstreifen erzeugt teilweise ein Steilstellen der plattigen Komponenten. In der Val Chaschauna sind streifenartige Strukturböden gut ausgebildet und häufig entlang des italienisch-schweizerischen Grenzgrates anzutreffen. Zusammenhängende, sortierte polygonale Muster konnten dagegen keine beobachtet werden. Ansätze zu einer solchen netzförmigen Frostanordnung der Steine wurden einzig im Talkessel gefunden.



Abb. 3.17: Steinstreifen bei den Koordinaten 802103/160179.

3.2.5 Blockgletscher

Die grössten periglazialen Gebilde machen die Blockgletscher aus. Sie stellen zungenförmige, gefrorene Schuttmassen dar, die sich im aktiven Zustand gletscherähnlich hangabwärts bewegen. Gewöhnlich entwickeln sie sich aus besonders mächtigen Schutthalden, wo niedrige Bodentemperaturen das versickernde Schneeschmelzwasser im Porenraum des Gesteinsschutts gefrieren lassen. Charakteristische Merkmale aktiver Blockgletscher sind die steile, unverfestigte Front und eine quer zur Fliessbewegungsrichtung strukturierte Oberfläche mit Stauchwällen. Nach KARTE (1979) treten aktive Blockgletscher vor allem im oberen Teil der periglazialen Höhenstufe auf. Grundsätzlich können sie in allen Expositionen vorkommen, doch ist ein vermehrtes Auftreten an nordseitigen Expositionen erkennbar.

Aktive Blockgletscher sind in der Val Chaschauna nur noch kleinmassstäblich und auf über 2700 m ü.M. vorhanden. Neben wenigen Vorkommen an Nord-Expositionen im Talabschluss liegt ein aktiver Blockgletscher im Kessel unterhalb der Punta Casana. Aus dem südlichsten Kesselbereich geht er aus der Schuttzone eines mächtigen, blockig verwitternden Diabas-Gangs hervor. Die noch heute fortdauernde Aktivität dieses Blockgletschers ist an Stauchwällen im Frontbereich erkennbar. Zudem ver-

deutlichen die unverfestigten, bei jedem Schritt gefährlich kippenden, „lebendigen“ Schuttkomponenten den aktiven Zustand. Wassertemperaturmessungen an der Front dieser Periglazialerscheinung bestätigten die geomorphologischen Beobachtungen. Die Wassertemperatur (QE77) lag bei den Messungen nie über 1.7 °C, was auf das Vorhandensein eines Eiskerns schliessen lässt.



Abb. 3.18: Aktiver Blockgletscher im Kessel unterhalb der Punta Casana.

Zahlreicher und von grösserer Ausdehnung sind die inaktiven (besitzen zwar noch einen Eiskern, bewegen sich aber nicht mehr) und fossilen (eisfreien) Blockgletscher im Untersuchungsgebiet. Ein schöner Zeuge früherer Klimabedingungen findet sich oberhalb der Alp Chaschauna und ist in Abbildung 3.19 ersichtlich. Beim Blick von oben auf die reliktsche Blockgletscheroberfläche ist die typische Wellen-Mulden Morphologie zu erkennen, die nach dem Abschmelzen des Eises entstanden ist. Zudem lässt sich im oberen Bilddrittel die steile Front erahnen.



Abb. 3.19: Aufsicht auf die fossile Blockgletscheroberfläche oberhalb der Alp Chaschauna.



Abb. 3.20: Fossiler Blockgletscher und heutige Gelifluktionszungen.

Ein anderer fossiler Blockgletscher liegt weiter hinten im Tal, auf der östlichen Seite (Abb. 3.20). Er kann vom Bergweg aus (in Richtung Fuorcla Chaschauna, unmittelbar nach der Querung der Ova da Chaschauna) gut betrachtet werden. Die komplett bewachsene Stirn dieses reliktschen Blockgletschers ist ein gutes Indiz dafür, dass er heute nicht mehr aktiv ist. Speziell an diesem Gebilde ist die stark ausgeprägte wallförmige Front. Neben dem Abschmelzen des Poreneises und den damit verursachten Setzungen führte möglicherweise die Spüldenudation zur heutigen Morphologie. Dass Materialabtrag und -umlagerung durch Regenwasser und vor allem Schneeschmelzwasser einen entscheidenden Beitrag geleistet haben könnten, zeigen Beobachtungen im Kessel unterhalb der Punta Casana. Hier konnten beträchtliche Mengen von rezemem, siltigem Auswaschmaterial gefunden und beprobt werden (Kornverteilungsdiagramm und Röntgenanalyse siehe Anhang).

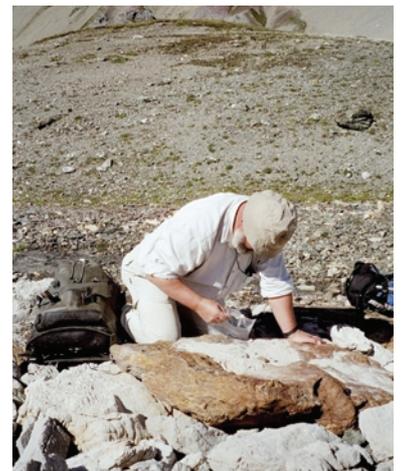


Abb. 3.21: Probennahme von feinkörnigem Auswaschmaterial bei den Koordinaten 802251/160421.

3.3 Wasser- und schwerkraftbedingte Massenbewegungen

3.3.1 Gehängeschutt

An steilen Felswänden kommt es immer wieder zu Steinschlag und Felsstürzen. Dabei fallen individuelle Blöcke aus der Felswand in die Tiefe. Gelöst werden die eckigen Gesteinsbruchstücke durch chemische und physikalische Verwitterung im Aufschluss. Bei hinreichender Häufigkeit von Steinschlag und Felsstürzen sammelt sich am Fuss der Felswand eine Gehängeschutthalde an. Die grössten Blöcke liegen meist im unteren Teil der Halde, weil sie dank ihrer Masse beim Absturz weiter hangabwärts gelangen als die kleineren.

Im Kartiergebiet sind häufig Gehängeschutthalden anzutreffen. Dies ist vor allem auf die geringe Verwitterungsresistenz der Dolomite zurückzuführen. Vielerorts ist älterer – durch Alterationsvorgänge feinkörnig gewordener – Gehängeschutt vorhanden. Solche Schutthalden sind oft zementiert und für eine Überquerung zu Fuss meist gefährlicher, als vermuten lässt.

3.3.2 Murgänge

Starker Regen oder intensive Schneeschmelze führen vor allem von Frühjahr bis Frühsommer zu Murgängen. In dieser Jahreszeit ist der Unterboden meist noch gefroren; die Wasseraufnahme ist somit auf den Oberboden beschränkt. Unter Zufuhr von grossen Wassermengen füllen sich die Porenräume in feinkörnigen Oberböden. Durch die Wasserfüllung der Poren entstehen Auftriebskräfte, die den Zusammenhalt der Materialkörner vermindern. Erfolgt die Wassersättigung innert kurzer Zeit und liegt ein grosses Gefälle vor, kann es zu Materialbewegungen kommen. Die chaotische Masse fliesst wie ein Brei hangabwärts. An den Seiten der Mure ist die Geschwindigkeit geringer – es bilden sich Uferwälle, die so genannten “levées“ (französisch). Längs der Achse der Murenbahn ist die fortschreitende Bewegung schneller, was eine rinnenartige Hohlform entstehen lässt. Am Hangfuss verlangsamt sich die Murenbewegung, breitet sich zungenförmig aus und kommt schliesslich zum Stillstand.

Ein besonderer Murgang ereignete sich im Frühsommer 2001 in der Val Mingèr, als mächtige Lockergesteinsbedeckungen spektakulär weggespült wurden. Ursache dieses Ereignisses war eine Kluftquelle im Dolomit, welche vermutlich durch Schneeschmelzwasserzufuhr eine Schüttung erreichte, die im wassergesättigten Boden nicht mehr drainieren konnte. Der aufgebaute Wasserdruck wurde derart gross, dass sich ein beträchtliches Lockergesteinspaket über dem Fels löste und murenartig talabwärts floss (Hangexplosion). Die Kluftquelle speist heute einen perennierenden Bach, der auf dem Weg ins Tal durch die entstandene Murgang-Rinne fliesst. Im Abrissbereich der Mure liegt die Rinnentiefe bei ungefähr drei Meter. Weiter unten ist die Eintiefung deutlich geringer und die Wasserführung nicht mehr klar geregelt. Zahlreiche “levées“ auf der ehemals sedimentfreien Weidefläche zeugen von diesem Ereignis.



Abb. 3.22: Lockergesteinsausbruch in der Val Mingèr.



Abb. 3.23: Murgang-Rinne mit “levée“ in der Val Mingèr.

In der Val Chaschauna ereigneten sich Murgänge vorwiegend auf der westlichen Talflanke, in der ersten (ungefähr 150 Höhenmeter betragenden) Steilstufe des Munt Chaschauna. Die nach Osten einfallenden Gesteinsschichten, das grosse Gefälle und viele Quellen oberhalb der Steilstufe erklären diese Verteilung. Möglicherweise spielten Murgänge bei der Bildung mancher Schwemmfächer am Fuss des Munt Chaschauna eine entscheidende Rolle. Kleinmassstäbliche Murgänge finden sich als extreme Beispiele der Gelifluktion auch im Talkessel in periglazialen Schutthängen.



Abb. 3.24: Murgang in der Val Chaschauna.

3.3.3 Rutschungen

Südöstlich der Alp Chaschauna scheint ein ganzer Hang in Bewegung zu sein. Eine Wellen- und Muldenmorphologie, zahlreiche Wasseraustritte (vor allem Quellnässen), sowie eine Abrisskante unter dem Gehängeschutt des Piz Chaschauna lassen einen grossen Rutschkörper vermuten. Dies ist jedoch nicht die einzige Rutschung im Untersuchungsgebiet. Weiter südlich im Tal sind vielerorts Rutschungen zu beobachten. Unterhalb des Kessels der Punta Casana ist der Abrissrand einer Rutschung auf eindrückliche Art zu sehen: Im Gelände ist eine ungefähr 2 m tiefe und 10 m breite Mulde entstanden (Abb. 3.25). Die Rutschung muss relativ jung sein, da die Abrissstelle noch nicht von Vegetation bewachsen ist und die herumliegenden Gesteinsbruchstücke (Orthogneis) kaum verwittert sind. Aufgrund der muldenförmigen Morphologie der Abrissstelle könnte es sich um eine Rotations-Rutschung handeln. Dabei gleitet die Rutschmasse auf einer konkaven Bruchfläche gravitativ hangabwärts. Weil im unteren Bereich der Rutschung keine ausgeprägte Stauchwulst gefunden werden kann, ist ein translatorisches Gleiten nicht auszuschliessen. Der Rutschkörper besteht in unserem Beispiel aus Orthogneis, überlagert von einer Verwitterungsdecke.

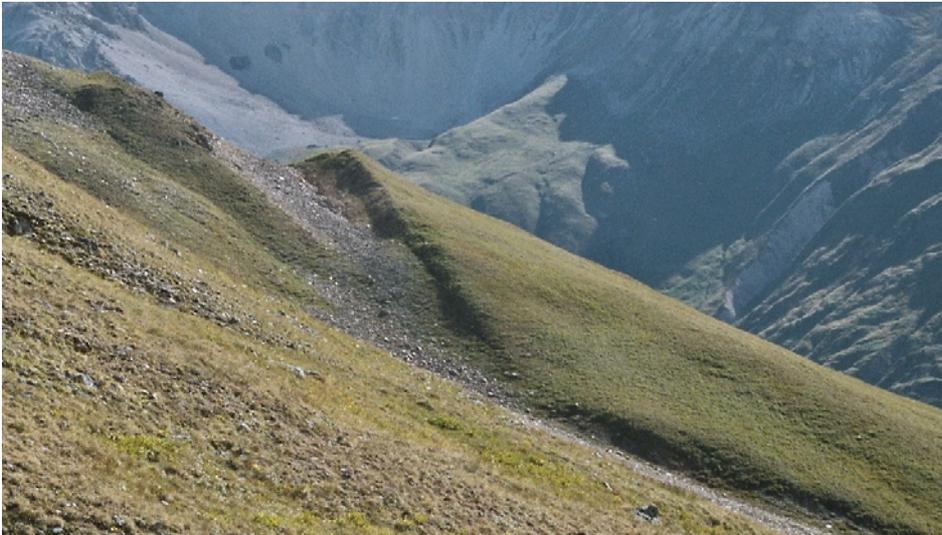


Abb. 3.25: Abrissrand einer Rutschung unterhalb des Kessels der Punta Casana. Die vegetationsfreie Mulde zeugt von einem jungen Ereignis.

3.4 Fluviales System

Das Einzugsgebiet der Val Chaschauna wird über ein dendritisches Flussnetz entwässert. Zahlreiche perennierende und temporäre Bäche speisen die im Talboden verlaufende Ova da Chaschauna, bis diese die Ova da Trupchun erreicht und schliesslich als Ova da Varusch bei S-chanf in den Inn mündet. An Talflanken und im Talabschluss gelegene Quellbäche zerschneiden lokal die Geologie. Eintiefungsbeträge liegen maximal bei ungefähr 10 m. Die in diesen tiefen Rinnen während der Sommerzeit geringe Wasserführung – manchmal gar Wasserabwesenheit – sprechen gegen eine kontinuierliche Eintiefung. Obschon einzelne Sommergewitter die Wasserläufe massiv anheben und beträchtliche Sedimentumlagerungen verursachen können, reicht ihr Erosionspotential kaum aus, um solche Einschnitte zu erzeugen. Somit lässt vermuten, dass der Tiefenerosion durch anfallendes Schneeschmelzwasser von Frühjahr bis Frühsommer die grösste Bedeutung zukommt.

Abgesehen von diesen tiefen, ortsfesten, postglazialen Rinnen unterliegt die Entwässerung der oberen Val Chaschauna einem System mit geringer Rinnenstabilität. Dies kommt unter anderem durch den verwilderten Flusstyp ("braided river") der Ova da Chaschauna auf dem Abschnitt zwischen Margun und der Alp Chaschauna zur Geltung (Abb. 3.27). Innerhalb der verwilderten Flussebene wurden dennoch einzelne bewachsene, stabile Kiesbänke kartiert. Weitere, wenig lagestabile Elemente im Gewässersystem stellen die aktiven Rinnen der zahlreichen alluvialen Schuttfächer dar. Verstopfen der Rinnen und grosse Mengen von Schmelzwasser bringen bestehende Rinnen immer wieder zum Überlaufen, was zu neuer Rinnenbildung führt (Abb. 3.26 und 3.29).



Abb. 3.26: Entstehung einer neuen Rinne in einem Schwemmfächer.



Abb. 3.27: Verwilderter Fluss und stabile Kiesbänke im Talgrund.

3.4.1 Alluviale Schuttkegel (Schwemmächer)

Den Grossteil des untersuchten Talbodens der Val Chaschauna bilden Sedimente von alluvialen Schuttkegeln. Das bedeutende morphologische Element dieser Ablagerungen ist die ausgeprägte Fächerform. Sie entspricht der charakteristischen Auffüllungsform eines Flusses, der aus dem Gebirge in ein Tal oder eine Ebene tritt. Die Ablagerung entsteht, weil sich beim Austritt aus dem höher gelegenen Einzugsgebiet das Verhältnis von Rinnenquerschnitt zu Rinnentiefe deutlich vergrössert. Dabei nehmen Fließgeschwindigkeit und – als Folge davon – die Kompetenz (Fähigkeit, eine gewisse Korngrösse zu transportieren) des Gebirgsbaches ab, was schliesslich die Ablagerung eines Teils der Sedimentfracht mit sich bringt. Die Verteilung der Sedimente auf den Schuttächer wird durch die Lage der Hauptrinne kontrolliert. Das Gefälle der Hauptrinne ist gewöhnlich kleiner als jenes des alluvialen Schuttkegels, so dass es zur Intersektion zwischen der Hauptrinne und der Schwemmächeroberfläche kommt. An diesem so genannten Intersektionspunkt (HOOKE 1967) wird das meiste Material, welches durch die Rinne herangeführt wird, abgelagert. Auf dem Schwemmächer entsteht ein Sedimentsegment, das mit seinem Förderkanal in Verbindung steht. Ansammlungen von groben Komponenten verbauen immer wieder den Fließweg, was den Bach zwingt, seine Rinne zu verlagern. Dies führt zur Entstehung eines neuen Sedimentsegments respektive bei mehreren Rinnenverlagerungen zur ausgeprägten Fächerform des alluvialen Schuttkegels. Morphologisch besteht der Schuttkegel somit aus vier Hauptelementen: aus (1) aktiven Rinnen, (2) inaktiven Rinnen, (3) alten, inaktiven Oberflächen und (4) aktiven Sedimentoberflächen.



Abb. 3.28: "Fisheye-lense"-Aufnahme des Val Püra Schwemmäfers.

Schwemmächer können einzeln vorkommen (Val Püra), meistens wachsen sie jedoch lateral zusammen und bilden eine zusammenhängende Sedimentschürze (Munt Chaschauna). Der Radius der einzelnen alluvialen Schuttkegel in der Val Chaschauna variiert von ungefähr 10 bis 400 m. Bei gleicher Materialzusammensetzung ist er direkt proportional zur Grösse des Einzugsgebietes (BLAIR & MCPHERSON 1994). Schwemmächer bilden oft gute Grundwasserleiter. Meteorisches Wasser infiltriert

leicht im grobkörnigen Untergrund, und kleine Bäche verschwinden an Versickerungsstellen. Innerhalb der Fächerform kommt es vereinzelt zu Wasseraustritten, wobei die Position solcher Lockergesteinsquellen mit dem Stand des Grundwasserspiegels schwankt (Quelle QE30). Teilweise zirkuliert das Wasser gänzlich im Sedimentkörper und fließt direkt in die Vorflut oder in den Talgrundwasserleiter.

Der Grossteil der kartierten alluvialen Sedimentkörper ist heute inaktiv und vollständig bewachsen. Die dichte Vegetationsdecke und die relativ geringen Neigungswerte der Schwemmfächer (verglichen mit den umliegenden Grashängen) machen die alten Schuttkegeloberflächen zu bevorzugten Weidegebieten. Ebenfalls beliebt sind sie bei Murmeltieren (*Marmota marmota*), was an den zahlreichen Bauten zu erkennen ist. Im Gegensatz zum mechanisch verdichteten Moränenmaterial eignet sich das alluviale Lockergestein für die Tiere zum Bau unterirdischer Tunnelsysteme. Zudem finden sich auf den intensiv genutzten Alpweiden auf Schwemmfächern Pflanzen, die den Murmeltieren Schutz bieten. So zum Beispiel die stickstoffanzeigenden hohen Stauden des Blauen Eisenhuts (*Aconitum napellus*) und der Stacheligen Kratzdistel (*Cirsium spinosissimum*).



Abb. 3.29: Grosser, alluvialer Schuttkegel der östlichen Talflanke und Teil der westlichen Sedimentschürze mit alter und neuer Rinnenführung (unten im Bild).

Die grössten aktiven Schuttkegeloberflächen befinden sich am Fuss der östlichen Talflanke. Der Grund dafür liegt in der Art des Einzugsgebietes. Während auf der orographisch linken Talseite praktisch das gesamte Einzugsgebiet am Munt Chaschauna mit Vegetation bedeckt ist, dominieren karge Schuttmassen das Einzugsgebiet der rechten Talseite. Gehängeschutthalden und die starke mechanische Verwitterung der periglazialen Gebiete stellen an diesem Ort ausreichend Grobfracht bereit. Wie solches Material umgelagert wird, kann im Gebiet der Val Püdra beobachtet werden. Ein perennierender Bach transportiert die Sedimentfracht aus dem periglazialen Kessel unterhalb der Punta Casana und weiter durch die schmale, tiefe Rinne der Val Püdra, bis sich der Rinnenquerschnitt vergrössert und das Material durch einen verwilderten Bach zur Ablagerung kommt. Der hohe Aktivitätsgrad des Val Püdra Schwemmfächers ist jedoch einmalig. Weitaus häufiger sind sich in den eigenen Schuttkegel einschneidende Hauptrinnen. Die Geröllfracht wird in diesem Fall am untersten Fächerrand in Form eines Miniatursegmentes abgelagert.

Für die mächtige Entwicklung der meisten alluvialen Schuttkegel der Val Chaschauna würde die heutige Sedimentfrachtmenge nicht ausreichen. Es ist deshalb anzunehmen, dass mit den klimatischen Veränderungen von kalt zu warm zusehends auch die Frachtzufuhr verringert und ein gradueller Wechsel von Akkumulation zu Erosion eingeleitet wurde. Dass die Entstehungszeit der grossen Schwemmfächer weiter in die Vergangenheit zurückreicht, zeigt auch die teilweise bis drei Meter in die Schuttkegel eingetiefte Flussebene der Ova da Chaschauna. Die verwilderten Flussarme haben im Laufe der Zeit die alten, inaktiven Sedimentoberflächen so stark anerodiert, dass im Talgrund eine ausgeprägte Terrassierung der Schwemmfächer stattgefunden hat. Längs beider Seiten der Flussebene sind deshalb über mehrere hundert Meter gut ausgebildete Terrassenränder zu sehen.

4 Methoden

4.1 Wasseranalysen im Gelände

Die verwendeten Messgeräte und die Bedeutung der im Kartiergebiet erhobenen Daten wird anfolgend kurz beschrieben.

4.1.1 Carbonathärte

Die Carbonathärte wurde an den Wasserproben aus dem Arbeitsgebiet mittels Titration bestimmt. Unter der Carbonathärte versteht man den Anteil der Erdalkalitionen, meist Calcium- oder Magnesiumionen, welcher den im Wasser gelösten Hydrogencarbonat- und Carbonationen, beziehungsweise der gelösten Kohlensäure entspricht. Der Begriff Carbonathärte beinhaltet nicht, dass Carbonat (CO_3^{2-} -Anionen) als Härtebildner auftritt. Bei der Anwesenheit von Erdalkalitionen sind überwiegend die Hydrogencarbonationen (HCO_3^-) für die Carbonathärte verantwortlich. Ferner gilt zu beachten, dass die Carbonathärte ein Teil der Gesamthärte ist.

Messvorgang

Die Messung erfolgte mit dem Aquamerck® 8048 Carbonathärte-Test. Dabei wird der Wasserprobe eine Indikatorlösung zugegeben, so dass sich das Wasser im Messgefäss blau färbt. Mit der Titrierpipette wird anschliessend tropfenweise die Titrierlösung zugegeben, bis die Farbe der Wasserprobe von blau nach rot umschlägt. Nun kann man auf der Skala der Titrierpipette die Carbonathärte in deutschen Härtegraden (°d) oder mmol/l ablesen.

Anmerkung

Oftmals war bei den gemessenen Wasserproben die Carbonathärte grösser als die Gesamthärte. Dies ist dann der Fall, wenn im Wasser mehr Äquivalente an Carbonat- und Hydrogencarbonationen als an Erdalkalitionen ($[\text{HCO}_3^-] > [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$) vorhanden sind. Nach HÖLTING (1996) haben in solchen so genannten Austauschwässern Ionenaustauschprozesse stattgefunden, welche zu dieser Wasserchemie geführt haben.

In der Val Chaschauna beträgt die Carbonathärte aller beprobten Quellen im Durchschnitt 2.1 mmol/l (Minimum: 0.1 mmol/l, Maximum: 5.5 mmol/l).

4.1.2 Gesamthärte

Analog der Carbonathärte wurde auch die Gesamthärte direkt im Feld mittels Titration bestimmt. Unter dem Begriff Gesamthärte versteht man die Summe der Einzelhärten, die sich auf die Gehalte von Calcium-, Magnesium-, Strontium- und Bariumionen beziehen. Als Härtebildner sind vor allem Calcium- und Magnesiumionen verantwortlich. Andere Kationen wie beispielsweise Eisen-, Aluminium- und Kupferionen zählen nicht zu den Härtebildnern, da diese entweder Komplexe mit anderen Ionen bilden, oder aber ausgefällt werden.

Messvorgang

Die Gesamthärte wurde mit dem Aquamerck® Gesamthärte-Test gemessen. Das Messverfahren ist identisch mit dem Carbonathärte-Test und soll deshalb nicht näher beschrieben werden. Nur der Farbumschlag ist unterschiedlich. Unter Zugabe von



Abb. 4.1: Aquamerck® Carbonathärte-Test (links) und Gesamthärte-Test (rechts).

Titrierlösung wechselt die mit Indikatorlösung versetzte Wasserprobe die Farbe von rot nach grün.

Anmerkung

Die beprobten Quellen in der Val Chaschauna zeigen eine durchschnittliche Gesamthärte vom 3.0 mmol/l (Minimum: 0.1 mmol/l, Maximum: 12.6 mmol/l). Wir haben also ein breites Spektrum von sehr weichem, bis zu sehr hartem Wasser.

Gesamthärte [mmol/l]	Beurteilung des Wassers
<1.43	sehr weich
1.43 - 2.86	weich
2.86 - 4.28	mittel hart
4.28 - 6.43	ziemlich hart
6.43 - 10.71	hart
>10.71	sehr hart

Tab. 4.1: Klassifikation des Wassers nach Härtestufen hinsichtlich der Gesamthärte (nach KLUT-OLSZEWSKI 1946).

Das Universal-Taschenmessgerät MultiLine P4

Die physikalischen Parameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Redoxspannung wurden mit dem Universal-Taschenmessgerät MultiLine P4 der Firma WTW bestimmt. Das Gerät ist einfach zu bedienen und liefert schnell reproduzierbare Werte. Eine Driftkontrolle (Taste «AR») prüft die Stabilität des Messsignals und bringt das stabile Messergebnis zur Anzeige. Direkt beim Quellaustritt wurden die Sonden möglichst tief ins Wasser eingetaucht. Probleme bereiteten Quellen mit geringer Schüttung und Quellnässen, weil bei diesen die Sonden nicht genügend weit eingetaucht werden können. Um dieses Problem so gut wie möglich zu beheben, haben wir jeweils kleine Mulden in den Untergrund gegraben um mehr Wasser zu sammeln. Je länger die Messung dauert, umso konstanter sind die Resultate. Am längsten dauerte die Messung der Redoxspannung. Um einen konstanten Wert zu erhalten, sollte die Sonde ungefähr 10 Minuten ins Wasser gehalten werden. Ein ausführlicher Gerätebeschrieb ist in der Bedienungsanleitung zu finden.



Abb. 4.2: MultiLine P4 (im Vordergrund) mit allen eingesetzten Messsonden.

4.1.3 Temperatur

Die Temperatur wurde mit der pH-Sonde gemessen. Weiter wird die Temperatur von den anderen Messsonden angezeigt, was eine direkte Kontrolle der Resultate erlaubt. Die Messgenauigkeit beträgt 0.1 K.

Die Temperatur des Grundwassers ist einerseits vom Wärmeaustausch mit der Luft und andererseits vom Wärmezustrom aus dem Erdinnern abhängig. In unseren Breiten nehmen die Grundwassertemperaturen je 100 Meter bei ungestörten Verhältnissen zwischen 2 und 3 °C zu. Die Löslichkeit von festen Stoffen hängt zu einem grossen Teil von der Wassertemperatur ab. Bei gesättigten Lösungen ist eine weitere Auflösung eines Kristalls in der Regel nur durch Temperaturerhöhungen möglich, da durch die temperaturbedingte Zunahme der Schwingungen der Kristallionen die Kristallgitterenergie vermindert und damit die Hydratationsenergie der Wassermoleküle wirksamer wird. Bei Abkühlung scheidet ein Teil der gelösten Stoffe aus, bis das Gleichgewicht zwischen Kristallisation und Auflösung wieder erreicht ist (HÖLTING 1996).

Die Temperaturen der beprobten Quellen in der Val Chaschauna bewegen sich zwischen 0.7 und 14 °C. Im Durchschnitt ist das Wasser mit 4.2 °C eher kalt.

4.1.4 pH-Wert

Der pH-Wert wurde mit der pH-Einstabmesskette SenTix[®] 41 mit integriertem Temperaturmessfühler gemessen. Die Genauigkeit des pH-Sensors beträgt ± 0.01 . Der pH-Wert sagt aus, wie sauer beziehungsweise wie basisch das gemessene Wasser ist. Je weiter der pH-Wert vom neutralen Zustand ($\text{pH} = 7$) abweicht, umso aggressiver ist die Probe. Die saure oder basische Wirkung nimmt pro pH-Einheit um einen Faktor 10 zu.

Die Löslichkeit der Salze und deren Ionenkonzentrationen im Wasser sind unter anderem vom pH-Wert abhängig. Nach WEGMÜLLER (2001) sind nur wenige Ionen in fast allen pH-Bereichen gut löslich. Zu ihnen zählen K^+ , Na^+ , NO_3^- und Cl^- . Für die Löslichkeit der meisten Metallionen ist der pH-Wert jedoch wichtig.

Im Untersuchungsgebiet wurde im Durchschnitt ein leicht basischer pH-Wert von 7.71 gemessen. Die Werte schwanken zwischen 6.23 und 8.43.

4.1.5 Redoxpotential

Gemessen wurde das so genannte Redoxpotential mit der SenTix[®] ORP Sonde. Die Messgenauigkeit beträgt ± 1 mV und die Bestimmung der Redoxspannung dauert mindestens 10 Minuten. Gemessen wird die Neigung der gelösten Ionen Elektronen aufzunehmen oder abzugeben. Die Redoxspannung sagt aus, wie stark oxidierend beziehungsweise reduzierend das Wasser ist. Ein negativer Spannungswert bedeutet, dass das Wasser reduzierend gegenüber einer Normalwasserstoff-Elektrode ist. Eine oxidierende Lösung zeigt einen positiven Spannungswert an. Ausser dem pH-Wert ist die Löslichkeit von Stoffen auch von ihrer Oxidationsstufe abhängig und damit vom Redoxpotential der Lösung.

Ein reduzierender Wassertyp wurde bei der Quelle QE75 mit -42 mV gemessen. Wasserproben der Val Chaschauna haben im Mittel ein Redoxpotential von 269 mV, was einem oxidierenden Wasser entspricht. Gemessen wurden Werte zwischen -42 und 388 mV.

4.1.6 Sauerstoffkonzentration

Mit dem WTW-Sauerstoffsensoren CellOx[®] 325 fand die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration statt. Die Sonde liefert Werte des gelösten Sauerstoffs im Wasser in [mg/l]. Die Genauigkeit beträgt ± 5 % bei einer Umgebungstemperatur von 5–30 °C. Wird eine Quelle mit geringer Schüttung beprobt, muss die Sonde langsam mit der Hand bewegt werden, damit eine erforderliche Mindestanströmung vorherrscht. Es ist darauf zu achten, dass die Membrane des Sauerstoffsensors nicht in Kontakt mit dem Umgebungsgestein kommt. Die Membrane kann schnell beschädigt werden und muss bei einem Schaden durch eine Neue ersetzt werden.

Wasser kann soviel Sauerstoff aufnehmen, bis der Sauerstoffpartialdruck des Wassers und der mit ihr in Kontakt stehenden Luft im Gleichgewicht sind. Die Sauerstoffkonzentration hängt unter anderem vom Luftdruck, Temperatur und mikrobiologischen Aktivitäten ab.

Durchschnittlich ist im Wasser der Val Chaschauna 9.3 mg/l O_2 gelöst. Die Messwerte schwanken zwischen 0.4 und 15.2 mg/l O_2 , wobei Werte tiefer als 2 mg/l auf einen Messfehler zurückzuführen sind.

4.1.7 Elektrische Leitfähigkeit

Der Leitfähigkeitswert stellt die Summe, der im Wasser gelösten Ionen dar. Gemessen wird der reziproke Wert des elektrischen Widerstandes in [$\mu\text{S}/\text{cm}$]. Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit der Sonde TetraCon[®] 325 bestimmt. Schon nach ungefähr 30 Sekunden zeigt das Gerät einen Messwert mit der Genauigkeit von einem Prozent an. Handhabung und Wartung dieser Sonde sind einfach, weil ständiges Eichen und Aufbewahren in einer Konservierungslösung entfallen.

Aussagen über die Verbleibzeit des Wassers im Aquifer lassen sich anhand der elektrischen Leitfähigkeit abschätzen. Ist das Wasser lange im Kontakt mit dem Umgebungsgestein, so können auch langsame Gestein-Wasser-Interaktionen ablaufen und es ist eine hohe Leitfähigkeit zu erwarten. Umgekehrt ist bei einer kurzen Verbleibzeit im Untergrund mit einer kleinen Leitfähigkeit zu rechnen. Regenwasser weist eine sehr geringe Mineralisation auf (Tab. 4.2).

Die beprobten Quellen weisen sehr unterschiedliche Leitfähigkeiten auf. Bei der Quelle QW121 wurde mit $11 \mu\text{S}/\text{cm}$ Regenwasser gemessen. Im Kontrast dazu steht die am höchsten mineralisierte Quelle QE12 mit einer elektrischen Leitfähigkeit bis zu $1758 \mu\text{S}/\text{cm}$. Im Mittel aller beprobten Quellen beläuft sich die Leitfähigkeit auf $453 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Wassertyp	Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
destilliertes Wasser	0-5
Regenwasser	5-30
Grundwasser	30-2'000
Tiefengrundwasser	1'000-20'000
Meerwasser	>10'000

Tab. 4.2: Vergleich verschiedener Wassertypen aufgrund der Leitfähigkeit (nach WEGMÜLLER 2001).

4.1.8 Schüttung

Ein wesentliches hydrogeologisches Merkmal von Quellen ist die Schüttung. Gemessen wird die austretende Grundwassermenge pro Zeiteinheit. Bestimmt wurde die Schüttung mit einem 1 Liter Messbecher und einer Stopuhr. Diese Methode eignet sich gut für Quellen mit einer mittleren Schüttung und einer punktförmigen Austrittsstelle. Probleme bereiten Quellnässen und Quellen mit einem flächenförmigen Wasseraustritt. In diesem Fall muss die Schüttung so gut wie möglich abgeschätzt werden.

Reagiert eine Quelle schnell auf den Niederschlagsgang, so besitzt die Quelle eine geringe Speicherkapazität und es kann von einer kurzen Verbleibzeit im Untergrund ausgegangen werden. Besonders Quellen mit einem kleinen Einzugsgebiet reagieren direkt auf Niederschläge (HÖLTING 1996). Ist die Schüttung jedoch über das ganze Jahr konstant, besitzt die Quelle eine grosse Speicherkapazität und das Wasser bleibt lange im Untergrund.

Die durchschnittliche Schüttung der beprobten Quellen beträgt $68 \text{ l}/\text{min}$. Gemessen wurden Quellnässen mit einer Schüttung von $0.1 \text{ l}/\text{min}$ und grosse Punktquellen mit einer Schüttung bis zu $1200 \text{ l}/\text{min}$.

4.2 Ionenchromatographische Laboruntersuchungen

Was ist Chromatographie?

Unter Chromatographie werden alle Trennmethode zusammengefasst, mit welchen Substanzgemische durch Verteilung zwischen zwei Phasen in ihre Komponenten aufgeteilt werden. Die stationäre Phase (auch Trennphase genannt) befindet sich im Innern der Chromatographiesäule (Trennsäule) und besteht aus einem Feststoff oder einer Flüssigkeit, die sich auf inertem Trägermaterial befindet. Die mobile Phase durchströmt die Trennsäule und transportiert die Probenmoleküle entlang der Oberfläche der stationären Phase. Wechselwirkungen zwischen den beiden Phasen führen zur Auftrennung des Substanzgemisches in die einzelnen Komponenten. Das Resultat einer chromatographischen Analyse wird schliesslich in einem Chromatogramm dargestellt.

Der folgende Text beschränkt sich ausschliesslich auf die Ionenchromatographie (IC), insbesondere auf die Laboranordnung des Instituts mit zwei Ionenchromatographen des Typs DX-120.

Wichtigstes Element in der IC: die Trennsäule

Anhand eines schematischen Kationen-Chromatogramms soll die Funktion der Trennsäule kurz erklärt werden.

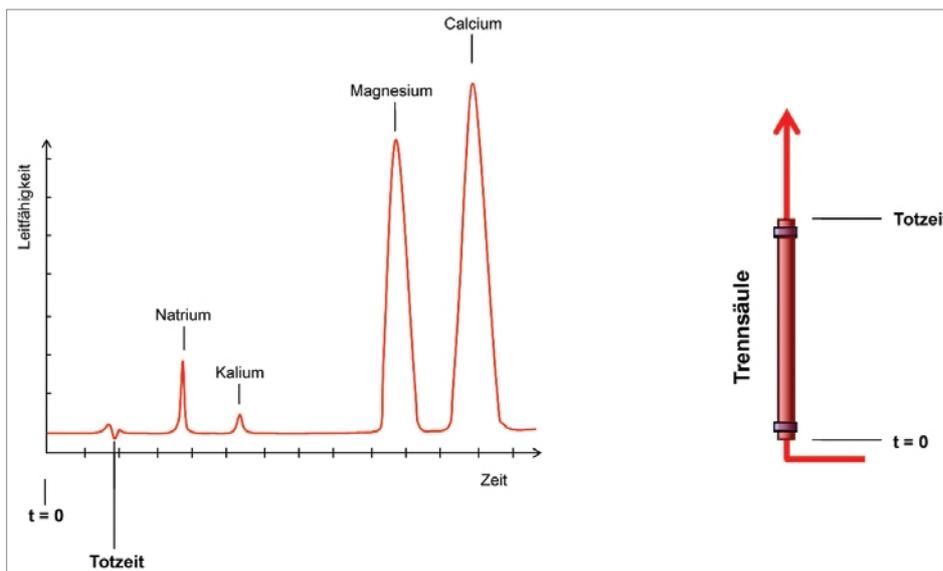
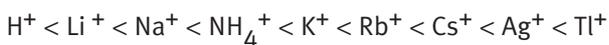


Abb. 4.3: Schematische Darstellung von Chromatogramm und Trennsäule.

Im Koordinatensystem ist die Leitfähigkeit gegen die Zeit aufgetragen. Zur Zeit $t = 0$ tritt die mobile Phase in die Trennsäule ein. Nach relativ kurzer Zeit erfolgt der erste Ausschlag, welcher die Totzeit markiert – diese Zeit, welche eine inerte Substanz (welche keine Wechselwirkungen mit der stationären Phase eingeht) benötigt, um die Trennsäule zu passieren. Danach folgen die eigentlichen “Peaks“ der einzelnen Kationen in einer bestimmten Reihenfolge: Zuerst erscheint das Signal von Natrium, danach jenes von Kalium, Magnesium und schliesslich Calcium. Der Grund für diese Abfolge liegt in den unterschiedlich starken Wechselwirkungen der Kationen mit der stationären Phase. Bei der Kationenanalyse beinhaltet die stationäre Phase negativ geladenes Material. Die positiv geladenen Kationen werden daher auf dem Weg durch

die Trennsäule abgebremst. Die zweifach geladenen Ionen Calcium und Magnesium erfahren eine deutlich stärkere Bremswirkung als die einwertigen Ionen Natrium und Kalium. Dies ist in der grösseren elektrischen Ladung und den damit einhergehenden stärkeren Interaktionen innerhalb der Chromatographiesäule begründet. Bei gleicher Ionenstärke entscheidet die Affinität der Ionen zur stationären Phase über die Verbleibzeit oder Retentionszeit der einzelnen Komponenten in der Trennsäule (SMALL 1989).

Für einwertige Kationen gilt beispielsweise folgende Reihenfolge:



Für die Analysen der Quellwässer wurden die Trennsäulen AS12A beziehungsweise CS12A eingesetzt. Die mit diesen Säulen detektierbaren Anionen respektive Kationen sind in der Tabelle 4.3 aufgelistet:

Trennsäule AS12A		Trennsäule CS12A	
Fluorid	F ⁻	Lithium	Li ⁺
Chlorit	ClO ₂ ⁻	Natrium	Na ⁺
Bromat	BrO ₃ ⁻	Ammonium	NH ₄ ⁺
Chlorid	Cl ⁻	Kalium	K ⁺
Nitrit	NO ₂ ⁻	Magnesium	Mg ²⁺
Bromid	Br ⁻	Calcium	Ca ²⁺
Chlorat	ClO ₃ ⁻		
Nitrat	NO ₃ ⁻		
Phosphat	PO ₄ ³⁻		
Sulfat	SO ₄ ²⁻		

Tab. 4.3: Trennsäulen mit den entsprechenden detektierbaren Ionen.

Vereinfachte Darstellung des Messvorgangs

Anhand der schematischen Darstellung der Fließwege soll der Messvorgang kurz erläutert werden:

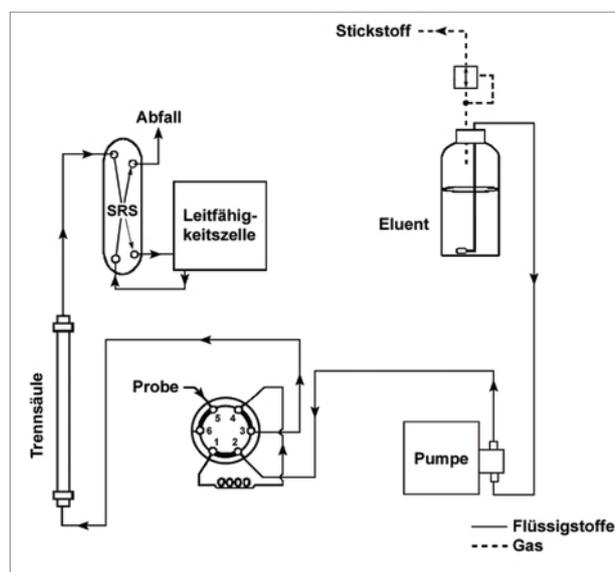


Abb. 4.4: Schematische Darstellung der Fließwege im DX-120.

Der Eluent ist das A und O aller Messungen. Bei den Anionen besteht er aus Natriumcarbonat (Na_2CO_3) und Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3), bei den Kationen aus Methansulfonsäure ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$). Der Eluent ist die mobile Phase des Systems und wird vor jeder Mess-Serie neu hergestellt. Über die Pumpe gelangt er ins Innere des Gerätes. Beim Injektionsventil wird die Probe eingespritzt; dabei muss die Probe gefiltert sein, damit keine Partikel die Funktion der Maschine beeinträchtigen. Nach den Wechselwirkungen in der Trennsäule führt der Weg über einen Suppressor (SRS) in die Leitfähigkeitszelle. Der Suppressor minimiert die Leitfähigkeit des Eluenten und erleichtert die Analyse der einzelnen "Peaks". In Abbildung 4.5 ist links ein Chromatogramm vor der Suppression mit kleinen Messsignalen auf hohem Untergrund zu sehen; rechts befindet sich – zum Vergleich – ein Bild derselben Analyse nach der Suppression mit einer deutlich verbesserten Bestimmungsgrenze.

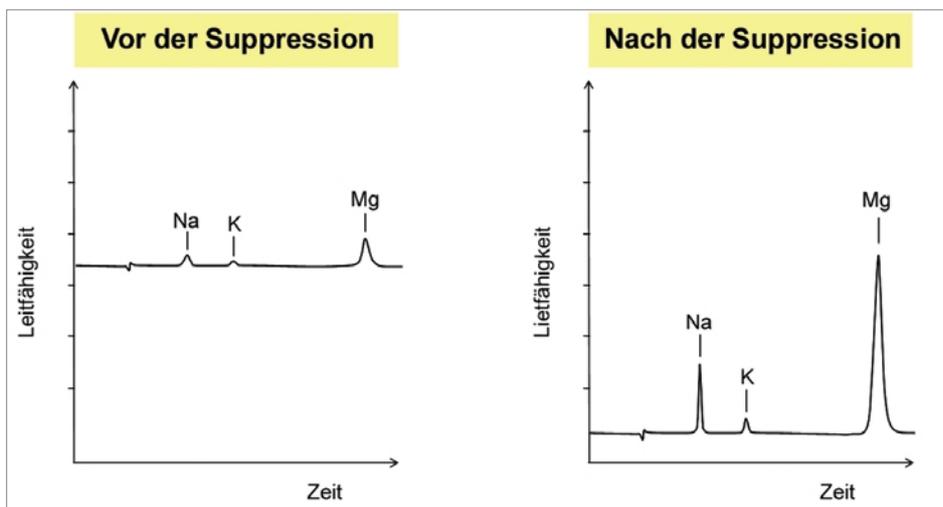


Abb. 4.5: Resultat der chemischen Suppression.

In der Leitfähigkeitszelle wird schliesslich eine Spannung zwischen zwei lösungsberührenden Elektroden angelegt und die Stromstärke gemessen. Die Stromstärke ist nahezu proportional zu den gelösten Ionen. Dieser Tatsache wird beim DX-120 Rechnung getragen, indem die Quantifizierung ionischer Lösungen mittels Leitfähigkeitsdetektion geschieht. Unter Berücksichtigung der Zellkonstante K wird nach dem Ohmschen Gesetz (Spannung = Widerstand \cdot Stromstärke) die Leitfähigkeit berechnet.

Die Mobilität der Ionen in einer Lösung (und somit die Leitfähigkeit) wird stark von der Temperatur beeinflusst. Laut Experimenten steigt die Leitfähigkeit einer wässrigen Lösung etwas weniger als 2 % pro $^{\circ}\text{C}$ (DIONEX 2001). Somit ist notwendig, die Temperatur des Eluenten auf einem möglichst konstanten Wert zu halten. Dies ermöglicht beim DX-120 ein Thermistor (Halbleiter mit temperaturbedingtem Widerstand). Zusätzlich wird die ermittelte Leitfähigkeit so umgerechnet, dass am Ende – wie bei üblichen Leitfähigkeitsmessungen – der Wert bei einer Temperatur von $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ angegeben wird. Dieser Wert dient schliesslich als Grundlage für die Umwandlung in $\mu\text{g/l}$. Am Ende gelangt die analysierte Lösung über eine Leitung in einen Abfallbehälter.

Die Bestimmungsgrenze des DX-120-Ionenchromatographen liegt bei 10 bis $200\text{ }\mu\text{g/l}$ mit einer relativen Präzision von etwa fünf Prozent. Zur Auswertung und grafischen Darstellung wurde das Fluorid mit Messwerten kleiner $0,02\text{ mg/l}$ gleich der Nachweisgrenze von $0,02\text{ mg/l}$ gesetzt.

Wasseranalysen

Alle im Feld gesammelten Wasserproben wurden im IC-Labor des Instituts für Geologie ionenchromatographisch untersucht. Die quantitative Analyse beschränkte sich (apparaturbedingt) auf die wichtigsten Anionen und Kationen (Tab. 4.3). Dank den beiden Ionenchromatographen konnten Anionen und Kationen parallel gemessen werden. Um Messfehler zu vermeiden, wurden alle Wasserproben mindestens zweimal auf Anionen beziehungsweise Kationen untersucht. Das arithmetische Mittel der Analysen wurde danach für die Datenauswertung verwendet.

Vor jeder Mess-Serie wurden jeweils Standardlösungen hergestellt und die IC-Geräte neu kalibriert. Kalibrationseinstellungen, Kalibrationskurven, Komponententabellen, Datennachbearbeitung und Präsentation der Resultate erfolgten mit der Software PeakNet[®] 5.1.



Abb. 4.6: IC-Labor am Institut für Geologie mit zwei Ionenchromatographen des Typs DX-120.

Problematik der Wasserproben

Proben, die Nitrit- oder Sulfitionen beinhalten, müssen möglichst rasch analysiert werden, denn schon nach kurzer Zeit oxidieren Nitrit zu Nitrat und Sulfit zu Sulfat.

Ein weiteres Problem stellen die Bakterien dar, welche die Konzentration der Ionen in einer Wasserprobe mit der Zeit verändern können. Als Desulfurikation wird zum Beispiel die mikrobielle Sulfatreduktion durch die Bakterienspezies *Desulfovibrio desulfuricans* bezeichnet (siehe 5.3.2 Oxidation und Reduktion). Die ausschliesslich im anaeroben Milieu lebende Bakterie gewinnt ihre lebensnotwendige Energie aus der Zerlegung des Sulfats (HÖLTING 1996).

Aus den oben erwähnten Gründen ist die unmittelbare Analyse nach der Probenentnahme für genaue Resultate zwingend. In unserem Fall konnten die Laboruntersuchungen jedoch nicht immer prompt erfolgen. Um mögliche Veränderungen der Wasserbeschaffenheit einzuschränken, befolgten wir den Rat der Herstellerfirma unserer Ionenchromatographen, führten bei der Probennahme eine Sterilfiltration mit einem 0.2 µm Filter durch und lagerten die Proben an einem dunklen, kühlen Ort. Diese Massnahmen sollten dazu beitragen, die Bakteriengattung *Desulfovibrio* (Zellgrösse 0.5–1.3 mal 0.8–5 µm) aus dem Wasser zu entfernen beziehungsweise die chemisch- und biochemischen Vorgänge auf ein Minimum zu reduzieren.

Gültigkeit der Wasseranalysen

Wird an einer Quelle eine Wasserprobe für Analysezwecke entnommen, so unterliegt sie beim Transport ins Labor und bei der Lagerung anderen physikalisch-chemischen Bedingungen als am Austrittsort. Entgasung von CO₂ kann beispielsweise zu Veränderungen beim pH-Wert, der Alkalinität und dem Total an anorganischem Kohlenstoff führen, was wiederum eine Carbonat-Ausfällung provozieren kann (APPELO & POSTMA 1999). Der Vergleich zwischen pH-Werten aus Feld- und Labormessungen in Abbildung 4.7 zeigt deutliche Unterschiede. Eine pH-Messung im Feld kann somit durch

keine Laboranalyse ersetzt werden; dies gilt ebenso für die Messung der Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit, des Redoxpotentials wie auch für die Bestimmung des Sauerstoffgehalts.

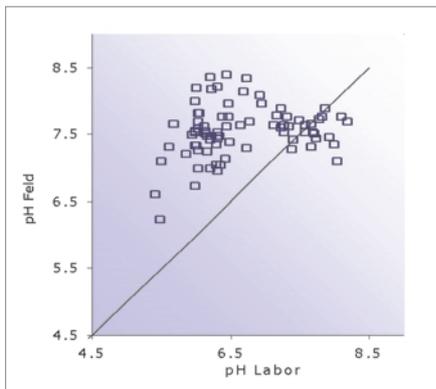


Abb. 4.7: Vergleich von pH-Werten aus Feld- und Labormessungen. Jedes abgebildete Viereck entspricht einer Wasserprobe (QW).

Umso bedeutender sind die Labormessungen bei der Ermittlung der chemischen Zusammensetzung der Quellwässer. Die Ionenchromatographie liefert Konzentrationsangaben der einzelnen im Wasser enthaltenen Ionen im ppb-Bereich (ppb = “parts per billion“ = 1 Gewichtsteil gelöste Substanz in 1 Milliarde Gewichtsteile Lösung). Dennoch sind die chromatographischen Resultate mit Vorsicht zu behandeln und sollten nicht direkt zur Auswertung gelangen. Zwei Typen von Fehlern können bei der Bestimmung von Ionenkonzentrationen auftreten: statistische Fehler als Folge zufälliger Schwankungen im Analysevorgang und systematische Fehler verursacht durch Interferenzen während der Analyse. Um Fehler zu vermeiden wurden Wiederholungsmessungen durchgeführt beziehungsweise externe Standards als Referenzproben beigezogen.

Zur Abschätzung der Analysengenauigkeit wurde schliesslich für jede Wasserprobe die Ionenbilanz (= Bilanz der Äquivalentkonzentrationen) erstellt und die elektrische Neutralität nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Elektrische Neutralität (E.N.)} = \frac{|\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen}|}{|\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen}|} \cdot 100 [\%]$$

Tabelle 4.4 zeigt das Beispiel einer Ionenbilanz – in diesem Fall von der Wasserfassung der Alp Väügliä Suot (QW7).

Ionenbilanz QW7 (17.10.2001)					
Kationen [mg/l] [meq/l]			Anionen [mg/l] [meq/l]		
Na ⁺	1.90	0.083	F ⁻	0.42	0.022
K ⁺	0.93	0.024	Cl ⁻	0.32	0.009
Mg ²⁺	41.75	3.436	NO ₃ ⁻	0.56	0.009
Ca ²⁺	320.05	15.971	SO ₄ ²⁻	902.04	18.781
			HCO ₃ ⁻	86.03	1.410
		19.514			20.231

Tab. 4.4: Ionenbilanz von QW7 (17.10.2001).

Die entsprechende Berechnung der elektrischen Neutralität ergibt:

$$\text{E.N.} = \frac{|19,514 + (-20,231)|}{|19,514 - (-20,231)|} \cdot 100 = \mathbf{1,8\%}$$

In einer vollständigen Analyse sollten die Summen der positiv und der negativ geladenen Äquivalente gleich sein. Das Wasser wäre somit elektrisch neutral (E.N. = 0 %). Abweichungen von bis zu zwei Prozent lassen sich aber praktisch in keinem Labor verhindern (APPELO & POSTMA 1999). Für die Datenerfassung der vorliegenden Arbeit wurden Abweichungen der elektrischen Neutralität bis zehn Prozent uneingeschränkt toleriert und E.N.-Werte über zehn Prozent nicht weiter verwendet.

Eine weitere Technik für eine rasche Kontrolle der Analysedaten erfolgt über den Vergleich berechneter Leitfähigkeiten mit den im Feld gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten (E.C.). Diese Gegenüberstellung ist möglich, da die Konzentrationen der gelösten Ionen für die Leitung des elektrischen Stroms im Wasser verantwortlich sind. APPELO & POSTMA (1999) beschreiben für Lösungen mit Leitfähigkeiten bis zu 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ folgende Beziehung zwischen Ionenkonzentration und elektrischer Leitfähigkeit:

$$\Sigma \text{Anionen} [\text{meq}/\text{l}] \cdot 100 = \Sigma \text{Kationen} [\text{meq}/\text{l}] \cdot 100 = \text{elektrische Leitfähigkeit} [\mu\text{S}/\text{cm}]$$

Wird oben stehende Formel auf unsere Wasserdaten angewendet, zeigt sich rasch, dass es sich bei der Beziehung Ionenkonzentration–elektrische Leitfähigkeit um eine Annäherungsformel handelt. Bereits ab Leitfähigkeiten von 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ weichen die berechneten Werte um mehr als 25 Prozent von den Feldmessungen ab. Bei den niedrig konzentrierten Wässern mit elektrischen Leitfähigkeiten unter 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ stimmen Berechnungen und Felddaten relativ gut überein (Tab. 4.5).

	Quelle	E.C. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	$\Sigma\text{meq} \cdot 100$ [meq/l]
QW3	(29.06.2002)	1357	1830
QW7	(17.10.2001)	1568	1987
QW12	(29.06.2002)	1345	1822
QW51	(26.06.2002)	183	184
QW62	(18.10.2001)	76	75
QW100	(01.09.2001)	124	121

Tab. 4.5: Vergleich zwischen berechneten und gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten. meq/l = Mittel der Äquivalentkonzentrationen der Anionen- und Kationen-Summe.

4.3 Geographisches Informationssystem (GIS)

Der Name GIS steht für geographisches Informationssystem und dient in erster Linie der Visualisierung von örtlich gebundenen Daten. Die Daten können auf verschiedene Arten dargestellt, verknüpft und interpoliert werden. BURROUGH & McDONNELL(1998) definieren GIS folgendermassen: „GIS is a powerful set of tools for collecting, storing, retrieving at will, transforming and displaying spatial data from the real world for a particular set of purposes.“

Wir haben mit zwei verschiedenen GIS gearbeitet:

1. mobiles GIS zur Datenerfassung im Gelände
2. Software ArcGIS[®] von ESRI zur Nachbearbeitung der Daten

4.3.1 Das mobile GIS

Die Erfassung sämtlicher Daten erfolgte in digitaler Form direkt im Feld mit einem mobilen GIS. Dieses besteht aus einem Pentop-Computer, differentiellen GPS (DGPS), Antenne und der GIS Software geo-mobile[®] 4.2. Die Positionsbestimmung im Gelände erfolgte also mit Hilfe von Satellitennavigation. Das DGPS lieferte einen genauen Punkt auf der Kartengrundlage, welcher auf dem Pentop-Computer jederzeit ersichtlich war. Will man nun beispielsweise einen Aufschluss auf der Karte einzeichnen, kann man um das zu kartierende Objekt herumgehen. In einem selbst zu definierenden Zeitintervall werden nun Punkte auf der Karte festgehalten und in unserem Beispiel, beim beenden der Aufnahme zu einem Polygon verbunden. Danach können in einem automatisch erscheinenden Fenster Detailinformationen über das eingezeichnete Objekt eingegeben werden. Das Objekt wird nun in der gewünschten Signatur auf der Karte dargestellt. Analog können Linien und Punkte einfach und genau erfasst werden. Manuelles einzeichnen mit dem Stift ist auch möglich. Durch beliebiges Zoomen auf der Karte können auch metergrosse Objekte präzise auf der Karte erfasst und eingesehen werden. Eine benutzerdefinierte Datenbank ersetzt das Feldbuch. Die ganze Hardware lässt sich praktisch in einem Rucksack, mit der Möglichkeit eine Antenne seitlich zu befestigen, integrieren. Im folgenden Teil werden die einzelnen Komponenten des mobilen GIS kurz vorgestellt. Für einen ausführlichen Beschrieb sei auf die Arbeit von SCHUMACHER (2001) verwiesen.

Pentop-Computer

Der Pentop-Computer ist das Herzstück des mobilen GIS, werden doch auf ihm sämtliche Daten verarbeitet, dargestellt und gespeichert. Der Pentop unterscheidet sich nur durch das interaktive Display von herkömmlichen Computern. Navigation und Dateneingabe erfolgten mit einem speziellen Stift direkt auf dem Display, so dass auf Maus und Tastatur verzichtet werden kann. Für unsere Arbeit kam das Betriebssystem Windows 98 zur Anwendung. Die Signale des DGPS-Empfängers wurden mit USB, beziehungsweise seriellem Kabel auf den Pentop übertragen.

Wir verwendeten zwei verschiedene Modelle von Pentops, die sich in ihrer Bauart nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Das etwas ältere Model Fujitsu Stylistic 2300 besitzt ein robusteres Gehäuse als der Fujitsu Stylistic 3400, neuerer Bauart. Vorteile des neueren Geräts sind das grössere Display und das geringere Gewicht. Die Energieversorgung war einerseits durch den eingebauten Akku gewährleistet, ander-

seits konnte bei Bedarf Strom von einer externen 12 Volt Batterie bezogen werden. Die Daten wurden mit einem externen Zip-Gerät und dem Datentransfer mittels Netzwerk auf ein Notebook gesichert.



Abb. 4.8: Mobiles GIS bestehend aus Pentop-PC, DGPS Empfänger mit Antenne und 12 Volt Bleiakku.

DGPS

Die Positionsbestimmung erfolgte in "real time" mit dem AgGPS 132 der Firma Trimble. Der Empfänger verfügt über 12 Kanäle und ist in der Lage den Standort aus allen erreichbaren Satelliten zu ermitteln. Im Unterschied zu herkömmlichen GPS kann das von uns verwendete Gerät ein Korrektursignal empfangen, um Messgenauigkeiten von weniger als einem Meter zu ermitteln. Diese Technik wird differentielles GPS oder kurz DGPS genannt. Das Korrektursignal wird von einem Satelliten der Firma OmniSTAR empfangen. Der geostationäre Korrektursignal-Satellit befindet sich etwa 45° über dem Horizont in Richtung Süden. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die freie Sicht nach Süden gewährleistet ist. In der Val Chaschauna war dieser Umstand glücklicherweise grösstenteils erfüllt. Den heute weit verbreiteten Empfang des Korrektursignals mit dem Mobiltelefon hätte in der Val Chaschauna nicht funktioniert. Das Kartiergebiet liegt ausserhalb des Mobilfunknetzes.

Die halbkugelförmige Antenne empfängt die Satellitensignale und schickt sie dem Empfänger mit differentiellen Fähigkeiten zur Verarbeitung weiter. Um schlussendlich einen exakten Punkt im schweizerischen Koordinatennetz zu erhalten, muss eine Koordinatenkonversion durchgeführt werden. Die entsprechenden Einstellungen sind in SCHUMACHER (2001) zu entnehmen und werden hier nicht näher erläutert. Die Handhabung des DGPS-Empfängers ist unproblematisch. Das Gerät muss bei Inbetriebnahme initialisiert werden, ansonsten sind keine Einstellungen vorzunehmen. Eine 12 Volt Batterie gewährleistet die Stromversorgung für gut zwei Tage, bevor der Akku wieder aufgeladen werden muss.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kartierung mit einem DGPS Genauigkeiten von unter einem Meter möglich macht.

Software

Die zur Datenaufnahme verwendete Software stammt von der Firma geo-konzept (Deutschland). Das Software-Paket ist in drei sich ergänzende Programme eingeteilt. Geo-mobile[®] bildet das eigentliche Hauptprogramm. Es dient zur Erstellung georeferenzierter Karten und wird im Feld für die gesamte Datenaufnahme eingesetzt. Im Programm geo-forms[®] können benutzerdefinierte Formulare für Datenbankeinträge gestaltet werden, während im dritten Programm, dem geo-pack[®], einzelne Datenbankstrukturen verändert werden können. Sind die benutzerdefinierten Einstellungen wie Datenbankstruktur, Georeferenzierung der Karte, Definition der Ebenen, Erstellung der Eingabemasken und allenfalls von speziellen grafischen Symbolen gemacht, kann mit dem Einsatz im Gelände begonnen werden. Es ist sehr ratsam, die erwähnten Einstellungen vor dem Feldeinsatz mit grosser Sorgfalt vorzunehmen, da dies ein effizientes und angenehmes Arbeiten im Kartiergebiet sicherstellt. Mit geo-mobile[®] können die Bild-, Grafik- und Datenbankdateien in verschiedenen Formaten abgespeichert und gelesen werden, was eine breite Kompatibilität zu anderen Programmen wie ArcGIS[®] gewährleistet. Die grafischen Darstellungsmöglichkeiten sind in geo-mobile[®] jedoch beschränkt, was eine Weiterverarbeitung der Daten auf einem anderen Programm nötig macht. Zu diesem Zweck können die Grafiken inklusive dazugehörigen Datenbanken in andere Programme exportiert werden. Wir haben die Daten als so genannte Shape-Dateien exportiert, um sie im Programm ArcGIS[®] der Firma ESRI weiterverarbeiten zu können. Es ist empfehlenswert, jede Ebene separat als Shape-Datei inklusive Datenbank zu exportieren, um sich Unannehmlichkeiten in ArcGIS[®] zu ersparen.

Im Anhang werden einige Besonderheiten und wichtige Einstellungen zur Software von geo-konzept erklärt.

Stromversorgung

Will man mit einem mobilen GIS arbeiten, sind im Voraus einige logistische Überlegungen bezüglich der Stromversorgung im Arbeitsgebiet anzustellen. Unsere schöne und komfortable Unterkunft auf der Alp Vaüglia Suot ist vom Stromnetz nicht erschlossen, weswegen der Einsatz eines Generators nötig wurde.

Die Batterien der Pentops müssen nach einem Feldeinsatz ungefähr während zwei Stunden aufgeladen werden. Ausserdem sollten die grossen 12 Volt Akkus ans Stromnetz gehängt werden. Die Batterien der Pentops haben nicht genügend Leistung für einen Feldeinsatz, der länger als einen halben Tag dauert. Zu diesem Zweck müssen sie bei Bedarf an den 12 Volt Bleiakku angeschlossen werden. Ein eigens angefertigtes Zwischenkabel hat uns erlaubt, Pentop und DGPS an der selben Batterie anzuschliessen. Dies hat sich bewährt, weil zwei grosse Bleiakkus im Rucksack die Arbeit im steilen Gelände erheblich erschwert hätten.

4.3.2 Persönliche Erfahrungen

Ein Teil der Diplomarbeit bestand darin, die Tauglichkeit eines mobilen GIS im Gebirge zu testen. Die Erfahrungen waren sehr vielseitig und beinhalten sowohl negative als auch positive Punkte. Die folgende Tabelle soll die Vor- und Nachteile gegenüber der herkömmlichen Kartierung mit Papier und Farbstiften veranschaulichen.

Vorteile	Nachteile
Genauigkeit im Sub-Meter-Bereich	Kartierung bei Regenwetter nicht möglich, weil der Pentop PC nicht wasserdicht ist
Positionsbestimmung jederzeit möglich	Gewicht (die gesamte Ausrüstung wiegt ungefähr 10 kg)
Kartiermassstab kann frei gewählt werden, da beliebig auf der Karte gezoomt werden kann	Strom muss im Kartiergebiet verfügbar sein
Datenbank wird direkt im Feld erstellt	Die Sonneneinstrahlung macht teilweise das Ablesen auf dem Bildschirm schwierig
Datenübertragung zur Nachbearbeitung mit ArcGIS [®] /ArcView [®] ist einfach	Verfügbarkeit des GPS-Korrektursignals ist nicht immer gewährleistet.

Tab. 4.6: Vor- und Nachteile des mobilen GIS gegenüber der herkömmlichen Kartierungsmethode.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Verbesserung der Technik, insbesondere die Stabilität des Pentopgehäuses und eine besser sichtbare Anzeige auf dem Display, wünschenswert ist. Pentops neuerer Generation sind in dieser Hinsicht schon vielversprechend weiterentwickelt.

Um sich mit dem Programm geo-mobile[®] vertraut zu machen und die benutzer-spezifischen Einstellungen vorzunehmen, sollte man zwei bis drei Wochen einplanen. Diese Zeit kann bei der Nachbearbeitung der Daten auf ArcGIS[®] oder anderen Programmen wieder gut gemacht werden. Insbesondere braucht man die Karte nicht mehr zu digitalisieren.

Die Kartierung mit einem mobilen GIS in Kombination mit einem DGPS hat sich aus unserer Sicht im Gebirge bewährt. Die genaue Positionsbestimmung und das automatische Einzeichnen von Objekten beim Umlaufen der Objektgrenze hat verlässliche Daten geliefert. Trotz den nicht weg zu diskutierenden Negativaspekten, geben wir dem mobilen GIS eine positive Gesamtnote und haben den Eindruck, dass es sich um ein zukunftsweisendes System handelt.

4.3.3 Das Programm ArcGIS®

Die Nachbearbeitung und Auswertung der gesammelten Daten fand mit der Software ArcGIS® 8.2 der Firma ESRI statt. Es ist dies das GIS-Programm schlechthin, welches sich als Standardsoftware in den Geowissenschaften und vielen andern Anwendungsbereichen etabliert hat. Eine genauere Beschreibung von ArcGIS® würde den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen. Es sollen einzig ein paar Besonderheiten beleuchtet werden.

Der Aufbau ist ähnlich wie in geo-mobile®, nur wesentlich vielfältiger. Die ehemaligen Ebenen von geo-mobile®, werden neu als so genannte "Layers" dargestellt, welche einzeln bearbeitet werden können. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass Text, der als Memo-Dateityp verfasst wurde, in ArcGIS® nicht gelesen werden kann. Besser speichert man Textdaten in geo-mobile® als String-Dateien. Diese dürfen maximal 255 Zeichen enthalten, können aber problemlos exportiert werden.

Die zu ArcGIS® gehörenden Programme ArcMap® und ArcCatalog® haben sich zur Nachbearbeitung der Karte gut geeignet. Insbesondere die Grenzen zwischen den Aufschlüssen lassen sich exakt darstellen. Auch können mehrere "Layers" zusammengefasst, nach verschiedenen Kriterien geordnet und grafisch dargestellt werden. Für das Layout der Karte und die Erstellung einer detaillierten Legende stehen viele Optionen zur Verfügung.

Über ein Informationsfeld können für jedes Objekt Informationen wie Bezeichnung, Koordinaten und andere objektspezifische Werte jederzeit eingesehen werden. Die einzelnen "Layers" können nach belieben ein- und ausgeschaltet werden.

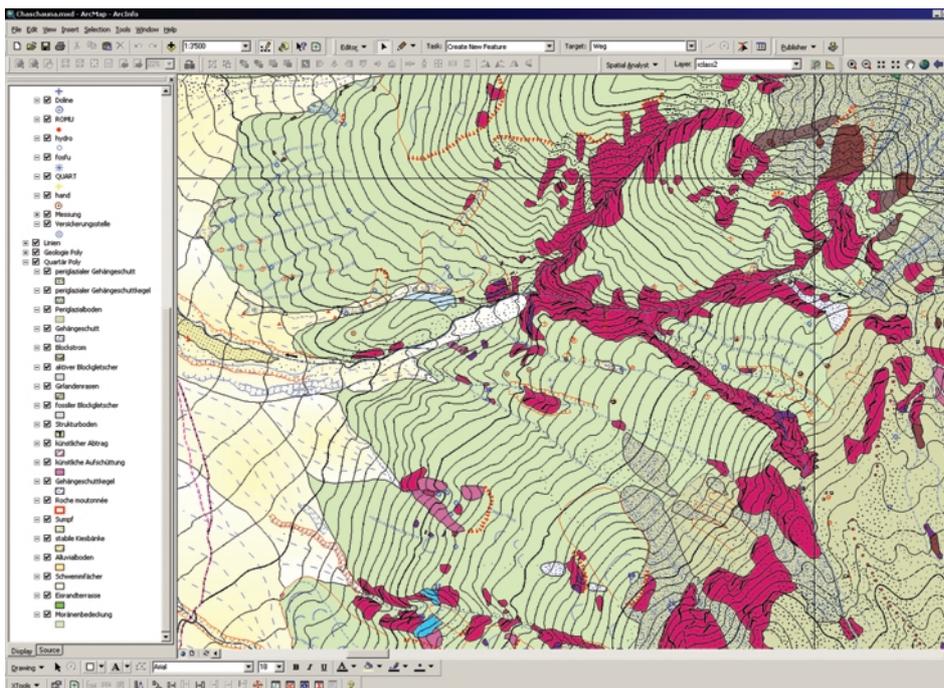


Abb. 4.9: Benutzeroberfläche von ArcMap® mit den einzelnen "Layers" (links) und der Karte (rechts).

4.4 Software AquaChem®

Für die Auswertung der Quellsmessdaten haben wir mit der Software AquaChem® 3.6 der Firma Waterloo Hydrogeologic gearbeitet. Die im Feld und Labor gewonnenen Messwerte werden in diesem Programm übersichtlich dargestellt und man hat die Option Statistiken und verschiedene gebräuchliche Diagramme zu erstellen. Die Daten einer Excel-Tabelle haben wir zur Bearbeitung direkt ins AquaChem® importiert.

Das Programm dient in erster Linie als Archiv der gesammelten Messwerte. Leider lässt die Diagrammdarstellung viele Wünsche offen, da die Diagramme kaum graphisch bearbeitet werden können.

Beim Datenexport aus Excel ist darauf zu achten, dass die Datei als Text-Datei abgespeichert wird. Anschliessend können die Werte in AquaChem® den benutzerdefinierten Feldern zugewiesen werden.

Es sei hier darauf hingewiesen, dass AquaChem® aus Syntaxgründen keine genaue Klassifikation der Grundwassertypen nach JÄCKLI (1970) vornehmen kann.

The screenshot shows the AquaChem software interface with the following data:

Header		Physical Parameters	
Bezeichnung	QE13	Y(m)	162326.7
Datum	29.06.02	X(m)	799369.1
Aquifer geology		Höhe (MueM)	2050
Lithology		Schüttung (l/min)	300
Water Type	Ca-SO4	Ph	7.76
		Ph (Lab)	7.98
		Eh (mv)	280
		Sample temperature (°C)	4.5
		Cond 20°C (µS)	1461

Cations	mg/l	Anions	mg/l
Na+	1.835	F-	.287
K+	.887	Cl-	.155
Mg++	42.285	SO4--	1049.541
Ca++	340.291	NO3-	.279
		HCO3-	133.017
		CO3--	

Uncharged C	mg/l
CO2	
O2	5.25

The Schoeller-Diagramm shows a concentration (mg/l) on a logarithmic scale (0.001 to 100) plotted against ions: Mg, Ca, Na+K, Cl, SO4, HCO3. The curve shows a peak at Ca, a dip at Cl, and another peak at SO4.

Abb. 4.10: Bild der Benutzeroberfläche eines Quellblatts in AquaChem® mit einem kleinen Schoeller-Diagramm (unten rechts).

5 Hydrogeologie

5.1 Einleitung

Wasser, sei es nun dasjenige das im Aarelauf fliesst, Mineralwasser aus der Flasche oder Regenwasser, weist eine spezifische Zusammensetzung auf. Betrachtet man Wasser anhand von bestimmten chemischen und physikalischen Parametern, wird einem sofort bewusst, dass Wasser nicht einfach durchsichtig und nass ist, sondern sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein kann. Dies gilt auch für das Wasser der Val Chaschauna.

Im Rahmen der Diplomarbeit galt es zu ergründen, wie die Geologie die Wasserzusammensetzung beeinflusst. Kann man mit Hilfe der Wasserchemie Rückschlüsse auf das Gestein im Untergrund ziehen? Können Aussagen über die Verbleibzeit im Untergrund gemacht werden? Um diese und andere Fragen klären zu können, wurde die Val Chaschauna während zwei Sommern hydrogeologisch erfasst.

Hierzu wurden in einem ersten Schritt das oberflächliche Gewässernetz und sämtliche Quellen auf der Karte eingezeichnet. Dies hat ein Total von 247 Quellen (113 östlich und 134 westlich der Ova da Chaschauna) ergeben. Anschliessend haben wir 54 Quellen für eine Beprobung ausgewählt (inklusive Quellen im SNP):

- 38 Quellen wurden 4 mal beprobt (davon 6 im Schweizerischen Nationalpark)
- 11 Quellen sind 3 mal beprobt worden
- 5 Quellen wurden 1 mal beprobt (inklusive Quelle in der Val Mingèr)
- Weitere Analysen: Spöl, Regenwasser

Die meisten Quellen haben wir im Jahr 2001 und 2002 je zweimal auf physikalische und chemische Parameter untersucht. Ein Teil der Beprobung erfolgte direkt im Feld (pH-Wert, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Carbonathärte, Gesamthärte, Schüttung) und die Ionenanalytik erfolgte im Labor des Instituts für Geologie in Bern. Hier wurden die Wasserproben mittels Ionenchromatographie auf die genaue chemische Zusammensetzung untersucht. Das Hydrogencarbonat wurde mittels Titration ebenfalls bestimmt.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Geologie eine sehr entscheidende Rolle bezüglich der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Grundwassers inne hat. Die Verbleibzeit im Untergrund, die Aquifer-Lithologie und die unterirdischen Fliesswege sind von entscheidender Bedeutung für die Wasserzusammensetzung.

Wir hoffen mit unserer Arbeit auch einen kleinen Beitrag zum UNO-Jahr des Süsswassers zu liefern und somit dem Wasser der Val Chaschauna eine globale Ehre zu erweisen.

5.2 Grundwasser als Teil des globalen Wasserkreislaufes

Unter dem hydrologischen Wasserkreislauf wird das Zusammenspiel von Verdunstung, Niederschlag, ober- und unterirdischem Abfluss, Infiltration und Wiederaustritt des Grundwassers verstanden. Etwas vereinfacht beginnt der globale Wasserkreislauf mit der Verdunstung von Meerwasser und setzt sich mit dem landwärtigen Transport des Wasserdampfes fort; danach kommt es zur Kondensation und der Niederschlag fliesst oberflächlich ab oder kehrt via Untergrund ins Meer zurück, um erneut zu verdunsten (Abb. 5.1). Die Antriebsenergie für den Kreislauf liefert die Sonne, welche mit ihrer Wärmestrahlung das Wasser verdunsten lässt.

«Vom Himmel kommt es, zum Himmel steigt es, und nieder zur Erde muss es, ewig wechselnd.»

- Johann Wolfgang Goethe

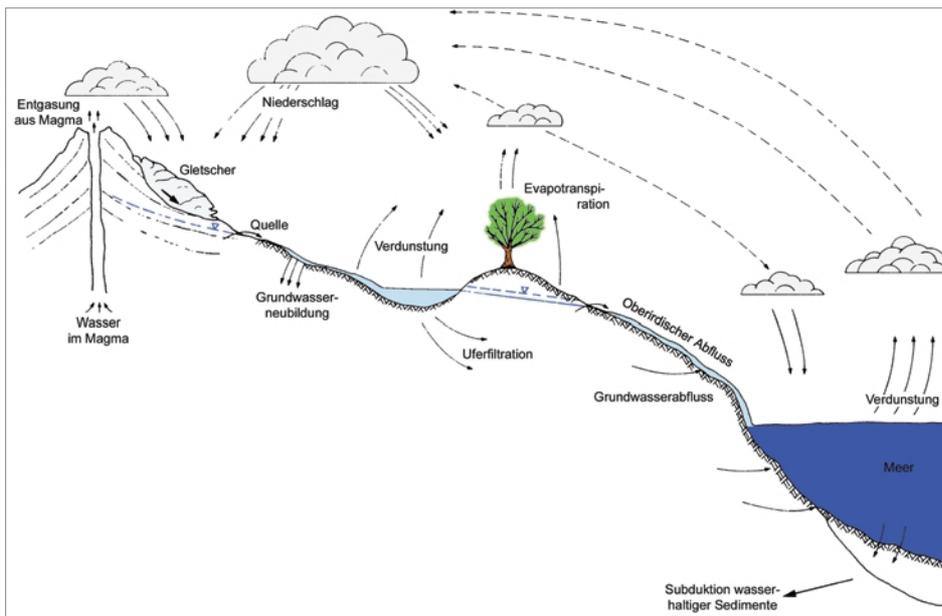


Abb. 5.1: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes nach MATTHESS & UBELL (1983).

Die am Kreislauf teilnehmende Wassermenge ist über geologische Zeiten hinweg nicht konstant. Vulkanische Eruptionen setzen durch die primäre Entgasung der Magmen aus dem Erdinneren immer wieder Wasser frei (juveniles Wasser). Andere Prozesse wiederum entziehen dem Zyklus Wasser. Als wichtigste Vorgänge sind hierzu die Bindung von Wasser bei der Verwitterung der Silikate und das Einschliessen im Porenraum neuer Sedimente anzusehen.

Die Verteilung des Wasservorrats der Erde ist in der Tabelle 5.1 zu sehen:

Reservoir	Umfang des Wasservorrats (statisch)				Mittlere Verweildauer
	Total		Süßwasser		
	[10 ⁹ km ³]	[%]	[10 ⁹ km ³]	[%]	
Ozeane	1.34	96.4	-	-	25'000 Jahre
Eis	0.024	1.72	0.024	60	5'000 Jahre
Unterirdisches Wasser:					
Grundwasser	0.094	1.72	0.016	40	1'400 Jahre
Bodenfeuchtigkeit	0.000016	0.001	0.000016	0.04	
Oberflächen Wasser:					
Seen, grosse Reservoirs	0.000176	0.013	0.00009	0.22	17 Jahre
Wasserläufe	0.0000021	0.00015	0.0000021	0.005	16 Tage
Wasser der Atmosphäre	0.000013	0.001	0.000013	0.03	8 Tage
Biosphäre	0.0000011	0.0001	0.0000011	0.003	einige Stunden

Tab 5.1: Wasservorrat der Erde. Quelle: Wasserverteilung aus UNESCO (1978), Verweildauer nach ZWAHLEN (mündliche Mitteilung).

Das Grundwasser macht weniger als zwei Prozent des globalen Wasservorrats aus. Dennoch stellt es für den Grossteil der Weltbevölkerung eine unersetzliche Lebensgrundlage dar. In der Schweiz werden beispielsweise 80 Prozent des Trinkwassers aus dem Grundwasser gewonnen (BUWAL 2003).

Grundwasser entsteht weitgehend aus versickernden Anteilen der Niederschläge. Auf dem Fließweg durch Boden und Gestein entwickelt das Wasser allmählich seine chemische Zusammensetzung. Bei kurzen Wasser-Aufenthaltszeiten im Untergrund (wenige Jahre) sind die Gestein-Wasser-Interaktionen meist gering und die Konzentrationen der vorhandenen chemischen Stoffe ähnlich der Zusammensetzung des Niederschlages. Demzufolge spielt der atmosphärische "Input" (Hintergrundkonzentration) im System eine bedeutende Rolle – insbesondere bei verstärkter anthropogener Luftbelastung und den entsprechenden Konsequenzen für die Grundwasserqualität.

5.2.1 Atmosphärischer Hintergrund: Niederschlag

Die chemische Zusammensetzung des aus der Atmosphäre in flüssiger oder fester Form ausgeschiedenen Wassers bildet die Ausgangslage der weiteren Entwicklung im Untergrund. Je nach Temperaturverhältnissen gelangen die Niederschläge als Regen, Schnee, Hagel, Nebelnässen, Tau oder Reif zur Erdoberfläche. Hydrogeologisch von Bedeutung sind in erster Linie die fallenden Niederschläge, besonders die in grösseren Mengen auftretenden Formen Regen und Schnee. Für die Grundwasserneubildung durch flüssigen Niederschlag sind vor allem ausgedehnte Regenperioden entscheidend, da in diesen Fällen die Zeitdauer zum Einsickern des meteorischen Wassers in den Untergrund länger ist als bei kurzen, intensiven Regenfällen. Dem Dauerregen ähnlich wirkt sich auf den Grundwasserhaushalt eine Schneedecke aus. Besonders bei langsam abtauendem Schnee werden die Grundwasservorräte nachhaltig vergrössert.

Die chemischen Bestandteile des Niederschlagswassers stammen zu einem Grossteil von der Verdunstung des Meerwassers. Bei der Evaporation über dem Ozean werden Meersalze enthaltende Wassertropfchen (die vor allem beim Gischt hoher Wellen und bei der Brandung entstehen) in die Atmosphäre mitgerissen und landeinwärts getragen. Regenwasser mit reiner mariner Herkunft ähnelt deshalb einem stark verdünnten Meerwasser mit einem Cl^-/Na^+ -Verhältnis von 1.8 (BERNER & BERNER 1987). Mit zunehmender Kontinentalität sinkt das Cl^-/Na^+ -Verhältnis. Zusätzlich lösen sich beim Transport durch die Atmosphäre Gase und Staub natürlicher und anthropogener Herkunft in den Wasserpartikeln und verändern die Niederschlagschemie. Atmosphärisch gelöste Gase wie O_2 und CO_2 sind später im Untergrund für einzelne Lösungsvorgänge von besonderer Bedeutung. Der Anteil gelöster Feststoffe unterliegt regionalen und saisonalen Schwankungen. Gewöhnlich dominieren die Alkaliionen und das Chlorid. In küstenferneren kontinentalen Bereichen können die Erdalkalitionen als Folge der Lösung von Staubpartikelchen überwiegen. In der Tabelle 5.2 sind die Hauptbestandteile typischer kontinentaler und maritimer Regenfälle im Vergleich zu Regendaten aus der Schweiz aufgeführt.

Ion	maritimer und Küstenregen	Val Chaschauna 21.08.2002	kontinentaler Regen	Val Laschadura 24.07.1999	Schweizer Mittel 1975-1977
Na^+	1.0–5.0	1.42	0.2–1.0	0.11	0.21
K^+	0.2–0.6	0.34	0.1–0.3	0.16	0.38
Mg^{2+}	0.4–1.5	0.41	0.05–0.5	0.06	0.18
Ca^{2+}	0.2–1.5	3.04	0.1–3.0	3.04	1.20
NH_4^+	0.01–0.05	n.b.	0.1–0.5	n.b.	0.82
Cl^-	1.0–10.0	1.17	0.2–2.0	0.04	1.00
NO_3^-	0.1–0.5	0.00	0.4–1.3	0.14	0.60
SO_4^{2-}	1.0–3.0	5.47	1.0–3.0	0.28	1.60

Tab. 5.2: Hauptbestandteile von Regenwasser in mg/l (n.b. = nicht bestimmt). Quellen: kontinentaler und maritimer Regen aus BERNER & BERNER (1996); Schweizer Mittel aus monatlichen Untersuchungen an sieben Stellen aus ZOBRIST & STUMM (1979); Regendaten der Val Laschadura aus CLAUSEN (2001).

Die Tabelle 5.2 zeigt deutliche Unterschiede in den Lösungskonzentrationen der einzelnen Stoffe im Niederschlagswasser. Interessant ist ein Vergleich zwischen dem Regenwasser der Val Laschadura und jenem der Val Chaschauna. Das Cl^-/Na^+ -Verhältnis im Niederschlag der Val Chaschauna ist mit 0.82 um mehr als einen Faktor zwei grösser als dasjenige der – nur wenige Kilometer entfernten – Val Laschadura. Eine Erklärung hierfür könnte die jeweilige Wetterlage liefern: Am 21. August 2002 herrschte eine Süd-Südost-Lage; die Windströme führten aus dem Adria-Gebiet maritime

Luftmassen in den Alpenraum. Die Niederschlagszusammensetzung aus diesen Luftmassen ist denn auch mit den typischen Konzentrationen maritimer Niederschläge vergleichbar. Bei südlich dominierten Wetterlagen ist ein zusätzlicher Salzeintrag durch Sahara-Staub nicht auszuschliessen. Wird das Wetter aber von einer Nord-Nordost-Lage bestimmt, ist die Fraktionierung durch Ausregnen von Meersalz weiter fortgeschritten und das Cl^-/Na^+ -Verhältnis entsprechend tiefer. Als Beispiel einer Wasserprobe aus kontinentalen Luftmassen könnte die Messung der Val Laschadura betrachtet werden.

Nach DÖSSEGER (2002) machen die Niederschläge von nördlich dominierten Wetterlagen in der Nationalparkregion den geringeren Anteil am Jahresniederschlag aus (10–22 %) als jene von Süd-Lagen (25–42 %).

Beim Regenwasser der Val Chaschauna fällt der hohe Sulfatgehalt auf. Verantwortlich dafür sind zu einem grossen Teil anthropogene Emissionen von SO_2 , die vorwiegend aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammen. Das SO_2 wird teilweise bereits in der Atmosphäre zu SO_3 oxidiert, das in Gegenwart von Wasser als Schwefelsäure (H_2SO_4) vorliegt (ZOBRIST & STUMM 1979).

Bei hydrogeologischen Untersuchungen wird zur Berechnung der jährlichen Grundwasserergänzung vielfach die Niederschlagskonzentration eines konservativen Stoffes herangezogen (APPELO & POSTMA 1999). Ein Inhaltsstoff, der sich konservativ (inert) verhält, ist das Chlorid. Werden die mittleren jährlichen Niederschlagsmengen durch das Verhältnis von Chloridkonzentration im Grundwasser zu Chloridkonzentration im Regenwasser dividiert, ergibt sich die ungefähre Grundwasserergänzung. Solche Anwendungen lassen sich zur Zeit jedoch nicht auf unser Untersuchungsgebiet übertragen, da die vorhandene Anzahl chemischer Niederschlaganalysen für aussagekräftige Interpretationen nicht ausreichen. Interessant ist zudem, dass die Chloridkonzentration aller gemessenen Quellwässer der Val Chaschauna mit durchschnittlich 0.24 mg/l deutlich unter den Chloridwerten des Regenwassers vom 21. August 2002 und dem Schweizer Mittel von 1975–1977 liegen. Grund dafür sind vermutlich die bis heute wenig erforschten Vorgänge der Chloridbindung in der Vegetation und der Sorption im Boden.

5.3 Gestein-Wasser-Interaktionen

Die atmosphärische Hintergrundkonzentration versickernden Regenwassers verändert sich je nach Verweildauer und Wechselwirkungen mit der wasserleitenden Gesteinsschicht mehr oder weniger stark. Anders ausgedrückt entspricht die Differenz zwischen chemischer Zusammensetzung des meteorischen Wassers und dem austretenden Grundwasser an einer Quelle dem Resultat der Gestein-Wasser-Interaktionen entlang dem Fließweg des Grundwassers. Die Beschaffenheit des unterirdischen Wassers ist somit stark von der wasserführenden lithologischen Einheit abhängig. Kontrolliert wird sie durch mineralogische, chemische und hydrogeologische Faktoren. Entscheidend für das Ausmass des Vorganges (besonders bei Auflösung) ist die reaktive Mineraloberfläche zwischen Grundwasser und Festkörper (MATTHESS 1973). Die wichtigsten geochemischen Prozesse sind:

- Auflösung und Ausfällung
- Oxidation und Reduktion
- Sorption

5.3.1 Auflösung und Ausfällung

Nach den Gesetzen der Thermodynamik strebt das System Grundwasser-Gestein den Gleichgewichtszustand an. Das Lösen von Mineralien und das Ausfällen von Bestandteilen des Grundwassers im Gestein tragen zum Erreichen dieses physikalisch-chemischen Gleichgewichtes bei.

Die wichtigsten löslichen Salze im Untergrund sind nach MATTHESS (1973) Kalkstein (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Magnesit (MgCO_3), Steinsalz (NaCl) und Anhydrit (CaSO_4) beziehungsweise Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Die häufigsten Ionen im Grundwasser sind demnach Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} und HCO_3^- , was sich in den Analysen unserer Quellwässer bestätigte. Die Löslichkeit hängt von den Stoffen und deren Löslichkeitsprodukten ab. Sie wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst – unter anderem durch die Wassertemperatur, das Redoxpotential und den pH-Wert (HÖLTING 1996). Bei Beteiligung von Gasen kann die Löslichkeit deutlich erhöht werden; CO_2 -Anwesenheit verstärkt beispielsweise die Carbonatlösung. Neben der Sulfatlösung in triasischen Evaporiten macht die Carbonatlösung den Grossteil der Auflösungsprozesse in der Val Chaschauna aus. Von untergeordneter Bedeutung im Untersuchungsgebiet ist die Verwitterung der Minerale unter dem Einfluss der H^+ - und OH^- -Ionen des Wassers. Charakteristisch ist dieser Vorgang (so genannte Hydrolyse) bei der Zersetzung der Silikate. Die schwerlöslichen Stoffe werden dabei an den Oberflächen angegriffen, wobei neben einer Neubildung von Mineralien Metallionen (vorwiegend Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ und K^+) in Lösung gehen.

Ein Beispiel eines Hydrolysevorgangs ist die Verwitterung von Kalifeldspat zu Tonmineralien (Kaolinit), dabei werden je Mol 5,5 Mol Wasser gebunden (MATTHESS & UBELL 1983):

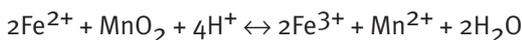


Die Lösungsvorgänge bei der Silikatverwitterung erfolgen in unseren Breitengraden vier bis sechs Grössenordnungen langsamer als bei der chemischen Verwitterung von Carbonaten (mündliche Mitteilung WABER). Bei den vermuteten, relativ kurzen Verweildauern des Wassers im Untergrund der Val Chaschauna tragen Hydrolyseprozesse somit nur unwesentlich zum Ioneneintrag ins Grundwasser bei.

Nimmt die Konzentration der gelösten Stoffe im Wasser kontinuierlich zu, kann es zur Übersättigung kommen, was schliesslich die Ausfällung von Mineralien zur Folge hat. Mehrere Ursachen können das Überschreiten der Sättigungsgrenze auslösen: oberflächliche Verdunstung, Gefrieren oder vorhergehende Auflösung.

5.3.2 Oxidation und Reduktion

Oxidations- und Reduktionsvorgänge, die so genannten Redoxprozesse, kontrollieren die Verteilung der redoxempfindlichen Bestandteile im Grundwasser (wie O_2 , Fe^{2+} , H_2S , SO_4^{2-} oder CH_4) und beeinflussen die Löslichkeit vieler Stoffe (APPELO & POSTMA 1999). Bei Redoxreaktionen findet ein Elektronentransfer vom einen Atom zum andern statt. Oxidation kann allgemein als Abgabe von Elektronen und Reduktion als Aufnahme von Elektronen definiert werden. In der wasserungesättigten Bodenzone, wo durch die Bodenluft ein gewisser Sauerstoffnachschub gewährleistet ist, herrschen oxidierende Vorgänge; in der wassergesättigten Zone finden sich sowohl oxidierende als auch reduzierende Bedingungen. Letztere sind vor allem dort anzutreffen, wo durch sauerstoffzehrende Stoffe der Gehalt an freiem Sauerstoff verringert wird. Ein Beispiel eines Redoxprozesses, wie er in einer sauren Lösung vorkommen könnte, zeigt die Reaktion zwischen Fe^{2+} und Mn^{4+} :

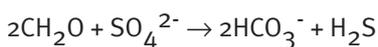


In dieser Reaktion wird pro zweiwertiges Eisen ein Elektron transferiert, um das vierwertige Mangan des MnO_2 zu reduzieren. Das zweiwertige Eisen gilt somit als Elektronenspender, das vierwertige Mangan als Elektronenannehmer. Verdeutlicht wird dies mit der Darstellung von zwei Halbreaktionen, wie es in der Elektrochemie üblich ist. Oben stehende Redoxreaktion wird demzufolge aufgeteilt und wie folgt geschrieben:



Das Resultat der Oxidation von Fe^{2+} zu Fe^{3+} konnte in der Val Chaschauna beim Quellaustritt QE75 beobachtet werden (siehe 5.5.5 Eisen).

Elektronentransfer-Reaktionen laufen in der Regel sehr langsam ab. Unter Beteiligung von Mikroorganismen können die Vorgänge jedoch deutlich beschleunigt werden. Ein Beispiel hierfür ist die rasche Sulfatreduktion durch die Bakteriengattung *Desulfovibrio*:



Vereinfachend für das sulfatreduzierende organische Material steht in obiger Redoxreaktion das CH_2O . Das produzierte H_2S reagiert später zu einem Grossteil mit Eisenoxiden im Sediment und bildet Eisensulfidminerale wie Pyrit (APPELO & POSTMA 1999).

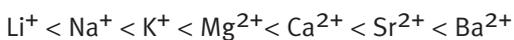
5.3.3 Sorption

Unter dem Begriff der Sorption wird die Aufnahme eines Gases oder gelösten Stoffes durch einen anderen (festen oder flüssigen) Stoff verstanden. Im hydrogeologischen Anwendungsbereich spielt die Sorption bei den Wechselwirkungen zwischen den organischen und anorganischen Bestandteilen des Untergrundes (feste Phase) mit dem Grundwasser (flüssige Phase) eine entscheidende Rolle. Die vier auftretenden Sorptionsvorgänge sind unten aufgelistet und kurz charakterisiert:

- Adsorption: Anlagern eines Stoffes an der Oberfläche einer festen Phase
- Desorption: Lösen eines ad- oder absorbierten Stoffes von der festen Phase
- Absorption: Aufnehmen eines Stoffes in die feste Phase
- Ionenaustausch: Ersatz eines Ions an/in der festen Phase durch ein anders Ion

Die grössten Auswirkungen auf die Wasserchemie üben die Austauschvorgänge zwischen den gelösten und den an einen Austauscher gebundenen Ionen aus. Der Ionenaustausch ist im Prinzip eine intensive Adsorption, bei der die Ionen im Kristallgitter gebunden werden. Per Definition wird beim Ionenaustausch ein adsorbiertes Ion durch ein gelöstes anderes Ion im stöchiometrischen Verhältnis ersetzt (MATTHESS 1973). Als Ionenaustauscher wirken im Untergrund vor allem Tonminerale, Zeolithe und Humusstoffe. Im Grundwasser sind vorwiegend die Kationen von den Austauschprozessen betroffen. Anionenaustausch ist seltener, da die Anionen in Verbindung mit Wasserstoff auf die Tonminerale eher zersetzend wirken (HÖLTING 1996).

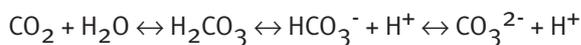
Die Austauschfähigkeit gegenüber verschiedener Ionen ist bei den Austauschern unterschiedlich. Generell gilt: Je höher die Valenz eines Ions, desto grösser ist die Affinität für einen Austauschplatz. Die allgemeine Reihenfolge mit zunehmender Affinität der Kationen für einen Austausch von links nach rechts ist:



5.4 Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

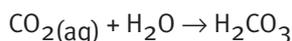
Die Zusammensetzung des Grundwassers wird oft durch Carbonatreaktionen kontrolliert. Häufig sind Kalksteine und Dolomite Grundwasserleiter mit einer hohen Produktivität und Orte mit zahlreichen Grundwasseraustritten. Nach APPELO & POSTMA (1999) haben Carbonatminerale wegen ihrer Reaktionsfreudigkeit einen dominanten Einfluss auf die Wasserchemie. Die Lösung von Silikaten verläuft viel langsamer. Die Chemie der Carbonate ist an den biologischen Kreislauf gekoppelt. Dies in erster Linie durch Verbrauch oder Produktion von CO_2 durch biologische Prozesse, aber auch weil die meisten Carbonatgesteine aus Skelettbruchstücken von Organismen bestehen. Nicht alle Carbonatminerale verhalten sich bei Lösungsprozessen gleich. So ist zum Beispiel Calcit das stabilere Mineral als Aragonit. Oder in anderen Worten: Die Löslichkeit von Aragonit ist grösser als diejenige von Calcit.

Für das Vorkommen von Calcium und Hydrogencarbonat im Wasser ist das Kalk-Kohlensäure-System wichtig, welches wie folgt geschrieben wird:



Kohlensäure (H_2CO_3), welche durch organische Prozesse im Boden entsteht, spielt eine wichtige Rolle bei den Lösungsprozessen. Die Säure liefert Protonen (H^+), welche mit den Carbonationen (CO_3^{2-}) vom Calcit reagieren und auf diese Weise Hydrogencarbonat (HCO_3^-) bilden. Der pH-Wert ist ein sehr wichtiger Faktor, der die Reaktion kontrolliert. Der pH-Wert seinerseits wird stark durch das gelöste CO_2 im Wasser beeinflusst.

Kohlensäure bildet sich durch die Reaktion von gelöstem CO_2 mit dem Wasser und kann vereinfacht so geschrieben werden:



Je nach pH-Wert sind andere CO_2 -Ionen im Wasser dominant. H_2CO_3 ist dominant bei $\text{pH} < 6.3$, CO_3^{2-} wird dominant bei $\text{pH} > 10.3$ und bei intermediären pH-Werten ist vor allem HCO_3^- im Wasser gelöst (Abb. 5.2).

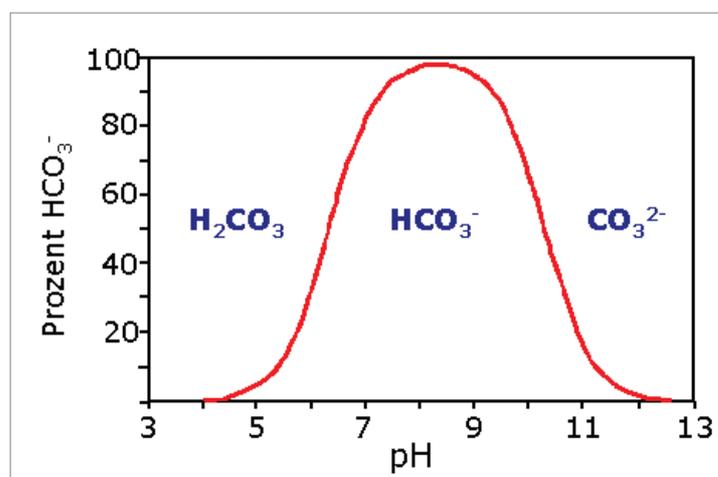
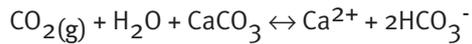


Abb. 5.2: Prozent des Hydrogencarbonatanteils als Funktion des pH-Werts (nach APPELO & POSTMA 1999).

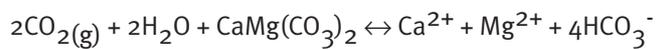
Die meisten in der Val Chaschauna analysierten Wasserproben befinden sich im intermediären Bereich, also haben wir hauptsächlich Hydrogencarbonat im Wasser gelöst. Für diese Proben kann die Lösungsreaktion von Calcit folgendermassen formuliert werden:



Diese Reaktion ist wichtig, weil sie den grössten Einfluss auf die Ca^{2+} und HCO_3^- Konzentrationen in Wasser hat. Es wird auch ersichtlich, dass zur Lösung von Calcit freies CO_2 verbraucht wird. Kohlendioxid ist folglich ein limitierender Faktor für die Lösung von Calcit.

Die Quelle QW121 hat mit einem $\text{pH} = 6.23$ einen leicht sauren Charakter. In diesem Wasser ist folglich Kohlensäure das dominante Anion.

Analog kann für die Lösung von Dolomit folgende Gleichung aufgestellt werden:



5.5 Die Herkunft der wichtigsten Ionen

Die wichtigsten Wasserinhaltsstoffe werden im Zusammenhang der mineralspezifischen Abhängigkeit kurz besprochen. Die vom Wasser durchflossenen Schichten reagieren mit dem Grundwasser und sind im Wesentlichen für die Wasserzusammensetzung verantwortlich. Bei den untersuchten Quellen in der Val Chaschauna beschränkt sich der anthropogene Eintrag von chemischen Verbindungen hauptsächlich auf Verunreinigungen im Regenwasser.

5.5.1 Natrium

Das Natrium kommt in Süsswässern im Allgemeinen als Na^+ -Ion vor. Die höchsten Natriumkonzentrationen treten in Verbindung mit Cl^- -Ionen auf, was ein Hinweis für steinsalzhaltige Schichten im Untergrund sein kann. Kristalline Gesteine haben in der Regel viel Natrium gebunden. Natrium ist ein wichtiger Bestandteil in den Plagioklasen, insbesondere im natriumreichen Endglied Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Auch in Sandsteinen kann viel Natrium gespeichert sein, sei es als Bestandteil von unverwitterten Mineralkörnern oder als Bestandteil des Zements.

Bei der Verwitterung der Silikate wird das Natrium frei und reichert sich im Grundwasser an. Bei Tiefenwässern werden Austauschprozesse für die Natriumanreicherung wichtig.

Natrium kann als Bestandteil von terrestrischem Staub durch Niederschläge in den Untergrund gelangen. Weil Natrium in zahlreichen vom Menschen genutzten Chemikalien vorkommt, kann das Element als anthropogene Verunreinigung ins Grundwasser gelangen.

Von salzföhrnden Sedimenten und Evaporiten abgesehen, ist der Natriumgehalt der Grundwässer in humiden Klimaten meist in der Grössenordnung von 1 - 20 mg/l (MATHES 1973). Das Quellwasser der Val Chaschauna weist nur geringe Natriumkonzentrationen auf. Gemessen werden Werte von 0.1 - 3.0 mg/l. Die durchschnittliche Konzentration beträgt 1.2 mg/l. Diese geringe Anreicherung ist vermutlich durch die grosse Verbreitung von Carbonatgesteinen, im Kartiergebiet vor allem Dolomit, zu erklären. Natrium ist nur ein untergeordneter Bestandteil in Carbonatgesteinen.

5.5.2 Kalium

Sowohl kristalline Gesteine als auch Sandsteine können beträchtliche Mengen des Alkalimetalls Kalium eingebunden haben. Kalium ist ein Bestandteil in den Kalifeldspäten Orthoklas und Mikroklin (KAlSi_3O_8), den Glimmern Muskovit und Biotit, sowie anderen Silikaten. Durch Verwitterungsprozesse wird das Kalium frei, aber durch Absorption an Tonminerale (vor allem Illit) werden die K^+ -Ionen schnell wieder gebunden. Tonminerale wie Illit werden in den Periglazialgebieten der Val Chaschauna ausgewaschen. Es sei hier auf das XRD-Diagramm im Anhang verwiesen, welches die Tonmineralogie einer Probe aus dem Kartiergebiet zeigt.

Kalium nimmt als wichtiger Pflanzennährstoff am biologischen Kreislauf teil. Die Vegetation entzieht dem Wasser das Kalium, gibt aber die gebundenen Stoffe beim Zerfall wieder an den Boden zurück. Anthropogen gelangt Kalium hauptsächlich im Zusammenhang mit Düngemittel in den Untergrund. In unserem Untersuchungsgebiet kann ein solcher Eintrag ausgeschlossen werden.

Als Folge der geringen geochemischen Beweglichkeit ist Kalium nur selten in grösserer oder nahezu gleicher Konzentration wie Natrium in Süßwässern vertreten (MATTHESS 1973). Dies können wir durch unsere Untersuchungen bestätigen. Das Quellwasser der Val Chaschauna weist Konzentrationen von 0.2–1.9 mg/l K^+ -Ionen auf. Im Durchschnitt beläuft sich die Kaliumkonzentration auf 0.7 mg/l.

5.5.3 Calcium

Calcium ist in den verschiedensten Mineralien eingebaut und bildet deshalb das wichtigste Kation in den meisten Grundwässern. Mineralien wie Anorthit ($CaAl_2Si_2O_8$), Amphibol, Pyroxen, Granat und Epidot enthalten alle Calcium. Bei der Verwitterung wird Calcium nur zu einem geringen Teil in den tonigen Gesteinen gebunden. Calcium wird in den Carbonaten unter anderem als Calcit und Aragonit (beide $CaCO_3$), Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) und Kalkstein abgelagert. In den Sulfaten wird Calcium in Anhydrit ($CaSO_4$) und Gips ($CaSO_4 \cdot H_2O$) eingebaut.

Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bestimmt, wie viel Calcium im Wasser gelöst sein kann. Steht das Grundwasser in Kontakt mit Gips und Anhydrit, so wird der Ca^{2+} -Gehalt durch das Löslichkeitsprodukt des Gipses bestimmt. Ionenaustauschprozesse ersetzen Ca^{2+} -Ionen aus dem Grundwasser durch Na^+ -Ionen.

Niederschläge führen dem Grundwasser Calcium aus Staub kalkhaltiger Gesteine und industrieller Emissionen zu. Auch als Dünger wird Calcium vielerorts eingesetzt und kann auf diesem Weg in den Wasserkreislauf gelangen.

In der Val Chaschauna treten Quellen mit sehr unterschiedlichem Calciumgehalt zu Tage. Werte von 1.2–417.5 mg/l Ca^{2+} mit einem Mittelwert von 89.6 mg/l Ca^{2+} sind gemessen worden.

Calcium ist als wichtiger Härtebildner Bestandteil der Carbonat- und Gesamthärte. Eine hohe Gesamtmineralisation des Wassers kann in erster Linie auf einen erhöhten Ca^{2+} - und HCO_3^- -Gehalt zurückgeführt werden. Die Lösung von Carbonatgesteinen ist dafür ganz wesentlich verantwortlich. Langandauernde Lösungsprozesse von Carbonat in den Grundwasserleitern über tausende von Jahren kann zur Bildung von Höhlen und Karstlandschaften führen. In Carbonatgesteinen fließt das Wasser hauptsächlich in Bruchzonen und unterirdischen Bächen. Dolinen, und die teilweise sehr hohen Ca^{2+} -Konzentrationen sind deutliche Hinweise für eine Verkarstung des Dolomits im süd-östlichen Talende der Val Chaschauna.

5.5.4 Magnesium

Bei den kristallinen Gesteinen sind unter anderem die Minerale Forsterit (Mg_2SiO_4), Granat, Pyroxen, Amphibol und Chlorit Hauptträger von Magnesium. Ebenso kommt Magnesium häufig im Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), Magnesit ($MgCO_3$) und als Beimengung in Kalksteinen vor.

Im Niederschlag kann Mg^{2+} in geringen Mengen vorhanden sein. Nach MATTHESS (1973) ist trotz der höheren Löslichkeit der Magnesiumgehalt in den Süßwässern im Allgemeinen niedriger als der des Calciums, was eine Folge der geringeren geochemischen Häufigkeit des Magnesiums ist.

Der gemessene Magnesiumgehalt in den Quellwässern der Val Chaschauna ist variabel und weist Konzentrationen von 0.4–48.8 mg/l Mg^{2+} auf. Der Mittelwert aller beprobten Quellen beträgt 17.5 mg/l Mg^{2+} .

5.5.5 Eisen

Die Wasserproben wurden nicht auf Eisen untersucht, doch soll aus Gründen der Vollständigkeit das Element Eisen kurz besprochen werden. In den Gesteinen ist Eisen weit verbreitet, wobei es vor allem in Erzmineralen wie Magnetit (Fe_3O_4), Hämatit (Fe_2O_3), Limonit und Pyrit (FeS_2) vorkommt. Im Gegensatz dazu ist die Konzentration von Eisen im Grundwasser in der Regel gering. Verantwortlich dafür sind die eingeschränkten Löslichkeitsbedingungen, insbesondere wird das durch die Verwitterung frei werdende Eisen schnell in stabile Oxide und Oxidhydrate umgewandelt. Das Redoxpotential und der pH-Wert bestimmen wesentlich die Konzentration von gelöstem Eisen im Wasser.

Bei der Quelle QE75 wird Eisen in grossen Mengen ausgefällt. Die rot-orange Färbung der Quellaustrittsstelle lässt dies vermuten. Fe^{2+} wird an der Oberfläche unter Sauerstoffzufuhr zu Fe^{3+} oxidiert. Das schlecht lösliche Fe^{3+} -Ion fällt aus und bildet in der Form von Ferrihydroxiden einen Überzug auf dem umliegenden Bachschutt. Die Sulfatkonzentrationen liegen mit bis zu 1009 mg/l bei QE75 sehr hoch. Eisensulfat ($\text{FeSO}_4(\text{aq})$) ist in Wässern mit mehr als einigen hundert mg/l Sulfat häufig (MATTHESS 1973).

5.5.6 Chlorid

Der Chlorgehalt ist im Vergleich zu den übrigen Hauptinhaltsstoffen in den wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien gering. Entsprechend niedrig ist auch seine Konzentration im Grundwasser. Mineralien wie Hornblende und Apatit haben in ihrem Kristallgitter Chlor eingebaut, dass bei der Verwitterung an das Wasser abgegeben werden kann. Sedimente, welche Steinsalz oder chloridreiche Restlösungen im Porenraum enthalten, können für einen erhöhten Cl^- -Gehalt im Wasser verantwortlich sein. In niedrig mineralisierten Grundwässern gelangt das Chlorid zu einem grossen Teil durch den Niederschlag in den Untergrund. Chlorid ist ein zyklisches Salz und gelangt darüber hinaus als terrestrischer Staub, vulkanische Emissionen und als anthropogene Luftverunreinigung in die Atmosphäre. Abfallstoffe, Streusalz und Cl^- -haltige Düngemittel sind zusätzlich für einen anthropogenen Eintrag in den Stoffkreislauf verantwortlich.

In der Val Chaschauna haben wir im Mittel 0.2 mg/l Cl^- gemessen. Die Werte schwanken zwischen 0.03 und 1.5 mg/l Cl^- .

5.5.7 Nitrat

Im Grundwasser kommt geogenes Nitrat fast nur im Zusammenhang mit Salpeter vor. Salpeter ist ein Überbegriff, speziell für Natriumnitrat (NaNO_3) und Kaliumnitrat (KNO_3). Stickstoffverbindungen werden bei biologischen Vorgängen umgesetzt. In Gegenwart von Sauerstoff wird organisch gebundener Stickstoff über Aminosäuren und Ammonium zu Nitrit und schliesslich zu Nitrat oxidiert (MATTHESS 1973). Im Untersuchungsgebiet stammt Nitrat im Wesentlichen aus dem Niederschlagseintrag und von Abbauprozessen stickstoffhaltiger organischer Stoffe. Anthropogen infiltriert NO_3^- hauptsächlich durch Düngung und Abfallstoffe in den Wasserkreislauf.

Die Alp Chaschauna wird alpwirtschaftlich genutzt und es ist deshalb ein Nitratintrag durch das Vieh anzunehmen. Die gemessenen NO_3^- -Werte sind jedoch sehr gering und betragen im Durchschnitt nicht mehr als 0.5 mg/l. Konzentrationen von 0–1.7 mg/l NO_3^- sind bestimmt worden.

5.5.8 Sulfat

In den Gesteinen ist Schwefel hauptsächlich in der oxidierten Form als Sulfat vorhanden. Sulfate sind Bestandteile einiger Feldspatvertreter, kommen jedoch vor allem als Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) in den Evaporiten vor. Ausser Calciumsulfat kommen in den Evaporiten auch Sulfate des Natriums, Kaliums und Magnesiums vor. Durch die Verwitterung der genannten Schwefelverbindungen gelangt geogenes SO_4^{2-} ins Grundwasser. Beträchtliche Sulfatmengen werden mit den Niederschlägen dem Wasserkreislauf zugeführt. Anthropogene Luftverunreinigungen und Sulfat als zyklisches Salz von den Ozeanen gelangen auf diese Weise in das Grundwasser. Eine weitere Sulfatzufuhr erhält das Grundwasser durch den Abbau von organischen Substanzen im Boden und durch die Zufuhr von auswaschbaren Sulfaten mit der Düngung.

Im Süßwasser kommt Schwefel meist in der Form von Sulfat vor. Das Sulfation ist ein Komplex mit einer starken Tendenz, weitere Komplexe wie Natriumsulfat (NaSO_4^-) und Calciumsulfat (CaSO_4) zu bilden. Nach MATTHESS (1973) nimmt ihr Anteil bei wachsender Sulfatkonzentration zu. Geringe Sulfatgehalte sind für Grundwässer typisch, in denen eine mikrobielle Sulfatreduktion stattgefunden hat. Bei pH-Werten < 7 ist im reduzierenden Bereich Sulfid (H_2S) zu erwarten. Das Quellwasser von QE75 führt Sulfid mit sich, was unschwer am Geruch nach faulen Eiern zu erkennen ist. Sulfid wird an der Oberfläche schnell zu Sulfat umgewandelt.

Im Untersuchungsgebiet sind mittlere Sulfatwerte von 215 mg/l typisch. Die Quellwässer weisen sehr unterschiedliche Sulfatkonzentration von 1.6–1182 mg/l auf.

5.5.9 Hydrogencarbonat (Alkalinität)

In der Lithosphäre ist Kohlenstoff vor allem in Carbonatgesteinen angereichert. Für das Vorkommen im Wasser ist das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht von entscheidender Bedeutung. Weil der pH-Wert sämtlicher Wasserproben innerhalb des Bereichs $\text{pH} = 6\text{--}10$ ist, ist Hydrogencarbonat die dominante Carbonatspezies im Grundwasser der Val Chaschauna.

Die so genannte Alkalinität ist ein Mass für die Fähigkeit, eine Säure zu neutralisieren und basiert in den meisten Grundwässern auf den Carbonat- und Hydrogencarbonationen. Hydrogencarbonat wird in der Regel in Konzentrationen von 1–10 mg/l vom Niederschlag eingetragen.

Wir haben die Alkalinität beziehungsweise den m- und p-Wert mittels Titration im Labor bestimmt. Dabei haben wir Werte von 5.5–217.2 mg/l HCO_3^- gemessen. Der Mittelwert sämtlicher Proben beträgt 99.1 mg/l HCO_3^- .

5.5.10 Fluorid

Das Fluor ist nur in geringen Konzentrationen im Wasser vorhanden und wird deswegen zu den Nebenbestandteilen gezählt. Mineralien wie Fluorit (CaF_2) und Apatit können bei der Verwitterung F^- -Ionen an das Grundwasser abgeben. Die im Wasser gelösten F^- -Ionen können mit Aluminium, Beryllium und dreiwertigem Eisen lösliche Komplexe bilden. Nach MATTHESS (1973) liegt der Gehalt an F^- in den meisten Süßwässern unter 1 mg/l.

In den Wässern der Val Chaschauna ist die Fluoridkonzentration gering und beträgt im Durchschnitt nicht mehr als 0.1 mg/l. Alle Messwerte liegen im Bereich von 0–1.2 mg/l F^- . Der Ca- SO_4 -Typ ist im Vergleich zu den anderen Grundwassertypen mit Fluorid angereichert.

5.6 Quelltypen

Bei einer Quelle tritt das Grundwasser in einem eng begrenzten Raum an die Oberfläche und fliesst anschliessend in einem oberirdischen Gewässer ab. Jeder Wasseraustrittsstelle ist einer der folgenden Quelltypen zugeordnet worden.

Kluftquelle (Punktquelle)

Dieser Quelltyp bildet sich, wie der Name schon sagt, an Spalten im anstehenden Gestein. Kluftquellen setzen das Vorhandensein eines zusammenhängenden, kommunizierenden Kluftsystems voraus.

In der Val Chaschauna haben wir einige solche Quellen gefunden, meistens aus dem Kristallin oder Dolomit heraus.

Lockergesteinsquelle (Quellhorizonte)

Am Fusse von Schutthalden und aus der Moränenbedeckung treten typischerweise Lockergesteinsquellen zu Tage. Die primären Quellen können unter dem Schutt verborgen liegen. Im Feld ist es meist schwierig, primäre von sekundären Quellen zu unterscheiden. Wasser, das aus einer Kluftquelle ins Lockergestein fliesst, kann unter Umständen im Talgrund als Lockergesteinsquelle ausfliessen.

In der Val Chaschauna haben wir den Grossteil aller Quellen diesem Quelltyp zugeordnet.

Schichtquelle

Häufig treten Schichtquellen zwischen einer grundwasserleitenden- und nichtleitenden Schicht aus. Im Gelände ist dieser Quelltyp durch zahlreiche Wasseraustritte entlang einer horizontalen Linie zu erkennen. Der Wasseraustritt befindet sich meistens im Lockergestein. Eine schöne Schichtquelle ist nordöstlich der Alp Chaschauna zu beobachten, wo die Quellen QE21, QE24 und QE27 alle aus dem selben Horizont austreten.

Quellnässe

Quellnässen sind an einer grossflächigen Bodendurchnässung zu erkennen. Das Wasser fliesst nicht direkt oberirdisch ab, sondern bildet lokal einen kleinen Sumpf. In unserem Kartiergebiet werden diese Stellen von Kühen oft stark umgestaltet.



Abb. 5.3: Kluftquelle aus Dolomit in der Val Mingèr bei den Koordinaten 816080/176294.

5.7 Wassertypen

In der Schweiz hat sich die Nomenklatur nach JÄCKLI (1970) etabliert und soll auch in dieser Arbeit verwendet werden. Für die Benennung werden erst die Kationen, dann die Anionen, die mit mehr als 10 meq-% (Milliäquivalent-Prozent) beteiligt sind, in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgeführt. Ionen mit mehr als 50 meq-% werden dabei unterstrichen, solche mit weniger als 20 meq-% in Klammern gesetzt.

Der weitaus häufigste Grundwassertyp in den Schottern der Schweiz nördlich der Alpen wäre nach dieser Nomenklatur als Ca-Mg-HCO₃-Typ (Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Typ) zu bezeichnen (JÄCKLI 1970). In der Val Chaschauna haben wir fünf Quellen diesem Typ zugeordnet.

Beispiel für die Quelle QE72 (21.10.2001):

1. Die Konzentration muss von [mg/l] in [meq/l] umgerechnet werden. Dies geschieht mit folgender Formel:

$$[\text{meq/l}] = \frac{\text{Konzentration [mg/l]} \cdot \text{Wertigkeit}}{\text{Molekulargewicht [g/mol]}}$$

Ion	Konzentration [mg/l] (gemessen)	Wertigkeit	Molekulargewicht [g/mol]	[meq/l]
Fluorid	0.022	1	18.998	0.001
Chlorid	0.266	1	35.453	0.008
Nitrat	0.462	1	62.005	0.007
Sulfat	14.871	2	96.062	0.310
Hydrogencarbonat	134.848	1	61.017	2.210
Natrium	1.735	1	22.989	0.075
Kalium	0.649	1	39.098	0.017
Magnesium	20.237	2	24.305	1.665
Calcium	20.528	2	40.078	1.024

Tab. 5.3: Konzentrationsangaben für die Quelle QE72 (21.10.2001).

2. Summe der Kationen und Anionen und für jedes einzelne Ion die meq/l-% ausrechnen.

ΣKationen	Na [%]	K [%]	Mg [%]	Ca [%]	ΣAnionen	F [%]	Cl [%]	NO ₃ [%]	SO ₄ [%]	HCO ₃ [%]
2.78	2.71	0.60	59.86	36.83	2.54	0.05	0.30	0.29	12.21	87.15
			<u>Mg</u>	<u>Ca</u>					(SO ₄)	HCO ₃

Tab. 5.4: Berechnung der meq/l-% für jedes Ion der Quelle QE72 (21.10.2001).

3. Die Nomenklatur nach den zuvor beschriebenen Normen nach JÄCKLI ergibt für die Quelle QE72 folgenden Wassertyp: Mg-Ca-HCO₃-(SO₄) oder in Worten: Magnesium-Calcium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Typ.

In der Val Chaschauna lassen sich die Quellwässer in verschiedene Gruppen gliedern. Folgende 16 Typen lassen sich aufgrund der Wasserchemie unterscheiden (siehe nächste Seite):

Wassertyp nach JÄCKLI	Anz. Quellen	Klassifikation
$\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$	4	$\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$
$\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$	4	
Ca-Mg-HCO_3	5	Ca-Mg-HCO_3
Ca-Mg-HCO_3	2	
$\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)}$	12	
$\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)}$	3	
$\text{Ca-(Mg)-HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)}$	1	
Ca-SO_4	2	Ca-SO_4
Ca-(Mg)-SO_4	3	
$\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)}$	2	
$\text{Ca-(Mg)-SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)}$	2	
Mg-Ca-HCO_3	2	Mg-Ca-HCO_3
$\text{Mg-Ca-HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)}$	2	
$\text{Mg-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$	1	$\text{Mg-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$
$\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$	1	$\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$
Ca-Mg-SO_4	1	Ca-Mg-SO_4

Tab. 5.5: Klassifikationsschema für die Quellwässer aufgrund der Ionenzusammensetzung.

Im Untersuchungsgebiet sind drei Hauptwassertypen vorherrschend. Zu ihnen zählen folgende Quellwässer: $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$, Ca-Mg-HCO_3 und Ca-SO_4 . Die übrigen Wassertypen treten nur vereinzelt auf, lassen sich aufgrund ihrer Wasserchemie jedoch nicht in einen Hauptwassertyp eingliedern.

Das Piper-Diagramm

Die grafische Darstellung der Wasserchemie in einem Diagramm nach PIPER, dem so genannten Piper-Diagramm, vermittelt einen Überblick über die verschiedenen Wassertypen. Das Diagramm ist eine Kombination von Dreieck- und Viereckdiagrammen. An den Seiten eines Parallelogramms werden zwei Dreiecke angefügt, welche zur getrennten Illustration der Ionenbeziehung der Kationen beziehungsweise Anionen dienen. Im Parallelogramm selbst werden Kationen (Erdalkalien Ca^{2+} , Mg^{2+} und Alkalien Na^+ , K^+) und Anionen (SO_4^{2-} , Cl^- sowie HCO_3^- und CO_3^{2-}) durch einen Punkt dargestellt (HÖLTING 1996).

Das Piper-Diagramm für die Val Chaschauna, mit allen beprobten Quellen, zeigt folgendes Verteilungsmuster (Abb. 5.4).

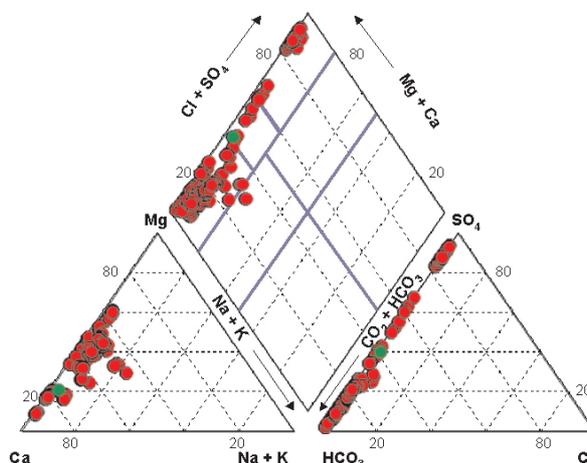


Abb. 5.4: Piper-Diagramm mit allen beprobten Quellen der Val Chaschauna (rot) und dem Innwasser (grün).

Im Kationendreieck fällt auf, dass für einen grossen Teil der Quellen Calcium und Magnesium anteilmässig gleich häufig vertreten sind. Einige Wasserproben sind jedoch an Calcium deutlich angereichert. Deutlich sind die geringen Konzentrationen von Natrium und Kalium zu sehen.

Bei den Anionen zeigt sich ein variables Verteilungsmuster. Das Verhältnis von Hydrogencarbonat und Sulfat kann sehr unterschiedlich sein. Sämtliche Proben weisen einen sehr geringen Chloridanteil auf.

Betrachtet man das Parallelogramm, so lassen sich die Quellwässer der Val Chaschauna nach der Klassifikation von JÄCKLI (1970) in vier Gruppen gliedern (Abb. 5.5).

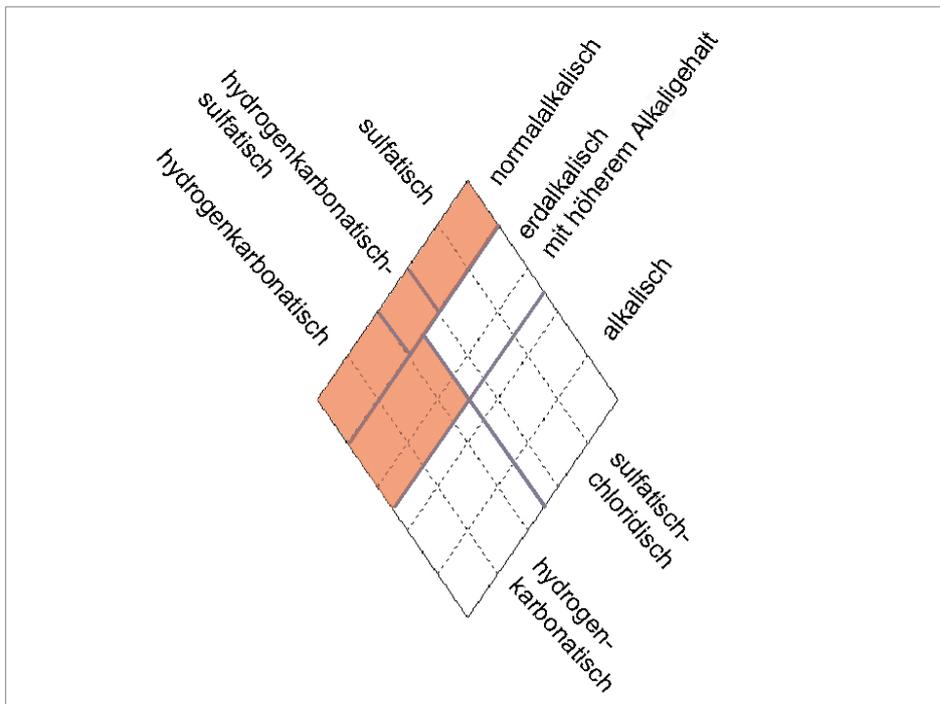


Abb. 5.5: Parallelogramm zur Abgrenzung der verschiedenen chemischen Grundwassertypen. Die Quellen in der Val Chaschauna befinden sich im rot eingefärbten Bereich (nach JÄCKLI 1970).

Bis auf eine Ausnahme haben die Wasserproben einen normalalkalischen Charakter. Die Quelle QW121 wird als einzige Probe zu einem erdalkalischen Typ mit erhöhtem Alkaligehalt gerechnet. Die meisten Proben zeigen eine hydrogencarbonatische Zusammensetzung. Sulfat ist in einigen Wasserproben angereichert, so dass ein hydrogencarbonatisch-sulfatischer (zum Beispiel QW100) und sogar ein rein sulfatischer (zum Beispiel QE75) Wassertyp ausgeschieden werden kann.

Das Schoeller-Diagramm

Für die Darstellung der absoluten Ionenkonzentrationen eignet sich das so genannte Schoeller-Diagramm. Die Konzentrationen der Ionen werden auf einen logarithmischen Massstab aufgetragen. Die sieben verschiedenen Wassertypen der Val Chaschauna sind im folgenden Diagramm abgebildet.

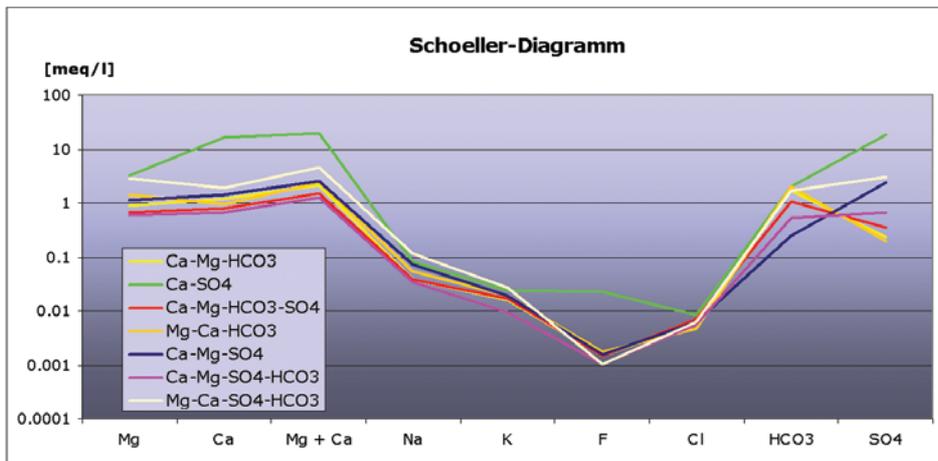


Abb. 5.6: Die verschiedenen Wassertypen der Val Chaschauna sind im Schoeller-Diagramm aufgetragen.

Auffallend im Diagramm ist der ähnliche Kurvenverlauf aller Wassertypen. Die Wässer unterscheiden sich in erster Linie aufgrund der Ionenkonzentrationen von Mg^{2+} , Ca^{2+} , F^- , HCO_3^- und SO_4^{2-} . Diese Ionen unterscheiden sich in der Konzentration um einen Faktor 10 und mehr. Durch die vielfältigen Lösungsprozesse im Grundwasserleiter gelangen diese Ionen bevorzugt ins Grundwasser. Magnesium, Calcium und Hydrogencarbonat kommen wohl hauptsächlich durch die Lösung von Dolomit in den Wasserkreislauf. Fließt das Wasser durch Rauhwacke, so werden besonders hohe Sulfatgehalte gemessen. Bei der Quelle QW12 eingangs der Val Chaschanella wurden aus einer Rauhwackeschicht Sulfatkonzentrationen von 850 mg/l und mehr gemessen.

Na^+ , K^+ , und Cl^- sind in allen Quellwässern in ähnlichen Konzentrationen vorhanden. Insbesondere der Chloridgehalt ist sehr konstant. Dies ist mit dem Chloridinput durch das Regenwasser zu erklären, wobei Geistein-Wasser-Interaktionen mit dem geologischen Untergrund für dieses Element sehr gering sind (siehe 5.5 Die Herkunft der wichtigsten Ionen).

Der $Ca-SO_4$ -Typ unterscheidet sich aufgrund der hohen Mineralisation deutlich von den anderen Grundwassertypen. Insbesondere der Fluoridgehalt ist bei den $Ca-SO_4$ -Quellen deutlich erhöht. Die sieben Wassertypen werden im Quellbericht näher beschrieben.

Die Verteilung der verschiedenen Grundwassertypen im Arbeitsgebiet ist auf den thematischen Karten im Anhang dargestellt.

5.8 Quellbericht

5.8.1 Der Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Typ

(Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Typ)

Anzahl Quellen: 8
 Häufigkeit: 17 %
 Austrittsstellen: vorwiegend Kristallin
 Dolomit (QE17)
 Lockergestein (QE30)

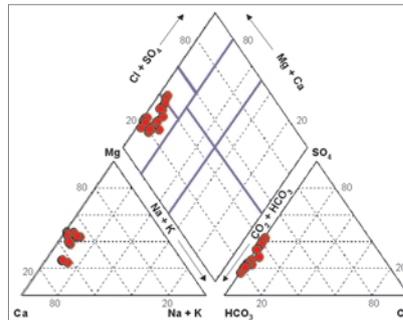


Abb. 5.7: Verteilung der Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Quellen im Piper-Diagramm.

Besonderheiten:

Dieser Wassertyp tritt im Untersuchungsgebiet mit 17 % relativ häufig auf. Die östliche Talseite, vorwiegend aus kristallinen Gesteinen bestehend, fördert das Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Wasser bevorzugt zu Tage. Im Piper-Diagramm zeigt sich der normal-alkalisch-hydrogencarbonatische Charakter der Wasserproben (Abb. 5.7). Weiter auffallend ist die geringe Gesamthärte von durchschnittlich 1.2 mmol/l, was typisch für sehr weiche Wässer ist. Der pH-Wert ist variabel und schwankt zwischen 6.2 und 8.4.

Eine Besonderheit ist die höchstgelegene analysierte Quelle QW121 auf 2715 m ü.M.. Das kleine Einzugsgebiet und die geringe elektrische Leitfähigkeit um 10 µS/cm deuten darauf hin, dass die Wasserchemie massgeblich von Regenwasser bestimmt wird. Denkbar wäre auch eine Pufferung des Regenwassers durch den Permafrostboden. Weiter sei auf die Lockergesteinsquelle QE30 hingewiesen. Die Austrittsstelle befindet sich im grossen Schwemmfächer östlich der Alp Chaschauna. Schwankungen in der Wassertemperatur von mehreren °C lassen auf einen oberflächennahen Grundwasserleiter schliessen.

Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	0.22	1.78	0.88	0.4
Ca [mg/l]	1.15	40.52	15.96	12.9
Mg [mg/l]	0.45	21.40	8.17	7.2
K [mg/l]	0.18	1.95	0.66	0.4
Cl [mg/l]	0.03	1.45	0.25	0.3
SO ₄ [mg/l]	1.56	41.54	17.02	12.5
F [mg/l]	0.00	0.11	0.03	0.0
NO ₃ [mg/l]	0.00	1.72	0.57	0.5
HCO ₃ [mg/l]	5.49	169.63	63.46	56.8
pH	6.23	8.43	7.63	0.5
Temperatur [°C]	2.3	14.0	4.7	2.7
Redoxpotential [mV]	165	388	296	58.2
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	11	330	134	106.9
O ₂ [mg/l]	7.42	15.15	10.29	1.6
Carb. Härte [mmol/l]	0.1	3.4	1.3	1.1
Ges. Härte [mmol/l]	0.1	7.0	1.2	1.3
Schüttung [l/min]	0.2	60.0	14.6	19.9
Höhe [m ü.M.]	2300	2715	2440	137.8

Tab. 5.6: Chemische und physikalische Parameter der Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Quellen.

QW25

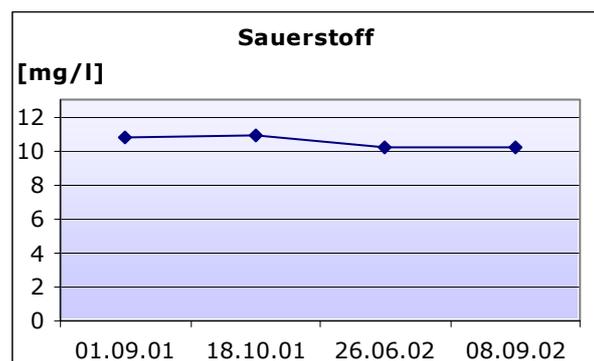
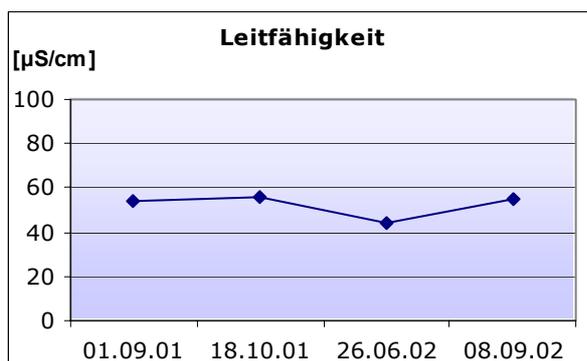
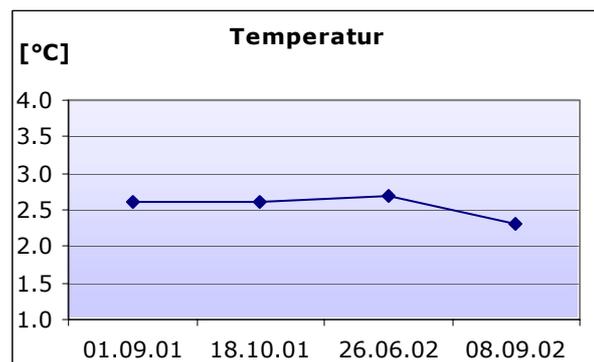
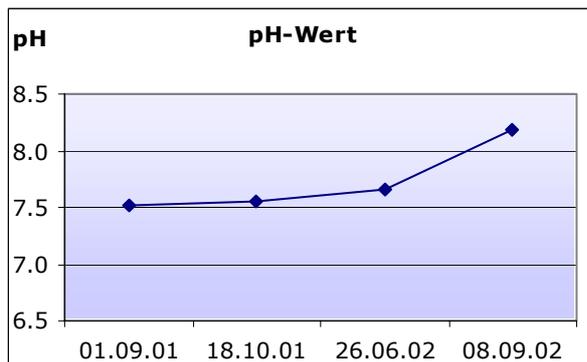
Koordinaten 800267.15/161390.50
Höhe [m ü.M.] 2320
Quellentyp Punktquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

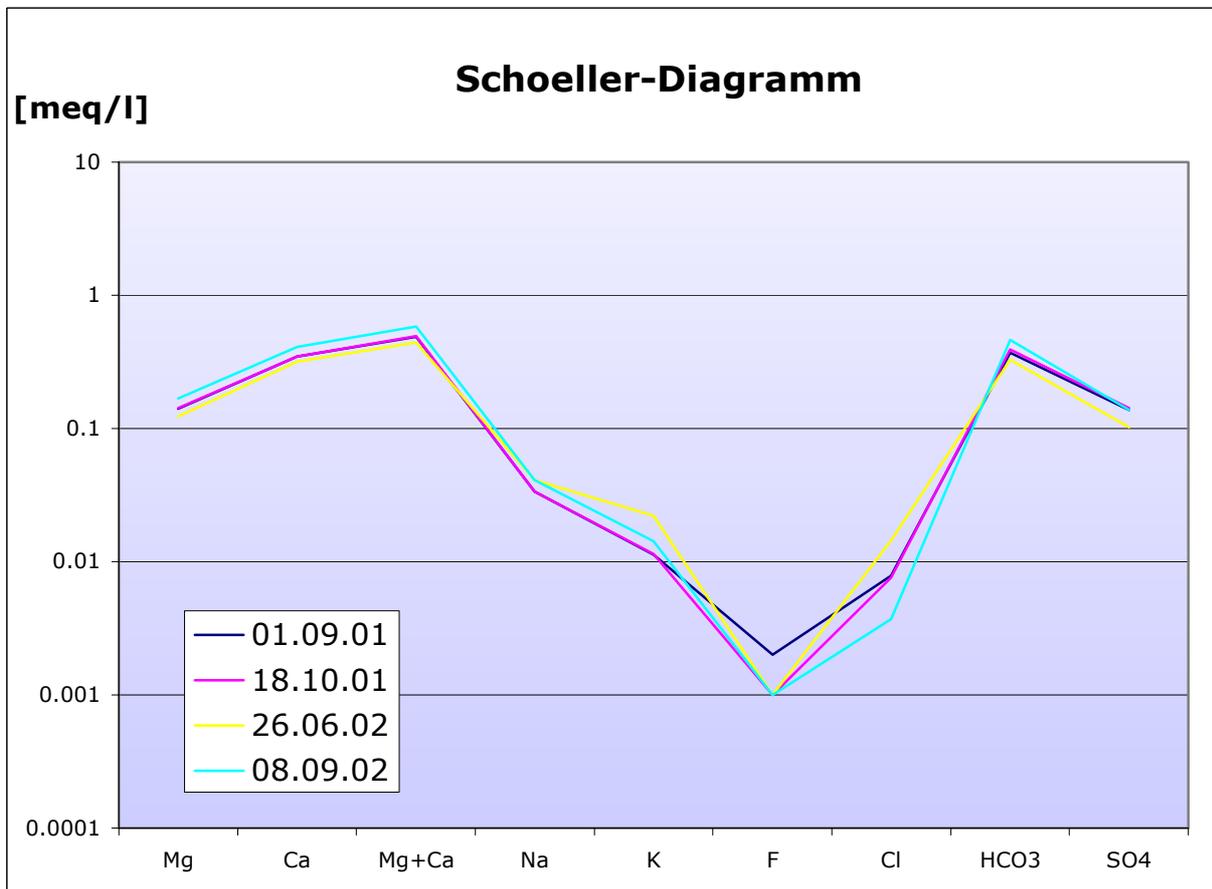
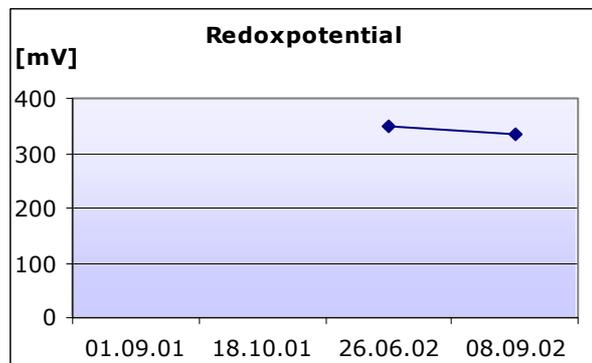
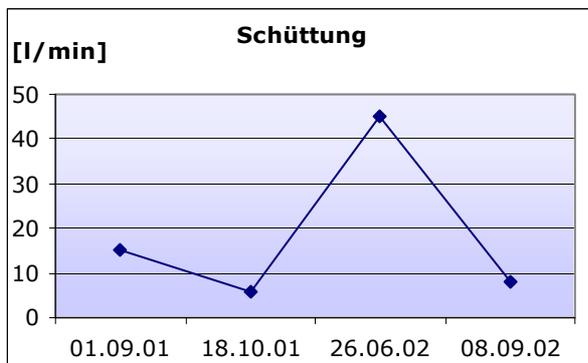
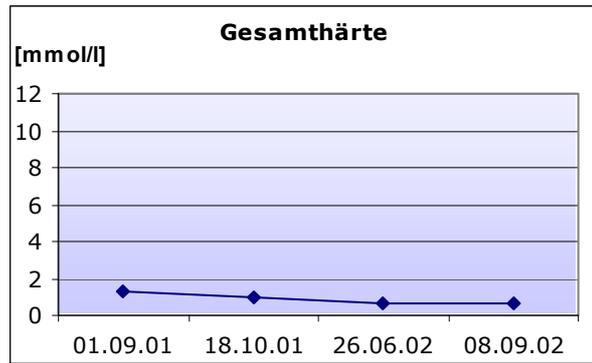
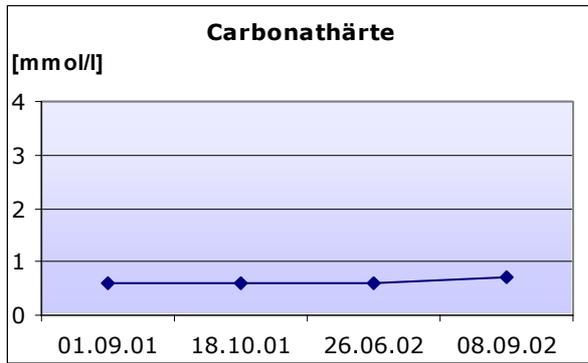
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	7.52	2.6	54	10.82	0.6	1.3	15	n.b.
18.10.01	7.55	2.6	56	10.93	0.6	1.0	6	n.b.
26.06.02	7.65	2.7	44	10.14	0.6	0.7	45	350
08.09.02	8.19	2.3	55	10.20	0.7	0.7	8	336

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.04	0.28	0.44	6.59	22.58	0.77	0.44	1.70	6.96
18.10.01	0.02	0.27	0.45	6.85	23.80	0.77	0.45	1.74	6.99
26.06.02	0.02	0.51	0.36	4.92	20.14	0.94	0.86	1.50	6.37
08.09.02	0.02	0.13	0.46	6.61	28.07	0.94	0.56	2.05	8.24





QW45

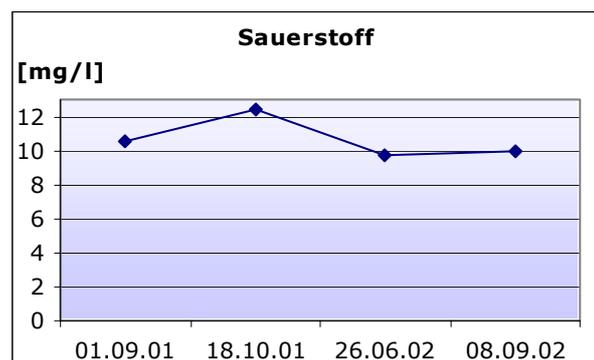
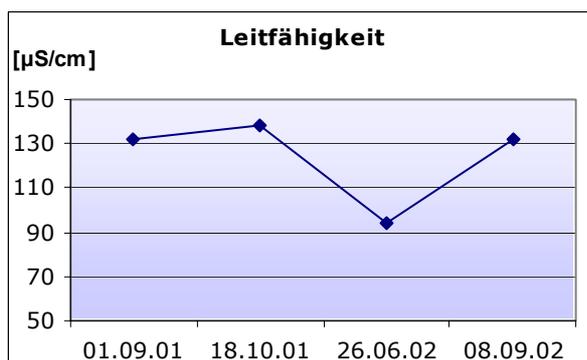
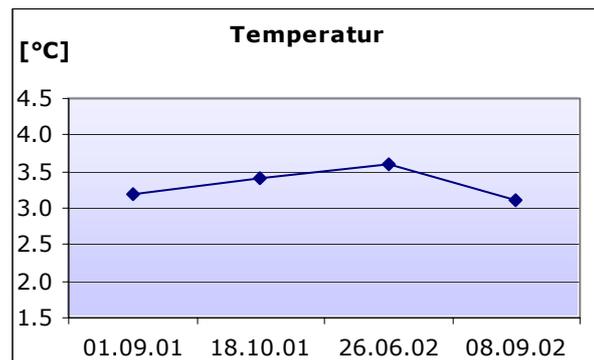
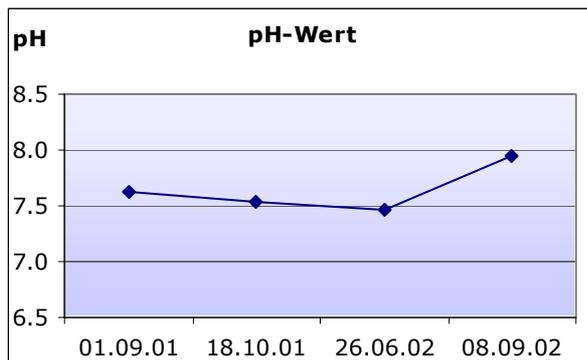
Koordinaten 800412.76/160566.02
Höhe [m ü.M.] 2420
Quellentyp Punktquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

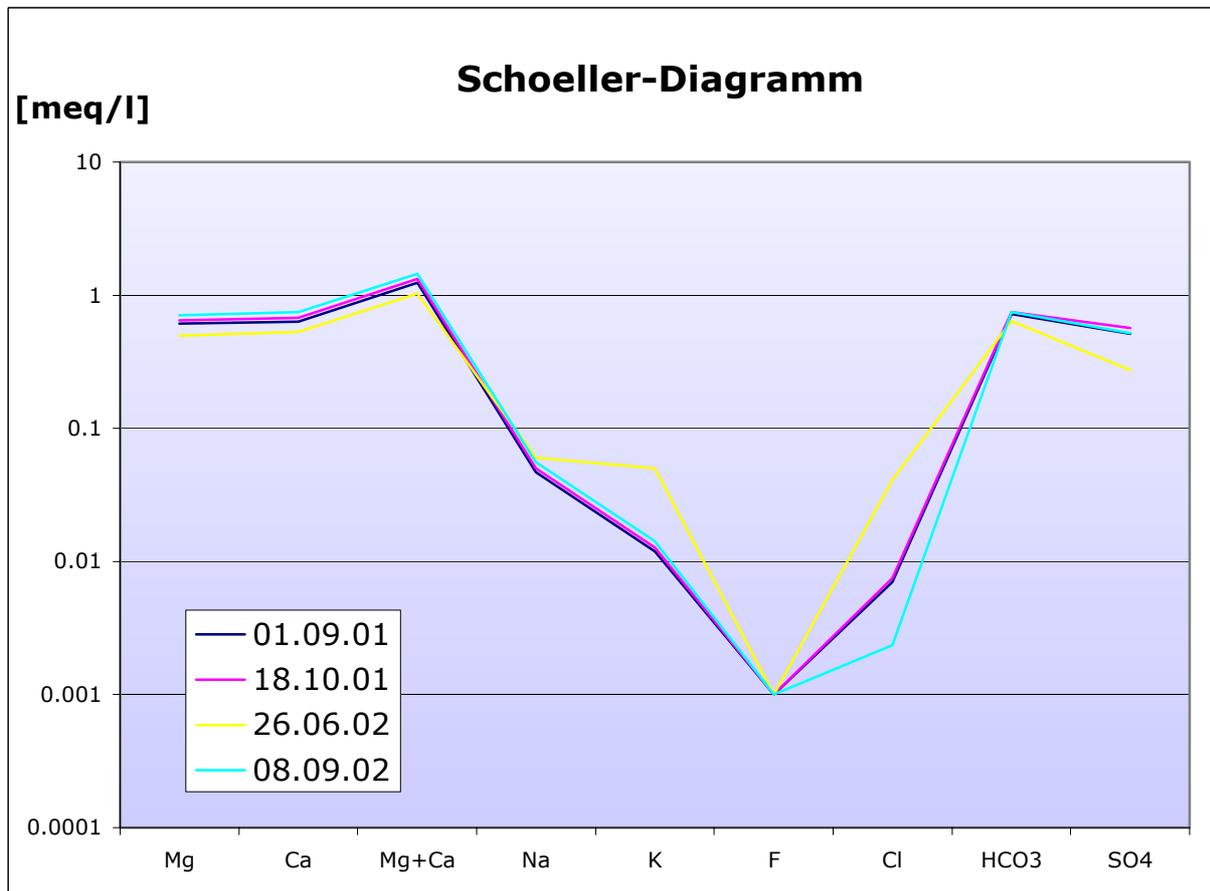
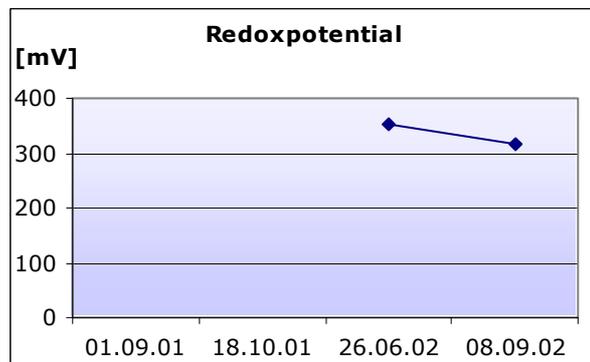
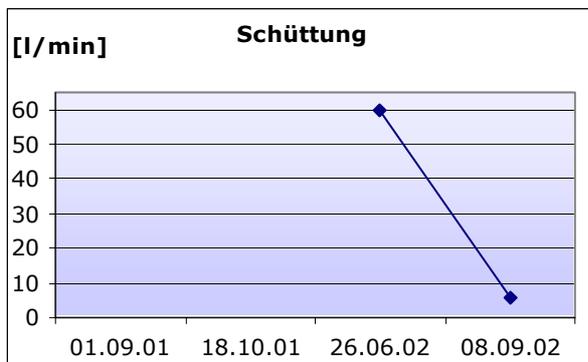
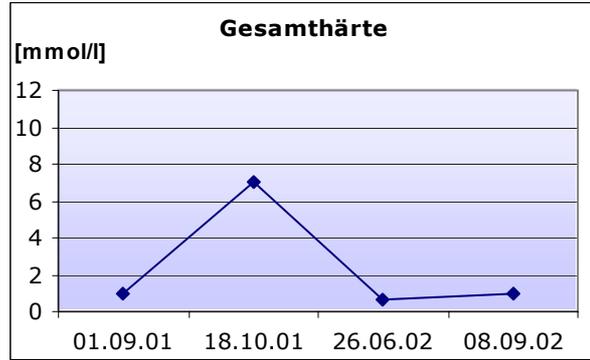
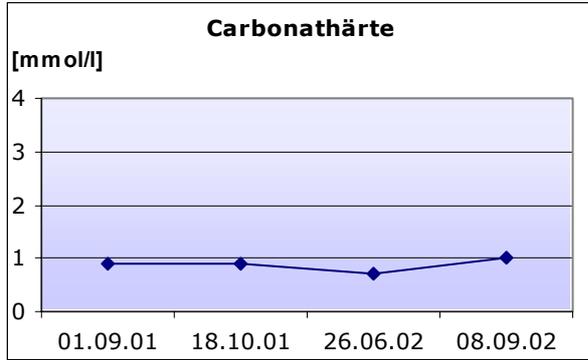
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	7.62	3.2	132	10.49	0.9	1.0	n.b.	n.b.
18.10.01	7.53	3.4	138	12.43	0.9	7.0	n.b.	n.b.
26.06.02	7.47	3.6	94	9.72	0.7	0.6	60	352
08.09.02	7.95	3.1	132	9.90	1.0	1.0	6	316

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.01	0.25	0.32	24.77	43.93	1.07	0.46	7.45	12.72
18.10.01	0.00	0.27	0.30	27.37	45.76	1.15	0.50	7.86	13.56
26.06.02	0.02	1.45	0.27	13.16	39.05	1.38	1.95	6.02	10.60
08.09.02	0.01	0.08	0.26	25.06	45.76	1.29	0.56	8.64	14.93





QW84

Koordinaten 800369.45/159906.37
Höhe [m ü.M.] 2555
Quellentyp Quellhorizont
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

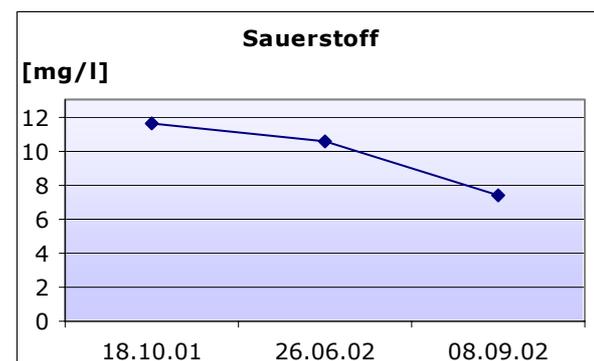
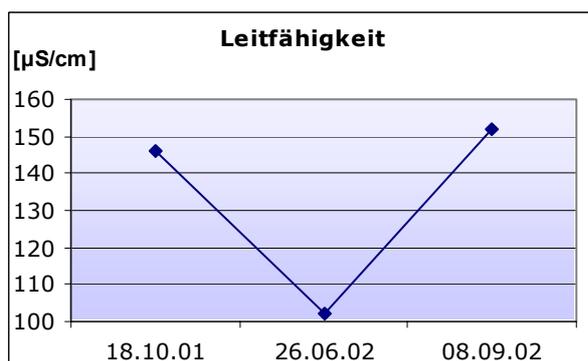
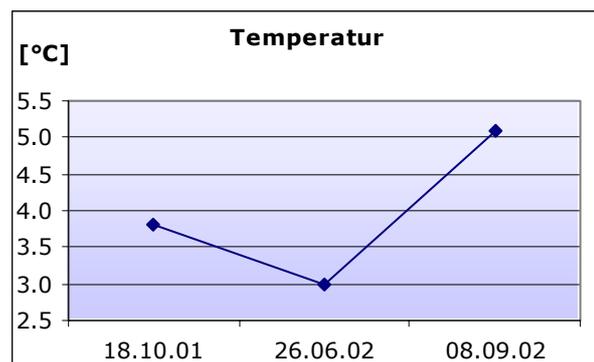
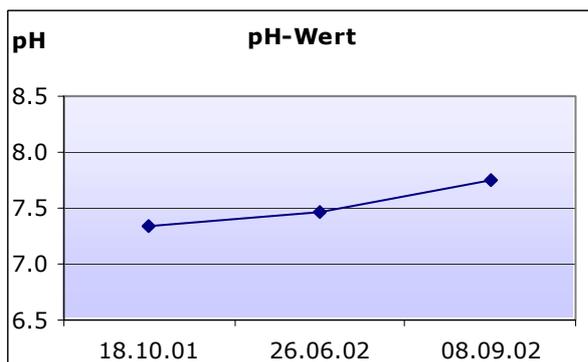
Bemerkungen ug = ungefilterte
 Probennahme

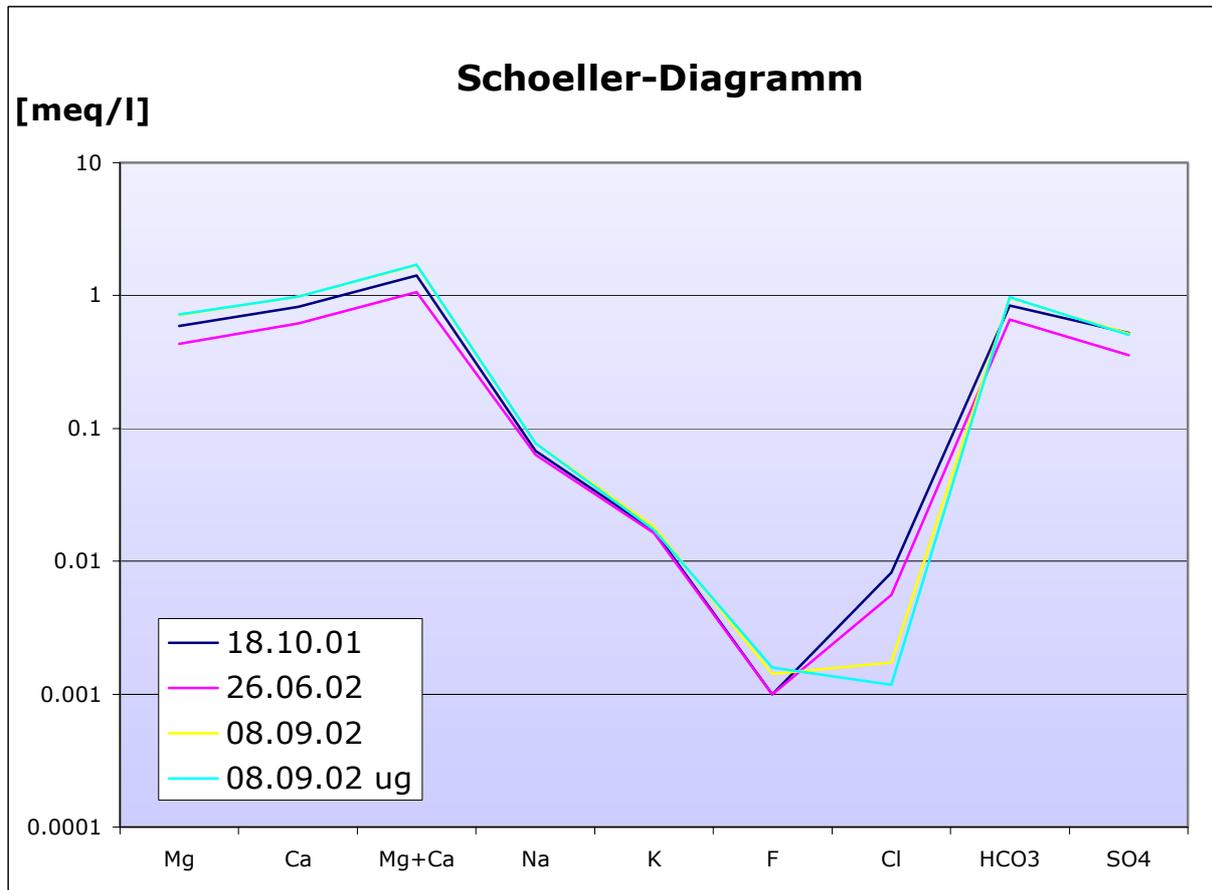
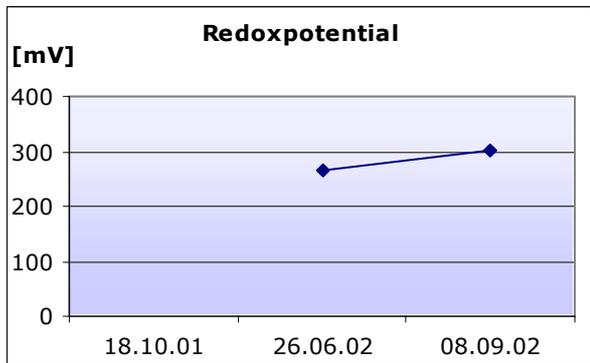
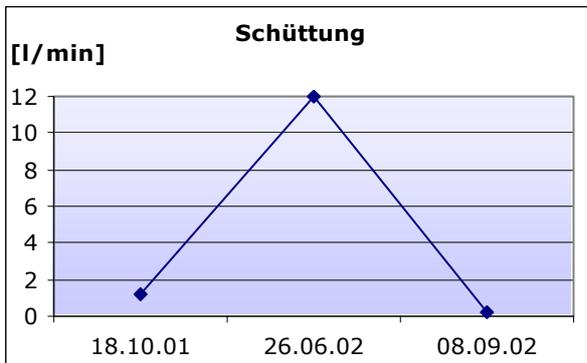
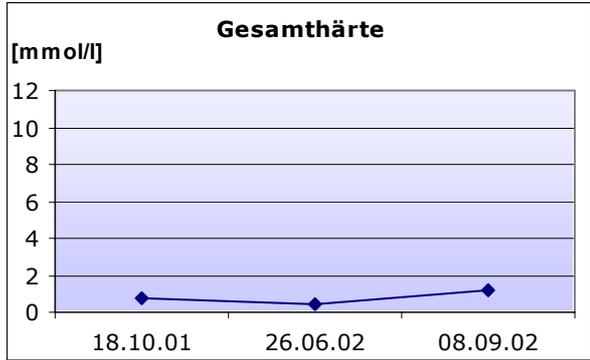
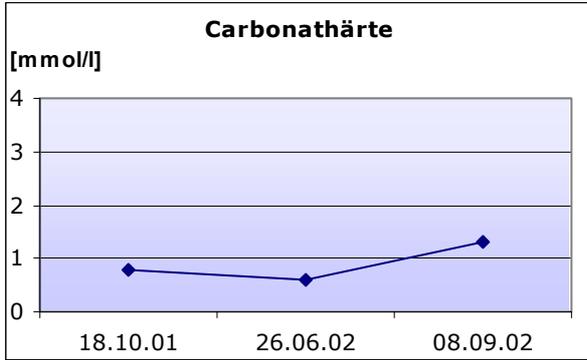
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
18.10.01	7.34	3.8	146	11.58	0.8	0.8	1.2	n.b.
26.06.02	7.47	3.0	102	10.56	0.6	0.4	12	267
08.09.02	7.75	5.1	152	7.42	1.3	1.2	0.2	302

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.00	0.29	1.08	25.00	51.25	1.56	0.66	7.20	16.55
26.06.02	0.02	0.20	0.10	17.06	40.27	1.46	0.64	5.29	12.44
08.09.02	0.03	0.06	0.00	24.74	58.58	1.77	0.71	8.68	19.59
08.09.02 ug	0.03	0.04	0.00	24.44	59.19	1.78	0.67	8.72	19.66





QW91

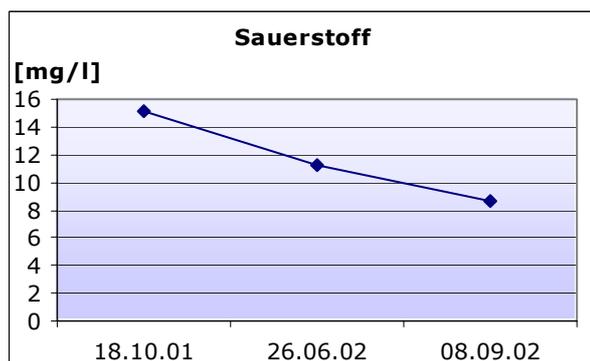
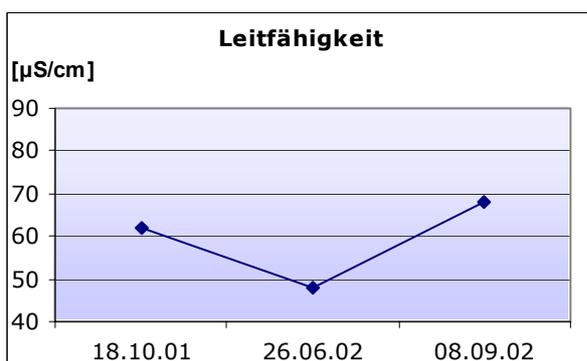
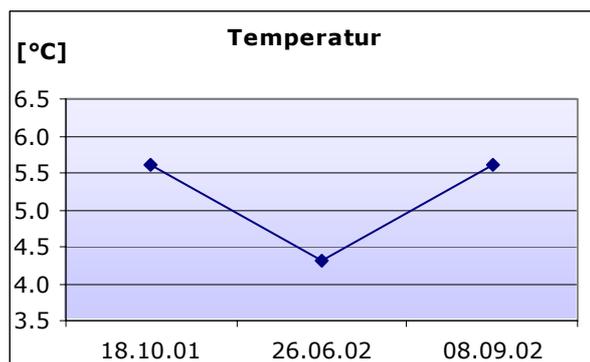
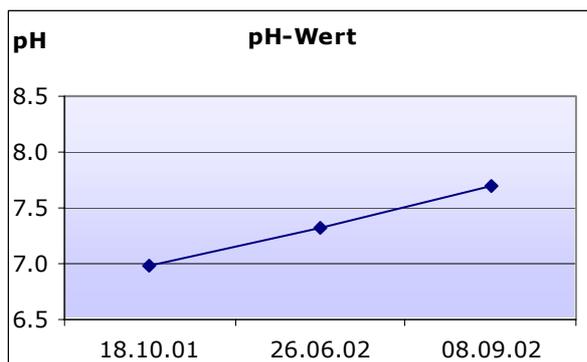
Koordinaten 800776.62/159717.56
Höhe [m ü.M.] 2400
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

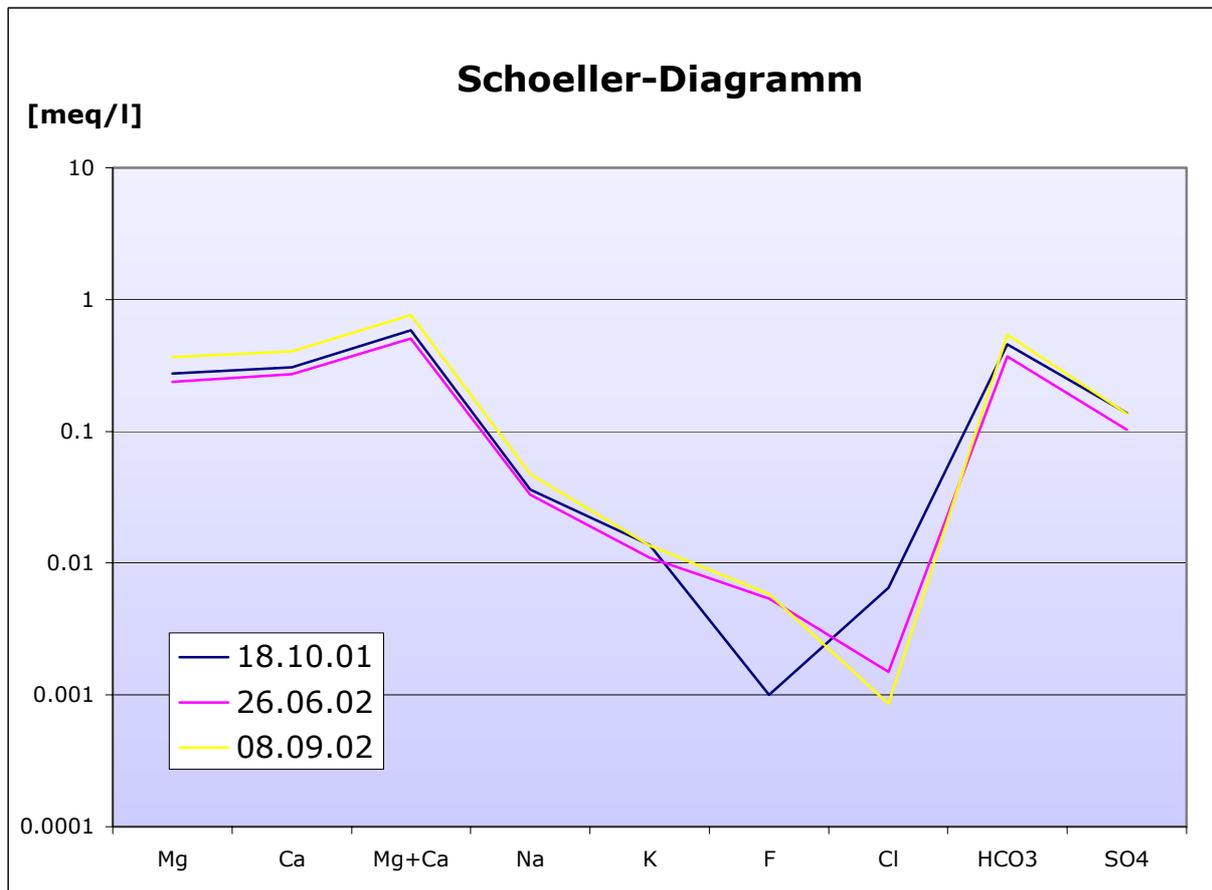
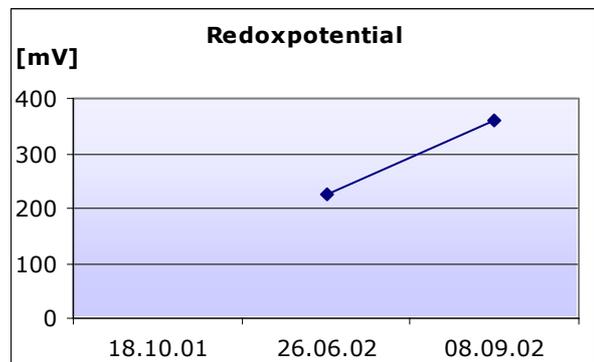
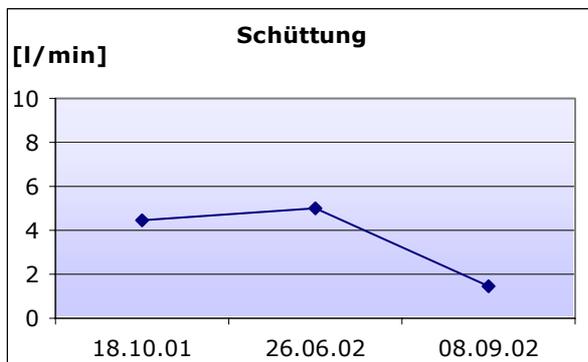
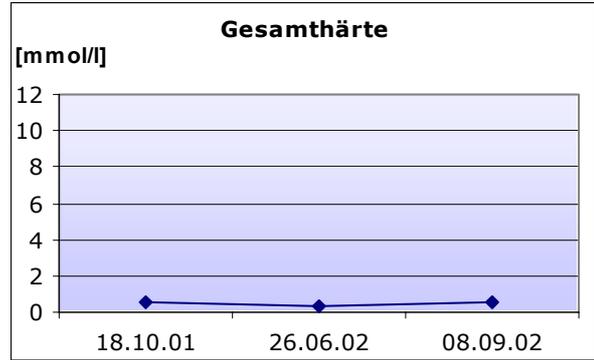
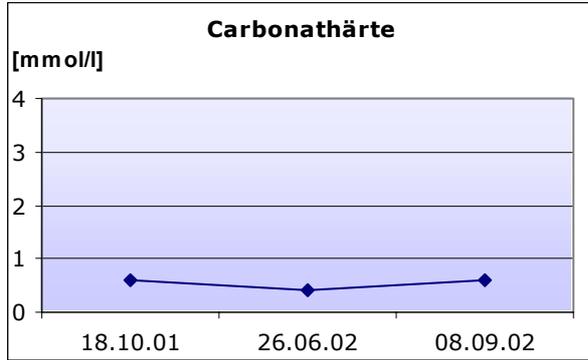
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
18.10.01	6.98	5.6	62	15.15	0.6	0.5	4.5	n.b.
26.06.02	7.32	4.3	48	11.24	0.4	0.3	5.0	225
08.09.02	7.69	5.6	68	8.69	0.6	0.5	1.5	360

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.00	0.23	0.00	6.64	28.07	0.83	0.54	3.34	6.18
26.06.02	0.10	0.05	0.00	4.92	22.58	0.76	0.43	2.89	5.42
08.09.02	0.11	0.03	0.00	6.56	32.95	1.09	0.53	4.43	8.09





QW93

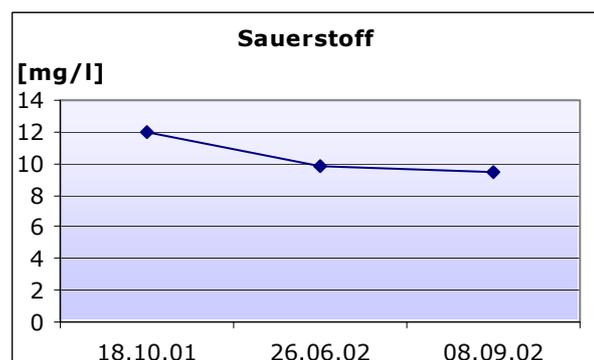
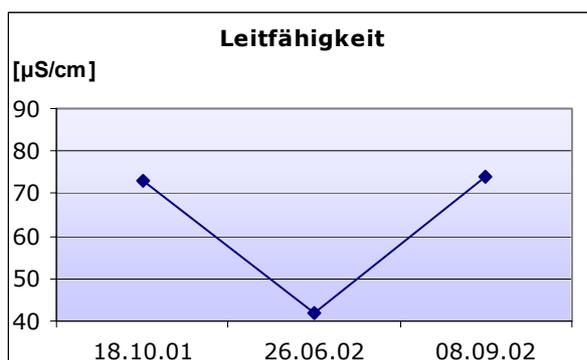
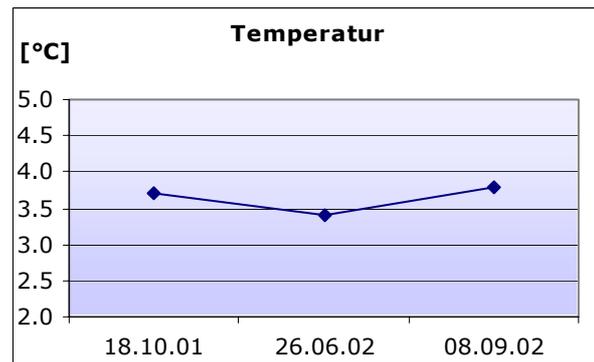
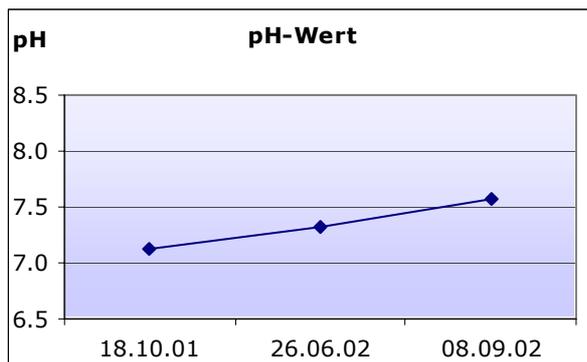
Koordinaten 800600.24/159773.69
Höhe [m ü.M.] 2480
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

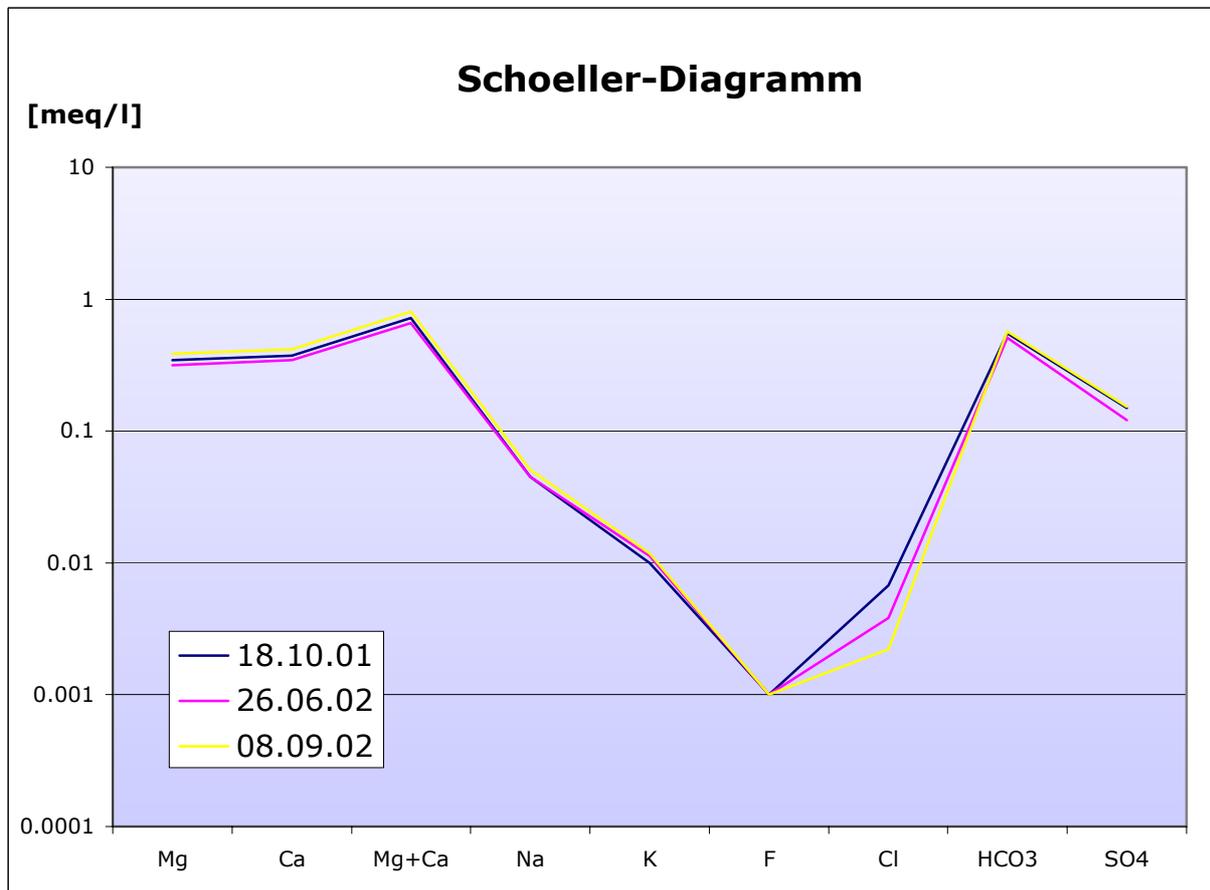
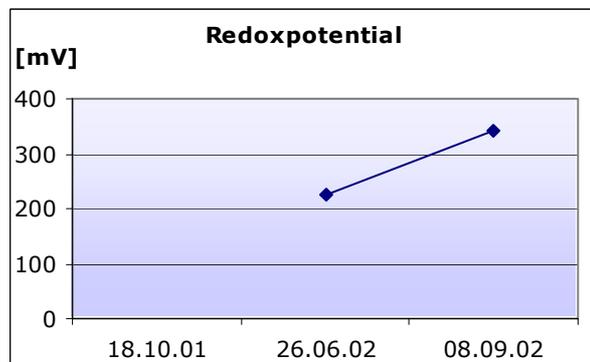
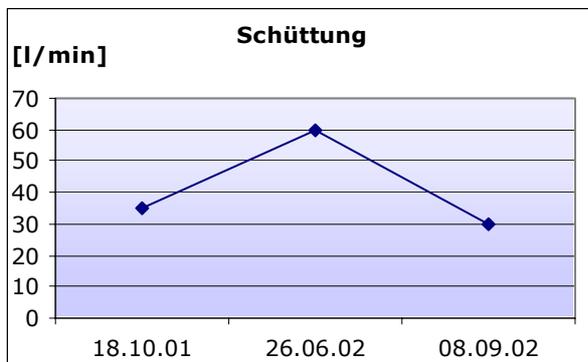
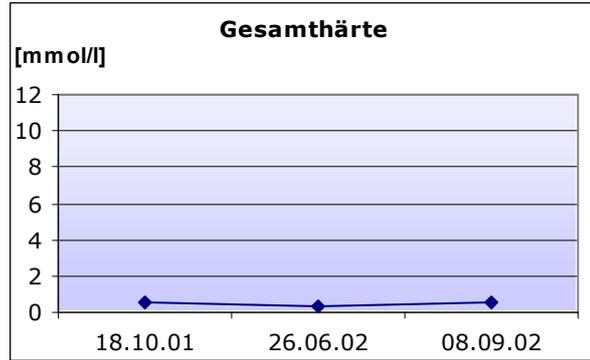
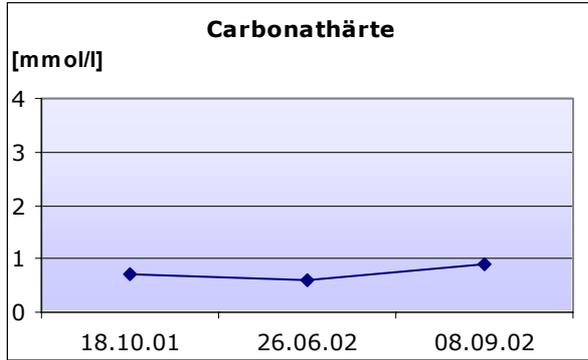
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
18.10.01	7.13	3.7	73	11.95	0.7	0.5	35	n.b.
26.06.02	7.32	3.4	42	9.80	0.6	0.3	60	225
08.09.02	7.57	3.8	74	9.43	0.9	0.6	30	341

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.01	0.24	0.26	7.19	33.56	1.04	0.39	4.18	7.49
26.06.02	0.01	0.14	0.39	5.82	31.12	1.03	0.44	3.84	6.93
08.09.02	0.00	0.08	0.17	7.35	34.78	1.17	0.46	4.67	8.36





QW121

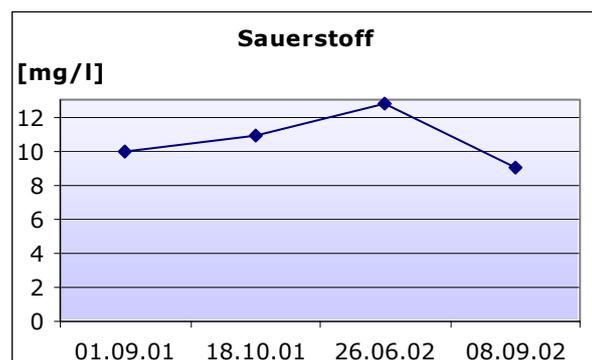
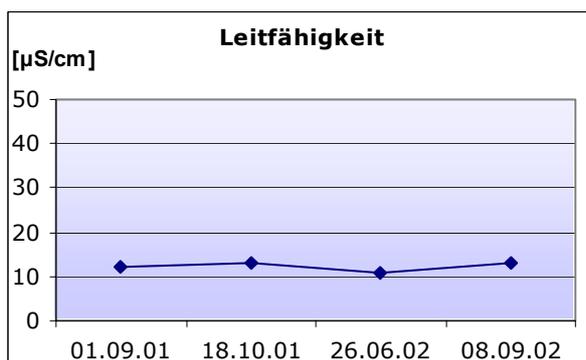
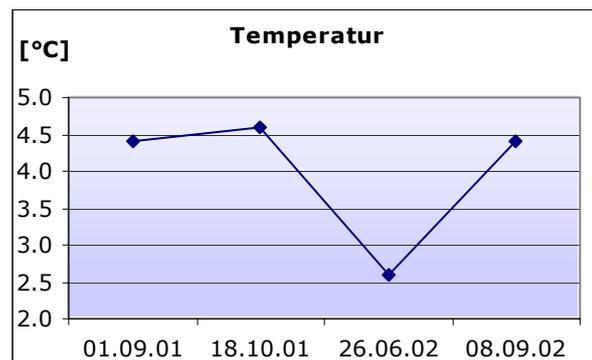
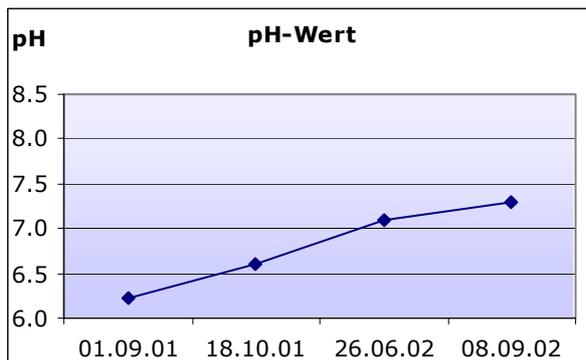
Koordinaten 799771.18/159452.05
Höhe [m ü.M.] 2715
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

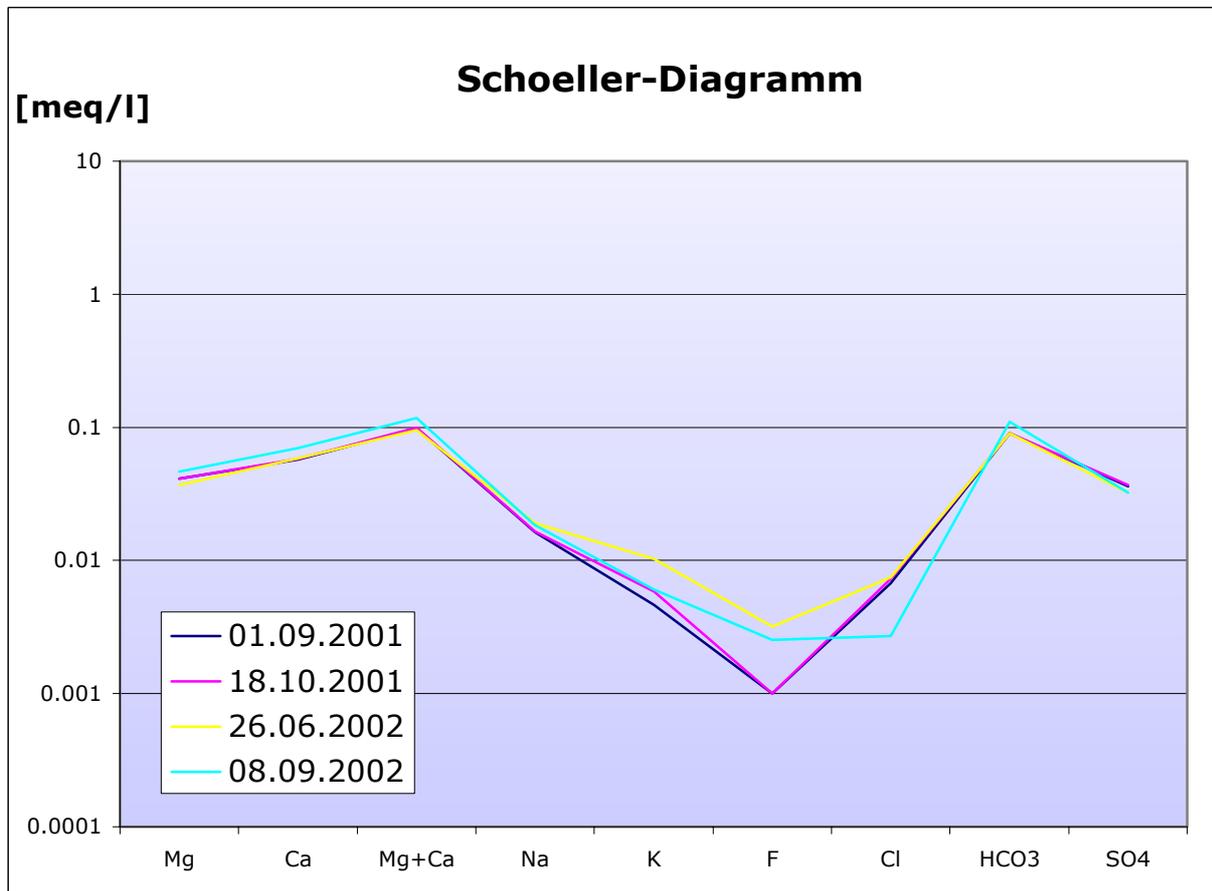
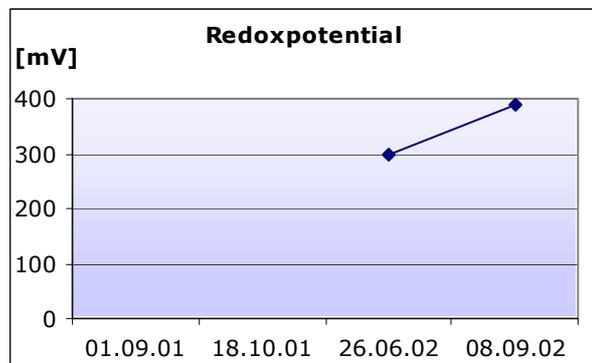
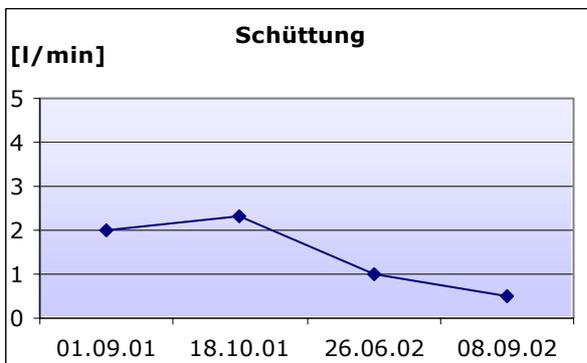
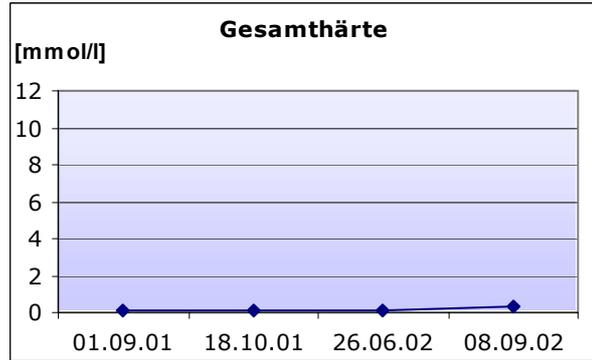
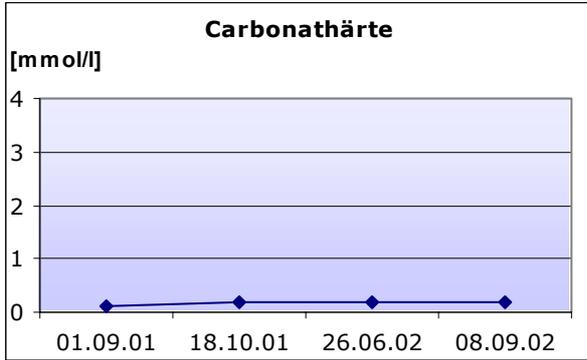
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	6.23	4.4	12	9.94	0.1	0.1	2.0	n.b.
18.10.01	6.61	4.6	13	10.95	0.2	0.1	2.3	n.b.
26.06.02	7.10	2.6	11	12.80	0.2	0.1	1.0	300
08.09.02	7.30	4.4	13	9.00	0.2	0.3	0.5	388

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.00	0.24	0.29	1.74	5.49	0.37	0.18	0.50	1.15
18.10.01	0.00	0.26	0.63	1.76	5.49	0.38	0.23	0.50	1.17
26.06.02	0.06	0.26	0.47	1.56	5.49	0.44	0.40	0.45	1.17
08.09.02	0.05	0.10	0.59	1.56	6.71	0.42	0.24	0.57	1.41





QE17

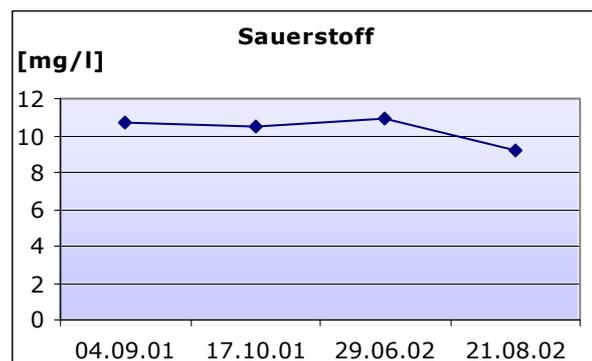
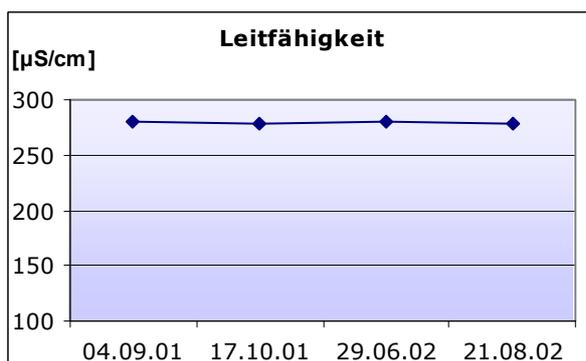
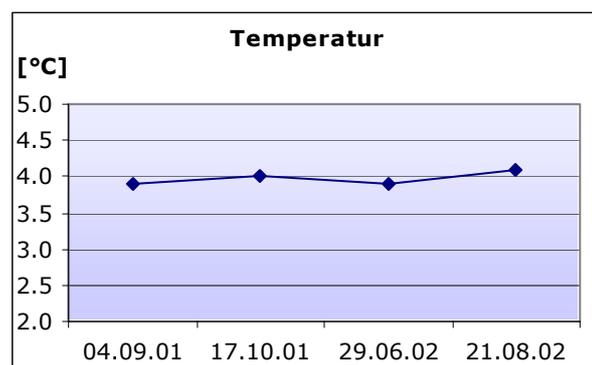
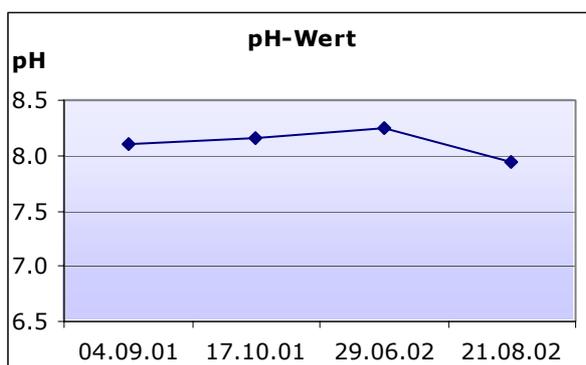
Koordinaten 800008.64/162641.76
Höhe [m ü.M.] 2330
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

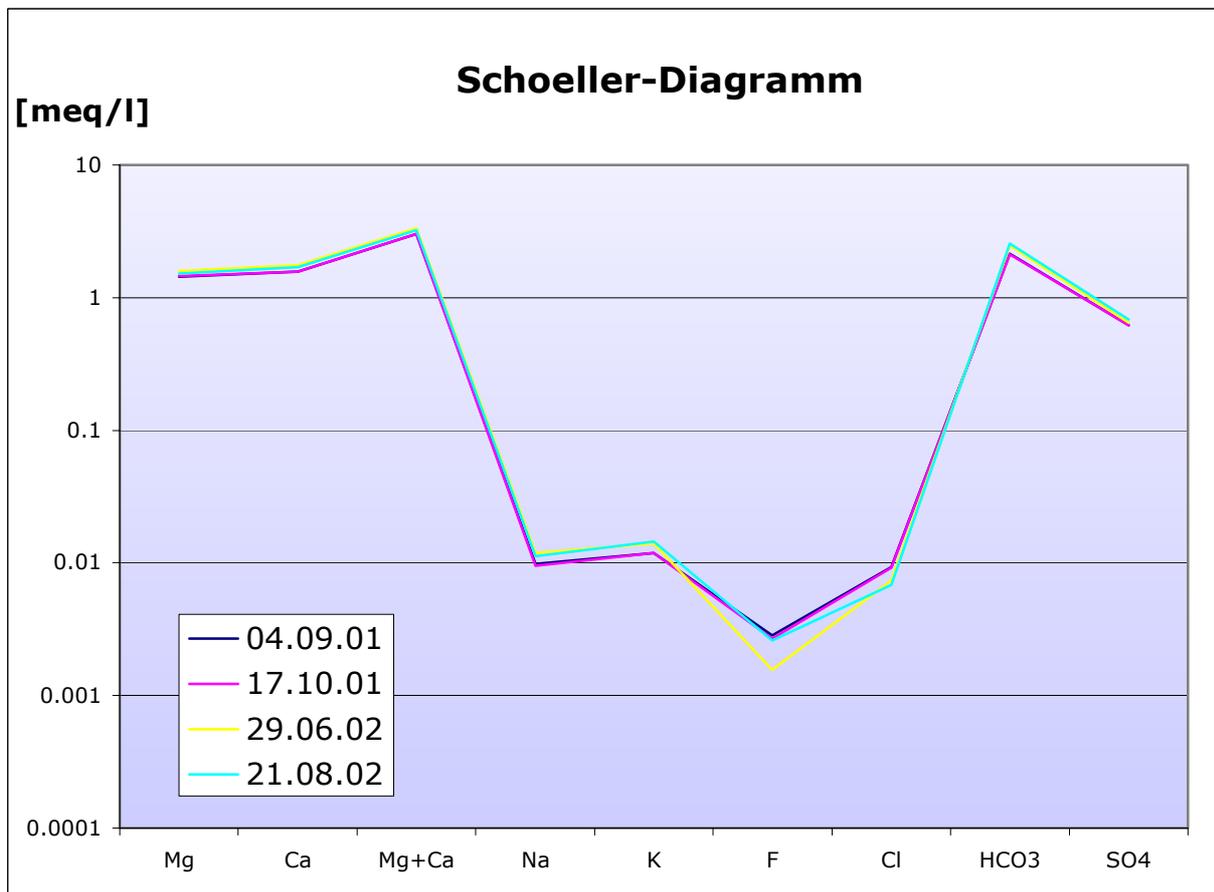
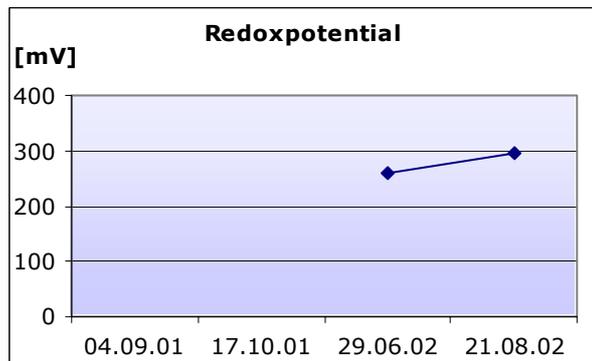
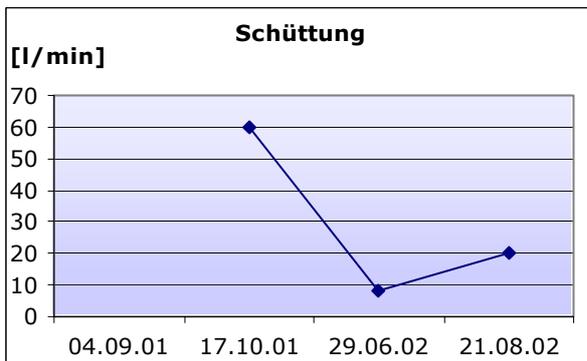
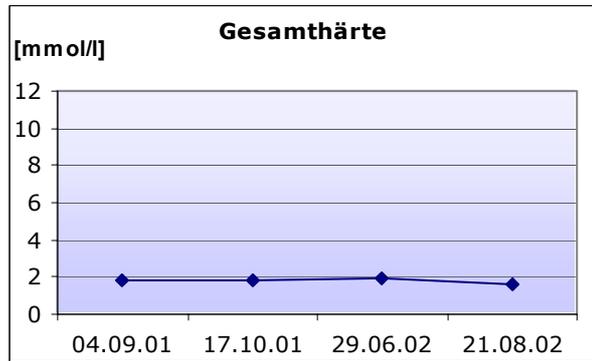
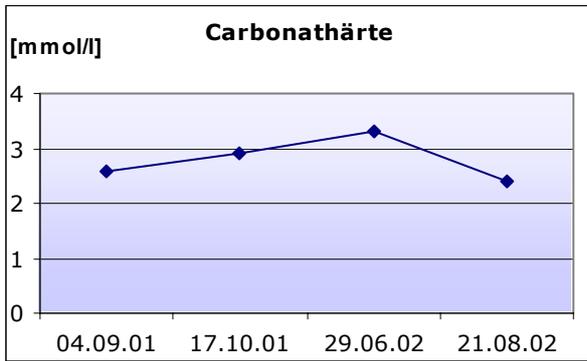
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
04.09.01	8.10	3.9	280	10.73	2.6	1.8	n.b.	n.b.
17.10.01	8.16	4.0	279	10.48	2.9	1.8	60	n.b.
29.06.02	8.25	3.9	280	10.90	3.3	1.9	8	261
21.08.02	7.95	4.1	279	9.18	2.4	1.6	20	295

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
04.09.01	0.05	0.33	1.69	29.88	130.58	0.23	0.47	17.50	31.56
17.10.01	0.05	0.33	1.72	29.87	129.97	0.22	0.46	17.61	31.67
29.06.02	0.03	0.26	1.41	31.13	150.71	0.27	0.55	19.34	35.36
21.08.02	0.05	0.24	1.57	32.89	156.81	0.26	0.57	18.53	33.89





QE30

Koordinaten 800854.76/161820.28
Höhe [m ü.M.] 2300
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

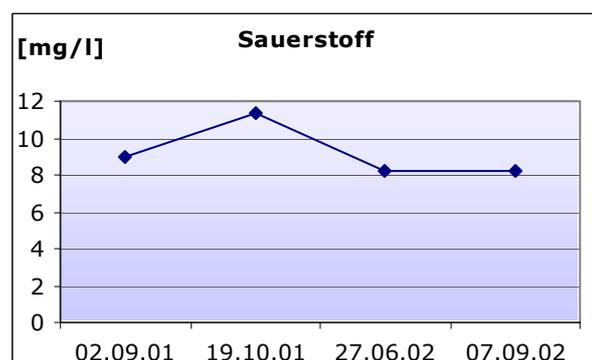
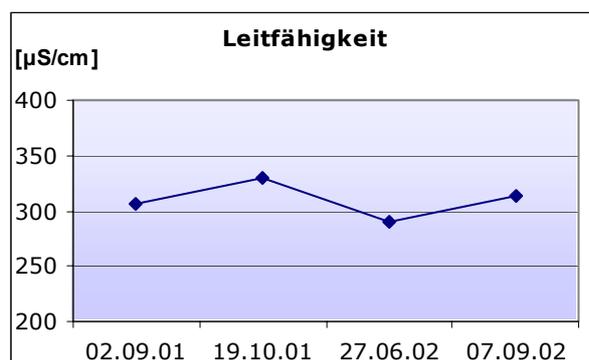
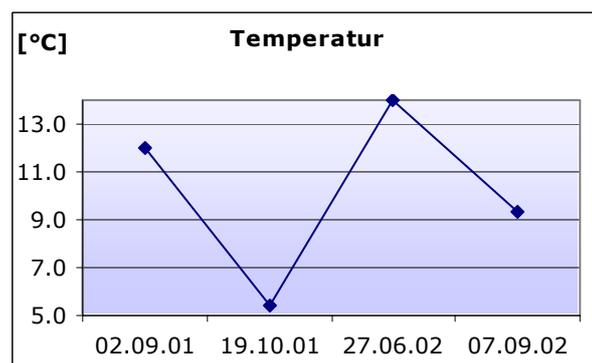
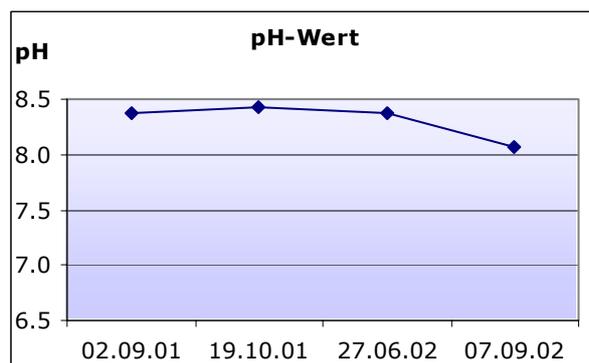
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt)

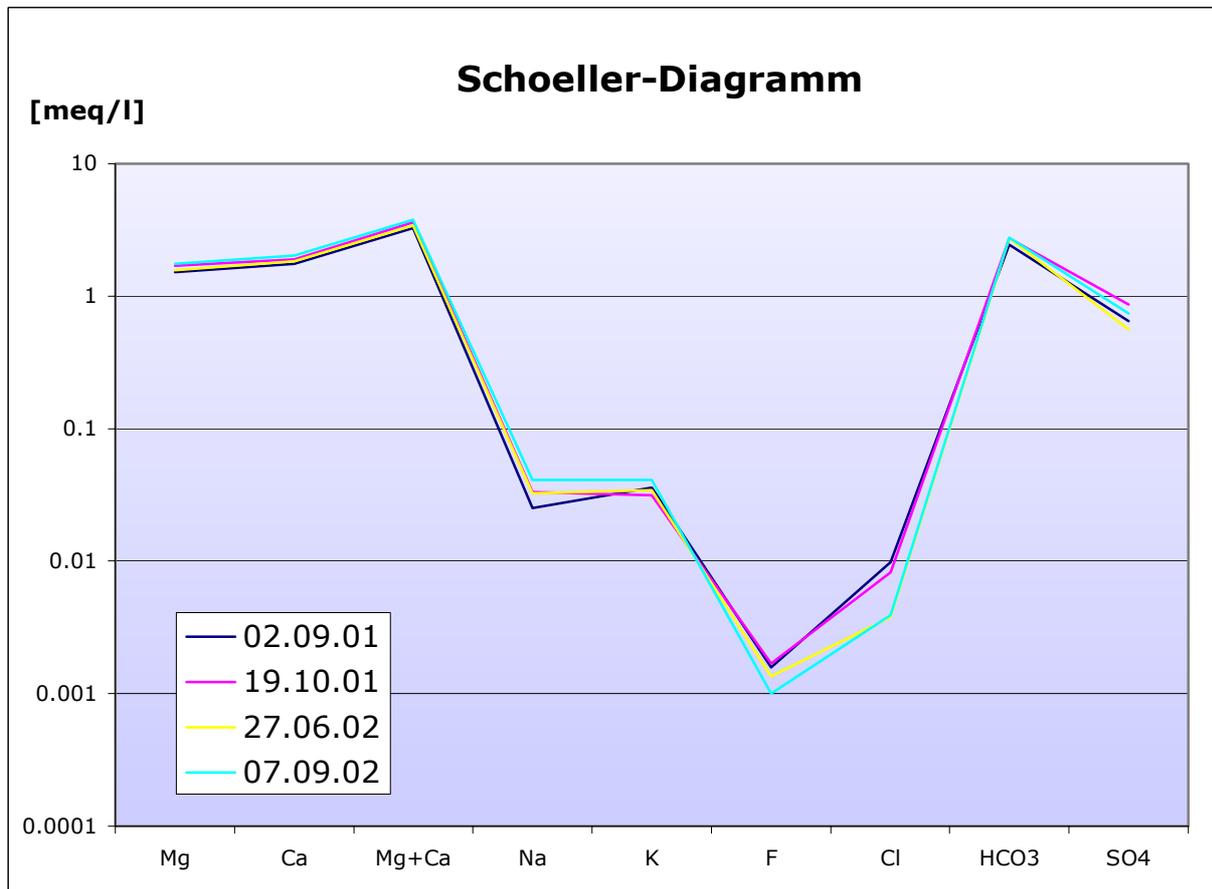
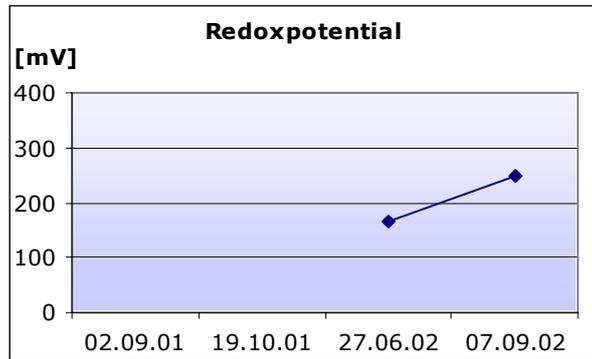
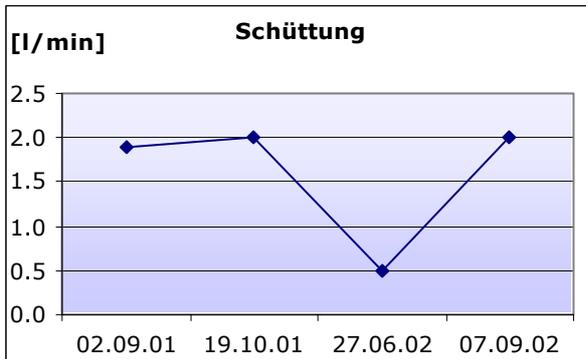
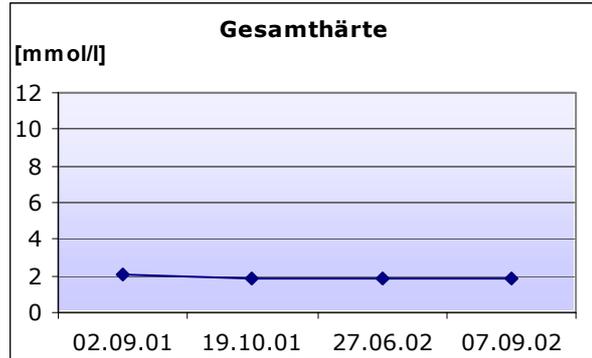
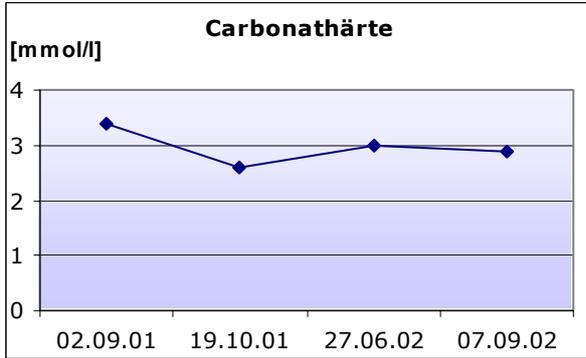
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	8.37	12.0	306	8.93	3.4	2.1	1.9	n.b.
19.10.01	8.43	5.4	330	11.40	2.6	1.9	2.0	n.b.
27.06.02	8.38	14.0	290	8.24	3.0	1.9	0.5	165
07.09.02	8.07	9.3	313	8.17	2.9	1.9	2.0	249

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.03	0.35	1.08	31.12	148.88	0.58	1.41	18.57	35.03
19.10.01	0.03	0.29	0.86	41.54	166.58	0.77	1.23	20.66	37.89
27.06.02	0.03	0.14	0.89	26.83	165.97	0.75	1.35	19.15	36.80
07.09.02	0.02	0.14	1.07	35.73	169.63	0.94	1.61	21.40	40.52





PP10

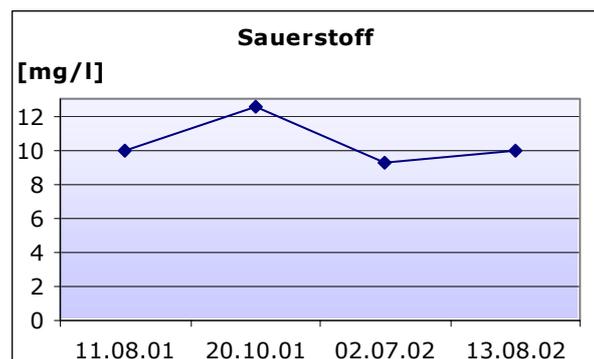
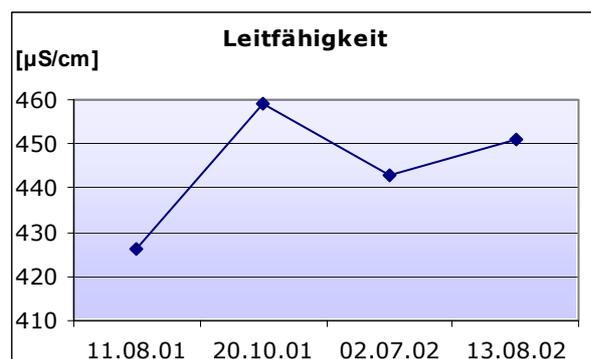
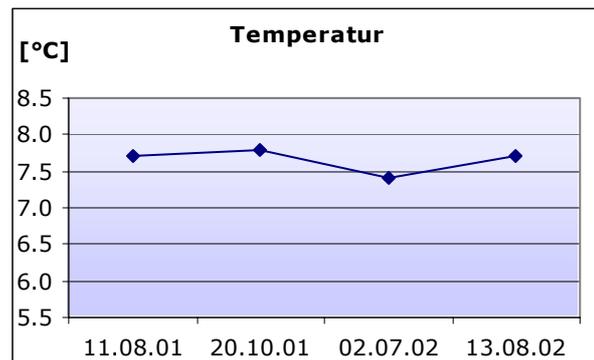
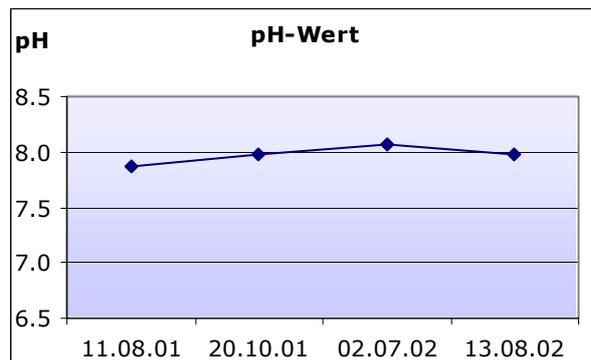
Koordinaten 810041.94/168617.31
Höhe [m ü.M.] 1645
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-SO₄

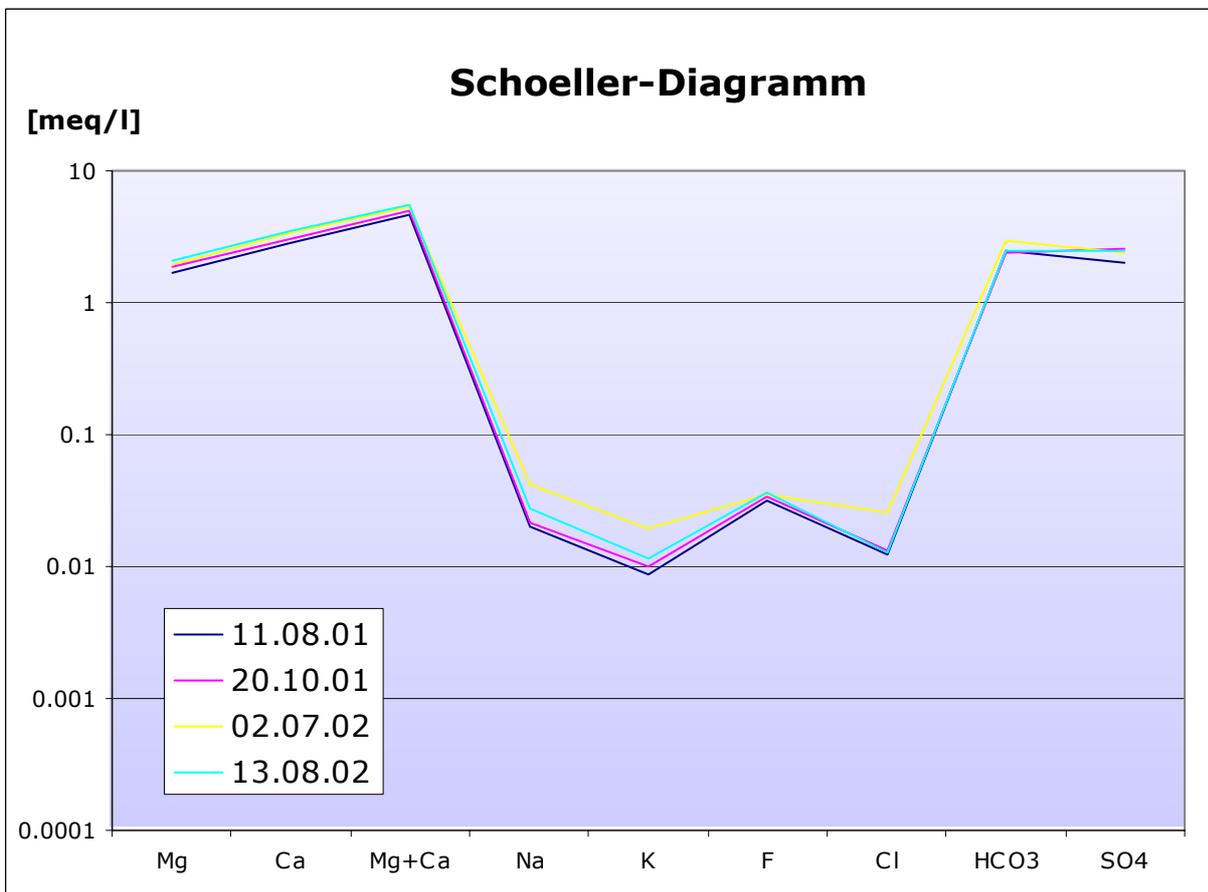
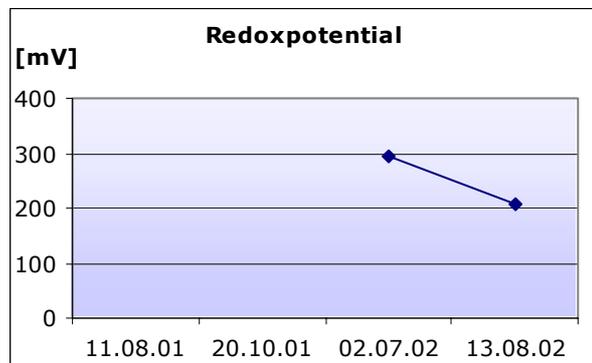
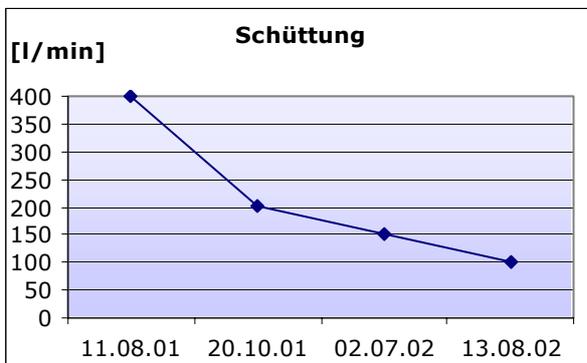
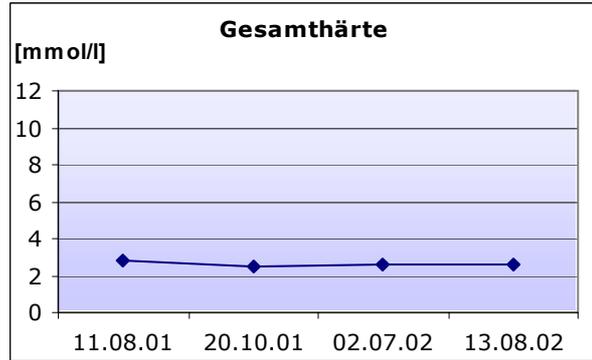
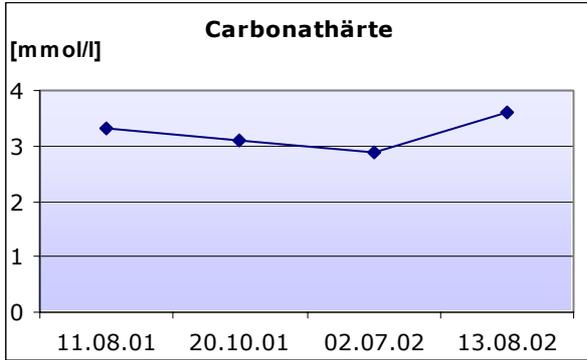
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
11.08.01	7.87	7.7	426	9.91	3.3	2.8	400	n.b.
20.10.01	7.97	7.8	459	12.48	3.1	2.5	200	n.b.
02.07.02	8.06	7.4	443	9.31	2.9	2.6	150	293
13.08.02	7.97	7.7	451	9.90	3.6	2.6	100	206

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
11.08.01	0.60	0.44	0.63	96.64	150.10	0.46	0.34	20.40	57.93
20.10.01	0.64	0.47	0.55	122.01	146.44	0.50	0.39	22.39	61.84
02.07.02	0.66	0.90	0.00	114.98	176.95	0.95	0.77	23.85	68.65
13.08.02	0.69	0.45	0.54	118.97	150.10	0.64	0.44	25.01	69.73





5.8.2 Der Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Typ

(Ca-Mg-HCO₃-Typ)

Anzahl Quellen: 23
 Häufigkeit: 49 %
 Austrittsstellen: Kristallin
 Dolomit
 Lockergestein

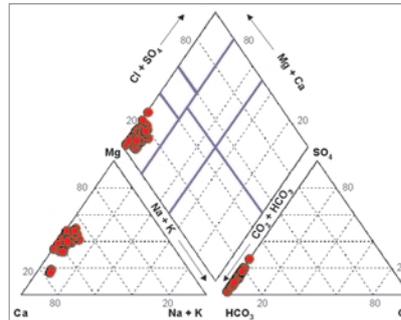


Abb. 5.8: Verteilung der Ca-Mg-HCO₃-Quellen im Piper-Diagramm.

Besonderheiten:

Dieser Grundwassertyp ist mit 49 % der häufigste in der Val Chaschauna. Die Wasserzusammensetzung lässt nicht auf eine bestimmte Lithologie des Grundwasserleiters schließen. Quellen dieses Typs lassen sich sowohl im Kristallin, als auch in Gebieten wo Dolomit anstehend ist, finden. Ausserdem tritt Ca-Mg-HCO₃-Wasser aus den Lockergesteinen. Vermutlich hat das Schmelzwasser einen grossen Einfluss auf die Wasserchemie. Das Wasser bleibt nur während einer geringen Zeit im Untergrund, wobei für Gestein-Wasser-Interaktionen wenig Zeit zur Verfügung steht.

Die Carbonathärte ist mit 2.0 mmol/l generell höher als die Gesamthärte mit 1.2 mmol/l, was ein Hinweis auf viel Hydrogencarbonat im Wasser ist (siehe 4.1.1 Carbonathärte).

Im Besonderen seien die Quellen nördlich der Alp Chaschauna erwähnt. Die gefasste Quelle QE27 der Alp Chaschauna ist Teil einer Schichtquelle, welche aus verwittertem Sandstein, Dolomit und Verrucano austritt.

Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	0.17	2.99	0.88	0.6
Ca [mg/l]	4.81	49.99	23.43	12.2
Mg [mg/l]	1.49	24.67	11.05	6.2
K [mg/l]	0.16	1.68	0.64	0.3
Cl [mg/l]	0.05	0.57	0.22	0.1
SO ₄ [mg/l]	2.26	31.05	11.36	8.1
F [mg/l]	0.00	0.13	0.03	0.0
NO ₃ [mg/l]	0.00	1.32	0.55	0.4
HCO ₃ [mg/l]	22.58	217.22	104.31	54.3
pH	6.72	8.42	7.83	0.4
Temperatur [°C]	1.0	10.5	4.2	1.7
Redoxpotential [mV]	148	365	263	52.2
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	42	370	185	91.5
O ₂ [mg/l]	0.44	14.53	9.53	3.2
Carb. Härte [mmol/l]	0.2	4.6	2.0	1.0
Ges. Härte [mmol/l]	0.3	2.5	1.2	0.6
Schüttung [l/min]	0.1	250.0	34.1	56.5
Höhe [m ü.M.]	2130	2705	2375	152.7

Tab. 5.7: Chemische und physikalische Parameter der Ca-Mg-HCO₃-Grundwassertypen.

QW19

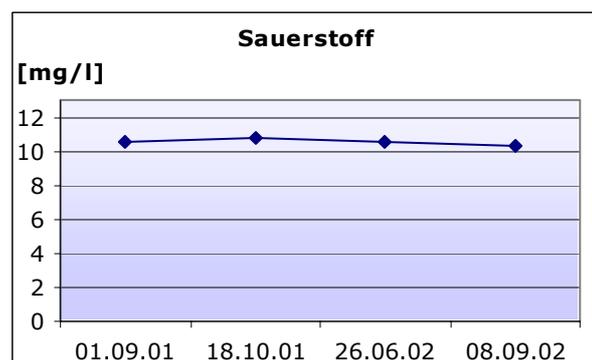
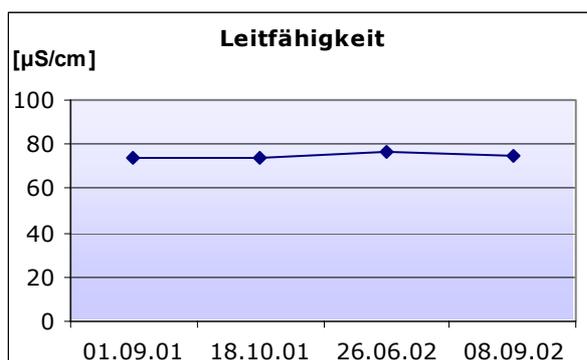
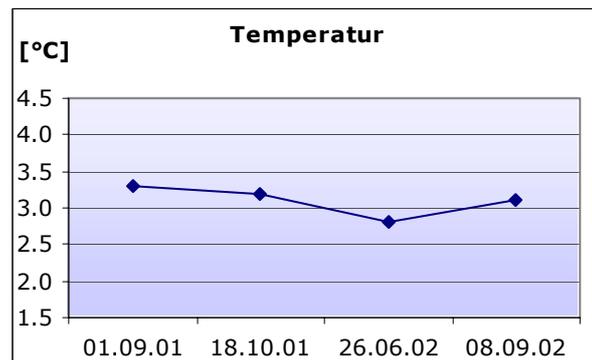
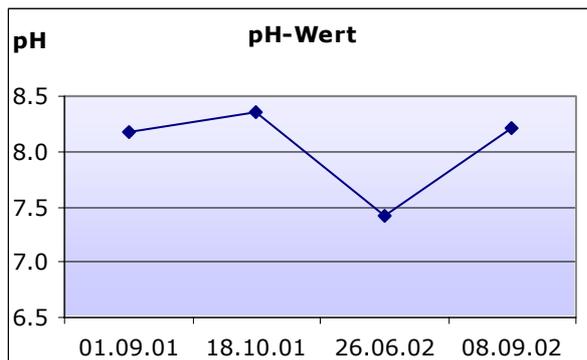
Koordinaten 800203.98/161418.57
Höhe [m ü.M.] 2350
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-(Mg)-HCO₃-(SO₄)

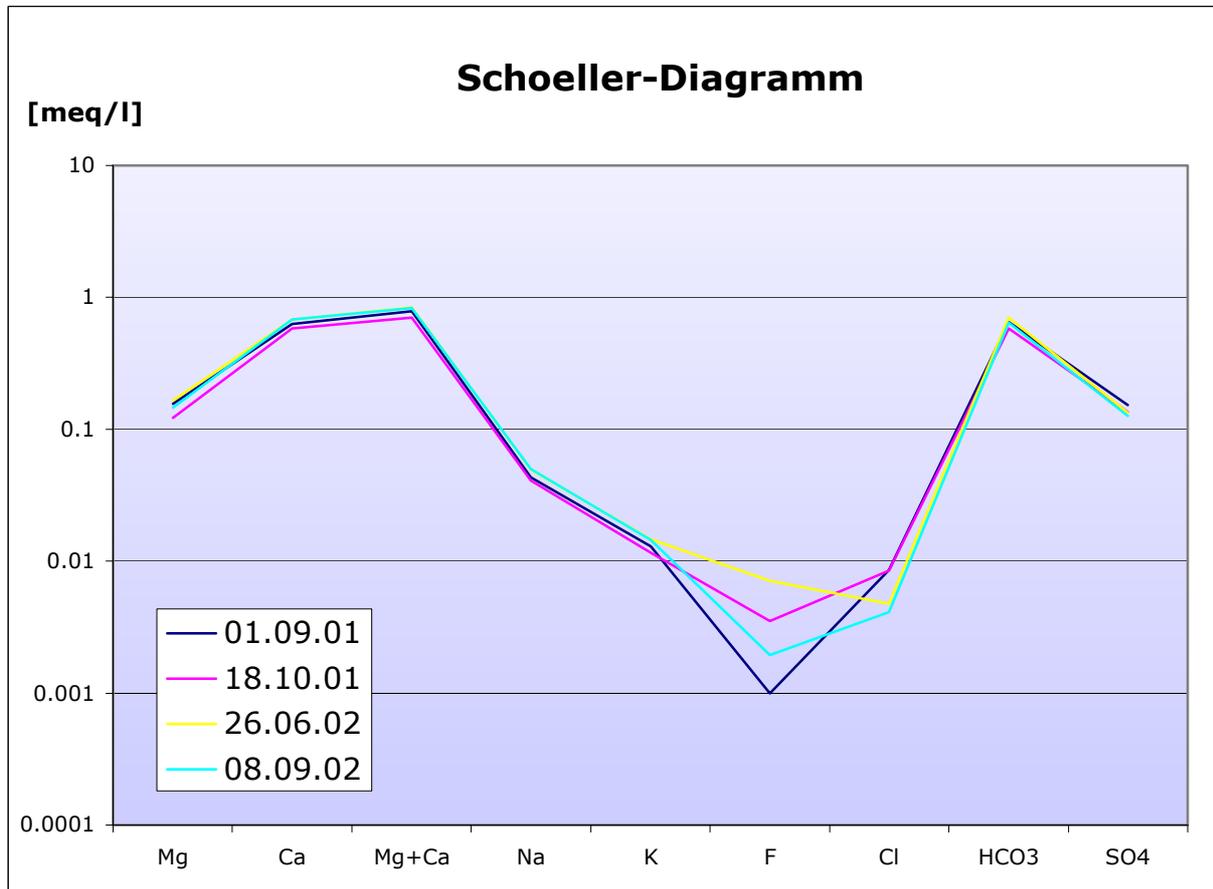
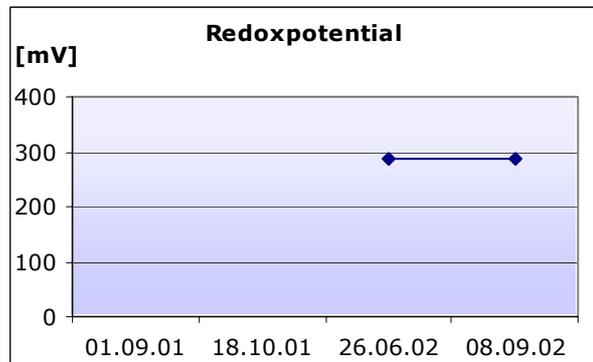
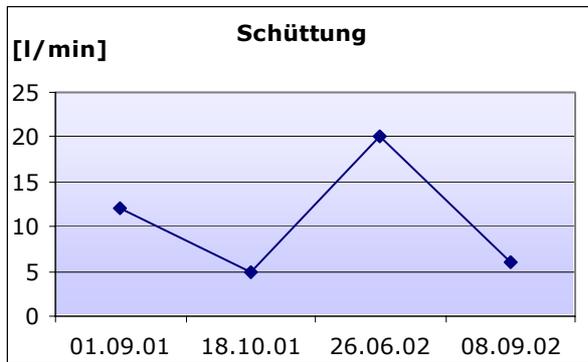
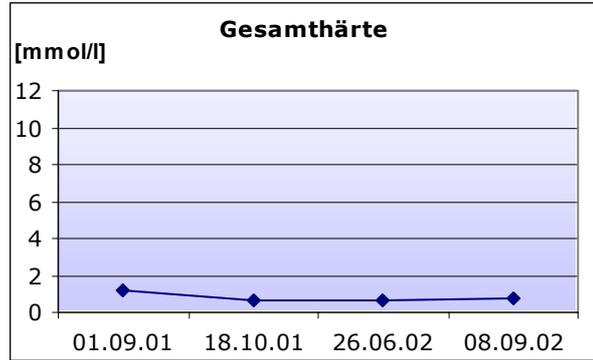
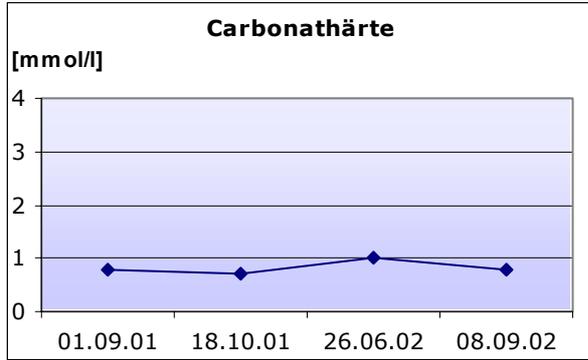
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	8.18	3.3	74	10.52	0.8	1.2	12	n.b.
18.10.01	8.35	3.2	74	10.76	0.7	0.6	5	n.b.
26.06.02	7.41	2.8	77	10.52	1.0	0.6	20	286
08.09.02	8.21	3.1	75	10.28	0.8	0.8	6	288

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.00	0.30	0.57	7.29	39.66	0.99	0.51	1.89	12.56
18.10.01	0.07	0.30	0.51	6.47	35.39	0.94	0.45	1.49	11.69
26.06.02	0.13	0.17	0.50	6.37	42.71	1.14	0.57	2.00	13.55
08.09.02	0.04	0.15	0.42	6.04	39.05	1.15	0.57	1.78	13.67

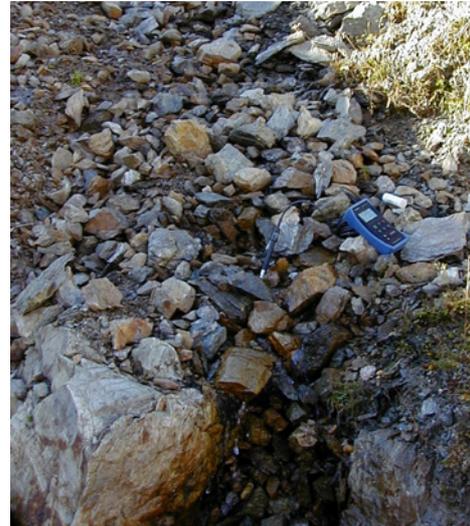




QW29

Koordinaten 800280.02/161109.44
Höhe [m ü.M.] 2405
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

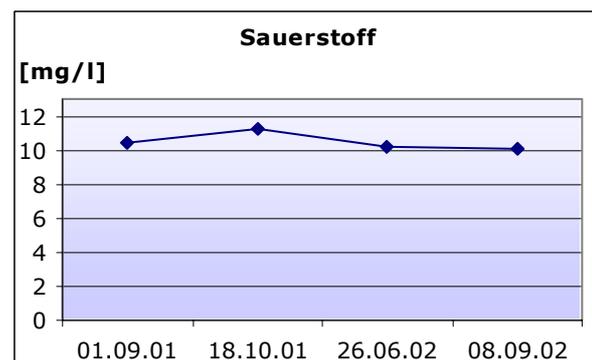
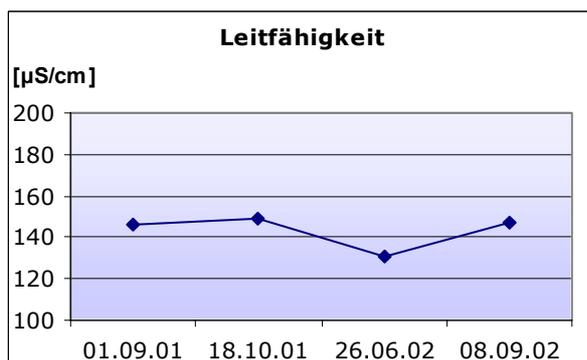
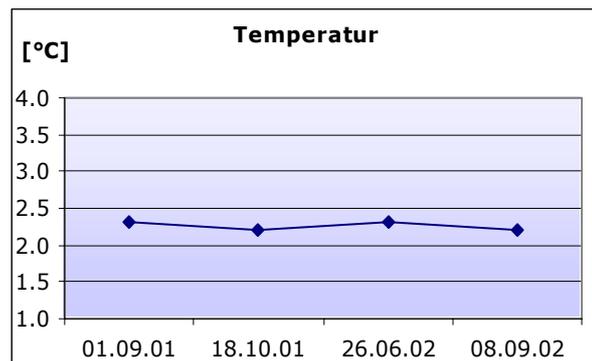
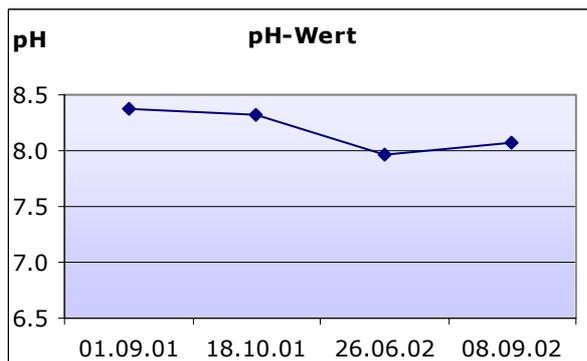
Bemerkungen IC-Analyse vom 08.09.02
ungenügend

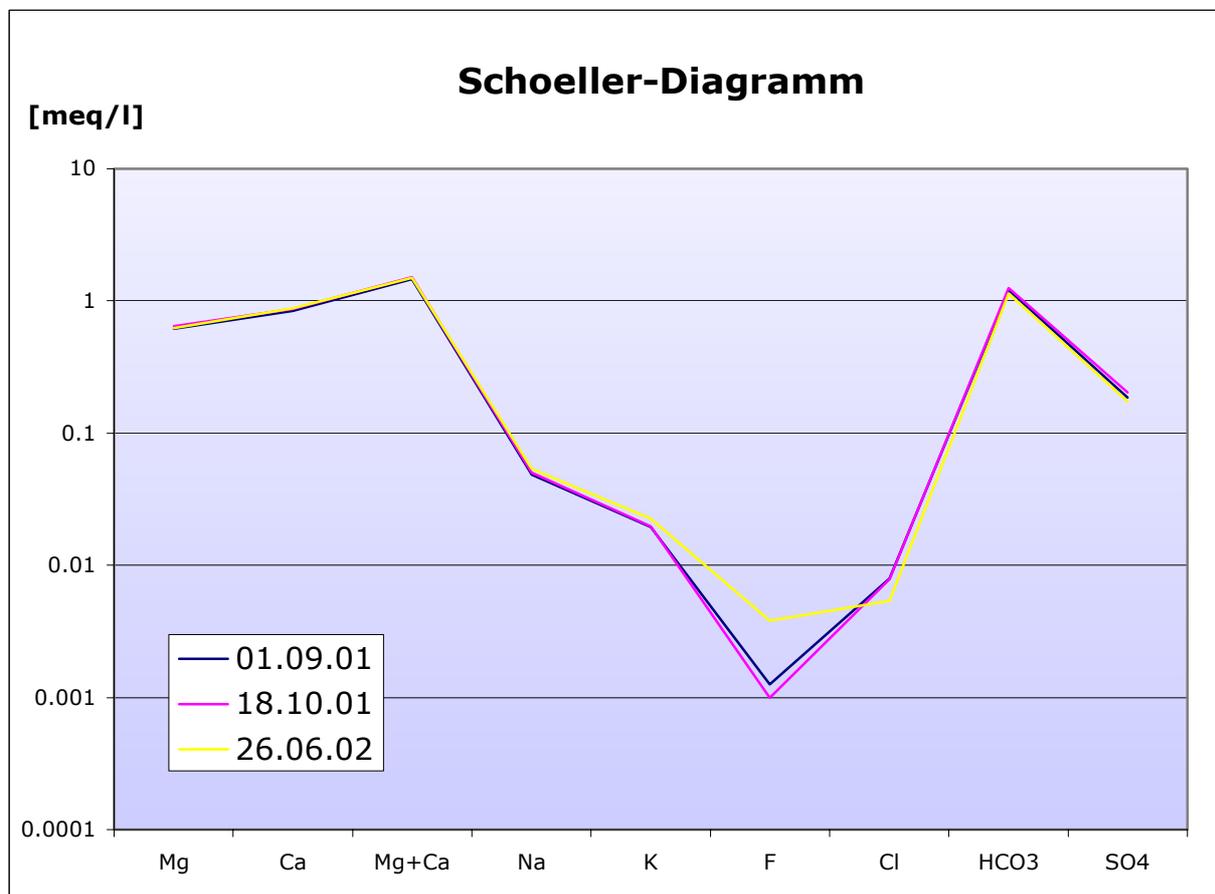
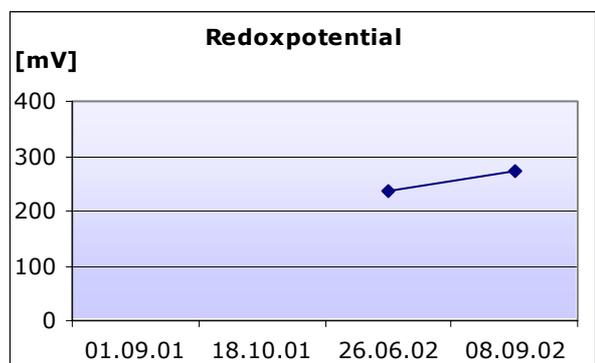
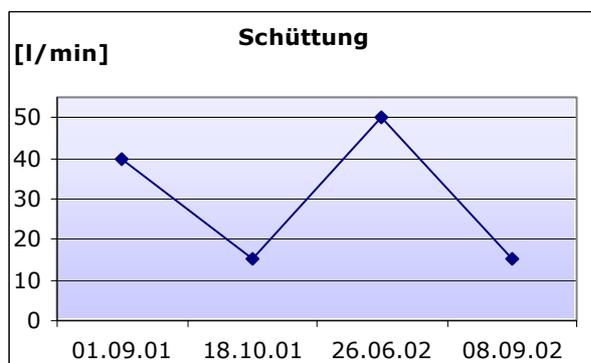
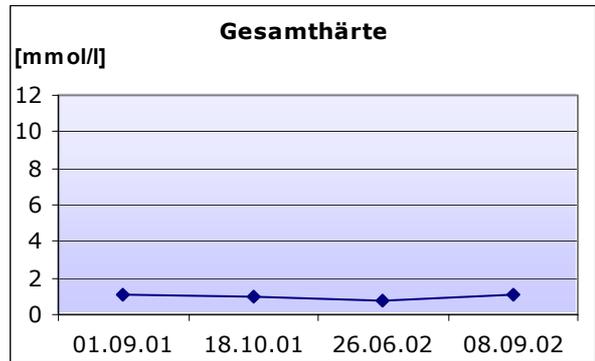
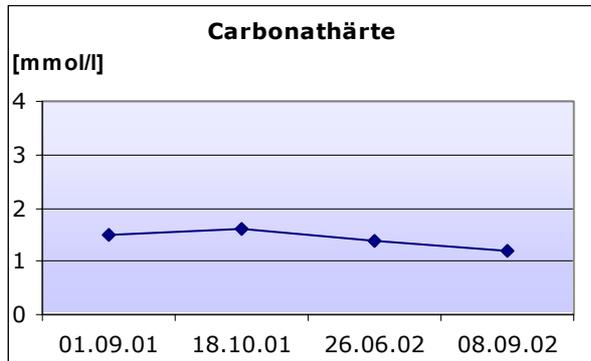
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	8.38	2.3	146	10.46	1.5	1.1	40	n.b.
18.10.01	8.33	2.2	149	11.26	1.6	1	15	n.b.
26.06.02	7.96	2.3	131	10.19	1.4	0.8	50	235
08.09.02	8.08	2.2	147	10.05	1.2	1.1	15	274

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.02	0.28	0.63	8.88	73.83	1.12	0.77	7.49	16.87
18.10.01	0.00	0.28	0.50	9.72	76.27	1.15	0.78	7.86	17.43
26.06.02	0.07	0.19	0.48	8.38	68.95	1.23	0.88	7.56	17.67





QW37

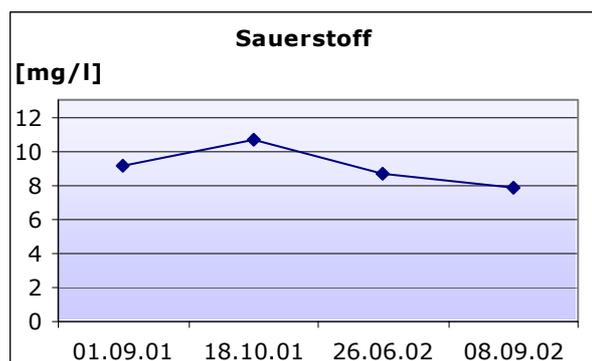
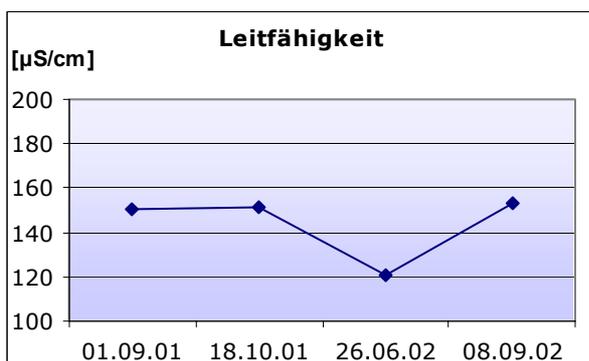
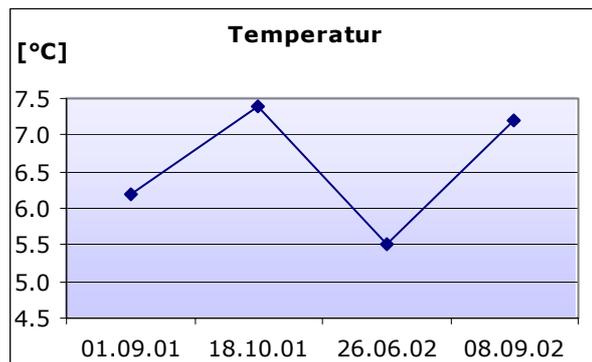
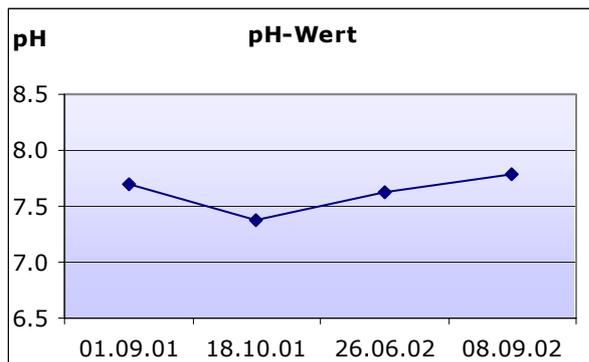
Koordinaten 800519.36/160847.63
Höhe [m ü.M.] 2380
Quellentyp Quellhorizont
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

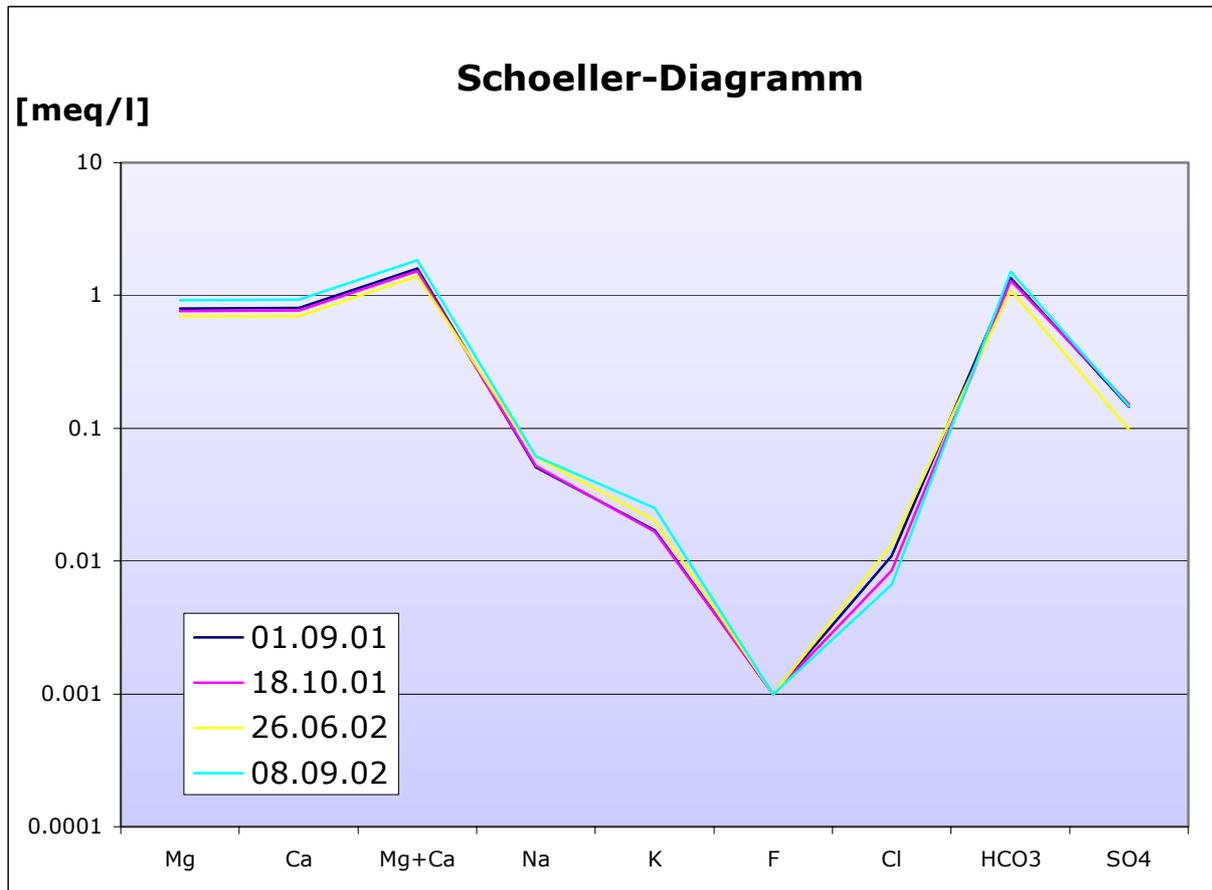
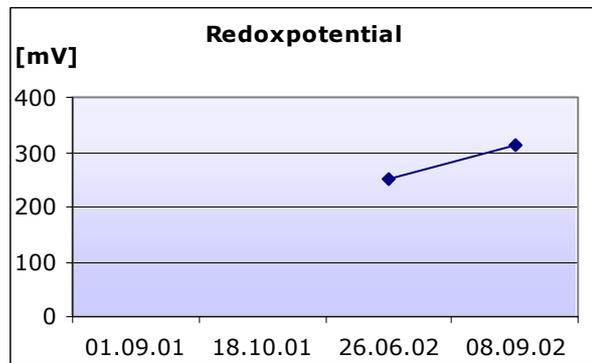
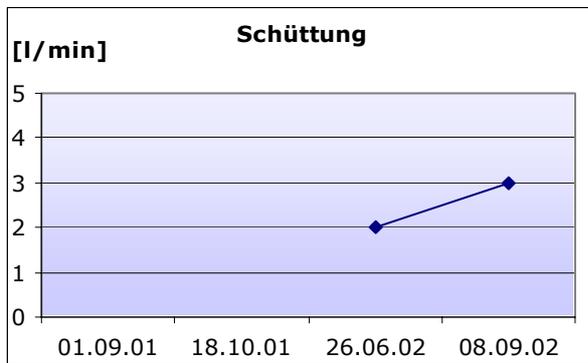
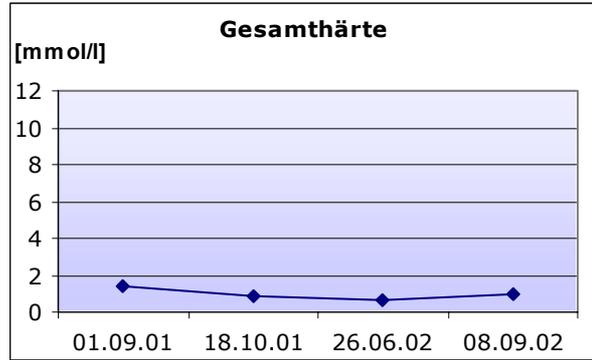
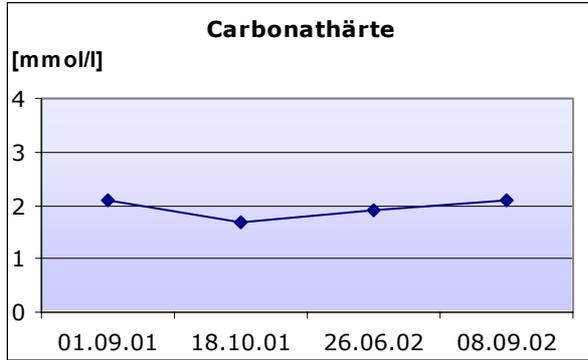
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	7.69	6.2	150	9.13	2.1	1.4	n.b.	n.b.
18.10.01	7.38	7.4	151	10.70	1.7	0.9	n.b.	n.b.
26.06.02	7.63	5.5	121	8.66	1.9	0.7	2	250
08.09.02	7.78	7.2	153	7.79	2.1	1.0	3	312

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.01	0.39	0.00	6.99	82.98	1.17	0.67	9.68	16.08
18.10.01	0.01	0.30	0.15	7.30	79.32	1.19	0.65	9.27	15.38
26.06.02	0.01	0.47	0.00	4.70	67.12	1.39	0.79	8.43	14.00
08.09.02	0.00	0.24	0.00	7.03	92.14	1.41	0.98	11.12	18.59





QW62

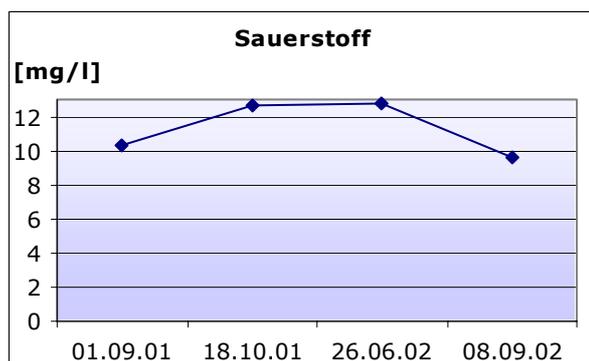
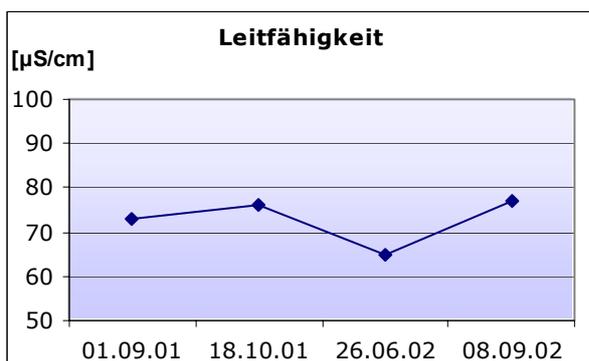
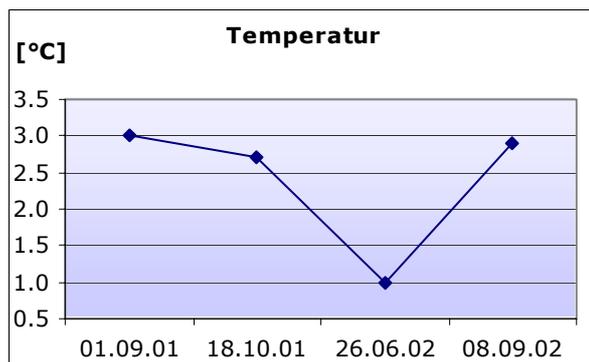
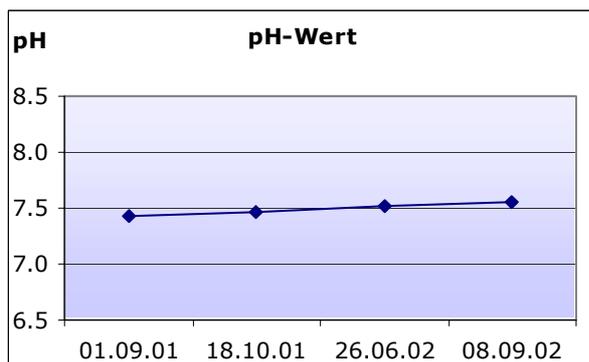
Koordinaten 800391.32/160316.08
Höhe [m ü.M.] 2520
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

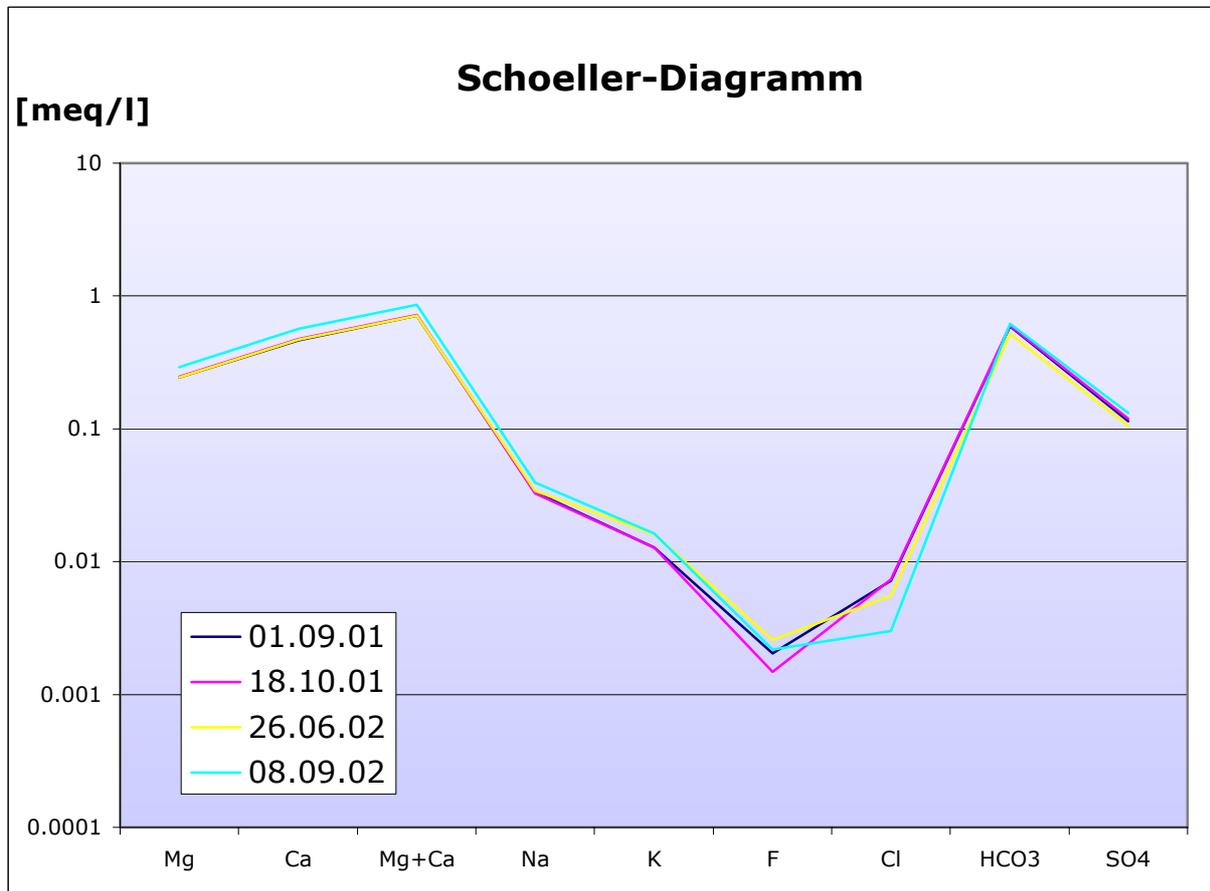
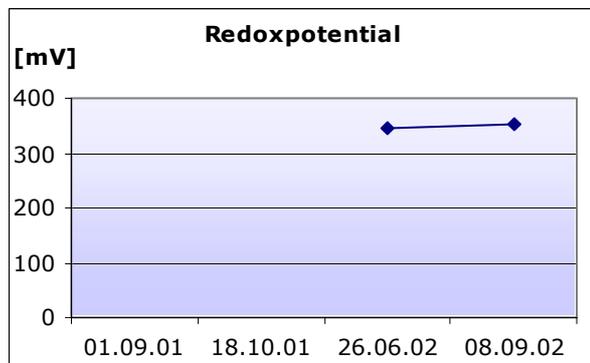
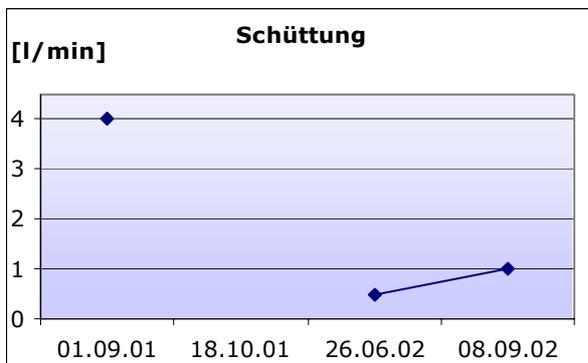
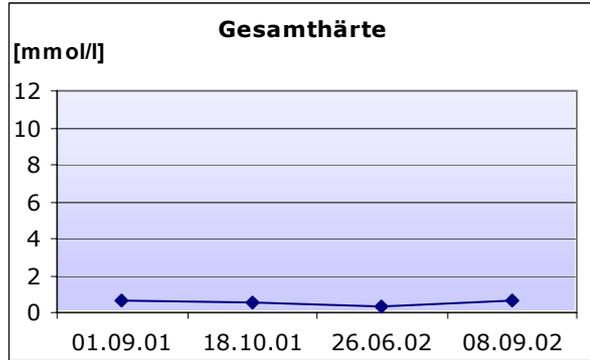
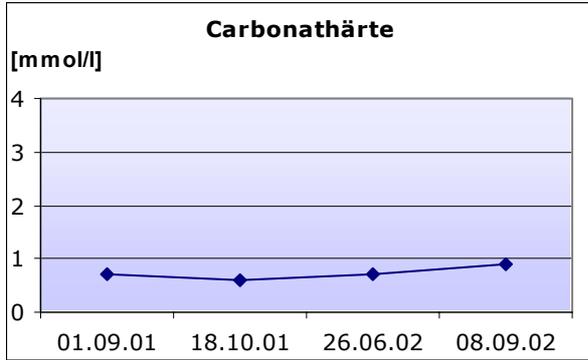
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	7.43	3.0	73	10.34	0.7	0.6	4.0	n.b.
18.10.01	7.47	2.7	76	12.62	0.6	0.5	n.b.	n.b.
26.06.02	7.51	1.0	65	12.76	0.7	0.3	0.5	346
08.09.02	7.55	2.9	77	9.63	0.9	0.7	1.0	354

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.04	0.26	0.36	5.48	36.00	0.77	0.50	2.96	9.34
18.10.01	0.03	0.26	0.39	5.74	36.61	0.75	0.50	3.00	9.52
26.06.02	0.05	0.20	0.25	5.08	31.73	0.79	0.63	2.96	9.43
08.09.02	0.04	0.11	0.35	6.29	37.83	0.91	0.64	3.55	11.34





QW109

Koordinaten 800201.94/159569.161
Höhe [m ü.M.] 2570
Quellentyp Punktquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

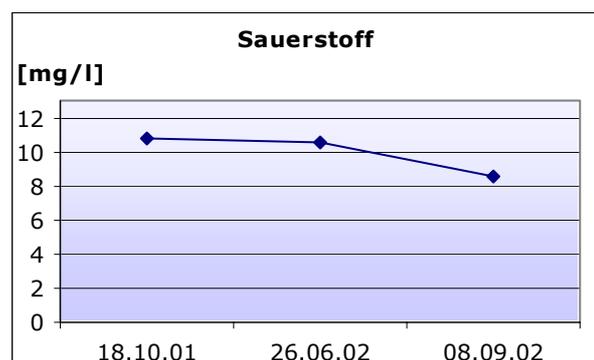
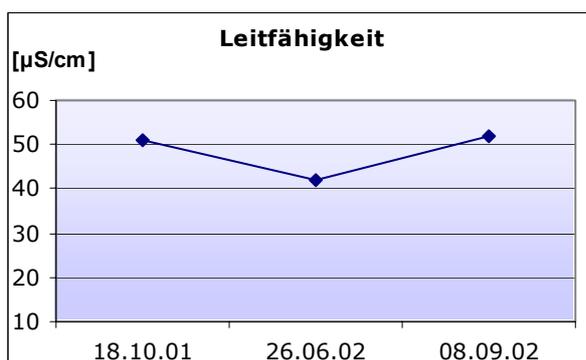
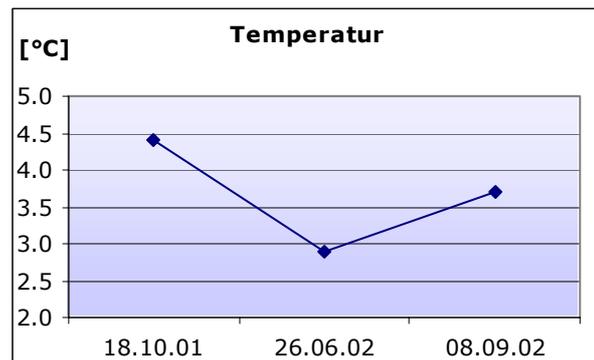
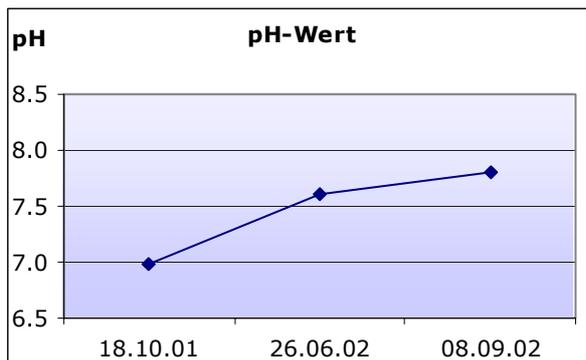
Bemerkungen ug = ungefilterte
 Probennahme

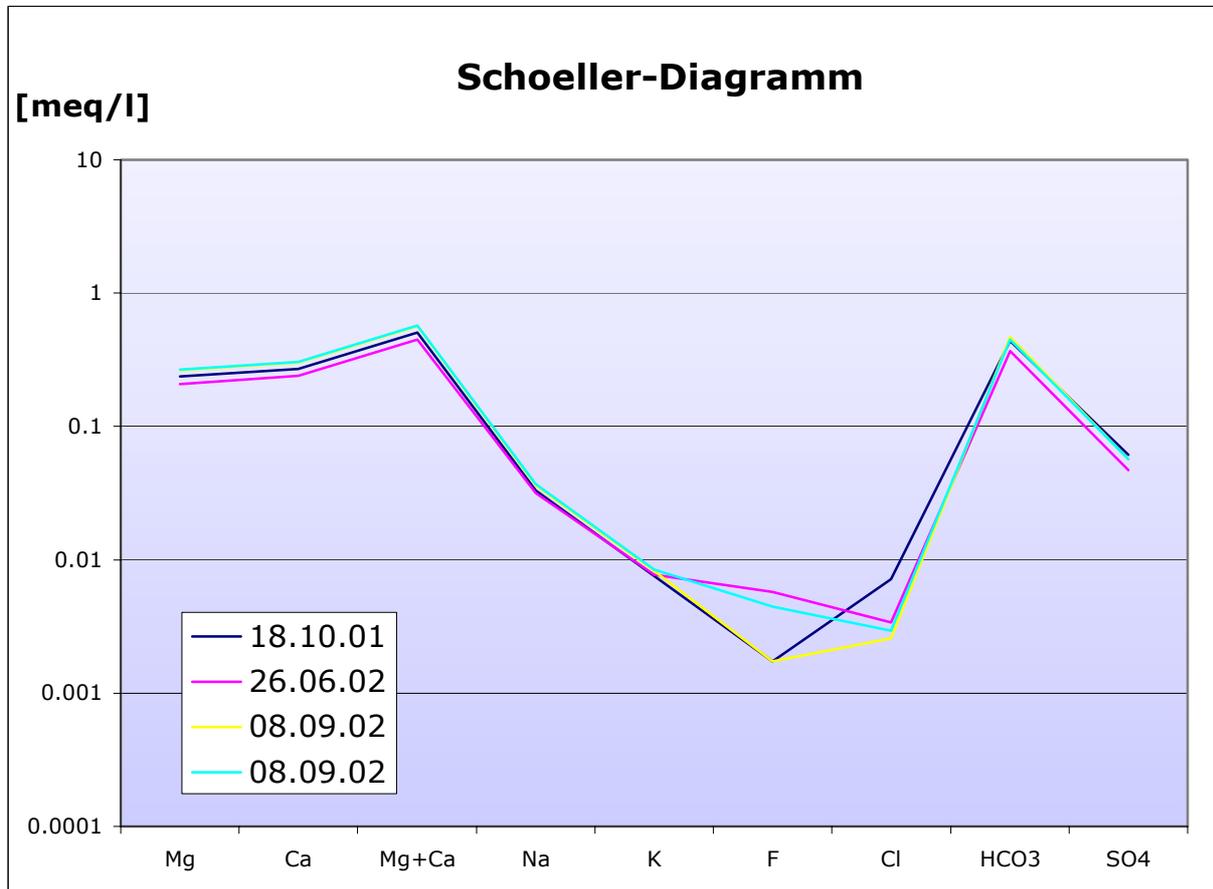
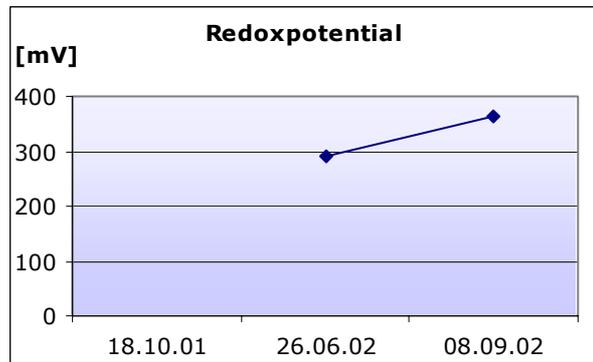
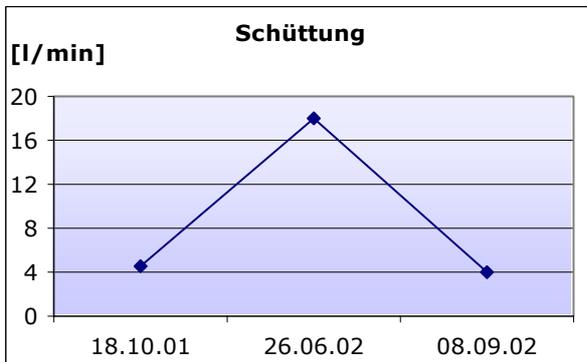
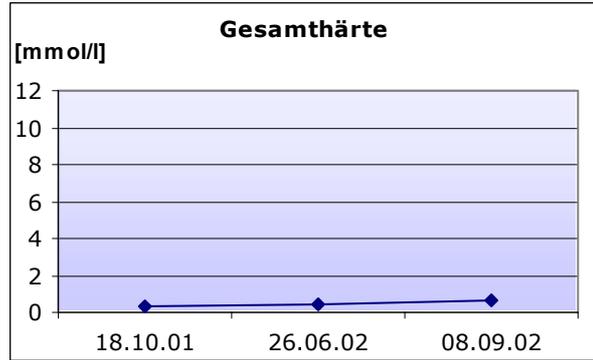
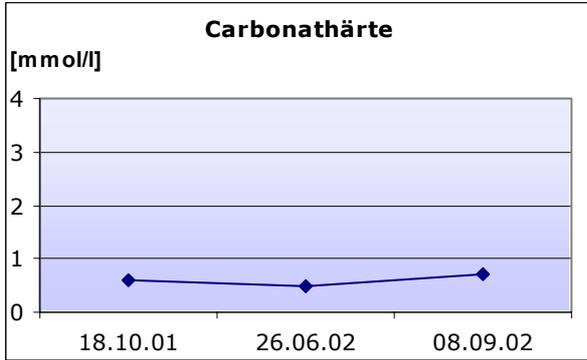
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
18.10.01	6.98	4.4	51	10.76	0.6	0.3	4.5	n.b.
26.06.02	7.61	2.9	42	10.56	0.5	0.4	18.0	290
08.09.02	7.81	3.7	52	8.57	0.7	0.7	4.0	365

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.03	0.26	0.27	2.94	26.85	0.76	0.30	2.89	5.41
26.06.02	0.11	0.12	0.29	2.27	22.58	0.72	0.30	2.53	4.81
08.09.02	0.03	0.09	0.36	2.73	28.68	0.83	0.32	3.22	6.04
08.09.02 ug	0.08	0.10	0.32	2.73	27.46	0.85	0.33	3.26	6.11





QW123

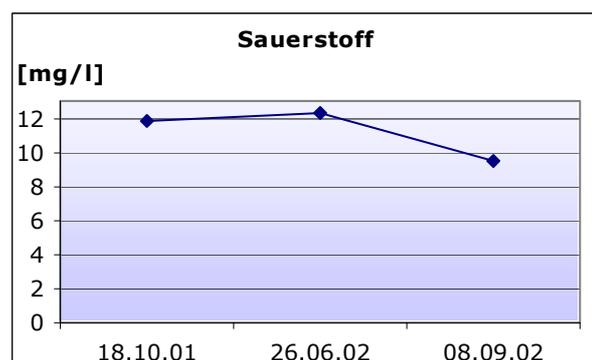
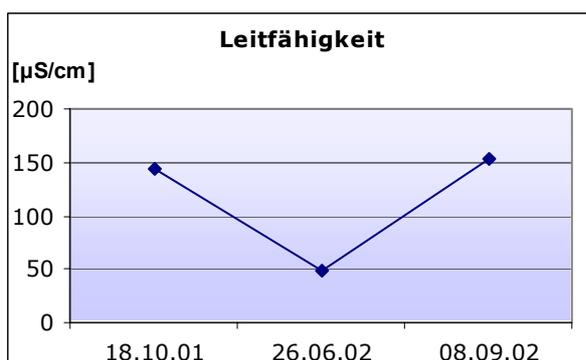
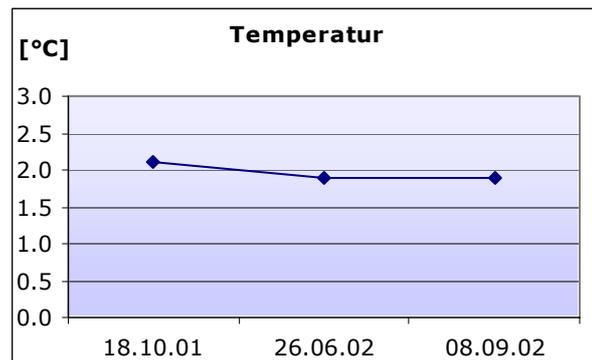
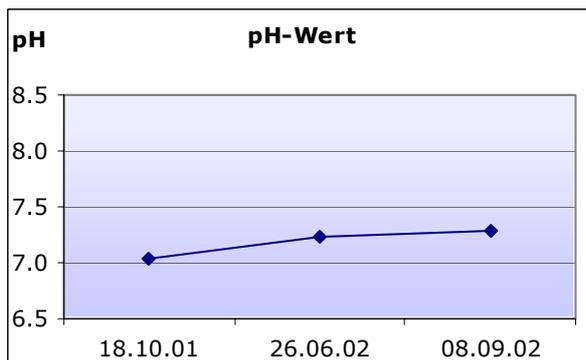
Koordinaten 799892.69/159377.16
Höhe [m ü.M.] 2705
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

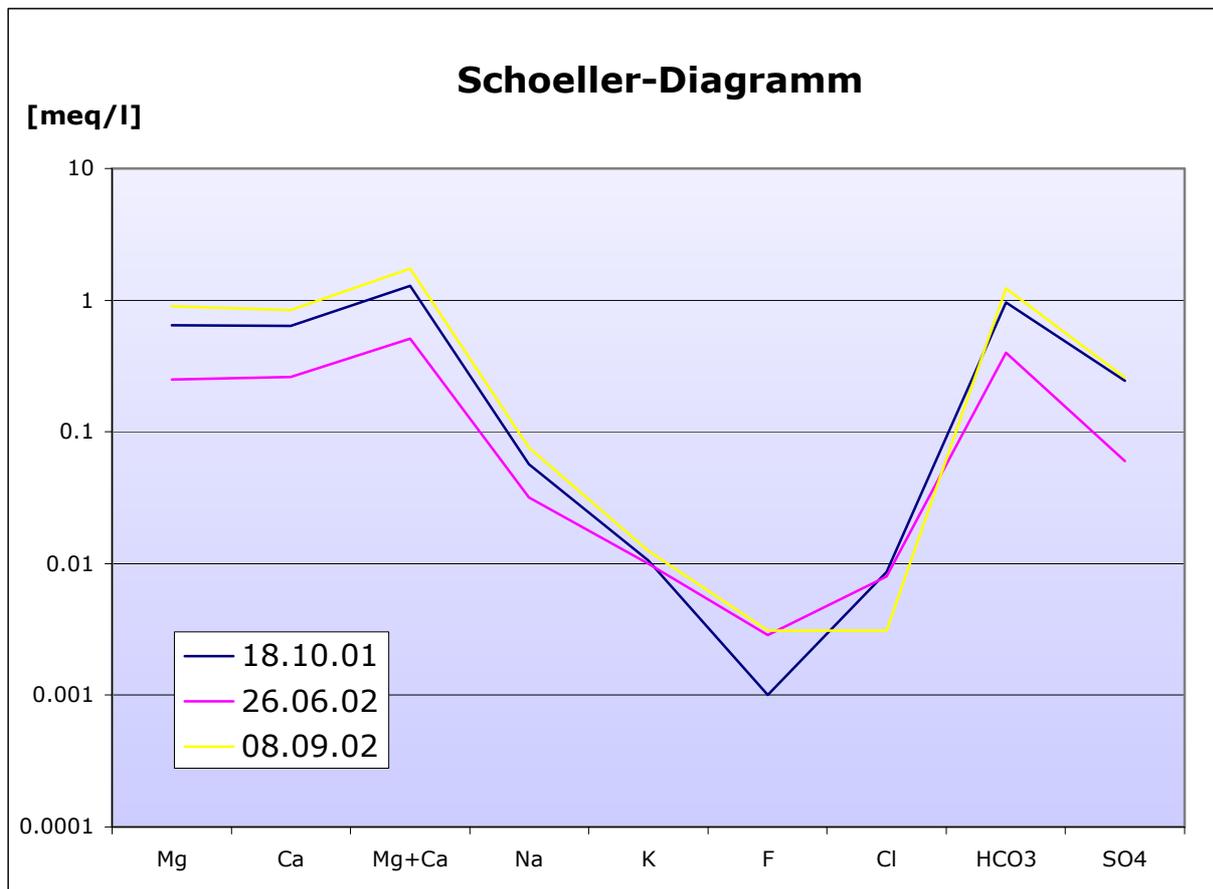
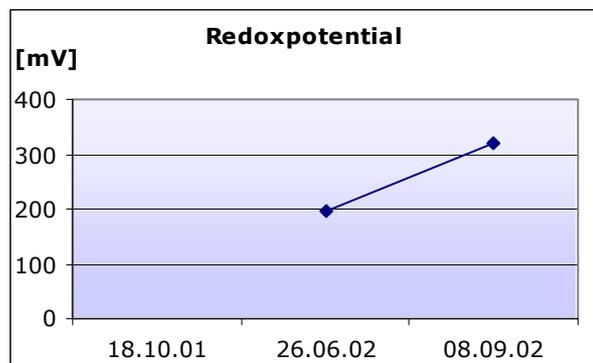
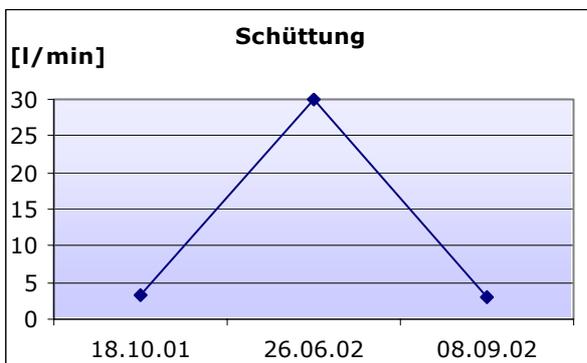
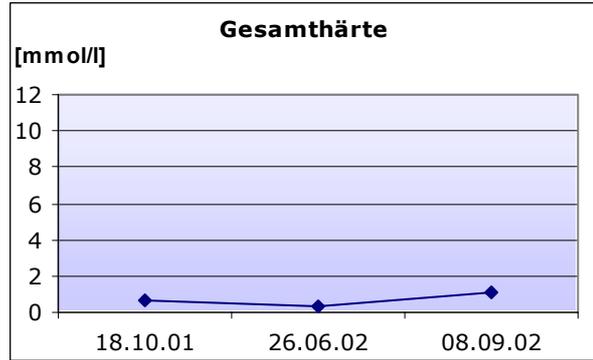
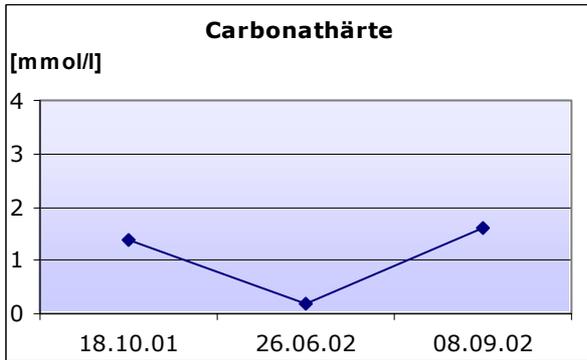
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
18.10.01	7.04	2.1	143	11.79	1.4	0.7	3.4	n.b.
26.06.02	7.23	1.9	49	12.24	0.2	0.3	30.0	195
08.09.02	7.29	1.9	154	9.51	1.6	1.1	3.0	319

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.00	0.31	0.99	11.79	58.58	1.31	0.41	7.85	12.79
26.06.02	0.05	0.28	0.76	2.87	24.41	0.73	0.39	3.04	5.25
08.09.02	0.06	0.11	1.32	12.35	75.05	1.74	0.49	10.96	16.88





QW137

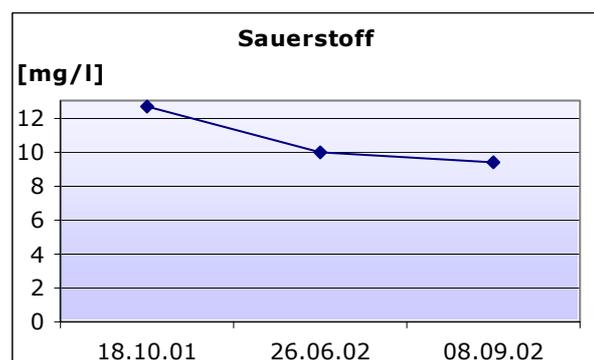
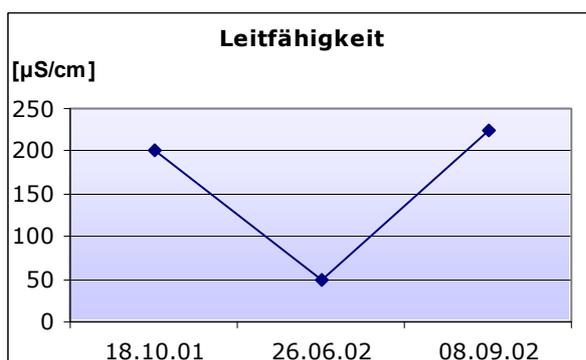
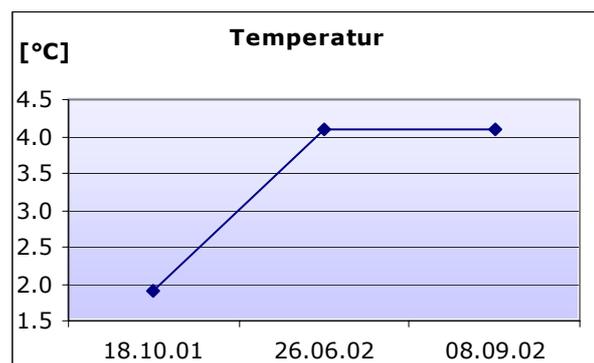
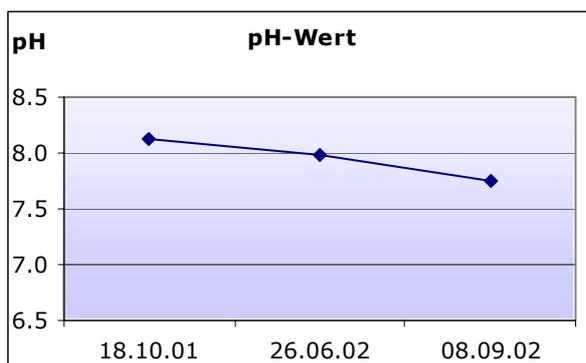
Koordinaten 800249.74/158748.95
Höhe [m ü.M.] 2600
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

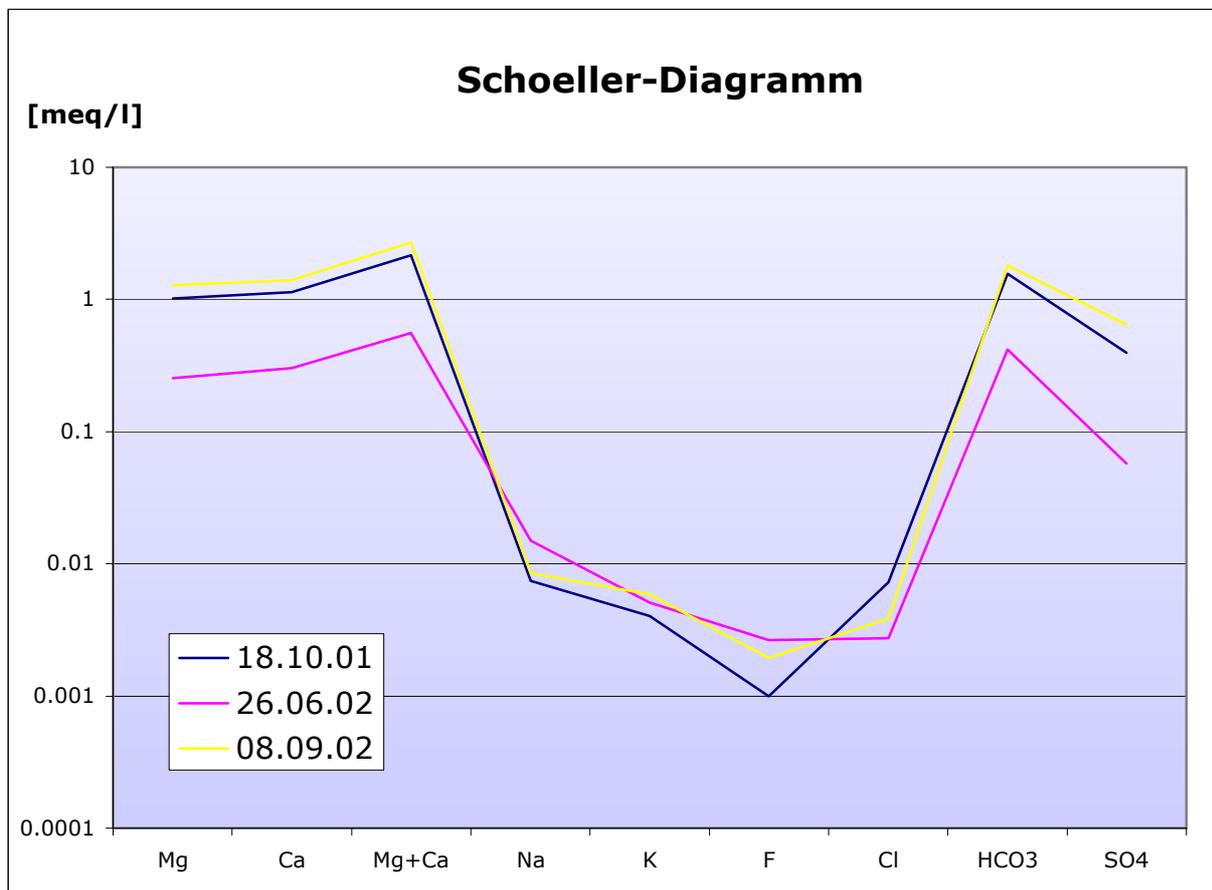
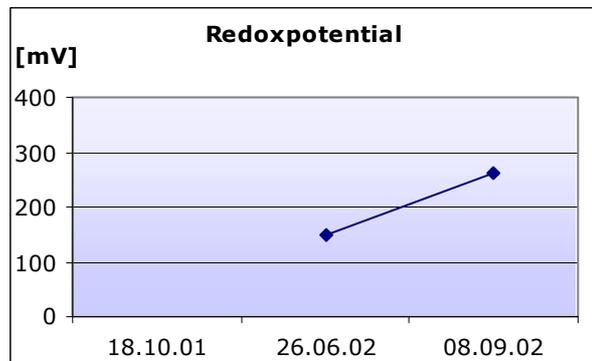
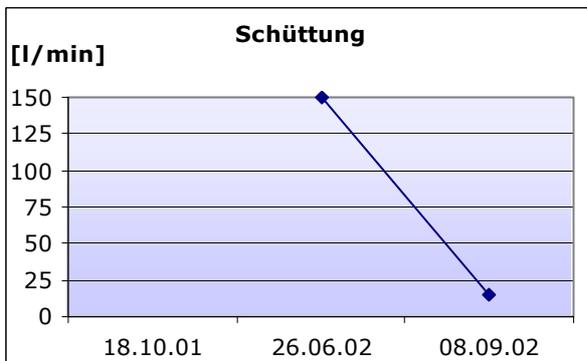
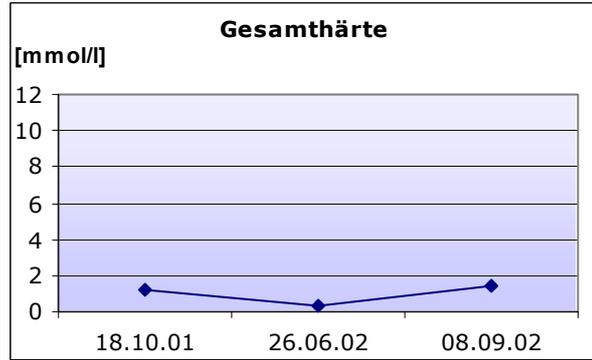
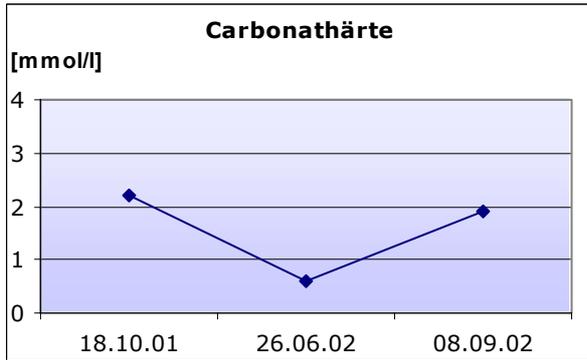
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
18.10.01	8.13	1.9	201	12.65	2.2	1.2	n.b.	n.b.
26.06.02	7.99	4.1	49	9.98	0.6	0.3	150	148
08.09.02	7.75	4.1	224	9.34	1.9	1.4	15	261

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.00	0.26	0.87	18.95	95.19	0.17	0.16	12.38	22.67
26.06.02	0.05	0.10	0.31	2.74	25.63	0.34	0.20	3.08	6.04
08.09.02	0.04	0.14	0.99	31.05	109.83	0.20	0.23	15.63	28.05





QE14

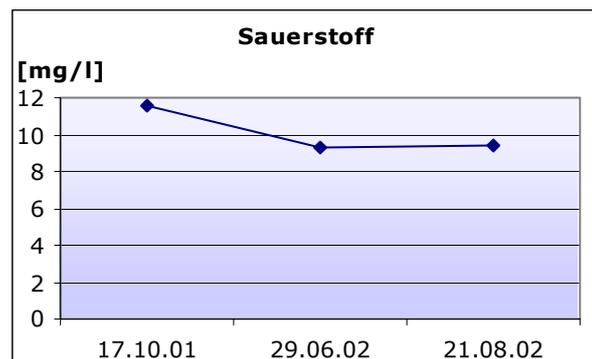
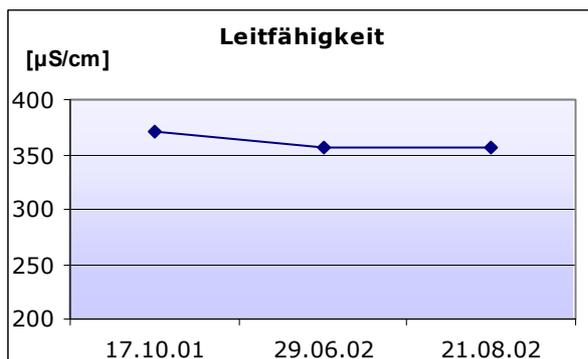
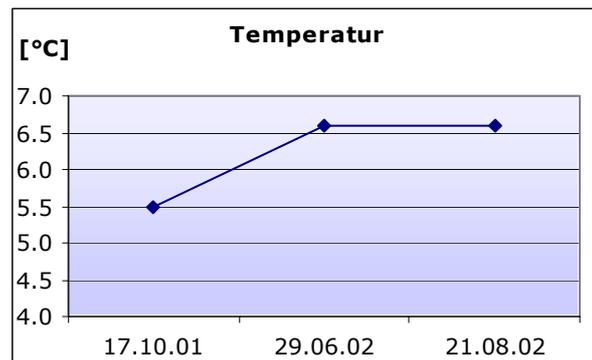
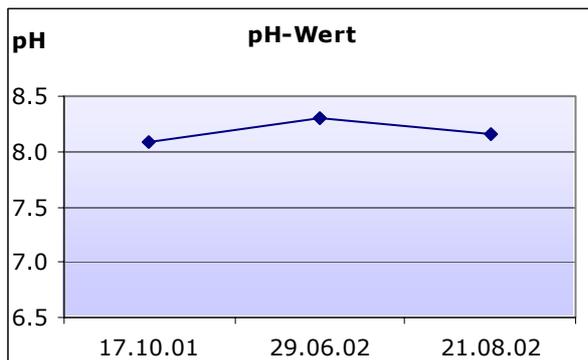
Koordinaten 799650.73/162419.09
Höhe [m ü.M.] 2130
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

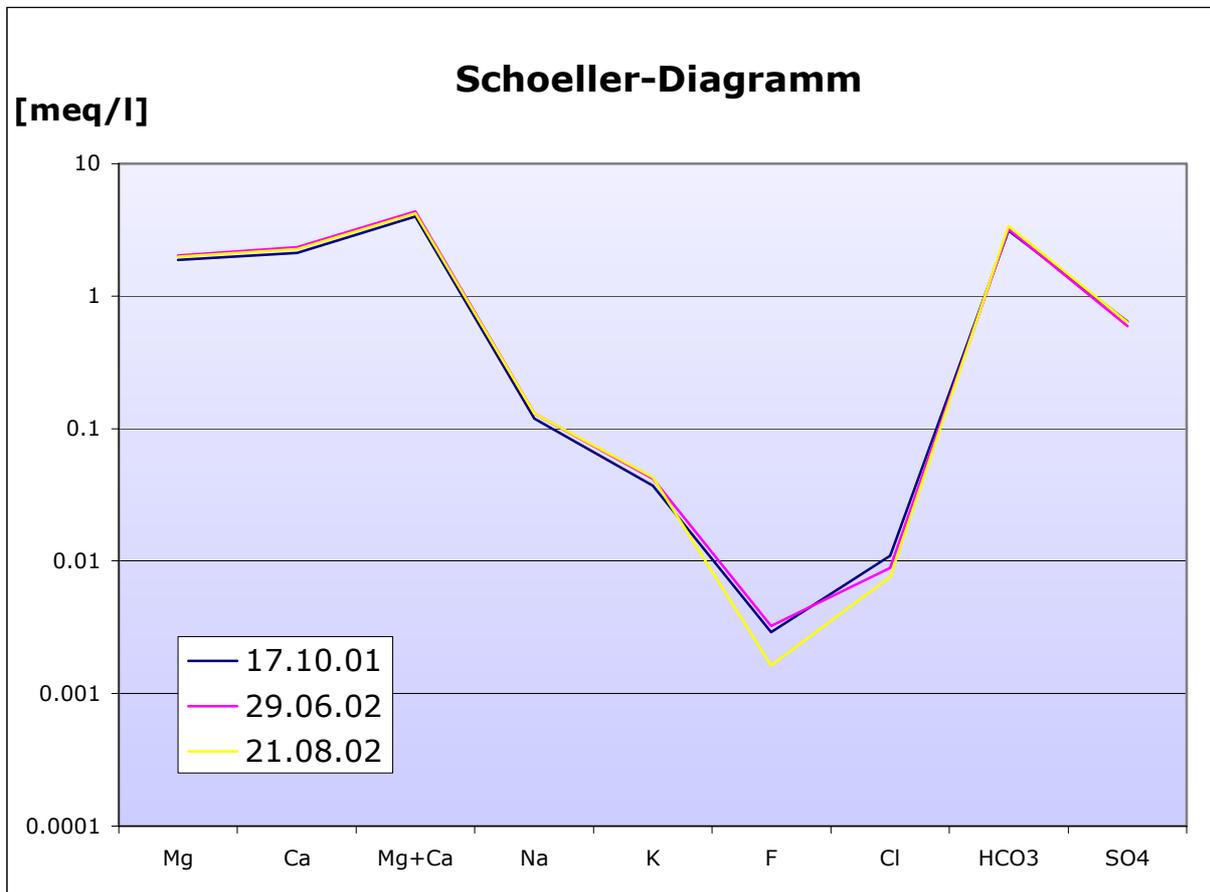
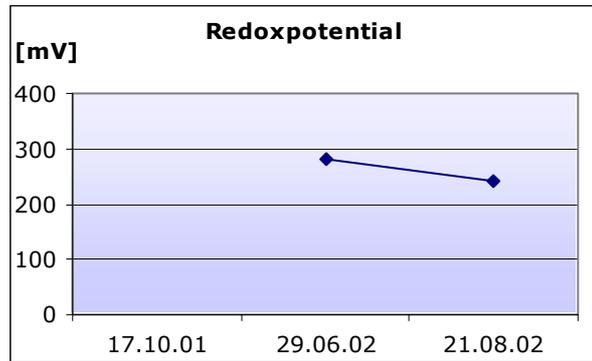
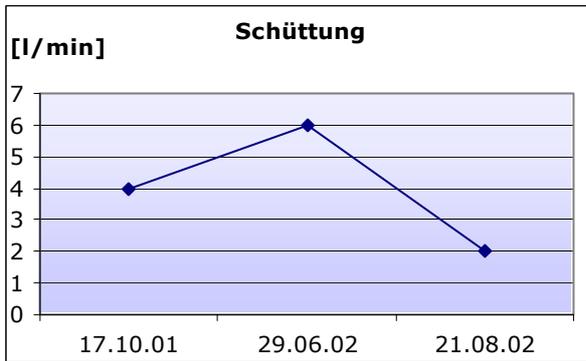
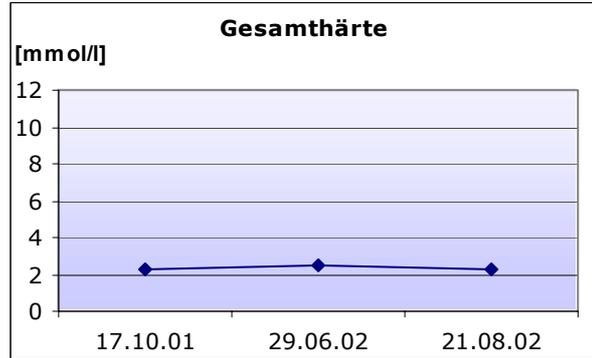
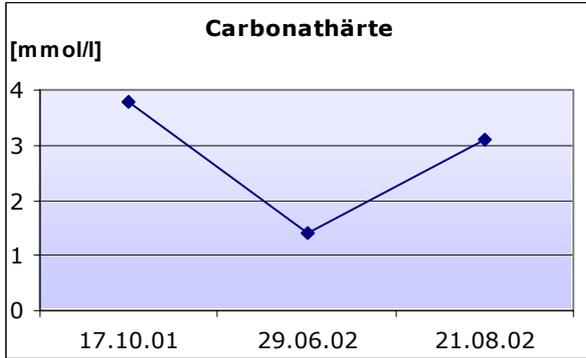
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
17.10.01	8.08	5.5	370	11.54	3.8	2.3	4.0	n.b
29.06.02	8.31	6.6	357	9.29	1.4	2.5	6.0	280
21.08.02	8.16	6.6	357	9.42	3.1	2.3	2.0	243

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
17.10.01	0.06	0.39	0.48	30.90	190.98	2.75	1.45	22.71	42.32
29.06.02	0.06	0.31	0.45	28.39	194.64	2.99	1.65	24.67	46.84
21.08.02	0.03	0.27	0.41	30.59	205.63	2.98	1.67	23.97	45.36





QE18

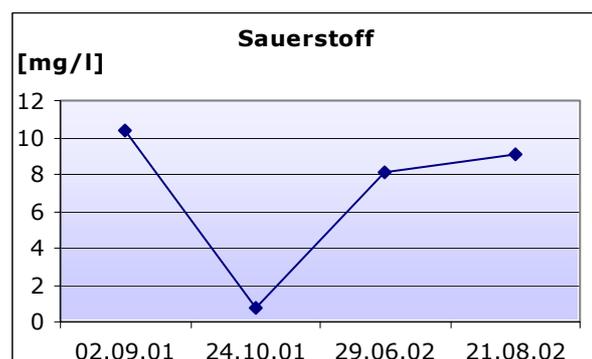
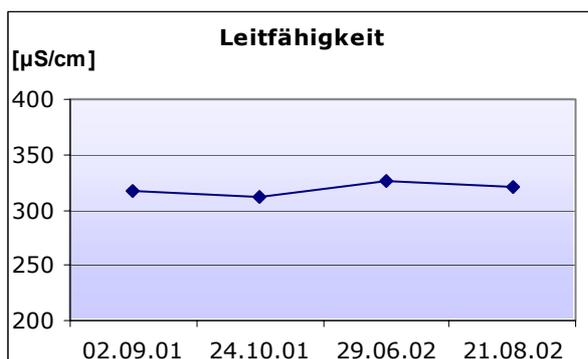
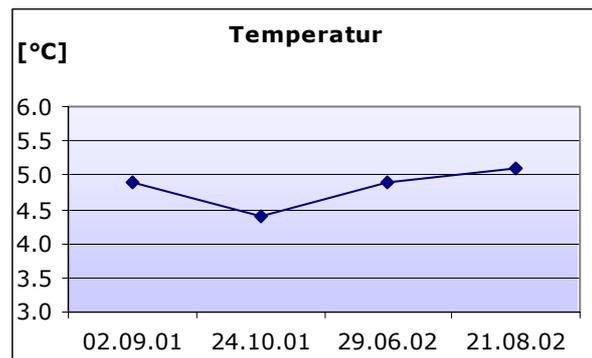
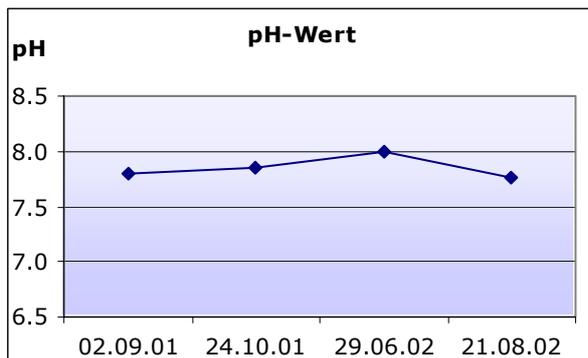
Koordinaten 800187.17/161969.73
Höhe [m ü.M.] 2117
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

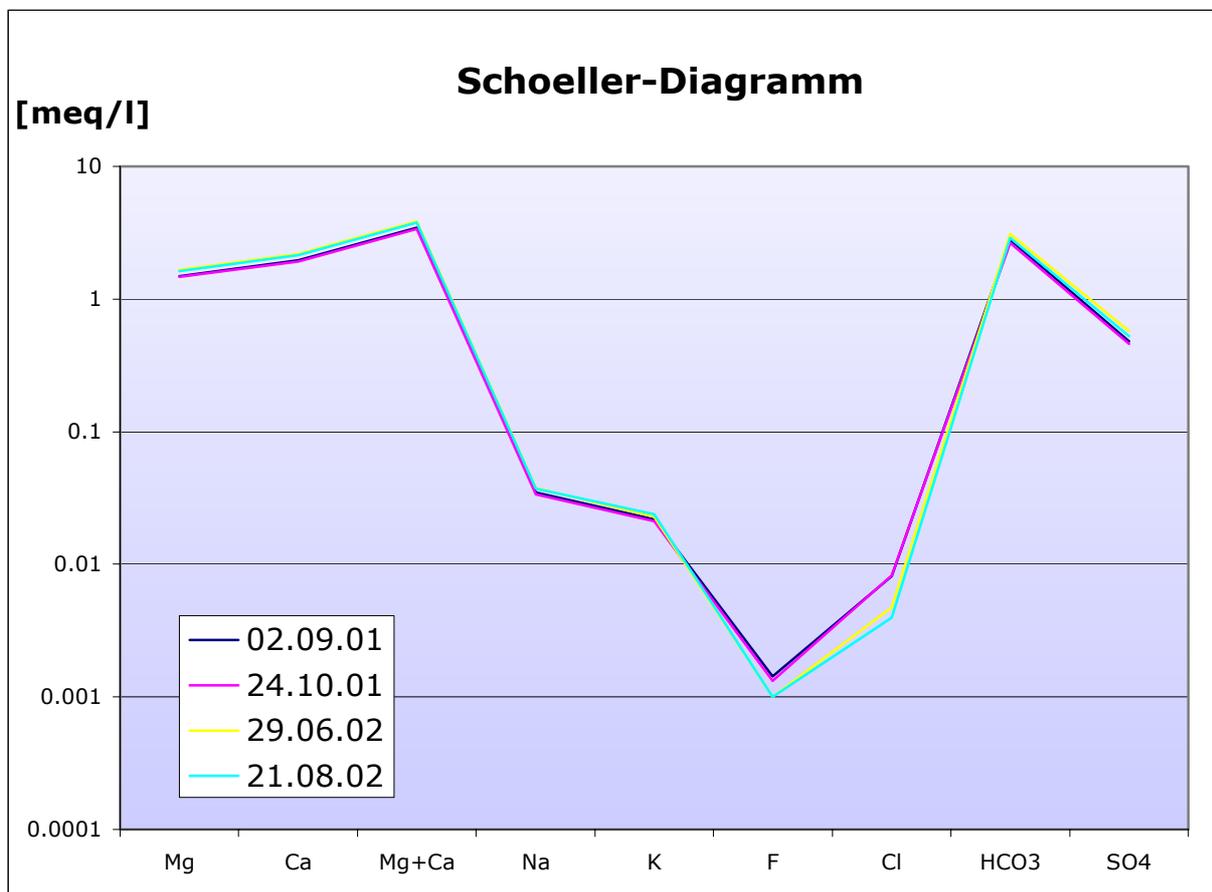
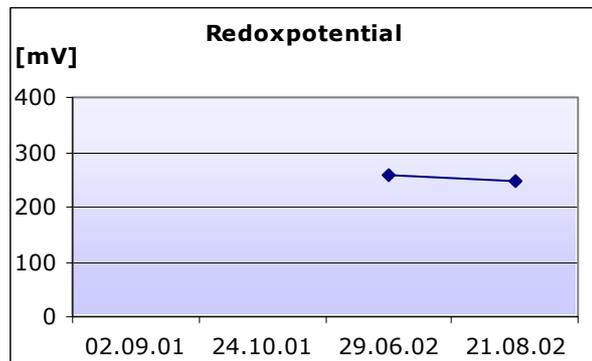
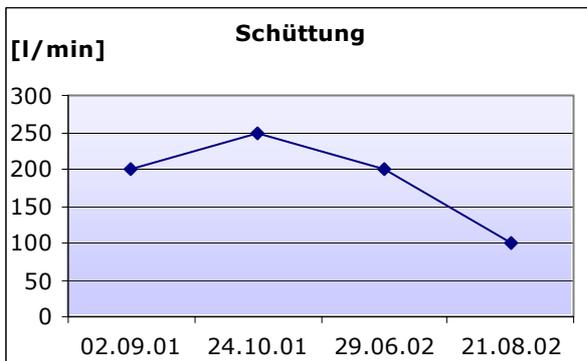
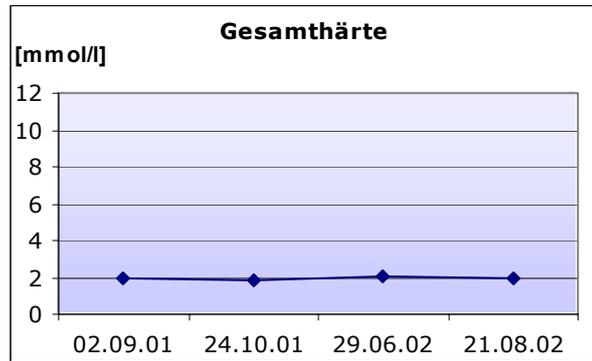
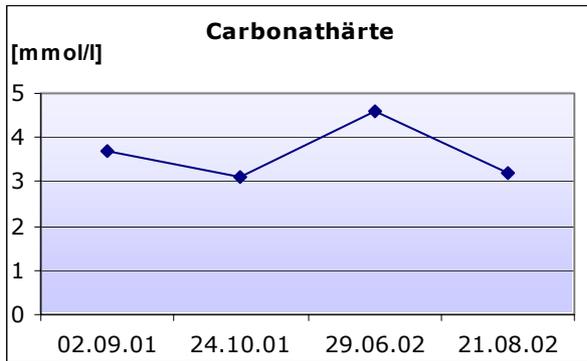
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	7.80	4.9	318	10.41	3.7	2.0	200	n.b.
24.10.01	7.85	4.4	312	0.81	3.1	1.8	250	n.b.
29.06.02	7.99	4.9	327	8.14	4.6	2.1	200	257
21.08.02	7.76	5.1	320	9.11	3.2	2.0	100	248

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.03	0.29	0.76	23.13	170.24	0.80	0.85	18.12	39.28
24.10.01	0.03	0.29	0.60	22.17	161.09	0.77	0.82	17.78	38.33
29.06.02	0.01	0.17	0.75	27.46	188.54	0.86	0.89	20.17	44.08
21.08.02	0.01	0.14	0.76	25.17	176.95	0.85	0.93	19.79	42.99





QE20

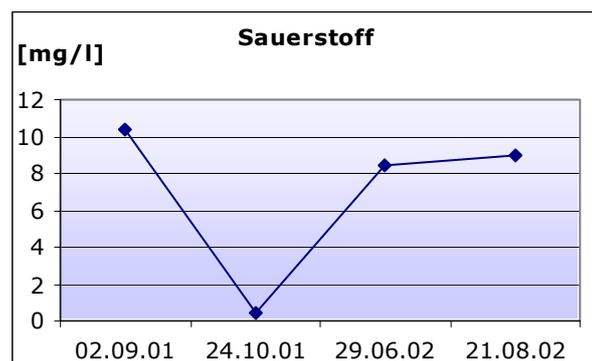
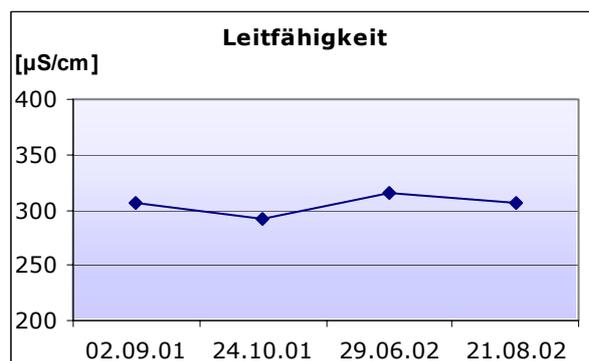
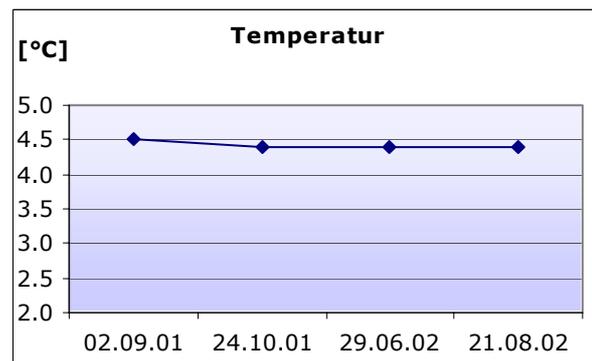
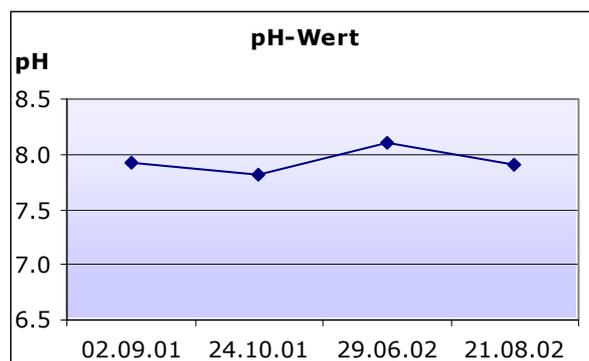
Koordinaten 800241.25/161953.93
Höhe [m ü.M.] 2190
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

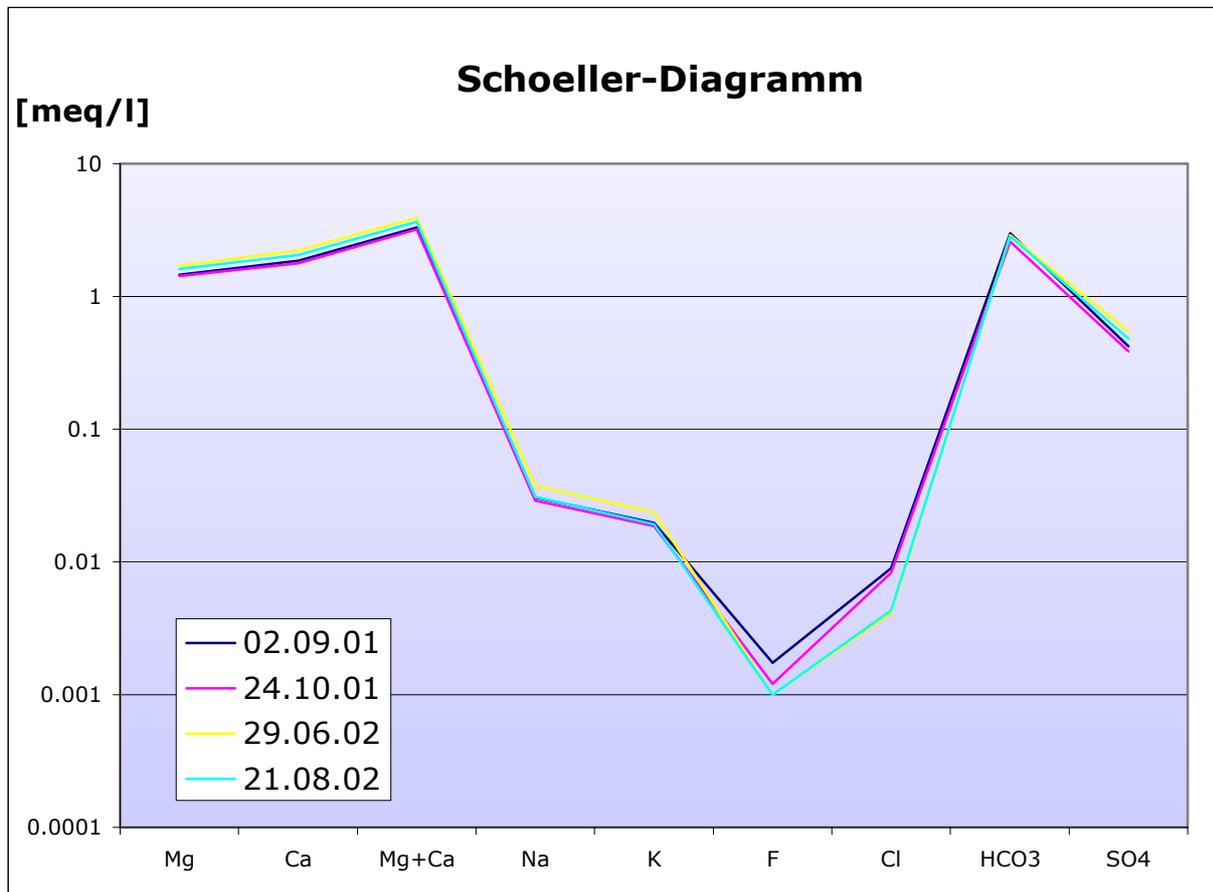
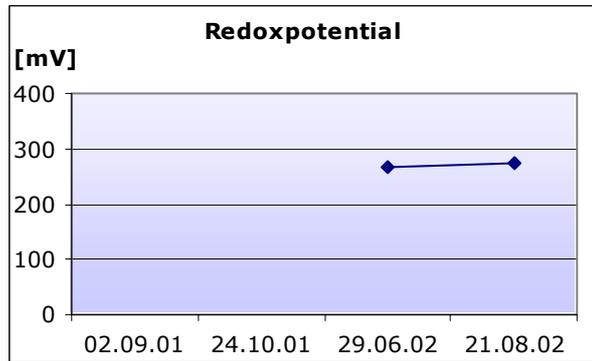
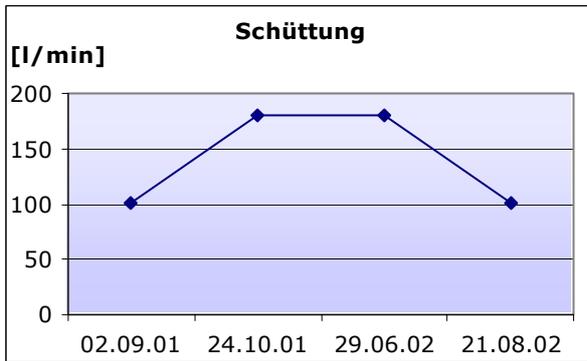
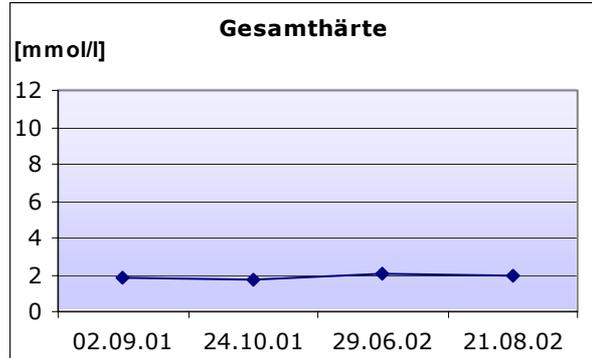
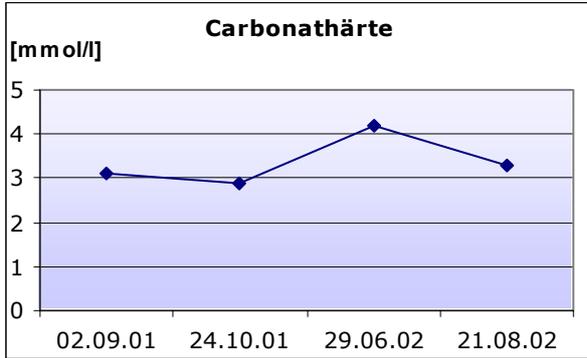
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	7.93	4.5	307	10.40	3.1	1.8	100	n.b.
24.10.01	7.81	4.4	292	0.44	2.9	1.7	180	n.b.
29.06.02	8.10	4.4	316	8.40	4.2	2.1	180	268
21.08.02	7.91	4.4	307	8.97	3.3	2.0	100	275

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.03	0.32	0.91	20.36	182.44	0.71	0.76	17.80	37.07
24.10.01	0.02	0.29	0.62	18.46	158.64	0.66	0.73	17.32	35.79
29.06.02	0.00	0.15	0.78	26.02	176.34	0.86	0.92	20.68	44.26
21.08.02	0.00	0.15	0.79	23.00	173.29	0.71	0.75	19.52	41.10





QE21

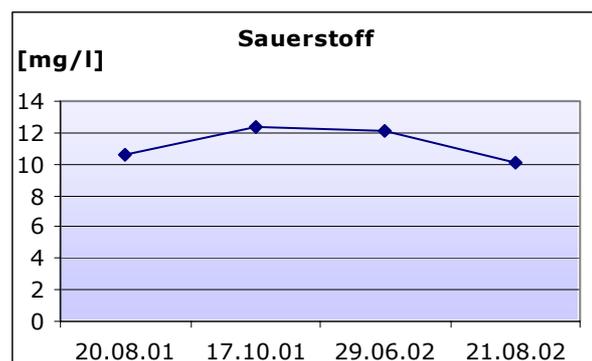
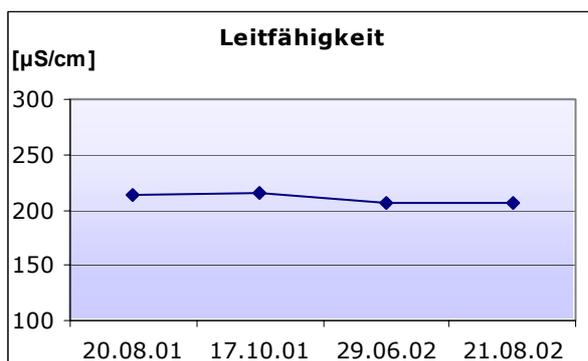
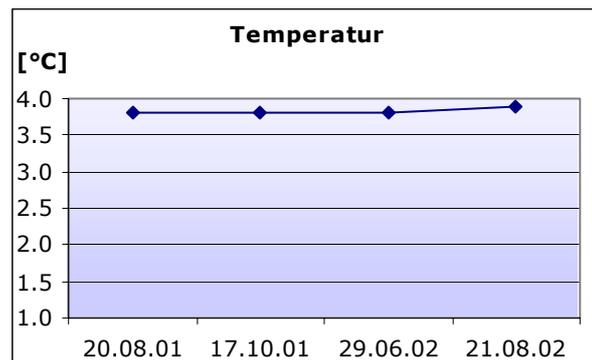
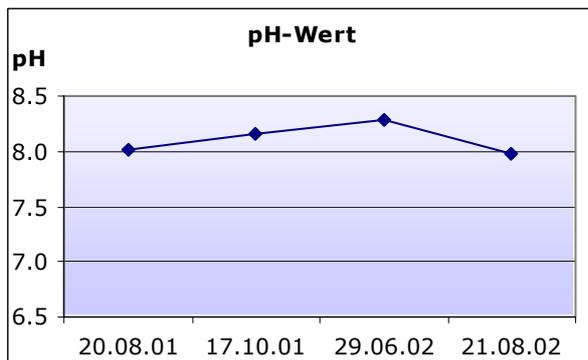
Koordinaten	800264.43/162156.40		
Höhe [m ü.M.]	2230		
Quellentyp	Lockergesteinsquelle		
Gefasst	nein		
Wassertyp	<u>Ca-Mg-HCO₃-SO₄</u>	(2001)	
	<u>Ca-Mg-HCO₃</u>	(2002)	
Bemerkungen			

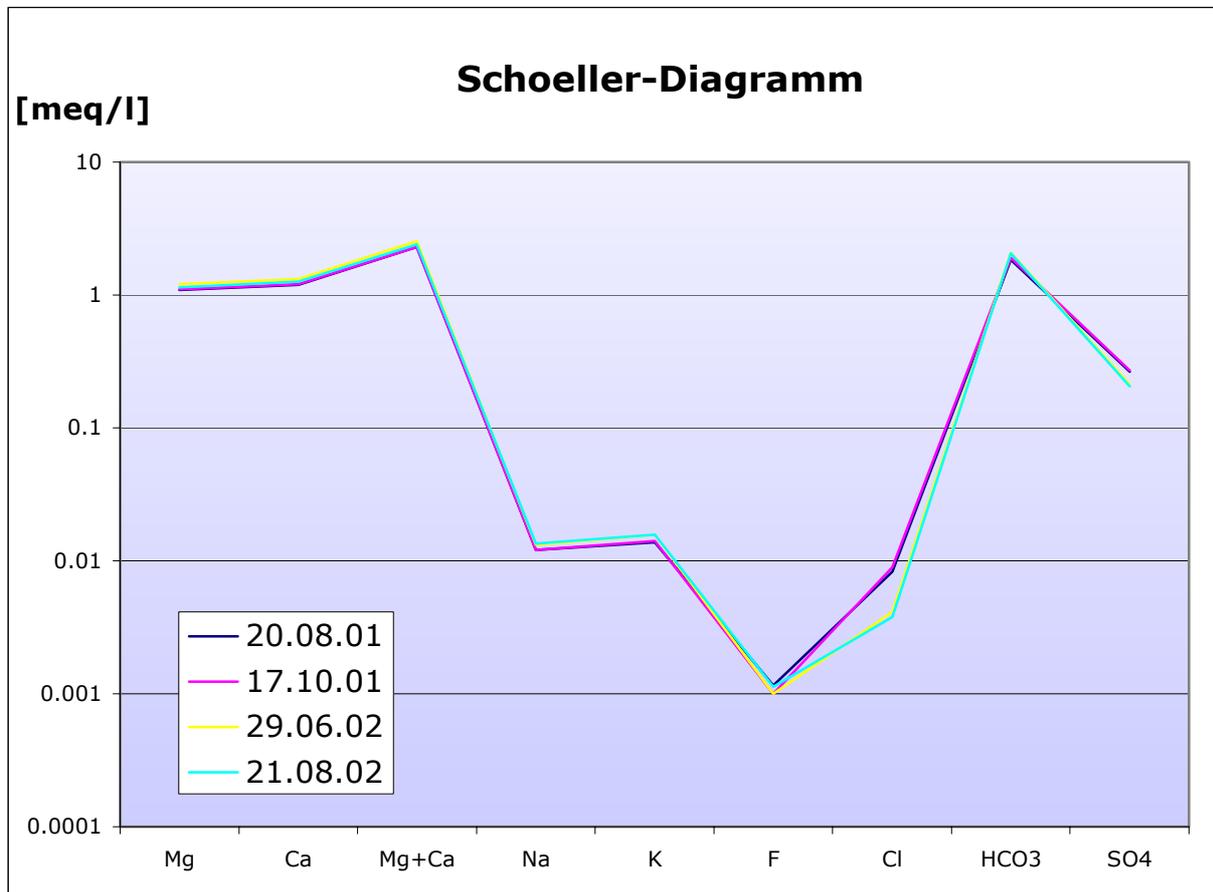
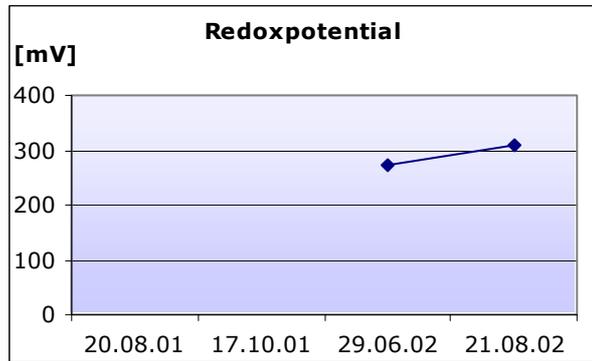
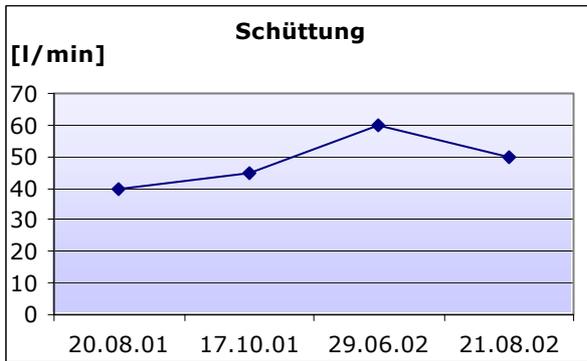
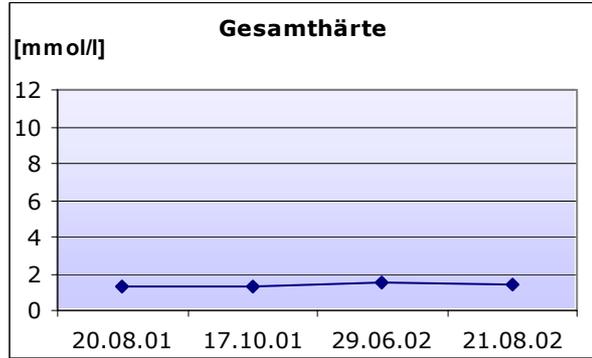
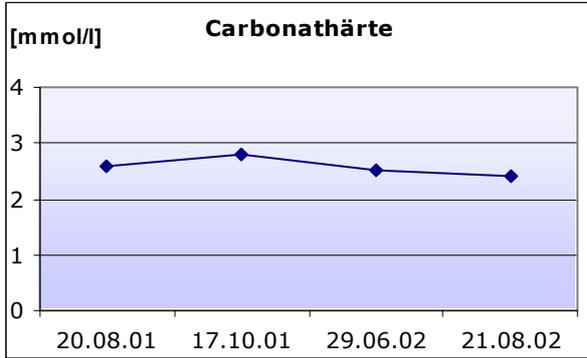
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	8.01	3.8	213	10.57	2.3	1.3	40	n.b.
17.10.01	8.16	3.8	215	12.39	2.4	1.3	45	n.b.
29.06.02	8.29	3.8	207	12.09	2.5	1.5	60	271
21.08.02	7.97	3.9	206	10.03	2.2	1.4	50	310

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.02	0.29	1.12	12.70	111.66	0.28	0.54	13.29	23.94
17.10.01	0.01	0.32	1.15	13.08	115.32	0.28	0.55	13.37	24.07
29.06.02	0.00	0.15	1.12	10.16	126.31	0.30	0.62	14.60	26.55
21.08.02	0.02	0.13	1.06	9.81	125.09	0.31	0.61	13.85	25.29





QE24

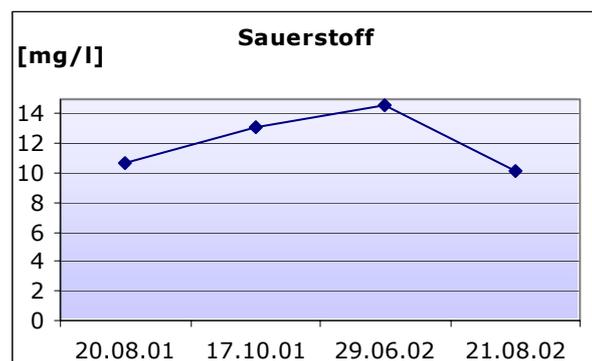
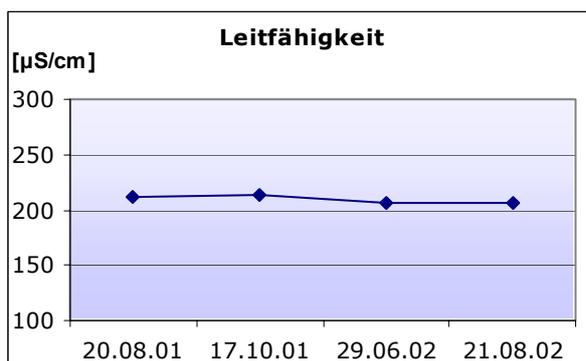
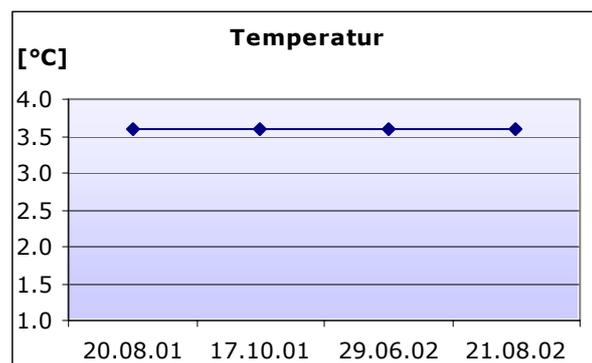
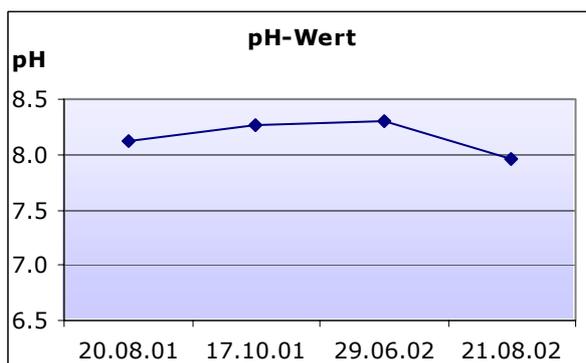
Koordinaten	800286.55/162134.96
Höhe [m ü.M.]	2230
Quellentyp	Lockergesteinsquelle
Gefasst	nein
Wassertyp	<u>Ca-Mg-HCO₃</u> -(SO ₄) (2001)
	<u>Ca-Mg-HCO₃</u> (2002)
Bemerkungen	

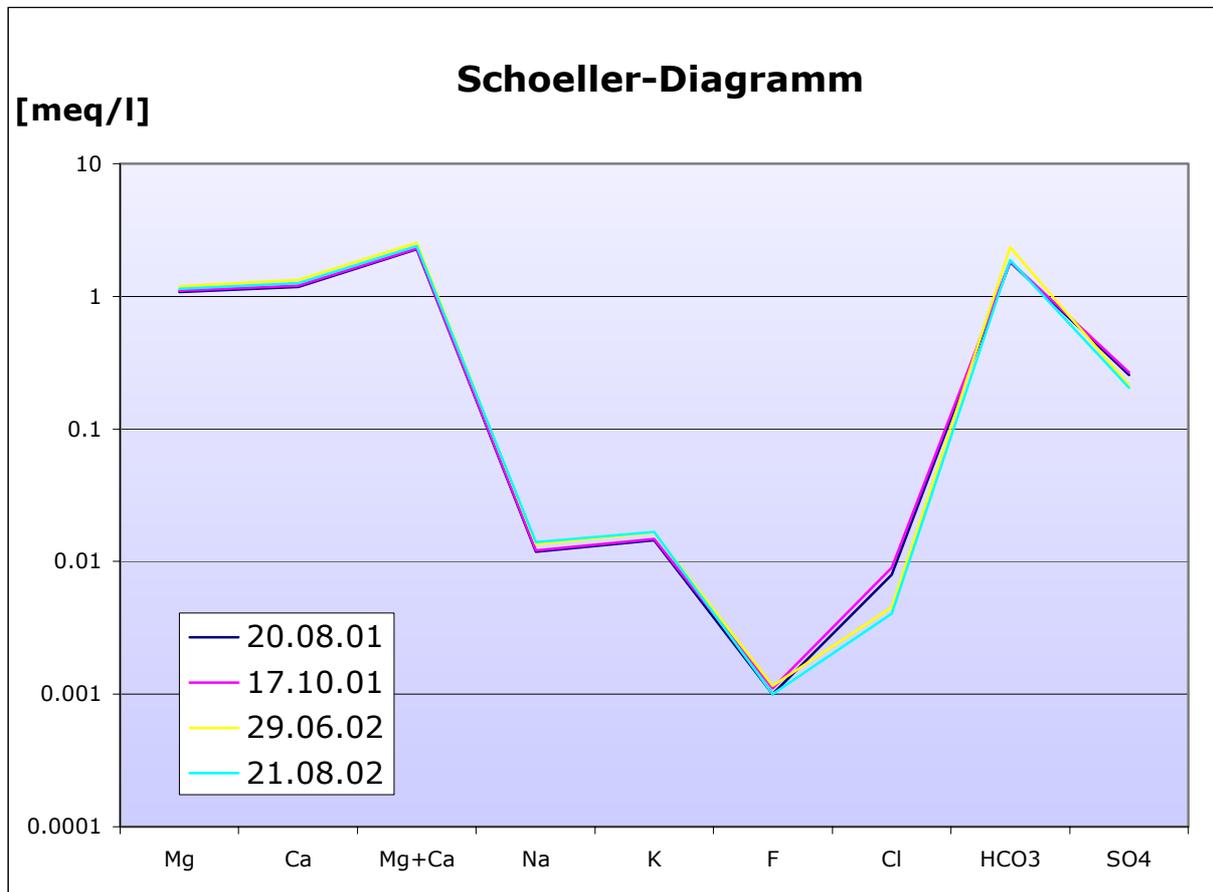
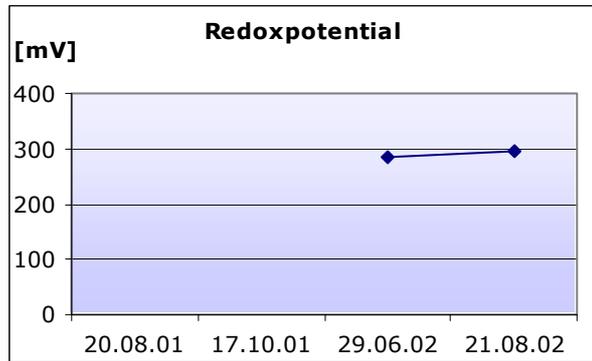
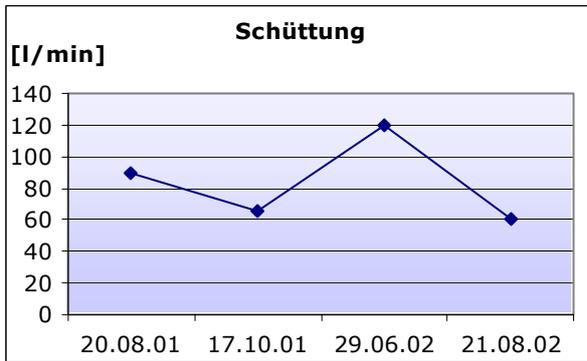
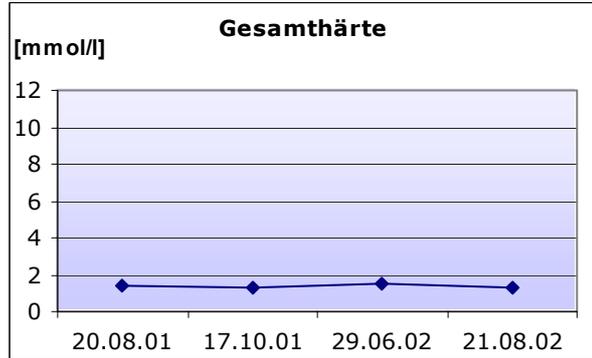
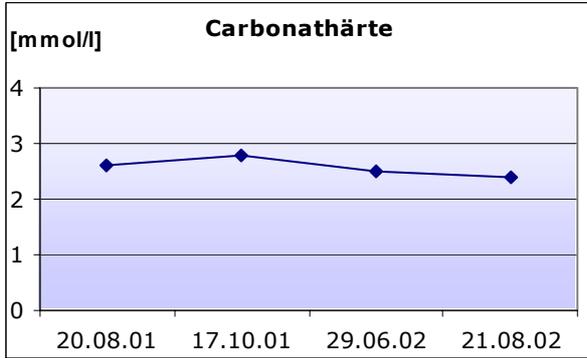
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	8.12	3.6	212	10.73	2.6	1.4	90	n.b.
17.10.01	8.27	3.6	214	13.13	2.2	1.3	65	n.b.
29.06.02	8.30	3.6	206	14.53	2.1	1.5	120	286
21.08.02	7.96	3.6	206	10.09	2.3	1.3	60	294

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.01	0.28	1.10	12.30	110.44	0.27	0.57	13.18	23.72
17.10.01	0.02	0.32	1.12	12.76	111.66	0.28	0.58	13.36	24.07
29.06.02	0.02	0.16	1.11	10.26	142.17	0.31	0.65	14.54	26.57
21.08.02	0.00	0.14	1.09	9.85	114.71	0.32	0.65	13.80	25.21





QE26

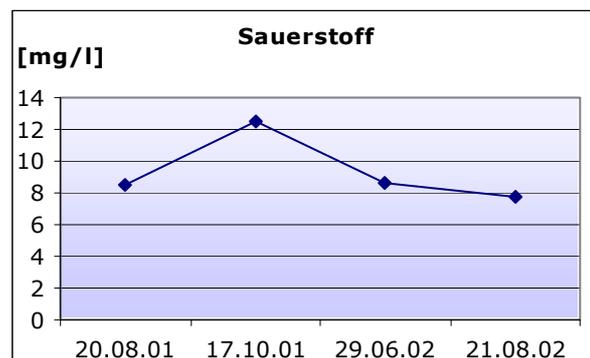
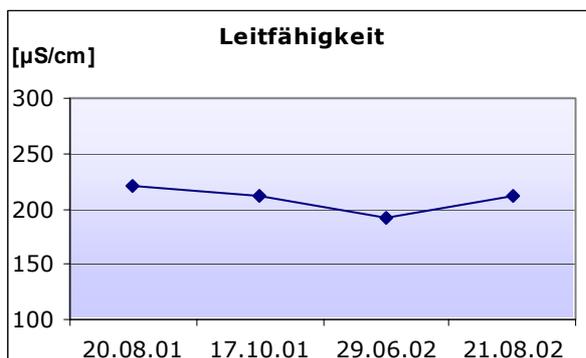
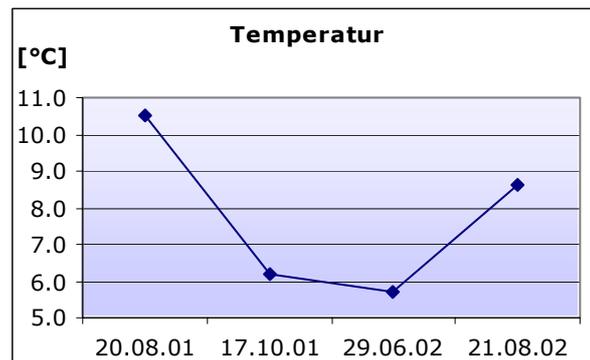
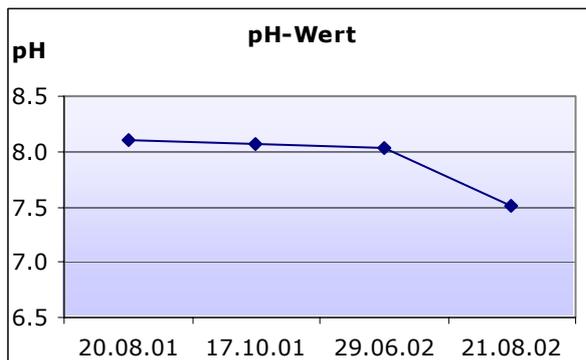
Koordinaten 800311.41/162039.32
Höhe [m ü.M.] 2220
Quellentyp Quellnässe
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

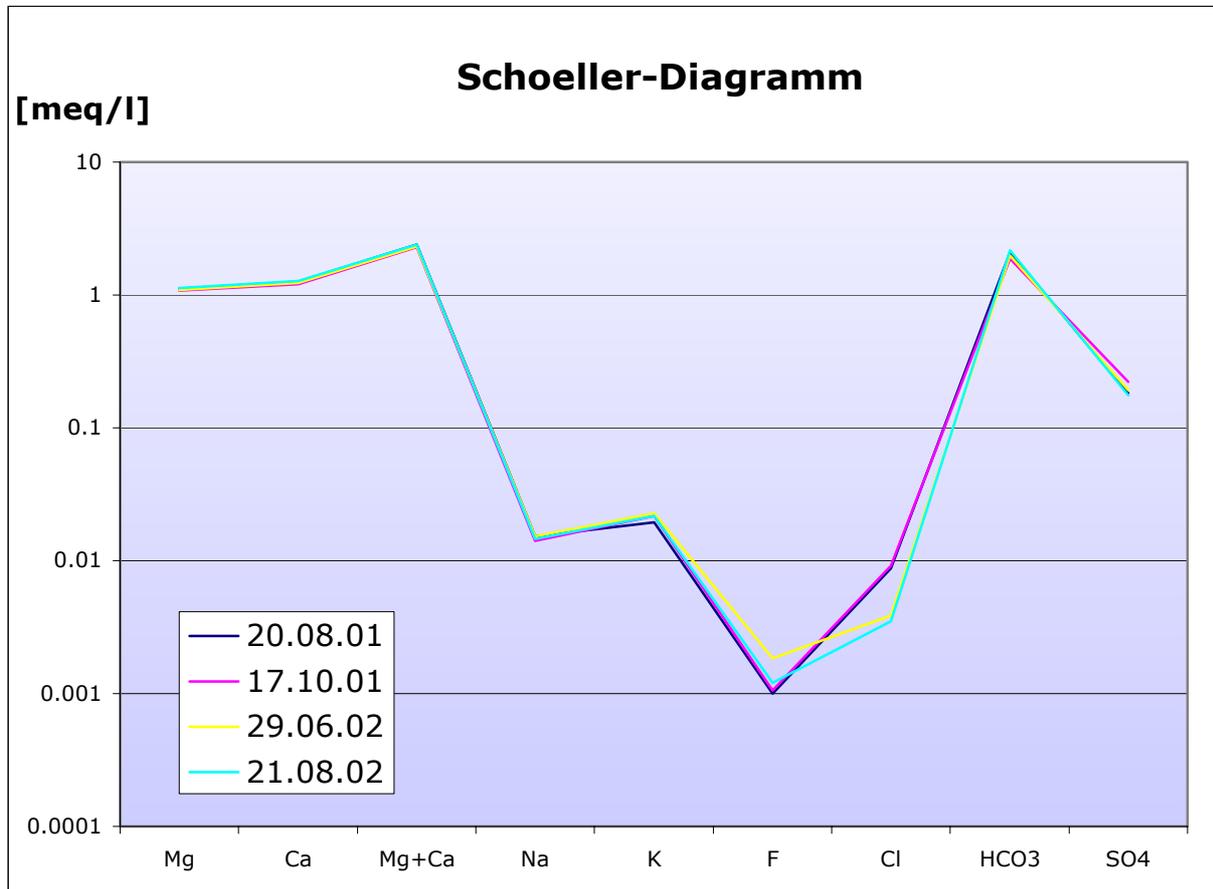
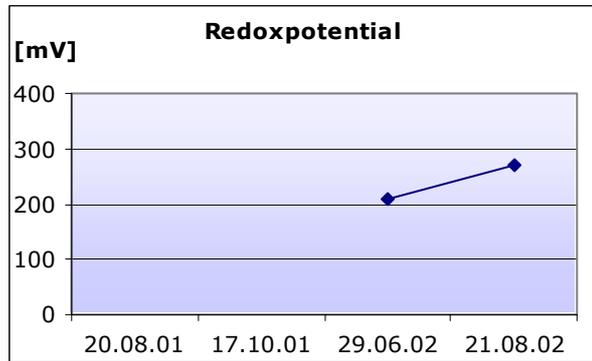
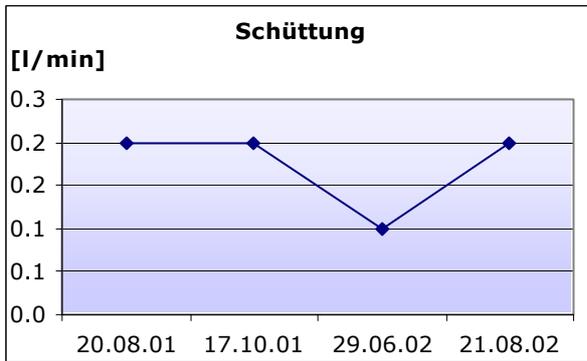
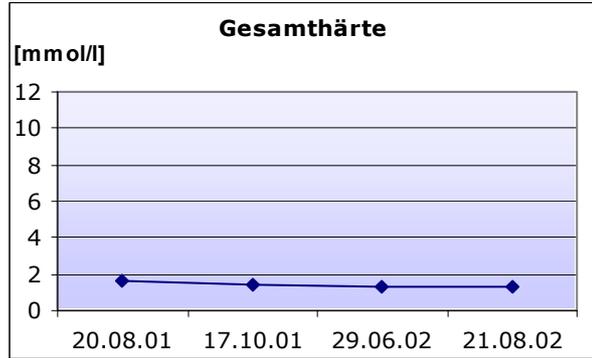
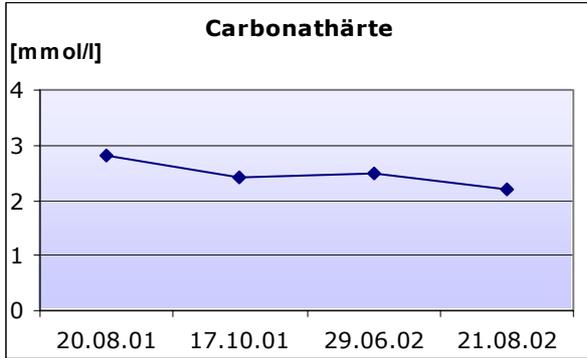
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	8.11	10.5	221	8.54	2.8	1.6	0.2	n.b.
17.10.01	8.07	6.2	211	12.55	2.4	1.4	0.2	n.b.
29.06.02	8.04	5.7	191	8.68	2.5	1.3	0.1	210
21.08.02	7.51	8.6	212	7.72	2.2	1.3	0.2	271

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.01	0.31	0.20	8.69	128.14	0.35	0.76	13.64	25.32
17.10.01	0.02	0.32	0.79	10.60	114.71	0.33	0.84	13.16	24.11
29.06.02	0.04	0.14	0.45	9.27	121.42	0.35	0.88	13.31	24.69
21.08.02	0.02	0.12	0.34	8.43	131.80	0.34	0.85	13.68	25.57





QE27

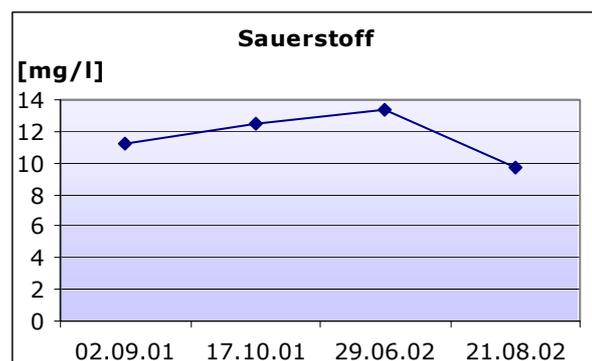
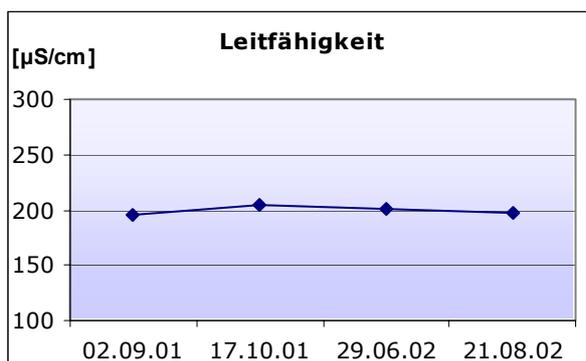
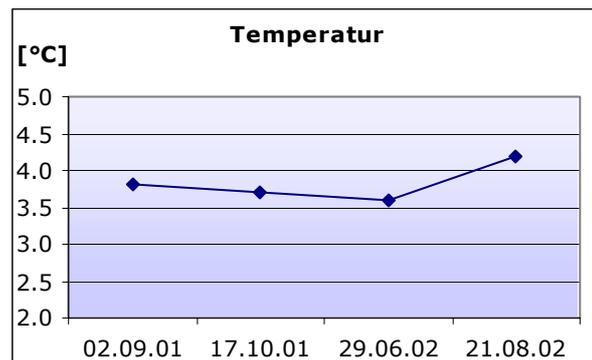
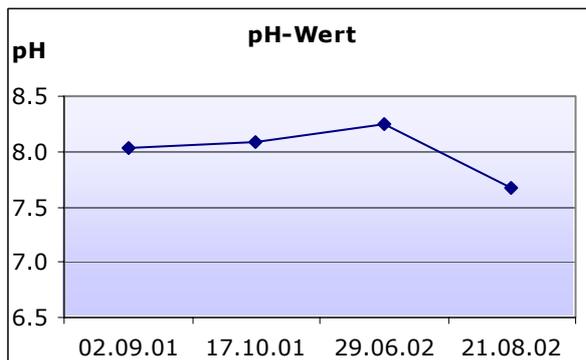
Koordinaten 800347.40/162066.21
Höhe [m ü.M.] 2230
Quellentyp
Gefasst ja
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄) (2001)
 Ca-Mg-HCO₃ (2002)
Bemerkungen Wasserfassung der
 Alp Chaschauna

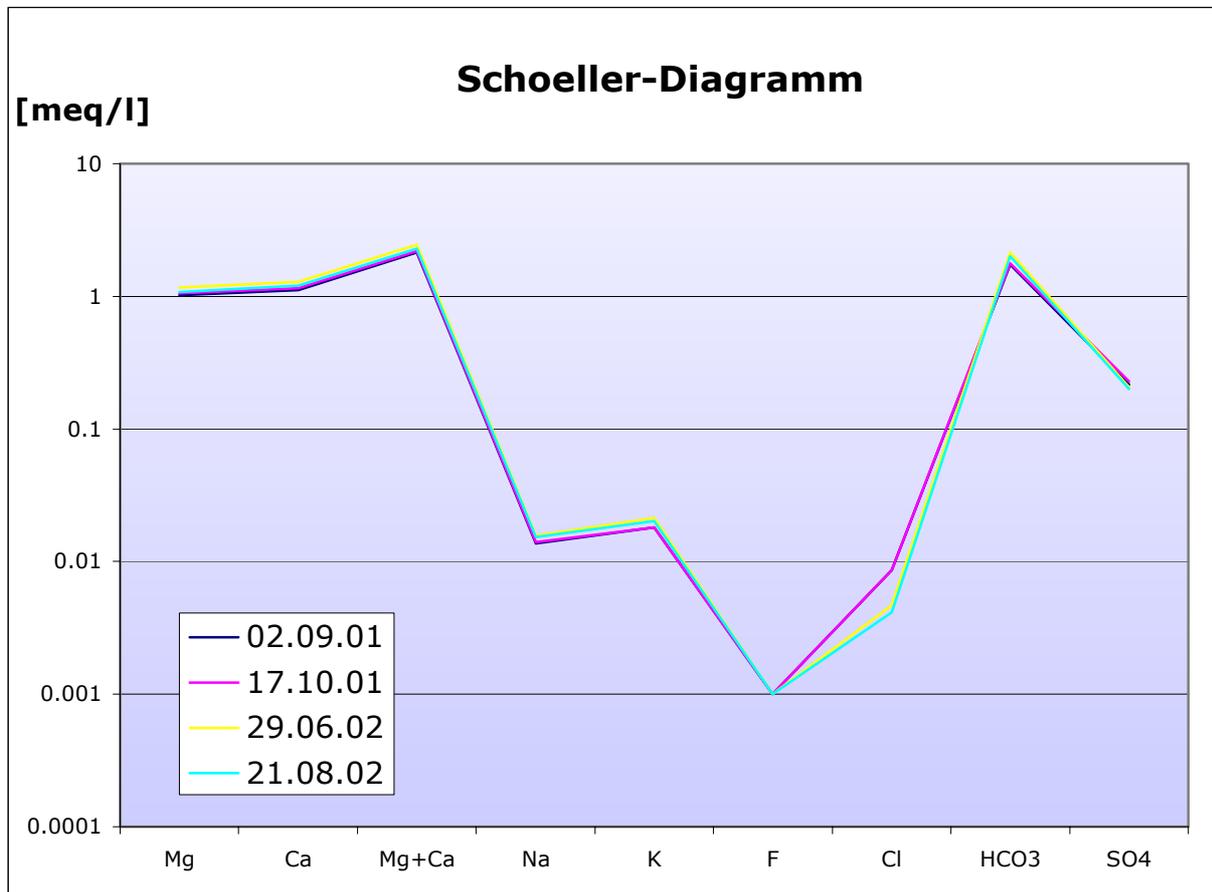
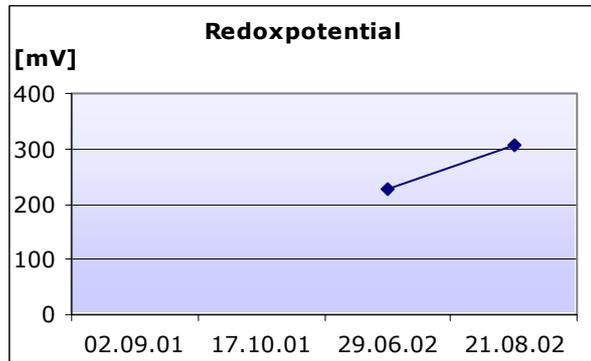
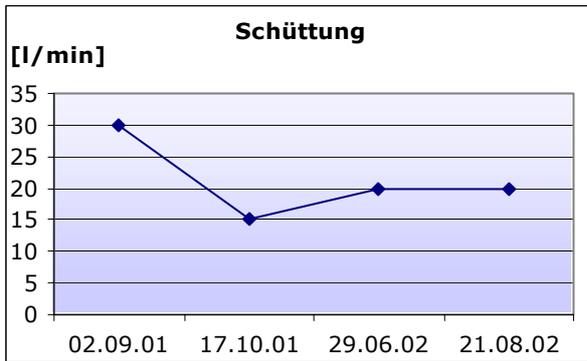
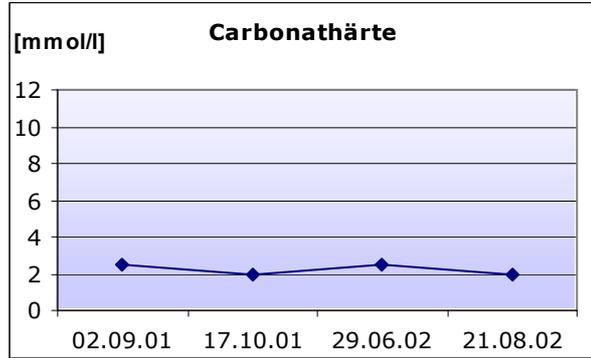
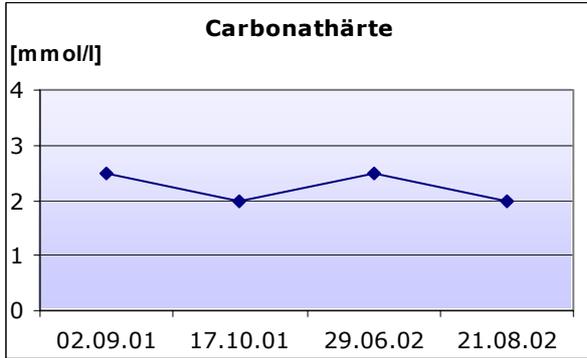
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	8.04	3.8	195	11.18	2.5	1.3	30	n.b.
17.10.01	8.09	3.7	205	12.50	2.0	1.4	15	n.b.
29.06.02	8.24	3.6	200	13.42	2.5	1.3	20	226
21.08.02	7.67	4.2	197	9.67	2.0	1.4	20	307

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.01	0.31	1.04	10.44	105.56	0.32	0.71	12.37	22.35
17.10.01	0.02	0.30	1.07	11.01	108.61	0.32	0.71	12.75	22.99
29.06.02	0.00	0.17	1.04	9.98	131.19	0.36	0.84	14.12	25.79
21.08.02	0.00	0.15	0.96	9.56	122.64	0.35	0.79	13.17	24.12





QE37

Koordinaten 801125.67/161639.76
Höhe [m ü.M.] 2365
Quellentyp Quellnässe
Gefasst ja
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

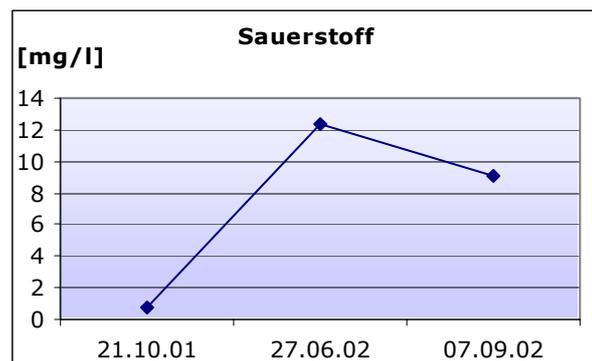
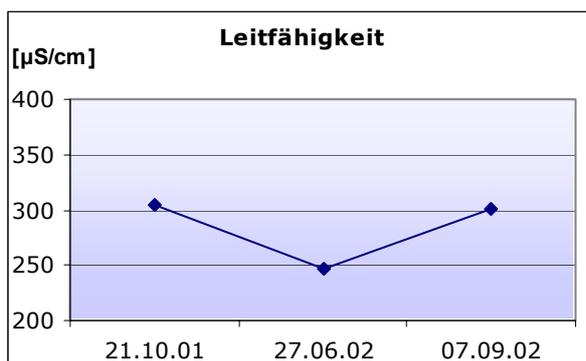
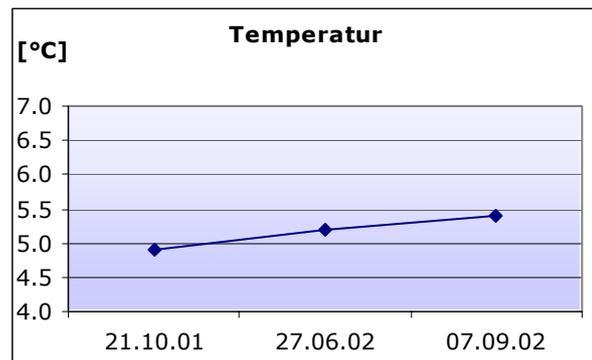
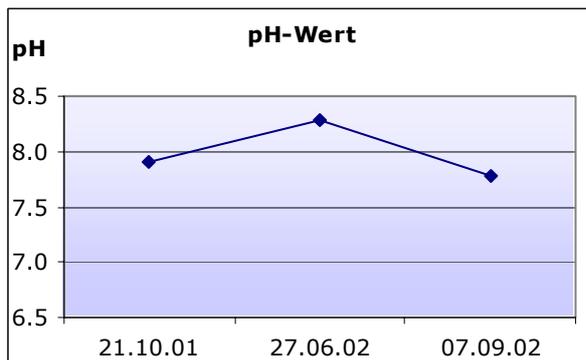
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt)

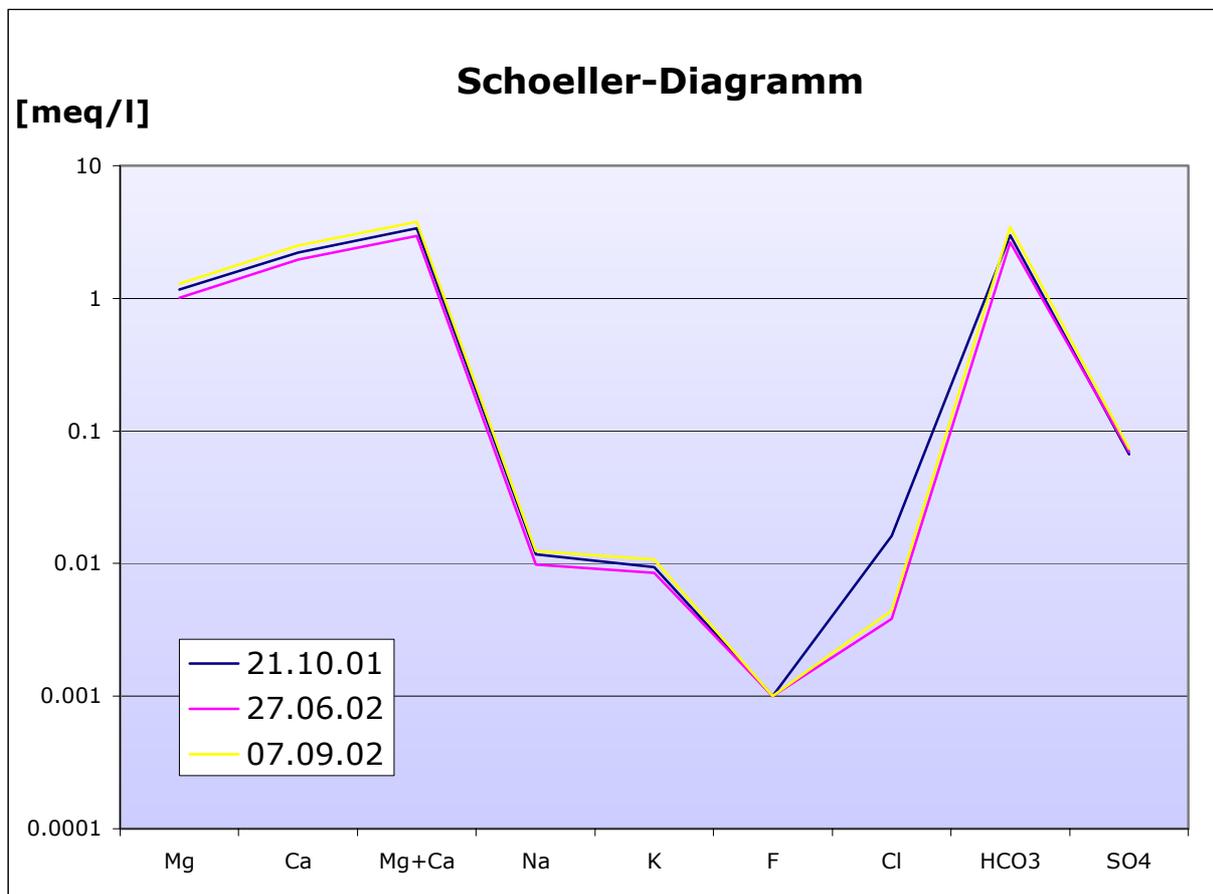
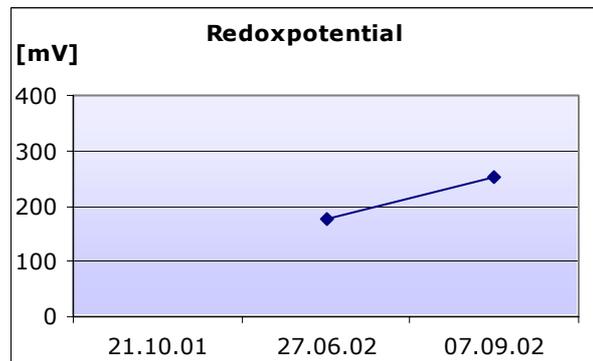
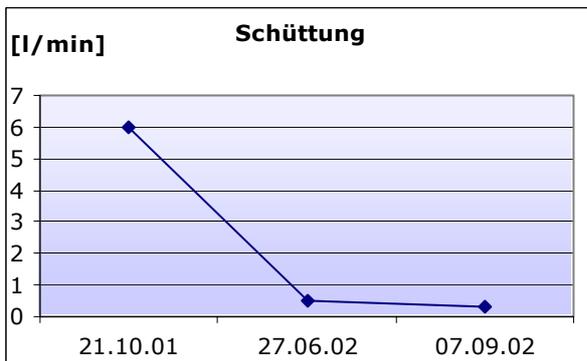
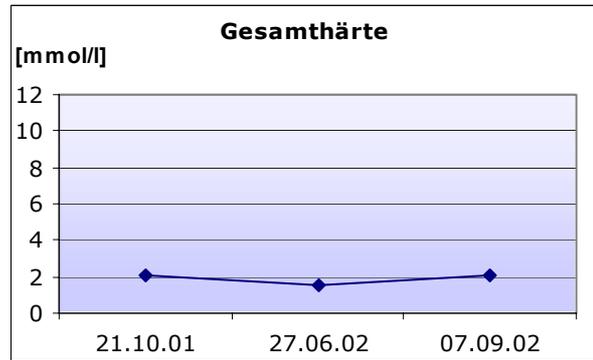
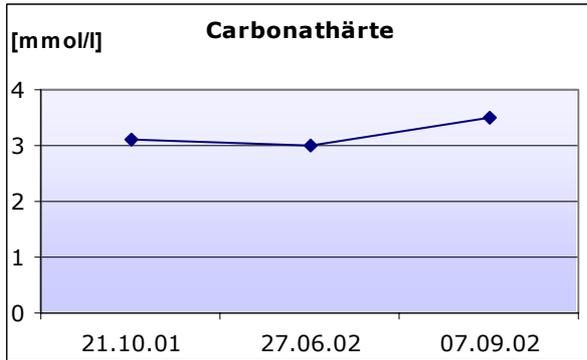
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
21.10.01	7.91	4.9	305	0.79	3.1	2.1	6.0	n.b.
27.06.02	8.29	5.2	246	12.37	3.0	1.5	0.5	175
07.09.02	7.78	5.4	301	9.04	3.5	2.1	0.3	254

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
21.10.01	0.02	0.57	0.69	3.20	182.44	0.27	0.37	14.13	44.24
27.06.02	0.00	0.14	0.72	3.35	161.09	0.23	0.33	12.29	39.28
07.09.02	0.00	0.16	0.80	3.55	211.73	0.29	0.42	15.60	49.99





QE42

Koordinaten 801284.05/162086.56
Höhe [m ü.M.] 2460
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

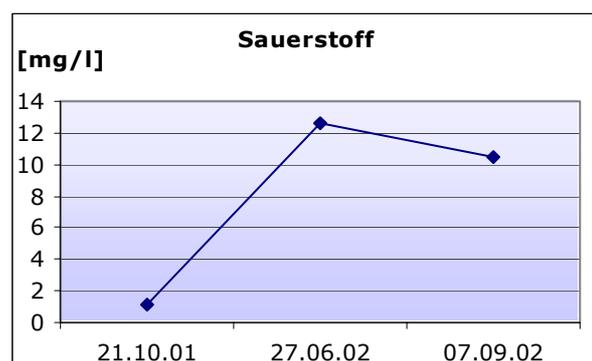
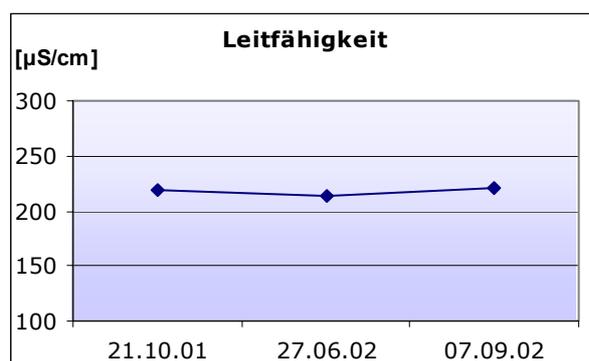
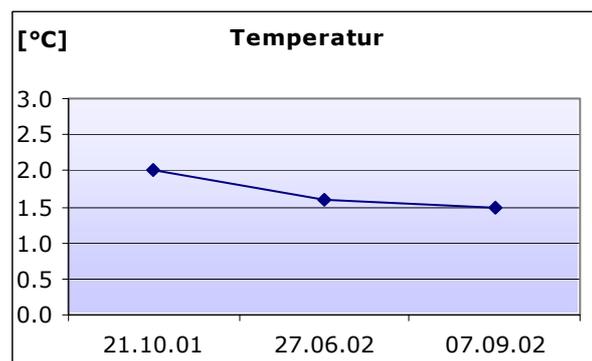
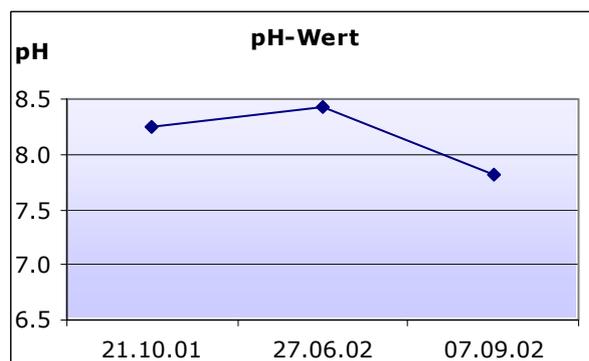
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt);
 ug = ungefilterte Probenahme

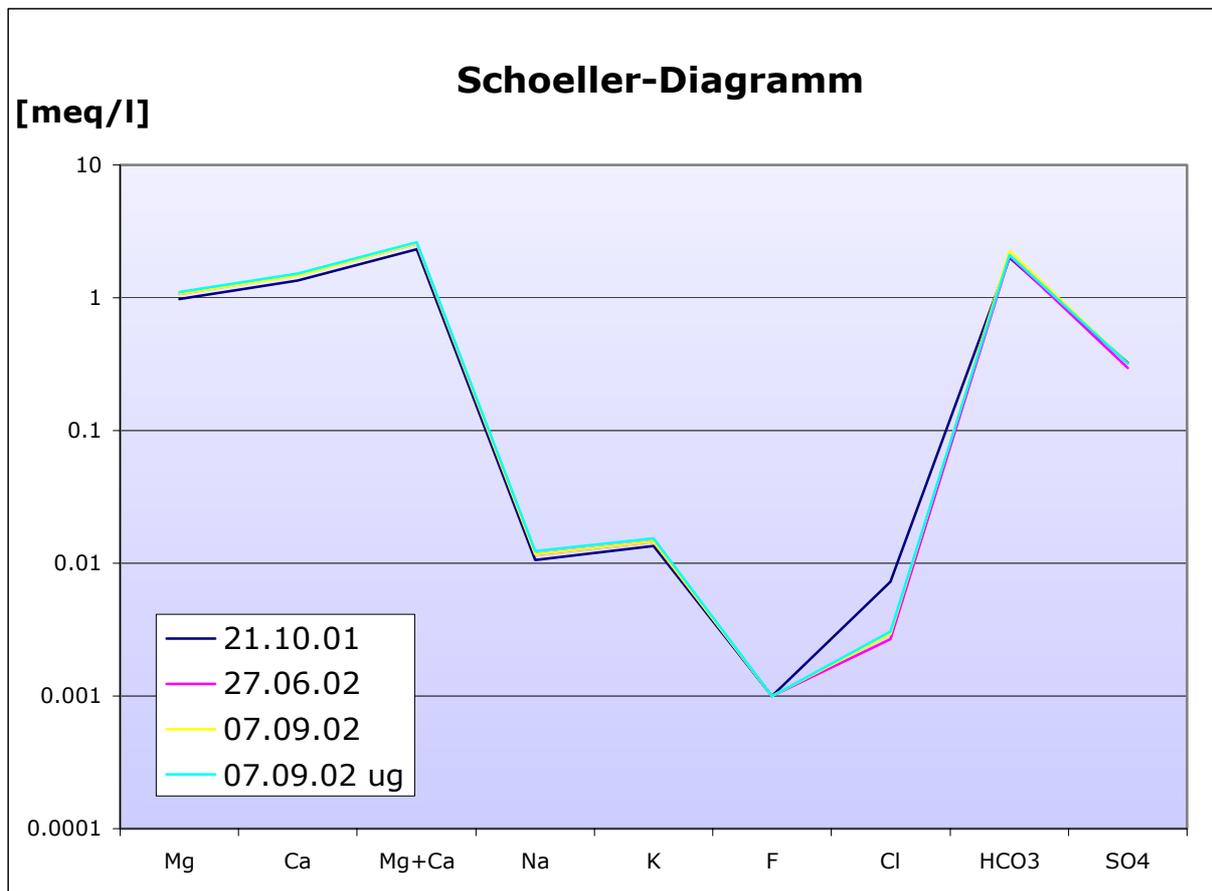
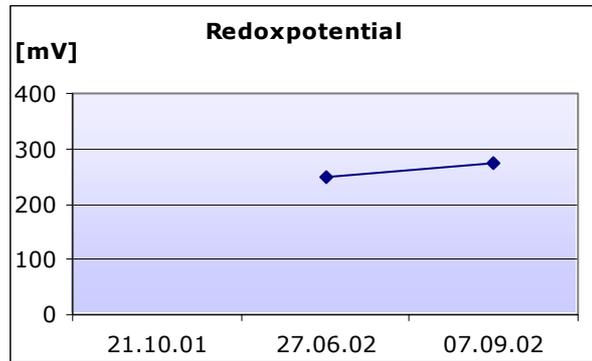
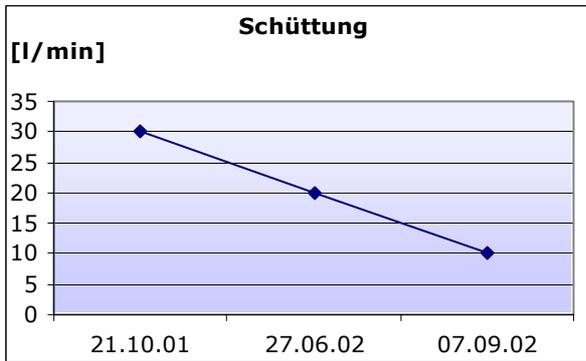
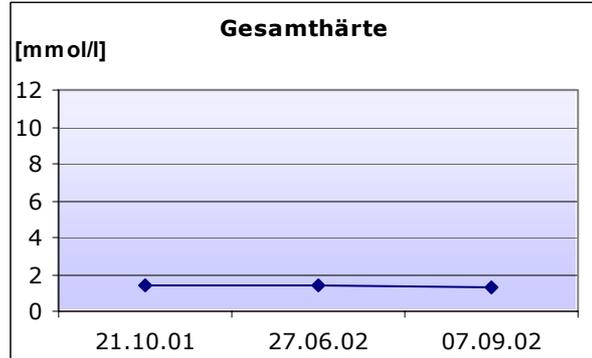
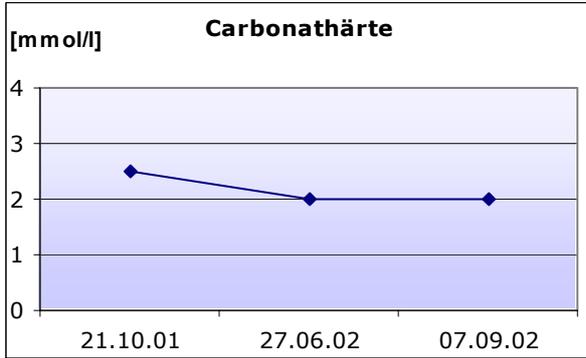
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
21.10.01	8.25	2.0	219	1.16	2.5	1.4	30	n.b.
27.06.02	8.42	1.6	214	12.60	2.0	1.4	20	250
07.09.02	7.81	1.5	221	10.51	2.0	1.3	10	274

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
21.10.01	0.00	0.26	1.14	15.61	122.03	0.24	0.53	11.94	26.91
27.06.02	0.00	0.09	1.24	14.19	125.09	0.27	0.57	13.00	29.99
07.09.02	0.00	0.10	1.16	15.29	137.29	0.27	0.57	13.06	29.65
07.09.02 ug	0.00	0.11	1.22	15.34	128.14	0.28	0.60	13.40	30.51





QE48

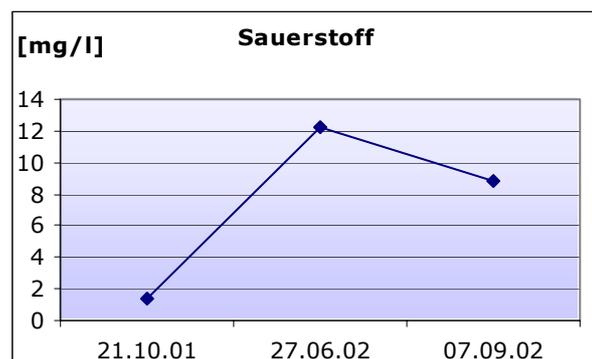
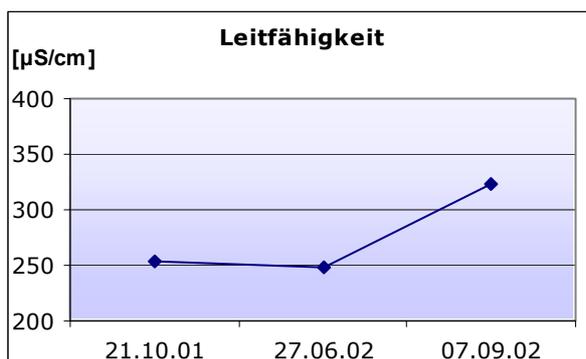
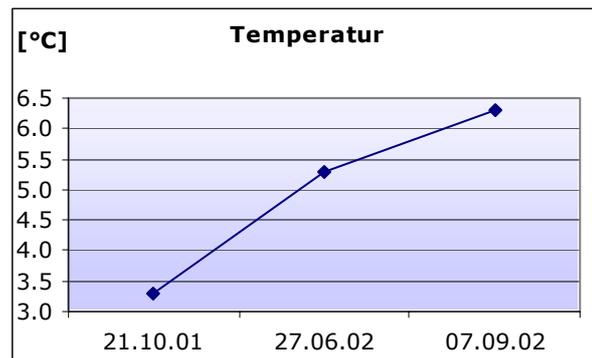
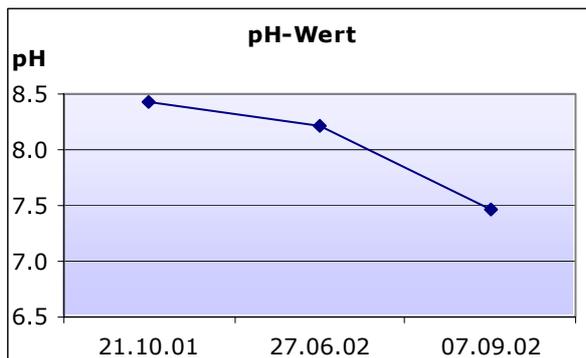
Koordinaten 801485.44/161557.96
Höhe [m ü.M.] 2530
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt);
 ug = ungefilterte Probenahme

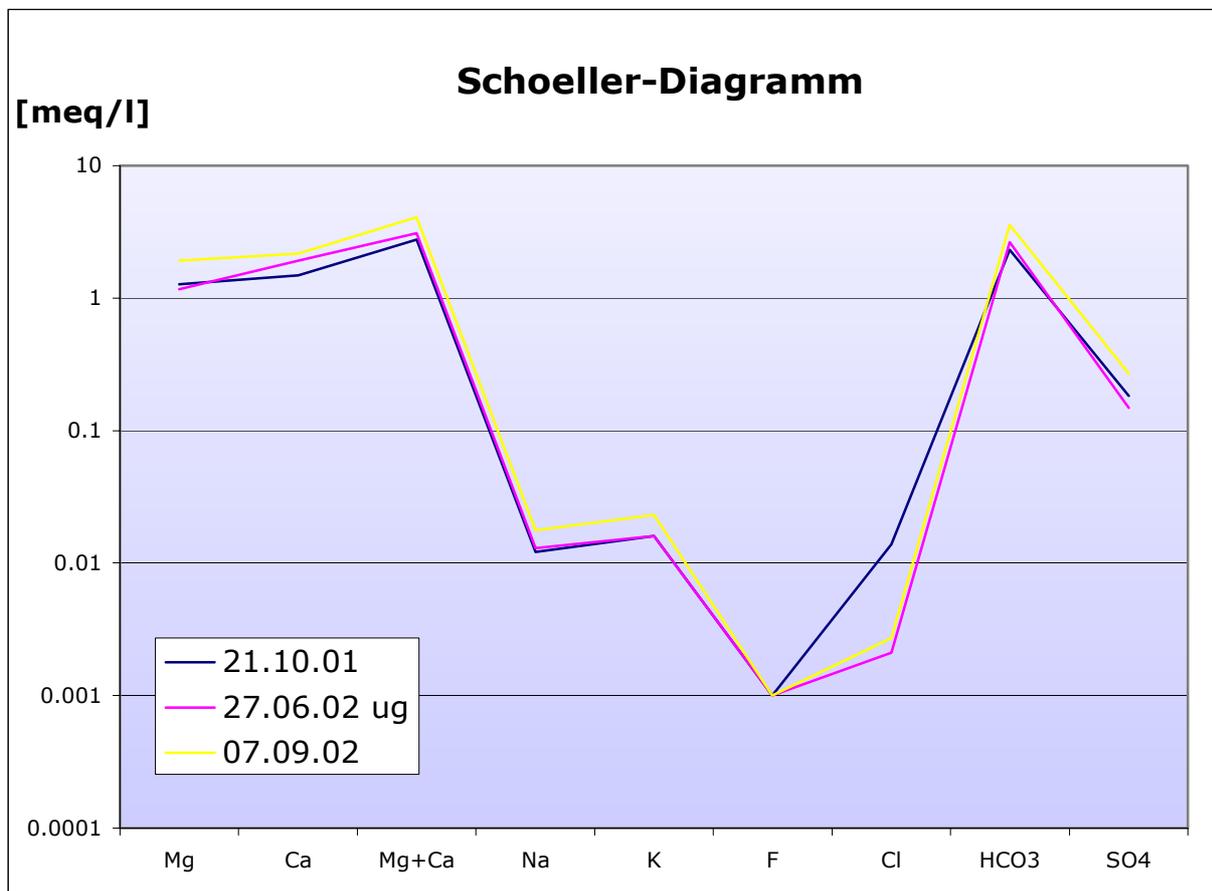
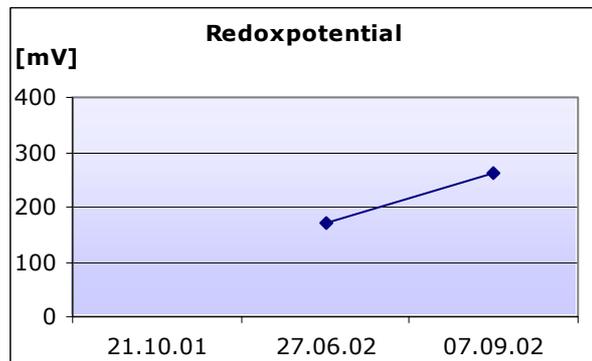
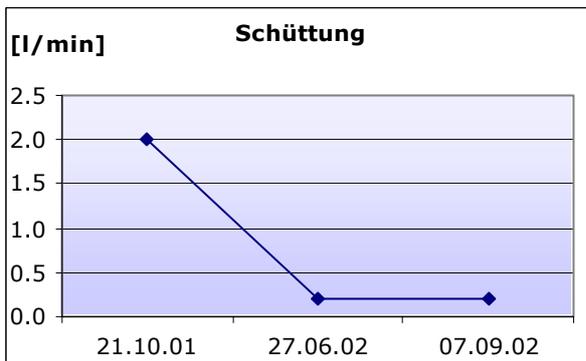
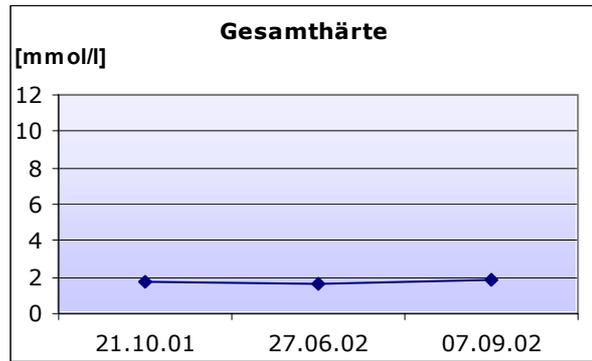
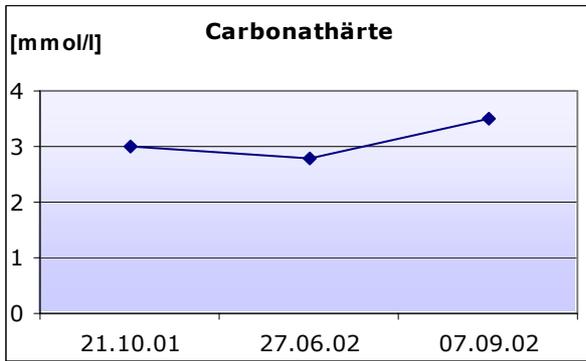
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
21.10.01	8.42	3.3	253	1.35	3.0	1.7	2.0	n.b.
27.06.02	8.21	5.3	249	12.22	2.8	1.6	0.2	170
07.09.02	7.47	6.3	323	8.88	3.5	1.9	0.2	263

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
21.10.01	0.00	0.49	0.00	8.77	141.56	0.28	0.63	15.44	29.71
27.06.02 ug	0.00	0.07	0.00	7.10	161.09	0.30	0.62	14.22	38.26
07.09.02	0.00	0.10	0.00	12.92	217.22	0.41	0.90	23.28	43.64





QE52

Koordinaten 801544.98/161359.42
Höhe [m ü.M.] 2520
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)}$

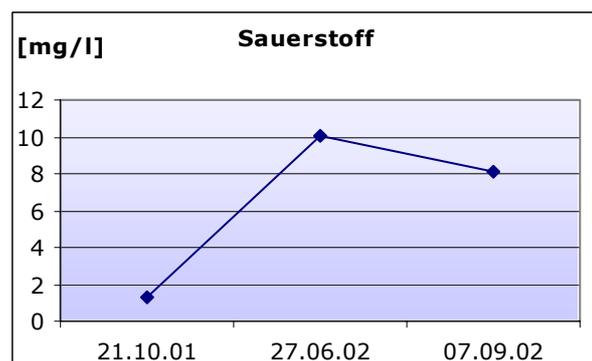
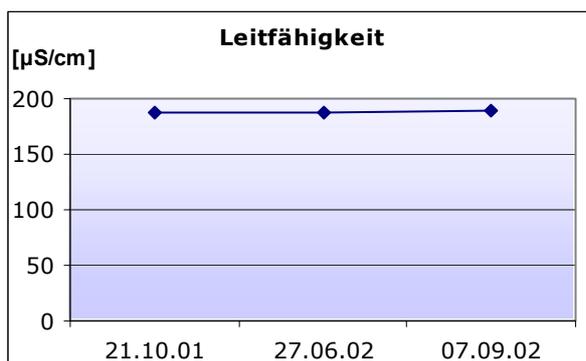
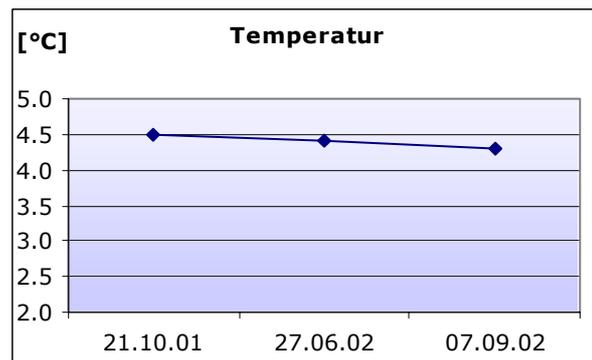
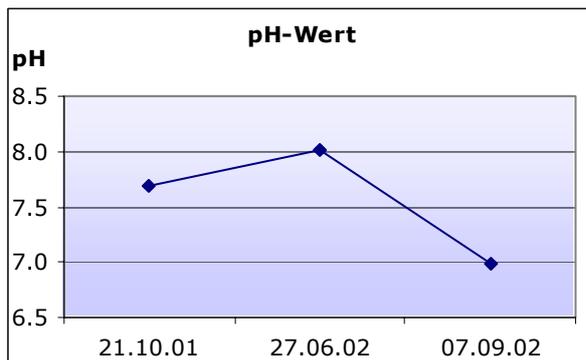
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt)

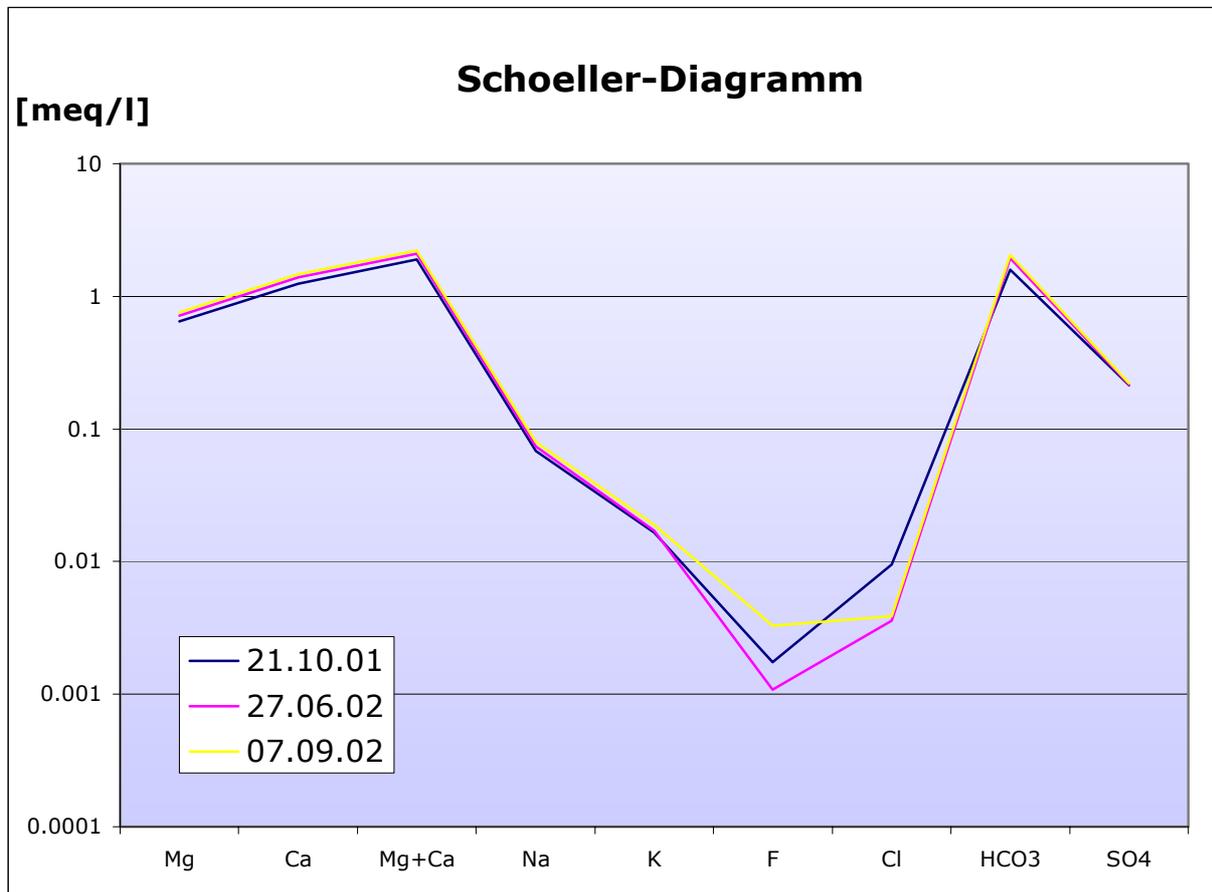
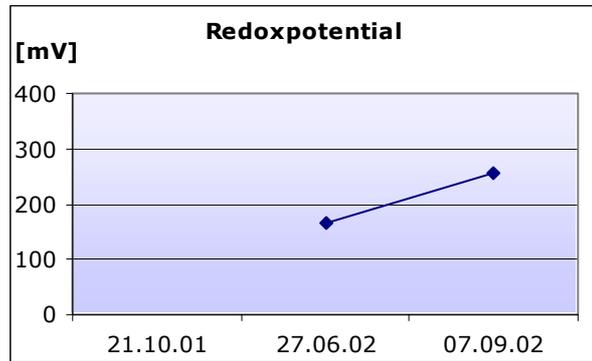
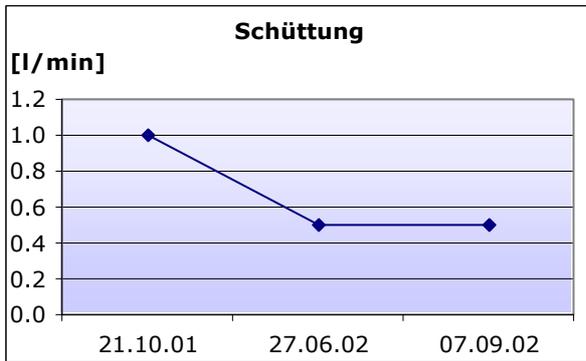
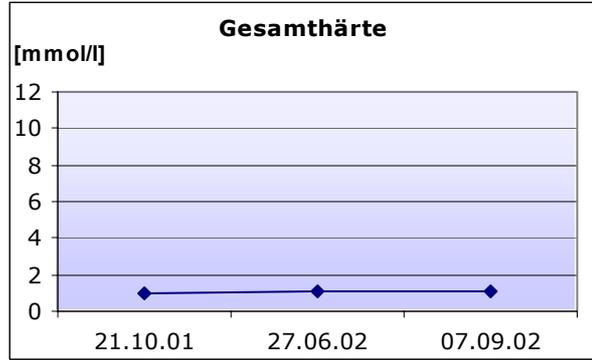
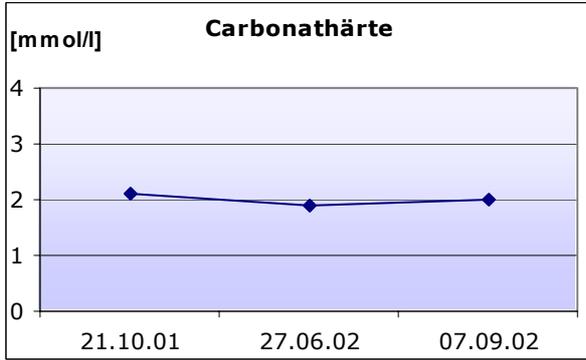
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
21.10.01	7.69	4.5	187	1.27	2.1	1.0	1.0	n.b.
27.06.02	8.02	4.4	187	10.09	1.9	1.1	0.5	165
07.09.02	6.98	4.3	190	8.14	2.0	1.1	0.5	256

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
21.10.01	0.03	0.34	0.33	10.22	97.02	1.58	0.65	7.88	25.00
27.06.02	0.02	0.13	0.21	10.40	117.76	1.70	0.67	8.65	27.81
07.09.02	0.06	0.14	0.23	10.60	125.09	1.84	0.74	9.14	29.38





QE65

Koordinaten 801437.29/160848.36
Höhe [m ü.M.] 2360
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

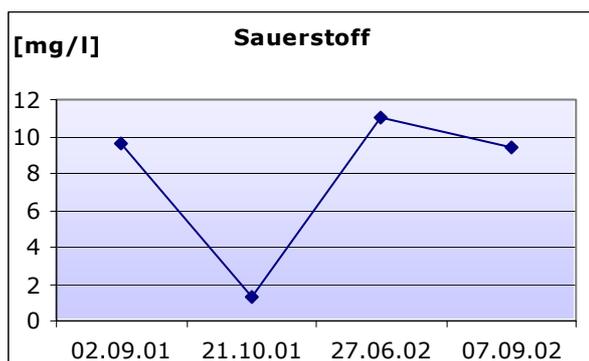
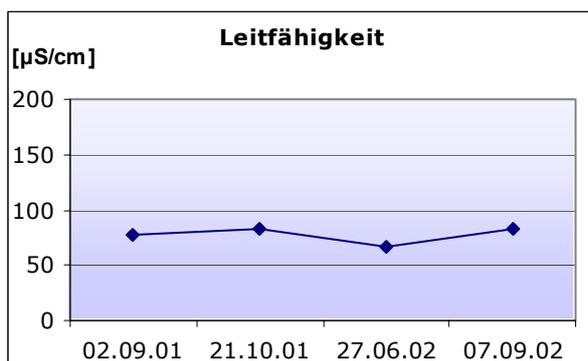
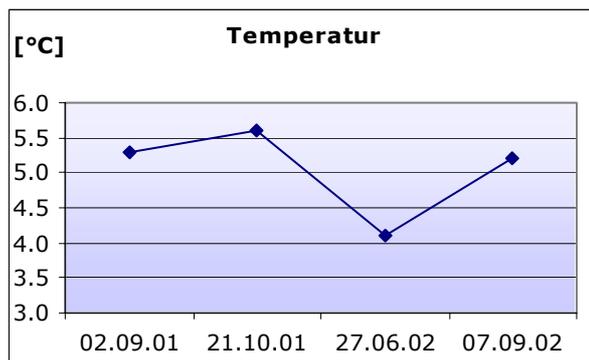
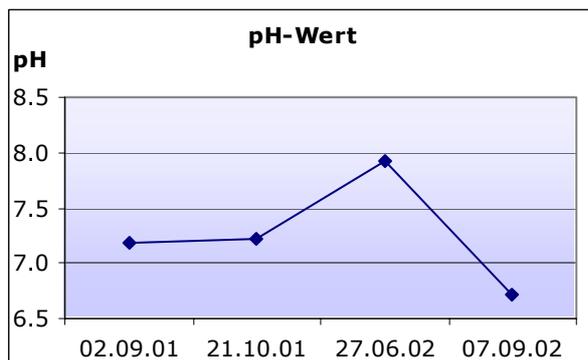
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt)

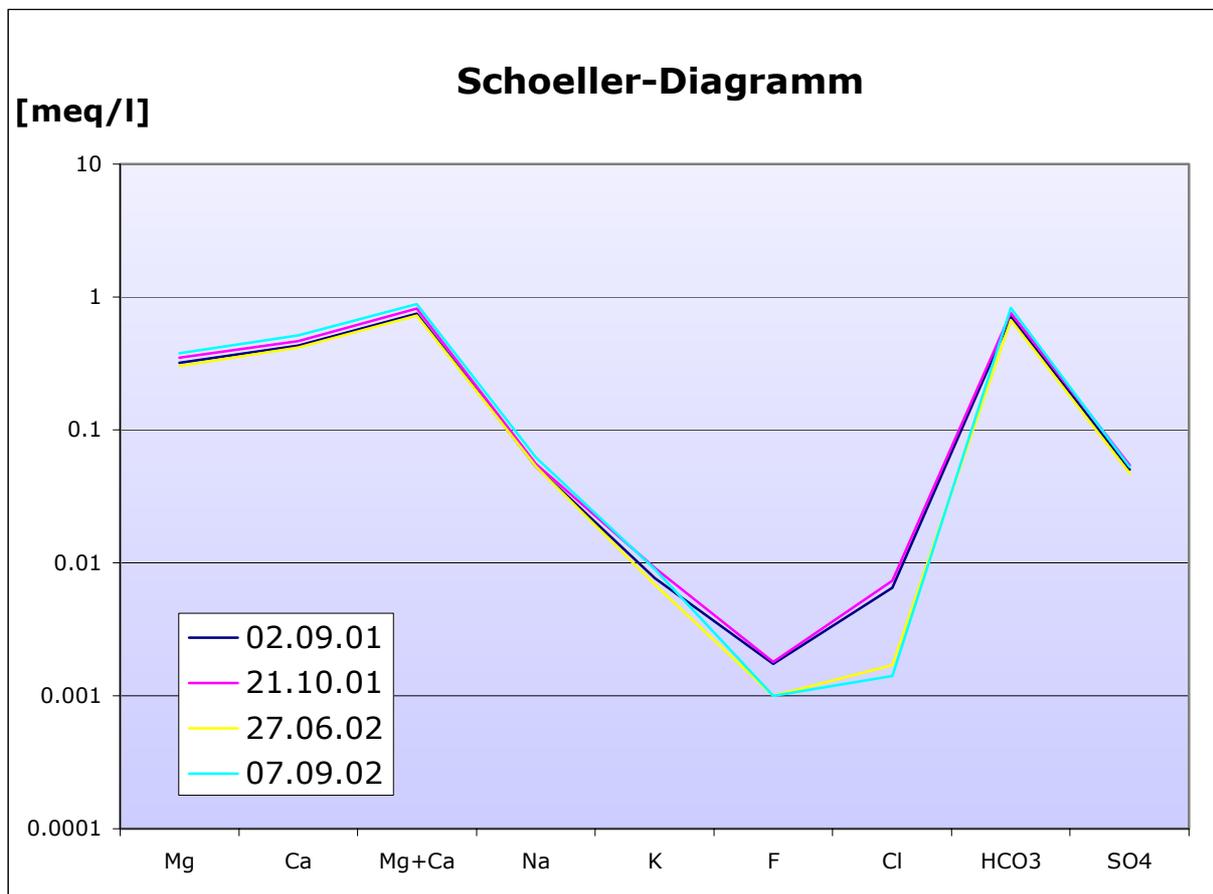
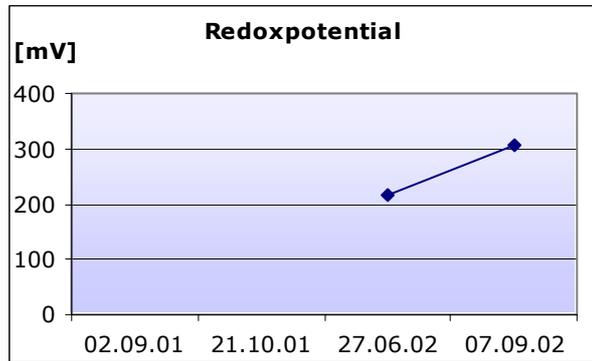
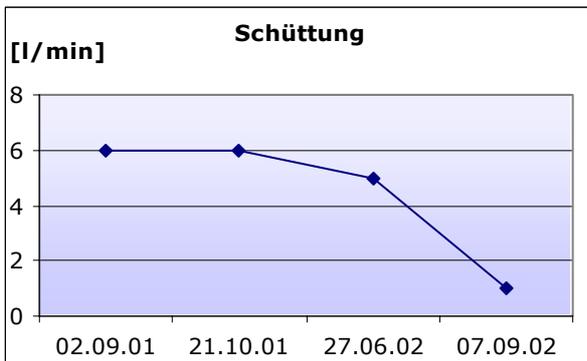
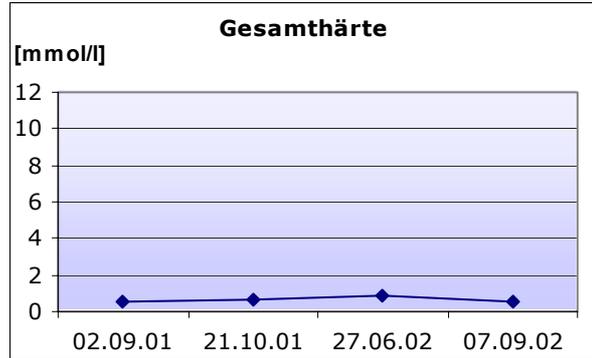
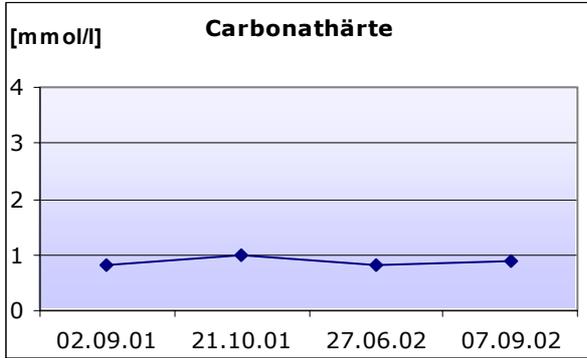
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	7.19	5.3	77	9.57	0.8	0.6	6.0	n.b.
21.10.01	7.22	5.6	83	1.25	1.0	0.7	6.0	n.b.
27.06.02	7.93	4.1	67	11.02	0.8	0.9	5.0	215
07.09.02	6.72	5.2	82	9.42	0.9	0.5	1.0	305

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.03	0.23	0.21	2.42	43.32	1.22	0.30	3.88	8.65
21.10.01	0.03	0.26	0.27	2.60	46.37	1.28	0.36	4.22	9.37
27.06.02	0.01	0.06	0.16	2.26	40.88	1.22	0.27	3.70	8.38
07.09.02	0.01	0.05	0.20	2.52	50.64	1.43	0.35	4.57	10.30





QE68

Koordinaten 801492.12/160998.03
Höhe [m ü.M.] 2460
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

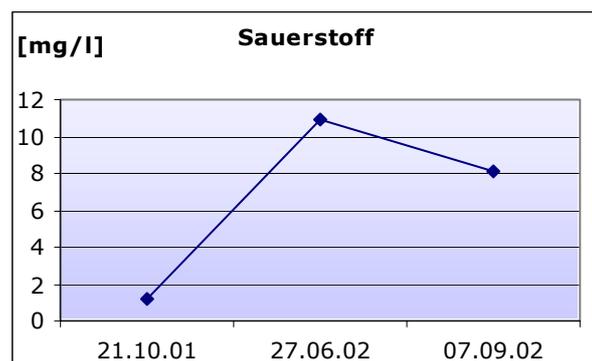
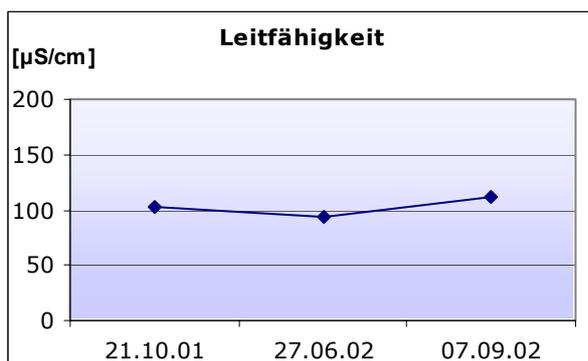
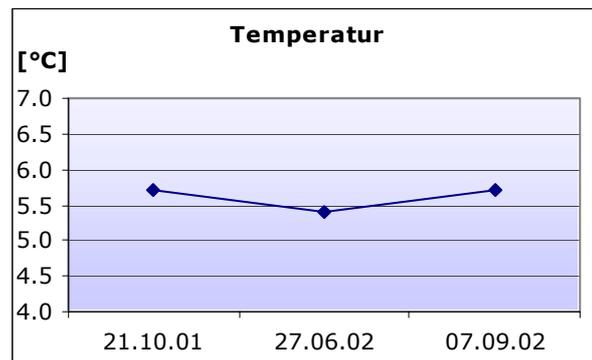
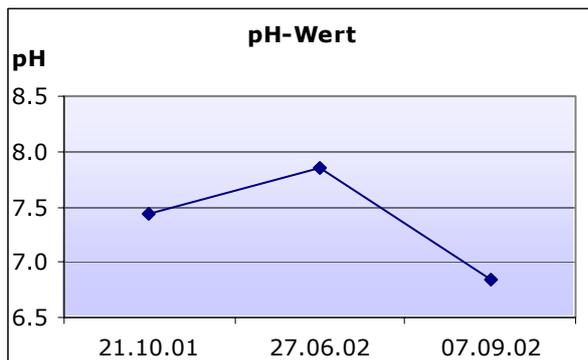
Bemerkungen pH-Messung vom 07.09.02
 vermutlich zu tief
 (eventueller Sondendefekt)

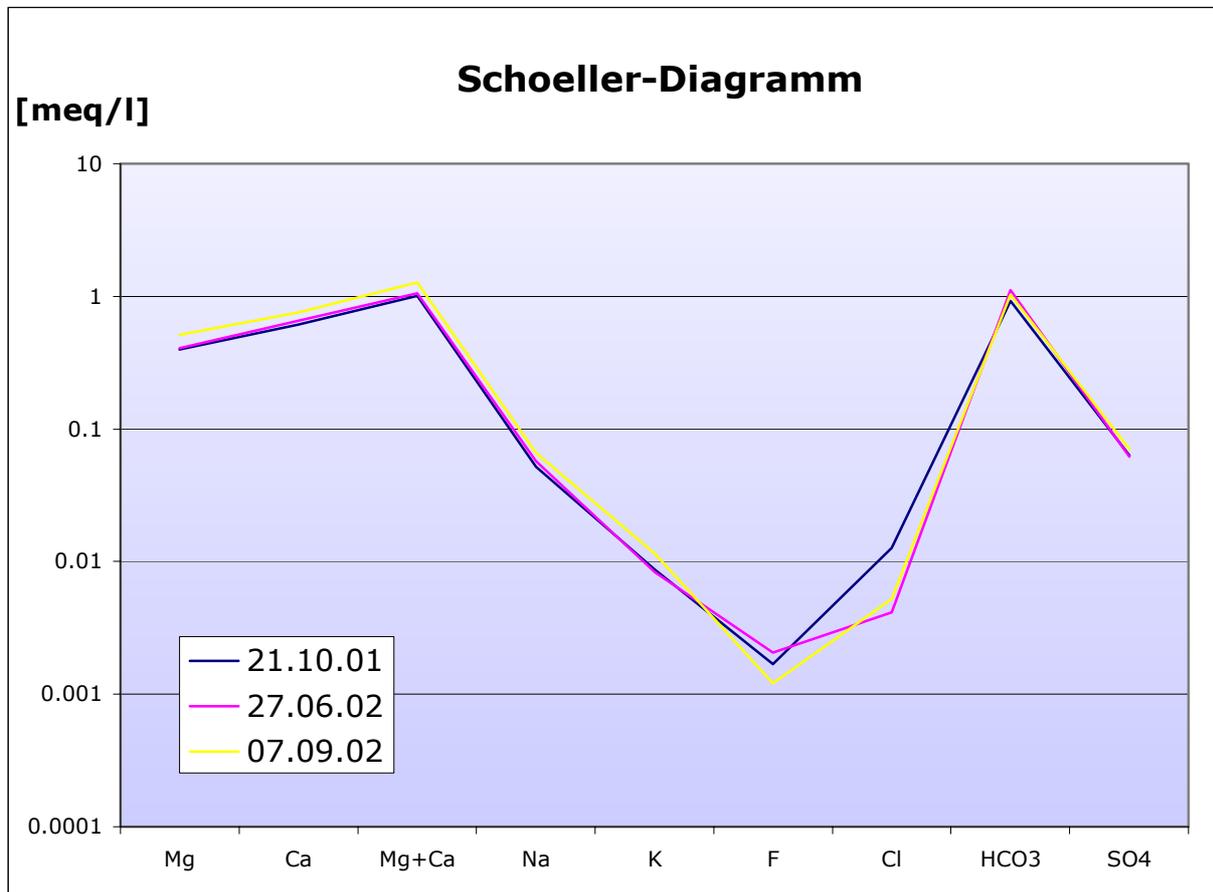
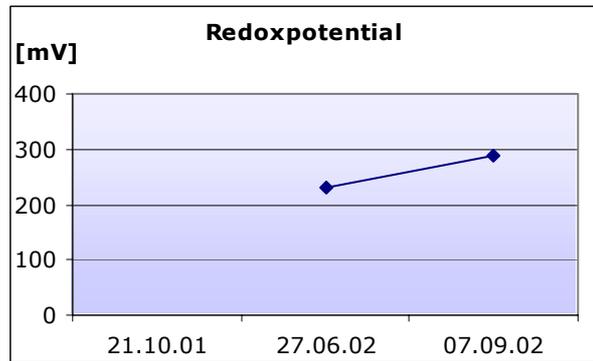
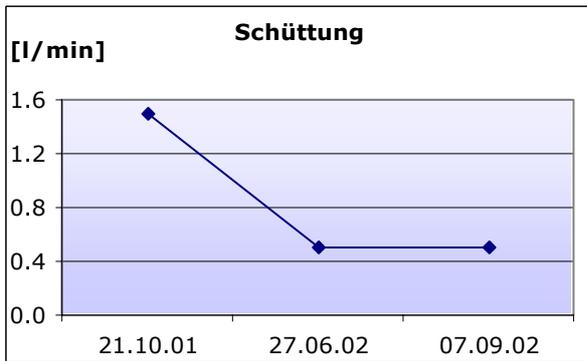
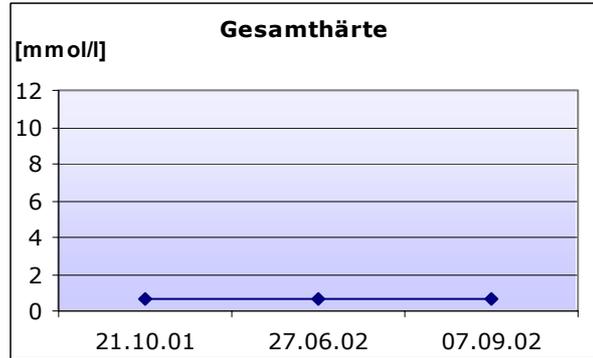
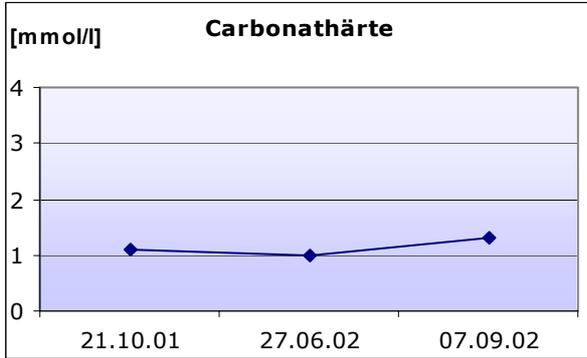
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
21.10.01	7.44	5.7	102	1.23	1.1	0.7	1.5	n.b.
27.06.02	7.85	5.4	94	10.87	1.0	0.6	0.5	232
07.09.02	6.84	5.7	111	8.06	1.3	0.7	0.5	288

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
21.10.01	0.03	0.45	0.15	3.02	56.14	1.19	0.34	4.85	12.32
27.06.02	0.04	0.15	0.13	2.96	67.73	1.32	0.32	4.92	13.05
07.09.02	0.02	0.19	0.10	3.39	62.85	1.51	0.45	6.25	15.23





QE74

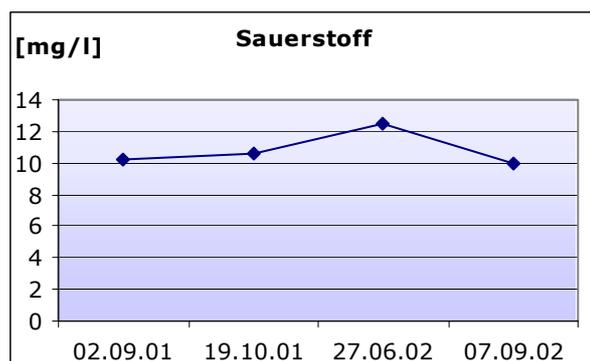
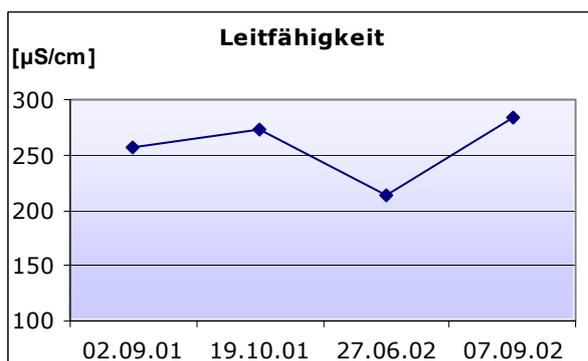
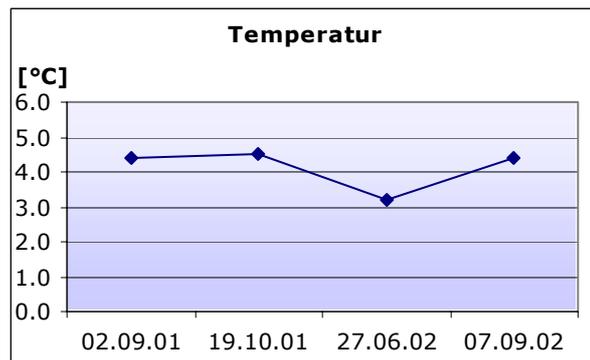
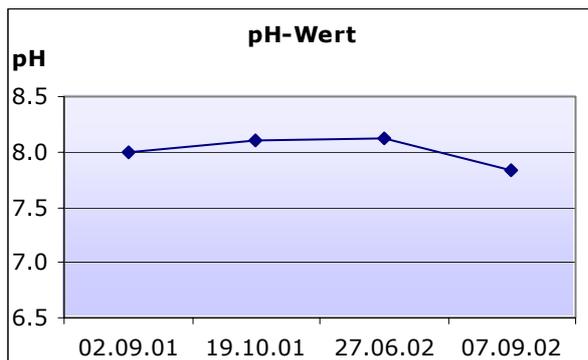
Koordinaten 801382.10/160137.71
Höhe [m ü.M.] 2420
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

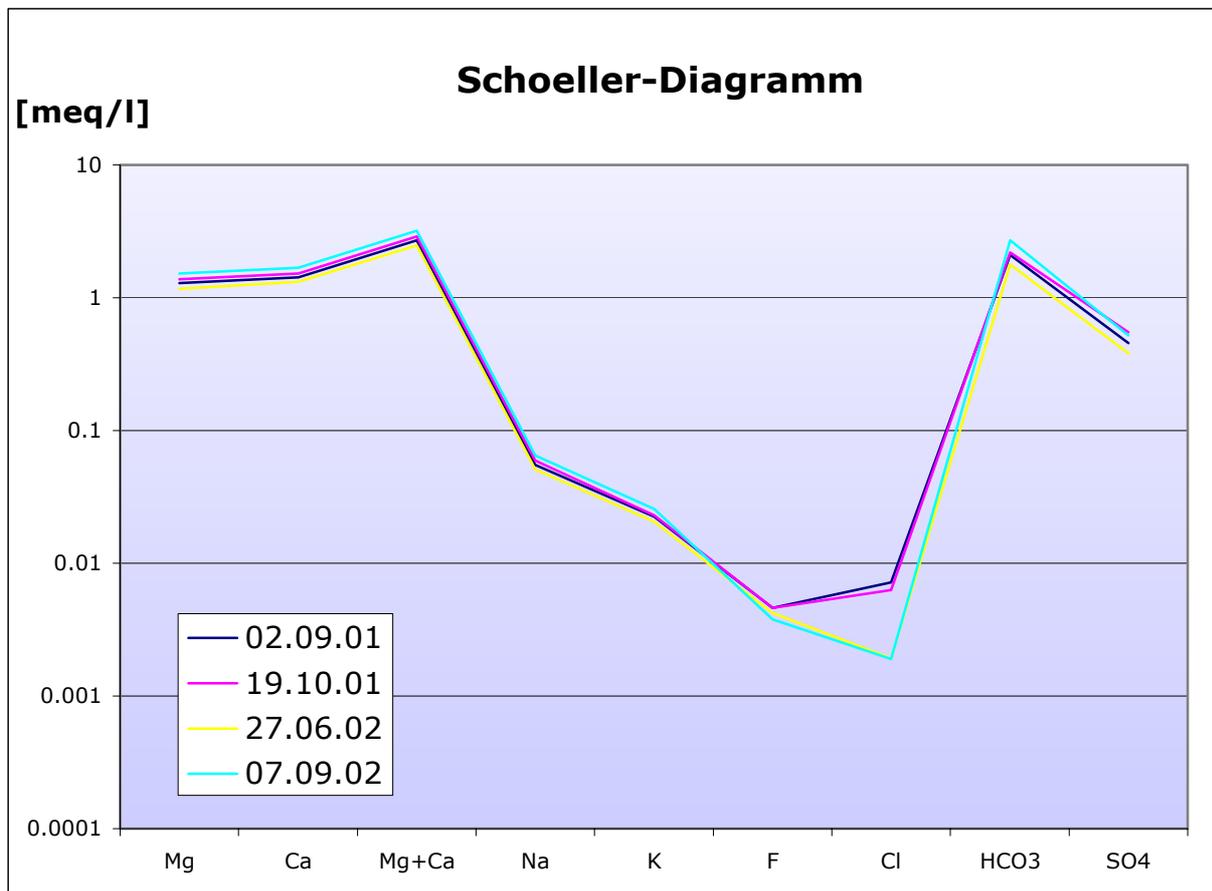
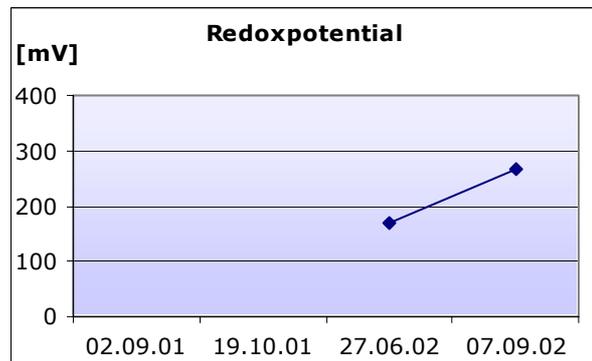
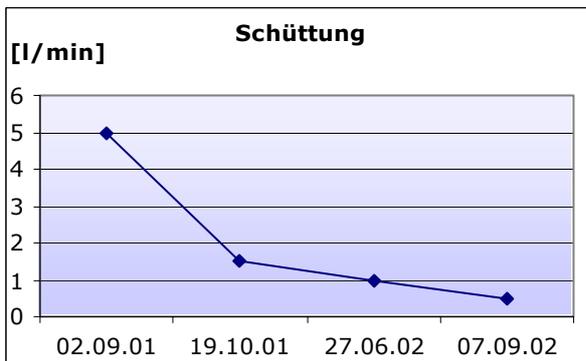
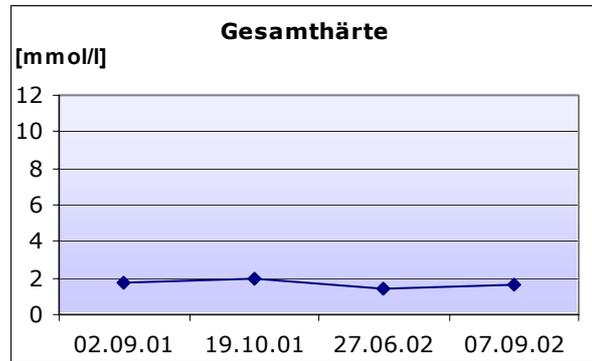
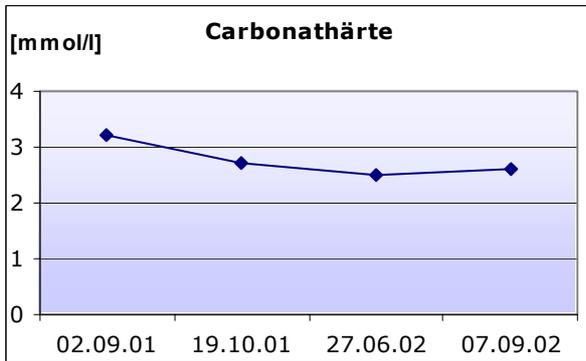
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	8.00	4.4	256	10.22	3.2	1.7	5.0	n.b.
19.10.01	8.10	4.5	273	10.64	2.7	2.0	1.5	n.b.
27.06.02	8.12	3.2	214	12.52	2.5	1.4	1.0	168
07.09.02	7.84	4.4	284	9.97	2.6	1.6	0.5	265

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.09	0.25	0.00	21.93	127.53	1.27	0.88	15.63	28.49
19.10.01	0.09	0.22	0.00	26.46	133.63	1.36	0.90	16.84	30.47
27.06.02	0.08	0.07	0.00	18.41	108.61	1.17	0.80	14.18	26.52
07.09.02	0.07	0.07	0.00	25.03	165.97	1.50	1.00	18.48	33.75





QE201

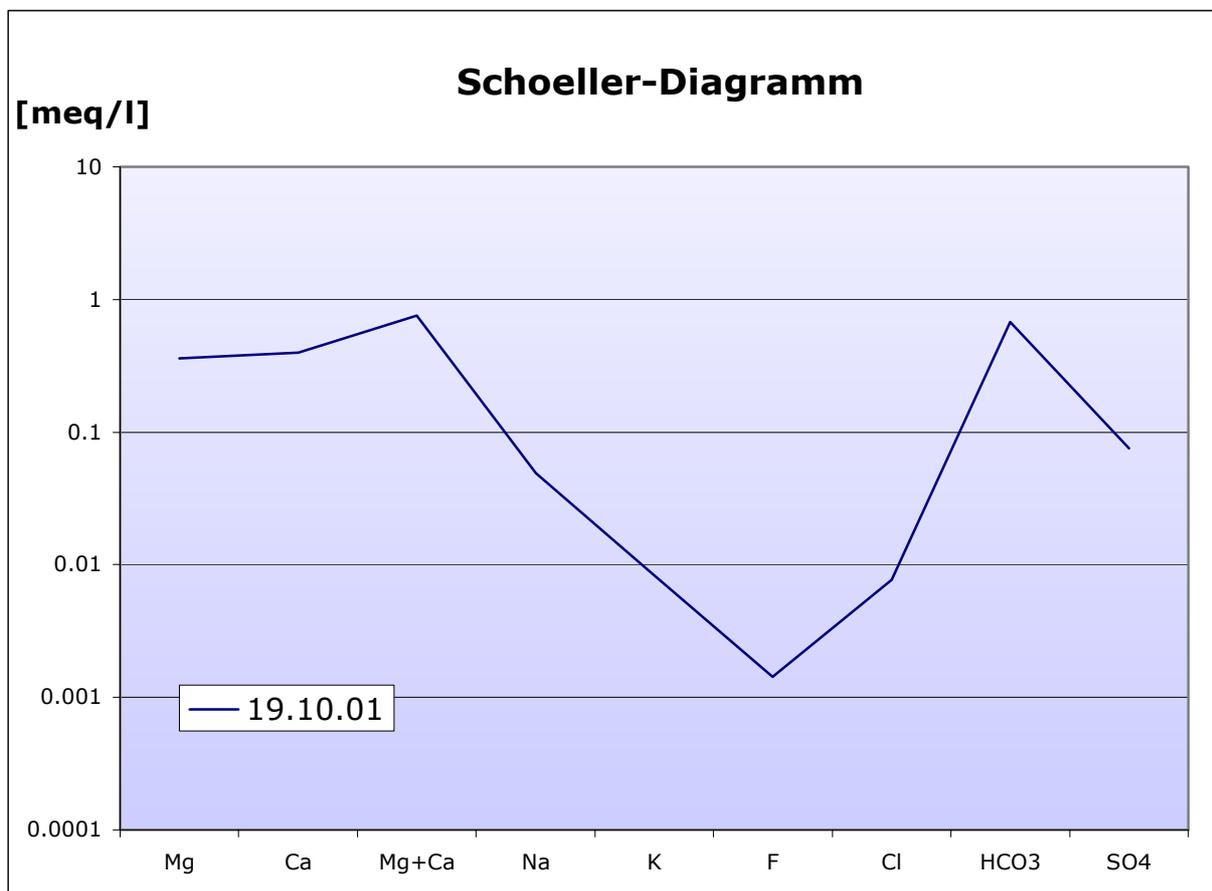
Koordinaten 801318.75/159104.90
Höhe [m ü.M.] 2600
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
19.10.01	7.76	2.4	77	13.19	0.9	0.5	8	n.b.

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
19.10.01	0.03	0.27	0.50	3.62	41.49	1.12	0.33	4.39	7.94



QE202

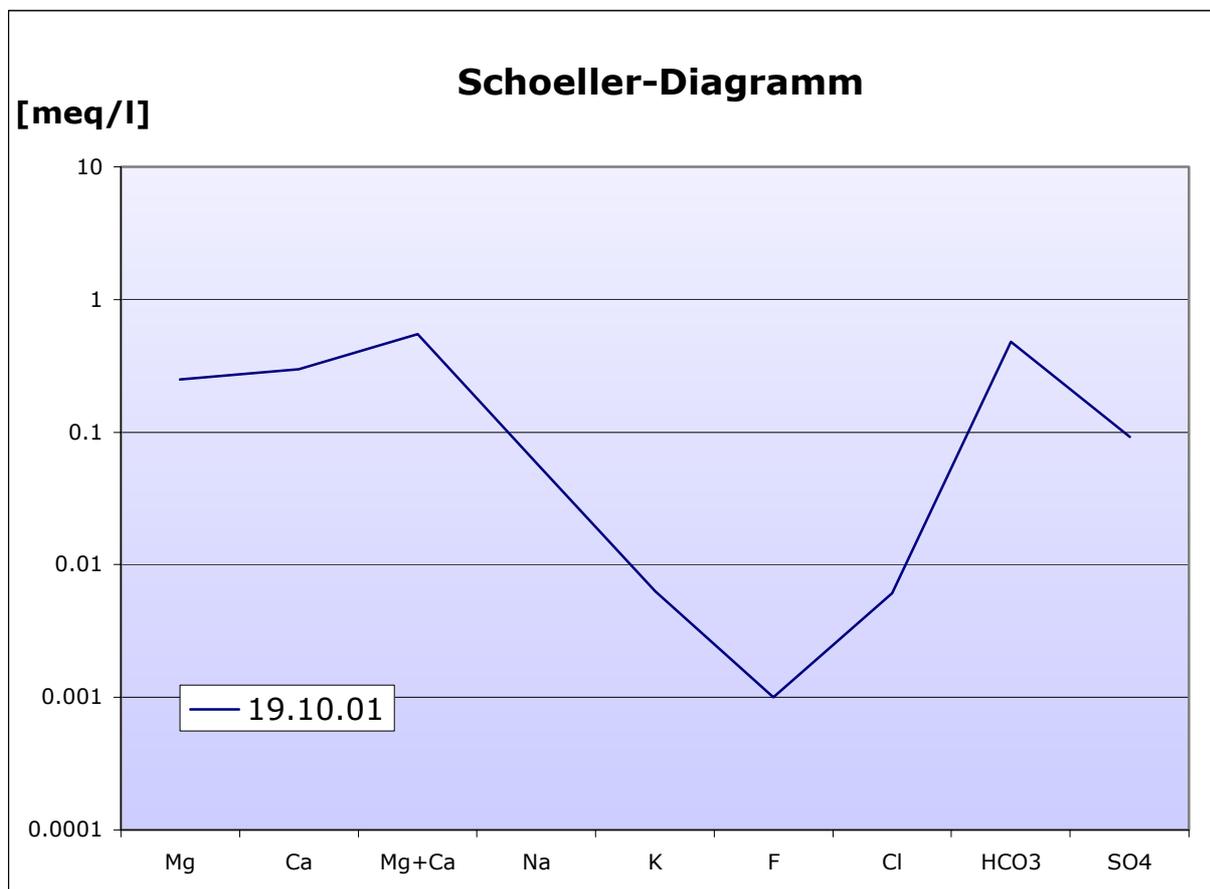
Koordinaten 801305.54/159307.07
Höhe [m ü.M.] 2570
Quellentyp Punktquelle
Gefasst ja
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
19.10.01	7.09	3.5	59	12.36	0.6	0.5	8	n.b.

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
19.10.01	0.02	0.22	0.00	4.43	29.29	1.34	0.25	3.04	5.97



CS₁

Koordinaten	816361.45/170226.56
Höhe [m ü.M.]	1955
Quellentyp	Lockergesteinsquelle
Gefasst	nein
Wassertyp	<u>Ca-Mg-HCO₃</u>

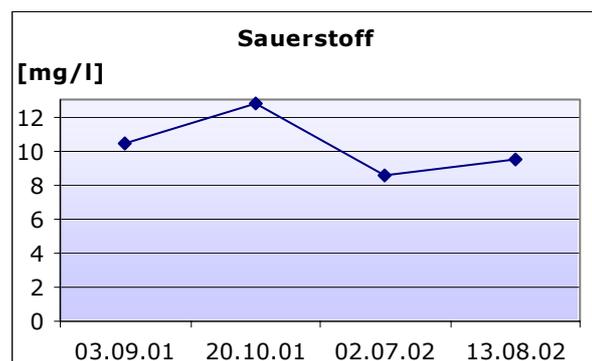
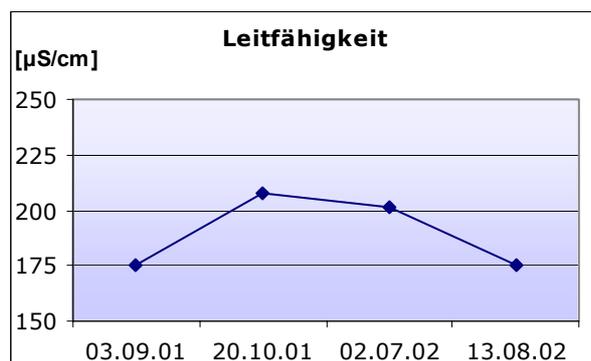
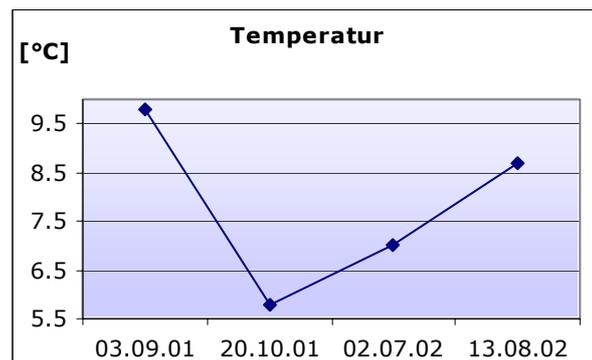
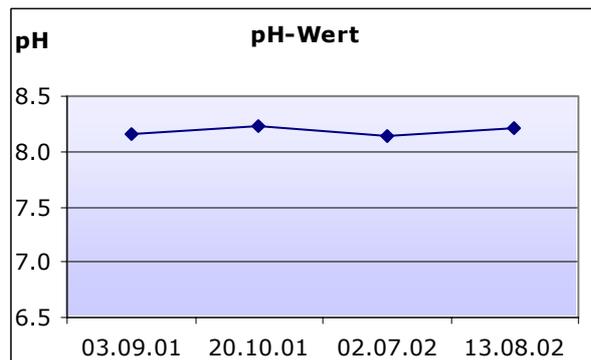
Bemerkungen grosse Schüttung schwierig abzuschätzen

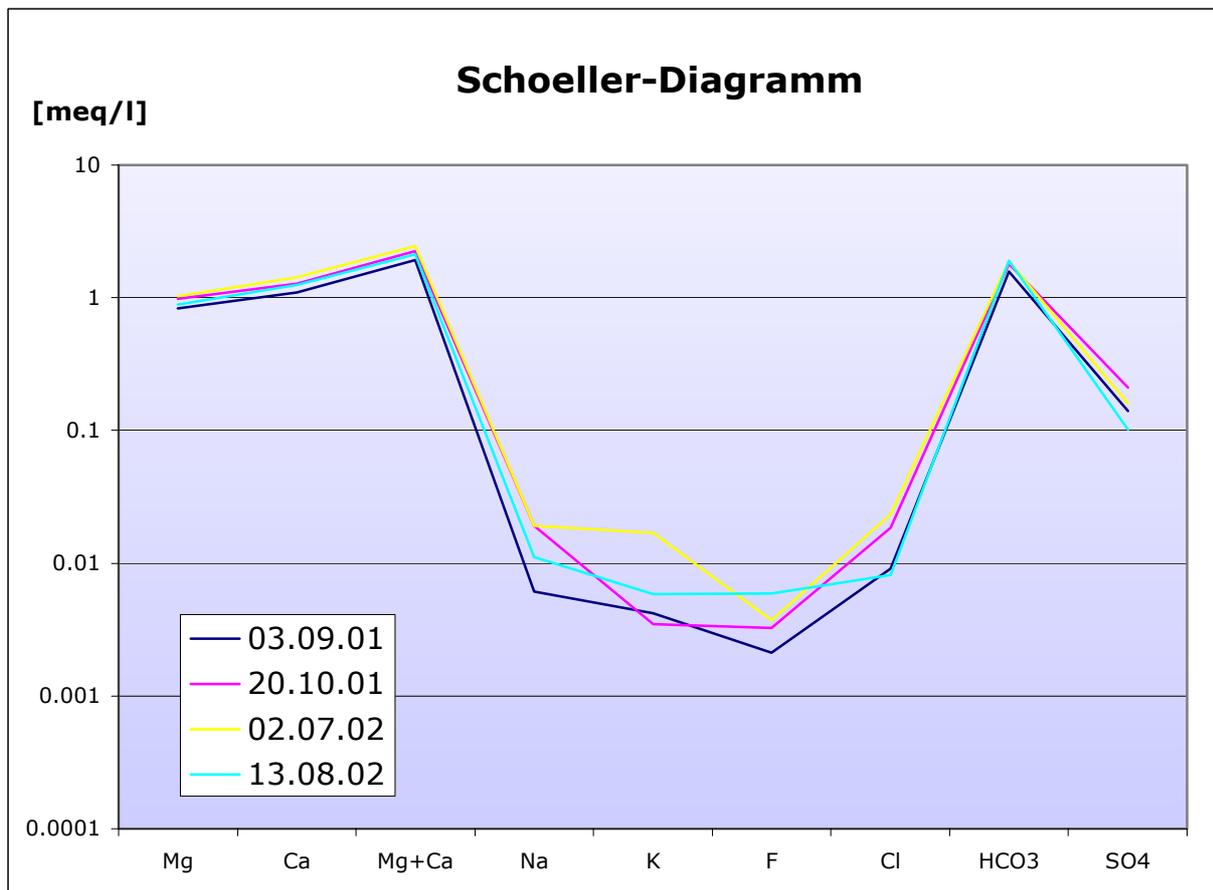
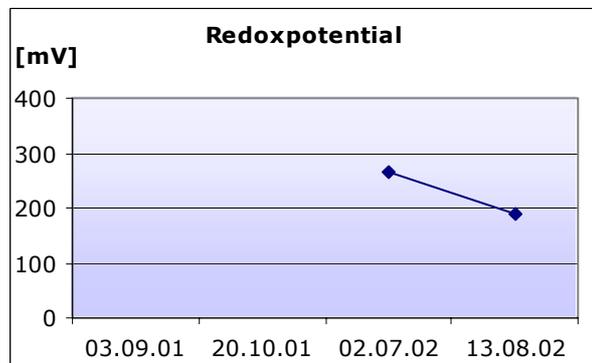
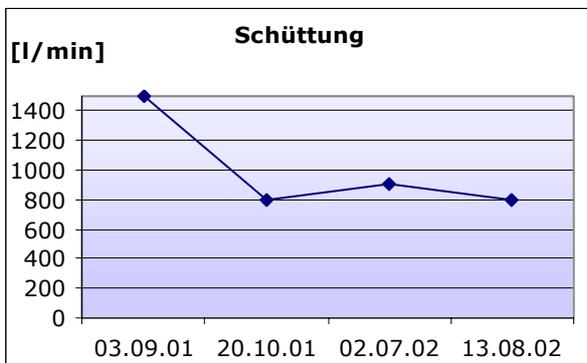
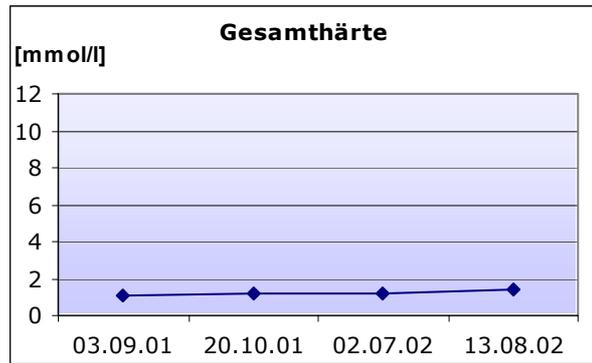
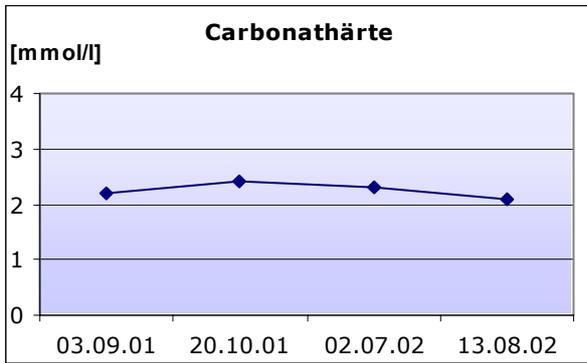
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
03.09.01	8.16	9.8	175	10.37	2.2	1.1	1500	n.b.
20.10.01	8.23	5.8	208	12.82	2.4	1.2	800	n.b.
02.07.02	8.14	7.0	201	8.55	2.3	1.2	900	264
13.08.02	8.22	8.7	175	9.44	2.1	1.4	800	190

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
03.09.01	0.04	0.32	1.30	6.73	96.41	0.14	0.17	10.05	22.02
20.10.01	0.06	0.66	1.11	10.07	109.83	0.44	0.14	11.86	25.51
02.07.02	0.07	0.83	0.95	7.71	114.71	0.44	0.66	12.48	28.66
13.08.02	0.11	0.29	1.31	4.87	115.93	0.26	0.23	10.83	24.96





JL3

Koordinaten 816988.65/169086.36
Höhe [m ü.M.] 2050
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

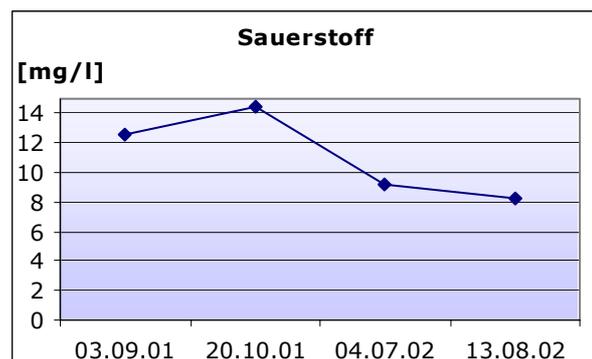
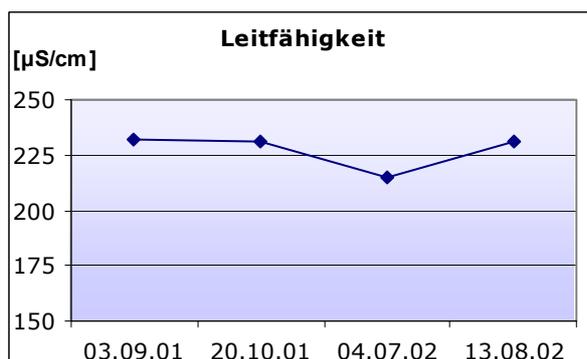
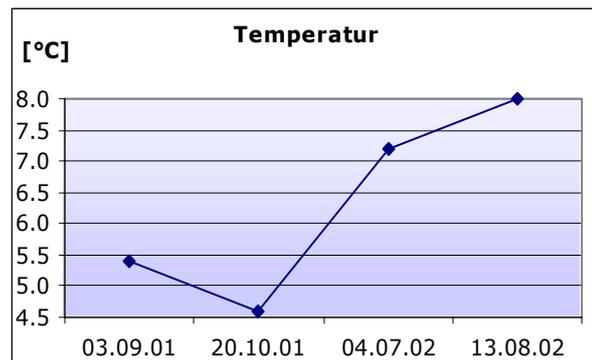
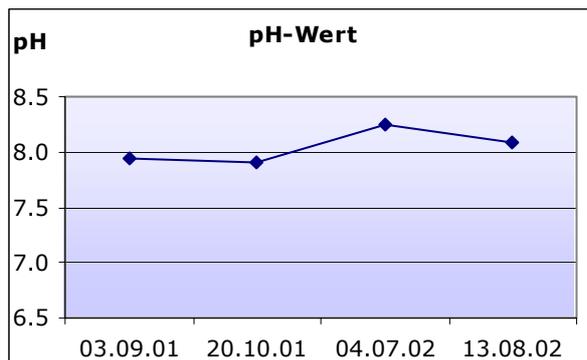
Bemerkungen In der Probe vom 04.07.02
 qualitativ Ammonium detektiert

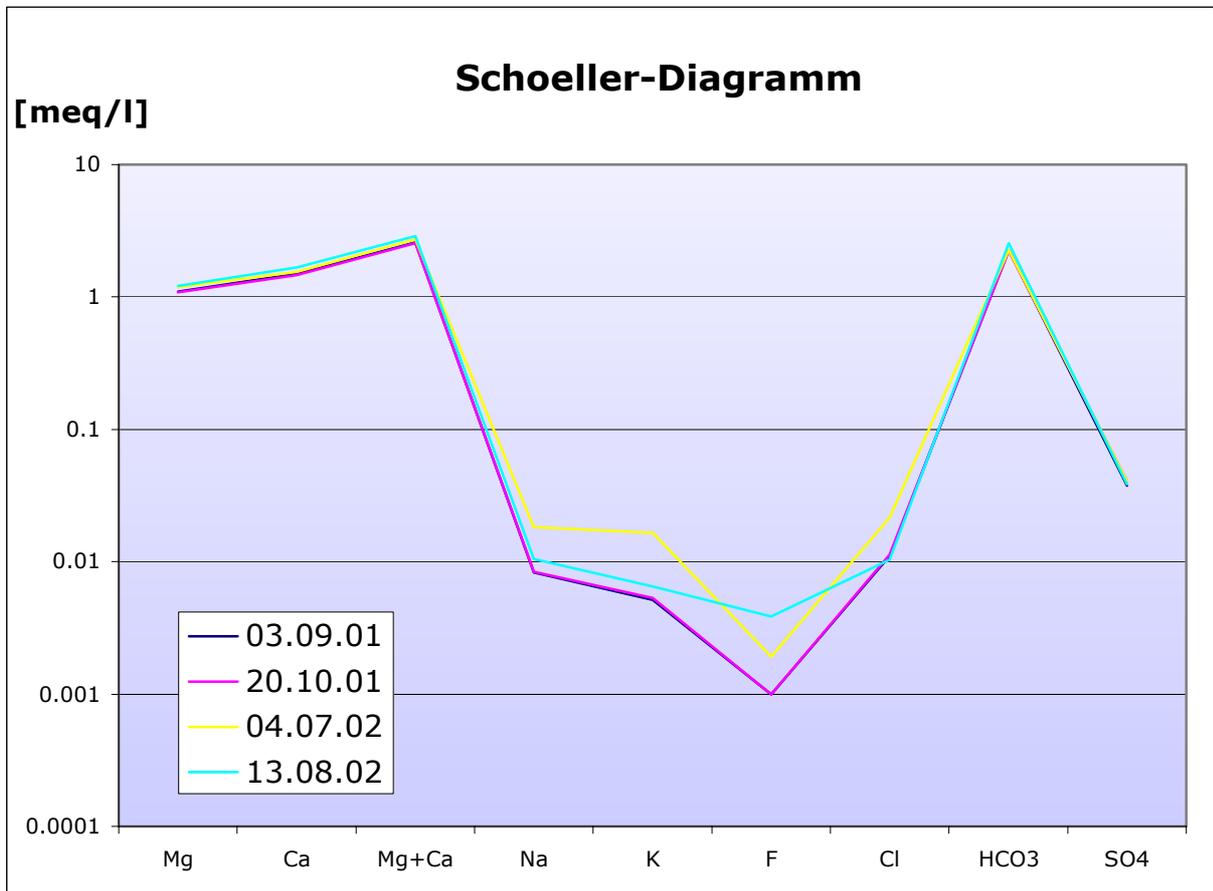
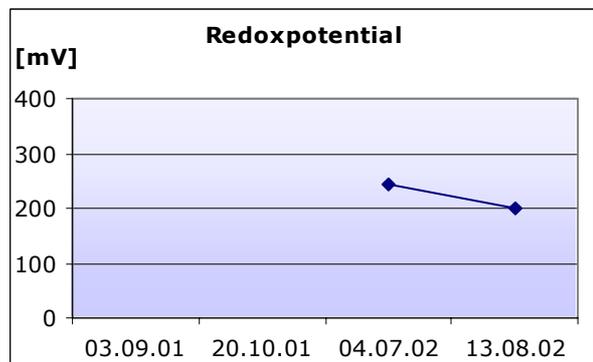
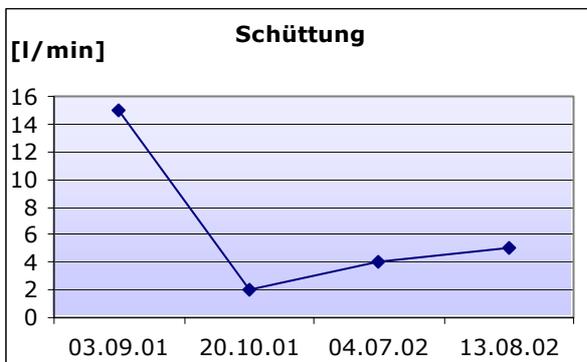
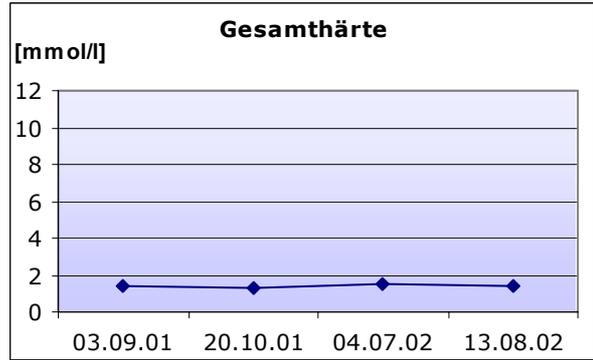
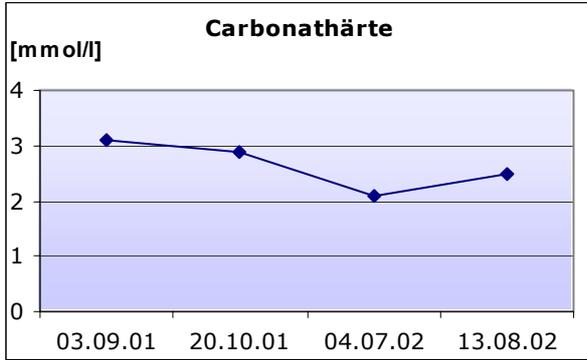
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
03.09.01	7.94	5.4	232	12.6	3.1	1.4	15	n.b.
20.10.01	7.91	4.6	231	14.43	2.9	1.3	2	n.b.
04.07.02	8.24	7.2	215	9.18	2.1	1.5	4	242
13.08.02	8.09	8	231	8.2	2.5	1.4	5	199

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
03.09.01	0.00	0.39	0.58	1.80	137.90	0.19	0.20	13.35	29.92
20.10.01	0.00	0.40	0.64	1.95	136.68	0.19	0.21	13.25	29.26
04.07.02	0.04	0.76	0.72	1.95	137.29	0.42	0.65	14.38	31.09
13.08.02	0.07	0.37	0.66	1.84	156.20	0.24	0.25	14.81	33.52





PG₃

Koordinaten 810991.71/167788.09
Höhe [m ü.M.] 1670
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)

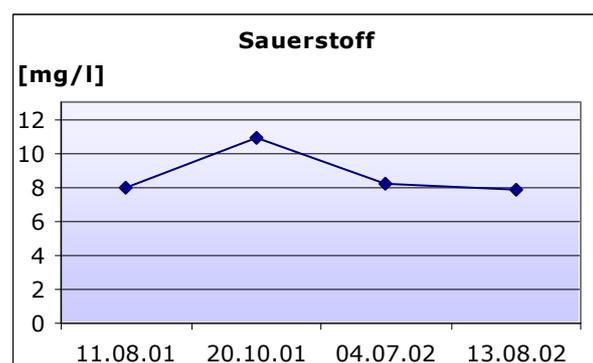
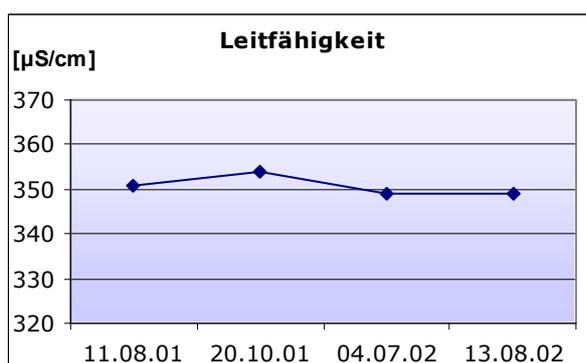
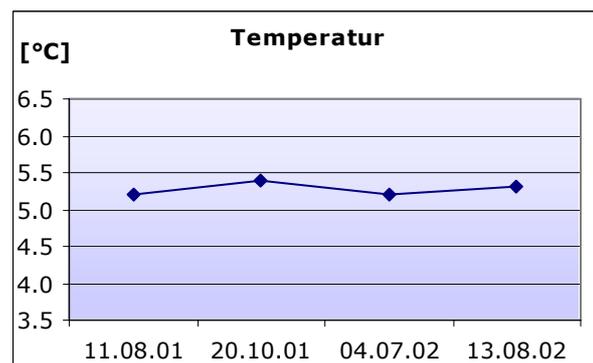
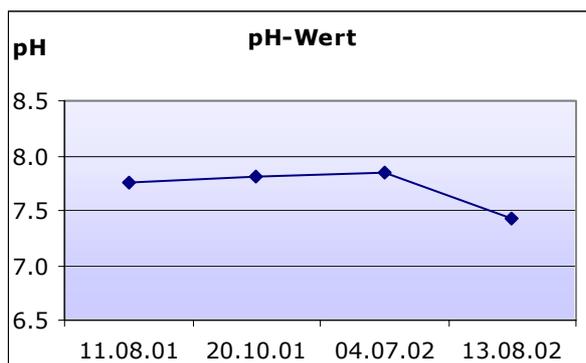
Bemerkungen IC-Analyse vom 04.07.02
ungenügend

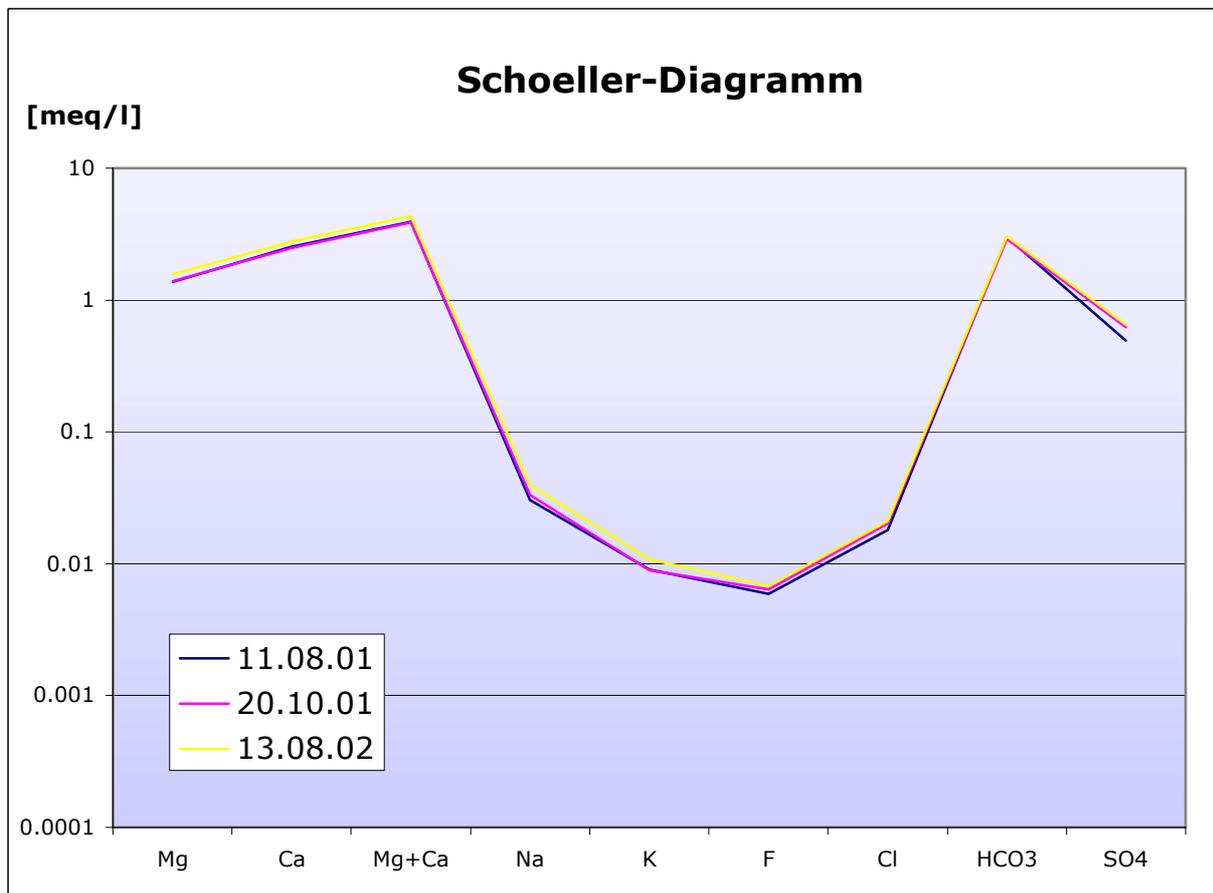
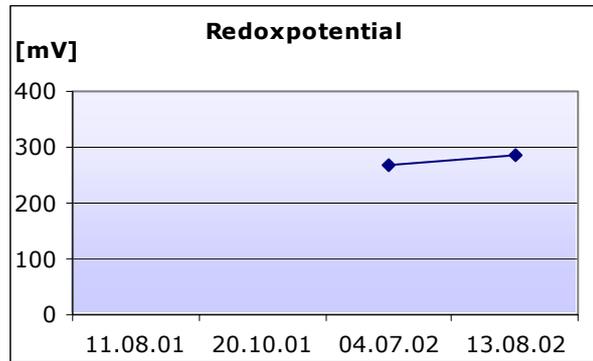
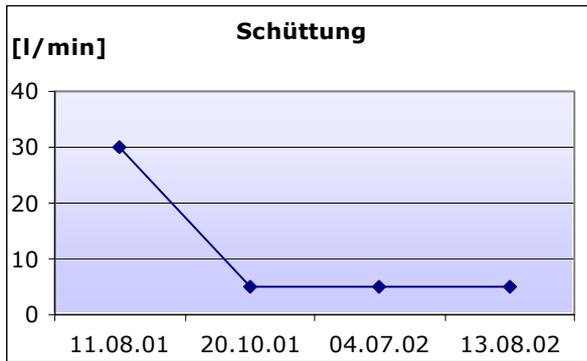
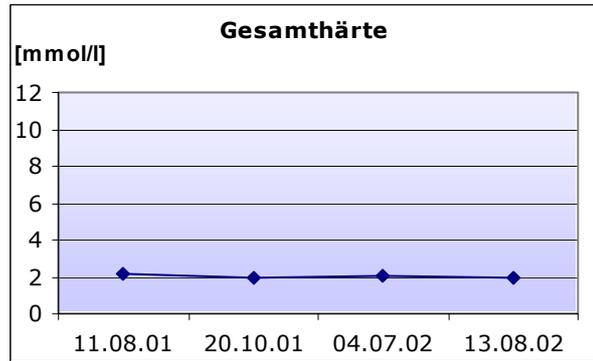
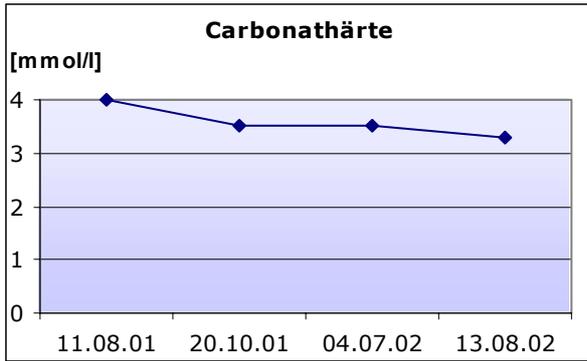
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
11.08.01	7.76	5.2	351	7.93	4	2.2	30	n.b.
20.10.01	7.81	5.4	354	10.89	3.5	2	5	n.b.
04.07.02	7.85	5.2	349	8.17	3.5	2.1	5	267
13.08.02	7.43	5.3	349	7.88	3.3	2	5	285

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
11.08.01	0.11	0.64	0.63	23.58	183.66	0.70	0.35	16.72	50.64
20.10.01	0.12	0.71	0.76	29.90	176.34	0.76	0.35	16.96	49.60
13.08.02	0.13	0.75	0.70	31.38	184.88	0.91	0.42	19.10	55.60





GS8

Koordinaten 809893.97/169381.55
Höhe [m ü.M.] 1740
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst ja
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

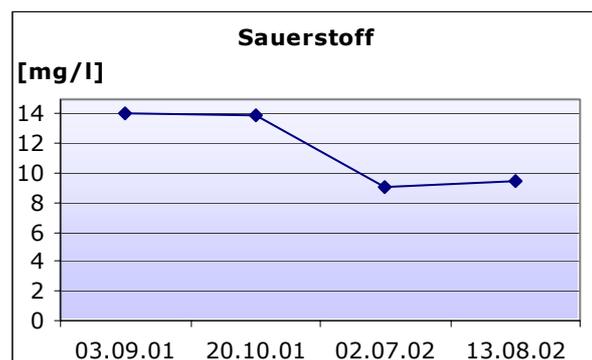
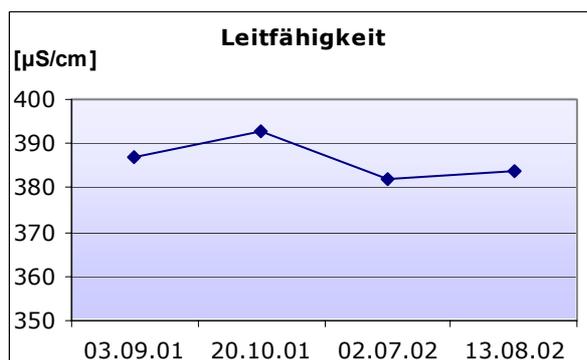
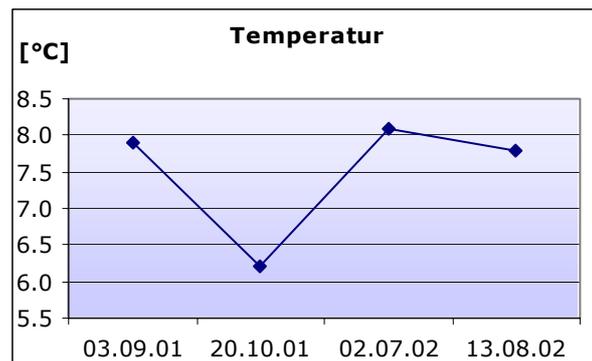
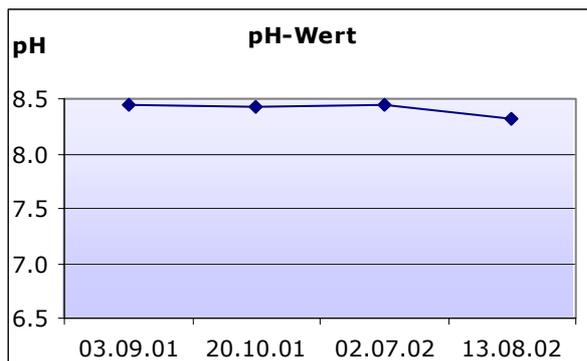
Bemerkungen IC-Analysen vom 02.07.02
 und vom 13.08.02 un-
 genügend

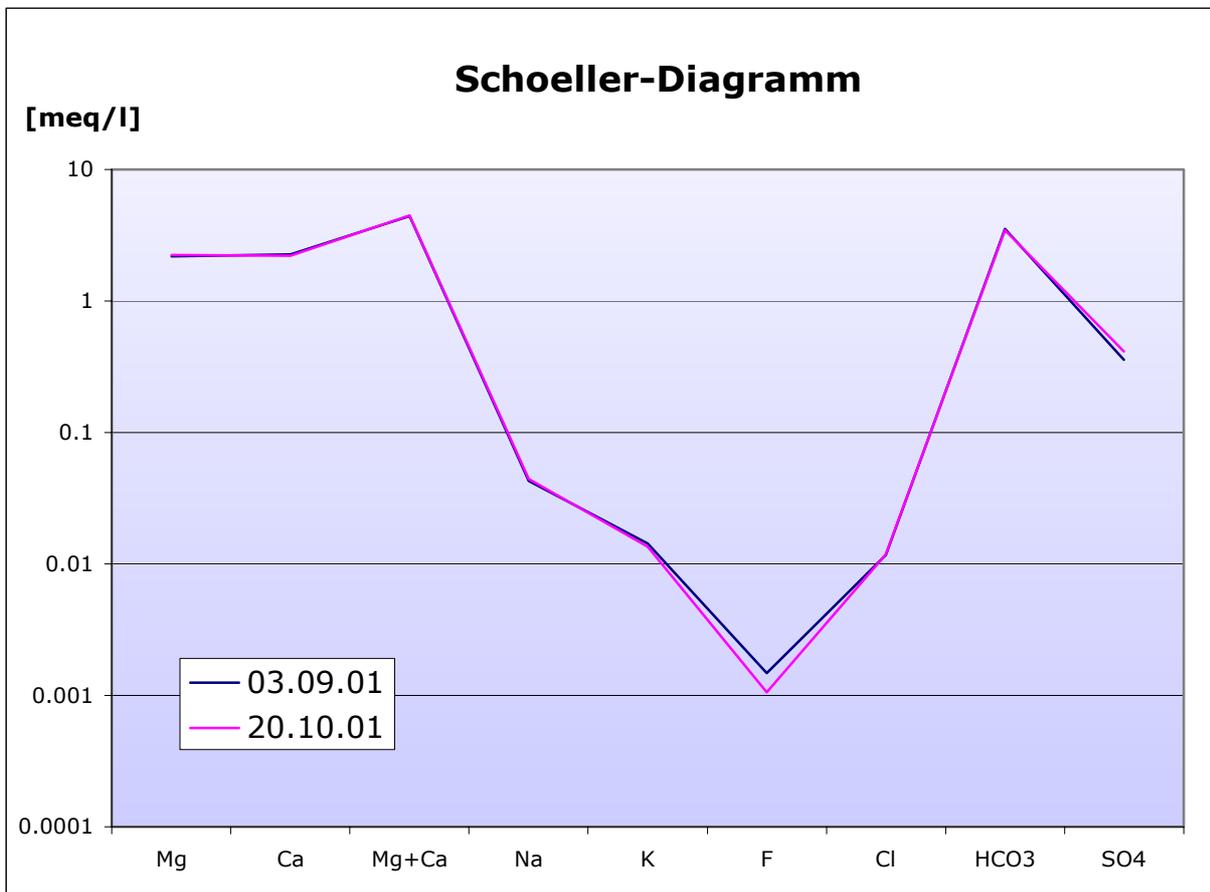
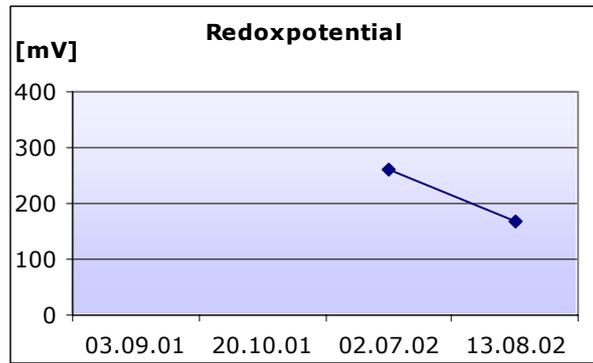
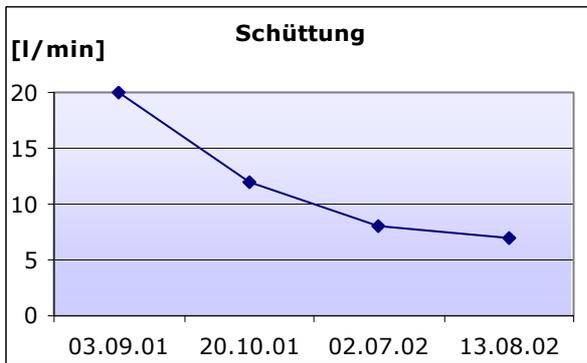
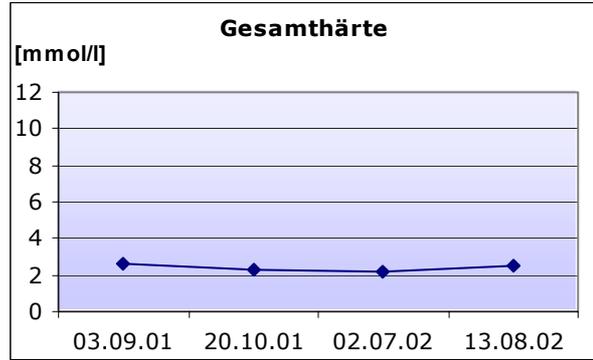
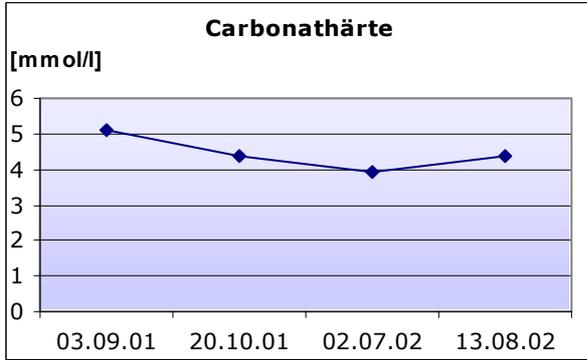
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
03.09.01	8.45	7.9	387	14.04	5.1	2.6	20	n.b.
20.10.01	8.42	6.2	393	13.91	4.4	2.3	12	n.b.
02.07.02	8.45	8.1	382	9.05	3.9	2.2	8	260
13.08.02	8.31	7.8	384	9.40	4.4	2.5	7	168

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
03.09.01	0.03	0.42	0.00	17.16	216.00	0.98	0.56	26.56	45.19
20.10.01	0.02	0.42	0.21	19.94	211.73	1.02	0.53	27.28	44.24





BFO

Koordinaten 816549.71/169791.55
Höhe [m ü.M.] 1975
Quellentyp Quellhorizont
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-HCO₃

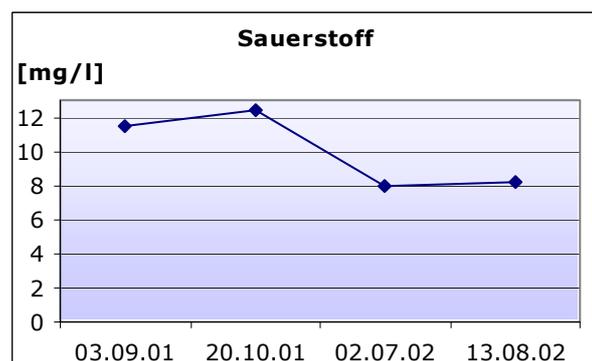
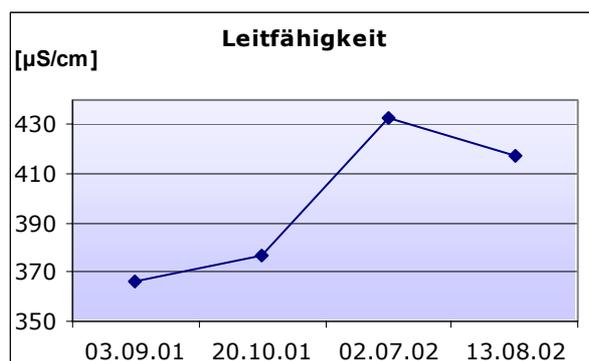
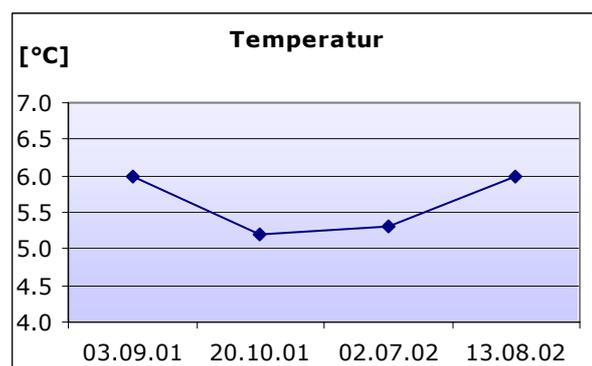
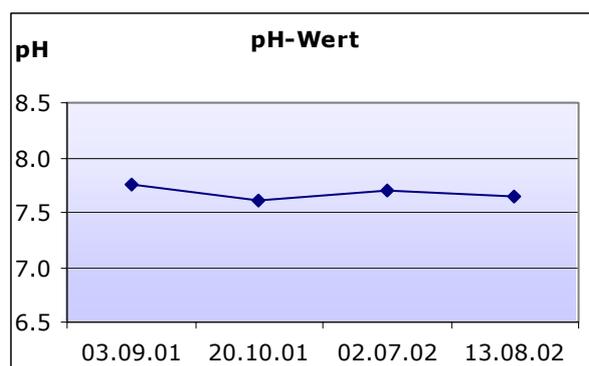
Bemerkungen IC-Analyse vom 02.07.02
ungenügend

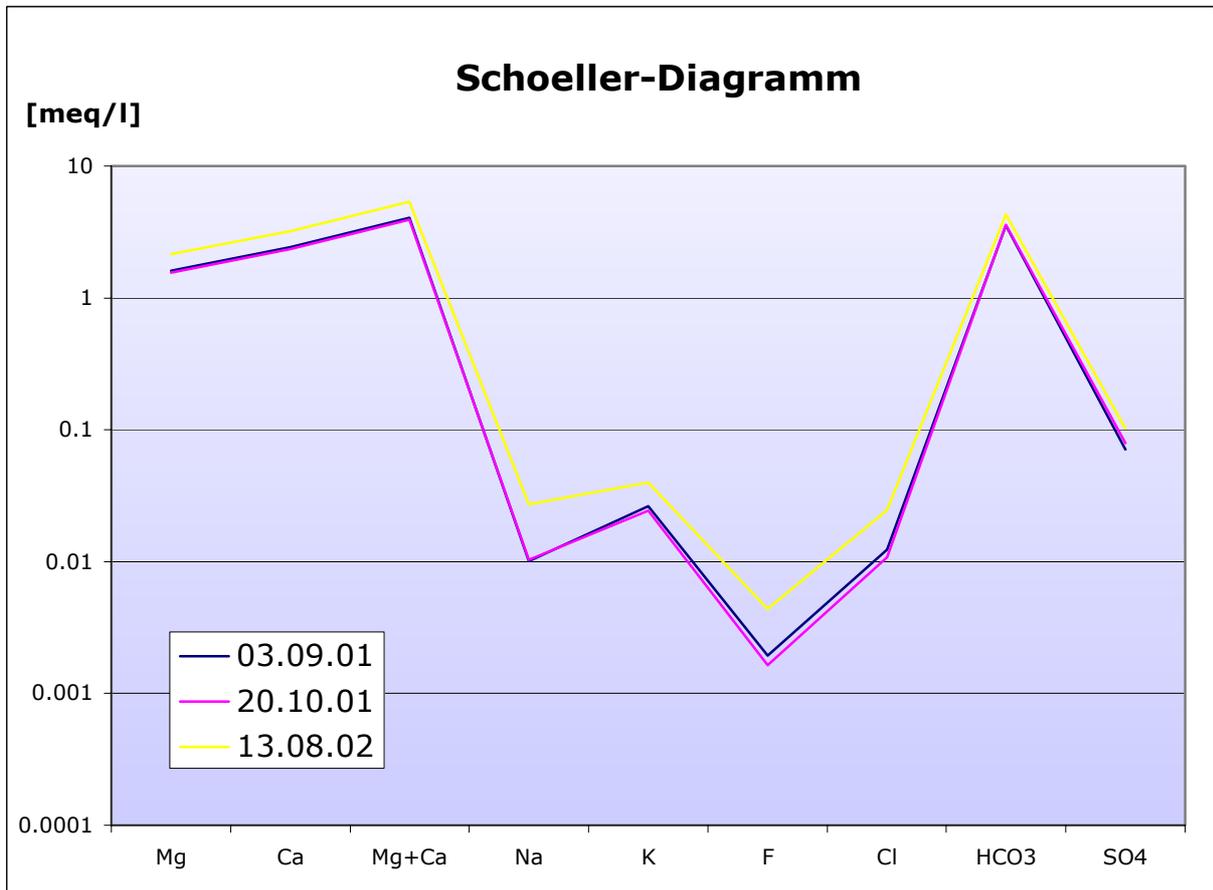
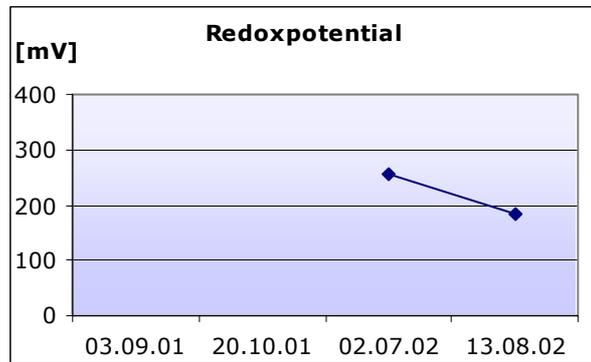
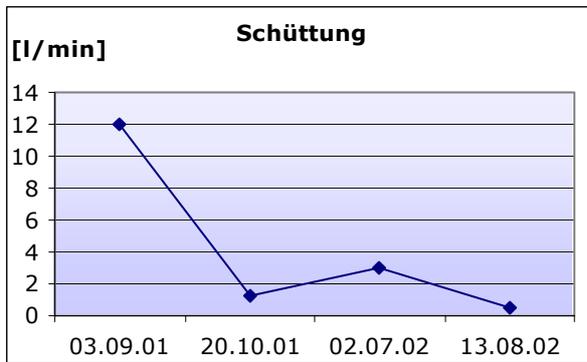
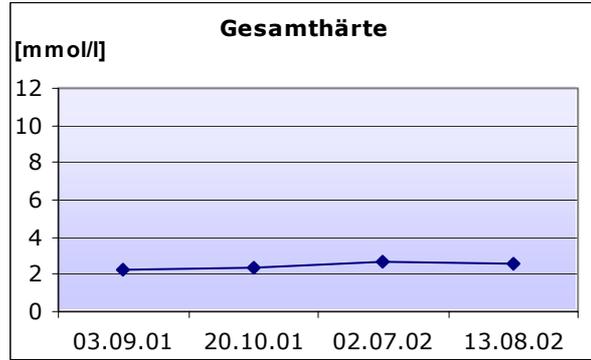
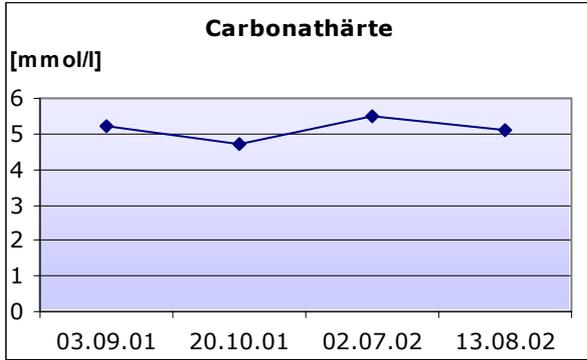
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
03.09.01	7.75	6.0	366	11.47	5.2	2.2	12.0	n.b.
20.10.01	7.61	5.2	377	12.43	4.7	2.4	1.2	n.b.
02.07.02	7.7	5.3	433	7.94	5.5	2.7	3.0	255
13.08.02	7.64	6.0	417	8.24	5.1	2.6	0.5	185

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
03.09.01	0.04	0.44	0.83	3.40	216.00	0.23	1.03	19.64	48.44
20.10.01	0.03	0.38	0.62	3.81	217.83	0.24	0.95	18.90	47.18
13.08.02	0.08	0.87	0.89	4.90	261.76	0.62	1.55	26.18	63.98





Val Mingèr

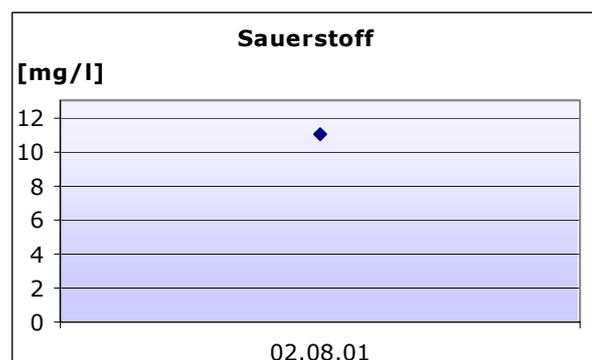
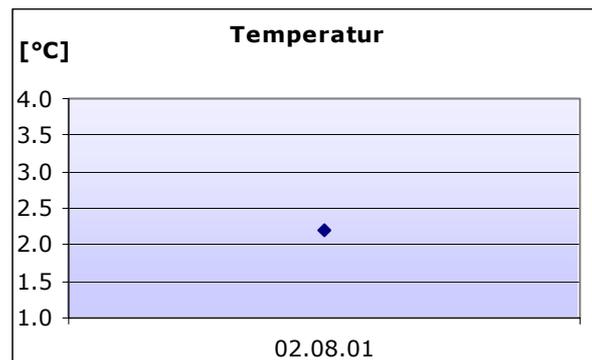
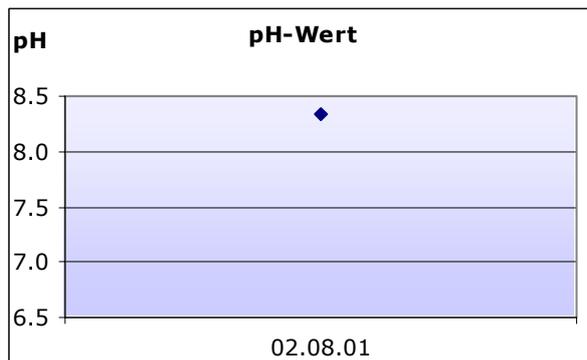
Koordinaten	816080/176294
Höhe [m ü.M.]	2370
Quellentyp	Kluftquelle
Gefasst	nein
Wassertyp	<u>Ca-Mg-HCO₃</u>
Bemerkungen	Kein Korrektursignal empfangen

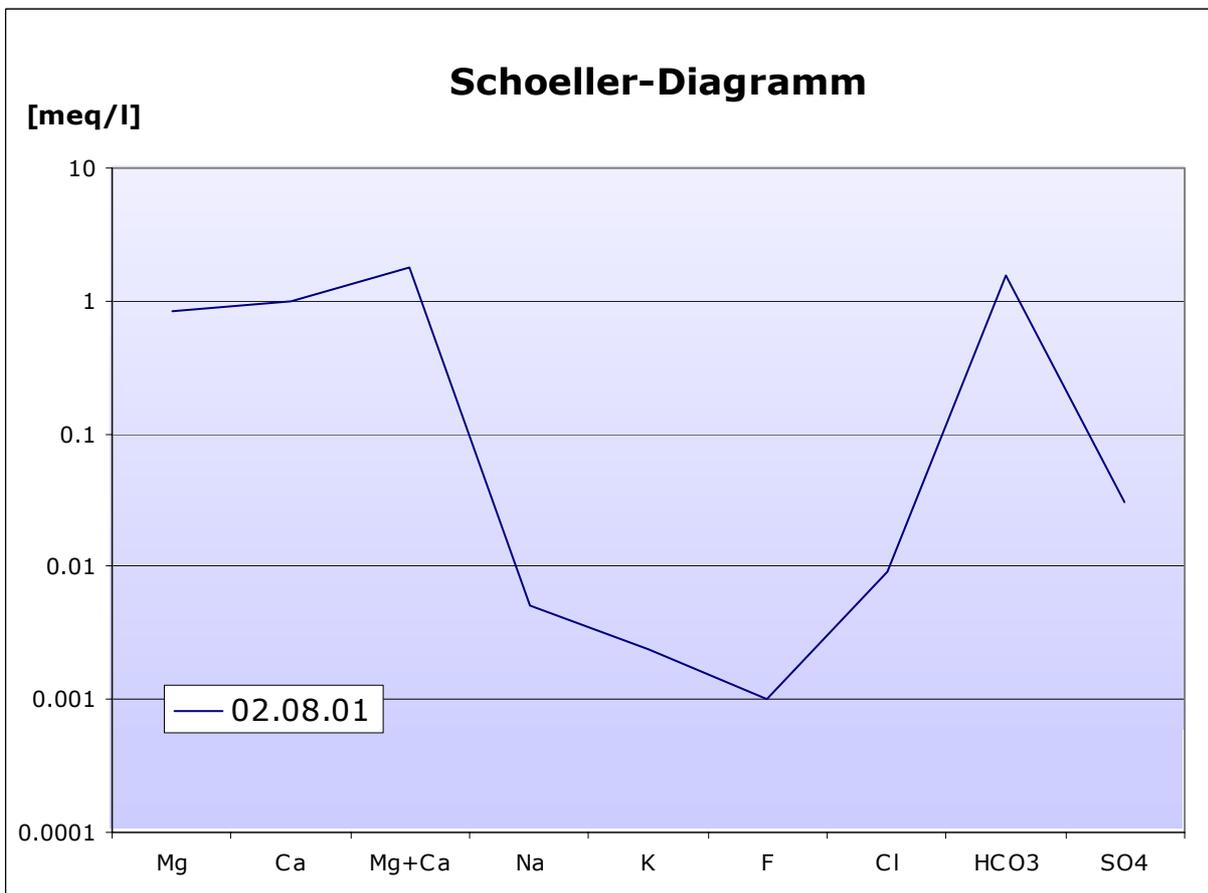
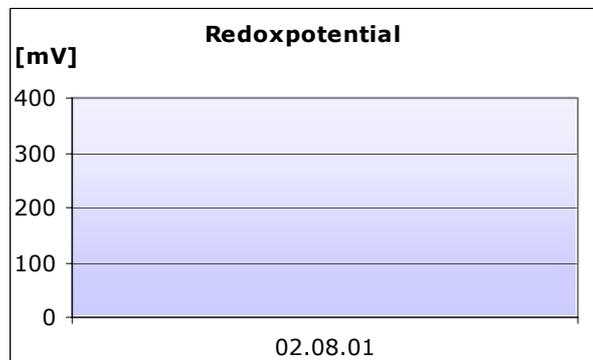
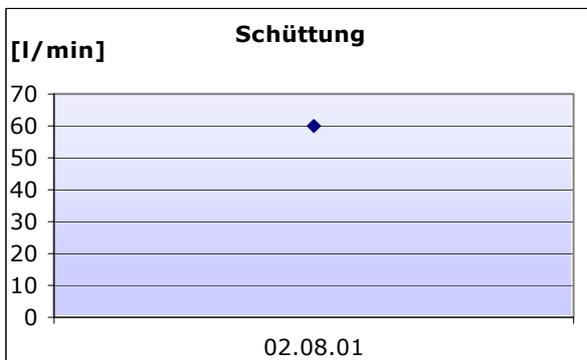
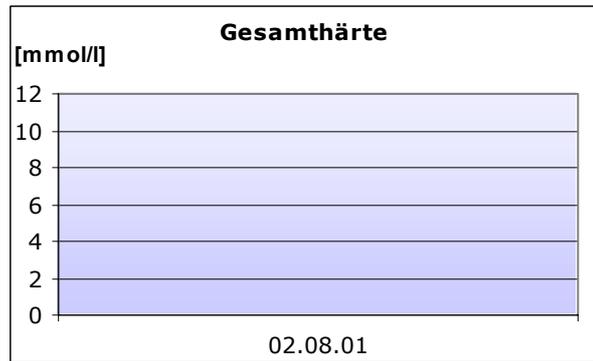
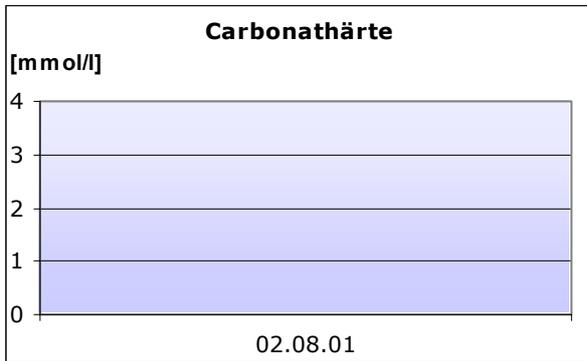
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.08.01	8.34	2.2	162	10.98	n.b.	n.b.	60	n.b.

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.08.01	0.01	0.32	1.51	1.49	94.58	0.12	0.09	10.01	19.59





5.8.3 Der Calcium-Sulfat-Typ

(Ca-SO₄-Typ)

Anzahl Quellen: 9
 Häufigkeit: 19 %
 Austrittsgestein: Evaporite
 Dolomit (QE75)

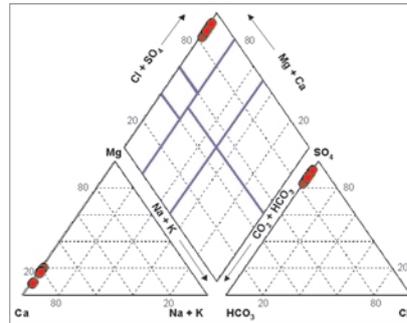


Abb. 5.9: Verteilung der Ca-SO₄-Quellen im Piper-Diagramm.

Besonderheiten:

Der Ca-SO₄-Grundwassertyp unterscheidet sich deutlich von allen anderen Grundwassertypen. Die Messwerte der Quellen befinden sich im Piper-Diagramm im normal-alkalisch-sulfatischen Bereich (Abb. 5.9). Auffallend sind die hohen Konzentrationen von Calcium und Sulfat. Entsprechend ist die elektrische Leitfähigkeit mit durchschnittlich 1390 µS/cm hoch. Die Sulfatkonzentrationen überschreiten mit bis zu 1182 mg/l deutlich die Toleranzwerte für Trinkwasser, welche im schweizerischen Lebensmittelhandbuch auf 200 mg/l festgelegt sind.

Quellen dieses Wassertyps sind an evaporitische Sedimentvorkommen gebunden. Eingangs der Val Chaschanella entspringen zwei Ca-SO₄-Quellen (QW12 und QW13) aus einer Rauhwackeschicht.

Eine weitere besondere Quelle dieses Grundwassertyps ist die Schwefelquelle QE75 in der Val Chaschauna. Aus Dolomit tritt mit Sulfat und Eisen angereichertes Wasser, welches markant nach Schwefel riecht. Die negative Redoxspannung von -42 mV und die geringe Sauerstoffkonzentration zeigen die reduzierenden Bedingungen in diesem Grundwasser. Vermutlich fließt das Grundwasser durch eine evaporitische Schicht der Raibler-Formation.

Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	1.45	2.28	1.87	0.2
Ca [mg/l]	266.51	417.48	323.38	35.7
Mg [mg/l]	18.68	48.84	38.66	10.0
K [mg/l]	0.68	1.15	0.93	0.1
Cl [mg/l]	0.12	0.60	0.31	0.1
SO ₄ [mg/l]	672.22	1182.01	887.57	128.3
F [mg/l]	0.25	1.25	0.44	0.3
NO ₃ [mg/l]	0.00	0.66	0.40	0.1
HCO ₃ [mg/l]	86.03	170.24	124.61	25.5
pH	7.09	7.89	7.58	0.2
Temperatur [°C]	2.6	7.4	4.4	1.0
Redoxpotential [mV]	-42	310	235	95.5
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	252	1758	1390	309.1
O ₂ [mg/l]	1.07	12.49	7.31	2.6
Carb. Härte [mmol/l]	1.8	3.4	2.5	0.3
Ges. Härte [mmol/l]	8.2	12.6	9.9	1.2
Schüttung [l/min]	5	1200	236	360.1
Höhe [m ü.M.]	1960	2411	2094	153.8

Tab. 5.8: Chemische und physikalische Parameter der Ca-SO₄-Grundwassertypen.

QW2

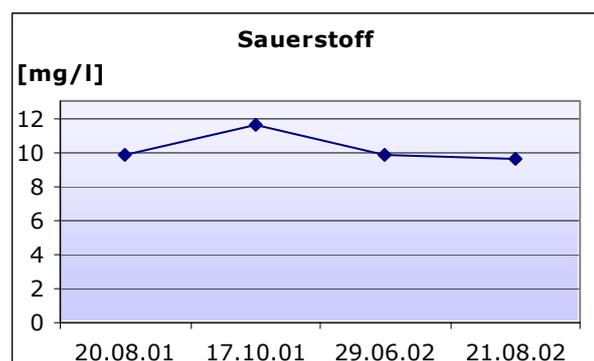
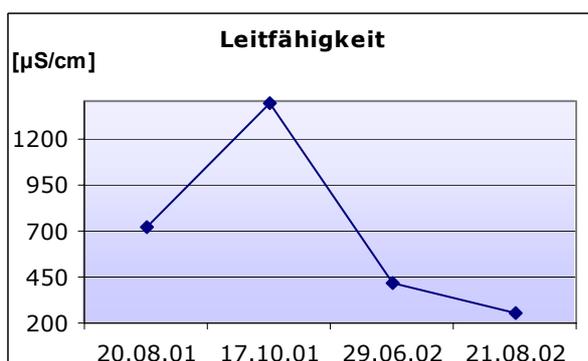
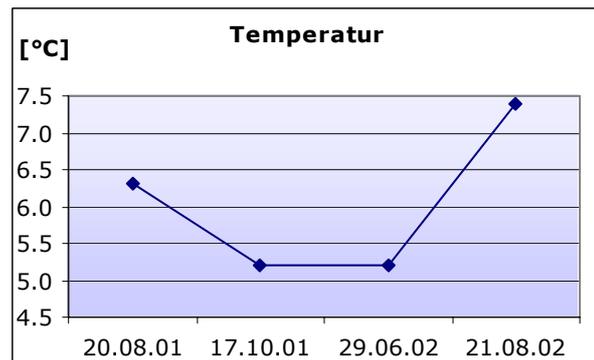
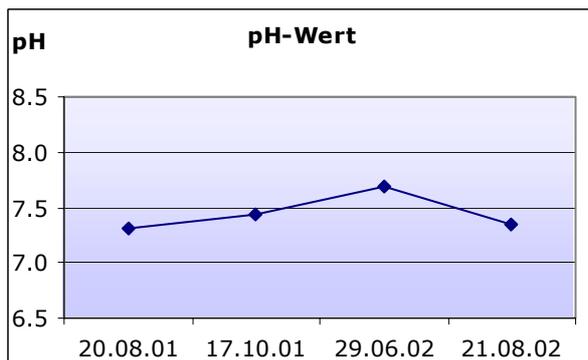
Koordinaten 798441.13/163089.93
Höhe [m ü.M.] 1940
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst ja
Wassertyp $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)}$

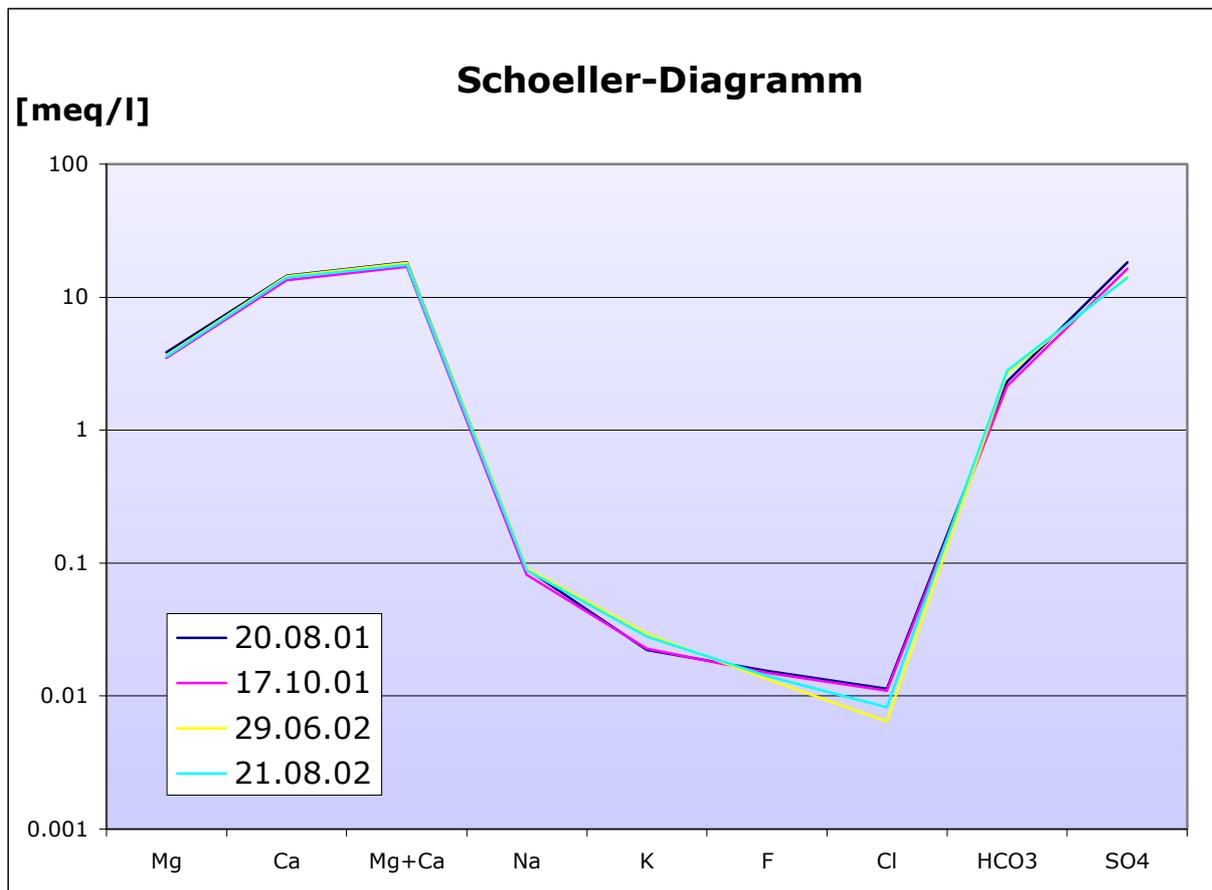
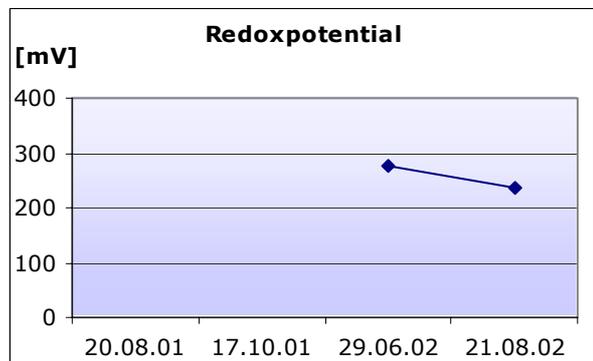
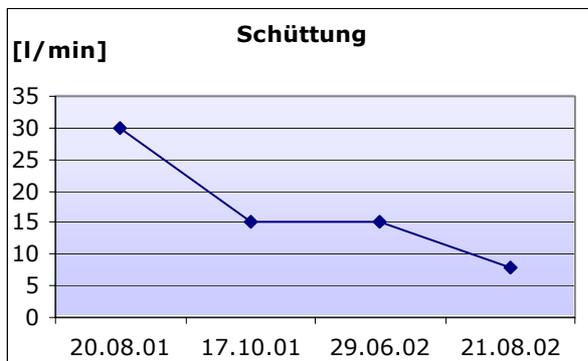
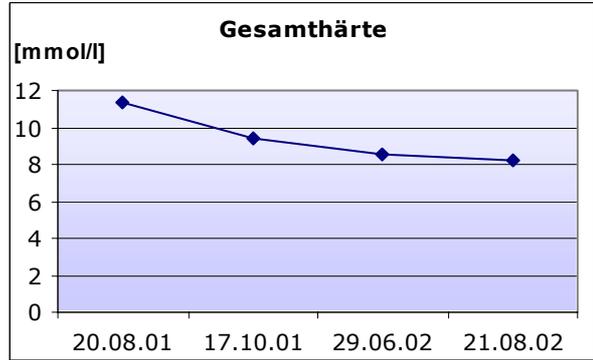
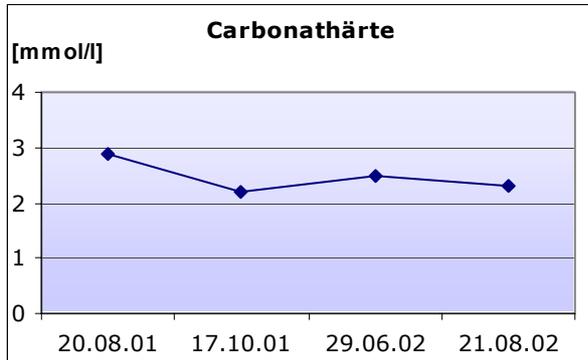
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	7.31	6.3	720	9.79	2.9	11.4	30	n.b.
17.10.01	7.44	5.2	1388	11.56	2.2	9.4	15	n.b.
29.06.02	7.69	5.2	414	9.80	2.5	8.5	15	275
21.08.02	7.35	7.4	252	9.62	2.3	8.2	8	236

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.29	0.40	0.50	876.08	142.17	2.08	0.87	46.69	289.93
17.10.01	0.28	0.39	0.62	788.60	131.19	1.89	0.89	42.42	269.89
29.06.02	0.26	0.23	0.53	687.84	163.53	2.11	1.15	44.43	287.67
21.08.02	0.27	0.29	0.66	672.22	170.24	2.04	1.10	43.35	279.77





QW₃

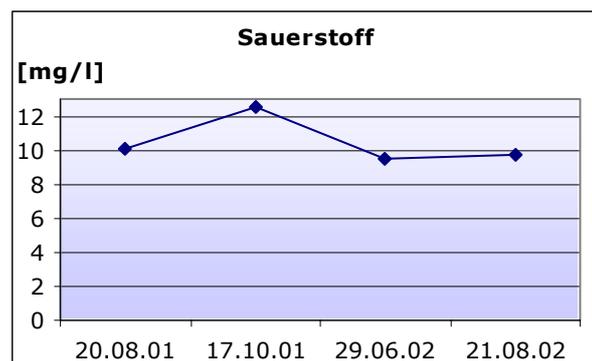
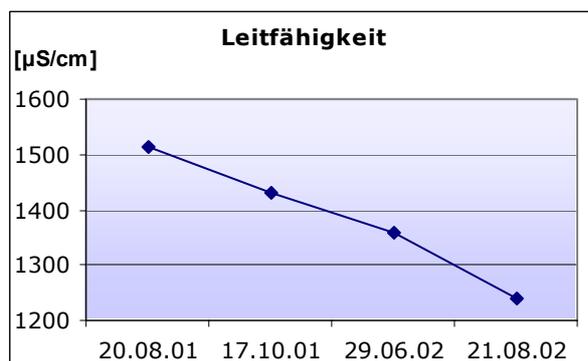
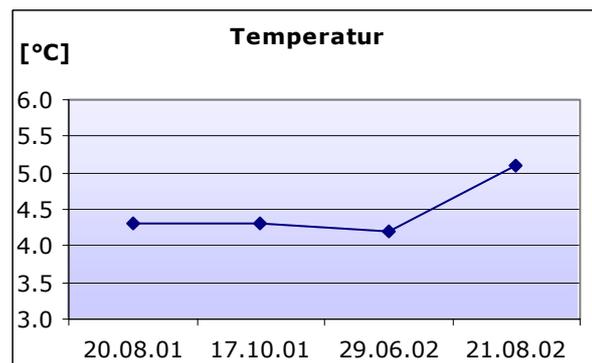
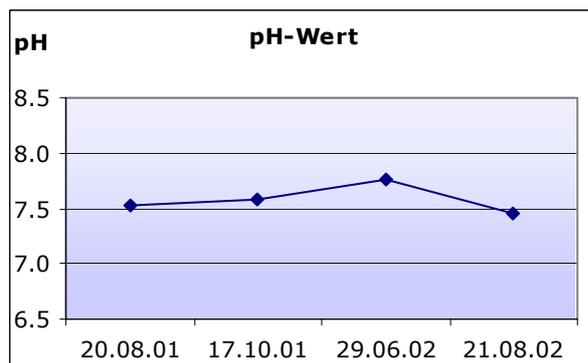
Koordinaten	798377.86/163077.42
Höhe [m ü.M.]	1960
Quellentyp	Punktquelle
Gefasst	ja
Wassertyp	<u>Ca-Mg-SO₄</u> -(HCO ₃)

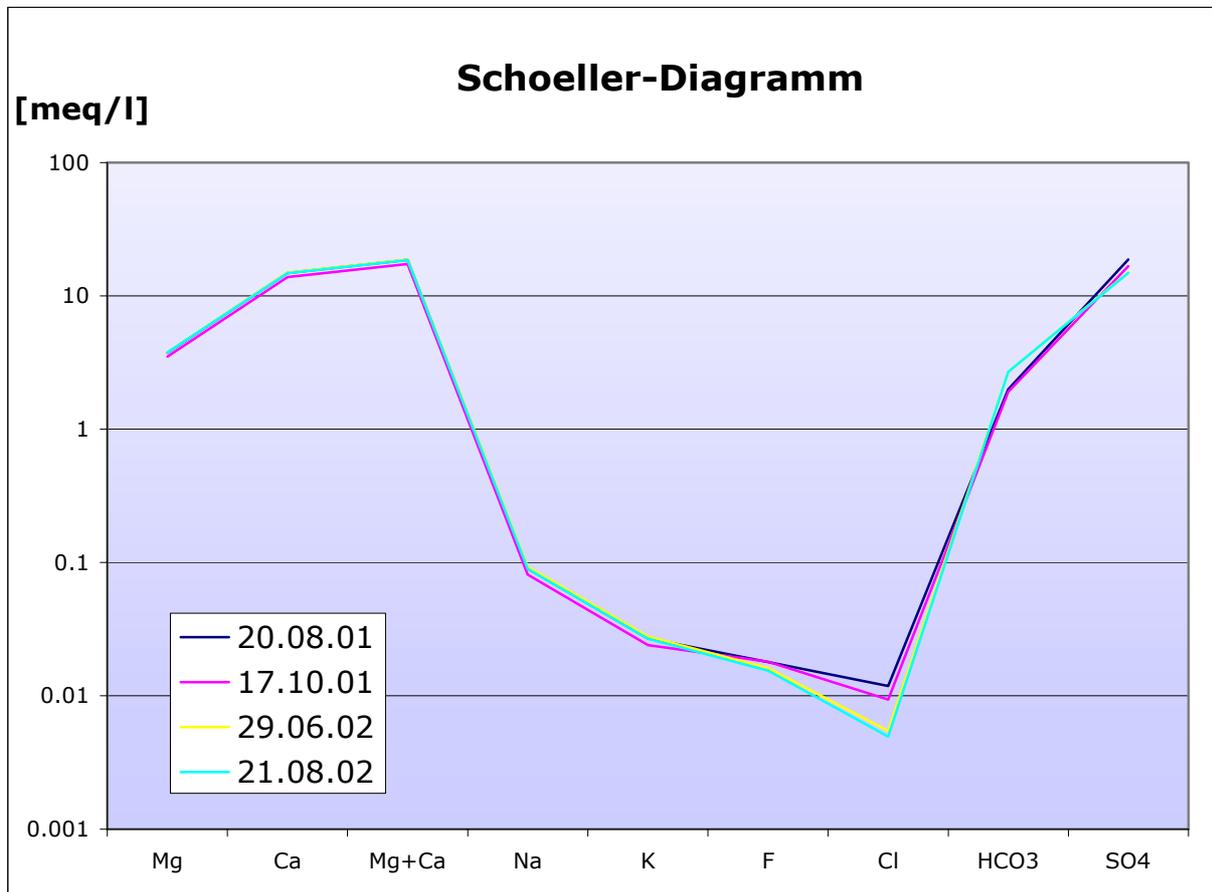
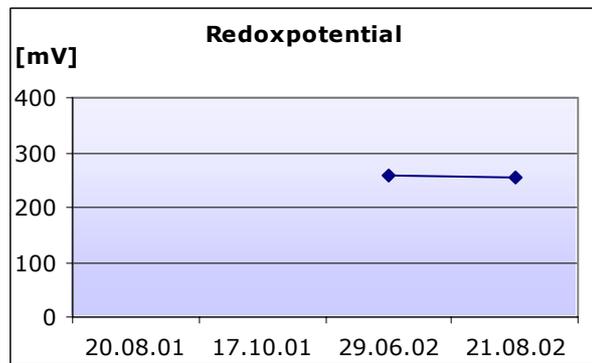
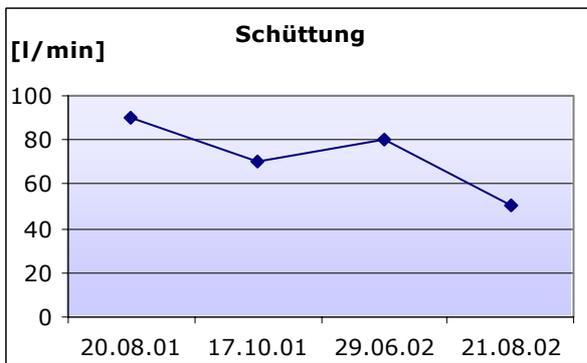
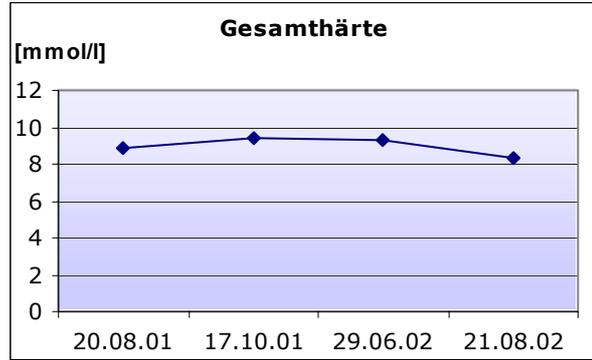
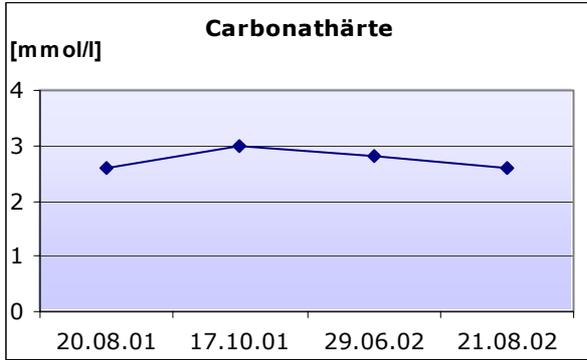
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	7.53	4.3	1514	10.03	2.6	8.9	90	n.b.
17.10.01	7.59	4.3	1431	12.49	3.0	9.4	70	n.b.
29.06.02	7.76	4.2	1357	9.45	2.8	9.3	80	260
21.08.02	7.45	5.1	1240	9.69	2.6	8.3	50	255

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.34	0.42	0.57	901.11	121.42	2.08	1.05	45.69	297.18
17.10.01	0.34	0.33	0.59	800.27	116.54	1.86	0.94	42.56	277.70
29.06.02	0.31	0.19	0.48	722.89	164.14	2.13	1.09	45.90	299.35
21.08.02	0.29	0.18	0.49	713.41	164.75	2.06	1.05	45.92	296.50





QW5

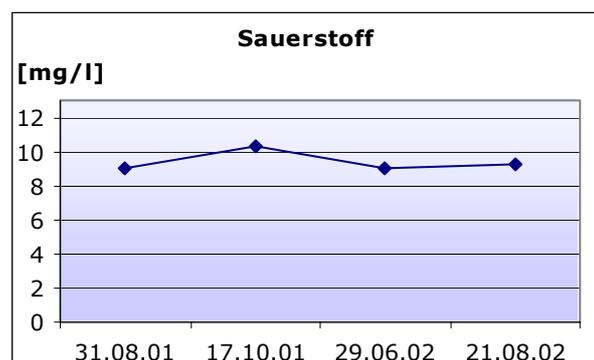
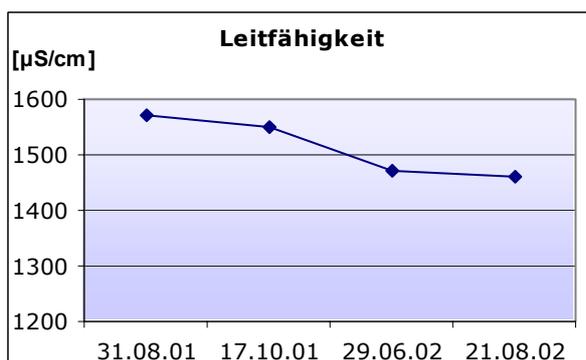
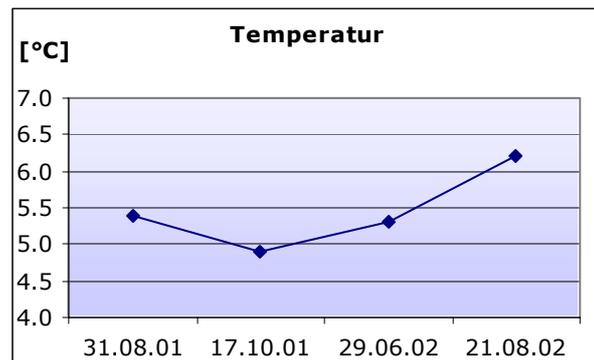
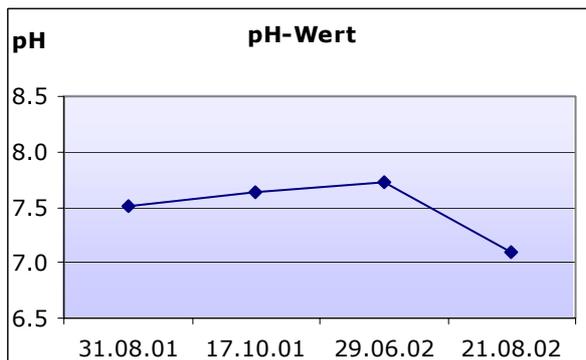
Koordinaten 798435.67/162915.25
Höhe [m ü.M.] 1955
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst ja
Wassertyp Ca-(Mg)-SO₄-(HCO₃)

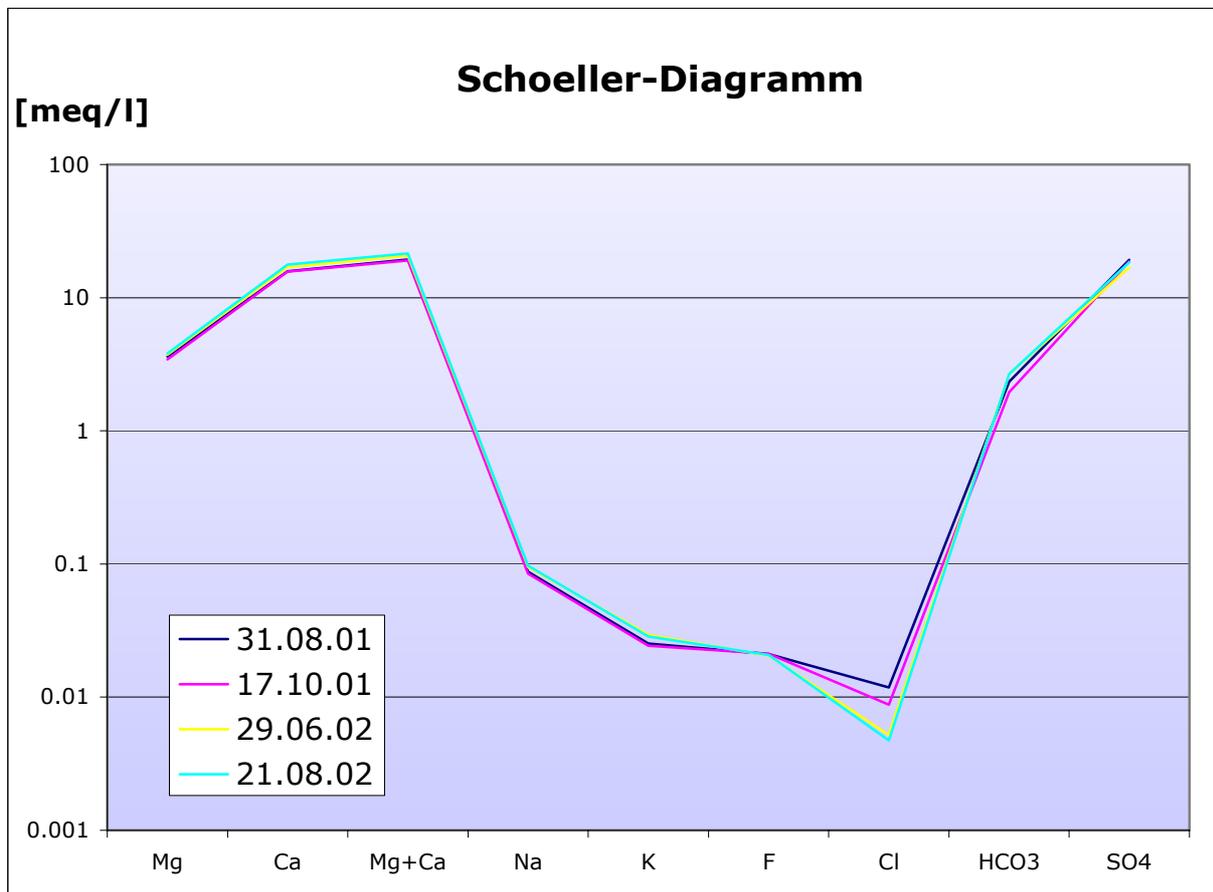
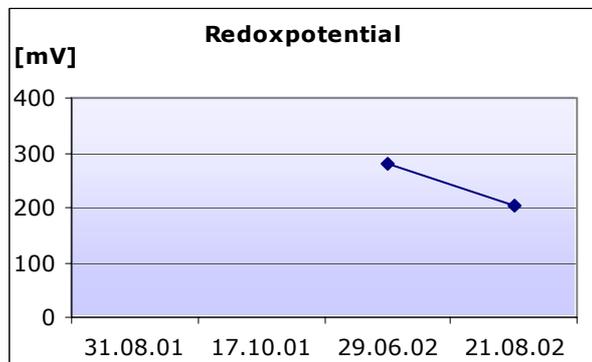
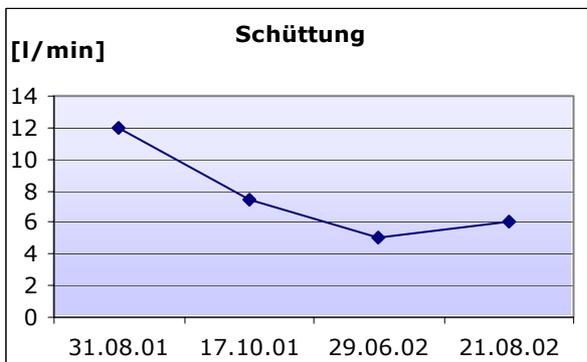
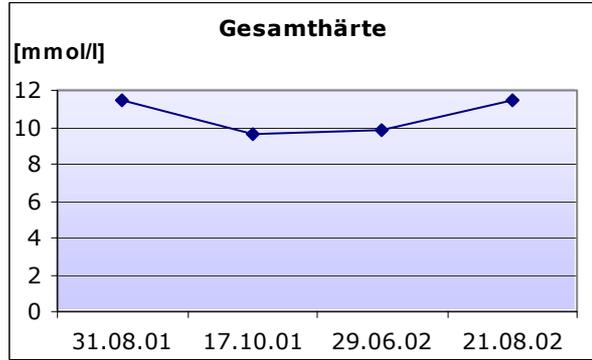
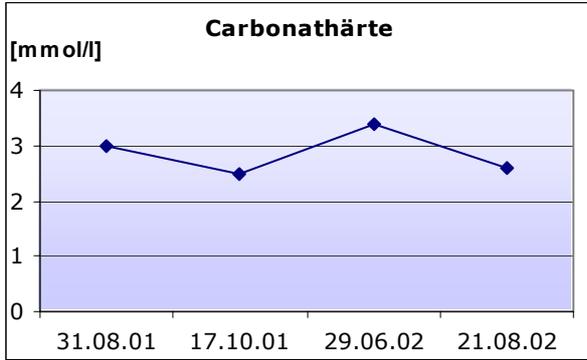
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
31.08.01	7.51	5.4	1573	9.03	3.0	11.5	12.0	n.b.
17.10.01	7.63	4.9	1549	10.26	2.5	9.6	7.5	n.b.
29.06.02	7.72	5.3	1473	9.06	3.4	9.8	5.0	280
21.08.02	7.09	6.2	1460	9.27	2.6	11.5	6.0	204

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
31.08.01	0.40	0.42	0.57	927.46	143.39	2.02	0.98	43.98	316.60
17.10.01	0.40	0.31	0.55	898.67	118.98	1.94	0.95	41.79	313.78
29.06.02	0.39	0.18	0.45	811.22	163.53	2.18	1.15	45.26	340.46
21.08.02	0.39	0.17	0.43	883.45	163.15	2.23	1.12	46.22	355.43



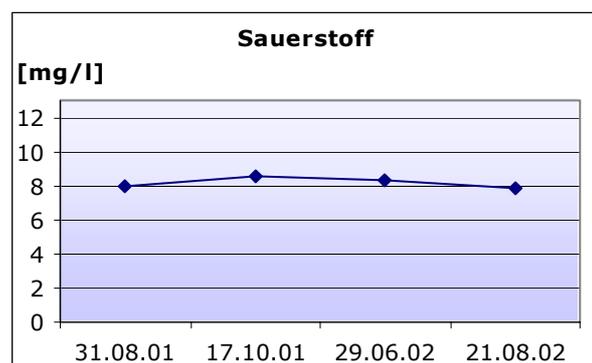
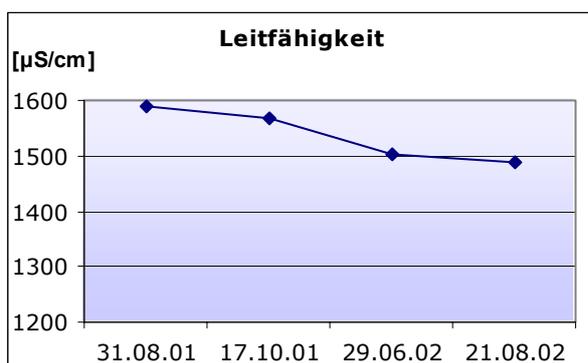
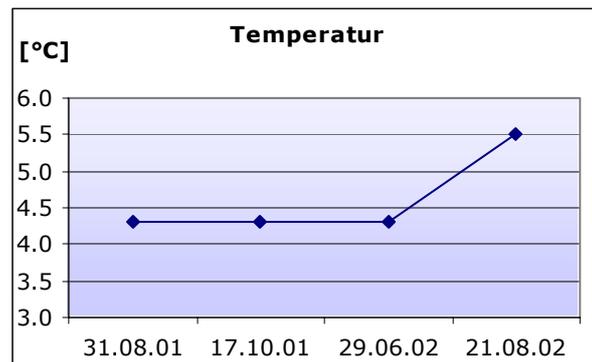
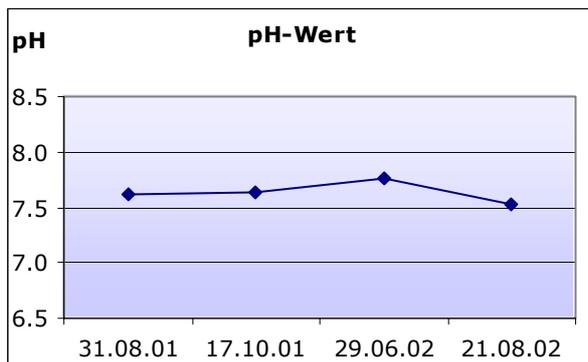


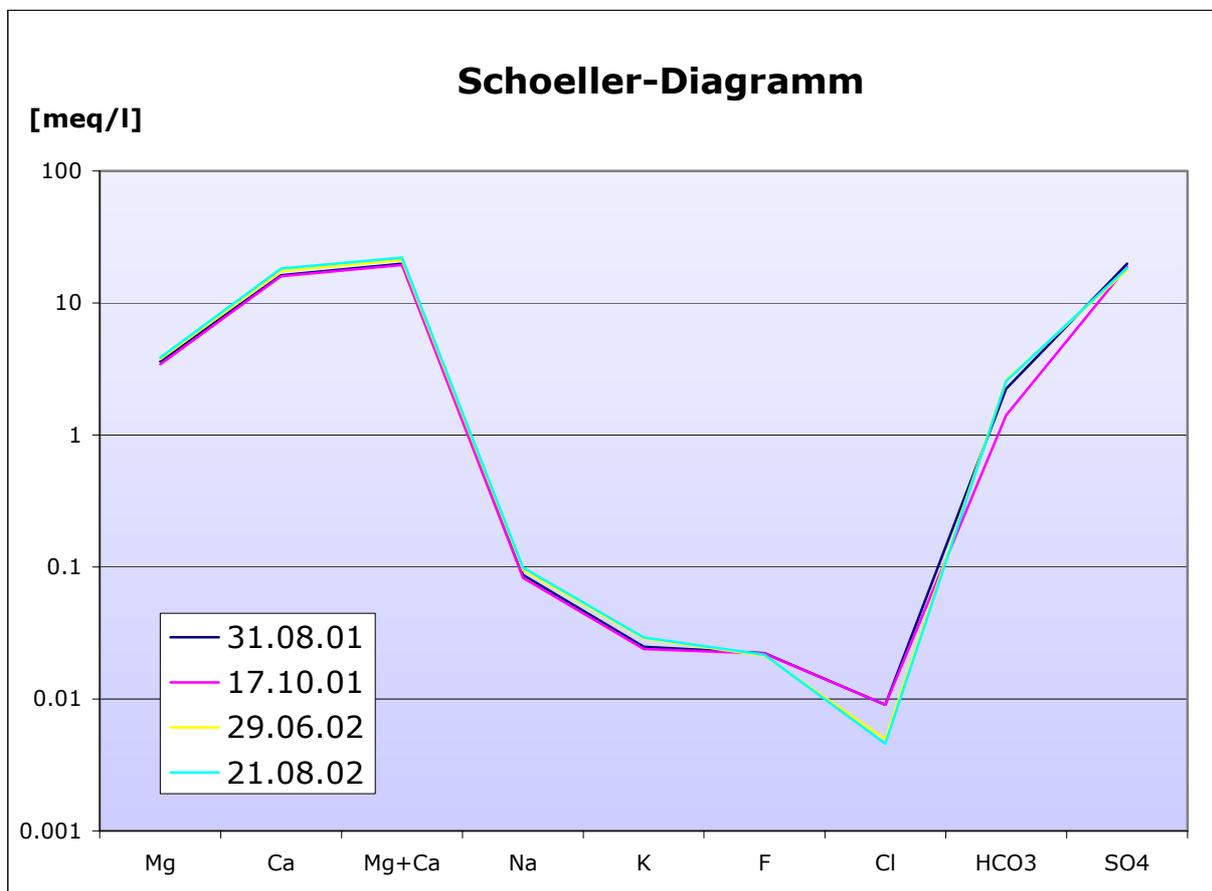
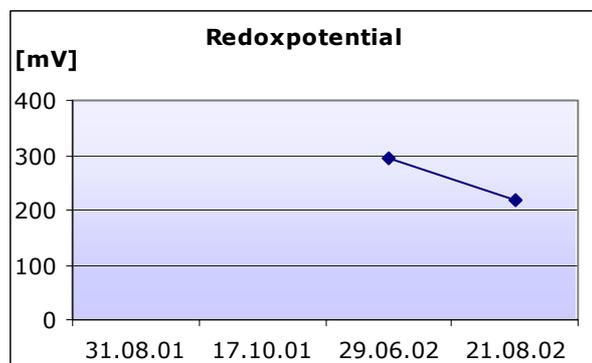
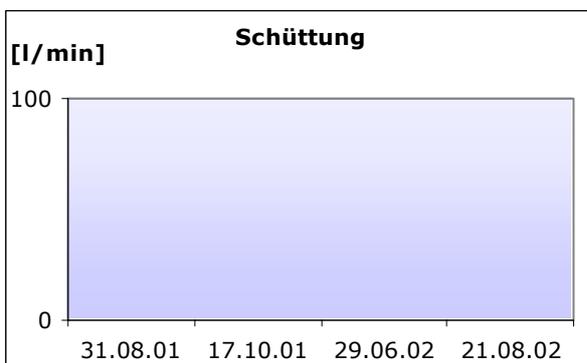
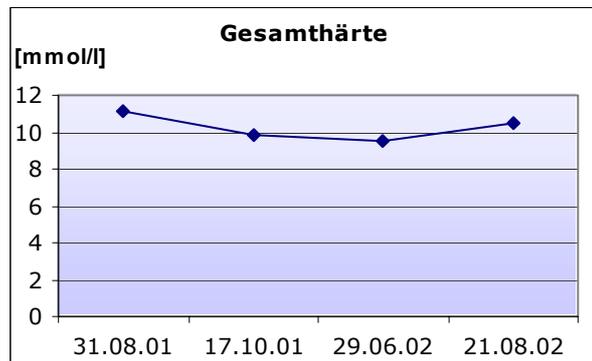
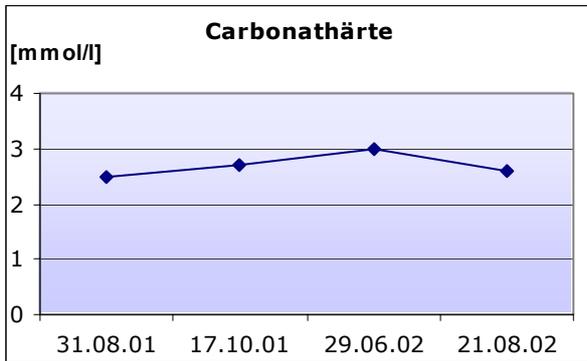
QW7**Koordinaten** 798411.22/162902.99**Höhe [m ü.M.]** 1960**Quellentyp****Gefasst** ja**Wassertyp** Ca-(Mg)-SO₄-(HCO₃)**Bemerkungen** Wasserfassung der Alp Vaüglia Suot; Schüttung nicht bestimmt**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
31.08.01	7.62	4.3	1590	8.00	2.5	11.1	n.b.	n.b.
17.10.01	7.63	4.3	1568	8.54	2.7	9.8	n.b.	n.b.
29.06.02	7.76	4.3	1503	8.35	3.0	9.5	n.b.	295
21.08.02	7.53	5.5	1487	7.80	2.6	10.5	n.b.	217

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
31.08.01	0.42	0.32	0.63	953.06	136.68	2.00	0.97	43.89	326.00
17.10.01	0.42	0.32	0.56	902.04	86.03	1.90	0.93	41.75	320.05
29.06.02	0.40	0.18	0.48	856.71	159.25	2.19	1.12	45.52	349.80
21.08.02	0.41	0.16	0.41	885.01	156.81	2.28	1.14	46.87	366.19





QW12

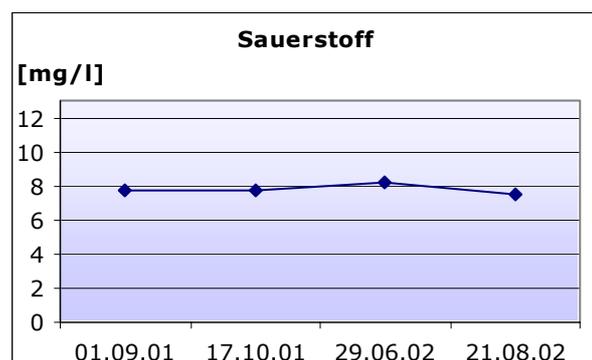
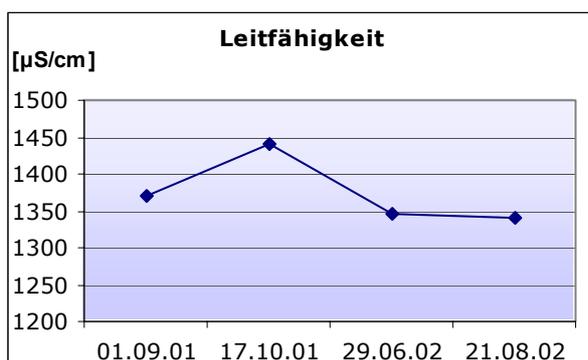
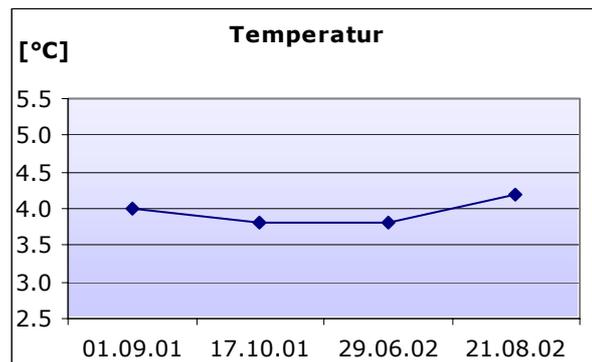
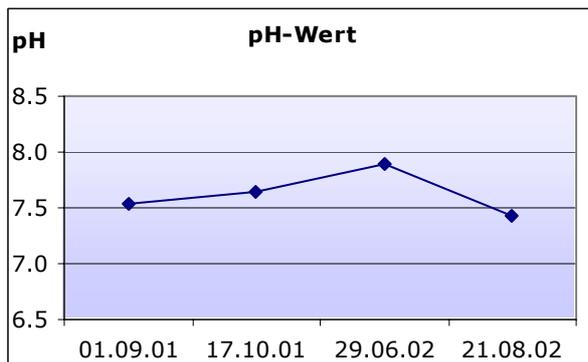
Koordinaten 799114.98/162102.64
Höhe [m ü.M.] 2078
Quellentyp Quellhorizont
Gefasst nein
Wassertyp Ca-SO₄-(HCO₃)

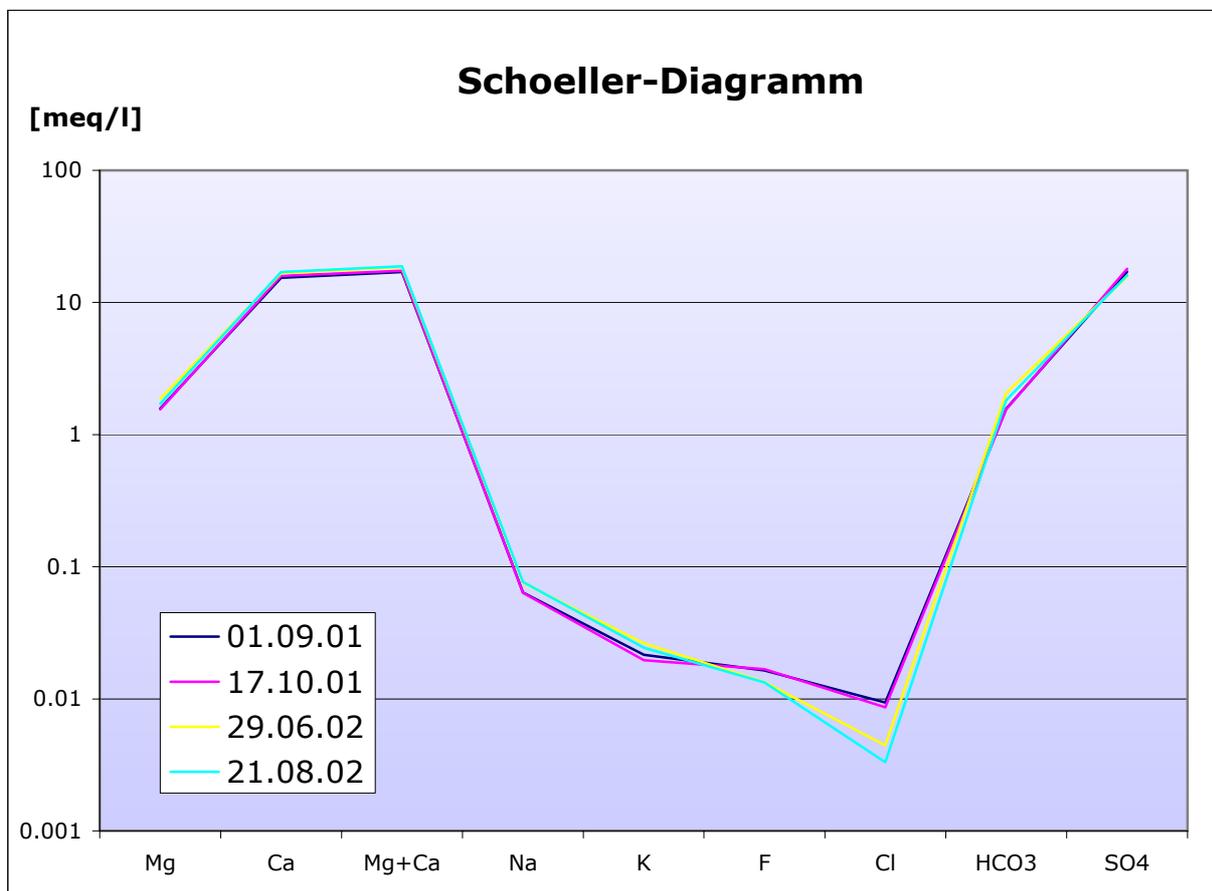
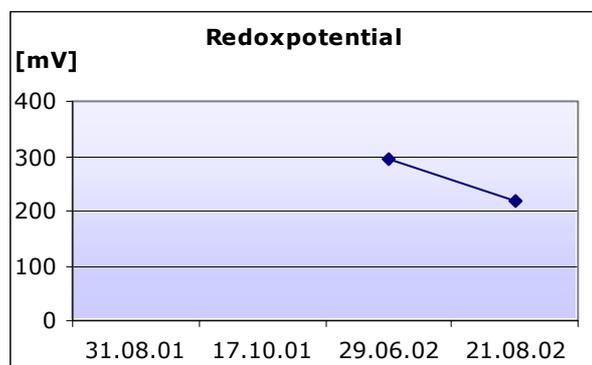
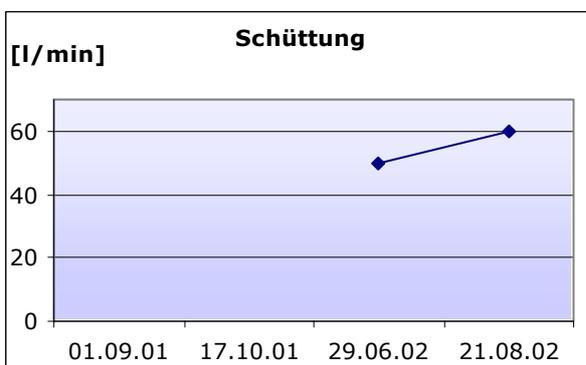
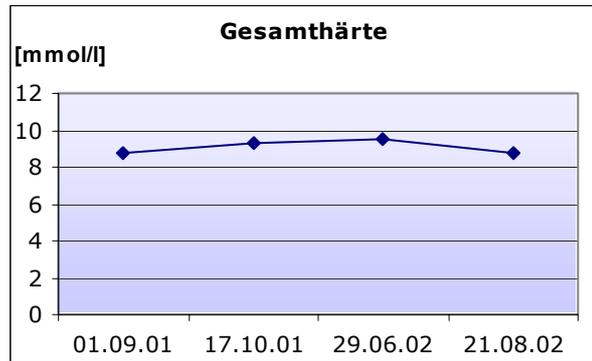
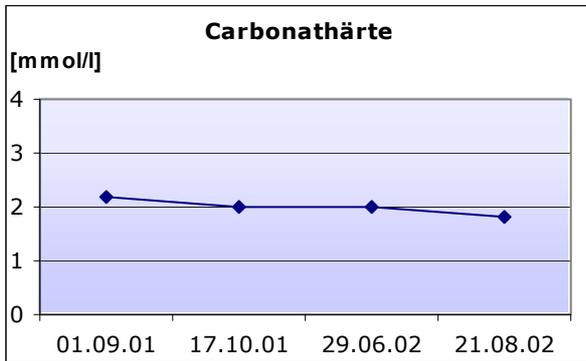
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	7.53	4.0	1370	7.77	2.2	8.8	n.b.	n.b.
17.10.01	7.65	3.8	1440	7.68	2.0	9.3	n.b.	n.b.
29.06.02	7.89	3.8	1345	8.14	2.0	9.5	50	260
21.08.02	7.42	4.2	1341	7.47	1.8	8.8	60	295

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.31	0.33	0.42	820.54	95.80	1.46	0.84	19.15	309.21
17.10.01	0.32	0.31	0.36	863.60	94.58	1.46	0.77	18.82	318.30
29.06.02	0.25	0.16	0.39	755.50	125.70	1.73	1.03	22.67	333.95
21.08.02	0.25	0.12	0.34	773.72	111.05	1.76	0.95	20.85	341.83





QW13

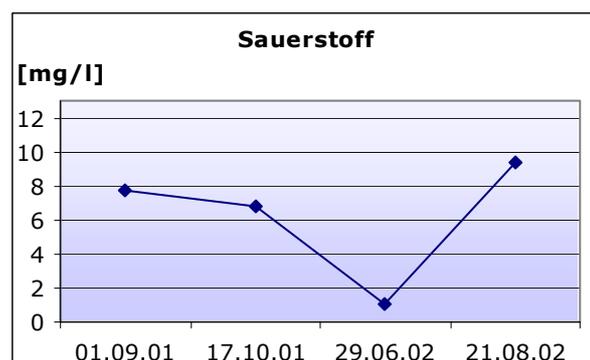
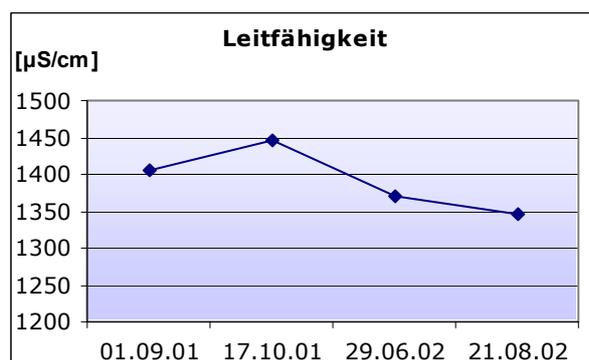
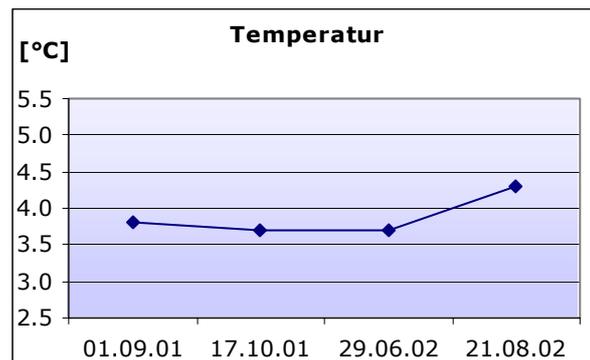
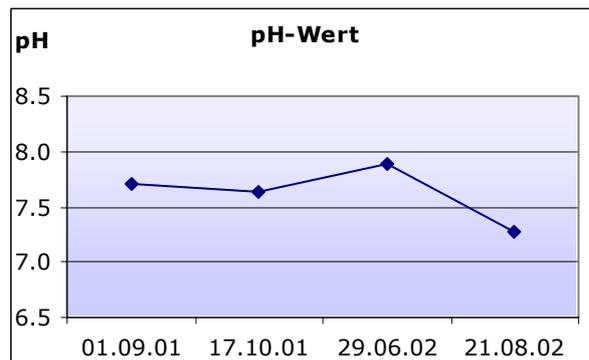
Koordinaten	799082.28/162012.07
Höhe [m ü.M.]	2070
Quellentyp	Quellhorizont
Gefasst	nein
Wassertyp	<u>Ca-SO₄</u> -(HCO ₃)

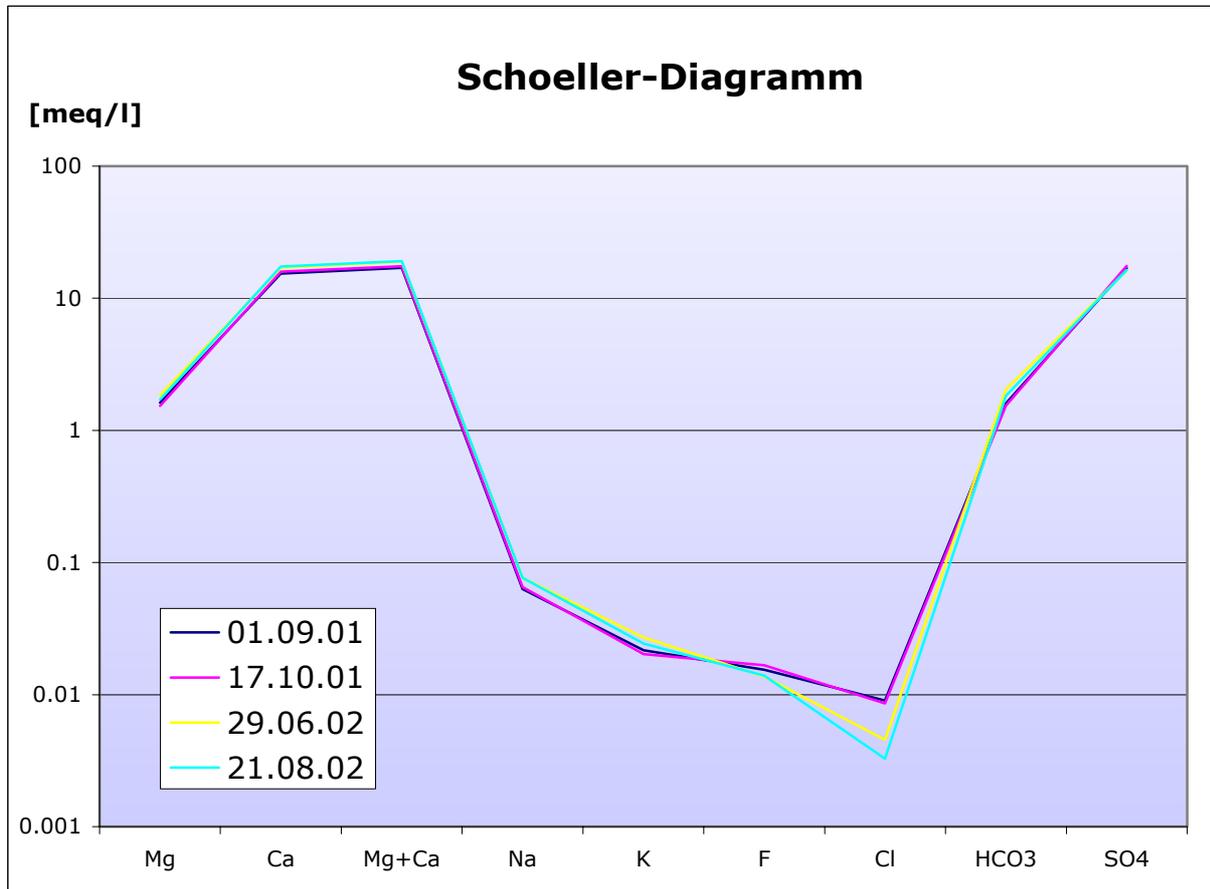
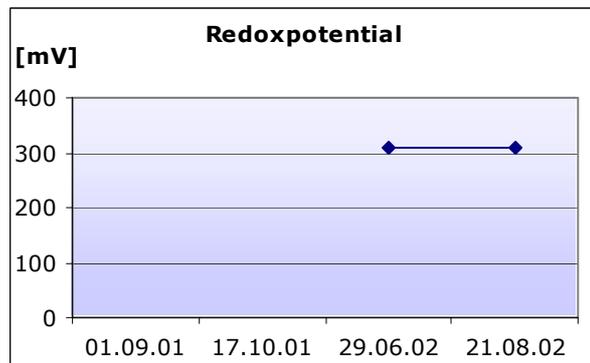
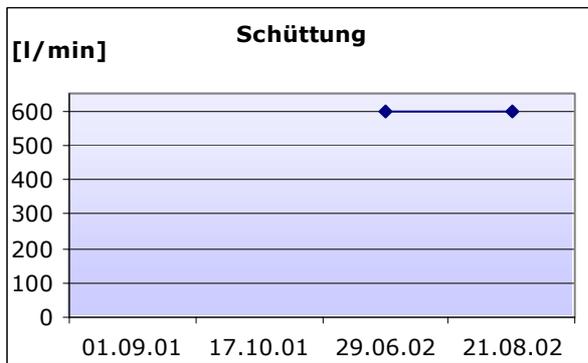
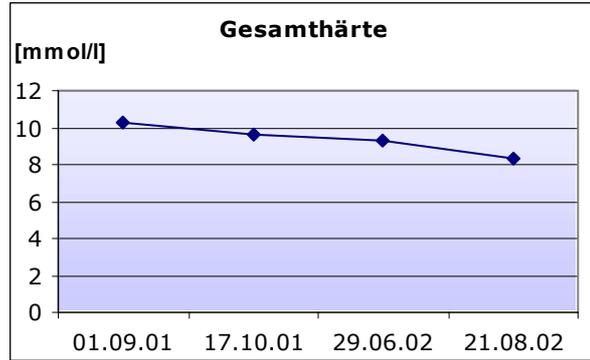
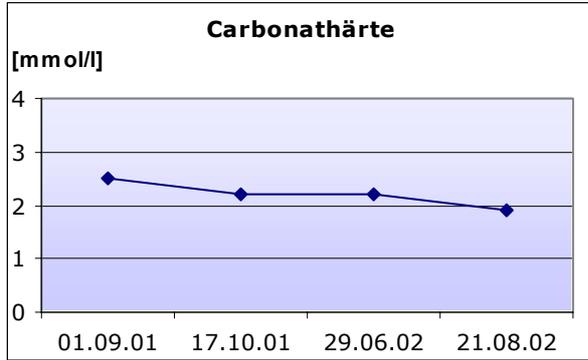
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	7.71	3.8	1406	7.69	2.5	10.3	n.b.	n.b.
17.10.01	7.63	3.7	1445	6.80	2.2	9.6	n.b.	n.b.
29.06.02	7.88	3.7	1370	1.07	2.2	9.3	600	309
21.08.02	7.28	4.3	1347	9.39	1.9	8.3	600	310

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.29	0.32	0.36	810.71	97.63	1.45	0.85	19.74	308.30
17.10.01	0.32	0.31	0.32	844.63	93.97	1.50	0.79	18.68	319.25
29.06.02	0.26	0.16	0.35	775.44	125.09	1.76	1.06	22.44	341.82
21.08.02	0.27	0.12	0.35	784.10	111.66	1.77	0.95	20.88	348.44





QE12

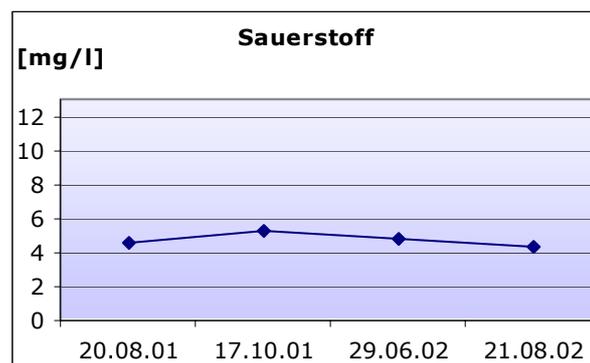
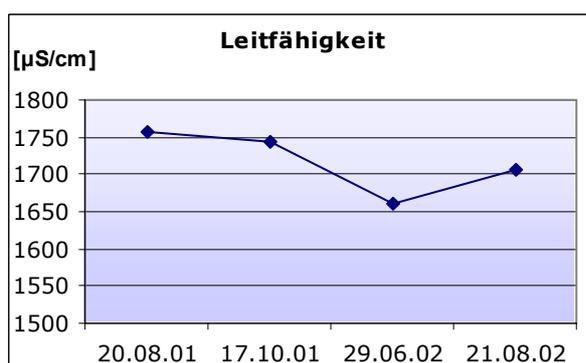
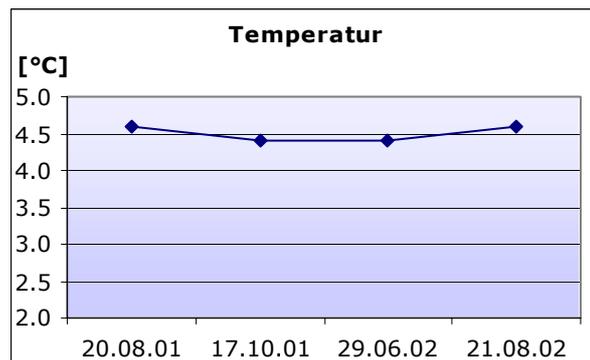
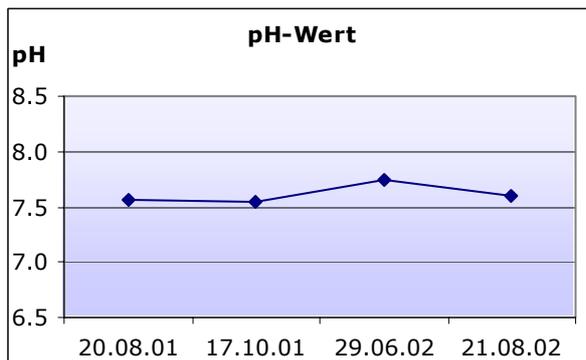
Koordinaten	799338.94/162340.25
Höhe [m ü.M.]	2050
Quellentyp	Lockergesteinsquelle
Gefasst	nein
Wassertyp	<u>Ca-(Mg)-SO₄</u>

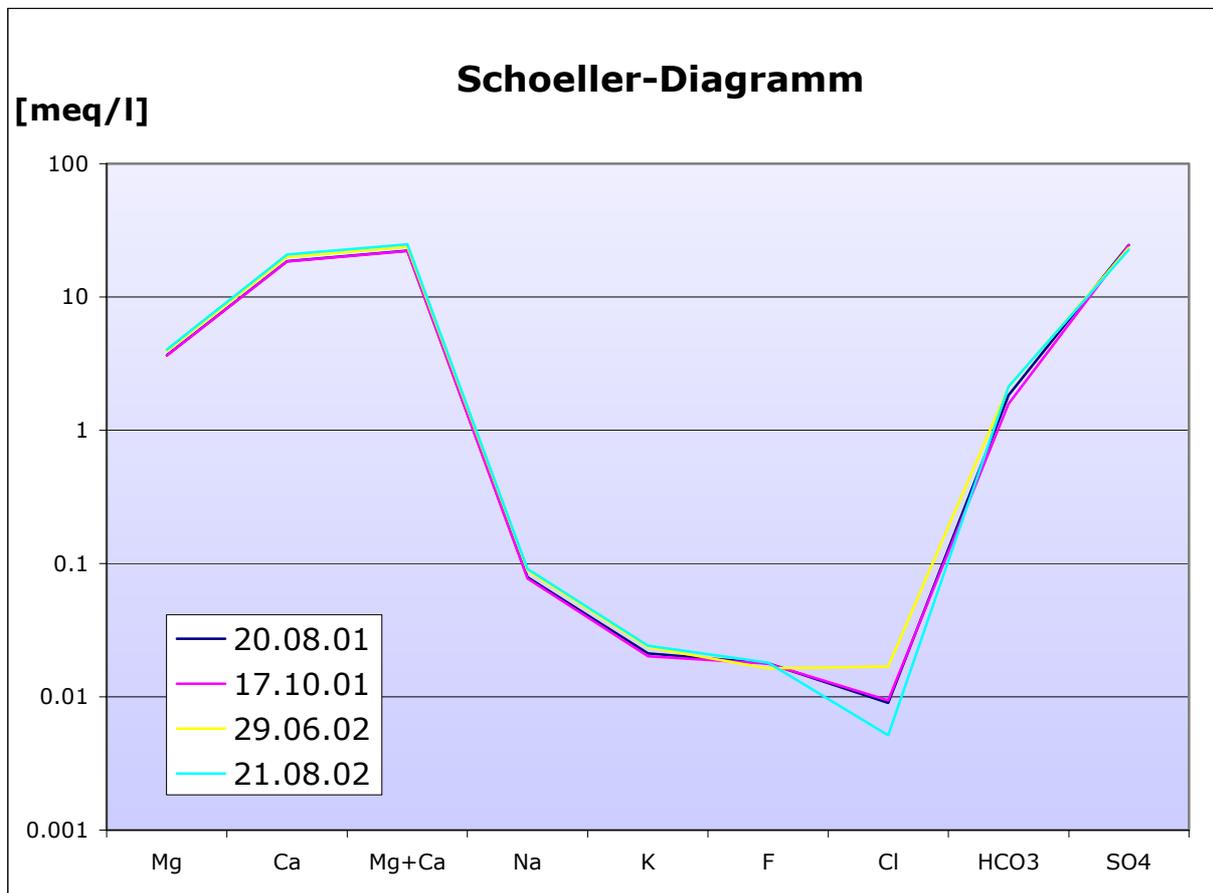
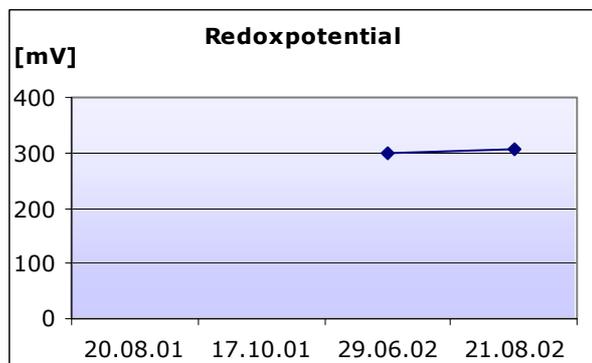
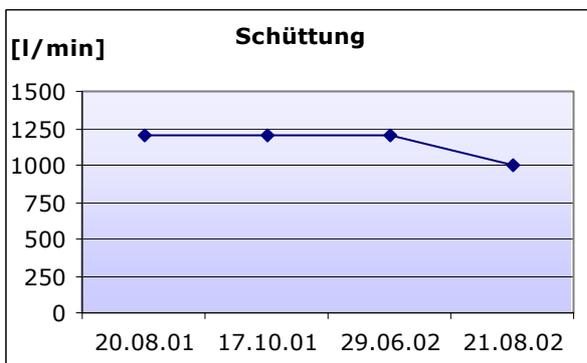
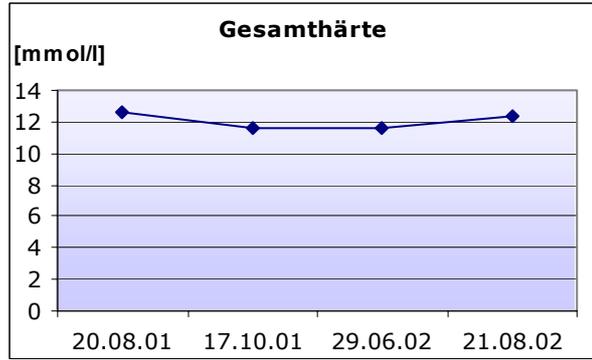
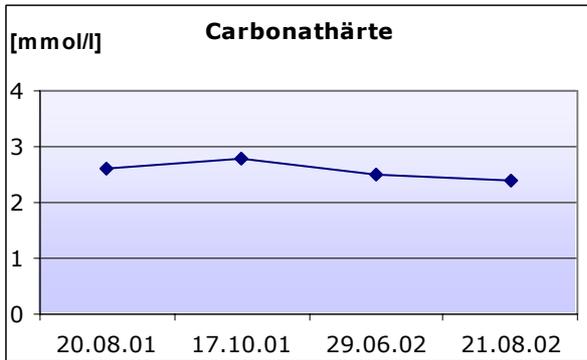
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	7.56	4.6	1758	4.62	2.6	12.6	1200	n.b.
17.10.01	7.55	4.4	1745	5.32	2.8	11.6	1200	n.b.
29.06.02	7.74	4.4	1661	4.75	2.5	11.6	1200	300
21.08.02	7.60	4.6	1706	4.29	2.4	12.4	1000	306

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.34	0.32	0.30	1182.01	111.66	1.81	0.83	44.28	372.13
17.10.01	0.34	0.33	0.29	1173.62	96.41	1.78	0.79	44.22	369.49
29.06.02	0.31	0.60	0.34	1119.74	128.14	2.04	0.92	47.68	398.07
21.08.02	0.34	0.18	0.24	1083.72	129.97	2.09	0.94	48.84	417.48





QE13

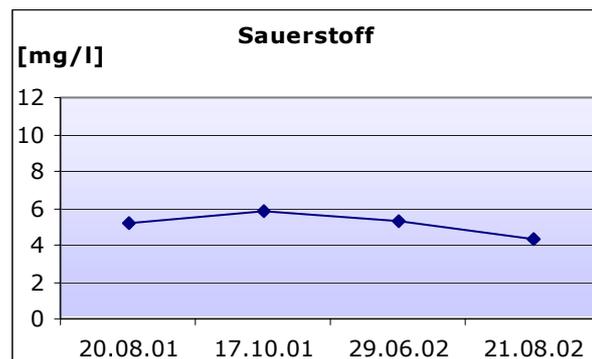
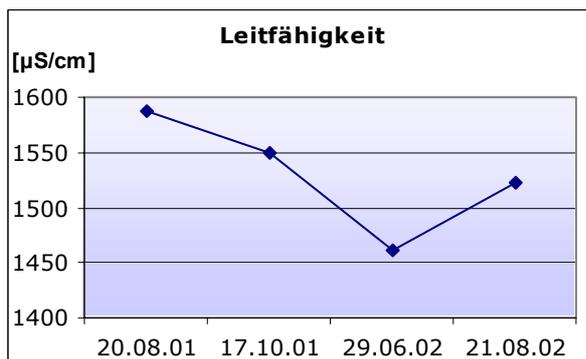
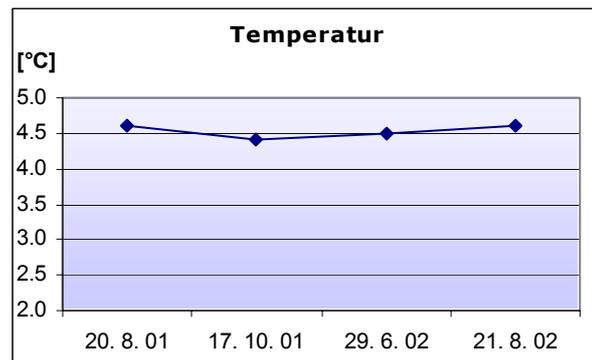
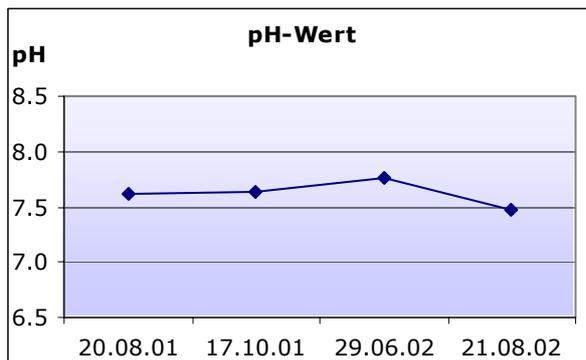
Koordinaten 799369.14/162326.65
Höhe [m ü.M.] 2050
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-(Mg)-SO₄

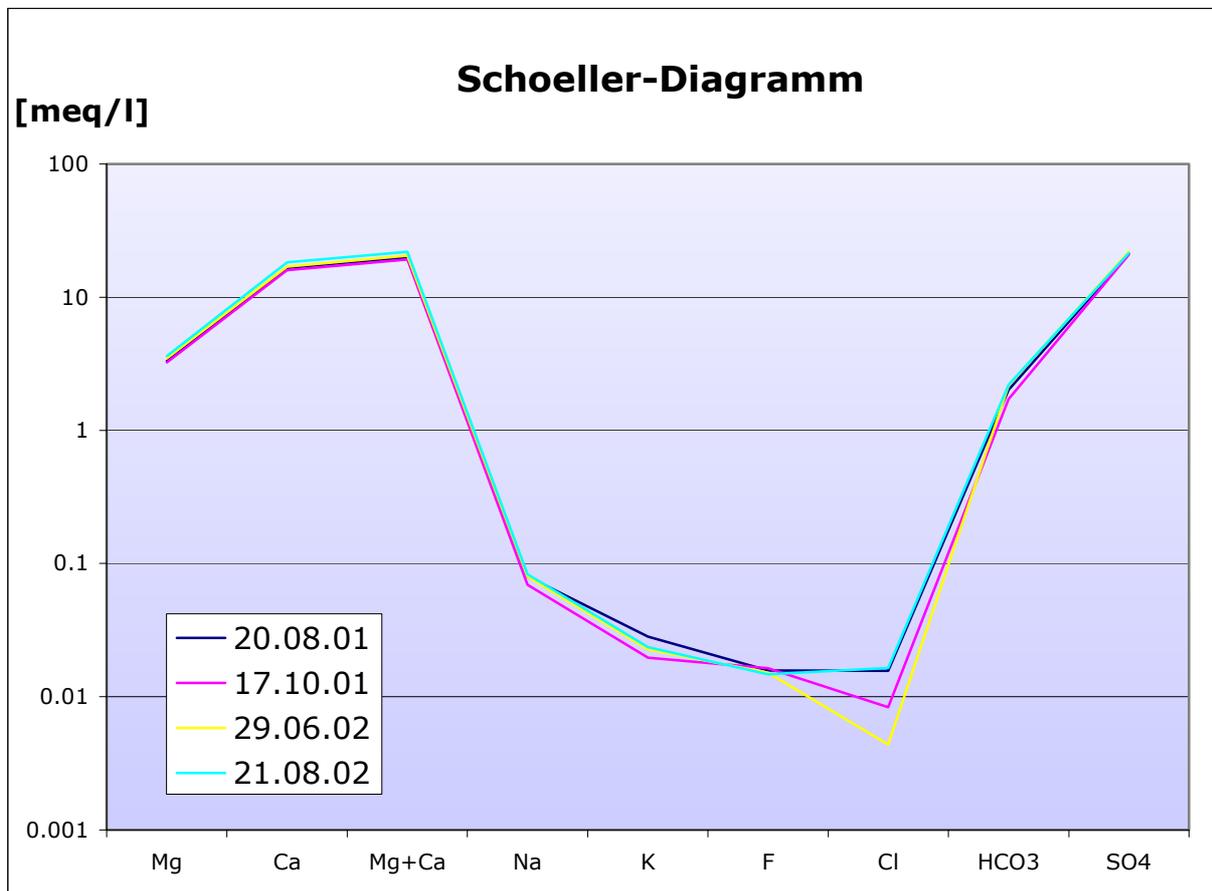
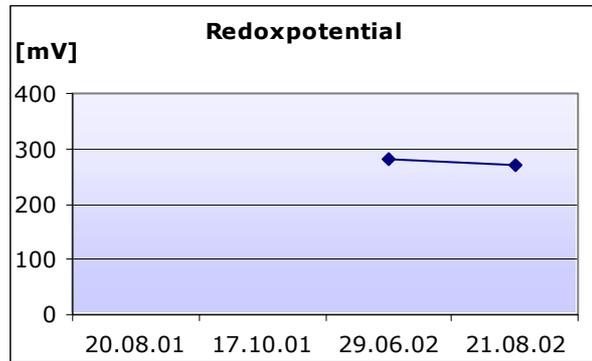
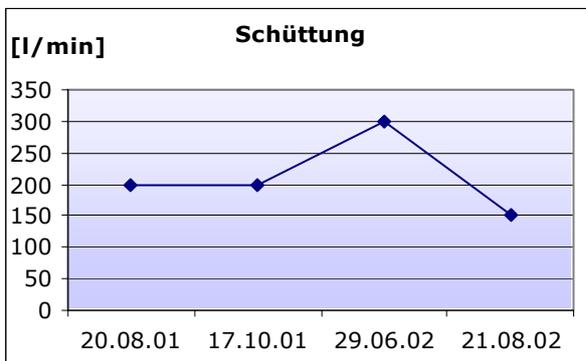
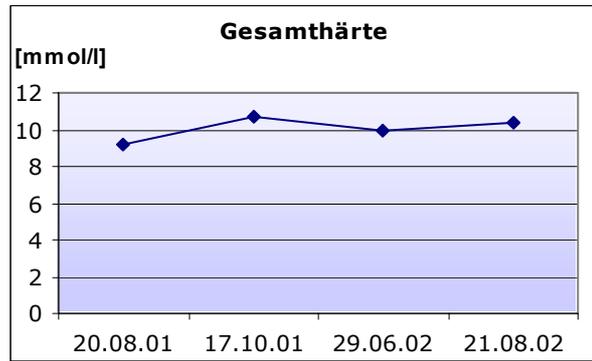
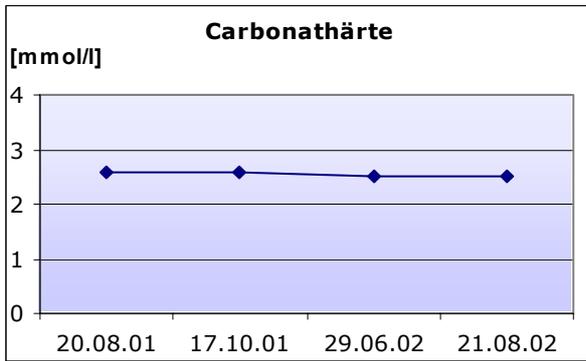
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
20.08.01	7.62	4.6	1587	5.16	2.6	9.2	200	n.b.
17.10.01	7.63	4.4	1549	5.89	2.6	10.7	200	n.b.
29.06.02	7.76	4.5	1461	5.25	2.5	10.0	300	280
21.08.02	7.48	4.6	1522	4.33	2.5	10.4	150	270

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
20.08.01	0.30	0.56	0.34	1015.51	122.64	1.83	1.11	40.18	333.22
17.10.01	0.31	0.30	0.30	997.52	104.34	1.60	0.77	39.25	320.48
29.06.02	0.29	0.16	0.28	1049.54	133.02	1.84	0.89	42.29	340.29
21.08.02	0.28	0.58	0.40	1027.39	134.24	1.91	0.92	43.81	366.38





QE75

Koordinaten 801417.24/160070.60
Höhe [m ü.M.] 2310
Quellentyp Punktquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-(Mg)-SO₄

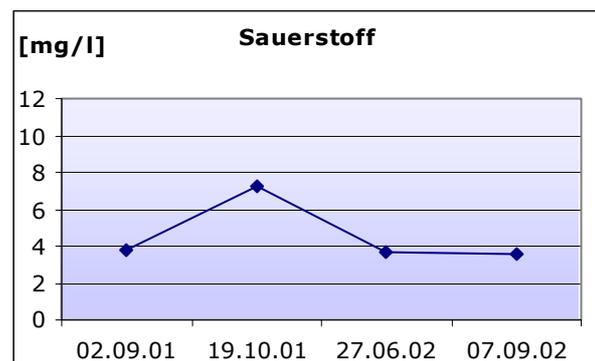
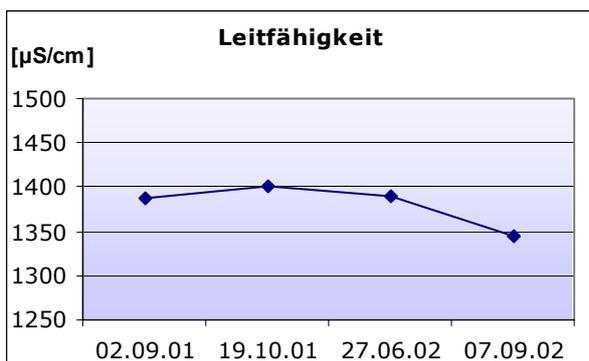
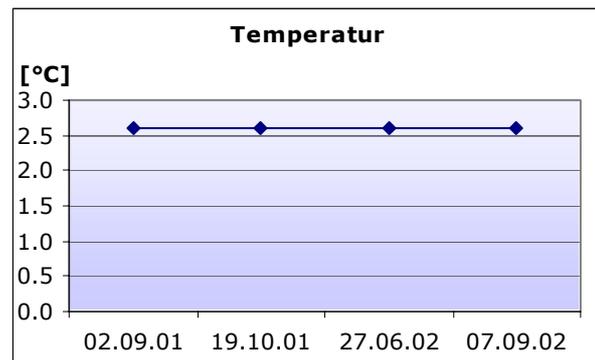
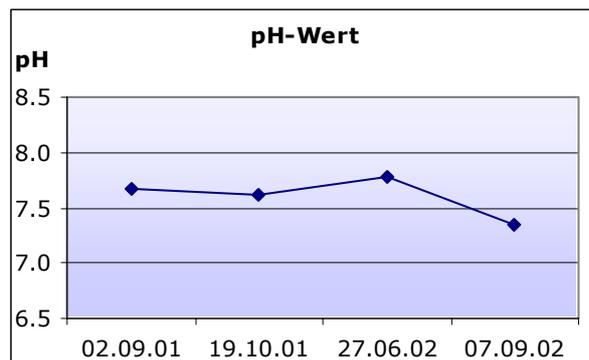
Bemerkungen riecht nach H₂S;
 ug = ungefilterte Probennahme

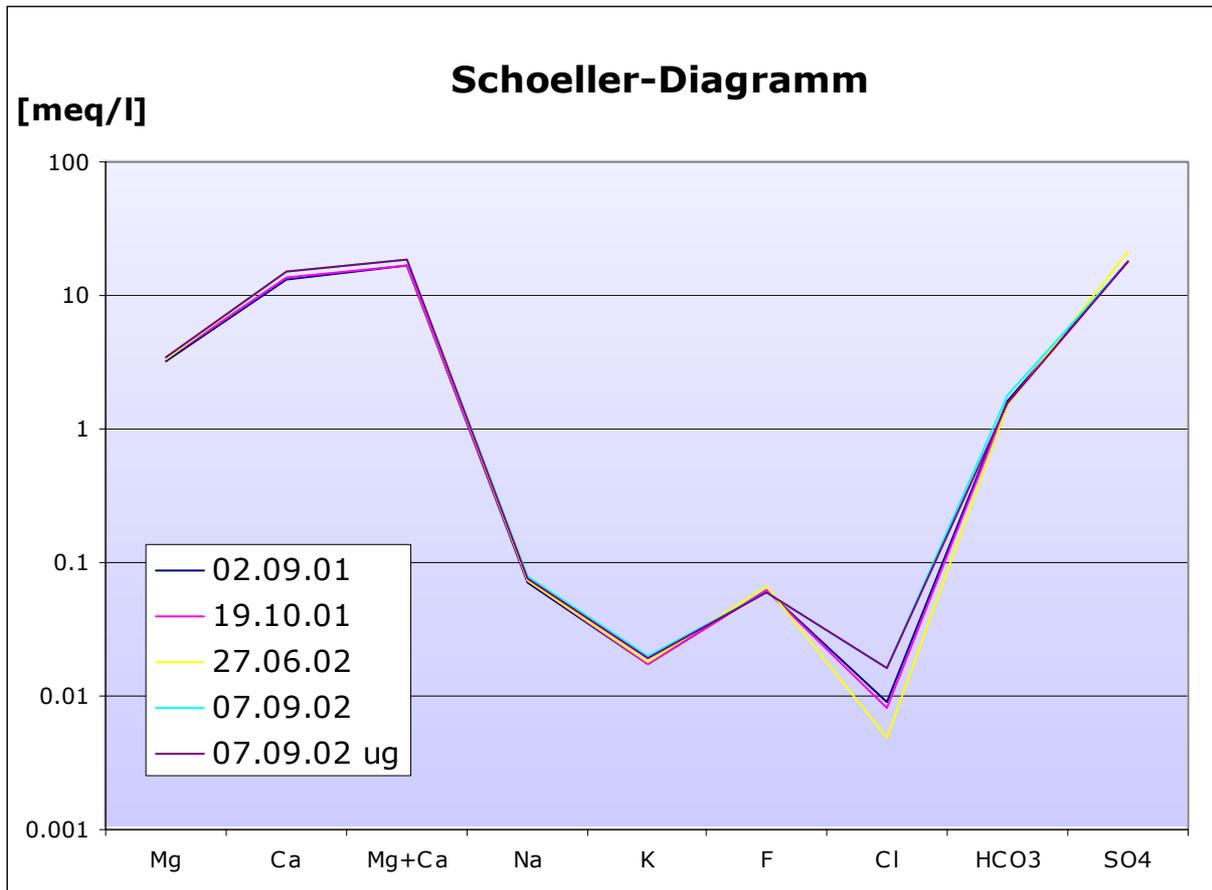
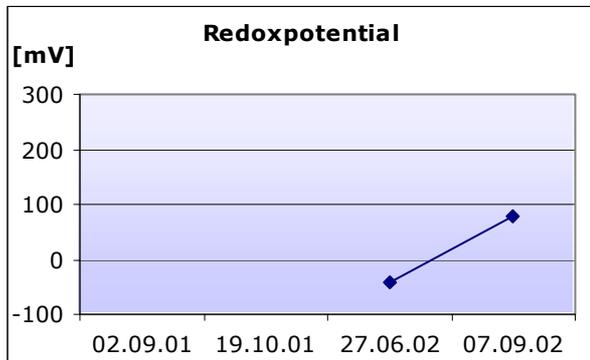
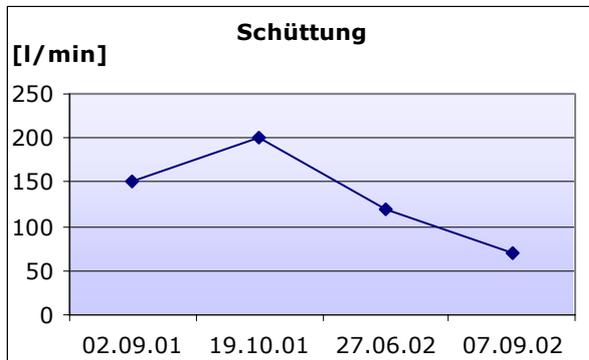
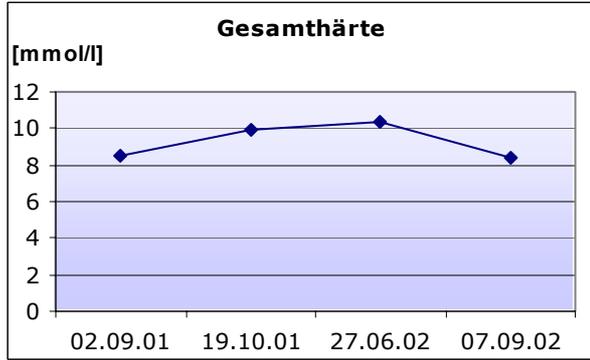
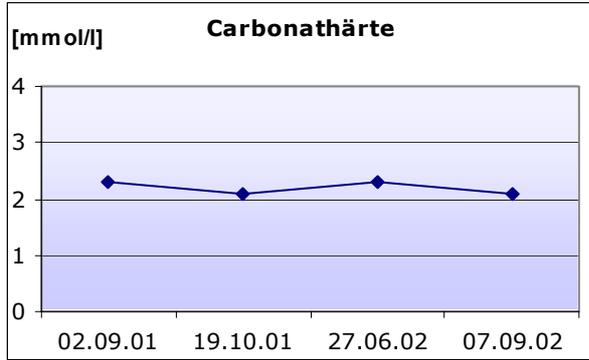
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	7.68	2.6	1388	3.75	2.3	8.5	150	n.b.
19.10.01	7.62	2.6	1401	7.25	2.1	9.9	200	n.b.
27.06.02	7.78	2.6	1389	3.72	2.3	10.4	120	-42
07.09.02	7.35	2.6	1345	3.61	2.1	8.4	70	77

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	1.17	0.32	0.18	858.61	100.07	1.64	0.69	39.57	266.51
19.10.01	1.16	0.29	0.17	875.11	94.58	1.66	0.68	39.94	271.34
27.06.02	1.25	0.17	0.00	1009.21	93.36	1.67	0.70	40.74	302.26
07.09.02	1.13	0.58	0.26	869.01	109.22	1.79	0.78	42.12	300.31
07.09.02 ug	1.12	0.58	0.23	870.66	95.80	1.77	0.76	41.96	299.54





5.8.4 Der Calcium-Magnesium-Sulfat-Typ

(Ca-Mg-SO₄-Typ)

Anzahl Quellen: 1
 Häufigkeit: 2 %
 Austrittsstelle: Kristallin

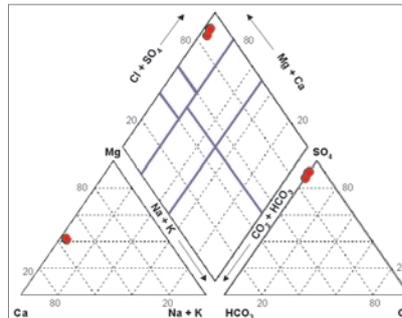


Abb. 5.10: Piper-Diagramm der Ca-Mg-SO₄-Quelle.

Besonderheiten:

Die Quelle QW₅₁ lässt sich aufgrund der Wasserchemie keinem anderen Grundwassertyp zuordnen. Im Piper-Diagramm zeigt sich die normalalkalisch-sulfatische Zusammensetzung (Abb. 5.10). Im Unterschied zum Ca-SO₄-Grundwassertyp besitzt die Quelle QW₅₁ einen deutlich erhöhten Magnesiumanteil.

Das Ca-Mg-SO₄-Grundwasser tritt aus den Gneisen auf der westlichen Talseite der Val Chaschauna. Die gewonnenen Messwerte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

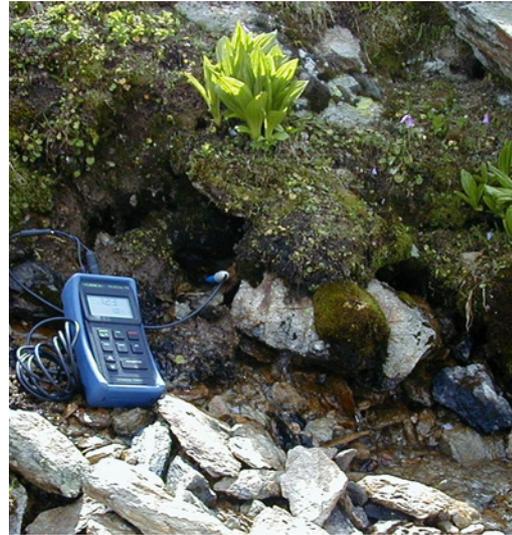
Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	1.33	1.99	1.63	0.3
Ca [mg/l]	20.65	36.72	28.70	8.0
Mg [mg/l]	9.44	17.11	13.32	3.8
K [mg/l]	0.68	0.86	0.75	0.1
Cl [mg/l]	0.12	0.29	0.22	0.1
SO ₄ [mg/l]	74.62	149.28	117.79	38.7
F [mg/l]	0.02	0.04	0.03	0.0
NO ₃ [mg/l]	0.43	0.57	0.51	0.1
HCO ₃ [mg/l]	13.42	18.31	15.25	2.7
pH	7.20	7.49	7.35	0.2
Temperatur [°C]	1.2	4.1	2.8	1.5
Redoxpotential [mV]	333	360	347	19.1
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	183	305	255	63.9
O ₂ [mg/l]	9.07	12.81	11.47	2.1
Carb. Härte [mmol/l]	0.3	0.4	0.4	0.1
Ges. Härte [mmol/l]	0.9	1.6	1.3	0.4
Schüttung [l/min]	6	8	7	1.4
Höhe [m ü.M.]	2620	2620	2620	0.0

Tab. 5.9: Chemische und physikalische Parameter des Ca-Mg-SO₄-Grundwassers.

QW51

Koordinaten 800005.92/160303.95
Höhe [m ü.M.] 2620
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)}$

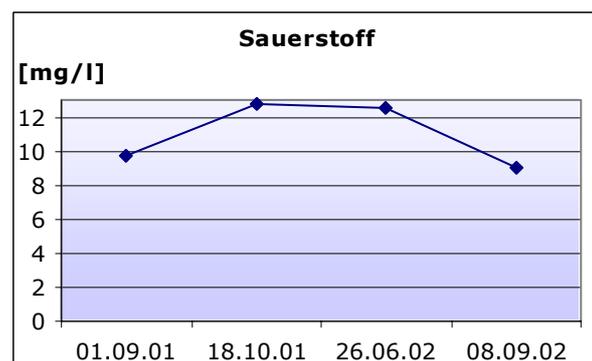
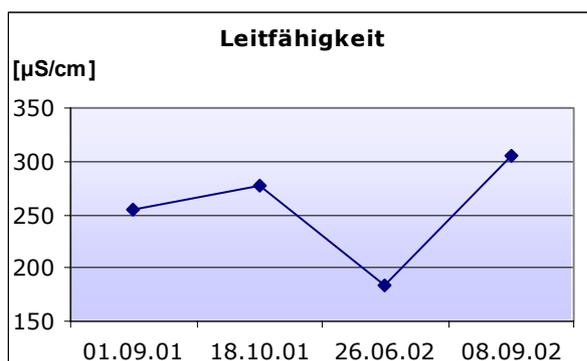
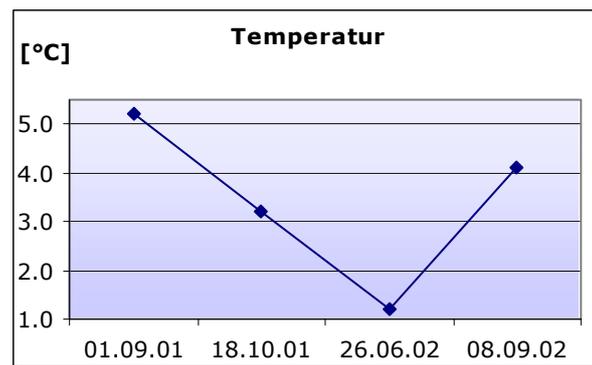
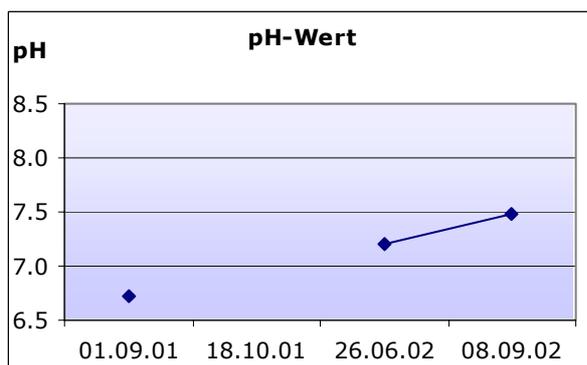
Bemerkungen IC-Analyse vom 01.09.01 ungenügend; pH-Wert vom 18.10.01 ungenügend

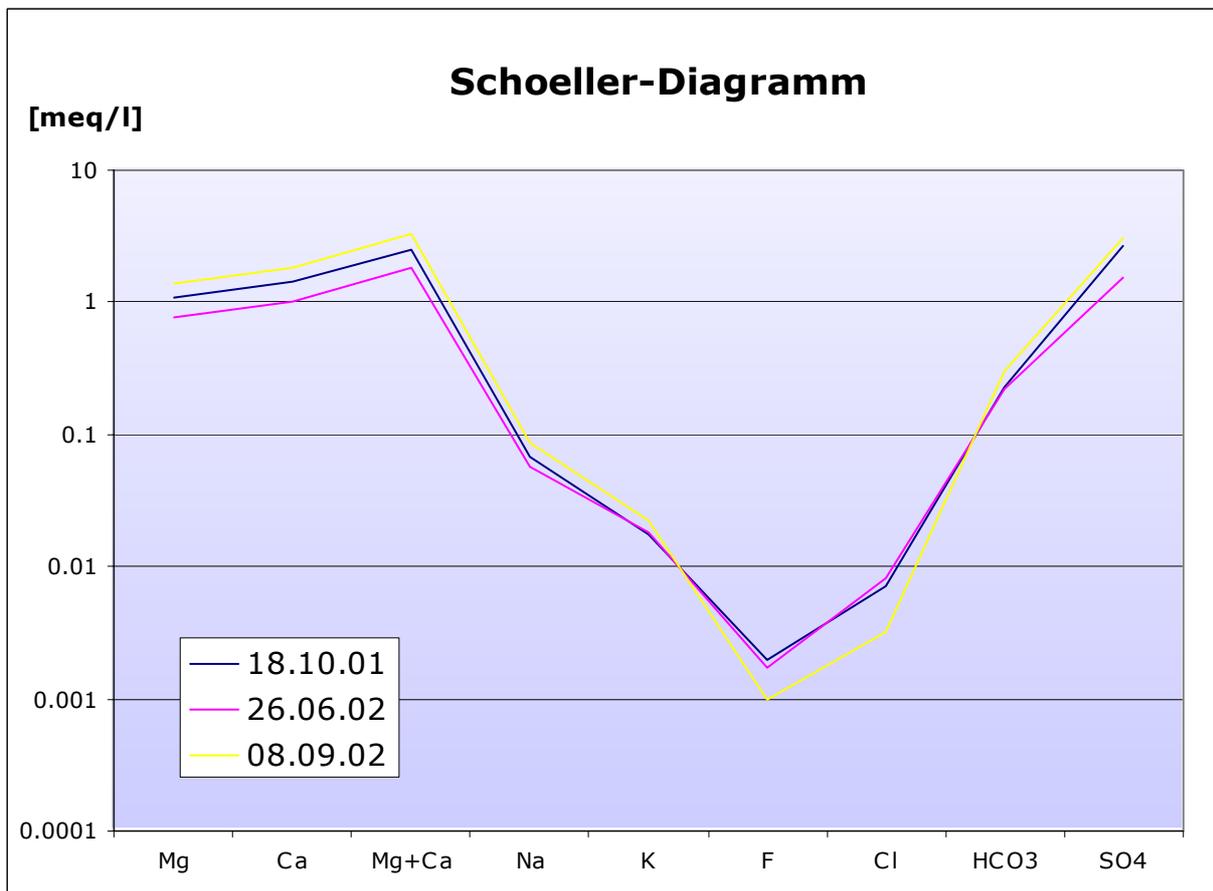
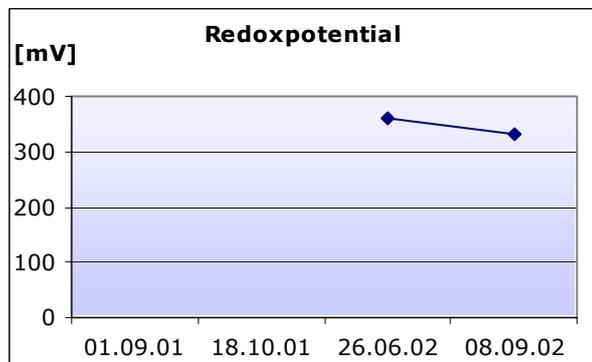
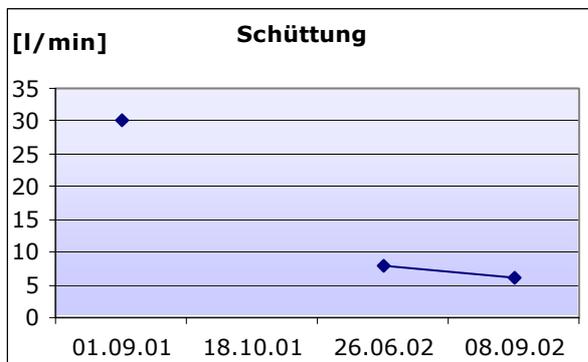
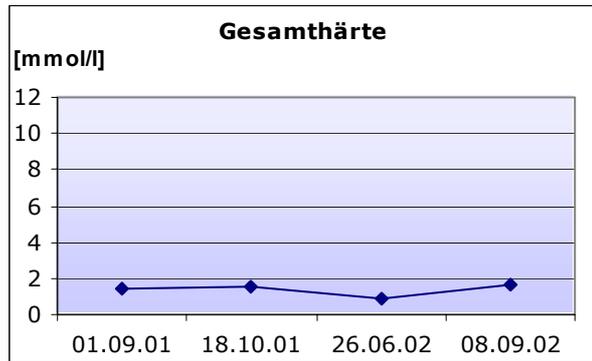
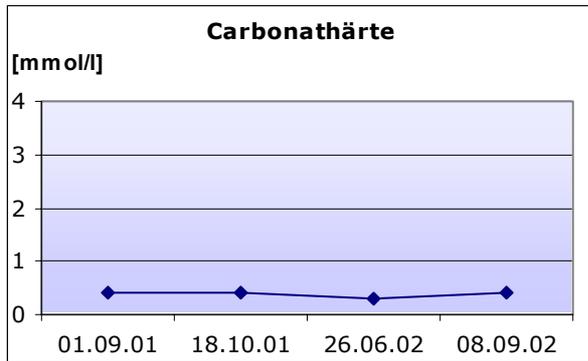
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	6.73	5.2	255	9.69	0.4	1.4	30	n.b.
18.10.01	3.34	3.2	277	12.81	0.4	1.5	n.b.	n.b.
26.06.02	7.2	1.2	183	12.53	0.3	0.9	8	360
08.09.02	7.49	4.1	305	9.07	0.4	1.6	6	333

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
18.10.01	0.04	0.25	0.43	129.48	14.03	1.56	0.68	13.42	28.72
26.06.02	0.03	0.29	0.57	74.62	13.42	1.33	0.71	9.44	20.65
08.09.02	0.02	0.11	0.52	149.28	18.31	1.99	0.86	17.11	36.72





5.8.5 Der Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Typ

(Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Typ)

Anzahl Quellen: 1
 Häufigkeit: 2 %
 Austrittsstelle: Kristallin

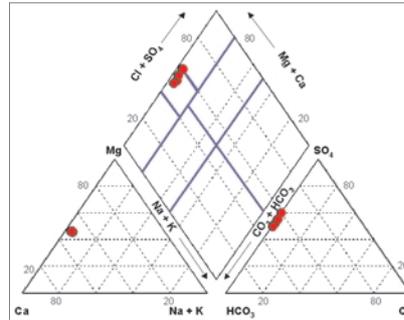


Abb. 5.11: Piper-Diagramm der Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Quelle.

Besonderheiten:

Die Quelle QW100 gehört zum Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Grundwassertyp. Aus dem Piper-Diagramm ist die normalalkalisch-hydrogencarbonatisch-sulfatische Zusammensetzung ablesbar (Abb. 5.11). Die Quelle liegt in der periglazialen Höhenstufe auf 2685 m ü.M. am Munt Chaschauna und hat dementsprechend ein kleines Einzugsgebiet. Die elektrische Leitfähigkeit ist mit durchschnittlich 124 µS/cm sehr gering und ist ein Hinweis auf eine kurze Verbleibzeit des Wassers im Untergrund. In der folgenden Tabelle sind alle erhobenen Messwerte eingetragen.

Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	0.67	0.92	0.79	0.1
Ca [mg/l]	11.29	16.64	13.10	2.4
Mg [mg/l]	6.33	9.19	7.28	1.3
K [mg/l]	0.30	0.45	0.37	0.1
Cl [mg/l]	0.09	0.30	0.19	0.1
SO ₄ [mg/l]	22.76	40.77	31.03	7.4
F [mg/l]	0.00	0.03	0.02	0.0
NO ₃ [mg/l]	0.20	0.59	0.36	0.2
HCO ₃ [mg/l]	28.68	34.17	32.03	2.7
pH	6.95	7.47	7.18	0.2
Temperatur [°C]	2.8	6.0	4.7	1.6
Redoxpotential [mV]	314	376	345	43.8
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	100	149	124	20.0
O ₂ [mg/l]	8.40	12.10	10.18	1.7
Carb. Härte [mmol/l]	0.5	1.0	0.7	0.2
Ges. Härte [mmol/l]	0.5	0.9	0.7	0.2
Schüttung [l/min]	5	7	6	1.0
Höhe [m ü.M.]	2685	2685	2685	0.0

Tab. 5.10: Chemische und physikalische Parameter des Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Grundwassertyps.

QW100

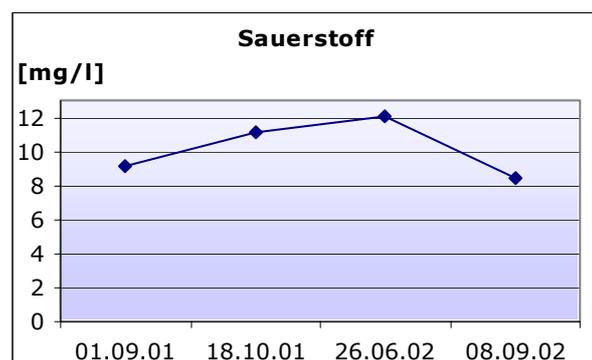
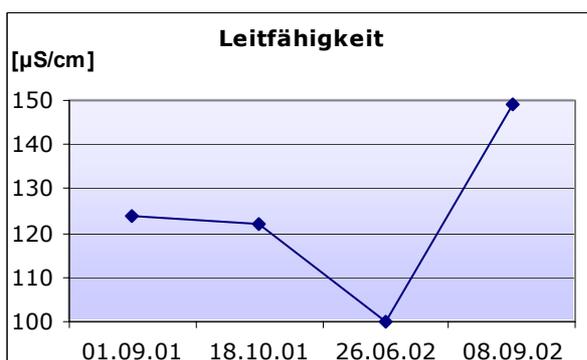
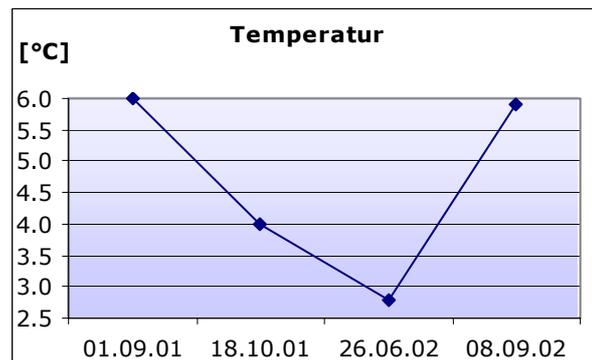
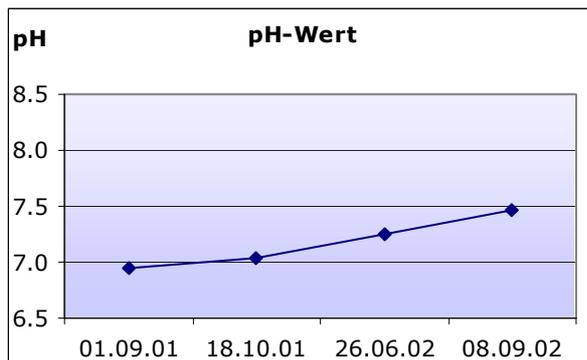
Koordinaten 800020.62/159768.83
Höhe [m ü.M.] 2685
Quellentyp Punktquelle
Gefasst nein
Wassertyp Ca-Mg-SO₄-HCO₃

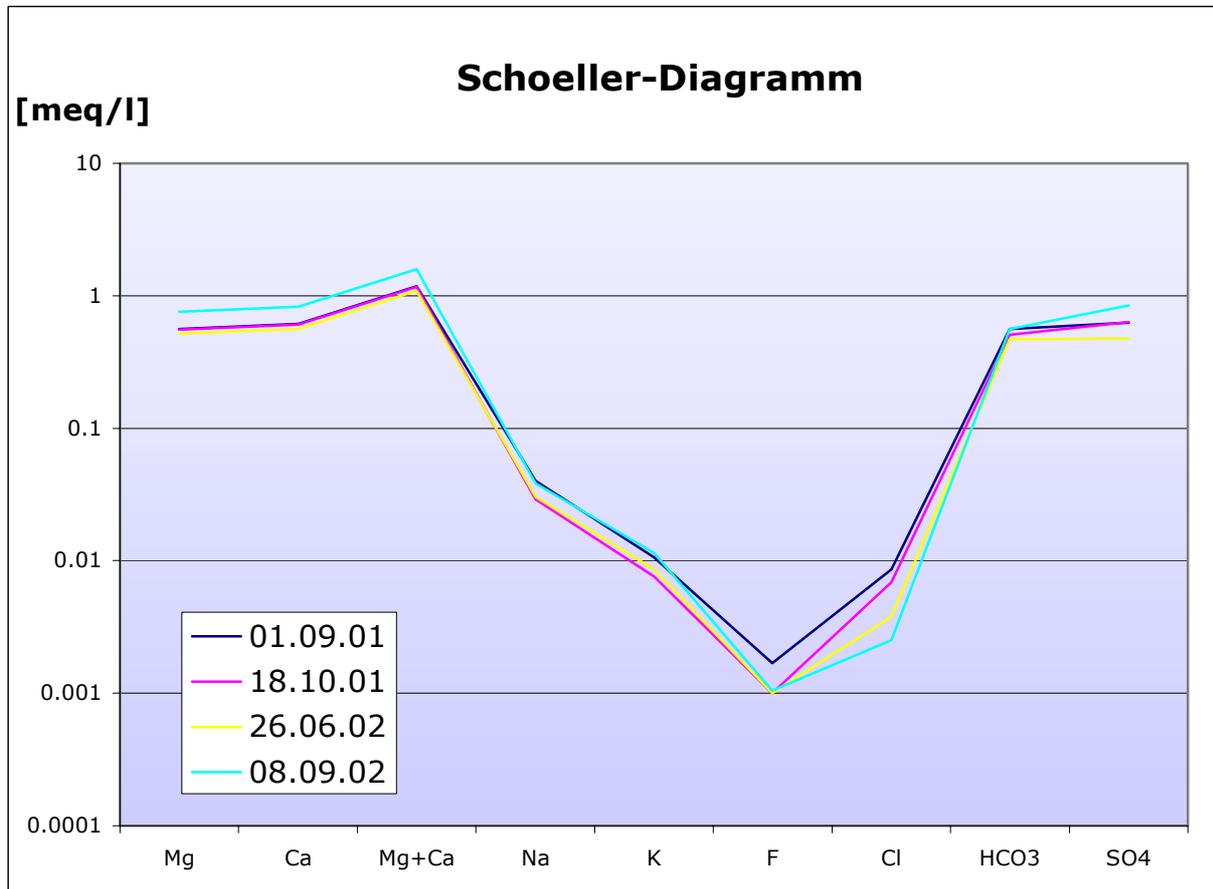
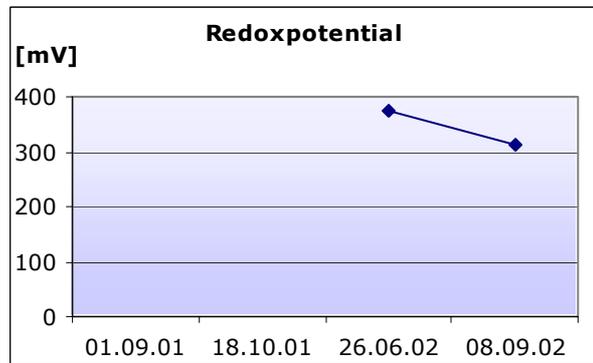
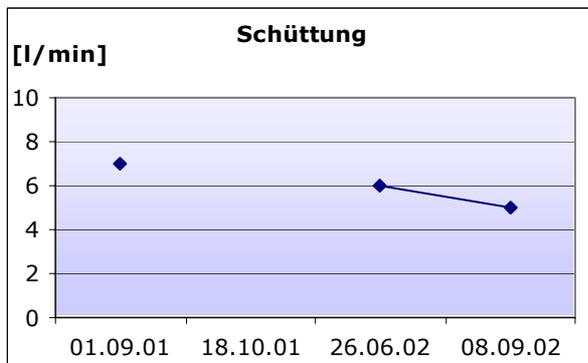
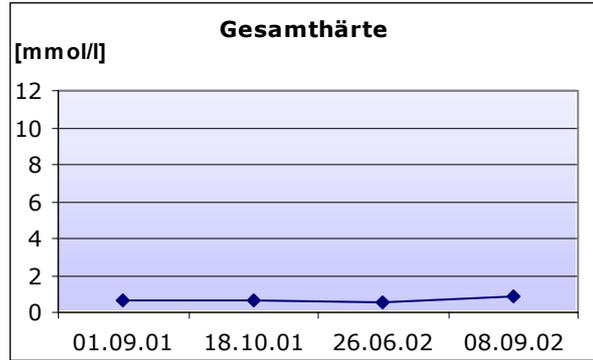
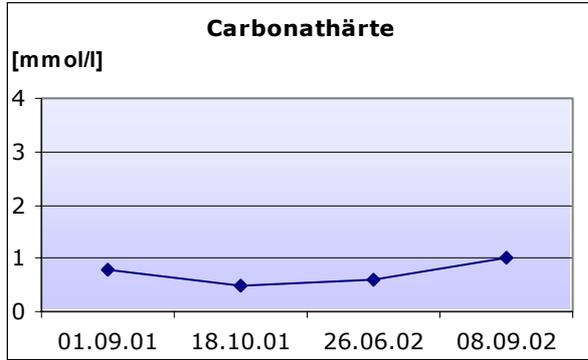
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
01.09.01	6.95	6.0	124	9.14	0.8	0.7	7	n.b.
18.10.01	7.04	4.0	122	11.08	0.5	0.7	n.b.	n.b.
26.06.02	7.25	2.8	100	12.10	0.6	0.5	6	376
08.09.02	7.47	5.9	149	8.40	1.0	0.9	5	314

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
01.09.01	0.03	0.30	0.20	30.05	34.17	0.92	0.41	6.85	12.33
18.10.01	0.01	0.25	0.38	30.53	31.12	0.67	0.30	6.72	12.16
26.06.02	0.00	0.14	0.59	22.76	28.68	0.70	0.34	6.33	11.29
08.09.02	0.02	0.09	0.29	40.77	34.17	0.89	0.45	9.19	16.64





5.8.6 Der Magnesium-Calcium-Hydrogencarbonat-Typ

(Mg-Ca-HCO₃-Typ)

Anzahl Quellen: 4
 Häufigkeit: 9 %
 Austrittsstelle: Kristallin (Orthogneis)

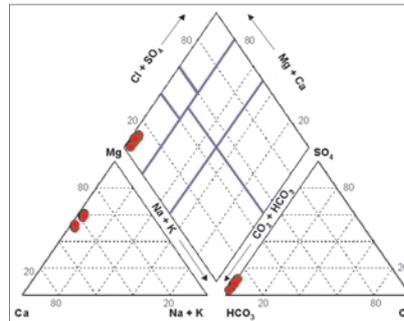


Abb. 5.12: Verteilung der Mg-Ca- HCO₃-Quellen im Piper-Diagramm.

Besonderheiten:

Das Mg-Ca-HCO₃-Wasser tritt nur auf der östlichen Talseite der Val Chaschauna zu Tage. Bei allen Quellen dieses Typs ist Orthogneis das Austrittsgestein. Bei den Anionen ist Hydrogencarbonat das dominante Anion, wogegen bei den Kationen Calcium und Magnesium in ähnlichen Konzentrationen vorkommen. Im Piper-Diagramm befinden sich die Wasserproben im normalalkalisch-hydrogencarbonatischen Bereich (Abb.5.12).

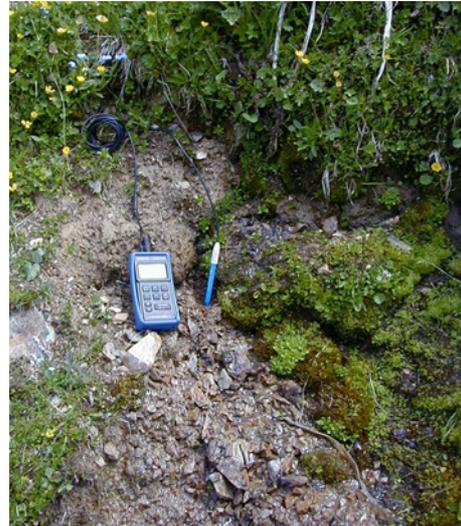
Die Quelle QE72 ist eine besonders interessante Quelle, weil das Wasser mit einer Schüttung von bis zu 150 l/min direkt aus dem anstehenden Orthogneis austritt.

Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	0.33	1.95	1.26	0.5
Ca [mg/l]	12.34	30.80	19.26	5.4
Mg [mg/l]	12.38	21.90	17.13	3.5
K [mg/l]	0.46	1.94	0.74	0.5
Cl [mg/l]	0.03	0.29	0.17	0.1
SO ₄ [mg/l]	3.35	14.87	9.37	4.3
F [mg/l]	0.01	0.07	0.03	0.0
NO ₃ [mg/l]	0.00	1.56	0.38	0.5
HCO ₃ [mg/l]	81.76	169.63	123.80	29.5
pH	7.51	8.36	7.90	0.3
Temperatur [°C]	2.1	6.4	4.2	1.7
Redoxpotential [mV]	232	312	283	35.6
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	139	300	212	49.2
O ₂ [mg/l]	1.39	14.32	10.75	4.0
Carb. Härte [mmol/l]	1.5	3.1	2.2	0.5
Ges. Härte [mmol/l]	0.9	1.8	1.3	0.3
Schüttung [l/min]	0.2	150.0	48.1	63.9
Höhe [m ü.M.]	2375	2405	2388	16.0

Tab. 5.11: Chemische und physikalische Parameter des Mg-Ca-HCO₃-Grundwassertyps.

QE71

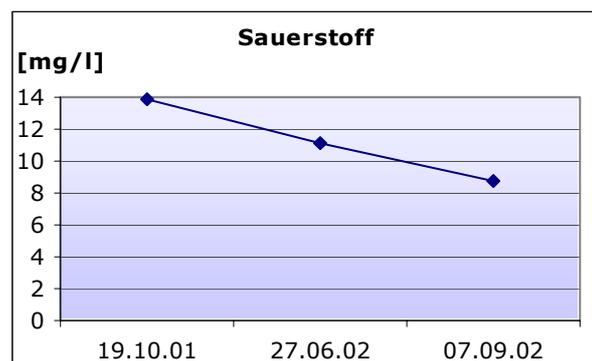
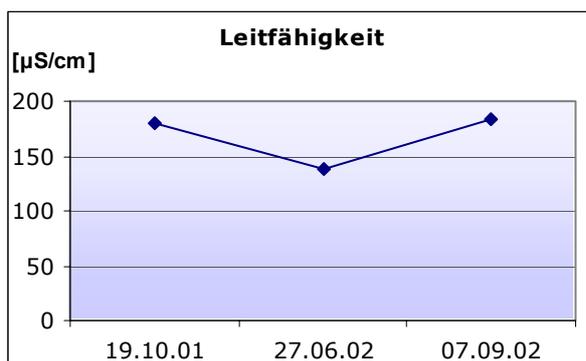
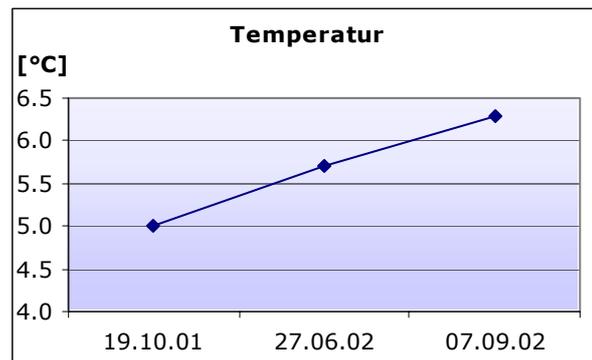
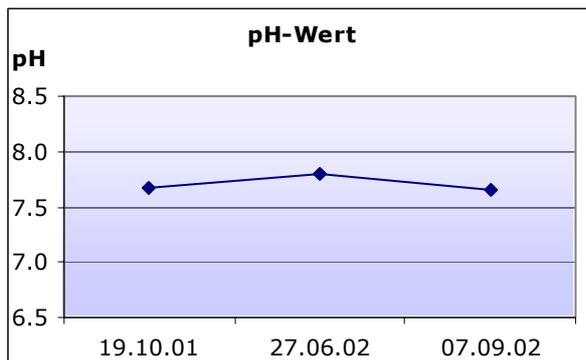
Koordinaten 801432.76/160511.66
Höhe [m ü.M.] 2405
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Mg-Ca-HCO₃

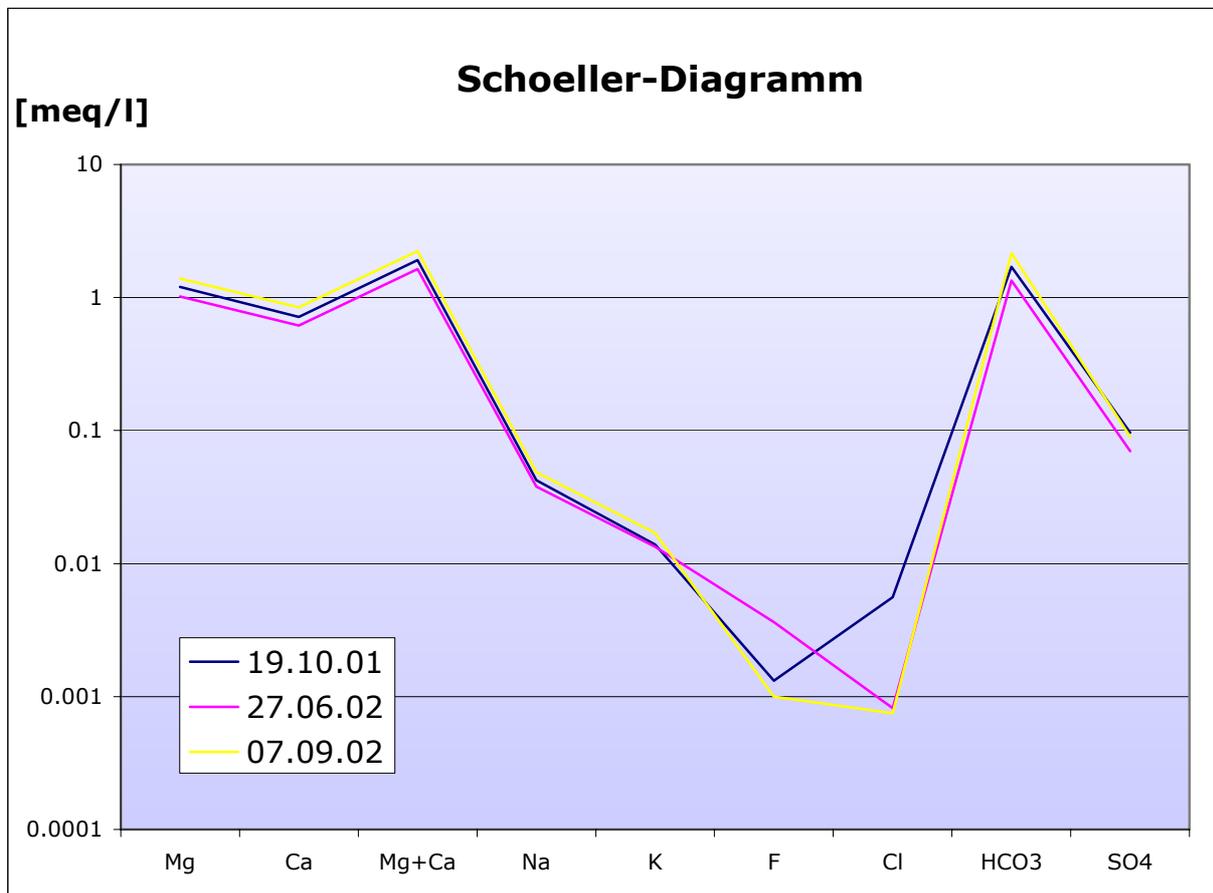
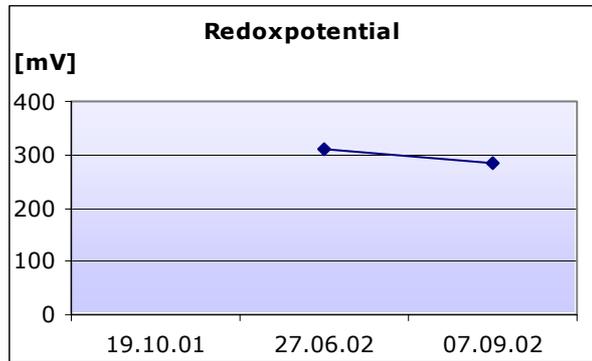
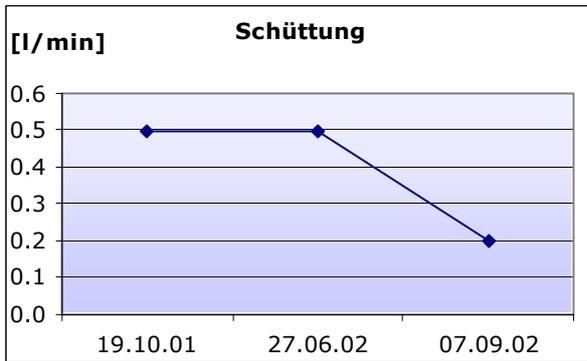
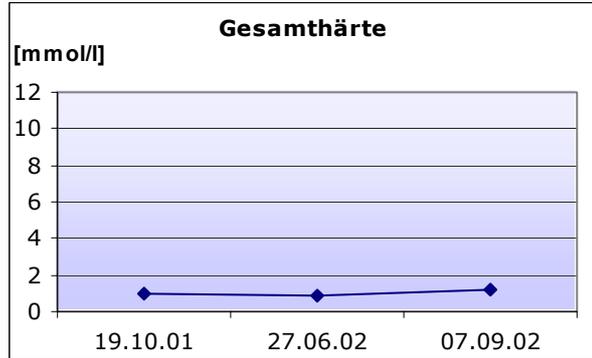
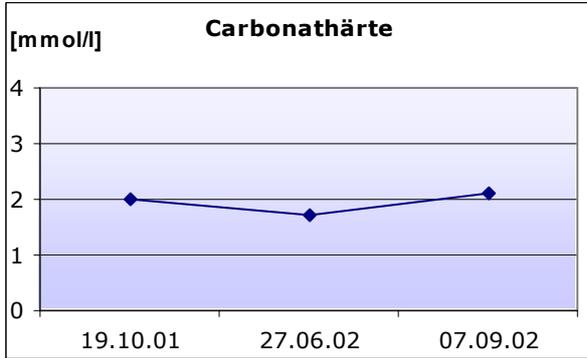
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
19.10.01	7.68	5.0	180	13.93	2.0	1.0	0.5	n.b.
27.06.02	7.79	5.7	139	11.12	1.7	0.9	0.5	312
07.09.02	7.66	6.3	184	8.74	2.1	1.2	0.2	285

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
19.10.01	0.03	0.20	0.00	4.63	103.73	0.97	0.54	14.59	14.31
27.06.02	0.07	0.03	0.00	3.35	81.76	0.87	0.52	12.37	12.34
07.09.02	0.01	0.03	0.00	4.31	131.80	1.12	0.66	16.84	16.92





QE72

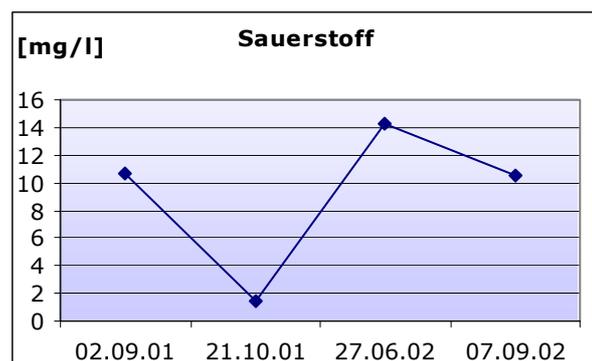
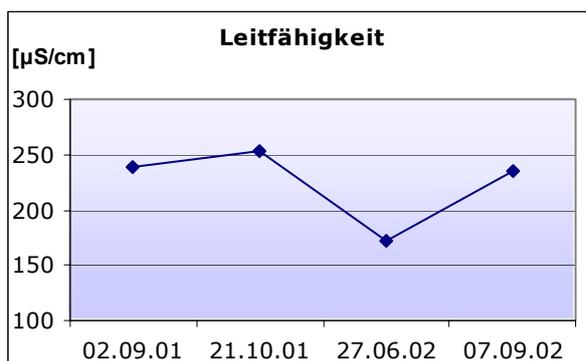
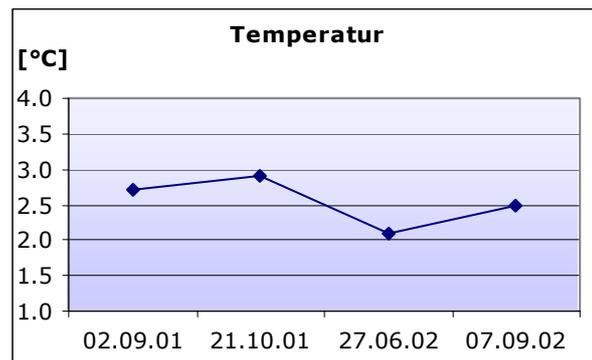
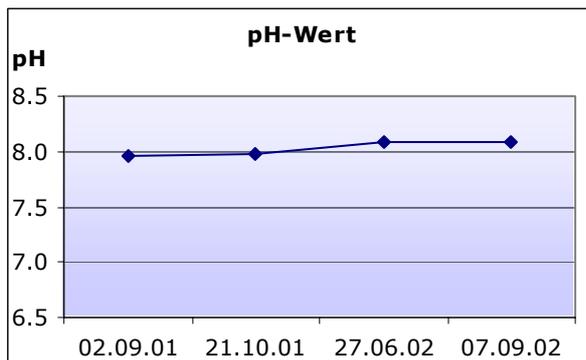
Koordinaten 801540.92/160743.07
Höhe [m ü.M.] 2375
Quellentyp Kluftquelle
Gefasst nein
Wassertyp Mg-Ca-HCO₃-(SO₄)

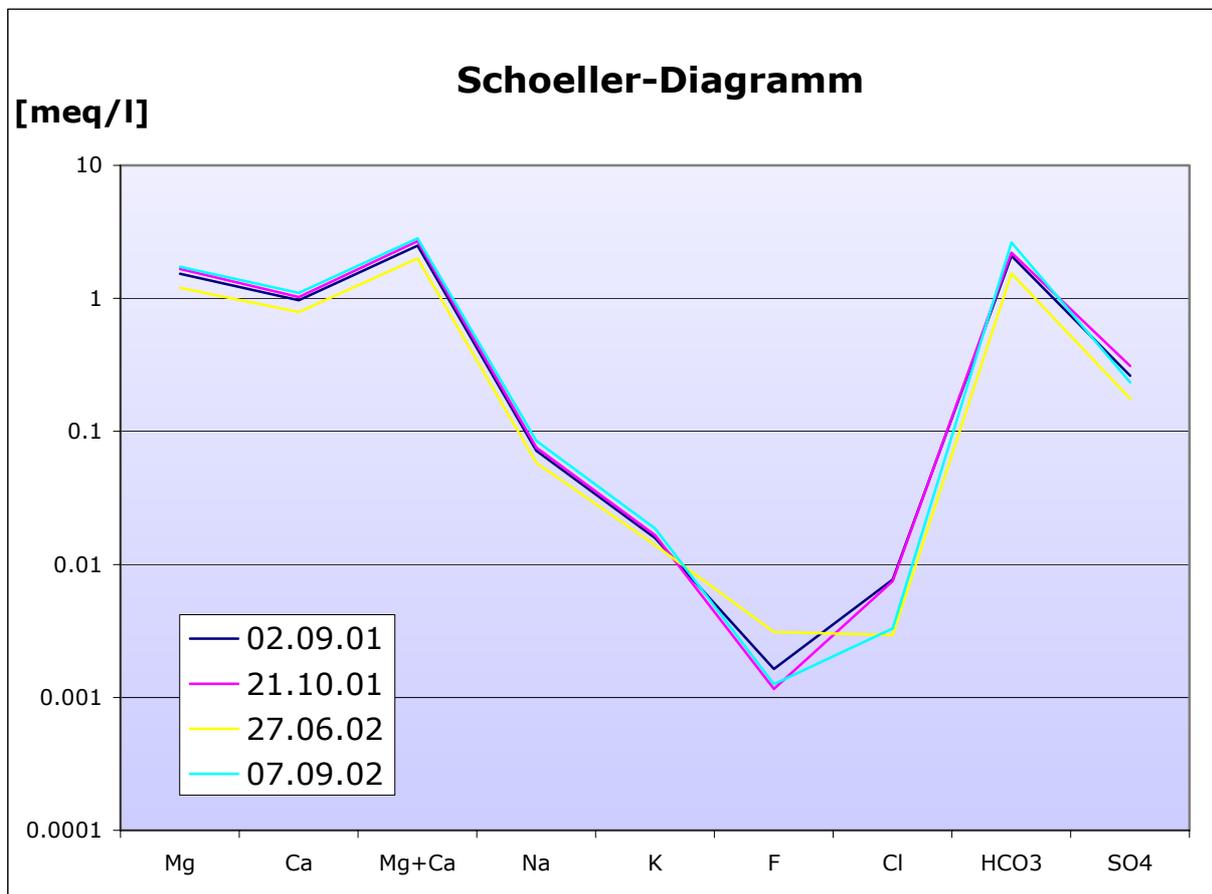
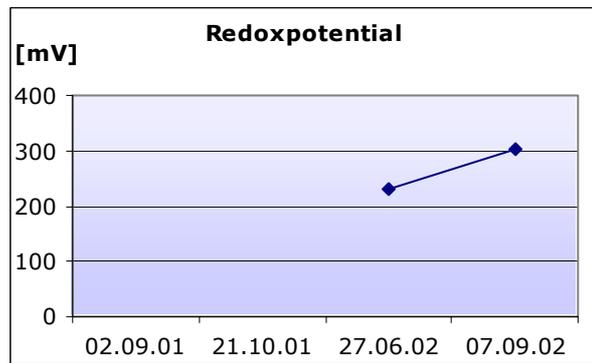
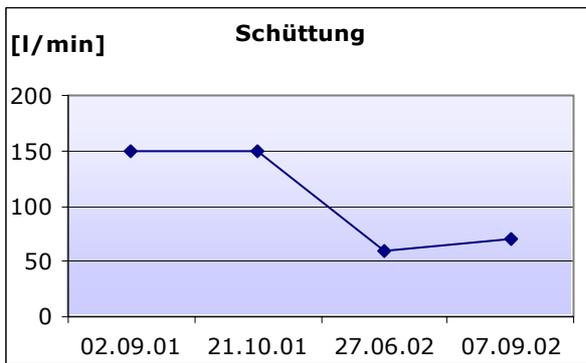
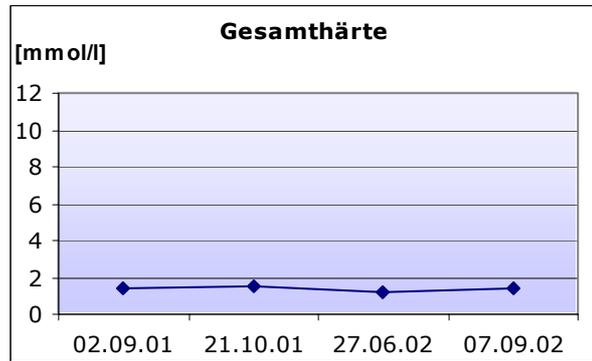
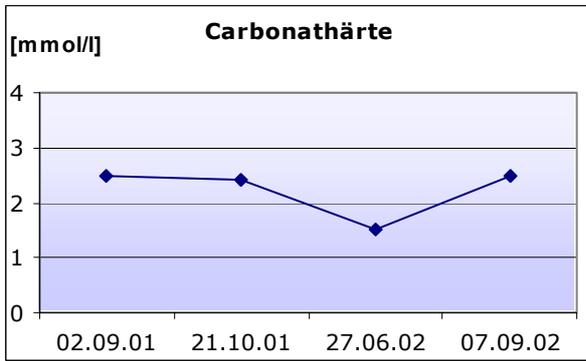
Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
02.09.01	7.96	2.7	238	10.73	2.5	1.4	150	n.b.
21.10.01	7.98	2.9	253	1.39	2.4	1.5	150	n.b.
27.06.02	8.09	2.1	172	14.32	1.5	1.2	60	232
07.09.02	8.08	2.5	235	10.54	2.5	1.4	70	302

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
02.09.01	0.03	0.27	0.43	12.60	127.53	1.64	0.62	18.60	19.42
21.10.01	0.02	0.27	0.46	14.87	134.85	1.74	0.65	20.24	20.53
27.06.02	0.06	0.10	0.46	8.45	93.97	1.34	0.55	14.63	15.83
07.09.02	0.02	0.12	0.51	11.23	161.09	1.95	0.73	21.09	22.08





QE99

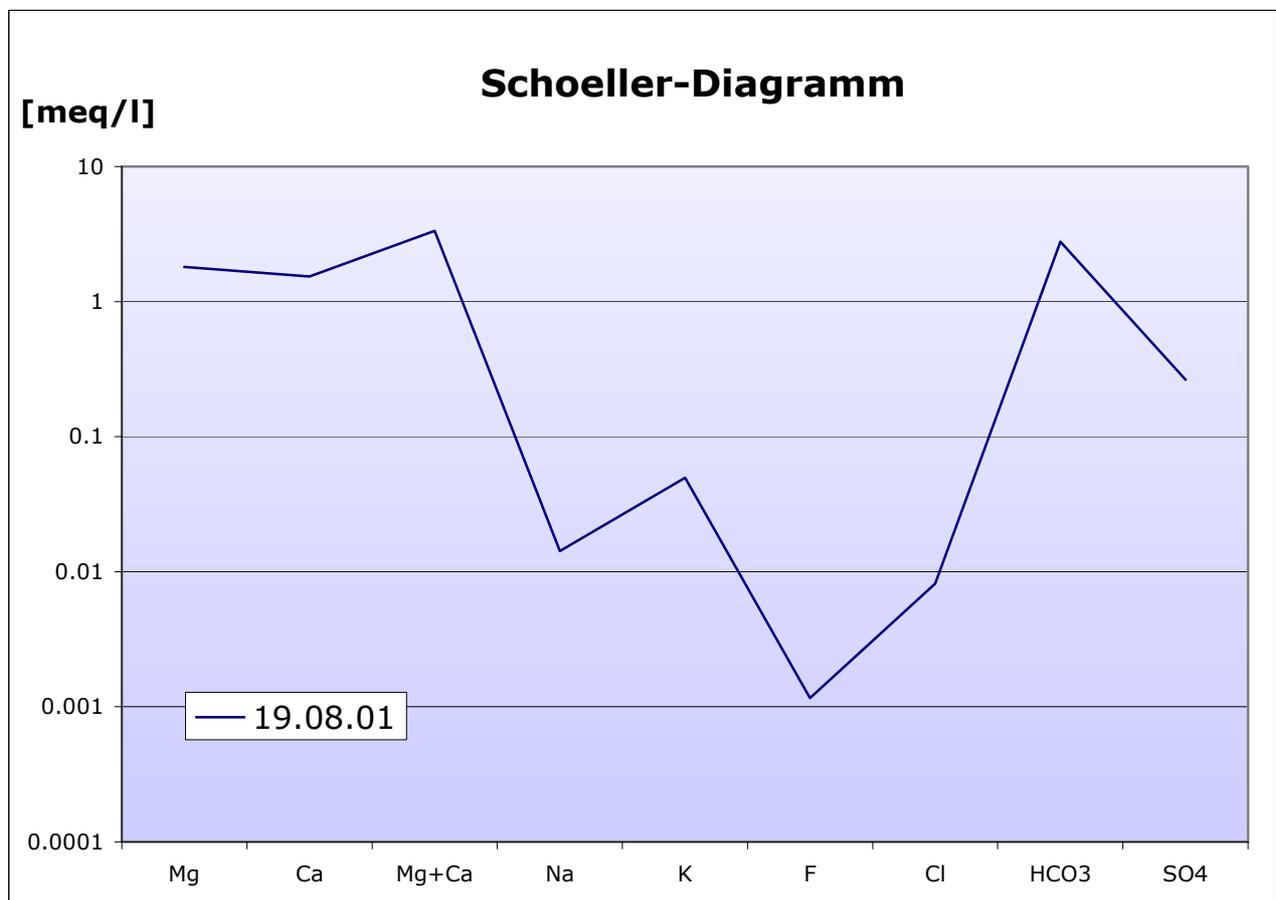
Koordinaten 802118.58/160937.16
Höhe [m ü.M.] 2580
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Mg-Ca-HCO₃

Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
19.08.01	8.36	6.4	300	12.42	3.1	1.8	1	n.b.

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
19.08.2001	0.02	0.29	1.56	12.66	169.63	0.33	1.94	21.90	30.80



QE204

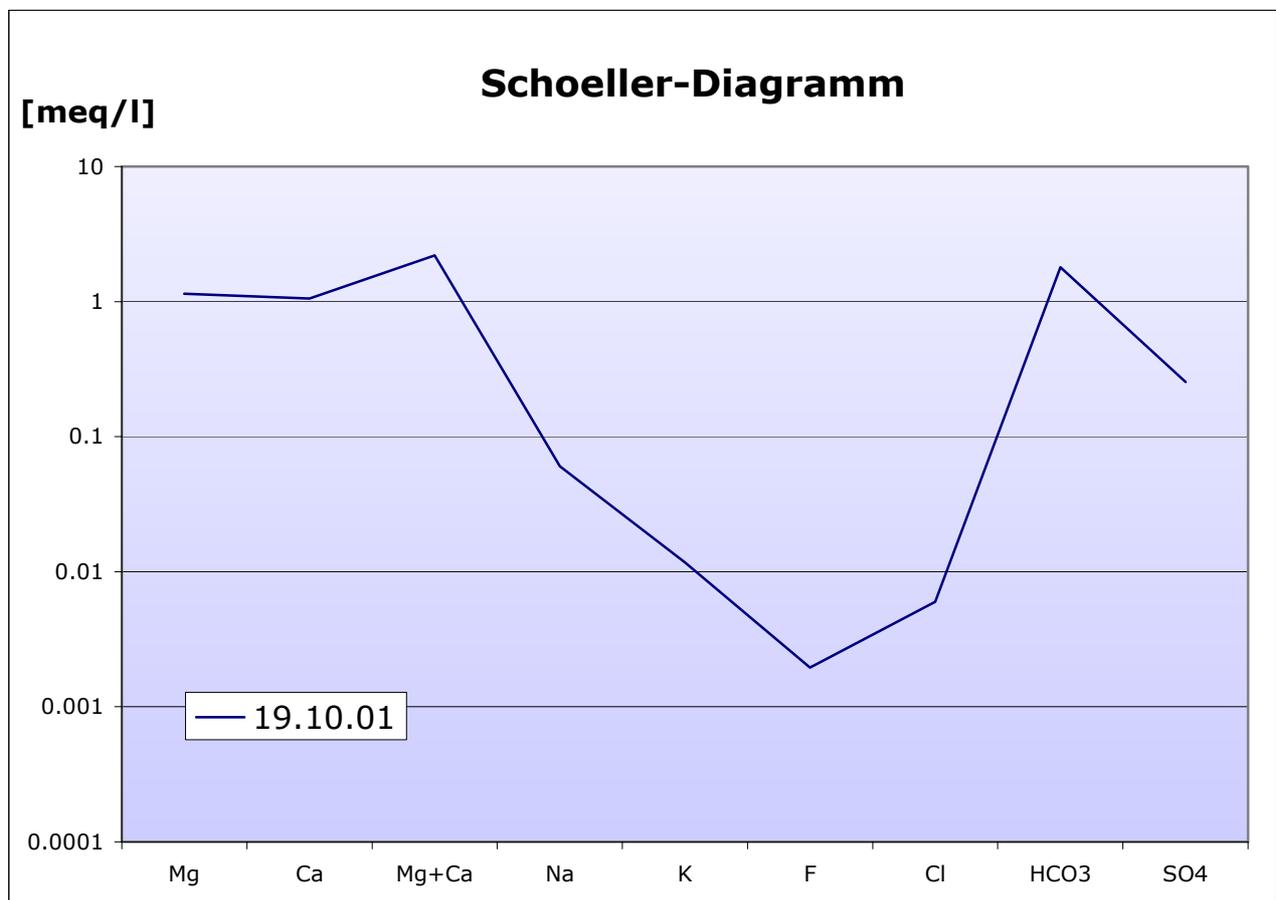
Koordinaten 801459.82/159765.30
Höhe [m ü.M.] 2540
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Mg-Ca-HCO₃-(SO₄)

Bemerkungen**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
19.10.01	7.51	4.0	209	13.55	2.2	1.3	1.0	n.b.

Labormessungen

Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen- carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
19.10.01	0.04	0.21	0.00	12.24	109.83	1.39	0.46	13.89	21.13



5.8.7 Der Magnesium-Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Typ

(Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Typ)

Anzahl Quellen: 1
 Häufigkeit: 2 %
 Austrittsstelle: aktiver Blockgletscher

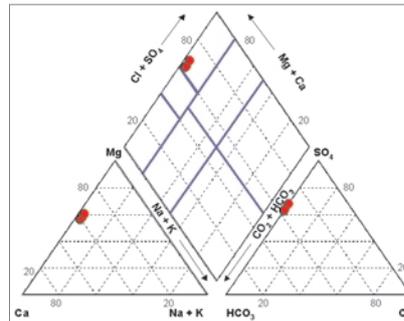


Abb. 5.13: Piper-Diagramm der Quelle QE77.

Besonderheiten:

Die Quelle QE77 ist nicht nur aufgrund der Wasserchemie eine eigenständige Quelle, sondern erlangt auch wegen der Austrittsstelle besondere Beachtung. Die Quelle befindet sich direkt unterhalb eines aktiven Blockgletschers. Die Wasserzusammensetzung weist Calcium und Magnesium in ähnlichen Konzentrationen auf. Sulfat ist mit bis zu 147 mg/l relativ häufig vertreten. Im Piper-Diagramm sind die Wasserproben im normalalkalisch-sulfatischen Bereich. Die elektrische Leitfähigkeit ist mit bis zu 518 µS/cm deutlich höher, als man für reines Schmelzwasser erwarten würde. Offenbar finden im Blockgletscher bedeutende Gestein-Wasser-Interaktionen statt. Die tiefen Wassertemperaturen von durchschnittlich 1.2 °C während den Sommermonaten sind ein deutliches Anzeichen dafür, dass sich noch Eis im Blockgletscher befindet.

Messwerte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std. Abweich.
Na [mg/l]	2.36	2.93	2.73	0.3
Ca [mg/l]	30.56	43.60	37.81	6.6
Mg [mg/l]	26.95	38.53	33.75	6.0
K [mg/l]	0.97	1.21	1.07	0.1
Cl [mg/l]	0.16	0.32	0.22	0.1
SO ₄ [mg/l]	107.83	169.08	147.90	34.7
F [mg/l]	0.01	0.01	0.01	0.0
NO ₃ [mg/l]	0.66	0.96	0.82	0.2
HCO ₃ [mg/l]	79.93	127.53	103.73	23.8
pH	7.25	7.93	7.53	0.4
Temperatur [°C]	0.7	1.7	1.2	0.5
Redoxpotential [mV]	320	338	329	12.7
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	321	518	431	100.5
O ₂ [mg/l]	8.72	14.12	11.91	2.8
Carb. Härte [mmol/l]	1.6	2.8	2.2	0.6
Ges. Härte [mmol/l]	1.9	3.0	2.6	0.6
Schüttung [l/min]	0.5	25.0	9.5	13.5
Höhe [m ü.M.]	2600	2600	2600	30.0

Tab. 5.12: Chemische und physikalische Parameter des Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Grundwassertyps.

QE77

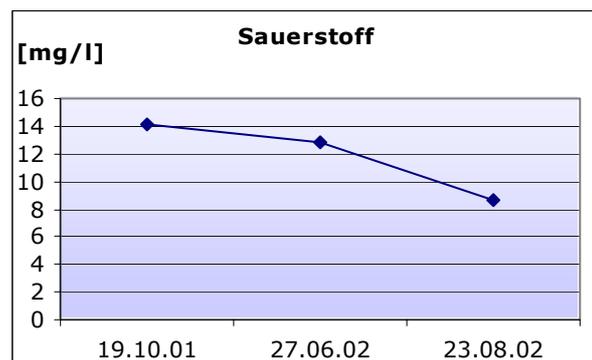
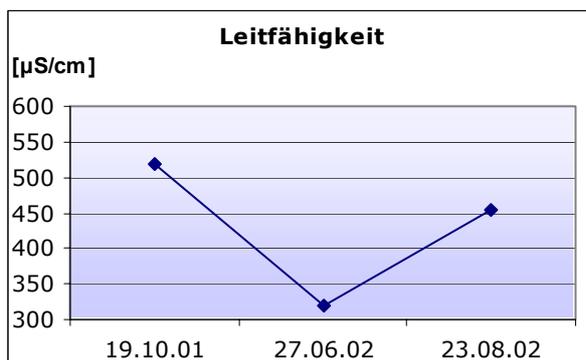
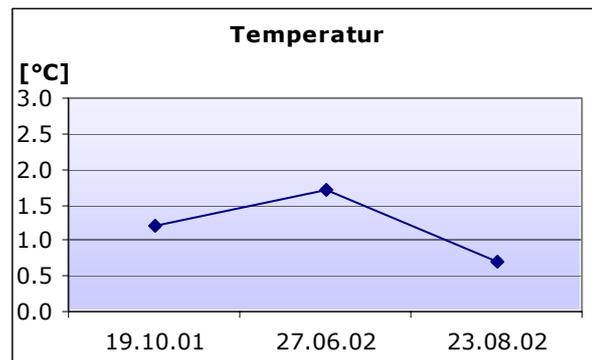
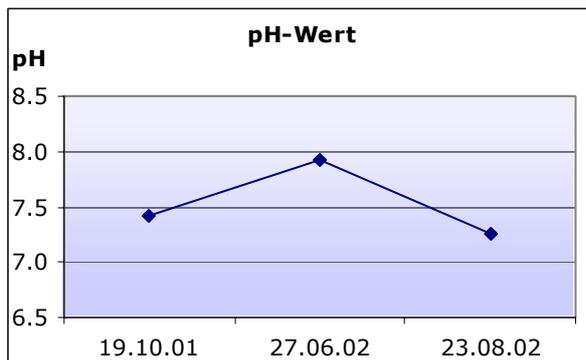
Koordinaten 802069.03/160170.92
Höhe [m ü.M.] 2600
Quellentyp Lockergesteinsquelle
Gefasst nein
Wassertyp Mg-Ca-SO₄-HCO₃
Bemerkungen aus Blockgletscher heraus

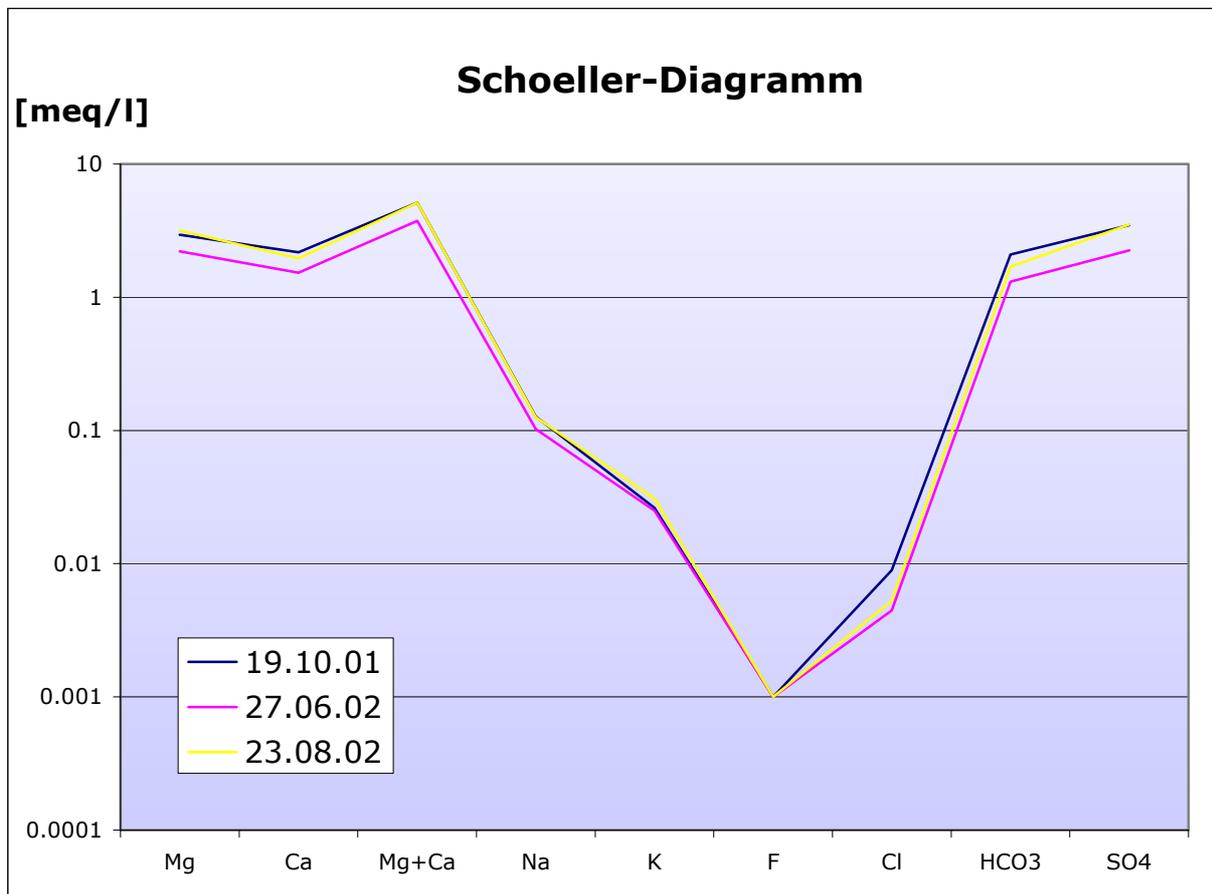
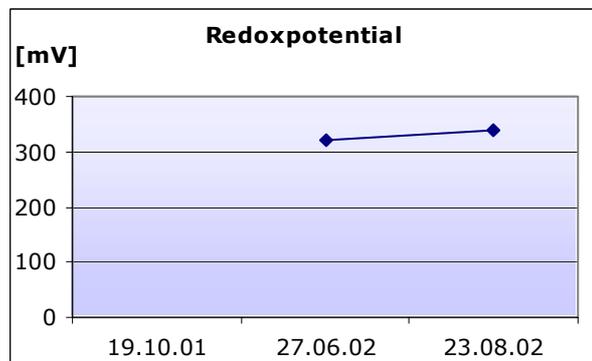
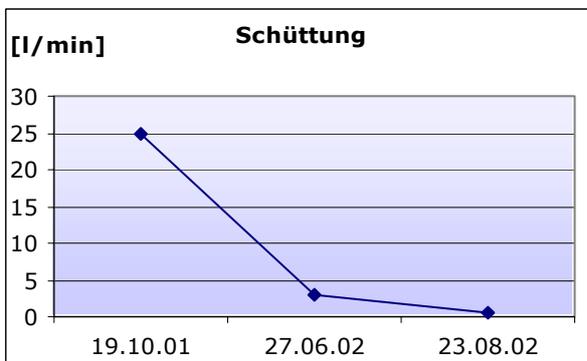
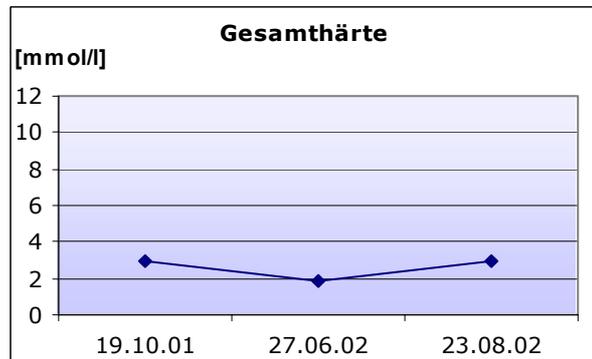
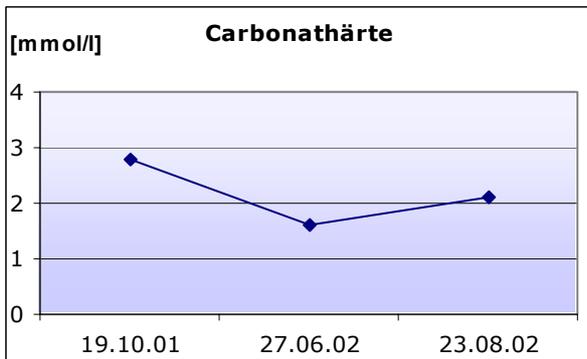
**Feldmessungen**

Datum	pH	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sauerstoff [mg/l]	Carb.-Härte [mmol/l]	Ges.-Härte [mmol/l]	Schüttung [l/min]	Redoxpot. [mV]
19.10.01	7.41	1.2	518	14.12	2.8	3.0	25.0	n.b.
27.06.02	7.93	1.7	321	12.90	1.6	1.9	3.0	320
23.08.02	7.25	0.7	454	8.72	2.1	3.0	0.5	338

Labormessungen

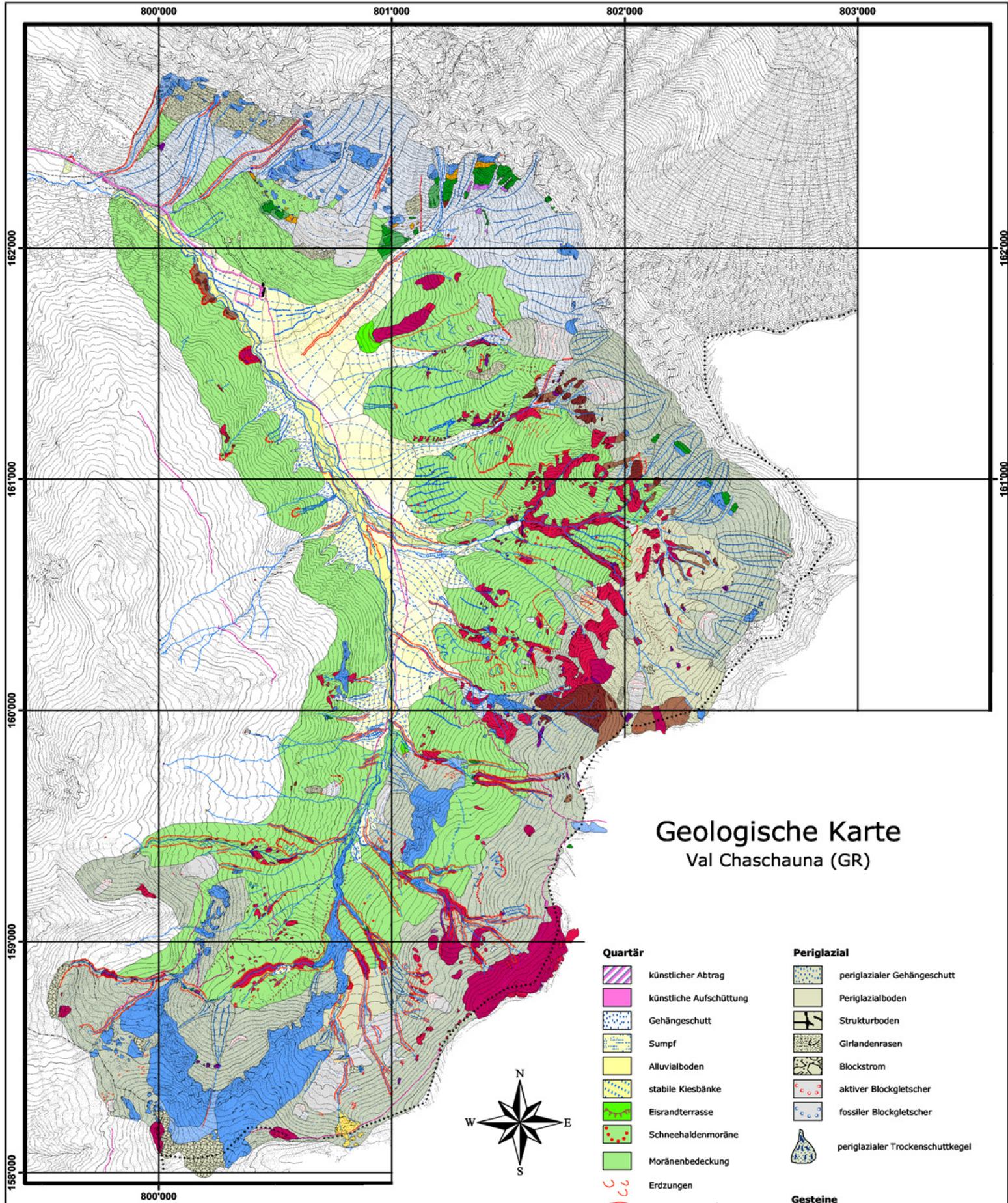
Datum	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Hydrogen-carb. [mg/l]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Calcium [mg/l]
19.10.01	0.01	0.32	0.66	166.80	127.53	2.93	1.03	35.76	43.60
27.06.02	0.01	0.16	0.96	107.82	79.93	2.36	0.97	26.95	30.56
23.08.02	0.01	0.19	0.83	169.08	103.73	2.90	1.21	38.53	39.26





6 Anhang

6.1 Thematische Karten



Geologische Karte Val Chaschauna (GR)

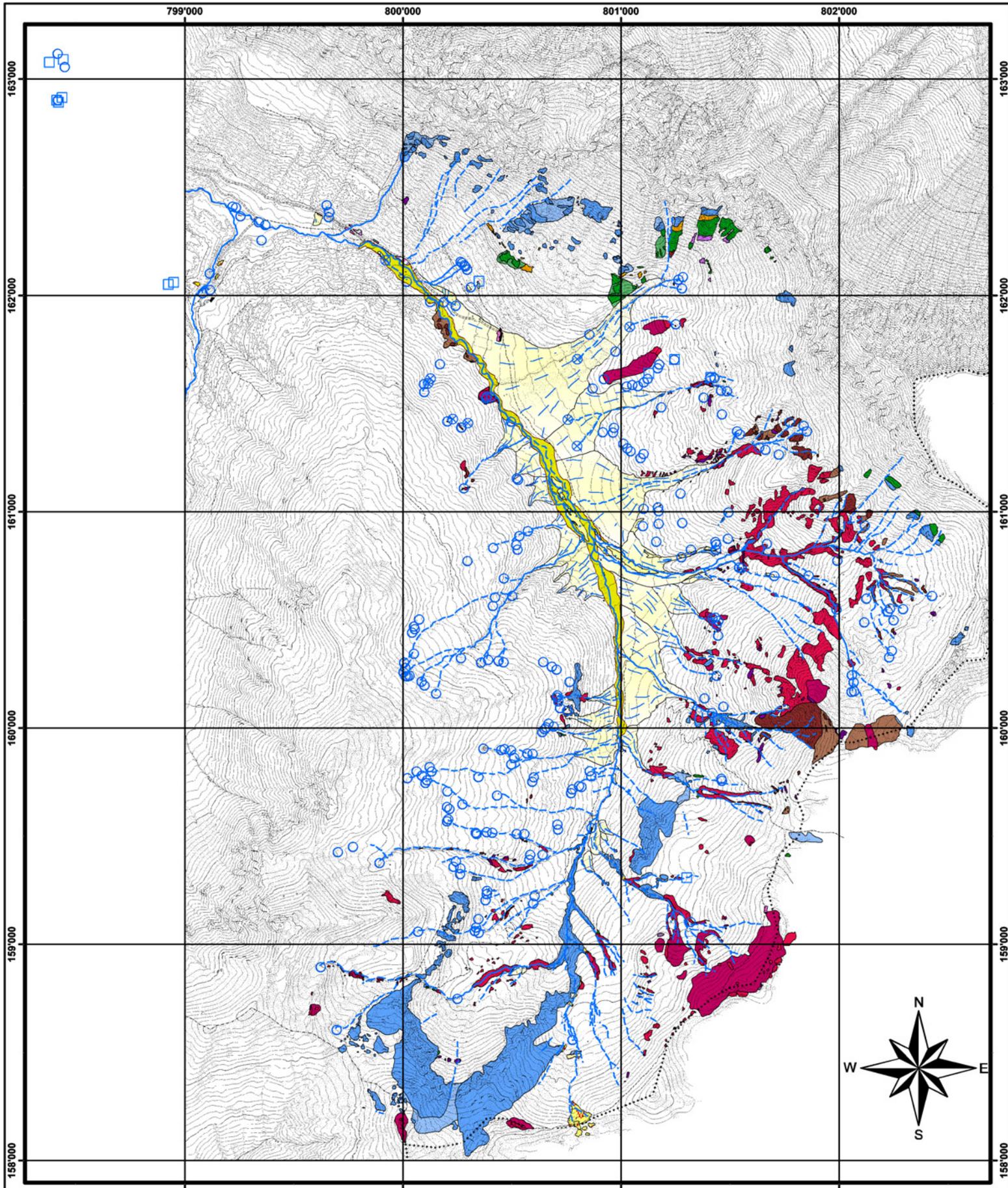
- | | |
|--|---|
| <p>Quartär</p> <ul style="list-style-type: none"> künstlicher Abtrag künstliche Aufschüttung Gehängeschutt Sumpf Alluvialboden stabile Kiesbänke Eisrandterrasse Schneehaldenmoräne Moränenbedeckung Erdzungen Roche moutonnée Murgang Rutschung Schwemmfächer Trockenschuttkegel | <p>Periglazial</p> <ul style="list-style-type: none"> periglazialer Gehängeschutt Periglazialboden Strukturboden Girlandenrasen Blockstrom aktiver Blockgletscher fossiler Blockgletscher periglazialer Trockenschuttkegel |
| <p>Gesteine</p> <ul style="list-style-type: none"> Dolomit, verwittert Anhydrit Rauhwanke, verwittert Sandstein Verrucano, verwittert Rhyolith metabasaltischer Gang, verwittert Paragneis, verwittert Orthogneis, verwittert | |



Legende

- | | |
|--|---|
| <p>Zeichen</p> <ul style="list-style-type: none"> Quelle gefasst, ungefasst Versickerungsstelle Blockschwarm kristallin, sedimentär Wanderblock kristallin, sedimentär bed. Einzelblock kristallin, sedimentär Findling kristallin, sedimentär Doline Streichen und Fallen der Schichten (mit Fallbetrag) | <ul style="list-style-type: none"> Bach perennierend, temporär Erosionsrand aktiv, passiv Abrissrand Moränenwall alte Rinne Bruch beobachtet, vermutet künstlicher Wall Weg Strasse |
|--|---|

Äquidistanz der Höhenkurven 10 Meter



Hydrogeologische Karte

Äquidistanz der Höhenkurven 10 Meter

Legende

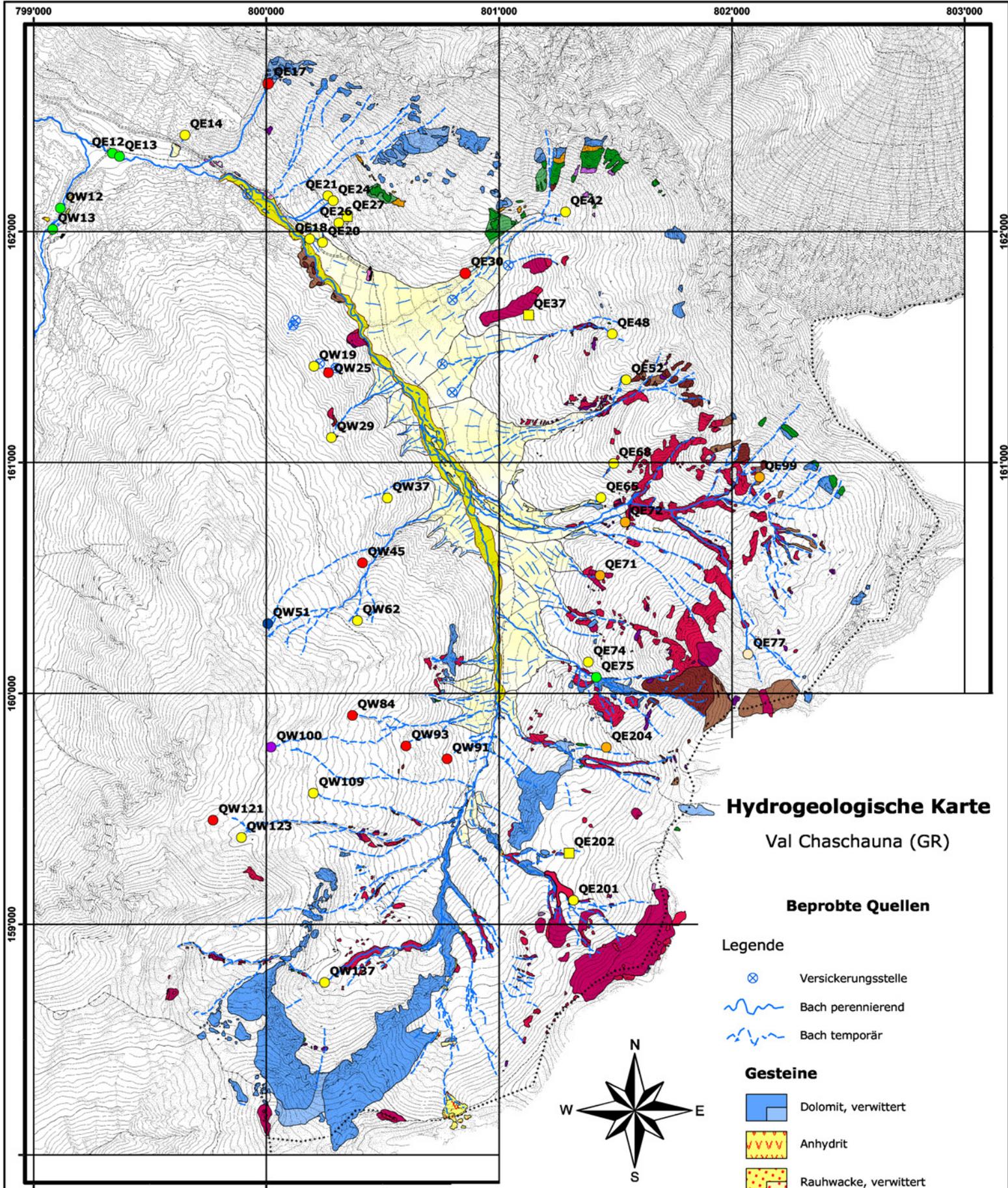
- Quelle ungefasst
- Quelle gefasst
- Versickerungsstelle
- Bach perennierend
- Bach temporär

Quartär

- Sumpf
- Alluvialboden
- stabile Kiesbänke
- Schwemmfächer

Gesteine

- Dolomit, verwittert
- Anhydrit
- Rauhwanke, verwittert
- Sandstein
- Verrucano, verwittert
- Rhyolith
- metabasaltischer Gang, verwittert
- Paragneis, verwittert
- Orthogneis, verwittert



Hydrogeologische Karte Val Chaschauna (GR)

Beprobte Quellen

Legende

- Versickerungsstelle
- Bach perennierend
- Bach temporär

Gesteine

- Dolomit, verwittert
- Anhydrit
- Rauhwanke, verwittert
- Sandstein
- Verrucano, verwittert
- Rhyolith
- metabasaltischer Gang, verwittert
- Paragneis, verwittert
- Orthogneis, verwittert

Grundwassertypen

- Ca-Mg-HCO₃-SO₄
- Ca-Mg-HCO₃
- Ca-SO₄
- Mg-Ca-HCO₃
- Ca-Mg-SO₄
- Ca-Mg-SO₄-HCO₃
- Mg-Ca-SO₄-HCO₃

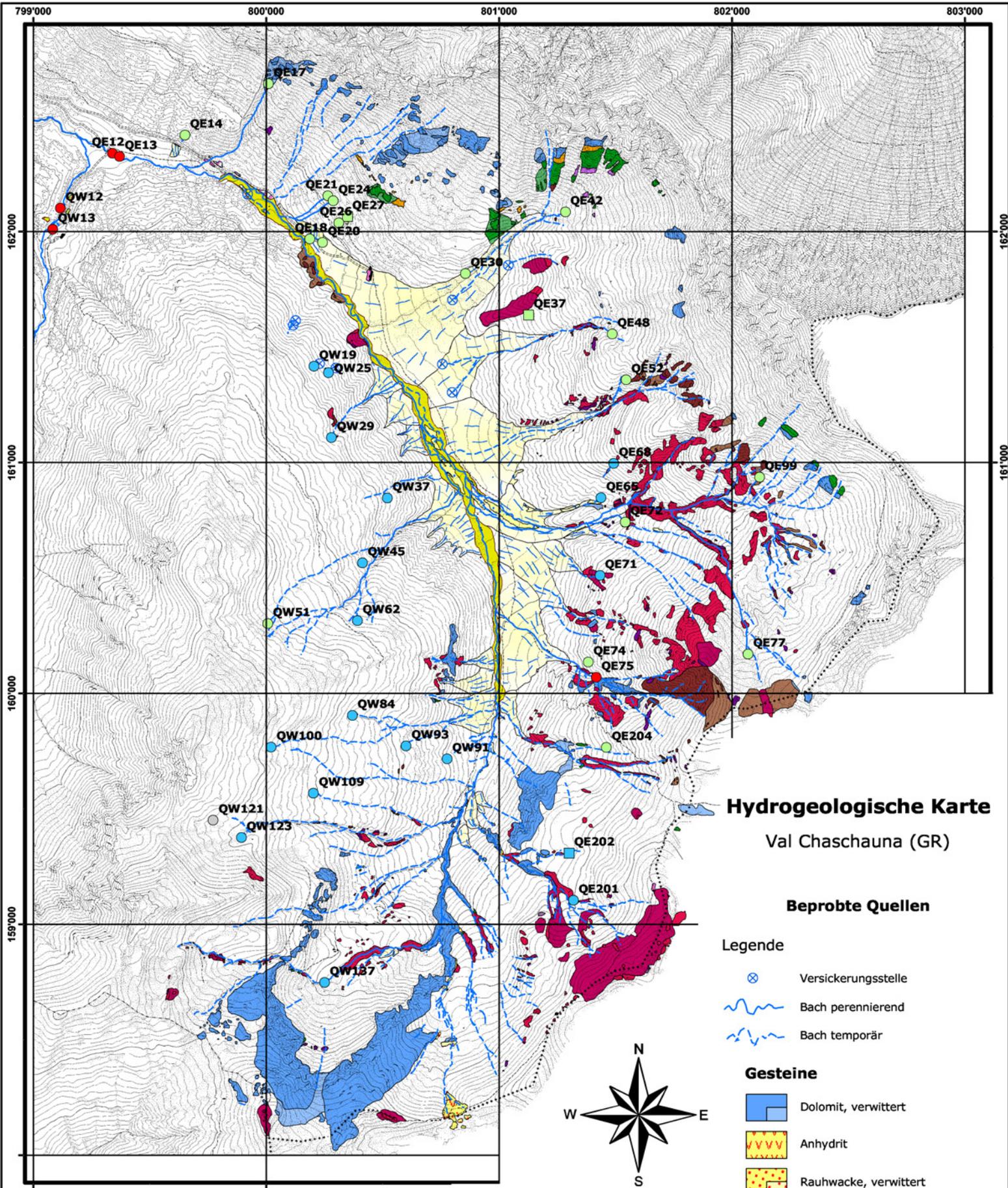
Quartär

- Sumpf
- Alluvialboden
- stabile Kiesbänke
- Schwemmfächer

Zeichenerklärung
 : gefasst, : ungefasst

Äquidistanz der Höhenkurven 10 Meter

0 200 400 600 800 1000 Meter



Hydrogeologische Karte Val Chaschauna (GR)

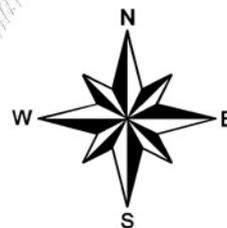
Beprobte Quellen

Legende

- Versickerungsstelle
- Bach perennierend
- Bach temporär

Gesteine

- Dolomit, verwittert
- Anhydrit
- Rauhwanke, verwittert
- Sandstein
- Verrucano, verwittert
- Rhyolith
- metabasaltischer Gang, verwittert
- Paragneis, verwittert
- Orthogneis, verwittert



TDS [mg/l]

- 0 - 30
- 31 - 150
- 151 - 350
- 1200 - 1700

Bemerkung
Keine Messwerte im Bereich
von 351 - 1199 mg/l

Zeichenerklärung

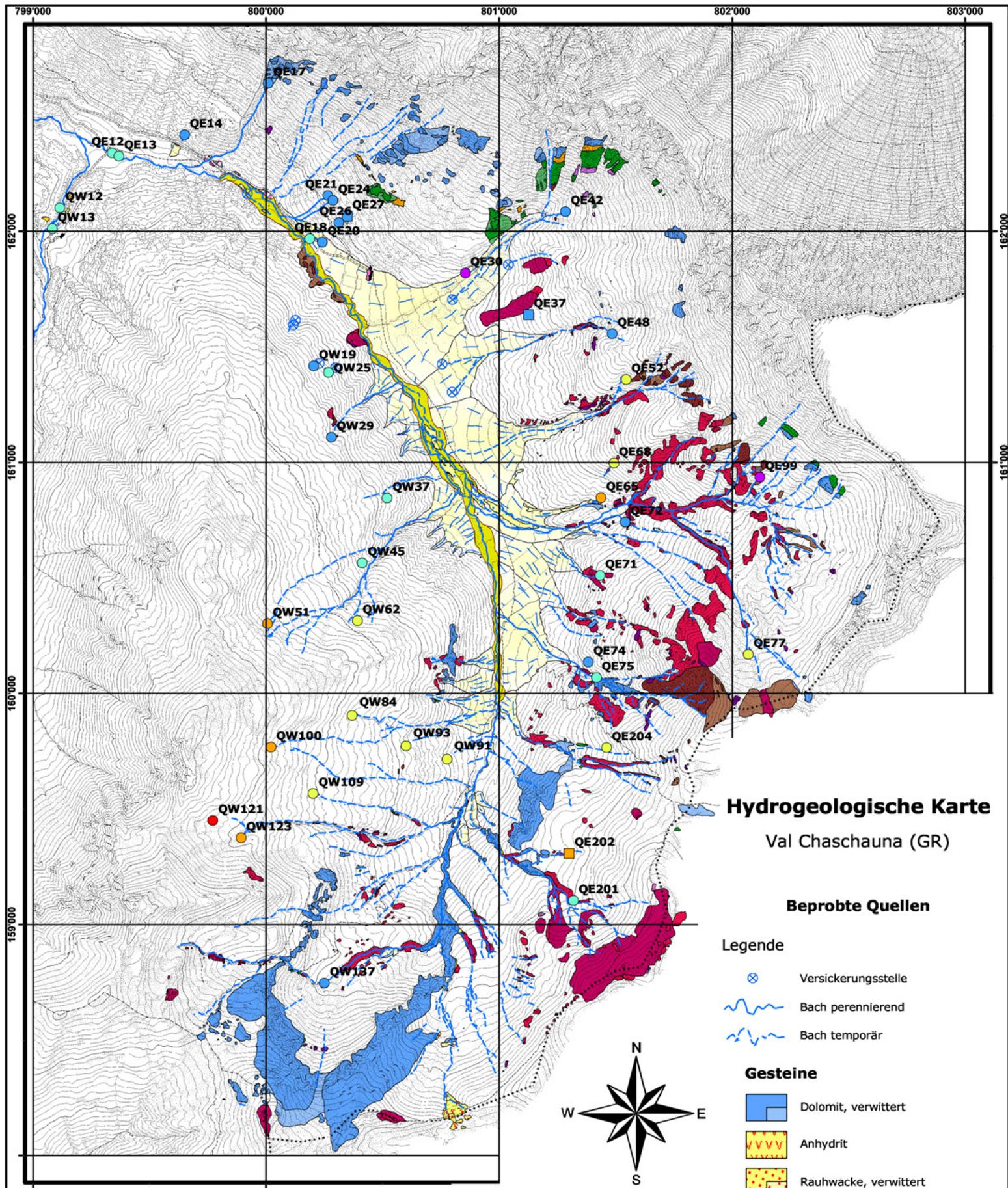
□ : gefasst, ○ : ungefasst

Quartär

- Sumpf
- Alluvialboden
- stabile Kiesbänke
- Schwemmfächer

799'000 800'000
Äquidistanz der Höhenkurven 10 Meter

0 200 400 600 800 1000 Meter



Hydrogeologische Karte Val Chaschauna (GR)

Beprobte Quellen

Legende

- Versickerungsstelle
- Bach perennierend
- Bach temporär

Gesteine

- Dolomit, verwittert
- Anhydrit
- Rauhwanke, verwittert
- Sandstein
- Verrucano, verwittert
- Rhyolith
- metabasaltischer Gang, verwittert
- Paragneis, verwittert
- Orthogneis, verwittert



799'000 800'000 801'000 802'000 803'000
162'000 161'000 160'000 159'000
Äquidistanz der Höhenkurven 10 Meter
0 200 400 600 800 1000 Meter

pH-Werte

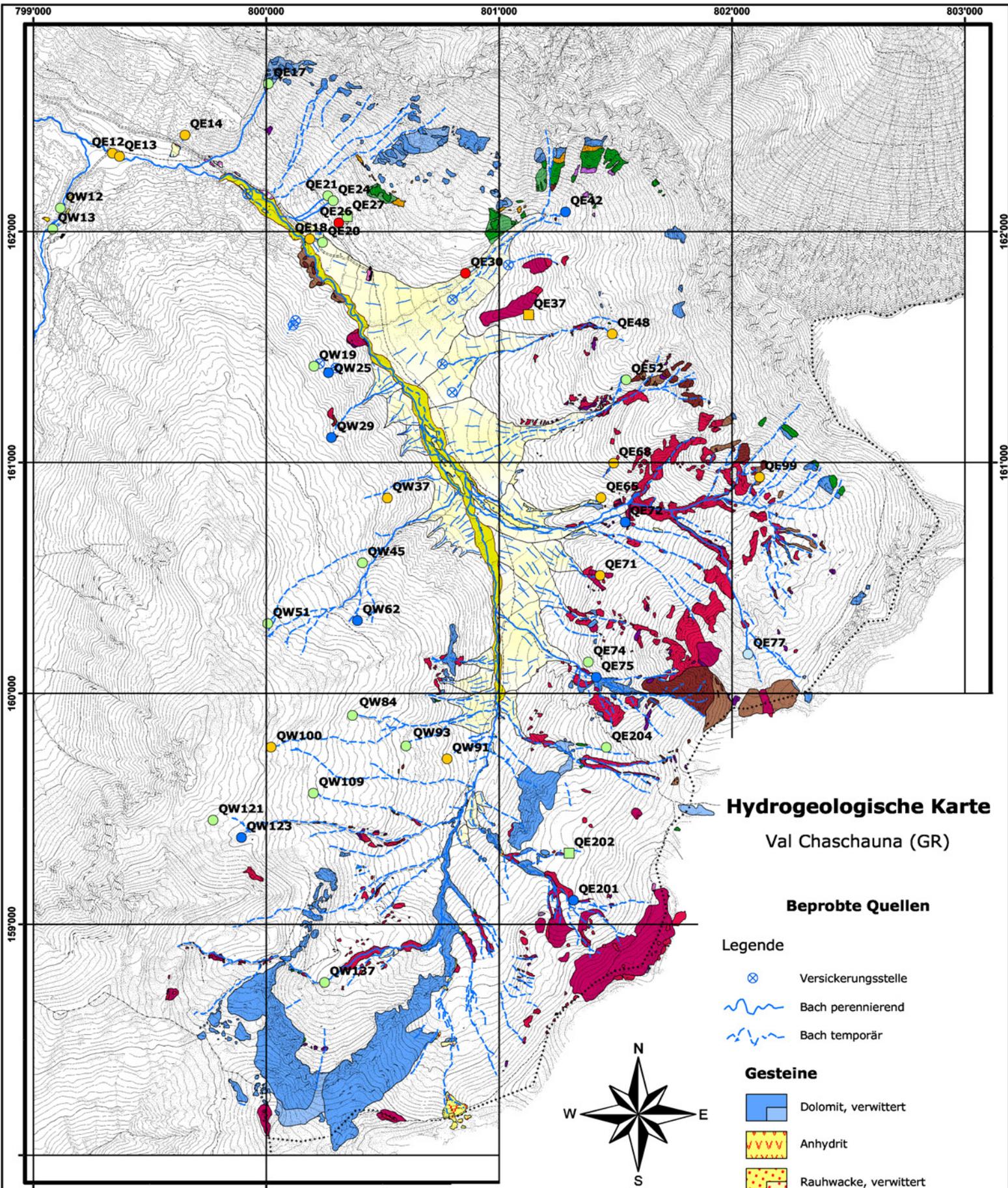
- | | | | |
|--|-------------|--|-------------|
| | 6.70 - 7.00 | | 7.61 - 7.90 |
| | 7.01 - 7.30 | | 7.91 - 8.20 |
| | 7.31 - 7.60 | | 8.21 - 8.50 |

Quartär

- Sumpf
- Alluvialboden
- stabile Kiesbänke
- Schwemmfächer

Zeichenerklärung

- : gefasst, : ungefasst



Hydrogeologische Karte Val Chaschauna (GR)

Beprobte Quellen

Legende

- Versickerungsstelle
- Bach perennierend
- Bach temporär

Gesteine

- Dolomit, verwittert
- Anhydrit
- Rauhwanke, verwittert
- Sandstein
- Verrucano, verwittert
- Rhyolith
- metabasaltischer Gang, verwittert
- Pargneis, verwittert
- Orthogneis, verwittert



799'000 800'000 801'000 802'000 803'000
162'000 161'000 160'000 159'000
Äquidistanz der Höhenkurven 10 Meter
0 200 400 600 800 1000 Meter

Temperatur [°C]

- 0.0 - 1.5
- 1.6 - 3.0
- 3.1 - 4.5

- 4.6 - 7.5
- 7.6 - 10.5

Zeichenerklärung
□ : gefasst, ○ : ungefasst

Quartär

- Sumpf
- Alluvialboden
- stabile Kiesbänke
- Schwemmfächer

6.2 Kurzanleitung geo-mobile®

Kurzanleitung geo-mobile®

Software

Die zur Datenaufnahme verwendete Software stammt von der Firma geo-konzept (Deutschland). Das Software-Paket ist in drei sich ergänzende Programme eingeteilt. Geo-mobile® bildet das eigentliche Hauptprogramm. Es dient zur Erstellung georeferenzierter Karten und wird im Feld für die gesamte Datenaufnahme eingesetzt. Im Programm geo-forms® können benutzerdefinierte Formulare für Datenbankeinträge gestaltet werden, während im dritten Programm, dem geo-pack®, einzelne Datenbankstrukturen verändert werden können.

Im Folgenden werden einzelne wichtige Schritte für eine erfolgreiche Kartierung mit dem mobilen GIS lehrbuchmässig beschrieben. Ziel ist, dem Anfänger einen raschen Einstieg in die Software von geo-konzept zu ermöglichen. Im Vordergrund steht eher die erdwissenschaftliche Anwendung, weniger die Theorie. Für detailliertere Informationen zur Software von geo-konzept ist das Handbuch oder die Arbeit von SCHUMACHER (2001) beizuziehen.

Kartengrundlage laden und georeferenzieren

Entscheidende Basis für eine genaue Kartierung mit dem mobilen GIS ist eine exakt georeferenzierte Karte. Eine schlechte Georeferenzierung von Beginn weg verursacht bei allen nachträglich gewonnenen Daten einen Fehler. Deshalb ist wichtig, bei der manuellen Georeferenzierung in geo-mobile® äusserst sorgfältig zu arbeiten.

1. Geo-mobile® starten.
2. In einem ersten Schritt wird die topographische Karte in geo-mobile® geöffnet: Menu *Datei* → *Öffnen* → *Bild...* (geo-mobile® unterstützt folgende Bildformate: tif, bmp, pcx, tga, gif und jpg) Verzeichnis auswählen, aus dem die Karte geöffnet werden soll, Datei markieren und auf «OK» klicken. Es erscheint die Frage, ob die Karte mit



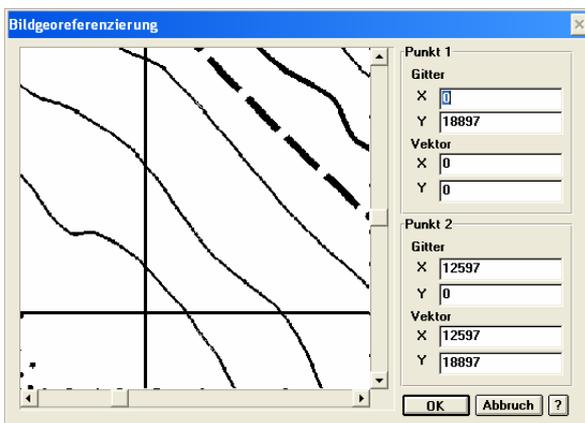
der Maus auf dem Bildschirm plziert {sic} werden soll. Diese Frage kann mit «Nein» beantwortet werden. Geo-mobile® platziert die Karte somit in der Mitte der Arbeitsfläche.

Wird über das Menu *Bearbeiten* → *Einstellungen...* → «Arbeitsplatz» das verschiebbare Fenster «Koordinatenanzeige» aktiviert, erscheint ein kleines Fenster mit zwei Koordinaten auf dem Bildschirm. Die beiden Koordinatenwerte entsprechen der jeweiligen Position des Cursors.



Ohne Georeferenzierung stehen die Zahlenpaare im «Koordinatenanzeige»-Fenster für Bildpunkte innerhalb eines automatisch erzeugten kartesischen Koordinatensystems mit Ursprung im linken unteren Bildrand.

3. Die Georeferenzierung des Bildes erfolgt über das Menu *Bild* → *Bild georeferenzieren...* Ein Mausklick auf den Schalter «Bearbeiten...» führt zum eigentlichen Fenster der «Bildgeoreferenzierung», wo die manuellen Einstellungen vorgenommen werden können.

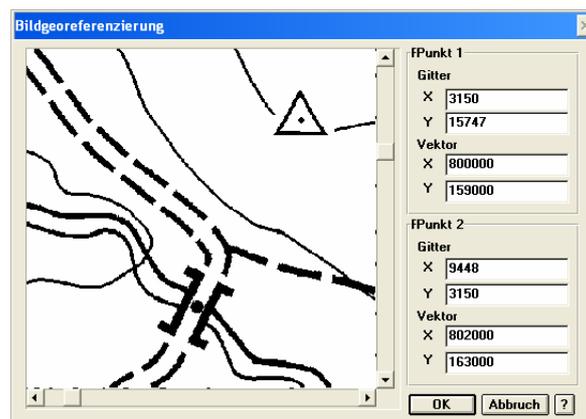


Es gilt, auf der Karte zwei möglichst weit auseinander liegende Punkte (sowohl in X- wie auch in Y-Richtung) auszuwählen, die für die Georeferenzierung verwendet werden sollen. Am besten sind exakt definierte Punkte mit bekannten Koordinaten, wie zum Beispiel Schnittpunkte von Kilometer-Netzlinien. Innerhalb des Fensters kann mit

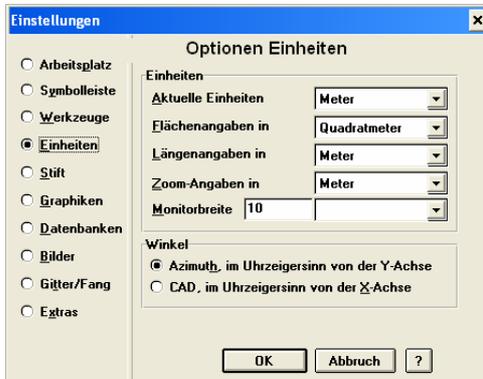
den Pfeilen zum ersten Punkt navigiert werden. Ist unter «Punkt 1» entweder das X- oder Y-Feld unter «Gitter» markiert, werden mit einem präzisen Mausklick auf den ausgewählten Kartenpunkt die programminternen Gitterkoordinaten eingelesen. Unter «Vektor» sind danach die bildspezifischen Koordinaten desselben Punktes im X- beziehungsweise Y-Feld einzugeben. Zur Definition des zweiten Punktes wird analog vorgegangen.

Sind beide Punkte mit den jeweiligen Gitter- und Vektorwerten beschrieben, kann die Bildgeoreferenzierung durch einen Mausklick auf «OK» abgeschlossen werden.

Im «Koordinatenanzeige»-Fenster gibt das Zahlenpaar die Position des Cursors in den Koordinaten des Bildes an.



4. Den Wechsel von ursprünglichen zu metrischen Koordinaten-Einheiten ist über das Menü *Bearbeiten* → *Einstellungen...* → «Einheiten» durchzuführen.



Sind die Einheiten auf Meter eingestellt, wird auch die Koordinatenanzeige auf (m) angepasst.

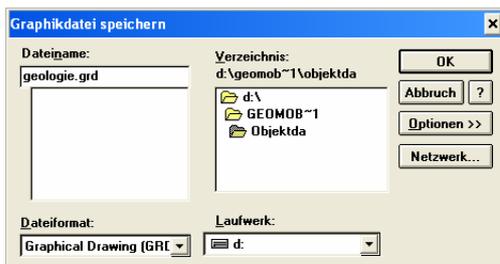
800103.60, 159015.95 (m)

5. Speichern der georeferenzierten Karte im Menü *Datei* → *Speichern als* → *Bild...*, Verzeichnis auswählen und Dateinamen eingeben. Der Dateiname darf nicht mehr als acht Zeichen umfassen.

Erstellen von Objektdatenbanken und Graphiken

Die georeferenzierte Karte dient im Normalfall als Hintergrund für Objekte, die bei der Datenaufnahme neu erstellt werden. Unter Objekt versteht geo-mobile® ein Polygon, eine Linie oder einen Punkt. Punkte spielen in Objektdatenbanken aber eine untergeordnete Rolle, da sie in den eigens dafür vorgesehenen Punktdatenbanken besser verwaltet werden können. Damit die raumbezogene Information später gewährleistet ist, muss eine Objektdatenbank stets mit einer Graphik verknüpft sein. Das Erstellen einer einfachen Graphik mit zugehöriger Datenbank soll an einem einfachen Beispiel für geologische Aufnahmen gezeigt werden.

1. Geo-mobile® starten.
2. Im Menu *Datei* → *Speichern als* → *Graphik...* auswählen. Dateinamen mit maximal acht Zeichen festlegen und Speicher-Verzeichnis angeben. Das Dateiformat ist «Graphical Drawing» (GRD).



Mit «OK» den Speichervorgang starten.

Auf der geo-mobile®-Oberfläche erscheint der Name der gespeicherten Graphik im Infobalken.

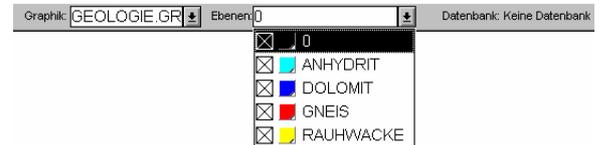


3. Die Graphik muss nicht bloss aus einer Ebene bestehen; sie kann eine beliebige Anzahl Ebenen beinhalten. Es empfiehlt sich zum Beispiel, die Geologie-Graphik in Ebenen einzelner Gesteinstypen zu unterteilen. Das Hinzufügen von Ebenen geschieht über das Menu *Graphik* → *Ebenen...*

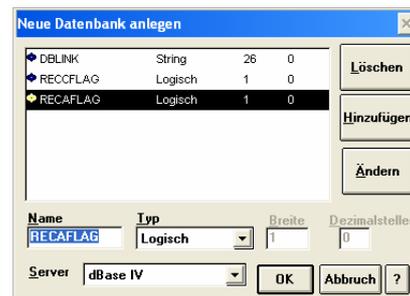


Über den Schalter «Neu» können im Fenster «Ebenenattribute» zusätzliche Ebenen definiert werden. Die einzelnen Ebenen können mit unterschiedlichen Linien und Füllfarben gestaltet werden, sofern das Schloss-Symbol in der Spalte «Sperre» geöffnet ist.

Die Verknüpfung der Ebenen mit einer Datenbank erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. Sind alle Ebenen definiert und entsprechen den Bedürfnissen, ist auf «OK» zu klicken. Im Infobalken können die verfügbaren Ebenen angesehen werden.



4. Abspeichern der Veränderungen innerhalb der Graphik im Menu *Datei* → *Speichern* → *Graphik*.
5. Erstellen der Datenbank, die später alle Informationen der zuvor angefertigten Graphik enthalten soll: Menu *Datei* → *Neu* → *Datenbank...* Aus dem «Datenbanktyp»-Fenster die Objektdatenbank auswählen und die Eingabe mit «OK» bestätigen.



Das Fenster «Neue Datenbank anlegen» erscheint. In diesem Fenster kann die Datenbankstruktur festgelegt werden, welche hinter den graphischen Objekten stehen soll. Ziel ist es, eine Struktur zu wählen, die auf die Bedürfnisse der Datenerfassung optimal abgestimmt ist. Alle Parameter, die später vor Ort erfasst werden, müssen hier definiert werden. Das Feld DBLINK wird bei einer Objektdatenbank automatisch aufgeführt, wie auch die Felder RECCFLAG und RECAFLAG. Zusätzlich zu den drei bestehenden Datenfeldern können beliebig viele hinzugefügt werden. Ein neues Datenfeld wird charakterisiert durch «Namen», «Typ» und je nach Datenfeldtyp durch «Breite» (maximale Anzahl Zeichen pro Feld) und «Dezimalstellen». Eine kurze Zusammenstellung der einzelnen Datenfeldtypen, die in geo-mobile® verfügbar sind, zeigt die nachfolgende Tabelle:

Typ	geeignet für
Dezimal	Komma-getrennte Zahlen mit bis zu 15 Dezimalstellen
Numerisch	maximal zehnstellige, ganze Zahlen
String	Textfeld bis zu 255 Zeichen
Logisch	logischen Wert (Null oder Eins)
Datum	Angabe des Datums
Memo	Notizen bis zu 4000 Zeichen (mit Handschrifterkennung)

Um ein neues Datenfeld zu erzeugen, gilt es, die spezifischen Werte im Fenster «Neue Datenbank anlegen» einzufüllen und den Schalter «Hinzufügen» zu betätigen. Die neu definierten Datenfelder werden im Fenster nach RECAFLAG untereinander aufgeführt. Die Reihenfolge von oben nach unten entspricht in der Datenbank-Tabelle der Spalten-Abfolge von links nach rechts. Es empfiehlt sich, die Datenstruktur von Beginn an geordnet einzutragen, da die Reihenfolge nachträglich nur mit sehr viel Aufwand geändert werden kann.

Sind alle gewünschten Datenfelder definiert, werden die Eingaben mit einem Mausklick auf «OK» bestätigt. Es öffnet sich automatisch das Fenster «Neue Datenbank erstellen».



Im Fenster «Neue Datenbank erstellen» wird die Datei gespeichert. Mit dem Abspeichern öffnet sich ein weiteres Fenster, wo geregelt wird, welche Graphik beziehungsweise welche Ebene mit welcher Datenbank verknüpft werden soll. Die zu verknüpfende Graphik muss im Feld «Graphik verkn. mit:» stehen. Im Feld «Verkn. mit Ebene:» ist eine Ebene auszuwählen, die auch mit der Datenbank verknüpft werden soll. Es kann immer nur eine Ebene auf einmal ausgewählt werden. Das heisst jedoch nicht, dass die anderen Ebenen nicht auch verknüpft werden können. Mit einem Mausklick auf den «OK»-Schalter wird die Verknüpfung aktiv. Dies wird im Infobalken mit einem Kettensymbol zwischen Ebene und Datenbank angezeigt.



Um die anderen Ebenen derselben Graphik mit der gleichen Datenbank zu verknüpfen, muss die Datenbank neu geöffnet werden: *Menu Datei → Öffnen → Datenbank...* Die zu öffnende Datei auswählen und «OK» klicken. Erneut erscheint das Fenster «Objektdatenbank» – eine andere Ebene kann verknüpft werden. Dieser Schritt ist so oft zu wiederholen, bis alle gewünschten Ebenen mit der Datenbank

verknüpft sind. Dies ist die einzige Möglichkeit, Ebenen und Datenbanken miteinander zu verknüpfen.



Unter Menu *Graphik* → *Ebenen...* zeigt das Fenster «Ebenenattribute» in der Spalte «Verknüpfung», mit welcher Datenbank die Ebenen verknüpft sind.

- Es empfiehlt sich, für Arbeiten mit mehreren Ebenen ein eigenes Projekt zu erstellen, so dass künftig beim Aufstarten von geo-mobile® jeweils nur das Projekt geöffnet werden muss und die dazugehörigen Datenbanken und das Hintergrundbild automatisch geladen werden. Dazu wird zuerst das georeferenzierte Bild geöffnet, das als Hintergrund dienen soll: *Datei* → *Öffnen* → *Bild...* Erscheint das Bild auf dem Bildschirm, können Datenbank, Graphik und Bild als Projekt abgespeichert werden: *Menu Datei* → *Speichern als* → *Projekt...* Dateiname und Speicher-Verzeichnis sind auszuwählen und mit «OK» zu bestätigen.

Erstellen von Punktdatenbanken mit benutzerdefiniertem Symbol

Im Gegensatz zu den Objektdatenbanken lassen sich in Punktdatenbanken ausschließlich Punkte erfassen. Von Nutzen sind Datenbanken dieses Typs vor allem bei Quellaufnahmen und der Erfassung einzelner quartärer Elemente wie Findlinge, Wanderblöcke, Versickerungsstellen oder Dolinen. Für jeden Punktdatensatz kann ein benutzerdefiniertes Symbol kreiert werden.

1. Geo-mobile® starten.
2. Im Menu unter *Datei* → *Neu* → *Graphik...* auswählen.
3. Mit den diversen Werkzeugen aus der Werkzeug-Symbolleiste das gewünschte Symbol auf der Ebene o zeichnen.

Zusätzliche Werkzeuge können über das Menu *Bearbeiten* → *Einstellungen...* → «Werkzeuge» zur Symbolleiste durch Markieren hinzugefügt werden. Die Farb-



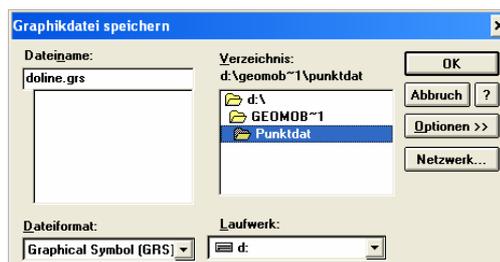
Symbolleiste dient zum Einfärben der gezeichneten Elemente. Sie kann über *Bearbeiten* → *Einstellungen...* → «Arbeitsplatz» mit einem Kreuz vor «Farben» in «verschiebbare Fenster» aktiviert werden.



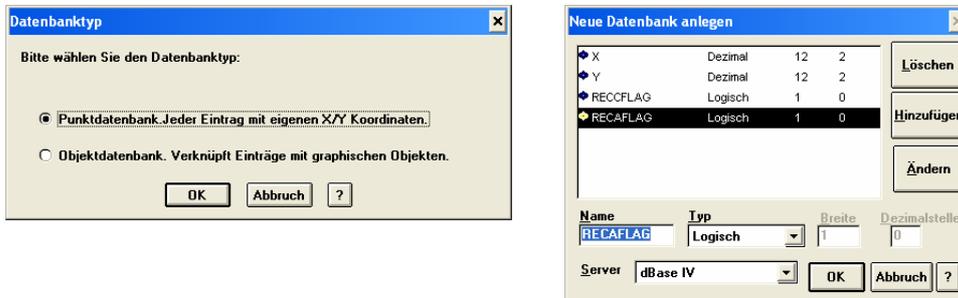
In der Farb-Symbolleiste kann die Füll- und Linienfarbe durch Klicken auf das entsprechende Symbol bestimmt werden. Die gezeichneten Elemente erhalten automatisch die so definierten Farben. Nachträglich kann die Farbe eines Elementes geändert werden. Es gilt, die neue Farbe in der Farbsymbolleiste auszuwählen und danach das Element mit einem Mausklick auf den Rand zu markieren. Ein rechter Mausklick auf die Markierung und → *Einfärben* bringt den gewünschten Farbwechsel. Erfüllt die erstellte Zeichnung die benutzerdefinierten Anforderungen, kann sie gespeichert werden.



4. Das Abspeichern erfolgt über das Menu *Datei* → *Speichern als* → *Graphik...*; als Dateiformat ist «Graphical Symbol» (GRS) auszuwählen; beim Vergeben des Dateinamens ist erneut darauf zu achten, dass die Länge auf acht Zeichen beschränkt ist.



5. In einem nächsten Schritt gilt es, dem gezeichneten Symbol eine Punktdatenbank zuzuordnen. Dazu wird eine neue Datenbank erstellt: *Menu Datei → Neu → Datenbank... → Punktdatenbank.*



Das Fenster «Neue Datenbank anlegen» erscheint. Analog der Objektdatenbank wird in diesem Fenster die Datenbankstruktur festgelegt mit dem Unterschied, dass jetzt die Struktur definiert wird, welche hinter dem kreierte Graphiksymbol stehen soll. Die X- und Y-Koordinatenfelder werden bei einer Punktdatenbank automatisch aufgeführt, wie auch die beiden Felder RECCFLAG und RECAFLAG. Zusätzlich zu den vier bestehenden Datenfeldern können beliebige hinzugefügt werden (siehe Objektdatenbanken).

Sind alle gewünschten Datenfelder definiert, werden die Eingaben mit einem Mausklick auf «OK» bestätigt. Es öffnet sich automatisch das Fenster «Neue Datenbank erstellen».



6. Im Fenster «Neue Datenbank erstellen» wird die Datei gespeichert. Wichtig ist, dass sie unter demselben Namen wie die zuvor erstellte Graphikdatei abgespeichert wird. Nur so ist der direkte Zusammenhang zwischen Graphik und Datenbank gewährleistet.
7. Wird die Datenbank geöffnet: *Menu Datei → Öffnen → Datenbank...*, so wird die Datenbank im Infobalken angezeigt und die dazugehörige Graphik erscheint in der Werkzeug-Symbolleiste. Pro Datenbank ist immer nur ein einziges Symbol möglich.
8. Die Größe des Symbols kann nachträglich in geo-mobile® verändert werden, unter *Datenbank → Symbole → Größe ändern...*

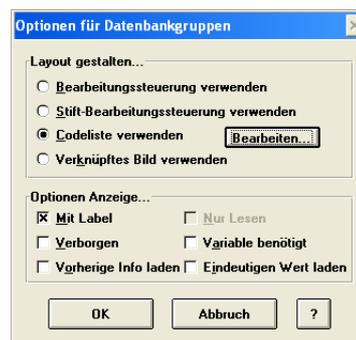


Gestalten der Eingabemaske

Bei der Aufnahme eines neuen Punktes oder Objektes in die Datenbank erscheint die dazugehörige Eingabemaske. Die Felder in der Eingabemaske entsprechen den Datenfeldern, die zuvor im Fenster «Neue Datenbank anlegen» kreiert worden sind. Deshalb sind die Eingabemöglichkeiten auf den jeweiligen Datenfeldtypen und dessen Breite beschränkt. Geo-mobile® entwirft automatisch ein Standardformular für jede neue Datenbank. Spielraum für die Gestaltung anwenderdefinierter Eingabemasken bietet das Programm geo-forms®.

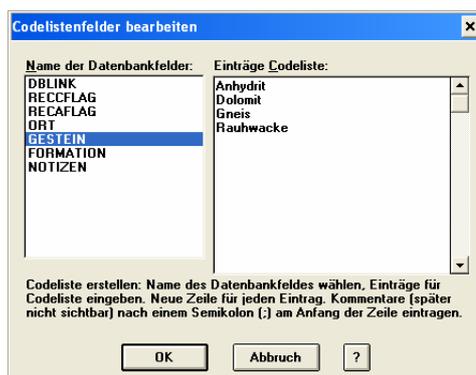
1. Geo-forms® starten.
2. Diejenige Datenbank öffnen, deren Eingabemaske neu gestaltet werden möchte: Menu *Datei* → *Öffnen...* Sofern noch keine benutzerdefinierte Eingabemaske existiert, ist der Formularassistent zu verwenden. Ansonsten empfiehlt es sich, mit einem bestehenden Formular zu arbeiten.
3. Die Eingabemaske kann nach persönlichen Vorlieben gestaltet werden. Nachfolgend sind deshalb bloss wenige Tipps aufgeführt, die das Arbeiten im Feld erleichtern.
 - Grössenanpassung der Datenfelder: alles markieren und im Menu *Layout* → *Auto Grössenkontrolle* auswählen.
 - Das Anlegen von Codelisten („Pop-up-Menu“) vereinfacht die Datenerfassung im Feld erheblich. Mühselige Texteingaben über die Bildschirmtastatur oder Handschrifterkennung können auf diese Weise auf ein Minimum reduziert werden. Das betreffende Feld, das in eine Codeliste verwandelt werden soll, muss markiert werden. Danach ist in der Symbolleiste der Schalter von «Strg» auf «Grp» zu wechseln.

Das Fenster «Optionen für Datenbankgruppen» wird geöffnet, worin «Codeliste verwenden» anzuklicken ist. Im Fenster «Codelistenfelder bearbeiten» wird in der linken Spalte das Datenbankfeld ausgewählt, dem eine Codeliste zugewiesen werden möchte. Im rechten Feld können die Einträge der Codeliste notiert werden.



Strg Grp Db

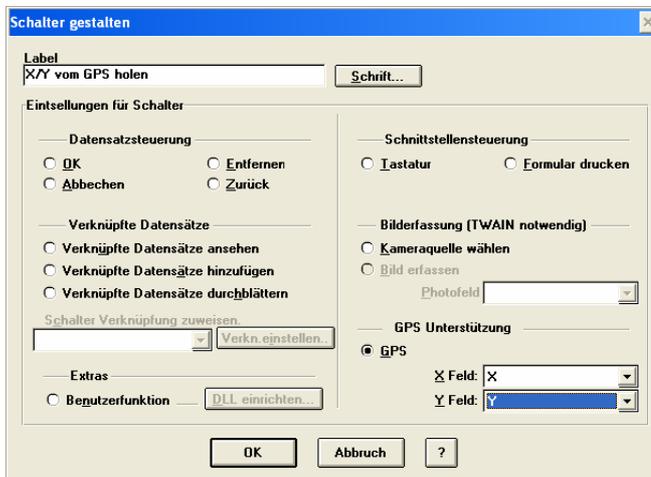
Steuerungsgruppe bearbeiten



Beim Übernehmen der Eingaben mit «OK» stellt das Programm die Frage, ob das betreffende Datenfeld in eine Codeliste konvertiert werden soll. Die Frage kann mit «Ja» beantwortet werden.



- Wird ein Punkt manuell in geo-mobile® platziert, entspricht das Zahlenpaar meist nicht den exakten Koordinaten des differentiellen GPS. Es besteht die Möglichkeit, einen Schalter «X/Y vom GPS holen» in der Eingabemaske einzurichten, der die aktuellen DGPS-Koordinaten auf drei Kommastellen genau einliest. Dazu wird aus der Symbolleiste «Schalter anlegen» ausgewählt und die Position im Formular festgelegt. Ein Doppelklick auf den Schalter öffnet das Fenster «Schalter gestalten». Im Bereich «GPS Unterstützung» ist «GPS» zu markieren und dem X- beziehungsweise Y-Feld die Datenfelder zuzuweisen, die beim Anlegen der Datenbank als X- respektive Y-Koordinaten erstellt wurden. Sind diese Einstellungen gemacht, wechselt mit dem Mausklick auf «OK» der Schalter im Formular von «Drücken» zu «X/Y vom GPS holen».



- Werden an einem bestimmten Ort zeitlich variable Parameter erfasst, eignet sich eine Eingabemaske mit mehreren Seiten. Auf der ersten Seite können die fixen Daten (zum Beispiel die Koordinaten) und – je nach Bedarf – auch schon die ersten veränderlichen Werte aufgenommen werden. Ein Beispiel eines ausgefüllten, mehrseitigen Formulars, wie es in geo-mobile® angezeigt wird, stammt aus der Quellenaufnahme der vorliegenden Arbeit.

 Die erste Seite des Formulars 'Quellenaufnahme' zeigt folgende Daten:

Bezeichnung	OW93	X/Y vom GPS holen	GPSZ
Quellentyp	Lockergesteinsquelle	Austritt	Kristallin
	<input checked="" type="checkbox"/> GPS Korrektursignal	Datum	18.10.01
X	000600.239	Zeit	17:45
Y	159773.689		
Höhe	2480 [m.ü.M.]	Wetter	schön
pH	7.13	Temperatur	3.7 [°C]
Sauerstoff	11.95 [mg/l]	Leitfähigkeit	73 [µS/cm]
Carbonathärte	0.7 [mmol/l]	Gesamthärte	0.5 [mmol/l]
Schüttung	35 [l/min.]		
Notizen	Schöne Ou <input checked="" type="checkbox"/> Probe		

 Die zweite Seite des Formulars 'Quellenaufnahme' zeigt folgende Daten:

Datum	08.09.02	Foto
Zeit	16:15	
Wetter	stark bewölkt	
Redoxpotential	341 [mV]	
pH	7.57	
Temperatur	3.0 [°C]	
Leitfähigkeit	74 [µS/cm]	
Sauerstoff	9.43 [mg/l]	
Carbonathärte	0.9 [mmol/l]	
Gesamthärte	0.6 [mmol/l]	
Schüttung	30 [l/min.]	
Notizen	<input checked="" type="checkbox"/> Probe	

Verändern einer bestehenden Datenbankstruktur

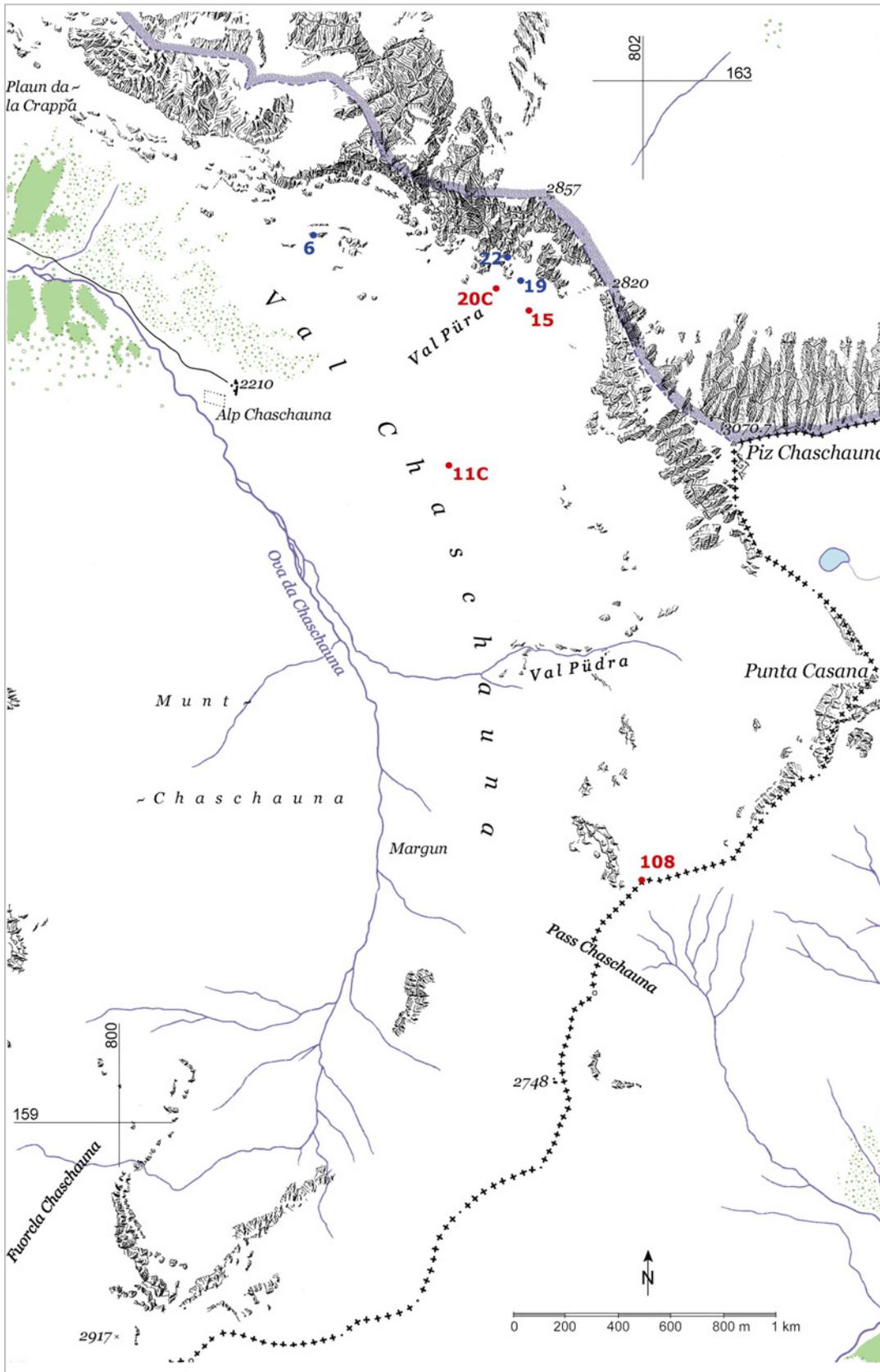
Oftmals lässt sich die definitive Datenbankstruktur erst nach einer versuchsweisen Datenaufnahme optimal auf die Bedürfnisse abstimmen. Damit nach einer solchen Kampagne keine neue, anwendergerechtere Datenbank erstellt werden muss, bietet das Programm geo-pack® die nötigen Funktionen, um die Datenstruktur nachträglich zu verändern.

1. Geo-pack® starten.
2. Aus dem Menu *Datei* → *Öffnen...* wählen und diejenige Datenbank öffnen, deren Struktur verändert werden möchte.
3. Über das Menu *Datei* → *Struktur ändern* kann die Feinabstimmung der bestehenden Datenbankstruktur gemacht werden. Die Anpassung geschieht analog dem Vorgehen bei der Erstellung einer neuen Datenbank.



6.3 Tabellen und Diagramme

Lokalität der Gesteinsproben



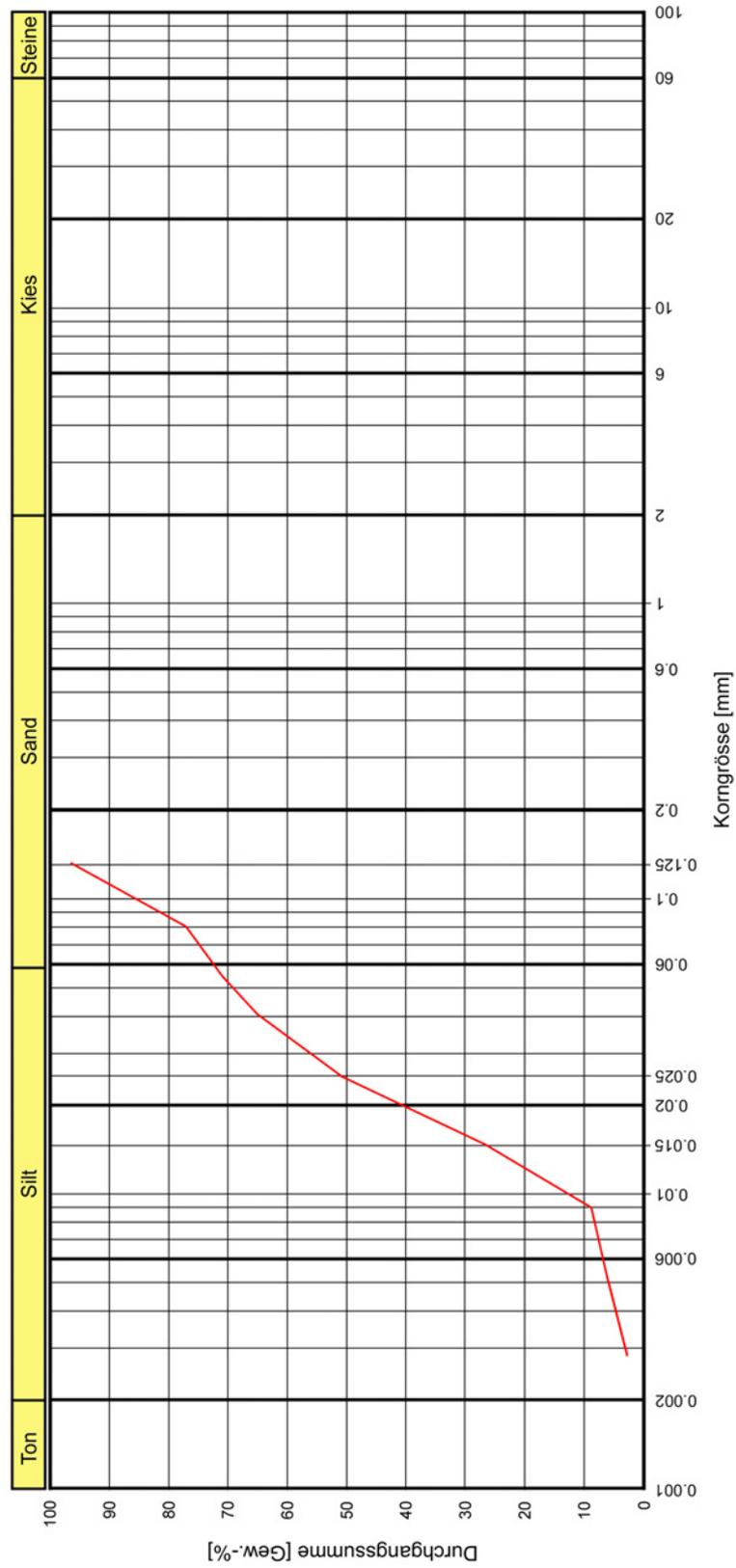
Rot: kristalline Gesteine

Blau: Sedimentgesteine

Kornverteilungsdiagramm

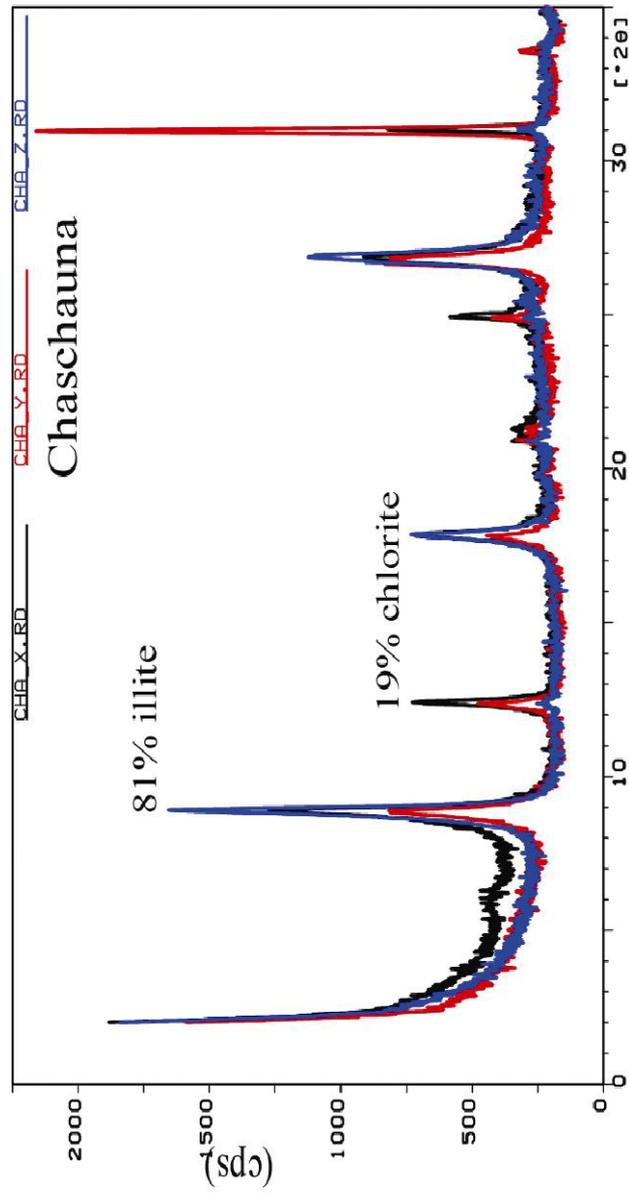
Kornverteilungsdiagramm

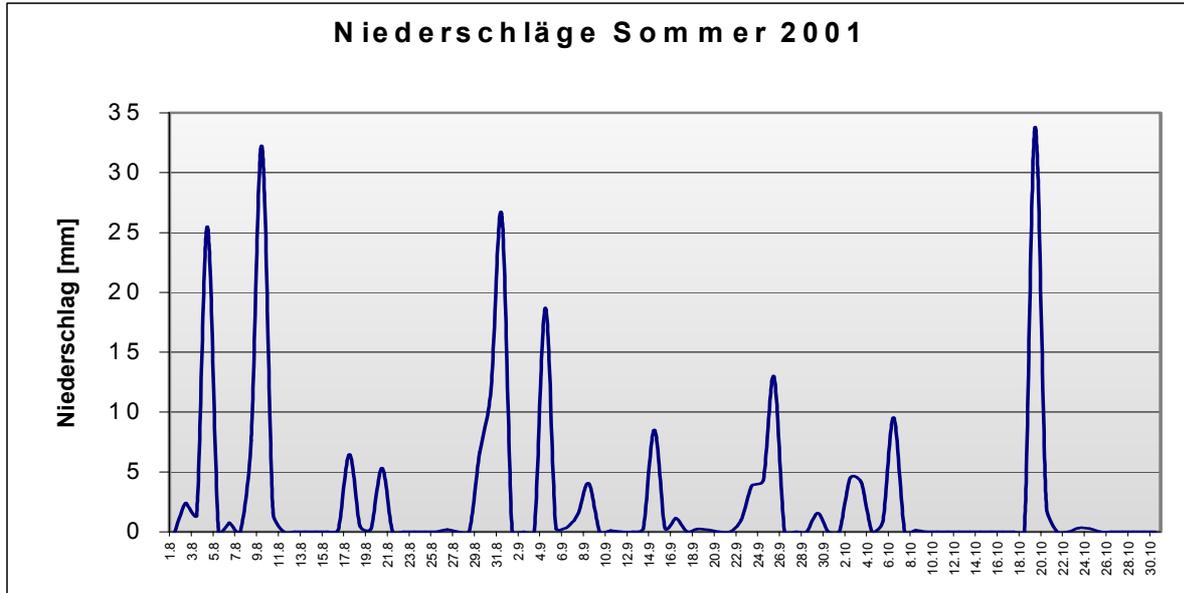
Probe: Kessel Val Püdra



Tonmineralogie

Probe: Kessel Val Püdra





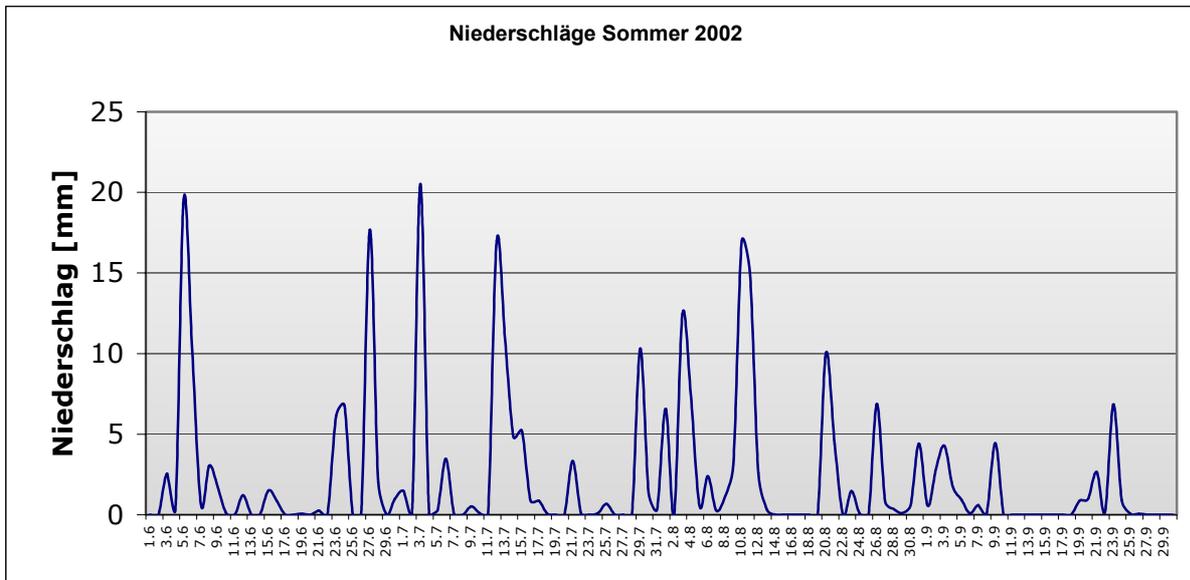
Tab. 1: Gemittelter Niederschlag 2001 der Messstationen Buffalora, Punt la Drossa, Samedan und Zernez.

Messdaten

QE: 19.Aug., 20.Aug., 2.Sept., 4.Sept., 17.Okt., 19. Okt., 21.Okt., 24.Okt.

QW: 20.Aug., 31.Aug., 1.Sept., 17.Okt., 18.Okt., 20.Okt.

SNP: 2.Aug., 11.Aug., 3.Sept., 20.Okt.



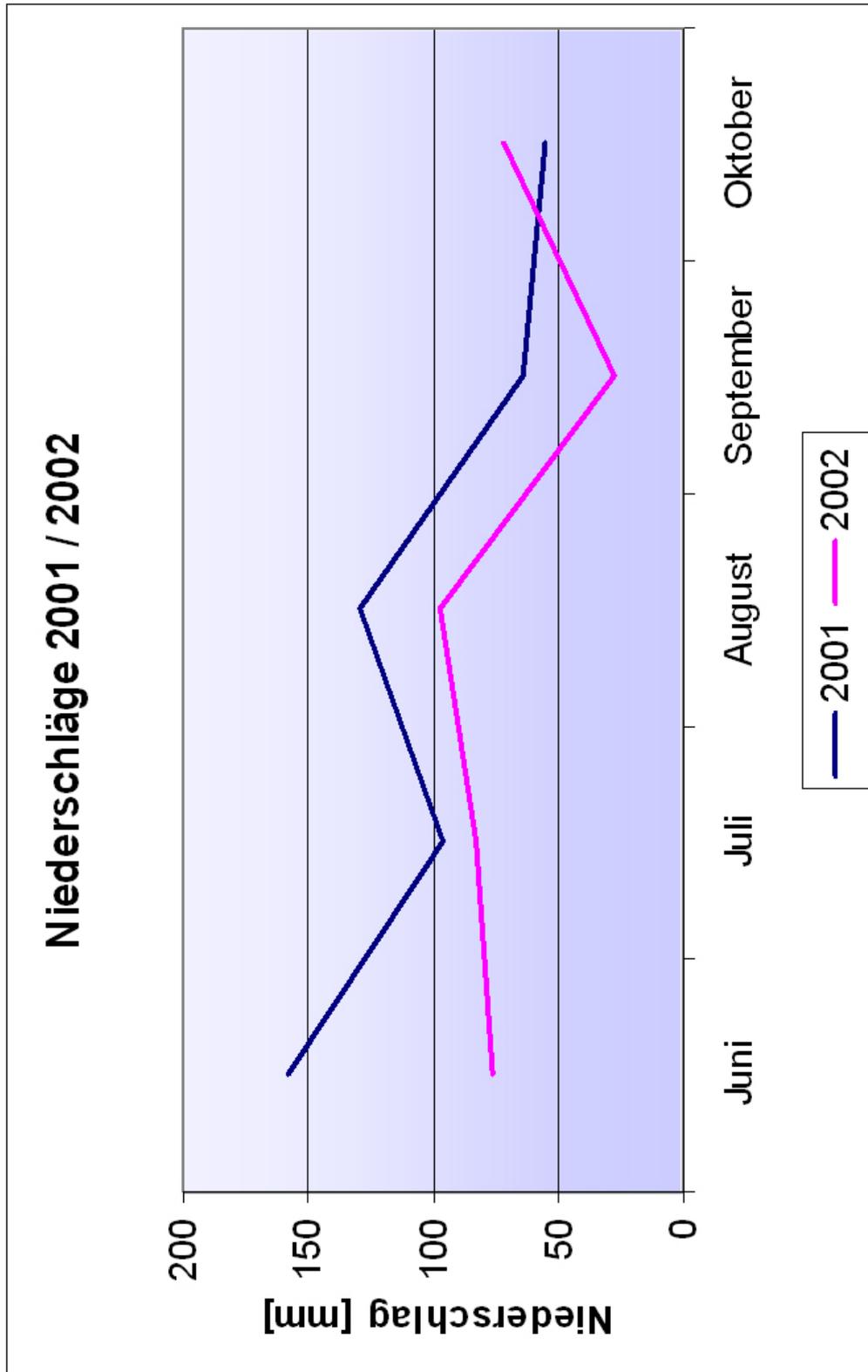
Tab. 2: Gemittelter Niederschlag 2002 der Messstationen Buffalora, Punt la Drossa, Samedan und Zernez.

Messdaten:

QE: 27.Jun., 29.Jun., 21.Aug., 23.Aug., 7.Sept.

QW: 26.Jun., 29.Jun., 21.Aug., 8.Sept.

SNP: 2.Jul., 4.Jul., 13.Aug.



Mittelwerte der Niederschläge von den Messstationen Buffalora, Punt la Drossa, Samedan und Zernez.

6.4 **Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1.1: Lage der Untersuchungsgebiete
- Abb. 2.1: Liasische synsedimentäre Abschiebung in der Ortler-Decke
- Abb. 2.2: Rekonstruktion des ostalpinen Kontinentalrandes
- Abb. 2.3: Tektonische Karte von Graubünden
- Abb. 2.4: Schematischer Längsschnitt entlang der Zerbü-Überschiebung
- Abb. 2.5: Profile des nordöstlichen Grates der Val Chaschauna
- Abb. 2.6: Verlauf der Zebrü-Überschiebung
- Abb. 2.7: Langgezogener Felsrücken in der Val Püdra
- Abb. 2.8: Katenausschnitt Val Püdra
- Abb. 2.9: Anschliff von einem Augengneis
- Abb. 2.10: Augengneis mit verwitterungsresistenten Feldspatagen
- Abb. 2.11: Dünnschliff 11C
- Abb. 2.12: Paragneis-Anschliff
- Abb. 2.13: Scharfer Kontakt zwischen einem metabasaltischen Gang und Orthogneis
- Abb. 2.14: Dünnschliff 20C
- Abb. 2.15: Dünnschliff 24
- Abb. 2.16: Dünnschliff 108
- Abb. 2.17: Rhyolith-Anschliff
- Abb. 2.18: Erosionsdiskordanz im Verrucano
- Abb. 2.19: Anschliff Verrucano
- Abb. 2.20: Dünnschliff 15
- Abb. 2.21: Dünnschliff 19
- Abb. 2.22: Fossiles Stück Holz von einem Schachtelhalmgewächs
- Abb. 2.23: Dünnschliff 22
- Abb. 2.24: Handstück einer stratiformen Rauhacke
- Abb. 2.25: Wechsellagerung von Anhydrit und Rauhacke
- Abb. 2.26: Stratigraphie der Ortler-Decke in der Val Chaschauna und Val Trupchun
- Abb. 2.27: Dolomit in Wechsellagerung mit Tonschiefern
- Abb. 2.28: Dolomit mit vielen Bioklasten
- Abb. 2.29: Durchadertes Handstück
- Abb. 2.30: Breccie mit Dolomit-Komponenten
- Abb. 2.31: Fossilien aus dem Lias
- Abb. 2.32: Eine mit Wasser gefüllte Doline
- Abb. 2.33: Dünnschliff 6
- Abb. 3.1: Zwei parallel verlaufende Moränenrücken
- Abb. 3.2: Grundmoränenauflschluss bei den Koordinaten 801333/160752
- Abb. 3.3: Gekritztes Geschiebe aus einem Moränenwall bei den Koordinaten 800715.1/159316.6
- Abb. 3.4: roche moutonnée
- Abb. 3.5: Schneehaldenmoräne
- Abb. 3.6: Periglaziallandschaft am italienisch-schweizerischen Grenzgrat
- Abb. 3.7: Gelber Alpen-Mohn
- Abb. 3.8: Mornellregenpfeifer
- Abb. 3.9: Gelifluktionshang in der obersten Val Püdra
- Abb. 3.10: Erdzunge bei den Koordinaten 801239/159724
- Abb. 3.11: Riesenerdzungen mit überlagerter Gelifluktion
- Abb. 3.12: Wanderblock bei den Koordinaten 801880/160749
- Abb. 3.13: Girlandenrasen auf basischem Substrat am Plaun dala Crappa
- Abb. 3.14: Nivationsnische am südlichen Talende
- Abb. 3.15: Frostsprengung im Orthogneis
- Abb. 3.16: Unsortierter Polygnoboden bei den Koordinaten 799900/158580
- Abb. 3.17: Steinsteifen bei den Koordinaten 802103/160179
- Abb. 3.18: Aktiver Blockgletscher im Kessel unterhalb der Punta Casana
- Abb. 3.19: Aufsicht auf die fossile Blockgletscheroberfläche oberhalb der Alp Chaschauna
- Abb. 3.20: Fossiler Blockgletscher und heutige Gelifluktionssungen
- Abb. 3.21: Probenahme von feinkörnigem Auswaschmaterial bei den Koordinaten 802251/160421

- Abb. 3.22: Lockergesteinsausbruch in der Val Mingèr
- Abb. 3.23: Murgang-Rinne mit "levée" in der Val Mingèr
- Abb. 3.24: Murgang in der Val Chaschauna
- Abb. 3.25: Abrissrand einer Rutschung unterhalb des Kessels der Punta Casana
- Abb. 3.26: Entstehung einer neuen Rinne in einem Schwemmfächer
- Abb. 3.27: Verwilderter Fluss und stabile Kiesbänke im Talgrund
- Abb. 3.28: "Fisheye-lense"-Aufnahme des Val Püra Schwemmfächers
- Abb. 3.29: Grosser, alluvialer Schuttkegel der östlichen Talflanke
- Abb. 4.1: Aquamerck® Carbonathärte-Test und Gesamthärte-Test
- Tab. 4.1: Klassifikation des Wassers
- Abb. 4.2: MultiLine P4
- Tab. 4.2: Vergleich verschiedener Wassertypen
- Abb. 4.3: Schematische Darstellung von Chromatogramm und Trennsäule
- Tab. 4.3: Trennsäulen mit den entsprechenden detektierbaren Ionen
- Abb. 4.4: Schematische Darstellung der Fliesswege im DX-120
- Abb. 4.5: Resultat der chemischen Suppression
- Abb. 4.6: IC-Labor am Institut für Geologie
- Abb. 4.7: Vergleich von pH-Werten aus Feld- und Labormessungen
- Tab. 4.4: Ionenbilanz von QW7
- Tab. 4.5: Vergleich zwischen berechneten und gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten
- Abb. 4.8: Mobiles GIS
- Tab. 4.6: Vor- und Nachteile des mobilen GIS
- Abb. 4.9: Benutzeroberfläche von ArcMap®
- Abb. 4.10: Bild der Benutzeroberfläche eines Quellblatts in AquaChem®
- Abb. 5.1: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes
- Tab. 5.1: Wasservorrat der Erde
- Tab. 5.2: Hauptbestandteile von Regenwasser
- Abb. 5.2: Prozent des Hydrogencarbonatanteils als Funktion des pH-Werts
- Abb. 5.3: Kluftquelle aus Dolomit bei den Koordinaten (816080/176294)
- Tab. 5.3: Konzentrationsangaben für die Quelle QE72
- Tab. 5.4: Berechnung der meq/l-% für jedes Ion der Quelle QE72
- Tab. 5.5: Klassifikationsschema für die Quellwässer aufgrund der Ionenzusammensetzung
- Abb. 5.4: Piper-Diagramm mit allen beprobten Quellen der Val Chaschauna
- Abb. 5.5: Parallelogramm zur Abgrenzung der verschiedenen chemischen Grundwassertypen
- Abb. 5.6: Die verschiedenen Wassertypen der Val Chaschauna (Schoeller-Diagramm)
- Abb. 5.7: Verteilung der Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Quellen im Piper-Diagramm
- Tab. 5.6: Chemische und physikalische Parameter der Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Quellen
- Abb. 5.8: Verteilung der Ca-Mg-HCO₃-Quellen im Piper-Diagramm
- Tab. 5.7: Chemische und physikalische Parameter der Ca-Mg-HCO₃-Grundwassertypen
- Abb. 5.9: Verteilung der Ca-SO₄-Quellen im Piper-Diagramm
- Tab. 5.8: Chemische und physikalische Parameter der Ca-SO₄-Grundwassertypen
- Abb. 5.10: Piper-Diagramm der Ca-Mg-SO₄-Quelle
- Tab. 5.9: Chemische und physikalische Parameter des Ca-Mg-SO₄-Grundwassers
- Abb. 5.11: Piper-Diagramm der Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Quelle
- Tab. 5.10: Chemische und physikalische Parameter des Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Grundwassertyps
- Abb. 5.12: Verteilung der Mg-Ca-HCO₃-Quellen im Piper-Diagramm
- Tab. 5.11: Chemische und physikalische Parameter des Mg-Ca-HCO₃-Grundwassertyps
- Abb. 5.13: Piper-Diagramm der Quelle QE77
- Tab. 5.12: Chemische und physikalische Parameter des Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Grundwassertyps

6.5 Literaturverzeichnis

- ABDEL-HAFEZ, T. & SCHLÜCHTER, C. 2003: Hydrochemical and Clay Minerals Test in 15th May City, Cairo, Egypt. Unveröff.
- AHNERT, F. 1999: Einführung in die Geomorphologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 440 S.
- APPELO, C.A.J. & POSTMA, D. 1999: Geochemistry, Groundwater and Pollution. A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, 536 S.
- BENN, D.I. & EVANS, D.J.A. 1998: Glaciers & Glaciation. Arnold, London/New York/Sydney/Auckland, 734 S.
- BERNER, E.K. & BERNER, R.A. 1987: The Global Water Cycle: Geochemistry and Environment. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 397 S.
- BERNER, E.K. & BERNER, R.A. 1996: Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 376 S.
- BLAIR, T.C. & MCPHERSON, J.G. 1994: Alluvial fan processes and forms. In: Geomorphology of desert environments (Ed.: ABRAHAMS, A.D. & PARSONS, A.J.). Chapman & Hall, London, 354–402.
- BURROUGH, P.A. & McDONNELL, R.A. 1998: Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York, 333 S.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) 2003: Grundwasser. Bern, 31 S.
- CLAUSEN, M. 2001: Quartär- und Hydrogeologie in der Val Laschadura (GR). Unveröff. Diplomarb. Univ. Bern, 193 S.
- CONTI, P. 1994: La Falda dell'Ortles: struttura interna e suo ruolo nell'evoluzione tettonica delle Dolomiti dell'Engadina (Prov. Sondrio, Bolzano e Cantone dei Grigioni). Diss. Univ. Basel, 95 S.
- CONTI, P., MANATSCHAL, G. & PFISTER, M. 1994: Synrift sedimentation, Jurassic and Alpine tectonics in the central Ortler nappe (Eastern Alps, Italy). *Eclogae geol. Helv.* 87/1, 63–90.
- DIONEX 2001: Dionex Manuals & Literature CD, DX-120 Ion Chromatograph Operator's Manual. Dionex Corporation, Sunnyvale (California).
- DÖSSEGGER, R. 1974: Verrucano und "Buntsandstein" in den Unterengadiner Dolomiten. *Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich*, N.F. Nr. 235, 171 S.
- DÖSSEGGER, R. 2002: Von wo kommt die Nationalparkluft? *CRATSCHLA* 2, 4–5.
- DÖSSEGGER, R., FURRER, H. & MÜLLER, W. 1982: Die Sedimentserien der Engadiner Dolomiten und ihre lithostratigraphische Gliederung (Teil 2). *Eclogae geol. Helv.* 75/2, 303–330.
- DREIMANIS, A. & LUNDQVIST, J. 1984: What should be called till? In: Ten Years of Nordic Till Research (Ed.: KÖNIGSSON, L.-K.). *Striae* 20, Uppsala, 5–10.

- EBERLI, G.P. 1985: Die jurassischen Sedimente in den ostalpinen Decken Graubündens – Relikte eines passiven Kontinentalrandes. Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. Nr. 255, 203 S.
- EBERLI, G.P. 1988: The evolution of the southern continental margin of the Jurassic Tethys Ocean as recorded in the Allgäu Formation of the Austroalpine Nappes of Graubünden (Switzerland). *Eclogae geol. Helv.* 81/1, 175–214.
- EHLERS, J. 1994: Allgemeine und historische Quartärgeologie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 358 S.
- FLORINETH, D. 1998: Geometry of the Last Glacial Maximum (LGM) in the Swiss Alps and its paleoclimatological significance. Diss. Univ. Bern, 128 S.
- FRANK, S.M. 1986: Die Raibl-Gruppe und ihr Liegendes im Oberostalpin Graubündens: Die Entwicklung einer evaporitischen Karbonatplattform unter wechselnden Klimabedingungen; transgressive “events“ und frühcarnischer Vulkanismus. Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. Nr. 269, 239 S.
- FROITZHEIM, N. 1988: Syntectonic and synorogenic normal faults within a thrust sheet of the Eastern Alps (Ortler zone, Graubünden, Switzerland). *Eclogae geol. Helv.* 81/3, 593–610.
- FROITZHEIM, N. & EBERLI, G.P. 1990: Extensional detachment faulting in the evolution of a Tethys passive continental margin, Eastern Alps, Switzerland. *Bull. geol. Soc. Amer.* 102, 1297–1308.
- FROITZHEIM, N., SCHMID, S.M. & CONTI, P. 1994: Repeated change from crustal shortening to orogenparallel extension in the Austroalpine units of Graubünden. *Eclogae geol. Helv.* 87/2, 559–612.
- FURRER, G. & DORIGO, G. 1972: Abgrenzung und Gliederung der Hochgebirgsstufe der Alpen mit Hilfe von Solifluktuationsformen. *Erdkunde* 26, 98–107.
- FURRER, H. 1993: Stratigraphie und Facies der Trias/Jura- Grenzsichten in den Oberostalpinen Decken Graubündens. Diss. Univ. Zürich, 99 S.
- HÖLTING, B. 1996: Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 441 S.
- HOOKE, R.LEB. 1967: Processes on arid-region alluvial fans. *J. Geol.* 75, 438–460.
- JÄCKLI, H. 1970: Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. *Eclogae geol. Helv.* 63/2, 389–434.
- KARTE, J. 1979: Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglaziärs. *Bochumer geogr. Arb.*, H. 35, 211 S.
- MATTHESS, G. 1973: Die Beschaffenheit des Grundwassers (Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 2). Gebrüder Borntraeger, Berlin/Stuttgart, 324 S.
- MATTHESS, G. & UBELL, K. 1983: Allgemeine Hydrogeologie: Grundwasserhaushalt (Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1). Gebrüder Borntraeger, Berlin/Stuttgart, 438 S.

- MEIER-ZWICKY, C. 1999: Zweiter Schweizer Brutnachweis des Mornellregenpfeifers *Charadrius morinellus* L. in Graubünden. Ornithol. Beob. 96/1, 62–63.
- SCHAAD, W. 1995: Die Entstehung von Rauhwacken durch die Verkarstung von Gips. Eclogae geol. Helv. 88/1, 59–90.
- SCHLÜCHTER, C. 1989: Eiszeitliche Lockergesteine – Geologie, Genese und Eigenschaften. Habilschr. ETH Zürich, 162 S.
- SCHLUNEGGER, F. & HINDERER, M. 2003: Pleistocene/Holocene climate change, re-establishment of fluvial drainage network and increase in relief in the Swiss Alps. Terra Nova 15/2, 88–95.
- SCHMID, S. 1973: Geologie des Umbrailgebiets. Eclogae geol. Helv. 66/1, 101–210.
- SCHMID, S.M., CONTI, P. & FROITZHEIM, N. 1997: Gebirgsbau. In: Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50 000 des Schweizerischen Nationalparks (Ed.: TRÜMPY, R., SCHMID, S.M., CONTI, P. & FROITZHEIM, N.). Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Nr. 87, 15–21.
- SCHUMACHER, M. 2001: Der Einsatz eines mobilen GIS-Systems in den Erdwissenschaften. Unveröff. Diplomarb. (Teil A) Univ. Bern, 87 S.
- SMALL, H. 1989: Ion Chromatography (Modern Analytical Chemistry). Plenum Press, New York/London, 276 S.
- SOMM, A. 1965: Zur Geologie der westlichen Quaternals-Gruppe im schweizerischen Nationalpark (Graubünden). Diss. Univ. Zürich, 167 S.
- UNESCO 1978: World water balance and water resources of the earth. Paris, 663 S.
- VEIT, H., STINGL, H., EMMERICH, K.H. & JOHN, B. 1995: Zeitliche und räumliche Variabilität solifluidaler Prozesse und ihre Ursachen: Eine Zwischenbilanz nach acht Jahren Solifluktionmessungen (1985–1993) an der Messstation „Glorer Hütte“, Hohe Tauern, Österreich. Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 99, 107–122.
- WASHBURN, A.L. 1979: Geocryology: A survey of periglacial processes and environments. Edward Arnold Ltd., London, 406 S.
- WEGMÜLLER, M.C. 2001: Einflüsse des Bergwassers auf Tiefbau/Tunnelbau. Stäubli AG, Zürich, 215 S.
- ZOBRIST, J. & STUMM, W. 1979: Wie sauber ist das Schweizer Regenwasser? Neue Zürcher Zeitung, Nr. 146, 67–68.