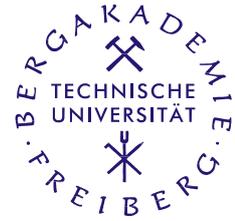


Technische Universität Bergakademie Freiberg

Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau

Institut für Geologie

Studiengang Geologie



Diplomarbeit

Hydrogeologische Verhältnisse der östlichen Troas

vorgelegt von

cand.-geol. Claudia Weber

betreut von

Prof. Dr. Broder Merkel

und

Dr. Christian Wolkersdorfer

TU Bergakademie Freiberg

Institut für Geologie

Lehrstuhl für Hydrogeologie

Freiberg, Juli 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort.....	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Danksagung.....	4
1.3	Zusammenfassung.....	5
2	Das Untersuchungsgebiet.....	7
2.1	Regionale Einordnung	7
2.2	Geschichte	7
2.3	Klima, Vegetation, Landnutzung.....	10
2.4	Morphologie.....	11
2.5	Hydrographie.....	12
2.6	Geologische Verhältnisse der Biga-Halbinsel	13
2.6.1	Geologische Verhältnisse.....	13
2.6.2	Entwicklungen im Tertiär und Quartär	16
3	Methodik.....	18
3.1	Vor-Ort-Analytik.....	18
3.1.1	Allgemeines	18
3.1.2	Probenahme.....	18
3.1.3	Leitfähigkeit und TDS	18
3.1.4	pH-Wert	20
3.1.5	Redoxpotential	20
3.1.6	Sauerstoffgehalt	21
3.1.7	Säure- und Basekapazität, Hydrogenkarbonat	23
3.1.8	Photometrie	25
3.2	Laboranalytik	27
3.2.1	Ammonium	27
3.2.2	Silicium	27
3.2.3	Potentiometrie	27
3.2.4	Volumetrie	29
3.2.5	Ionenchromatographie	32
3.2.6	Analyse der Spurenelemente.....	35
4	Statistik und Plausibilitätskontrollen.....	39
4.1	Mittelwert.....	39
4.2	Korrelationsanalyse.....	39
4.3	Clusteranalyse.....	40
4.4	Fehler- und Plausibilitätskontrollen	42
4.5	Darstellungsweise der Ergebnisse	43
4.6	Geothermometer.....	45

5	Ergebnisse und Auswertung der Wasserbeschaffenheit	48
5.1	Vor-Ort Parameter.....	48
5.1.1	Leitfähigkeit/Gesamtmineralisation.....	48
5.1.2	Der pH-Wert	48
5.1.3	Das Redoxpotential.....	49
5.1.4	Die Temperatur	49
5.1.5	Sauerstoff.....	50
5.2	Laborauswertung	50
5.2.1	Kationen.....	50
5.2.2	Anionen.....	55
5.2.3	Spurenelemente.....	60
5.3	Auswertung der Plausibilitätskontrollen	64
5.3.1	Auswertung der Vergleichsmessung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Nitrat	64
5.3.2	Auswertung der Ionenbilanz	67
5.3.3	Vergleich der gemessenen und der berechneten Leitfähigkeit.....	68
5.4	Geothermometer.....	69
5.5	Ergebnisse der Clusteranalyse	70
6	Schlußfolgerung.....	78
7	Verzeichnisse.....	84
7.1	Literaturverzeichnis.....	84
7.2	Abbildungsverzeichnis	89
7.3	Gleichungsverzeichnis.....	90
7.4	Anlagenverzeichnis.....	92

1 Vorwort

1.1 Einleitung

Aufgrund der Überlieferung in Homers Ilias ist Troia eine der bekanntesten historischen Stätten. In der Umgebung des Burgberges von Troia/Türkei siedeln seit ca. 5500 Jahren Menschen.

1870 begann Heinrich Schliemann archäologische Ausgrabungen in Troia, die seit 1988 unter der Leitung von Professor Manfred Korfmann fortgesetzt werden. Zum Schutz der alten Kulturlandschaft wurde der Historische Nationalpark Troia eingerichtet. Die Ergebnisse der archäologischen Grabungen haben ergeben, daß zu unterschiedlichen Zeiten verschiedene Wasserressourcen der Troas für die Versorgung der Bewohner genutzt wurden. Somit trat im Zuge der Forschungsarbeiten die Frage nach der Wasserversorgung des antiken Troia auf.

Zur Klärung dieser Frage wurde im Sommer 2002 eine hydrogeologische Kartierung in Zusammenarbeit mit Claudia Blume im Historischen Nationalpark Troia durchgeführt. Ziel war eine möglichst vollständige Aufnahme der vorkommenden Quellen und Wasseraustritte, sowie eine Probenahme an ausgewählten Meßstellen. Die Ergebnisse dieser Arbeit bilden die Grundlage der vorliegenden Diplomarbeit.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll eine hydrogeochemische Beschreibung der Wasservorkommen in der Troas gegeben werden. Diese stellen die Grundlage zur Klärung der Einzugsgebiete der Wässer dar, so daß ein Zusammenhang zu den lithologischen Einheiten gegeben werden kann. Die gewonnenen Ergebnisse dienen dem besseren Verständnis der hydrogeologischen Verhältnisse im Historischen Nationalpark Troia.

Im engen Zusammenhang zu dieser Arbeit stehen die Diplomarbeiten von Claudia BLUME, (Erstellung eines hydrogeologischen Modells des Troia Nationalpark), Katrin BERGMANN, (Untersuchung der geologischen Verhältnisse der neogenen Sedimente zwischen Troia und Gökçalı) sowie Pia LIPPMANN, (montanistische geowissenschaftliche Untersuchung der Quelhöhle KASKAL.KUR).

1.2 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Betreuern Herrn Prof. Merkel und Herrn Dr. Wolkersdorfer für die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit bedanken. Herrn Dr. Wolkersdorfer gilt besonderer Dank für die Betreuung der Geländearbeiten und die Bereitstellung von Kartenmaterial und Literatur.

Für die Möglichkeit, die Arbeiten in der Türkei unter guten Bedingungen durchführen zu können, gilt mein Dank den Mitarbeitern der Troia-Ausgrabung unter Leitung von Herrn Prof. Korfmann. Die Forschungsarbeiten in Troia werden von Daimler-Chrysler, dem Förderkreis „Freunde von Troia“ und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell unterstützt.

Für die Einführung in die lokale Geologie bedanke ich mich bei Herrn Prof. Kayan von der Universität Izmir. Ein besondere Dank gilt meiner Kommilitonin Claudia Blume, die mich bei der Geländearbeit, insbesondere der Probenahme, unterstützt hat. Einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen der Geländearbeiten leisteten die Studenten Figen Ozbay, Çağdaş Yüksel und Seyhmus Yaşın von der Universität Izmir, die mir dank ihrer Übersetzungen den Kontakt zur einheimischen Bevölkerung vermittelten und mich bei der Probenahme unterstützten. Mein Dank gilt ebenso den Einwohnern der Ortschaften im Arbeitsgebiet, die mir durch ihre Gastfreundschaft und Hilfsbereitschaft die Arbeit erleichterten.

Für die Unterstützung während der Laborarbeiten bedanke ich mich bei Herrn D.C. Volke und Herrn Peters. Dem ICP-MS – Labor der TU Dresden in Tharandt, besonders Herrn D.C. Weiske, danke ich für die Analyse der Spurenelemente.

Für die Bereitstellung von Literatur und die Anregungen und Hinweise bedanke ich mich bei Herrn Prof. Pernicka und Frau Diplom-Geologin Göbel bedanken.

Besonderer Dank gilt meinen Kommilitoninnen Pia Lippmann und Katrin Bergmann für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung.

Ein spezieller Dank geht an meine Eltern, die mich während meines Studiums und insbesondere der Diplomarbeit stets unterstützt haben.

1.3 Zusammenfassung

Im Historischen Nationalpark Troia wurde im Sommer 2002 eine Kartierung der Wasservorkommen des Gebietes um den Burgberg Troia durchgeführt, außerdem wurde neben der Leitfähigkeit, dem pH-Wert, dem Redoxpotential und dem TDS (total dissolved solids) auch der Sauerstoff, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Eisen vor Ort bestimmt. An 44 ausgewählten Meßstellen wurden Wasserproben entnommen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit auf seine chemische Zusammensetzung hin analysiert wurden.

In allen Proben sind in geringen Mengen Eisen, Nitrit und Ammonium und kaum Spurenelemente enthalten. Seltene Erden treten bis auf Cerium (0,01 — 0,10 µg/L) in keinem Wasser auf, Strontium, Barium und Zink sind mit Gehalten bis 3,70 mg/L für Strontium, bis 0,83 mg/L für Barium und 0,17 mg/L für Zink enthalten. Erhöhte Arsengehalten (30 µg/L) treten besonders im Bereich der Quelhöhle KASKAL.KUR auf.

Die statistische Auswertung der Analysen ergab, daß sich die untersuchten Wässer drei Gruppen zuordnen lassen. Wässer der ersten Gruppe zeichnen sich durch niedrige Leitfähigkeiten (zwischen 400 und 1900 µS/cm), geringe Chlorid- (zwischen 30 mg/L und 2300 mg/L), Strontium- (10 — 1400 mg/L) und Natriumkonzentrationen (10 — 75 mg/L) aus. Die erste Gruppe kann in zwei Untergruppen, Gruppe 1a und 1b, unterteilt werden.

Die Proben der Gruppe 1a stammen zum einen aus den quartären Sedimenten, die sich zwischen dem Troia- und Kumkale-Rücken, sowie südlich Çiplak ausbreiten, zum anderen wurde ein Teil dieser Wässer im Bereich der magmatischen und metamorphen Gesteinen im Südosten des Untersuchungsgebietes und den Flüssen entnommen. Besonders niedrige Chlorid-, Sulfat-, Calcium-, Natrium- und Strontiumkonzentrationen zeichnen diese Gruppe aus. Klasse 1a läßt sich von den übrigen Gruppen sowohl lithologisch als auch hydrochemisch klar abgrenzen.

Charakteristisch für die Wässer der Klasse 1b sind mittlere Leitfähigkeiten, Chlorid-, Strontium- und Natriumgehalte. Die Meßstellen dieser Gruppe sind den obersten Sandsteinschichten der neogenen Sedimente zuzuordnen, aus denen die Rücken aufgebaut sind.

Die Probenahmestellen der zweiten Klasse verteilen sich entlang der Küste der Dardanellen und auf der Südflanke des Troia-Rückens. Hohe Chlorid-, Natrium-,

Magnesium-, Silikat- sowie Strontiumkonzentrationen zeichnen diese Wässer aus. Lithologisch sind sie den Ton-/Sandsteinschichten der tertiären Ablagerungen angehörig.

Die dritte Gruppe besteht aus nur einer Probe, die südlich von Gökçalı entnommen wurde. Aufgrund der extrem hohen Leitfähigkeit und des hohen Chlorid- sowie Strontiumgehaltes grenzt sich diese Gruppe hydrochemisch deutlich von den übrigen Klassen ab. Aus hydrogeologischer und geologischer Sicht kann die Klassenzugehörigkeit nicht geklärt werden.

2 Das Untersuchungsgebiet

2.1 Regionale Einordnung

Das Kartiergebiet mit einer Gesamtgröße von 100 km² befindet sich auf der Biga-Halbinsel im Nordwesten der Türkei und wird durch die GPS-Koordinaten (UTM) 4429500 bis 4415000 (N—S) und 431500 bis 447500 (E—W) festgelegt. Im Westen und Südwesten wird das Arbeitsgebiet von dem Fluß Karamenderes begrenzt, während die südliche Gebietsgrenze entlang der Ortschaften Pınarbaşı, Taştepe und Derbentbaşı verläuft und die östliche sich entlang der Ortschaften Dümrek und Akçeşme erstreckt. Die Dardanellen bilden die Begrenzung des Gebietes im Norden.



Abb. 1: Lage von Troia in der Türkei (ANANYMUS (a) 2003)

2.2 Geschichte

Troia gehört zu den bekanntesten Ausgrabungsstätten der Türkei, was unter anderem in der Ilias von Homer begründet liegt. Nach dieser bekannten griechischen Überlieferung ist Troia der Schauplatz des Trojanischen Krieges, indem die Griechen unter der Führung von Agamemnon um Helena kämpften, die zuvor von Paris entführt und nach Troia gebracht worden war. Im Bauch eines hölzernen Pferdes versteckten sich die 30 tüchtigsten Helden der Griechen, wurden so von den ahnungslosen Trojanern in die Stadt geführt und konnten Troia auf diese Weise erobern.

1870 wurden auf dem Hügel von Hırsarlık archäologischen Arbeiten von Heinrich Schliemann begonnenen, die seit 1893 Wilhelm Dörpfeld als Grabungsleiter bis 1924 fortführte. Nach 8-jährigem Stillstand nahm 1932 Carl Blegen die archäologischen

Grabungen bis 1938 auf. Seit 1988 werden die Grabungsarbeiten unter der Leitung von Manfred Korfmann mit einem internationalem Forscherteam weitergeführt.

In Anlehnung an Korfmann (1999) und Brandau (1997) soll die folgenden Kurzbeschreibung einen Überblick über die Entwicklung Troias geben.

Maritime Troia-Kultur

Troia I (2920 — 2480 v.u.Z.)

In der Zeit zwischen 2920 und 2480 v.u.Z. gab es eine befestigte Siedlung, deren Bewohner sich vom Ackerbau, Fischfang und der Jagd ernährten und bereits Handel betrieben. Das älteste Haus vom Megaron-Typ gehört dieser untersten Schicht an. Troia I wird in 10 Bauphasen (Troia Ia bis Ij) unterteilt.

Troia II (2600 — 2480 v.u.Z.)

Troia II war ein Fürsten- und Königssitz. Die Handelsbeziehungen reichten bis nach Mesopotamien und Nordsyrien. Zahlreiche Funde belegen eine große Kunstfertigkeit in der Metallverarbeitung. Zu den bedeutenden Fortschritten zählt die Entwicklung der Töpferscheibe. Der von Schliemann gefundene Schatz des Priamos belegt eine große Kunstfertigkeit dieser Epoche. Durch einen Stadtbrand wurde Troia II nahezu vollständig vernichtet.

Troia III (2480 — 2300 v.u.Z.)

Unmittelbar nach der Feuerbrunst, die das Ende von Troia II bedeutete, wurde eine neue kleinere Siedlung errichtet, in der die Bevölkerung in dichtgedrängten Häusern lebte. Um 2300 v.u.Z. verödet und verfällt der Ort und ist nahezu 100 Jahre sehr dünn, zeitweise gar nicht besiedelt.

Anatolische Troia-Kultur

Troia IV (2200 — 1900 v.u.Z.) und Troia V (1900 — 1750 v.u.Z.)

Auf den Trümmern der verfallenen Häuser aus Troia III entsteht eine neue Siedlung mit Befestigungsmauern. Die Besiedlungsform hat sich wenig verändert. Seit Troia IV treten Kuppelöfen auf. Aus Troia IV entsteht Troia V mit nach außen verlagerten

Befestigungsmauern. Nachdem die Bewohner Troia V verließen, blieb die Siedlung für etwa 50 Jahre unbewohnt. Große Teile Troia III, IV und V sind während Schliemanns Grabungen zerstört worden.

Troianische Hochkultur

Troia VI (1700 — 1250 v.u.Z.)

Troia VI wurde zu einem Fürsten- oder Königssitz ausgebaut. Es war die mächtigste Stadt in der Geschichte Troias. Tore und Türme unterbrachen einen massiven Stadtwall. Wohnhäuser wurden geräumiger und vornehmer ausgebaut. Man unterhielt Handelsbeziehungen mit dem gesamten Ägäis-Raum. Erstmals tritt hier die Pferdehaltung auf. Durch ein Erdbeben wurde die Stadt zerstört.

Troia VII (VIIa 1250 — 1180 v.u.Z., VIIb 1180 — nach 1000 v.u.Z.)

Troia VIIa fiel erneut einem Feuer zum Opfer. Zwischen und über den verbrannten Häusern wurden zahlreiche kleinere errichtet. Die Siedlungsweise der Bewohner von Troias VIIb unterscheidet sich von der ihrer Vorgänger. Um einen Hof gruppieren sich mehrere Häuser. Bedeutsam in dieser Periode sind Keramikfunde, die sogenannte Buckelkeramik. Auch Troia VIIb wurde von einem Feuer zerstört.

Griechische Kultur

Troia VIII (700 — 85 v.u.Z.)

Um 700 v.u.Z. siedelten sich Äolier an und nannten die Stadt Ilion. In diese Periode wurde das Theater und der Athene-Tempel errichtet. Handelsbeziehungen konnten erweitert werden.

Römische und byzantinische Zeit

Troia IX (85 v.u.Z. — 500 u.Z.)

Auf dem Gipfel des Hügels wurde ein neuer Tempel errichtet, der Athene Ilias geweiht war. Wohnhäuser befanden sich in der Unterstadt östlich und südlich davon. Zu den römischen Bauten gehören ein großes und ein kleines Theater, das Odeon. Um etwa

300 u.Z. wurde Troia ein Bischofssitz. Nach der Zerstörung um 500 u.Z. war Troia bis ins 6. Jahrhundert nahezu verlassen.

Troia X (6. — 11. Jahrhundert)

Troia verlor zunehmend an Bedeutung. Im 14. Jahrhundert wurde der Bischofssitz aufgelöst und die Stadt endgültig verlassen.

2.3 Klima, Vegetation, Landnutzung

Das Kartiergebiet steht unter dem Einfluß des frostfreien mediterranen Klimabereiches mit unmittelbarer Nähe zum gemäßigten Klima Mitteleuropas. Entsprechend dem mediterranen Klima sind die Sommer trocken, die Temperaturen können dann bis zu 39 °C ansteigen. In den Monaten Juni bis September fallen nur ca. 10 % des jährlichen Niederschlages. In den regenreichen Wintern herrschen Temperaturen zwischen 0 und 10°C. Im Küstenbereich schwanken die Jahresmitteltemperaturen zwischen 15 und 20 °C, während in den höheren Lagen Jahrestemperaturwerte zwischen 10 und 15 °C erreicht werden können. Abhängig von Lage und Höhe der Region liegt der mittlere Jahresniederschlag zwischen 600 und 1000 mm. Zu den trockeneren Landstrichen zählen die Ebenen des mittleren und unteren Abschnitts des Karamenderes (HÖHFELD 2001).

Tab.1: Monatsmittelwerte der Temperatur und des Niederschlages für den Meßzeitraum:
1951 bis 1990, Station Çanakkale (HOARE 2003)

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
T (°C)	6,3	6,7	8,0	12,3	17,3	21,9	24,5	24,3	20,5	15,6	11,9	8,5
P (mm)	106,7	69,4	67,4	45,7	31,6	22,5	12,9	7,5	25,1	49,1	90,9	106,1

Das Gebiet um Troia wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt und wird von ŞENER et al. (2003) für die Region Çanakkale mit einer Gesamtgröße der landwirtschaftlich genutzten Fläche von 333 573 ha angegeben. Bedingt durch die sommerliche Trockenheit ist eine Bewässerung der Felder notwendig, wofür Wasser vorwiegend aus künstlich angelegten Kanälen, Schürfen und Bohrungen entnommen wird. Insgesamt werden ca. 60 000 ha künstlich bewässert.

In den Ebenen, entlang der Flüsse Karamenderes und Dümrek und auf den flachen Südhängen der neogenen Rücken, werden Felder für den Gemüseanbau (Tomaten, Paprika) angelegt, aber auch Baumwolle und Ölpflanzen (Sonnenblumen, Olivenbäume) sowie Getreide sind sehr verbreitet. In den weniger fruchtbaren Regionen, wie in den Berglandsgebieten, wird hauptsächlich Viehzucht (Ziegen und Schafe) betrieben.

In den Wäldern Troias sind Hartlaubgewächse (*Macchie*), Schwarzkiefern (*Pinus nigra*), Brutische Kiefern (*Pinus brutia*) sowie immergrüne und sommergrüne Eichen (*Quercus cocifera*, *Quercus ilex*) zu finden (HÖHFELD 2001).

2.4 Morphologie

Der Norden des Untersuchungsgebietes wird von einem Uferhügelland mit Steilküsten und schmalen Strandbuchten gebildet. Entlang der Flüsse Karamenderes und Dümrek erstrecken sich alluviale Ebenen, die sich in die tertiäre Hügel- und Riedellandschaft einschneiden. Zwei von Ost nach West streichende Rücken mit steil einfallenden Nordflanken und flachen Südhängen liegen östlich des Karamenderes. Der von Norden nach Süden verlaufende Yeniköy-Rücken trennt die Flußebene westlich des Karamenderes von dem Ägäischen Meer.

Im Süden wird das Gebiet von Plateaus mit Höhen bis zu 300 m gebildet sind Die Kalkberglandschaften des Fiğla Dađlı mit den Basaltaufsätzen des Ballı Dađ bilden die Hochflächen im Süden des Untersuchungsgebietes. An die Riedellandschaft gliedert sich im Osten das vulkanische Bergland an (HÖHFELD 2001).

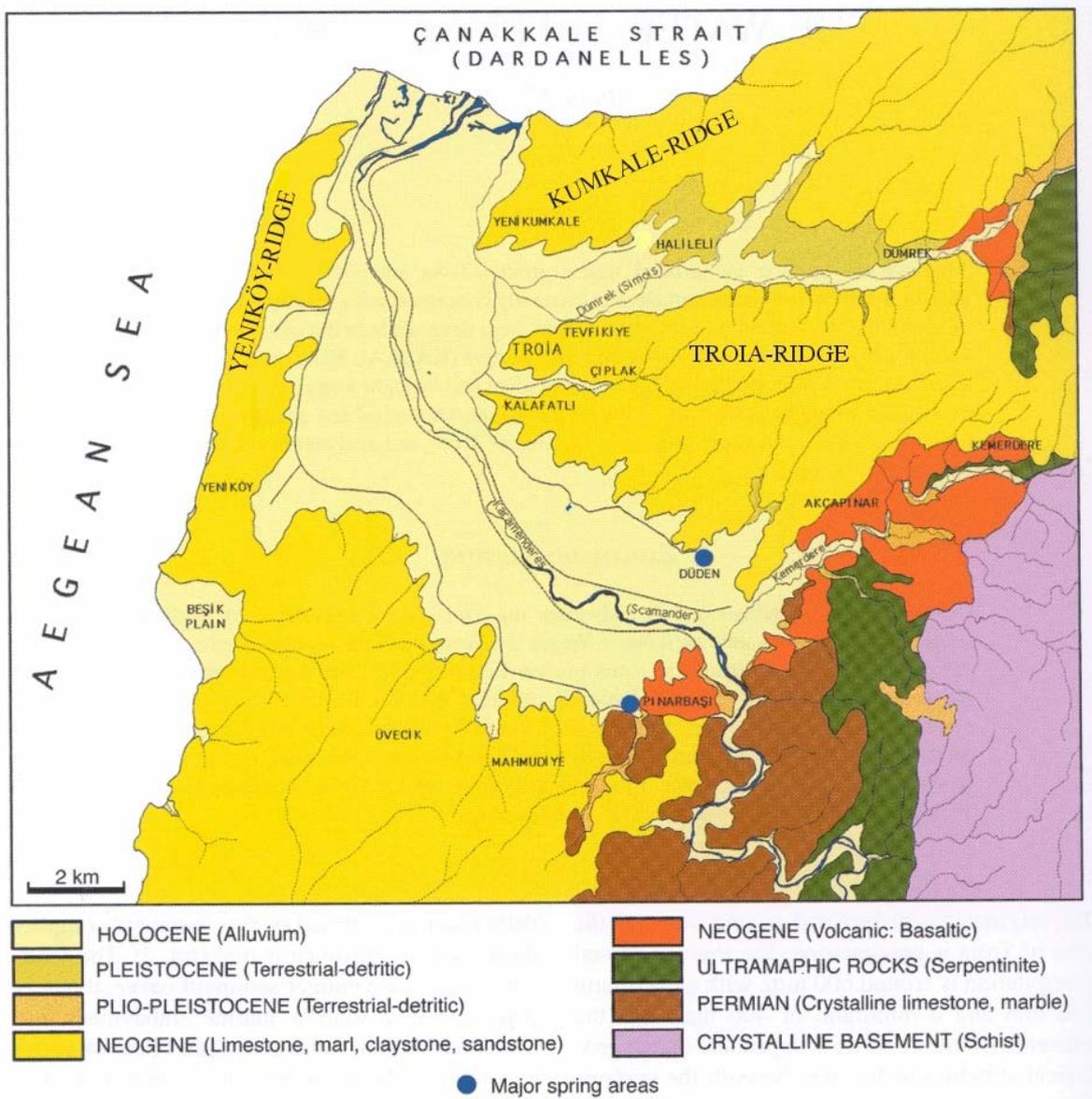


Abb. 2: Geologie und Morphologie des Historischen Nationalpark Troia und Umgebung (KAYAN 2000)

2.5 Hydrographie

Der Karamenderes, der in der Antike auch Skamander genannt wurde, ist der bedeutendste Fluß im Untersuchungsgebiet. In den nördlichen Ausläufern des Kazdağ-Massivs (Ida-Gebirge) entspringt der Fluß, dessen Einzugsgebiet von YÜZER (1997) mit 1584 km² angegeben wird, durchquert das Ezine-Bayramiç-Becken von Osten nach Westen und fließt dann in nördlicher Richtung und schneidet sich in der Araplar-Schlucht in das 200 bis 300 m hohe Salihler-Plateau ein. An der Araplar-Schlucht wird dieser Fluß durch ein Staubauwerk reguliert, das sich außerhalb des Untersuchungsgebietes befindet. Oberhalb

des Staudammes beträgt der mittlere Durchfluß des Karamenderes 12,85 m³/s (YÜZER 1997). Nördlich der Schlucht erstreckt sich auf etwa 15 km Länge eine von Süden nach Norden verlaufende durchschnittlich 4 km breite quartäre Schwemmebene, bis der Fluß nördlich von Kumkale in einem Delta in die Dardanellen mündet.

Als zweiter Fluß durchquert der Dümrek das Arbeitsgebiet von Ost nach West. Dieser, in der Antike Simoeis genannte Fluß, hat seinen Ursprung ebenso im Salihler-Plateau und mündet in die Dardarnellen. In der Trockenperiode der Sommermonate fällt der Dümrek teilweise trocken, so daß er nur noch an vereinzelt Stellen Wasser führt.

Am Rande des Untersuchungsgebietes verläuft der Kemerdere, dessen Quellgebiet auch im Salihler-Plateau liegt, von Osten nach Westen. Östlich des Dorfes Akçesme wird er durch ein Staubauwerk reguliert und mündet westlich von Taştepe in den Karamenderes.

In der Ebene südlich von Çıplak und westlich von Troia wurden und werden Kanäle für die Bewässerung der Felder durch die heimische Bevölkerung angelegt. Ursprung der Bewässerungskanäle ist die Düdenquelle und der Stausee des Karamenderes. Nahezu parallel des Karamenderes verläuft der Kanal Kalafatli Azmagi, der in dieser Quelle entspringt und Nördlich von Troia in den Dümrek mündet. Die größten natürlichen Grundwasseraustritte im Kartiergebiet sind die Quellen bei Pınarbaşı und die Düdenquelle.

2.6 Geologische Verhältnisse der Biga-Halbinsel

2.6.1 Geologische Verhältnisse

Die Biga-Halbinsel wird nach OKAY et al. (1991) in vier Einheiten untergliedert. Von Nordost nach Südwest erstrecken sich die Gelibolu-, Ezine-, Ayvacık-Karabiga und die Sakarya-Zonen.

Von der Gelibolu-Halbinsel bis zur Insel Marmara reicht die Gelibolu-Zone im Norden (KNACKE-LOY 1994). Sie wird von dem spätkretazischen Çetmi-Ophiolith gebildet. An einigen Stellen wurde dieses, aus Kalkstein, Eklogit, Spilit, pelagischem Schiefer, turbiditischen Sandstein sowie Serpentin und Radiolarit bestehende Grundgebirge, Bedingungen der Blauschiefermetamorphose unterworfen. Überlagert wird das Grundgebirge von tertiären Ablagerungen. Nach OKAY et al. (1991) weist der Çetmi-Ophiolith charakteristische Merkmale eines sedimentationsarmen Akkretionskeils auf.

Im Südosten der Geliboluzone schließt sich die Ezinezone an. Tertiäre Sedimente überlagern weitgehend den Kontakt zwischen diesen beiden Zonen. An der Marmara Insel trennt eine Störung die Serpentine des Çetmi-Ophiolith von den Glimmerschiefern der Marmara Insel. Die Ezinezone wird nach OKAY et al. (1991) in die Karadağ Einheit, den Denizgören Ophiolith und die Çamlıca-Glimmerschiefer unterteilt. Die Karadağ-Einheit wird von Metasandsteinen, Metaquarziten und Kalksteinen gebildet.

Ähnlich der Geliboluzone ist der Çetmi-Ophiolith in der Ayvaçık-Karabiga-Zone ausgebildet. Unter dem Ophiolith befindet sich die zwei Kilometer mächtige Alakeçi-Mylonit-Zone, die den Ophiolith von den hochmetamophen Einheiten der Kazdağ-Gruppe trennen (OKAY et al. 1991).

Neben Myloniten gehören die Kazdağ-Gruppe, der triassische Karakaya-Komplex sowie jura- bis kreidezeitliche Sedimente zur Sakarya-Zone. Diese Zone wird nach BRINKMANN et al. (1997) von der der Intra-Pontiden-Sutur im Norden und der Izmir-Ankara-Sutur im Süden begrenzt. Das westliche Ende der Sakarya-Zone wird von der Biga-Halbinsel gebildet. Diese Zone wird von YILMAZ (1997) in zwei Komplexe unterteilt. Die Komplexe von Uludağ und Yenişehir weisen verschiedene metamorphe Assoziationen auf.

Hochmetamorphe paläozoische Gesteine (Gneise, Schiefer, Migmatite, Grünschiefer und Phyllite) bilden das Basement der Uludağ Gruppe, in welche ein granitischer Pluton im Karbon intrudierte. Arkosen der Cambazkaya Formation, flachmarine Kalke aus dem Perm (Derbentkalkstein) und flach- bis tiefmarine triassische Karbonate und Klastite der Karakaya Formation überlagern mit zwischengelagerten Ophioliten das Basement. Regionalmetamorphe Gesteine (Pyroklastite), Metasedimente sowie ein Ophiolith, aus der späten Trias prägen die Yenişehir-Gruppe (ELMAS & YIĞITBAŞ 2001).

In der Zeit von Lias bis Turon werden die metamorphen Einheiten von einer transgressiven Abfolge überdeckt. Die Bayirköy-Formation (fluviatile Ablagerungen), die Bileçik-Formation (flachmarine jurassische Kalke) sowie die Şegukçan-Formation (Radiolarit-Cherts mit pelogischen Kalken aus dem Cenoman und Turon) bilden die Deckschichten (ELMAS & YIĞITBAŞ 2001). Die Sakaryazone kann zwischen den deformierten und metamorphen Gesteinseinheiten des Grundgebirges sowie dem schwach deformierten Deckschichten aus dem Jura bis Tertiär klar unterschieden werden.

Im Osten der Biga-Halbinsel wird das präjurassische Basement in drei Einheiten untergliedert: die Prä-Karakaya-Einheit, die Kazdağ-Gruppe und der Karakaya Komplex.

Die Prä-Karakaya-Einheit setzt sich zusammen aus niedriggradigen Metasedimenten, der Kalakak-Formation und den Camlik Metagranodiorit. Die aus Gneisen, Amphiboliten und Marmoren bestehende Kazdağ-Gruppe wird von Gesteinen des Karakaya-Komplexes überlagert.

Der Karakaya Komplex setzt sich aus verschiedenen Gesteinen wie Basalte, Radiolarite, Tonsteine, Kalksteine, Grauwacken, Konglomerate, Phyllite und Marmore zusammen (OKAY et al 1991). Weite Gebiete der Biga-Halbinsel werden von Abfolgen vulkanischen bzw. vulkanoklastischer Gesteine aus dem Tertiär überdeckt (ELMAS & YIĞITBAŞ 2001).

Die sedimentären Ablagerungen entlang der Dardanellen unterteilen YALTIRAK et al. (2002) in die Gazhanedere-, Kirazlı-, Alçıtepe-, Conkbayırı- und in die Marmara Formation.

Die Gazhanedere Formation aus dem frühen bis mittleren Miozän besteht aus mehrfarbigen Tonschluffsteinen, lakustrinen Tonablagerungen und Konglomeraten. Über den Tonschluffsteinen lagern die massiven Sandsteine mit Schluffeinschaltungen, der Kirazlı Formation. Sandige und oolitische Kalksteine und Sandsteine der Alçıtepe Formation überdecken die Kirazlı Formation. Die Sedimente dieser Formation lagerten sich im flach marinen und lakustrinen Milieu.

Ablagerungen des oberen Miozäns bis späten Pliozän bilden die Conkbayırı Formation, die sich aus Tonschluffsteinen und Sand-Kies-Zwischenlagen zusammensetzt. Gut gerundete Kiese und karbonatische Sandsteine mit Karbonatzement aus dem späten Pliozän bis Frühquartär bilden die Özbek Formation.

Die Mamara Formation besteht aus detritischen Material und Ablagerungen einer Strandfazies. Die Sedimente lagerten sich im mittleren bis späten Pleistozän ab (YALTIRAK et al. 1998).

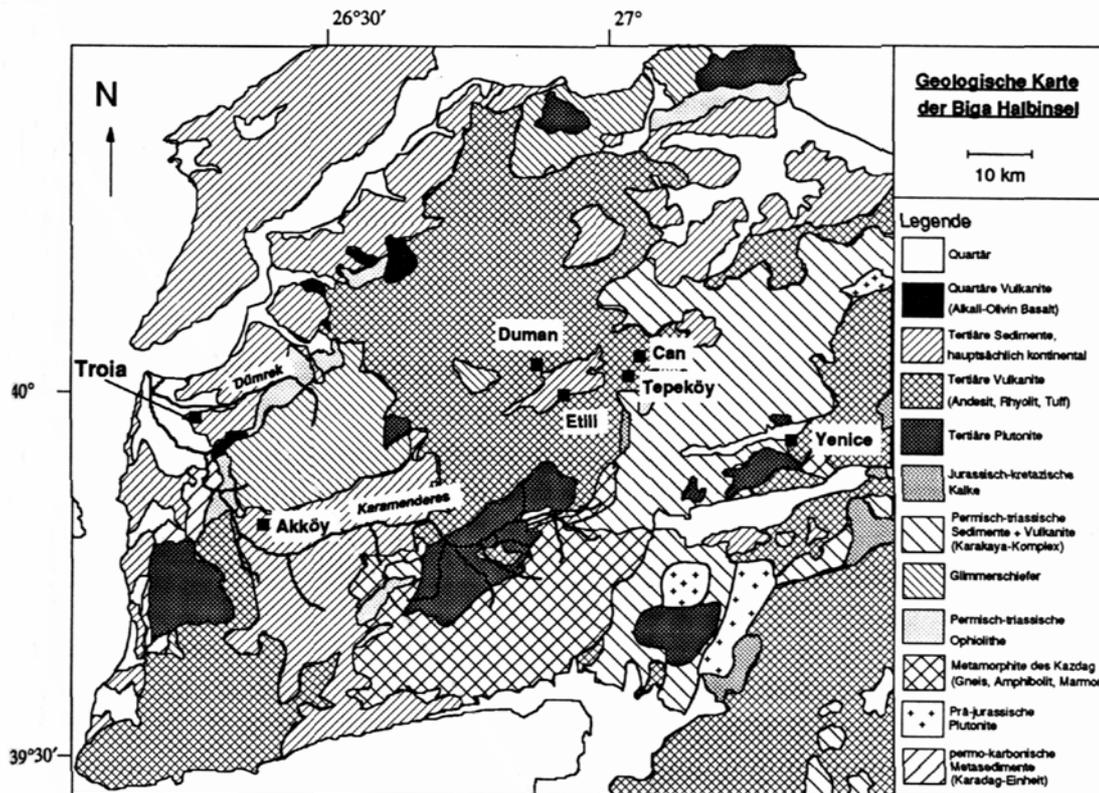


Abb. 3: Geologie der Biga-Halbinsel nach KNACKE-LOY (1994)

2.6.2 Entwicklungen im Tertiär und Quartär

Kalke aus dem mittleren Eozän sind die ältesten Sedimente der Biga-Halbinsel. Diese werden von miozänen Turbiditserien mit Lagen von Andesit und andesitischen Tuffen überlagert. Im Verlauf der im Oligozän einsetzenden Hebung der Biga-Halbinsel wurden diese Gesteine großflächig aberodiert (KNACKE-LOY 1994).

Im frühen Miozän war die Landschaft Nordwestanatoliens eben. Es herrschte ein warmes humides Klima sowie eine dichte Vegetation. Dadurch wurde eine intensive Verwitterung begünstigt. Das verwittertete Material wurde anschließend fluviatil transportiert und abgelagert. Das Mittelmeer war mit dem Indischen Ozean verbunden (KAYAN 1996). Hügelartige Erhebungen trennten die Seen voneinander abgetrennt. Vulkane traten entlang einer N-NE-streichenden Störung auf und lagerten Material ab.

Seit dem Oligozän anhaltender Magmatismus in Westanatolien verstärkte sich im Unteren Miozän bevor er im Oberen Miozän bis Pliozän abklang (YILMAZ 1997). Die Gesteine sind drei Gruppen zuzuordnen. Mit einem Alter von 35 bis 20 Millionen Jahren gehören die Plutonite mit granitischer Zusammensetzung der ältesten Gruppe an. Vor 30 bis 15 Millionen Jahren entstanden intermediäre Vulkanite einer zweiten Gruppe. Sowohl die

erste als auch die zweite Einheit weisen eine kalk-alkalische Zusammensetzung auf. Die jüngste Gruppe wird von Basalten gebildet, die auf 10 bis 4 Millionen Jahre datiert wurden. Diese Gruppe zeigt geochemisch einen alkalischen Charakter (YILMAZ 1997). Intermediäre bis saure Intrusionen bildeten sich in der frühen Phase zwischen späten Oligozän bis mittleren Miozän. In großen Gebieten der Biga-Halbinsel wurden im frühen und mittleren Miozän andesitische, dazitische sowie rhyolitische Vulkanite und Tuffe mit Einschaltungen limnischer Sedimente abgelagert (KNACKE-LOY 1994).

Eine Hebung Anatoliens im mittleren Miozän erfolgt durch die Kollision der Anatolischen Platte mit der Arabischen Platte. Es begannen sich Becken, Gräben und Halbgräben herauszubilden. Bis zum Ende des Miozäns hatte sich die Morphologie erhoben und war unebener. Eine Verbindung des Mittelmeeres mit dem Indischen Ozean wurde im Verlauf dieser Kollision geschlossen. Im Folgenden veränderte sich das Klima zu trockenen und heißen ariden bis semiariden Bedingungen. Die ausgeprägte Vegetation wandelte sich zu einer trockenen Steppenvegetation. Rezent werden diese Bewegungen fortgesetzt.

In Zeiten der Regression des Meeresspiegels waren das Schwarze und das Marmara Meer als Seen ausgebildet. Durch die Sedimentfracht der Flüsse bildeten sich alluviale Schwemmenenen. Seit dem späten Miozän lagerten sich im Norden der Halbinsel flachmarine und fluviatile klastische Sedimente ab (KAYAN 1999). Durch den alkali-basaltischen Vulkanismus, der ab dem Quartär einsetzte, wurden Alkali-Olivin-Basalte gebildet. Diese sind weniger verbreitet, als die tertiärem Vulkanite (KNACKE-LOY 1994).

3 Methodik

3.1 Vor-Ort-Analytik

3.1.1 Allgemeines

Die Bestimmung der Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Redoxpotentials und TDS (total dissolved solids) erfolgte im Gelände mit dem Ultrameter 6P der Firma Myron. Unter Verwendung des Oximeter WTW OXI 320 wurde der Sauerstoffgehalt des Wassers ermittelt. Für die Bestimmung der Säurekapazität K_S (4,3) und die Basenkapazität K_B (8,2) wurde ein Digitaltitrator der Firma HACH eingesetzt. Unter Einsatz des HACH Colorimeter DR/890 erfolgte die Analyse auf Eisen (II), Eisen (gesamt), Nitrit, Nitrat und Phosphat. An 44 ausgewählten Probenahmestellen wurden die Säure- und Basenkapazität, Eisen, Nitrit, Nitrat sowie Phosphat untersucht. Vor dieser Analyse wurde das zu beprobende Wasser unter Verwendung von Cellulose-Acetat-Filtern der Porengröße 0,45 μm von der Firma Satorius GmbH (Göttingen) filtriert. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Grundlagen und Einflußfaktoren der einzelnen Verfahren erklärt.

3.1.2 Probenahme

Für die chemische Analyse der Hauptelemente wurde das zu beprobende filtrierte Wasser in 250 ml Kunststoffflaschen gefüllt, die zuvor mit dem zu beprobenden Wasser gespült worden sind. In 100 ml Kunststoffflaschen wurde das Wasser für die Analyse der Spurenelemente eingefüllt und mit Salpetersäure (HNO_3) konserviert, um ein Ausfallen der Elemente zu vermeiden. Um eine Veränderung der chemischen Zusammensetzung zu verhindern, wurden die Flaschen so abgefüllt, daß sich möglichst keine Luft mehr in den Flaschen befand.

3.1.3 Leitfähigkeit und TDS

Die Leitfähigkeit stellt einen Summenparameter für gelöste, dissoziierte chemische Substanzen (Elektrolyte) dar. Sie beruht auf der Fähigkeit der im Wasser gelösten Ionen, elektrischen Strom zu transportieren (KÖLLE 2001).

Die Größe der Leitfähigkeit ist unter anderem abhängig vom Dissoziationsgrad der anorganischen sowie organischen Elektrolyte und der Temperatur der Probe (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981). Sie ist direkt proportional zu Konzentration und Ladung der Ionen sowie deren Wanderungsgeschwindigkeit in einem elektrischen Feld. Die spezifische Leitfähigkeit ist definiert als Kehrwert des spezifischen Widerstandes (OTTO 2000):

$$(1) \quad K = \frac{1}{p} \quad [\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}]$$

K = spezifische Leitfähigkeit

p = spezifischer Widerstand

Die Wanderung der Ionen im elektrischen Feld und ihre Elektrolyse an der Anode bzw. Kathode liegen der Leitfähigkeitsmessung zugrunde. Mit Hilfe der Konduktometrie wird der elektrische Widerstand in einer Leitfähigkeitsmeßzelle gemessen.

Das unspezifische Maß für die Gesamtionenkonzentration gibt keine Aussage über die Art der Ionen. Wenn die Ionenzusammensetzung und die Äquivalentleitfähigkeiten bekannt sind, lassen sich Rückschlüsse von der Leitfähigkeit auf die Konzentration ziehen. Da die Leitfähigkeit stark temperaturabhängig ist, wird sie zur besseren Vergleichbarkeit stets auf dieselbe Temperatur bezogen (nach deutscher und internationaler Norm 25 °C). So wird die Messung entweder immer bei 25 °C durchgeführt oder die Meßwerte werden mittels Korrekturfaktor umgerechnet (PEIFFER & PECHER 1997).

Einige Feldmeßgeräte, wie auch das Verwendete, verfügen über die Funktion der Temperaturkorrektur. Die TDS (total dissolved solids) steht im engen Zusammenhang mit der elektrischen Leitfähigkeit. Sie schließt alle gelösten Feststoffe ein und wird in ppm oder mg/l angegeben.

3.1.4 pH-Wert

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität

$$(2) \quad \text{pH} = -\log a \{ \text{H}^+ \}$$

In reinem Wasser beträgt der pH-Wert bei 25 °C $\text{pH} = 7$ und ist gemäß Definition neutral. Es liegen gleiche Konzentrationen an $[\text{H}^+]$ und $[\text{OH}^-]$ Ionen vor. Ein Überschuß an H^+ -Ionen führt zu einer Verschiebung des Systems in den sauren Bereich ($\text{pH} < 7,0$).

Im basischen Bereich ($\text{pH} > 7$) liegen mehr $[\text{OH}^-]$ Ionen vor. Die Löslichkeit vieler Stoffe im Wasser wird durch den pH-Wert beeinflusst (HÖLTING 1996). In natürlichen Wässern liegt er meist im Bereich zwischen 6,7 und 7,5. Eine Abweichung davon wird durch den Gehalt an freiem Kohlenstoffdioxid bzw. an Hydrogenkarbonat-Ionen verursacht (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981).

Der pH-Wert kann kolorimetrisch mit Indikatorpapier oder -stäbchen, oder potentiometrisch bestimmt werden. Bei der Vor-Ort-Analyse wurde die Methode der Potentiometrie angewendet. Das Ultrameter bestimmt den pH-Wert auf 0,01 Einheiten genau. Eine Kalibrierung mit 3 Standard-Pufferlösungen vor Beginn der Meßreihe ist erforderlich (ALBRECHT et al. 1978).

3.1.5 Redoxpotential

Vielen analytischen Vorgängen liegen Reduktions- und Oxidationsreaktionen zugrunde. Durch die Messung der Redoxpotentiale erfolgt eine Quantifizierung der Redoxvorgänge. Von den jeweiligen Redoxpartnern ist der Betrag der Potentiale abhängig. Das Redoxpotential wird in Fließgewässern von ständig anwesenden oxidierbaren organischen Stoffen und vom Sauerstoff bestimmt. Durch sauerstoffzehrende Prozesse kommt es zu einer Abnahme des Redoxpotentials. Das Potential ist ein Maß für die oxidierende und reduzierende Kraft eines Systems. Dabei ist die oxidierende Wirkung umso stärker, je positiver das Potential ist. Je negativer das Potential ist, umso stärker ist die reduzierende Wirkung.

Redoxpotentiale lassen sich durch die NERNSTSche Gleichung beschreiben:

$$(3) \quad E = E^{\circ} + 2,3 \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}$$

Mit	R	Gaskonstante ($8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)
	F	Faradaykonstante ($96,485 \cdot 10^3 \text{ V}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)
	Z	Anzahl der ausgetauschten Elektronen
	T	Temperatur in Kelvin
	E°	Standard-Elektrodenpotential in Volt = Normalpotential
	E	Elektrodenpotential
	O_x	Aktivität der oxidierten Form des Stoffes
	Red	Aktivität der reduzierten Form des Stoffes

Da bei vielen Redoxvorgängen die Wasserstoffionenkonzentration eine Rolle spielt, ist das Elektrodenpotential vom pH-Wert abhängig. So sinkt das Elektrodenpotential mit steigendem pH-Wert (OTTO 2000).

Um das gemessene Redoxpotential auf die Normalsauerstoffelektrode zu beziehen, ist eine Korrektur nach folgender Formel notwendig:

$$(4) \quad E_h(\text{korr.}) = E_h - 0,198 \cdot (T - 25) + \sqrt{(50230,214 - 294,67714 \cdot T)}$$

E_h gemessenes Redoxpotential in mV

T gemessene Temperatur in °C

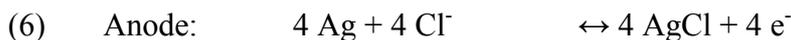
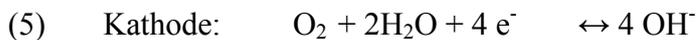
3.1.6 Sauerstoffgehalt

Sauerstoff ist für die Flora und Fauna im Wasser unerlässlich. Er trägt zum Abbau organischer Stoffe durch Mikroorganismen bei. Zum einen gelangt Sauerstoff über die Wasseroberfläche aus der Luft, zum anderen durch die Photosynthese ins Wasser. Ein Sauerstoffverbrauch erfolgt durch die Atmung der im Wasser lebenden Organismen und durch chemische Oxidationsvorgänge (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981).

Die Konzentration an gelösten Sauerstoff im Wasser ist das Ergebnis von sauerstoffliefernden und sauerstoffzehrenden Vorgängen. Sie gibt einen Hinweis auf die Sauerstoffverhältnisse in einem Gewässer. Bei Konzentrationen von D.O. (Dissolved

Oxygen) 0 mg/L herrschen anoxische Bedingungen vor, bei D.O. = 1 mg/L oxische Bedingungen.

Weiterhin hängt die Löslichkeit von Sauerstoff vom Luftdruck und der Temperatur ab (PEIFFER & PECHER 1997). Sauerstoffgehalte im Wasser können jodometrisch (nach WINKLER), chemisch (nach OHLE) und elektrometrisch bestimmt werden. Analog der pH-Messung funktioniert die elektrometrische Bestimmung. Vorteile dieses Verfahrens liegen in einer einfacheren Probennahme, schnelleren und bequemerer Durchführung sowie einer höheren Meßgenauigkeit (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981). Dieses Verfahren beruht auf dem Prinzip der amperometrischen Meßzelle von CLARK, bestehend aus einer Arbeitselektrode aus Edelmetall (Gold oder Platin) und aus einer Gegenelektrode aus Silber. Während der Messung spielen sich folgende Redoxvorgänge ab:



Die Korrektur der Temperatur und des Druckes werden von dem Gerät selbständig durchgeführt.

Vor der Meßreihe erfolgte eine 1-Punkt-Kalibrierung, wobei das CF- (konstante Feuchte) Kalibriergefäß zum Einsatz kam. Für die Kalibrierung ist der Sauerstoffpartialdruck der Luft ausreichend. Das Ergebnis der Messung wird entweder in mg/l oder in % Sättigung als Dissolved Oxygen (D.O) angegeben (SCHWEDT 1995).

Da die O₂-Elektrode während der Messung Sauerstoff verbraucht, muß durch eine ständige Bewegung des Wassers für eine Nachlieferung von Sauerstoff gesorgt werden. Bei stehenden Gewässern oder im Labor kann es zu einer Verfälschung der Meßwerte durch ständiges Rühren kommen.

3.1.7 Säure- und Basekapazität, Hydrogenkarbonat

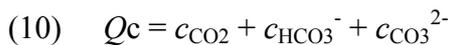
In natürlichen Gewässern spielt das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht eine wichtige Rolle. Das im Wasser gelöste Kohlendioxid liegt sowohl als gebundene Kohlensäure (im Karbonaten und Hydrogenkarbonaten) als auch als freie Kohlensäure vor:



Der Hauptanteil des CO_2 bleibt aber als Gas im Wasser gelöst. Dabei dissoziiert die Kohlensäure in 2 Stufen:

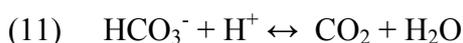


Der anorganische Kohlenstoff Q_c kann als CO_2 -Gasmolekül als HCO_3^- und als CO_3 -Ion auftreten.

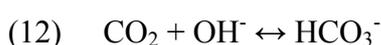


Bei Titration mit starken Säuren treten in wässrigen Lösungen von CO_2 zwei Pufferzonen im pH-Bereich von pH 5,0 — 7,8 und pH 9,0 — 11,6 auf. Die pH-Sprünge (bei pH 3 — 5 und pH 7,8 — 9,0) sind je nach Art und Konzentration der im Wasser enthaltenen puffernden Substanzen mehr oder weniger deutlich ausgeprägt. Substanzen mit Pufferwirkung (wie Humussäure und Phosphorsäure), bewirken einen schleppenden pH-Sprung (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981).

Durch Titration mit Salzsäure gegen den Farbindikator Methylorange wird die Säurekapazität bestimmt. Diese Titration zeigt einen Farbumschlag im pH-Bereich von 4,3. Als Maß für die Säurekapazität K_S wird der Anteil an Hydrogenkarbonat in der Probe ermittelt. Während der Titration mit Salzsäure (HCl) wird bis zu dem pH-Wert von 4,3 das gesamte Hydrogenkarbonat aufgebraucht. Folgende Gleichung stellt die Reaktion dar:



Analog der Titration der Säurekapazität wurde die Basenkapazität K_B mit Natronlauge (NaOH) gegen Phenolphthalein bis zu einem Farbumschlag bei pH 8,2 bestimmt. Die Basenkapazität ist ein Maß dafür, wie viel CO_2 die Probe enthalten hat.



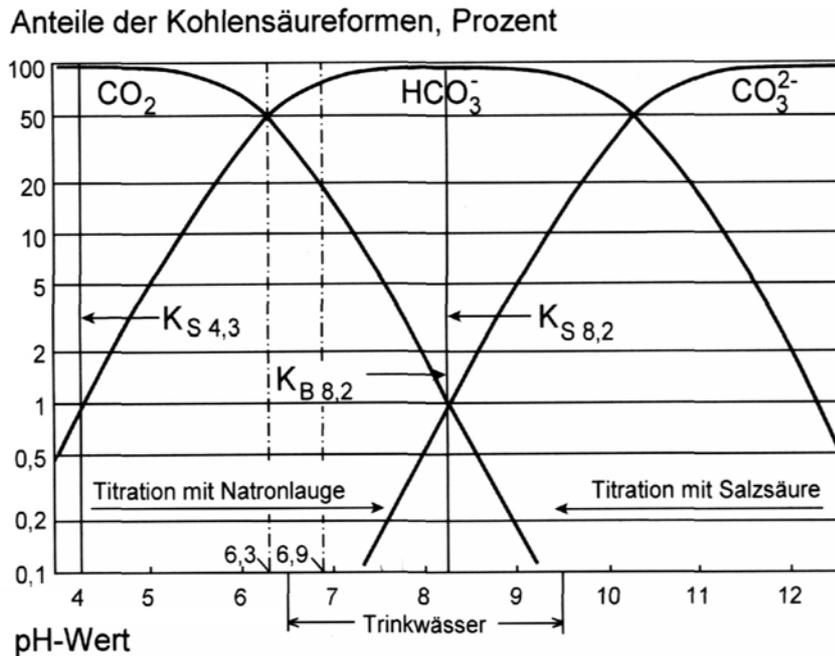


Abb. 4: Verteilung der Komponenten des anorganischen Kohlenstoffs (KÖLLE 2001)

Die Abbildung 4 stellt die Verteilung der Komponenten des anorganischen Kohlenstoffs in Abhängigkeit vom pH-Wert dar (KÖLLE 2001). Aus der Säurekapazität läßt sich nach folgender Formel die im Wasser enthaltene Konzentration an Hydrogenkarbonat bestimmen:

$$(13) \quad \text{HCO}_3 \text{ [mg/L]} = 61,015 * K_S$$

Die Titration erfolgte unter Verwendung des Digitaltitrators der Firma HACH nach DIN 38409 (1979). Störungen der Reaktionen können durch eventuell enthaltenes freies Chlor, durch oxidierbare oder hydrolysierbare Ionen von Eisen, Aluminium oder Mangan auftreten. Fehler können durch indikatoradsorbierende Kolloide sowie organische, den Indikator auslösende oder chemisch beeinflussende Teilkomponenten des Wassers verursacht werden. Ungenauigkeiten, die aus subjektive Bestimmung des Farbumschlages hervorgehen, hätten durch den Einsatz einer pH-Elektrode minimiert werden können (KÖLLE 2001).

3.1.8 Photometrie

3.1.8.1 Einleitung

Photometrische Meßmethoden werden zur Bestimmung der Konzentrationen von organischen und anorganischen Wasserinhaltsstoffen angewandt. Zunächst wird der zu untersuchende Inhaltsstoff mit einem farbgebenden, möglichst selektiven Reagenz versetzt. Die Farbintensität der Reaktionslösung verhält sich proportional zur Konzentration und zur Schichtdicke (Küvettendurchmesser). Nachdem der Wasserinhaltsstoff vollständig mit den Farbreagenzien reagiert hat, wird durch die gefärbte Lösung ein monochromatischer Lichtstrahl geschickt. Gemessen wird die Abschwächung des Lichtes als Lichtabsorption.

Bei diesem Verfahren liegen die Fehlerquellen überwiegend in Ablese- und Dosierungsungenauigkeiten (PEIFFER & PECHER 1997). Im Gelände erfolgte die photometrische Bestimmung von Eisen, Nitrit, Nitrat und Phosphat mit einem Colorimeter DR/890 der Firma HACH. Vor den einzelnen Bestimmungen wurde zunächst eine Blindprobe bestimmt.

3.1.8.2 Eisen

Die Bestimmung des gesamten Eisengehaltes erfolgt unter Verwendung des FerroVer[®] Eisenreagenz für 10 ml Probelösung, das ein Reduktionsmittel enthält und alles in der Probe vorhandenes Eisen in die zweiwertige Form umwandelt. Dieses lösliche Eisen (II) reagiert mit dem 1,10 Phenantrolin-Indikator und bildet eine orange Farbe. Die Intensität der Farbentwicklung ist direkt proportional zur Eisenkonzentration (ANONYM (c)).

Für die Bestimmung des zweiwertigen Eisens werden 25 ml der Probe mit 1,10-Phenantrolin Indikator in Form von Powder-Pillows versetzt. Dieser reagiert nur mit dem Fe (II) und bildet eine orange Färbung. Dreiwertiges Eisen reagiert bei dieser Methode nicht. Die Konzentration des Fe (III) wird durch Subtraktion des Eisen (II) vom Ergebnis des Gesamteisen ermittelt (ANONYM (c)).

3.1.8.3 Phosphat

Für die Bestimmung des Phosphatgehaltes werden 10 ml filtrierte Probe mit einem PhosVer3[®]-Pulverkissen (Ascorbinsäure) versetzt. Das Orthophosphat reagiert im saurem Medium unter Bildung eines Molybdato-phosphatkomplexes mit dem Molybdat. Durch die im Pulverkissen enthaltene Ascorbinsäure wird der Komplex reduziert. Die Reaktion ruft eine intensive blaue Farbe hervor (ANONYM (c)).

3.1.8.4 Nitratbestimmung

Bei der photometrischen Nitratbestimmung werden die in 10 ml Probe enthaltenen Nitrate durch Cadmium, aus dem NitraVer5[®]-Pulverkissen, zu Nitrit reduziert. Im sauren Medium reagiert dieses Nitrit mit Sulfanilsäure und bildet ein intermediäres Diazoniumsalz. Das Salz verbindet sich mit Gentisinsäure und färbt dabei die Probe bernsteinfarben. Alle für diese Methode erforderlichen Reagenzien sind in dem Pulverkissen NitraVer5[®] enthalten. Mit dem Photometer wird der Gehalt des Stickstoffs aus dem Nitrat bestimmt. Um die Nitratkonzentration zu ermitteln, wird der Messwert mit dem Faktor 4,4268 multipliziert. Fehlerquellen können bei dieser Methode in störenden Substanzen, wie Eisen (III), Nitrit und allen stark oxidierenden und reduzierenden Wasserinhaltsstoffen liegen (ANONYM (c)).

3.1.8.5 Nitritbestimmung

Für die photometrische Bestimmungsmethode sind alle benötigten Reagenzien in dem NitriVer3[®]-Pulverkissen für 10 ml Probelösung enthalten. Die Bestimmung des Nitrits läuft in zwei Schritten ab. Zunächst reagieren die Nitriten mit Sulfanilsäure aus dem Pulverkissen unter Bildung eines intermediären Diazoniumsalzes. Dieses Salz reagiert mit Chromotropsäure und es bildet sich eine rot bis orange Färbung. Die Messung der Farbintensität ergibt die genaue Nitritkonzentration in der Wasserprobe (ANONYM (c)).

3.2 Laboranalytik

3.2.1 Ammonium

Die Bestimmung des Ammoniumgehaltes erfolgte im Labor mit dem Photometer HACH DR/2000. Die photometrische Bestimmung beruht auf der Nessler Methode. Zunächst reagiert das Nessler Reagenz (K_2HgI_4) unter stark alkalischen Bedingungen mit dem Ammoniak aus der Wasserprobe und bildet dabei eine gelbe Verbindung. Deren Intensität steht in direkter Proportion zur Ammoniakkonzentration.



Störend auf diese Reaktion können sich Eisen und Sulfid auswirken. Sie verursachen mit dem Nessler Reagenz eine Trübung. Um das Ergebnis als Ammonium (NH_4^+) anzugeben, wird das Meßergebnis mit dem Faktor 1,29 multipliziert (ANONYM (c)).

3.2.2 Silicium

Im Labor erfolgte die Analyse mit dem Colorimeter HACH ODYSSEY. Für die Untersuchung werden 25 ml der Wasserprobe mit einem Molybdat-Reagenz und einem Säure-Reagenz versetzt. Unter sauren Bedingungen reagiert das Molybdation mit der Kieselsäure und dem Phosphat der Probe unter Bildung einer gelben Färbung. Zur Zerstörung des Molybdatophosphorsäurekomplexes wird der Probe anschließend Zitronensäurepulver zugegeben. Die Intensität der entstandenen gelblichen Färbung ist direkt proportional zum vorhandenen Kieselsäuregehalt der Wasserprobe (ANONYM (c)).

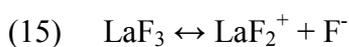
3.2.3 Potentiometrie

3.2.3.1 Einleitung

In der Potentiometrie wird zwischen einer Meß- und einer Vergleichselektrode eine Spannung (Potential) gemessen. Zwischen der Konzentration des zu bestimmenden Ions und dem gemessenen Potential muß ein eindeutiger funktionaler Zusammenhang bestehen. Dieser wird durch eine vorhergehende Kalibrierung ermittelt (ALBRECHT et al. 1978).

3.2.3.2 Fluorid

Die Bestimmung der Fluoridionen erfolgt durch eine potentiometrische Messung. Dazu wird eine ionenselektive Elektrode (ISE) verwendet, mit der die Aktivitäten des nicht komplexgebundenen Fluorids erfaßt wird (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981). In verdünnten Lösungen entspricht die ermittelte Aktivität auch der Konzentration des Ions. Für die Fluoridbestimmung wurde eine Einkristallmembranelektrode verwendet, die aus Lanthanfluorid (LaF_3) besteht. An der Grenzschicht zwischen der LaF_3 -Membran, der inneren Elektrolytlösung sowie der Analysenlösung stellt sich zwischen den Lanthanfluoridionen und den Fluoridionen ein Gleichgewicht ein:



Proportional zum Gehalt bzw. zur Aktivität des Fluoridions wird eine elektrochemische Potentialdifferenz zwischen der ISE und der Bezugs elektrode nach der NERNST-Gleichung erzeugt:

$$(16) \quad E(\text{LaF}_3, \text{F}^-, 25 \text{ }^\circ\text{C}) = E_{\text{const}} - 59,16 \text{ mV } \lg a_{\text{F}^-}$$

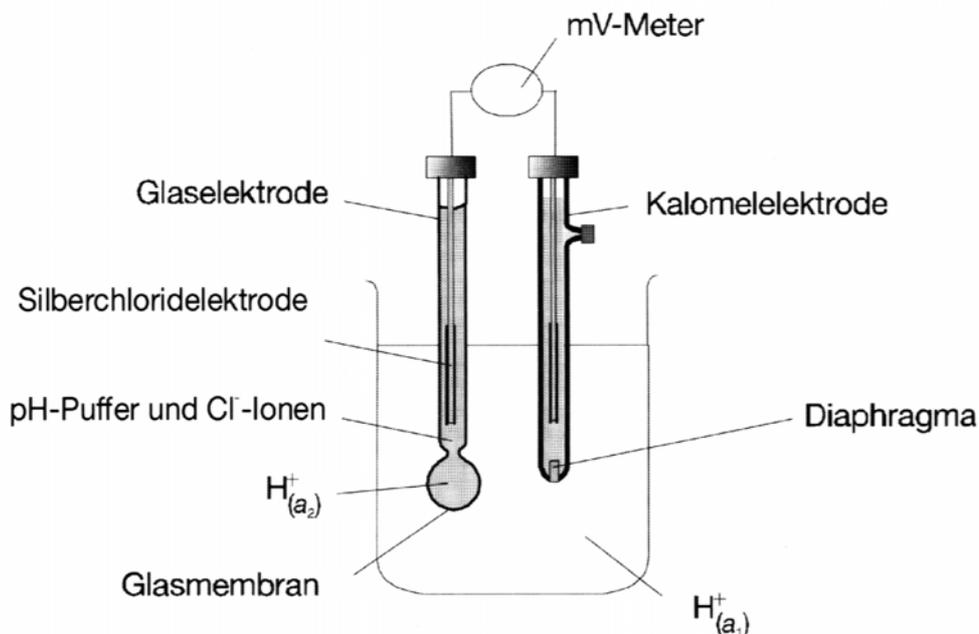


Abb. 5: Aufbau einer Meßzelle für die Fluoridbestimmung (OTTO 2000)

In der Abbildung 5 ist der schematische Aufbau der Meßzelle für die Fluoridbestimmung dargestellt.

Durch eine Kalibrierung mit Lösungen verschiedener Konzentrationen (0,01; 0,1; 1,0; 10,0 mg/l) wird der Zusammenhang zwischen dem gemessenen Potential und der Konzentration des Fluoridions hergestellt (ALBRECHT et al. 1978).

Für die Bestimmung der Fluoridionen wurden 5 ml Konditionierlösung der Firma WTW zu 25 ml der Wasserprobe gegeben. Mittels dieser Lösung wurden Komplexverbindungen des Fluorids gelöst und der pH-Wert verändert. Anschließend werden die Ionenselektive- und die Bezugselektrode in die Probelösung getaucht. Unter Rühren stellt sich nach einer gewissen Zeit die Potentialdifferenz ein und wird aufgezeichnet. Mit Hilfe der Kalibrierungsfunktion erfolgt die Umrechnung der Potentialdifferenz in die Fluoridkonzentration.

3.2.4 Volumetrie

3.2.4.1 Einleitung

In der Volumetrie werden spezifische chemische Reaktionen auf eine Volumenmessung zurückgeführt. Für eine quantitative Auswertung wird vorausgesetzt, daß der genaue Gehalt der Reagenzlösung bekannt ist und das zugegebene Volumen exakt feststellbar ist. Desweiteren sollte der Endpunkt der Reagenzzugabe gut erkennbar sein. Die Elemente Calcium, Magnesium und Fluorid werden volumetrisch bestimmt (ALBRECHT et al. 1978).

3.2.4.2 Calcium und Magnesium

Eine Bestimmung von Calcium und Magnesium erfolgte durch kompleximetrische Titration. Durch diese Methode können die Ergebnisse der Ionenchromatographie hinsichtlich der Calcium- und Magnesiumkonzentrationen kontrolliert werden. Die Titration eines Metallions mit EDTA (Ethylendiamintetraacetat) besteht aus zwei aufeinander folgenden Reaktionen:

- Titration des freien Metallions mit EDTA
- Zerstörung des Metall-Indikator-Komplexes unter Bildung eines stärkeren Metall-EDTA-Komplexes (FRITZ 1989)

Die Magnesiumkonzentration ergibt sich aus der Differenz des Titrationsergebnisses der Summe aus Calcium und Magnesium sowie des Calciums. Für die Bestimmung der Summe von Calcium und Magnesium wurden 10 ml Probe auf 100 ml verdünnt und mit 5 ml Pufferlösung (NH₄OH/NH₄Cl) sowie einer Spatelspitze Indikator (Mischung aus Eriochromschwarz T und NaCl im Verhältnis 2 : 100) versetzt, bis sich die Lösung weinrot färbt. Anschließend wurde die Lösung auf einer Heizplatte auf ca. 50 °C erwärmt und mit 0,1 molarer EDTA-Lösung bis zum Umschlag nach blau titriert.

Für die Bestimmung von Calcium wurden 10 ml Probe in einem Weithals-Erlenmeyerkolben auf 100 ml verdünnt und mit 2,5 ml Pufferlösung (10 g KOH/100 ml) und einer Spatelspitze Indikator (Calconcarbonsäure) versehen. Die Probelösung wurde mit 0,1 molarer EDTA-Lösung titriert, bis sich ein deutlicher Farbumschlag von weinrot nach blau vollzog. Bei dieser Methode werden eventuell vorhandenes Strontium und Barium mit erfaßt und als Calcium ausgegeben. Dies kann zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen.

Die Konzentration an Calcium- und Magnesiumionen berechnet sich wie folgt:

$$(17) \quad C_{\text{Ca+Mg}} [\text{mmol/ml}] = \frac{\text{Verbrauch EDTA} [\text{ml}] + \text{Molarität EDTA} [\text{mmol/ml}] + 1000 [\text{ml/ml}]}{\text{Vorlage} [\text{ml}]}$$

$$(18) \quad C_{\text{Mg}} [\text{mmol/ml}] = C_{\text{Ca+Mg}} [\text{mmol/ml}] - C_{\text{Ca}} [\text{mmol/ml}]$$

$$(19) \quad C_{\text{Mg}} [\text{mg/ml}] = C_{\text{Mg}} [\text{mmol/ml}] + 24,31 [\text{mg/mmol}]$$

$$(20) \quad C_{\text{Ca}} [\text{mmol/l}] = \frac{\text{Verbrauch EDTA} [\text{ml}] + \text{Molarität EDTA} [\text{mmol/ml}] + 1000 [\text{ml/ml}]}{\text{Vorlage} [\text{ml}]}$$

$$(21) \quad C_{\text{Ca}} [\text{mg/l}] = C_{\text{Ca}} [\text{mmol/l}] + 40,08 [\text{mg/mmol}]$$

3.2.4.3 Chlorid

Für die Berechnung der Chloridkonzentration wird der Faktor einer Silbernitratlösung benötigt. Zunächst muß dieser Faktor bestimmt werden. Um den pH-Wert auf 7 einzustellen wird 10 ml 0,1 N Salzsäure (HCl) mit 10 ml 0,1 N Natronlauge (NaOH) versetzt. Als Endpunktidikator wird zu dieser Lösung K_2CrO_4 hinzugegeben und mit Silbernitratlösung titriert. Chloridionen bilden mit Silberionen einen schwer löslichen weißen Niederschlag.



Sind sämtliche Chloridionen verbraucht, bilden weitere zugegebene Silberionen mit den Chromationen einen rotbraunen Niederschlag.



Der Faktor F der Silbernitratlösung berechnet sich wie folgt:

$$(24) \quad F = \frac{a \text{ HCl}}{a \text{ AgNO}_3}$$

HCl Volumen an HCl (ml)

$aAgNO_3$ Verbrauch an $AgNO_3$ – Lösung (ml)

Für die Bestimmung der Chloridionen in der Probelösung wird je nach Chloridkonzentration 25 ml, 50 ml oder 75 ml der Wasserprobe verwendet und mit deionisiertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Aufgrund der geringen Ammoniumgehalte kann der pH-Wert zwischen 7 und 9 eingestellt werden. Das Probewasser wird mit 3 Tropfen K_2CrO_4 versetzt und wird mit der Silbernitratlösung bis zu einem Farbumschlag von hellgelb nach gelblich-braun titriert.

Die Berechnung des Chloridgehaltes erfolgt nach folgender Formel:

$$(25) \quad \text{Cl}[\text{mg/L}] = \frac{(V_{\text{Ag}} - V_{\text{Bl}}) * F * C_{\text{AgNO}_3} * 35453}{V}$$

V_{Ag} Verbrauch an AgNO_3 – Lösung (ml)

V_{Bl} Verbrauch an AgNO_3 – Lösung des deionisierten Wasser (ml)

F Faktor der AgNO_3

C Molarität der AgNO_3 – Lösung (0,1 M)

V angewandtes Probevolumen (ml)

3.2.5 Ionenchromatographie

Die Ionenchromatographie umfaßt leistungsfähige flüssigkeitschromatographische Analysensysteme zur Trennung und quantitativen Analyse von anorganischen und organischen Anionen und Kationen. Für die Bestimmung der Anionen (Lithium, Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium) und der Kationen (Chlorid, Sulfat) wurde die Hochleistungschromatographie, auch HPLC (High Performance Liquid Chromatographie), verwendet. Diese Methode zur Analyse löslicher fester und flüssiger Substanzgemische ist sehr viel schneller als die herkömmliche Flüssigchromatographie. Die eigentliche Leistung der HPLC liegt darin, Gemische zu trennen und in ihre Komponenten zu zerlegen. Es ist aber auch möglich, die einzelnen Komponenten zu identifizieren und mittels geeigneter Detektoren quantitativ zu analysieren (ACED & MÖCKEL 1991). Die Trennung, welche mit Hilfe einer flüssigen und mobilen Phase erfolgt, beruht auf den Prinzipien der Adsorption der Verteilung, des Ionenaustausches und des Ausschluß.

Bis zu einem bestimmten Grad wirken dabei mehrere Prinzipien gleichzeitig (OTTO 2000).

Abbildung 6 stellt den schematischen Aufbau einer HPLC-Analyse mit einer Vorsäule dar:

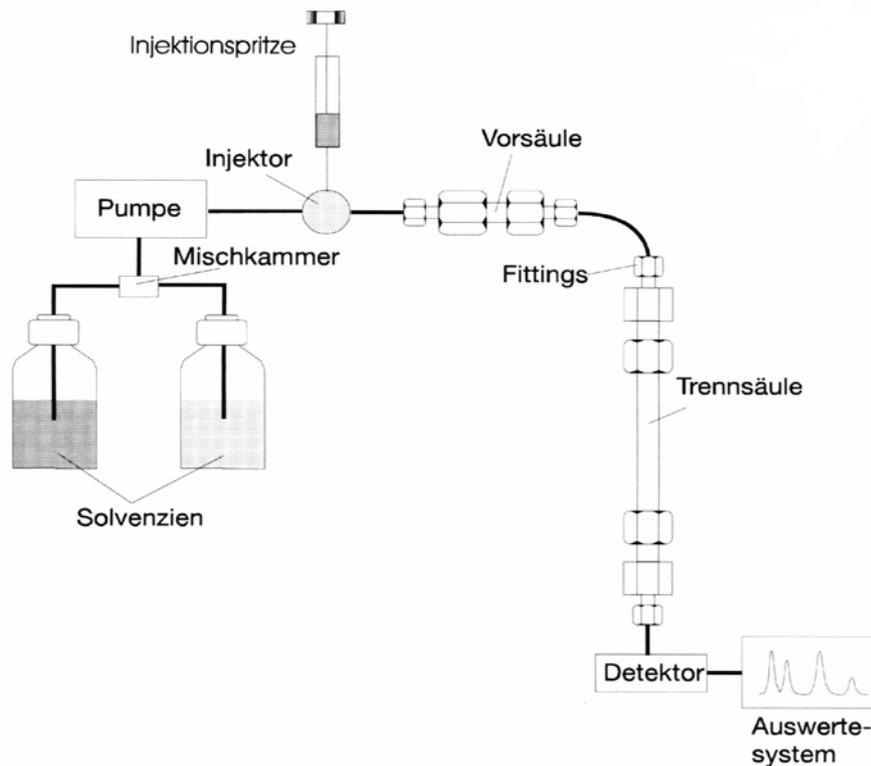
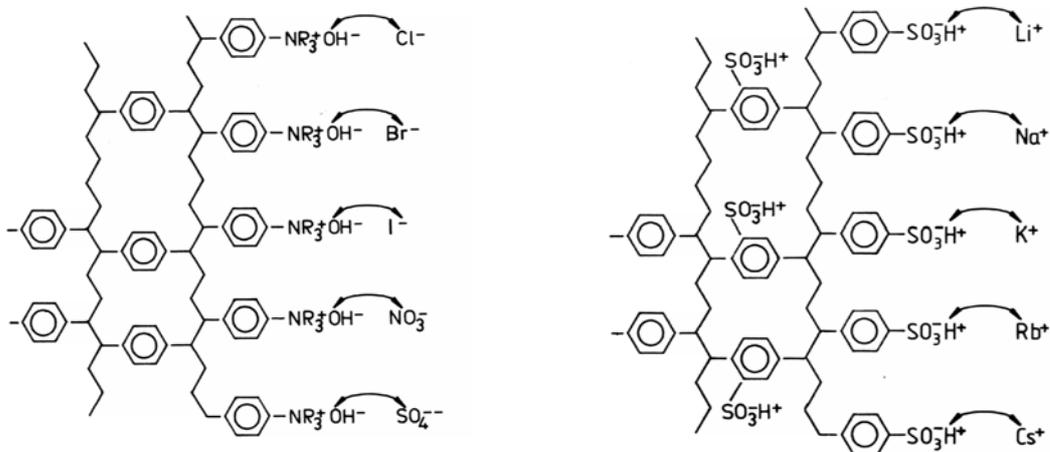


Abb. 6: Aufbau einer HPLC- Anlage mit einer Vorsäule (OTTO 2000)

Zum Schutz der Trennsäulen oder für die Vortrennung werden Vorsäulen eingesetzt. In diesen Trennsäulen befindet sich die stationäre Hilfsphase, welche räumlich fixiert, das chromatographische Bett bildet. Die Ionenchromatographie benutzt Ionenaustauscher zur Trennung elektrisch geladener Probenkomponenten. Dabei wird die stationäre Phase in den Trennsäulen aus stationär gemachten Gegenionen, kationischen Gruppen als Anionenaustauscher und anionischer Gruppen als Kationenaustauscher für die zu trennenden Ionen gebildet.

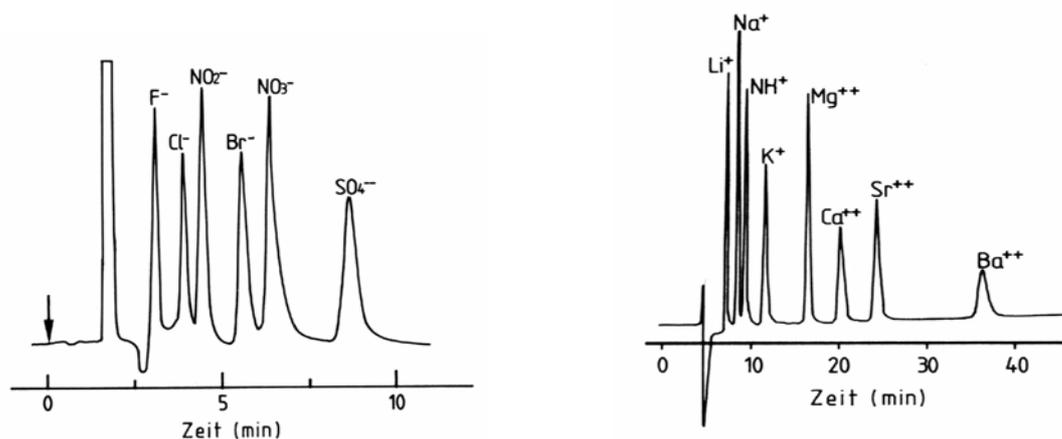


a) Anionenaustauscher

b) Kationenaustauscher

Abb. 7: Prinzip des Ionenaustausches (ACED & MÖCKEL 1991)

Die eigentliche Trennung erfolgt in der Trennsäule. Von einer mobilen Phase, dem Eluent, wird diese Säule mit konstanter Flußrate durchströmt. Geeignete Eluenten können Fluide, Gase, Flüssigkeiten oder überkritische Fluide sein. Über eine Injektionsspritze wird die Probe unmittelbar am Säuleneingang in die mobile Phase gegeben und von dieser durch die Säule transportiert. Ionenaustauscher haben zu unterschiedlichen Ionen verschiedene Affinitäten. Als Kationenaustauscher werden häufig Sulfonatgruppen SO_3^- verwendet. Bevor die Probe die Säule erreicht, ist sie mit Ionen des Eluent beladen. In der Trennsäule erreichen die Probeionen die Austauschphase und lagern sich aufgrund ihrer höheren Affinität an diese an. Dort bleiben diese unterschiedlich lange, bis sie von den Ionen des Eluenten, das in sehr hohen Überschuß vorliegt, vertrieben werden. Die Verteilung der Probeionen zwischen dem Eluent und den Austauscher hält so lange an, bis die einzelnen Komponenten voneinander getrennt sind und nacheinander in zeitlichen und räumlichen Abständen die Säule verlassen. Nach dem COULOMB'schen Gesetz für ionische Wechselwirkung, werden Ionen mit höheren Ladungszahlen länger zurückgehalten als Ionen mit kleineren Ladungszahlen. Da Ionen mit größeren Durchmessern besser polarisierbar sind und eine erhöhte nicht ionische Wechselwirkung mit der stationären Phase eingehen, haben diese höhere Retentionen als kleinere Ionen. Die getrennten Komponenten des Probegemisches werden aufgrund bestimmter physikalischer oder chemischer Eigenschaften von einem Detektor erfaßt und in einem sogenannten Chromatogramm ausgegeben.



a) Anionentrennung

b) Kationentrennung

Abb. 8: Chromatogramm der Ionentrennung (ACED & MÖCKEL 1991)

Mit der zugegebenen Substanzmenge ändert sich die Fläche unter dem Peak proportional. Bei gleichbleibender Peakform ist die Fläche auch proportional zur Peakhöhe. Aus der Peakfläche läßt sich eine quantitative Abschätzung der Ionen vornehmen. Mit Hilfe der

Retentionszeiten des Peaks werden qualitative Informationen gegeben und die Probenkomponenten lassen sich identifizieren. Ziel ist es, die Komponenten möglichst soweit zu trennen, daß zwischen zwei Komponenten leeres Eluent aus der Säule austritt. Im Chromatogramm wird so zwischen zwei Peaks die Grundlinie berührt. Die Grundlinie ist im Idealfall eine ungestörte Gerade, die parallel der Zeitachse verläuft. Bei hoher Empfindlichkeit des Detektors kann es zu Störungen der Basislinie kommen. Ein Zittern der Grundlinie läßt sich auf ein Kurzzeitrauschen zurückführen. Ein Langzeitrauschen verursacht ein unregelmäßiges Hin- und Herwandern der Grundlinie, was ein Vorhandensein von Peaks vortäuschen kann. Dieses Phänomen ist weitgehend unterdrückbar. Instabilitäten im System können eine Drift der Grundlinie in eine Richtung bewirken und ist ebenso vermeidbar. Eine Aufnahme der Kationen erfolgt über einen Leitfähigkeitsdetektor (ACED & MÖCKEL 1991). Dabei wird eine allgemeine Eigenschaft der mobilen Phase genutzt. Der Analyt oder auch Solut genannt, wird indirekt über eine Veränderung der Eigenschaft der mobilen Phase angezeigt (OTTO 2000). Die Differenz zwischen den Eluent und den Probeionen soll möglichst groß sein. Die Detektion der Anionen erfolgt mit einem nachgeschalteten UV-Detektor. Dazu wird ein Eluent verwendet, das im UV-Bereich optisch absorbiert, so daß man eine „hoch“ liegende Grundlinie erhält. Treten Ionen in den diesem Detektor, die in dem gewählten Wellenlängenbereich nicht absorbieren, tritt eine Aufhellung ein und ein negatives Signal wird registriert (ACED & MÖCKEL 1991).

3.2.6 Analyse der Spurenelemente

Im IVP-MS Labor der Tu Dresden in Tharandt wurde die Analyse der Spurenelemente durchgeführt. Die Bestimmung erfolgte mittels der ICP-MS. Bei dieser Meßmethode wird ein Massenspektrometer (MS) mit induktiv gekoppelten Plasma (ICP – Inductively Coupled Plasma) verwendet (HEINRICHS & HERRMANN 1990).

Die ICP-MS ruht auf den Grundlagen der Spektroskopie. Atome oder Moleküle liegen in diskreten Energiezuständen vor. Zwischen den Zuständen sind durch Aufnahme oder Abgabe von Energie Übergänge möglich. Freie Atome können elektromagnetische Strahlung absorbieren oder emittieren. Durch Energieaufnahme während der Absorption, können Valenzelektronen vom Grundzustand in einen angeregten Zustand angehoben werden. Unter Abgabe elektromagnetischer Strahlung gehen die Elektronen nach kurzer Zeit wieder in den Grundzustand über. Am häufigsten wird die

Atomemissionsspektroskopie mit ICP-Anregung angewendet (OTTO 2000). Die strahlenden Atome bilden dabei selbst die Strahlungsquelle. In dem Hochtemperaturplasma erfolgt sowohl eine Atomisierung als auch eine Anregung der Atome.

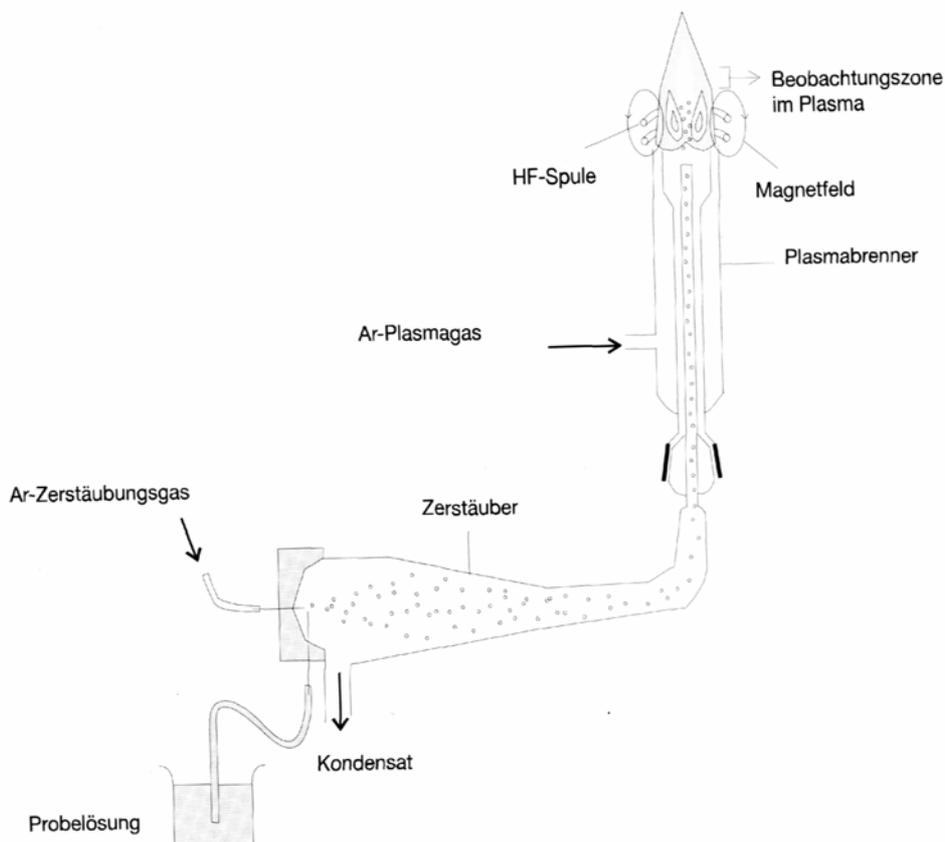


Abb. 9: Plasmabrenner mit ICP-Anregung (OTTO 2000)

Abbildung 9 stellt den schematischen Aufbau eines ICP-MS-Gerätes dar. Das Massenspektrometer besteht aus einem Hochfrequenzgenerator, einem horizontal angeordneten Argon-Plasmabrenner, einem hochauflösenden Quadrupol-Massenspektrometer sowie einen Rechner zur Steuerung der Messanordnung und der Datenausgabe (HEINRICH & HERRMANN 1990). In der Spule des Hochfrequenzgenerators wird der Plasmabrenner, der aus 3 konzentrischen Quarzrohren besteht, aufgestellt und von Argongas durchströmt. Mit einem Tesla Funken wird das HF-Argonplasma gezündet. Argon wird teilweise ionisiert, wobei freie Ladungsträger entstehen. In dem leitfähigen Gas wird ein Hochfrequenzstrom induziert und eine lawinenartige Ionisierung wird ausgelöst. Durch den OHMSchen Widerstand wird das Plasma auf Temperaturen von 6 000 bis 10 000 K erhitzt (OTTO 2000). Mit Hilfe eines Argon-Trägergas werden die in Lösung befindlichen Elemente als Aerosol über ein Zerstäubungssystem eingebracht (HEINRICH & HERRMANN 1990).

Im Plasma wird die Probe getrocknet und weitgehend ionisiert. Die Moleküle dissoziieren und es entstehen freie, thermisch angeregte Atome und Ionen (OTTO 2000). Nur ein geringer Teil des Ionenstroms gelangt in den Quadrupol-Massenanalysator. Durch vier stabförmige Elektroden im Quadrupolfeld kommt es zur Massentrennung.

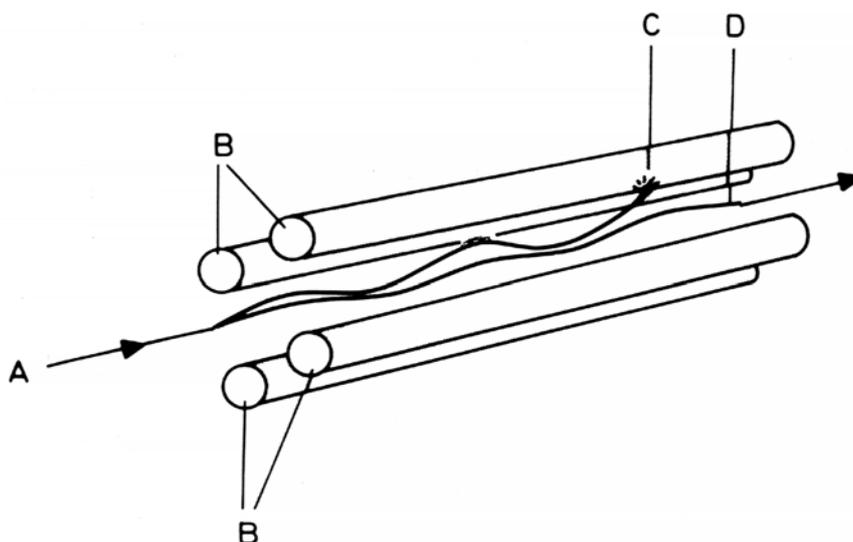


Abb. 10: Quadrupol-Massenfilter (HEINRICHS & HERRMANN 1990)

- A Ionenweg
- B Rundstäbe des Quadrupolmassenfilters
- C Ion auf instabiler Bahn
- D Ion auf stabiler Bahn

An jeweils zwei gegenüberliegenden Stabpaaren wird eine um 180 Grad phasenverschobene Hochfrequenzspannung angelegt, die von einem elektrostatischen Gleichfeld überlagert wird. Wenn die Ionen durch das Feld wandern, werden sie in Schwingung versetzt. Den Ausgang des Quadrupolfeldes finden nur Ionen mit gleicher Massenzahl pro Ladung (m/z). Die übrigen Ionen werden defokussiert und treffen auf die Elektroden (HEINRICH & HERRMANN 1990). Eine lineare Massenskala wird durch eine lineare Spannungsänderung erzeugt. Das Ziel ist es, einen möglichst minimalen Massenunterschied und damit eine möglichst hohe Auflösung zu erreichen (OTTO 2000).

Nach OTTO (2000) liegen die Vorteile dieser Meßmethode in relativ langen Verweilzeiten der Probe im Plasma und dessen hohen Temperaturen, wodurch optimale Atomisierungs-, Ionisierungs- und Anregungsbedingungen gesichert werden können. Chemische Matrixeffekte spielen kaum eine Rolle. Weitere Vorteile der Methode sind die sehr niedrigen Nachweisgrenzen sowie die hohen dynamischen Meßbereiche über fünf

Größenordnungen und variierbare Anwendungsbedingungen, so daß eine Mehrzahl der Elemente bestimmt werden können (OTTO 2000).

Zu den Nachteilen dieser Analysemethode zählen der hohe Argonverbrauch und hohe Anschaffungskosten. Störungen treten durch hohe Salzgehalte und Masseninterferenzen auf. Aus diesem Grund werden die Hauptbestandteile aus hochverdünnten Lösungen bestimmt (HEINRICH & HERRMANN 1990).

4 Statistik und Plausibilitätskontrollen

4.1 Mittelwert

Um möglichst charakteristische Merkmalswerte zu erhalten, wurden sowohl die Vor-Ort-Parameter als auch die photometrisch bestimmten Wasserinhaltsstoffe nach Möglichkeit mehrfach zu einem Zeitpunkt aufgenommen.

Durch den arithmetischen Mittelwert wird der Datenbestand zusammengefaßt und somit übersichtlich und überschaubar dargestellt. Die sogenannte univariate Maßzahl des ungewogenen arithmetischen Mittels berechnet sich aus der Summe der unabhängigen Werte x_i ; einer Meßreihe, die durch die Anzahl der Meßwerte dividiert wird (FUNK et al. 1985).

$$(26) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Bei wenigen oder stark streuenden Werten ist das arithmetische Mittel ein schlechter Repräsentant der Meßreihe. Diese Maßzahl ist besonders empfindlich gegen Ausreißer (DOERFFEL 1984)

4.2 Korrelationsanalyse

Bestehen zwischen einzelnen Parametern der Wasserbeschaffenheit kausale Zusammenhänge, können diese mit Hilfe der Korrelationsanalyse aufgedeckt werden. Bei metrischen Daten wird der Korrelationskoeffizient von BRAVAIS und PEARSON angewendet (VOSS 1997). Dieser qualifiziert den Grad der Zusammenhänge einzelner Variablen. Aus einer gegebenen Stichprobenmenge, deren Mittelwerten, der Kovarianz s_{xy} sowie den Standardabweichungen s_x und s_y wird der Korrelationskoeffizient wie folgt berechnet (HARTUNG 2002):

$$(27) \quad r_{xy} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x * s_y}$$

Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Keine Korrelation besteht bei $r_{xy} = 0$, somit stehen die Merkmale in keinem Zusammenhang. Ist der Korrelationskoeffizient positiv, liegt eine gleichsinnige Korrelation vor. Bei negativem Vorzeichen ist sie gegenläufig (HÖLTING 1996).

Sind zwei Merkmale von einer dritten Größe abhängig, besteht die Gefahr der Scheinkorrelation (HARTUNG, 2002). Unter Annahme der Normalverteilung wird auf eine Signifikanz des Korrelationskoeffizienten mit Hilfe des t -Tests geprüft:

$$(28) \quad t = \frac{v_{xy} * \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-v_{xy}^2}} \quad \text{mit } t_{n-2, \alpha/2}$$

Dabei lauten die Null- und Gegenhypothese wie folgt:

$$(29) \quad H_0: \quad v_{xy} = 0$$

$$(30) \quad H_1: \quad v_{xy} \neq 0$$

Der Korrelationskoeffizient v_{xy} gilt als signifikant, wenn der so ermittelte Wert größer als der t -Wert $t_{n-2, \alpha/2}$ ist.

Für die Durchführung der Korrelationsanalyse wurde das Programm SPSS für Windows verwendet. Die Korrelationskoeffizienten mit einer großen Signifikanz ($\alpha = 0,01$) wurden hervorgehoben.

4.3 Clusteranalyse

Wird innerhalb eines Datensatzes die Existenz von mehreren Gruppen vermutet, kann dies mittels der Clusteranalyse untersucht werden. Dieses multivariate statistische Verfahren sortiert die Wasseranalysen und faßt diese zu Gruppen zusammen.

Für kleinere Datenbestände wird die hierarchische Clusterung angewendet. Dabei gilt zunächst jeder Wert als ein Cluster. Zu Beginn werden alle Distanzen berechnet. Die beiden Proben mit der geringsten Distanz gelten als ähnlich und werden zu einem neuen Cluster zusammengefaßt. Nach diesem Muster wird der Datensatz schrittweise zusammengefaßt bis es nur noch ein Cluster gibt.

Als Ergebnis der Clusteranalyse wird ein Dendrogramm ausgegeben, anhand dessen die Gruppen eingeteilt werden. Für die Berechnung aller Distanzen wird die Euklidische

Distanz eingesetzt. Dieses Maß bestimmt die Summe der quadrierten Differenzen zwischen den Koordinaten eines Wertepaares (VOSS 1997). Die Gruppenzuteilung erfolgte mit der Methode complete linkage. Dabei wird als Distanz zwischen den Clustern der Durchschnitt der Distanzen aller Fallpaare mit jeweils einem Fall aus jedem der beiden Cluster angesehen (VOSS 1997).

Mit Hilfe von Histogrammen wurde ersichtlich, welche der Merkmale eine Gruppenunterteilung unterstützen. In Histogrammen werden beobachtete Häufigkeiten graphisch dargestellt. Anhand dieser Darstellungsweise ist erkennbar, ob es sich um eine ein- oder mehrgipflige Verteilung handelt. Eine mehrgipflige Verteilung weist auf eine Gruppenbildung hin. Für die Clusteranalyse wurde das Programm SPSS für Windows eingesetzt.

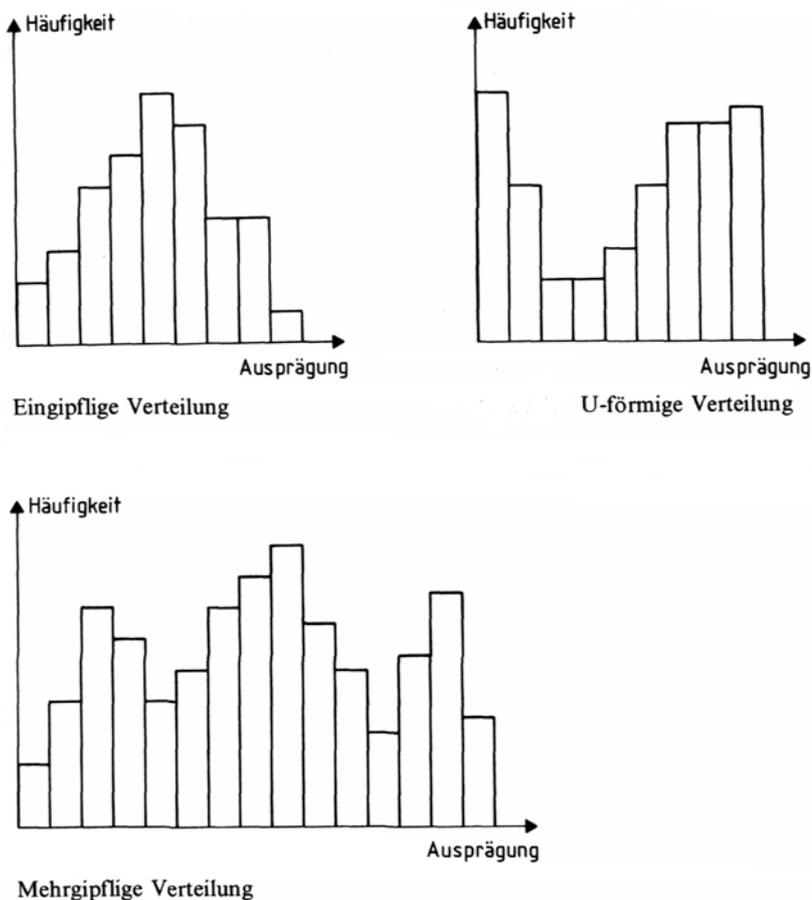


Abb. 11: Darstellung von Histogrammen (HARTUNG 2002)

4.4 Fehler- und Plausibilitätskontrollen

Um mögliche Fehler bei der Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit zu vermeiden, sind Plausibilitätsprüfungen erforderlich. Diese geben Hinweise auf die Zuverlässigkeit der Wasseranalysen. Zunächst wird die Vollständigkeit und die Ionenbilanz überprüft. Proben in denen nicht alle Hauptinhaltsstoffe bestimmt wurden, sind nicht oder nur eingeschränkt verwertbar. Auch Analysenfehler oder nicht analysierte Ionen führen zu größeren Fehlern in der Ionenbilanzfehler (DVWK 125 1999).

Der Ionenbilanzfehler wird nach folgender Formel berechnet:

$$(31) \quad \text{Ionenbilanzfehler (\%)} = \frac{\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen}}{\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen}} * 100$$

Für die Berechnung des Fehlers ist eine Umrechnung der Parameterkonzentrationen in mmol(eq)/L erforderlich. Die Ionenbilanz wurde mit dem Programm PHREEQC ermittelt. Dieses Programm nimmt die Umrechnung von mg/L in mmol(eq)/L selbständig vor.

Wenn alle Ionen untersucht wurden, müssen die Summen der Anionen- und Kationen Äquivalente gleich sein (HÖLTING 1996). In den meisten Labors sind Fehler von weniger als 2 % nicht zu erreichen. Eine Analyse liegt innerhalb des plausiblen Bereiches, wenn der Ionenbilanzfehler bei Wässern mit einer Äquivalent-Ionensumme >2 mmol(eq)/L maximal 4 % beträgt. Bei Wässern mit einer Äquivalent-Ionensumme unter 2 mmol(eq)/L sollte der Fehler 10 % nicht überschreiten.

Die Komplexierung und Speziation wird bei einer weiteren Fehlerberechnung berücksichtigt. Diese basiert auf der Grundlage der Ionenstärke und des Ladungsgleichgewichtes (electric balance). Mit dem Programm PHREEQC werden die Größen Ionenstärke und Ladungsgleichgewicht ermittelt.

Mittels folgender Formel wird der Fehler berechnet:

$$(32) \quad \text{Fehler (\%)} = \frac{\text{Ladungsgleichgewicht}}{\text{Ionenstärke}} * 100$$

Zur Überprüfung der Angaben kann auch die elektrische Leitfähigkeit errechnet werden. Diese kann zur Kontrolle mit der gemessenen Leitfähigkeit verglichen werden. Eine

Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgt unter Berücksichtigung der ionenspezifischen Leitfähigkeiten und der Analysendaten nach HÖLTING (1996) wie folgt:

$$(33) \quad \text{Elektrische Leitfähigkeit (25° C)} = \sum l * c$$

l spezifische Ionenleitfähigkeit für 25°

c Ionenkonzentration in mg/L

Die verwendeten Ionenäquivalentleitfähigkeiten wurden HÖLTING (1996) entnommen und gelten nur für unendliche Verdünnungen. Sie können aber für eine näherungsweise Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit angewendet werden. Mit steigender Temperatur nimmt die Ionenbeweglichkeit zu. Somit ist die Leitfähigkeit temperaturabhängig (HÖLTING 1996).

4.5 Darstellungsweise der Ergebnisse

Eine übersichtliche Darstellung der Meßwerte ist mit Hilfe von Boxplot-Darstellungen möglich. In Abb. 12 ist der Aufbau eines Boxplot abgebildet. Die Box umfaßt 50 % der Beobachtungswerte. In diesem wird der Median durch eine Linie angezeigt. Um die volle Spannweite der Werte aufzeigen zu können, werden Ausreißer nicht entfernt. Sie werden als Kreise, extreme Ausreißer als Sternchen ausgegeben. An einem Boxplot läßt sich die Verteilung und Struktur der Parameter gut ablesen. Ist dieser unsymmetrisch, deutet das auf eine Schiefe der Verteilung hin. Mit Hilfe der Boxplots lassen sich verschiedene Parameter auf ihre Struktur hin vergleichen. Liegen die Plots nebeneinander, können Lage- und Streuungsunterschiede direkt abgelesen werden.

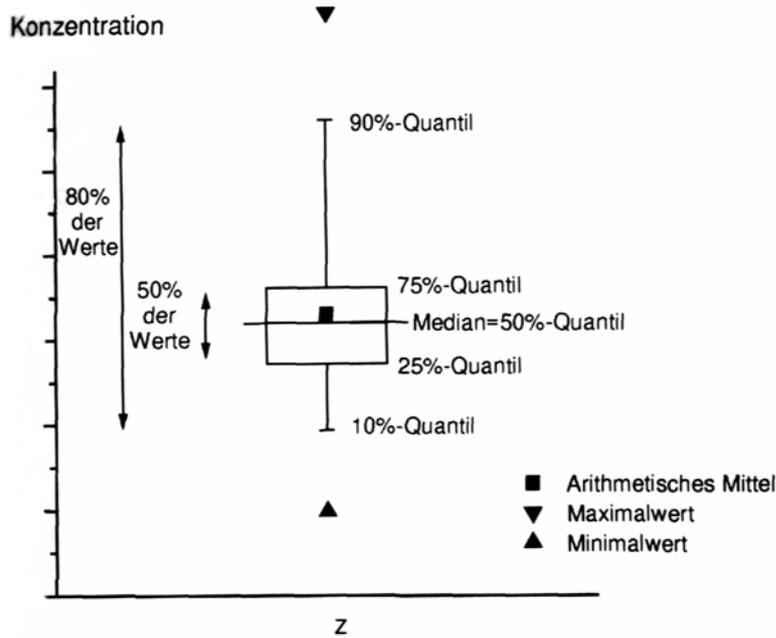


Abb. 12: Aufbau eines Boxplots (DVWK 125 1999)

Für die Darstellung vieler Wasseranalysen eignet sich weiterhin das PIPER-Diagramm. In diesem werden ein Anionen- und ein Kationen-Dreieck mit einem Vierecksdiagramm kombiniert. Letzteres befindet sich zwischen den Kationen- und Anionendreieck. Auf den nebeneinanderliegenden Achsen werden die gleichen Parameter abgetragen. Eine Analyse wird durch je einen Punkt in den drei Diagrammen dargestellt:

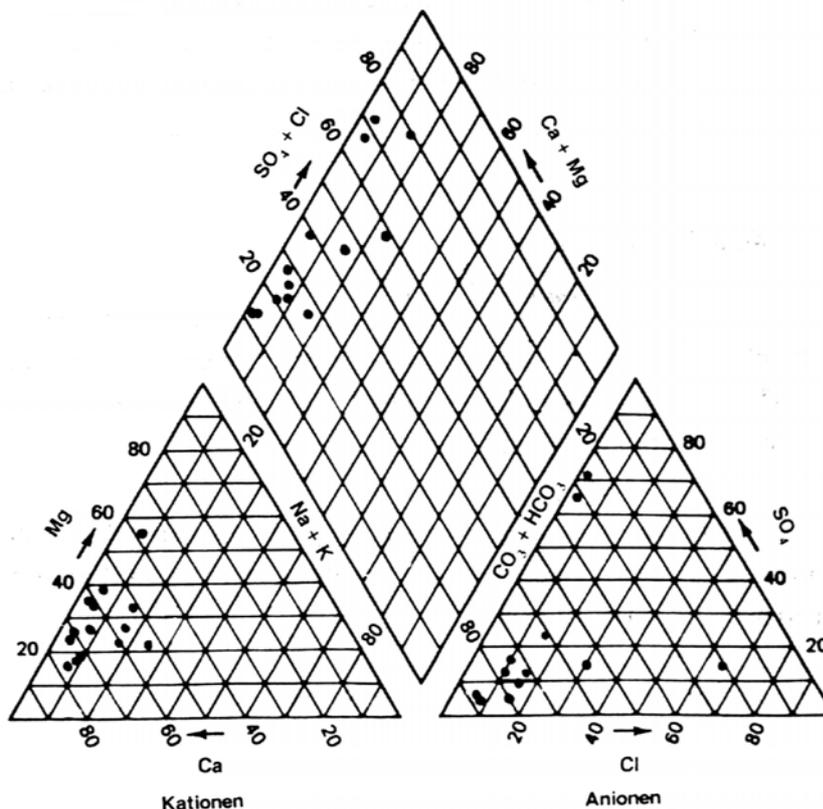


Abb. 13: Beispiel eines PIPER-Diagramms (DVWK 89 1990)

Durch die statistische Häufung von Punkten im Diagramm ist eine Unterscheidung verschiedener Grundwassertypen möglich. Im PIPER-Diagramm werden nur Verhältnisse dargestellt. Eine Erfassung unterschiedlicher Gesamtkonzentration ist nicht möglich.

4.6 Geothermometer

Auf der Einstellung eines chemischen Gleichgewichtes zwischen den Mineralen des Aquifers und dem Tiefenwasser beruht das Prinzip der chemischen Geothermometer. Das Gleichgewicht hängt von einer Vielzahl Faktoren wie der Reaktionskinetik, der Reservoirtemperatur, der Konzentration der Elemente im Wasser und der Verweilzeit des Wassers im Reservoir ab (MOTYKA). Ist die Kontaktzeit zwischen Wasser und Wirtsgestein zu kurz, kann sich kein Gleichgewicht einstellen. Die Temperatur des Wassers ändert sich während des Aufstiegs schneller als die Gleichgewichtszusammensetzung. Ob ein Wasser seine Zusammensetzung ändert, hängt unter anderem von der Durchlässigkeit, dem Weg und vom Gesteinstyp (der beim Aufstieg passiert wird) ab. Durch Ausscheidung beim Aufsteigen und Abkühlen des Wassers kann es zu Ausfällungen kommen, wodurch die chemische Zusammensetzung von der des Tiefenwassers abweicht. Im Idealfall stellt die Reservoirtemperatur die ursprüngliche Temperatur dar. Diese wird aus der chemischen Zusammensetzung des Wassers berechnet.

Das Siliciumgeothermometer basiert auf dem Zusammenhang zwischen Siliciumlöslichkeit, Temperatur und dem Druck. Durch temperaturabhängige Reaktionen zwischen dem Thermalwasser und Mineralen wie Quarz, Chalcedon, amorphes Silicium oder Cristobalit kann Silicium gelöst werden. Nach FOURNIER (1973) bestimmt Quarz das Siliciumgleichgewicht ab Temperaturen über 150 °C. Bei Temperaturen darunter stehen Chalcedon und manchmal auch Cristobalit oder amorphes Silicium im Gleichgewicht. Die Reservoirtemperaturen lassen sich nach FOURNIER (1973) aus der Siliciumkonzentration berechnen (Anonym (d) 2003):

$$(34) \quad \text{Amorphes Silicium} \quad T = \frac{720}{4,52 - \log c} - 273,15$$

$$(35) \quad \text{Beta-Cristobalit} \quad T = \frac{781}{4,51 - \log c} - 273,15$$

(36) Alpha-Cristobalit $T = \frac{1000}{4,78 - \log c} - 273,15$

(37) Chalcedon $T = \frac{1032}{4,69 - \log c} - 273,15$

(38) Quarz $T = \frac{1039}{5,19 - \log c} - 273,15$

(39) Quarz (SL) $T = \frac{1522}{5,75 - \log c} - 273,15$

c Konzentration SiO_2 in mg/L

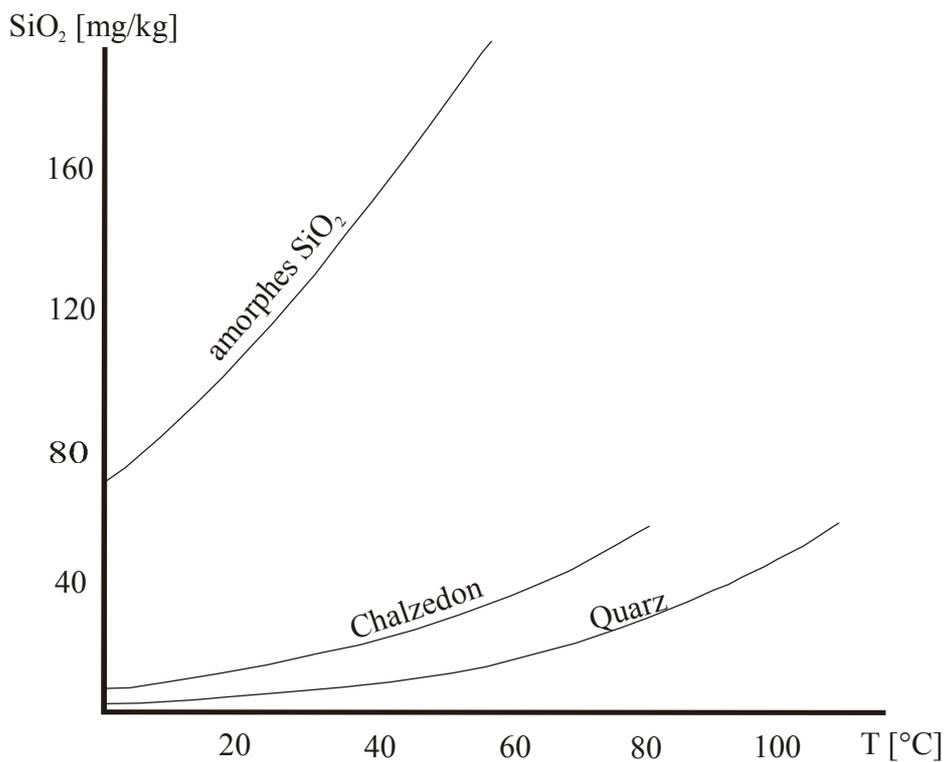


Abb. 14: Löslichkeit von Quarz, Chalzedon und amorphem SiO_2 [mg/kg] verändert nach FOURNIER (1981)

Das Silicium-Geothermometer berücksichtigt keine Ionenverhältnisse. Durch Verdünnung mit kaltem siliciumarmen Oberflächenwasser ergeben sich tiefere Temperaturen. Beim Aufstieg und Abkühlen des Tiefenwassers kommt es zu einer Quarzübersättigung und Ausscheidung von amorphem Silicium. Die ermittelten Temperaturen sind somit als Minimalwert der Reservoirtemperatur zu betrachten. Nach VERMA (2000) berechnet sich die Reservoirtemperatur über die Siliciumkonzentration wie folgt:

$$(40) \quad T = \frac{1175,7}{4,88 - \log c} - 273,15$$

5 Ergebnisse und Auswertung der Wasserbeschaffenheit

5.1 Vor-Ort Parameter

5.1.1 Leitfähigkeit/Gesamtmineralisation

Mit Werten zwischen 359 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 5556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ schwankt die Leitfähigkeit stark. Die Gesamtmineralisation weist eine entsprechend große Spannweite von 234 ppm bis 4366 ppm auf. Niedrig mineralisierte Wässer mit Leitfähigkeiten zwischen 350 und 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ treten vor allem in den quartären, alluvialen Ebenen der Flüsse Karamenderes und Dümrek, sowie im Bereich der vulkanischen und metamorphen Gesteinseinheiten im Südosten des Untersuchungsgebietes. Mit Leitfähigkeiten bis 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zählen sie nach HÖLTING (1996) zu den süßen Grundwässern. Die geringen Leitfähigkeiten liegen in der Zusammensetzung der Wässer begründet; so weisen sie geringe Chlorid-, Calcium-, Natrium-, Sulfatkonzentrationen auf. Mit Leitfähigkeiten bis 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sind die Wässer, die sich im Bereich der neogenen Rücken ansiedeln stärker mineralisiert. Höhere Leitfähigkeiten können in diesen landwirtschaftlich genutzten Bereichen unter anderem auf einen stärkeren Eintrag von Substanzen aus Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zurückgeführt werden. Aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeiten und TDS-Gehalte fallen die Meßpunkte BAH (4101/4220 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und BBP (5556 $\mu\text{S}/\text{cm}$) besonders auf. Bei der Meßstelle BBP handelt es sich um einen unbenutzten Brunnen. Da die Wasserprobe zur Bestimmung der Leitfähigkeit ohne vorheriges Abpumpen des Stagnationswassers gewonnen wurde, kann der Wert nicht als repräsentativ betrachtet werden. Die hohe Leitfähigkeit der Meßstelle BAH wird durch Gehalte an Chlorid, Calcium, Magnesium und Natrium hervorgerufen, die über dem Durchschnitt liegen.

5.1.2 Der pH-Wert

Die Spannweite der gemessenen pH-Werte liegt zwischen 6,44 und 8,52. Im pH-Bereich zwischen 7 und 8 findet sich der überwiegende Teil der untersuchten Wässer. Einige wenige Meßstellen mit höheren Werten sind unregelmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt. Der pH-Wert schwankt in einem relativ engen Bereich. Hydrogenkarbonat, das im Grundwasser gelöst ist, stellt einen guten Puffer dar, der zur Einstellung eines Säure-Basen-Gleichgewichts führt. In den Flüssen Karamenderes und Kemerdere sowie an fünf

weiteren Meßstellen wurden pH-Werte über 8 gemessen. Diese Verschiebung der pH-Werte in den basischen Bereich kann durch hohe Hydrogenkarbonatgehalte verursacht werden. An der Meßstelle BAZ (pH: 8,21; HCO_3^- : 1034 mg/L) wird dieser Zusammenhang deutlich. An den Meßstellen QWT, BBR, BCP, BAY, BK8 und BK5 erfolgte keine Untersuchung auf Hydrogenkarbonat. Oberflächengewässer weisen häufig einen pH-Wert über 7 auf. Niedrige K_B an den Meßstellen FAM und FKK lassen darauf schließen, daß keine Kohlensäure vorlag und somit schon geringe Mengen Hydrogenkarbonat eine Verschiebung bewirken konnten. Aufgrund der geringen Wassertiefe der Flüsse erwärmt sich das Wasser stark. Da mit höheren Temperaturen die Gaslöslichkeit sinkt, wird dem Wasser CO_2 entzogen (WORCH 1997). Mit dem Entweichen von CO_2 sind Verschiebungen des pH-Wertes verbunden (ALBRECHT et al. 1979).

5.1.3 Das Redoxpotential

Für das Redoxpotential wurden Werte zwischen 58 mV und 895 mV gemessen. Mit Werten von über 700 mV heben sich die Meßstellen in Kumkale, GHW, Kalafat und BBX deutlich ab. BBX ist ein Tiefbrunnen südöstlich von Halileli, der zur Trinkwassergewinnung dient. Bei den übrigen genannten Meßstellen handelt es sich um Trinkwasserleitungen, die ihren Ursprung in BBX haben. Die hohen Werte der Redoxpotentiale sind auf die Chlorung des Wassers zurückzuführen. Sehr wenige, meist in Flußnähe liegende Meßpunkte, weisen Redoxpotentiale von weniger als 250 mV auf.

5.1.4 Die Temperatur

Die gemessenen Temperaturen liegen zwischen 16,4 °C und 31,9 °C. Hohe Temperaturwerte sind meist auf eine Erwärmung durch intensive Sonneneinstrahlung und hohe Umgebungstemperaturen zurückzuführen, so daß besonders warme Wässer meist in Oberflächengewässern und Wasserfassungen (mit Zuleitungen) auftreten. Quellen weisen oft kühlere Temperaturen auf, die ein Anzeichen für längere Fließwege in tieferen Schichten sind. Es existieren keine Hinweise auf eine warme und eine kalte Quelle in der Umgebung Troias, wie sie bei HOMER (Ilias XXII v.147) beschrieben werden.

5.1.5 Sauerstoff

Sauerstoff bestimmt als starkes Oxidationsmittel die Redoxintensität von Wässern. Biochemische Oxidationen, Sauerstoffatmung und Nitrifikation zählen zu den wichtigsten sauerstoffzehrenden Prozessen. Im Allgemeinen haben Fließgewässer mit geringer Wassertiefe und schneller Wasserbewegung eine günstigere Sauerstoffbilanz als stehende Gewässer. Eine rauhe Flußbettoberfläche bewirkt Turbulenzen und Verwirbelungen im Fließgewässer. Dies bedingt einen intensiven Austausch an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft und führt zu einer Sättigung des Wassers (WORCH 1997).

An 78 Meßstellen erfolgten Sauerstoffmessungen. Um die Elektrode ständig mit Sauerstoff zu versorgen, mußte das Wasser in ständiger Bewegung sein. Die Konzentrationen betragen in den Wässern zwischen 1 mg/L und 13,64 mg/L. Die Sauerstoffsättigung liegt zwischen 6 % und 152 %. In den Flüssen sind geringe Sauerstoffgehalte (4 — 10 mg/L) zu verzeichnen. Ursache für die geringen Konzentrationen können Einflüsse hoher Temperaturen und niedriger Wasserführung im Sommer sein, so kann ein Gewässer bei höheren Temperaturen weniger Sauerstoff aus der Atmosphäre aufnehmen. Aufgrund der Konzentrationen herrschen in allen Meßstellen oxische Bedingungen vor.

5.2 Laborauswertung

5.2.1 Kationen

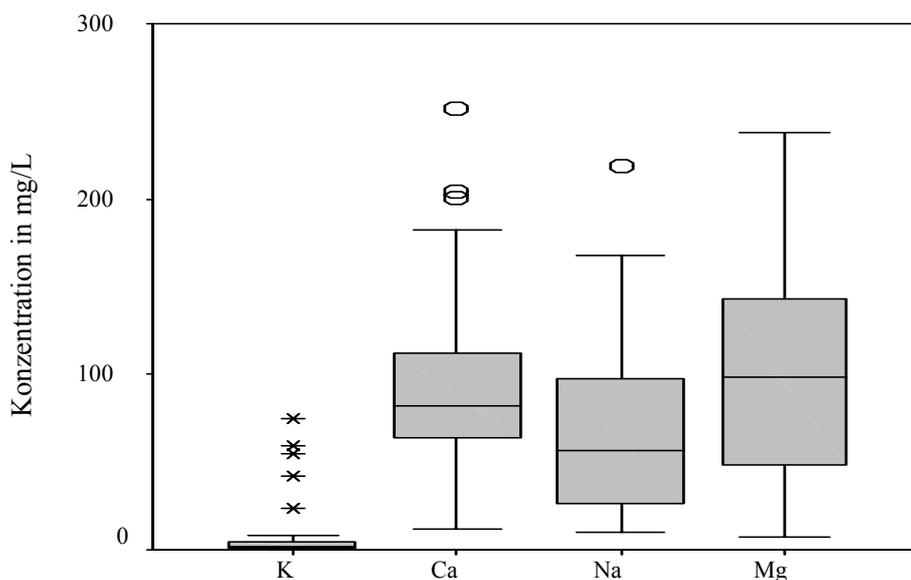


Abb. 15: Boxplots der Elemente K, Ca, Na, Mg

5.2.1.1 Calcium

Im Wasser zählt Calcium mengenmäßig zu den wichtigsten Hauptinhaltsstoffen. Aus karbonathaltigen Gesteinen (Kalkstein, Marmor, Dolomit) wird unter Bildung von Hydrogenkarbonat Calcium freigesetzt. Anthropogene Einträge in der Hydrosphäre können aus dem Einsatz von kalkhaltigen Düngemitteln sowie Abwassereinleitungen stammen (WORCH 1997).

Die Calciumgehalte der volumetrisch untersuchten Wasserproben schwanken im Bereich von 12 mg/L und 252 mg/L. Insgesamt heben sich die Proben der neogenen Rücken durch höhere Konzentrationen vom übrigen Untersuchungsgebiet ab. Wasserproben die den Ton-/Kalksteinschichten entnommen wurden, weisen höchste Gehalte an Calcium auf, das aus den Kalksteinen gelöst wurde. In den quartären Ebenen sowie in den vulkanischen (Basalte) und metamorphen (Serpentinite) Gesteinen im Südosten des Untersuchungsgebietes sind die geringsten Calciumkonzentrationen enthalten. Nach KAYAN (1999) wird die quartäre Ebene von Kiesen, Sanden und Tonen gebildet.

Signifikante positive Korrelationen weisen die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen den Calciumionen, der elektrischen Leitfähigkeit und den Chloridgehalt auf. Nach BERGMANN (2003) ist in der Ton-/Kalksteinschicht eine Tonschicht enthalten, die aufgrund seines salzigen Geschmacks auf hohe Chloridgehalte schließen läßt. Dies kann als Ursache für diese Korrelation angesehen werden. Ein Richtwert von 400 mg/L wird von der EU für die Nutzung der Wässer als Trinkwasser empfohlen. Dieser Wert wird an keiner Meßstelle überschritten.

5.2.1.2 Kalium

Bei der Verwitterung von Kalifeldspäten und anderen kaliumhaltigen Silikaten werden Kaliumionen freigesetzt. Im gesamten Untersuchungsgebiet sind geringe Kaliumkonzentrationen zwischen von 0,7 mg/L bis 8,0 mg/L zu verzeichnen. die Gehalte der Wasserproben BDW, BAZ, BDD und BCZ fallen unterhalb der Nachweisgrenze ($< 0,5$ mg/L). Proben mit höheren Gehalten verteilen sich ausschließlich auf dem Troia-Rücken. Die Proben QPT (23,6 mg/L), QS2 (59,1 mg/L) sind deutlich höher als der Durchschnitt. Aufgrund von lokalen Inhomogenitäten und Klüften stammt das Wasser der Quelle QPT aus einer Ton-/Kalksteinschicht. Die Meßstelle QS2 liegt in den

darüberliegenden Sandsteinschicht. Da die übrigen Meßstellen dieser Schichten geringere Konzentrationen aufweisen, kann eine geogene Ursache ausgeschlossen werden.

5.2.1.3 Natrium

Natrium tritt in der Natur als sechst häufigstes Element auf und ist somit in allen Gewässern in hohen Konzentrationen enthalten. Es stammt aus silikatischen Mineralen (Feldspäten) und kann durch natürliche Ionenaustauschprozesse an Tonmineralen und durch Löse- und Verwitterungsprozesse in das Wasser gelangen (WORCH 1997).

Im Bereich zwischen 10 mg/L und 168 mg/L schwanken die Natriumgehalte der untersuchten Wässer. Die Meßstelle BAH weist mit 219 mg/L eine höhere Konzentration als die übrigen Proben auf. Dieser überschreitet den von der EU angegebenen Richtwert von 200 mg/L. Meßstellen mit niedrigen Natriumgehalten sind über dem metamorphen und magmatischen Gebiet im Südosten des Untersuchungsgebietes sowie in den Ebenen der Flüsse verteilt. Proben mit höheren Konzentrationen sind auf den neogenen Rücken verbreitet. Durch natürliche Austauschprozesse an Tonmineralen kann Natrium in das Wasser gelangen. Die hohen Natrium- und Chloridgehalte sowie die Funde an fossilen Muschelschalen in den Sedimenten deuten auf marine Ablagerungsbedingungen dieser hin. Wie die Korrelationsanalyse zeigt, ist das Natrium mit der Leitfähigkeit und dem Chlorid signifikant positiv korreliert. Somit ist sowohl die Leitfähigkeit als auch die Chloridkonzentration an der Meßstelle BAH stark erhöht.

5.2.1.4 Ammonium

Ammonium ist Bestandteil des mikrobiellen Stickstoffkreislaufs, die beim Abbau organischer Stickstoffverbindungen entstehen. Die mikrobielle Umwandlung von Ammonium in Nitrat erfolgt über die Zwischenstufe Nitrit. Durch die Mikroorganismen der Gattung *Nitrosomonas* (Nitritation) und *Nitrobacter* (Nitratation) erfolgt die Oxidation zu Nitrat (WORCH 1997).

In der Landwirtschaft werden Ammonium und seine Verbindungen als Düngemittel verwendet. Während es in Oberflächengewässern auf Verschmutzung durch Haushalte zurückgeht, liegen im Grundwasser mikrobiologische Prozesse zugrunde.

In Oberflächengewässern liegen die Ammoniumkonzentrationen meist unter 1 mg/L. Aufgrund tieferer Temperaturen im Winter verlangsamt sich die Nitrifikation zugunsten

höhere Ammoniumgehalte (WORCH 1997). Wird Ammonium aus dem Grundwasserleiter ausgewaschen, wird es meist entweder oxidiert oder adsorbiert (KÖLLE 2001).

Die analysierten Wasserproben weisen Gehalte bis 0,1 mg/L auf. Alle Proben unterschreiten damit den mit 0,5 mg/L empfohlenen Richtwert für Trinkwasser der EU. Ammonium sollte möglichst vor Ort bestimmt werden, da sich im Verlauf der Nitrifikation diese Ionen zu Nitrat umwandeln können. Dies ist aber nicht im Rahmen der Vor-Ort-Analyse bestimmt wurden. Somit können geringe Konzentrationen durch den Umwandlungsprozeß verursacht werden. Proben mit niedrigen Ammoniumgehalten verteilen sich in den alluvialen Ebenen der Flüsse, sowie auf dem Kumkale-Rücken. Wässer mit höheren Konzentrationen sind besonders auf dem Troia-Rücken verbreitet. Zum einen können diese Gehalte aus der Landwirtschaft über die Düngung eingetragen werden, zum anderen kann Ammonium an Tonmineralen sorbiert werden und entsprechend des Adsorptionsgleichgewichtes zwischen wäßriger und fester Phase in das Grundwasser abgegeben werden. Der Troia-Rücken setzt sich aus einer Abfolge von Kalksteinen, Sandsteinen und Tonsteinen zusammen.

5.2.1.5 Magnesium

Gemeinsam mit Calcium ist in natürlichen Gewässern fast immer auch Magnesium enthalten. Der Magnesiumgehalt der untersuchten Wässer liegt zwischen 7 mg/L und 238 mg/L. BAH hat mit 238 mg/L die höchste Magnesiumkonzentration der Proben. Dies steht im engen Zusammenhang mit der Leitfähigkeit und der Chloridkonzentration. Meßstellen mit geringen Magnesiumkonzentrationen verteilen sich entlang der alluvialen Ebenen. Die höheren Gehalte der Meßstellen sind besonders in den neogenen Sedimenten sowie in den Basalten und Serpentinitten verbreitet. Sowohl in den Mineralen der Tonsteine der neogenen Rücken, als auch in denen der Basalte und in den Serpentinitten ist Magnesium enthalten und kann durch Lösungsprozesse in das Grundwasser gelangen.

5.2.1.6 Eisen

Eisen ist im Spurenbereich in fast allen Wässern zu finden. Es tritt oft gemeinsam mit Mangan vorwiegend in Form von Hydrogenkarbonaten auf. Eisen hat zwar keine gesundheitsschädigende Wirkung, ist im Trinkwasser aufgrund seines metallischen Geschmacks und im Brauchwasser dennoch nicht erwünscht (SCHWEDT & SCHNEPEL 1981). Im Grundwasser liegt Eisen normalerweise in zweiwertiger Form (Fe^{2+}) vor. Unter Lufteinwirkung oxidiert es leicht zu dreiwertigen Eisen (Fe^{3+}).

Bis auf die Meßstelle BAB liegen die Gesamteisengehalte im Bereich von 0 bis 0,31 mg/L. Da in den Wässern oxidierende Bedingungen herrschen, sind in allen Meßstellen die Eisen(II)-Gehalte mit einer Spannweite von 0 bis 0,11 mg/L geringer als die Eisen(III)-Gehalte, die im Bereich zwischen 0,02 und 1,19 mg/L liegen. Die Meßwerte am Probenahmepunkt BAB heben sich mit Gehalten von 1,63 mg/L Gesamteisen und 0,45 mg/L Eisen(II) von den übrigen Wässern deutlich ab. Bei der Probe BAB handelt es sich um eine Bohrung, die im Flußbett des Dümrek abgeteuft wurde und zur Förderung des Wassers mit einer Motorpumpe ausgestattet ist. Da an keiner anderen Stelle im Kartiergebiet solch hohe Eisengehalte gemessen wurden, sind geogene Ursachen unwahrscheinlich und anthropogene Gründe können angenommen werden. Möglicherweise gelangte Eisen aus der Verrohrung oder der Pumpe in das Grundwasser. Die EU-Trinkwasserrichtlinie 98/83/EU empfiehlt für Trinkwasser einen Grenzwert von 0,2 mg/L Gesamteisen (KÖLLE 2001). Dieser Anforderung genügen bis auf die Probe BAB (1,63 mg/L) und FKK (0,31 mg/L) alle untersuchten Proben. Bei der Meßstelle FKK handelt es sich um den Fluß Kemerdere, dessen Wasser nicht ohne Aufbereitung als Trinkwasser verwendet wird. Ebenso wird auch das Wasser, daß die Pumpe BAB fördert, nur zur Bewässerung der Felder verwendet.

5.2.2 Anionen

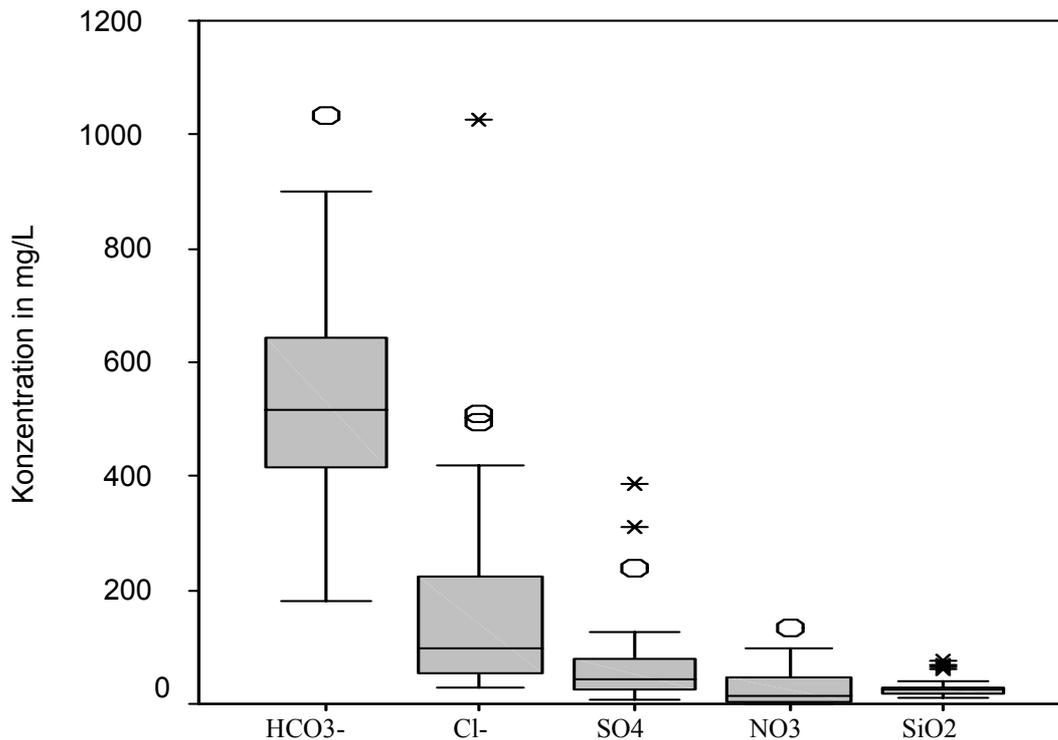


Abb. 16: Boxplot der Elemente HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄, NO₃, SiO₂

5.2.2.1 Hydrogenkarbonat

Hydrogenkarbonat ist meist als das Anion mit der höchsten Konzentration enthalten. Gehalte an gelösten Karbonationen sind in der Regel vernachlässigbar. Das Puffervermögen natürlicher Gewässer wird im wesentlichen durch das Hydrogenkarbonat beeinflusst. Damit kann der pH-Wert annähernd stabil gehalten werden, wenn dem Wasser H⁺ oder OH⁻-Ionen zugeführt werden (WORCH 1997).

Im Kartiergebiet wurde die Säurekapazität $K_S(4,3)$ bestimmt. Sie schwankte zwischen 2,97 mmol/L und 16,95 mmol/L. Meßwerte zwischen 0,11 mmol/L und 0,89 mmol/L wies die ermittelte Basenkapazität $K_B(8,2)$ auf. Als schwierig gestaltete sich diese Bestimmung, da der Farbumschlag des Phenolphthalein schwer zu erkennen ist. Aus der Säurekapazität wird die Konzentration an Hydrogenkarbonat errechnet. In den untersuchten Wasserproben sind zwischen 181,0 mg/L und 1034,2 mg/L Hydrogenkarbonat enthalten. Meßstellen mit niedrigen Hydrogenkarbonatgehalten sind hauptsächlich in den quartären Ebenen der Flüsse verbreitet. Nach KAYAN (1999) haben sich in diesen Ebenen besonders aus Kies, Sand, Schluff und Ton abgelagert. Proben mit höheren Gehalten sind überwiegend auf den

neogenen Rücken verteilt. Die hohen Gehalte der Meßstellen auf den Troia- und Kumkale-Rücken werden durch die hohen Karbonatgehalte der lithologischen Schichten hervorgerufen.

5.2.2.2 Chlorid

Aufgrund der guten Löslichkeit von Alkali- und Erdalkalichloriden sind Chloridionen in allen Wässern nachzuweisen. In Niederschlägen ist stets Chlorid aus der Gischt der Ozeane enthalten. Bei geringer Entfernung zur Küste können in Abhängigkeit von der Windstärke bis zu mehreren g/L eingebracht werden. Chlorid kann abhängig von der Durchlässigkeit aus Sedimentgesteinen, die sich unter marinen Bedingungen gebildet haben, an das Wasser abgegeben werden (KÖLLE 2001).

Bei den analysierten Wasser reichen die Chloridkonzentrationen von 28,2 mg/L bis 508 mg/L. Die Probe BAH hat eine Konzentration von 1028 mg/L. Meßstellen mit geringen Chloridgehalten sind in den alluvialen Ebenen der Flüsse sowie in den Gebieten verbreitet, in denen metamorphe und magmatische Gesteine anstehen. Auch in der oberen Sandstein- sowie in der Kalk-/Tonstein-Schicht der neogenen Rücken sind geringe Konzentrationen zu verzeichnen. Nach BERGMANN (2003) werden diese Schichten von einer Ton-/Kalksteinschicht unterlagert, in der aufgrund des salzigen Geschmacks einer Tonschicht auf hohe Chloridgehalte geschlossen werden kann und durch die Proben dieser Schicht bestätigt wird. Einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit, Natrium und Calcium weist die Korrelationsanalyse aus. Die Chlorid- und Natriumkonzentrationen deuten auf eine marine Ablagerung hin. Die EU-Trinkwasserrichtwerte liegen bei 250 mg/L. Damit fallen die Proben BEA (265 mg/L), QPT (268 mg/L), QNT (286 mg/L), BBW (329 mg/L), BCX (340 mg/L), BAF (365 mg/L), QEE (411 mg/L), BBV (418 mg/L), BSC (494 mg/L), BAL (508 mg/L) und BAH (1028 mg/L) über diesen Richtwert. Diese Meßstellen sind offiziell nicht als Trinkwasser freigegeben. Allerdings wird die Quelle QEE von einem Teil der Bevölkerung zur Trinkwasserversorgung genutzt.

5.2.2.3 Fluorid

Fluorid ist in natürlichen Gewässern in geringen Konzentrationen enthalten. In den bestimmten Proben schwanken die Fluoridgehalte zwischen 0,06 mg/L und 0,98 mg/L. Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze ($< 0,05$ mg/L) weisen die Wasserproben BDD, BDW und BAZ auf. Mit 0,98 mg/L und 0,82 mg/L sind in den Proben BCR und BAU erhöhte Werte zu verzeichnen. Alle Proben unterschreiten den von der EU ausgewiesenen Richtwert von 1,5 mg/L. Meßstellen mit höheren Fluoridkonzentrationen verteilen sich hauptsächlich auf den neogenen Rücken.

5.2.2.4 Sulfat

In vielen Wässern ist Sulfat in relativ hohen Konzentrationen enthalten. Diese entstehen durch Gipsauflösung oder durch chemische bzw. biochemische Oxidation von Sulfiden.

Im Kartiergebiet schwanken die ermittelten Sulfatkonzentrationen im Bereich von 8 mg/L und 387 mg/L. Die Proben BEA (387 mg/L), BBV (310 mg/L) und BBW (238 mg/L) zeigen höhere Gehalte an Sulfat auf. Probenahmestellen mit höheren Sulfatgehalten sind hauptsächlich auf dem Troia- und dem Kumkale-Rücken verteilt und werden möglicherweise in diesen Bereichen durch die intensive Landwirtschaft, insbesondere durch die Düngung, hervorgerufen. Sowohl BEA als auch BBV überschreiten den EU-Trinkwasserrichtwert von 250 mg/L. Beide Brunnen werden nicht als Trinkwasser genutzt.

5.2.2.5 Nitrat

Nitrat stammt aus dem natürlichen Stickstoffkreislauf der Pflanzen und Tiere und tritt in nahezu jedem natürlichen Grundwasser auf. Meist wird Nitrat in größeren Mengen aus anthropogenen Quellen hervorgerufen. Es kann durch Düngemittelauswaschung oder durch Abläufe von Kläranlagen in das Wasser gelangen. Aufgrund seiner guten Löslichkeit ist es leicht auswaschbar. Durch Mineralisation organischer Stickstoffverbindungen wie Aminosäuren aber auch durch mikrobielle Oxidation von Ammonium kann Nitrat gebildet werden. Aus diesem Grund ist es erforderlich, den Nitratgehalt direkt vor Ort zu bestimmen. Hohe Nitratgehalte können ein übermäßiges Algenwachstum begünstigen. Gemeinsam mit dem Phosphat kann Nitrat die Eutrophierung von Gewässern beeinflussen (WORCH 1997).

Im Gelände wurden Nitratkonzentrationen zwischen 0,6 mg/L und 449,3 mg/L bestimmt. Die EU-Trinkwasserrichtlinie empfiehlt Nitratgehalte bis zu 50 mg/L. Auffällig ist, daß diese Werte von Proben überschritten werden, die in der Nähe von Ortschaften entnommen wurden. Besonders hohe Nitratkonzentrationen (189 — 450 mg/L) sind in den Proben aus dem Norden von Tevfikiye enthalten. Das kann zum einen durch Viehhaltung zum anderen aber auch durch Düngung verursacht werden. Ungeklärt ist die Frage, in wie weit in den Orten eine Abwasserleitung ausgebaut ist. Bei der photometrischen Bestimmung von Nitratgehalten können sich sowohl Nitrit als auch Eisen als störend erweisen. Chloridkonzentrationen über 100 mg/L können die Meßwerte zu niedrigen Ergebnissen hin verfälschen. Wie die Wasseranalysen zeigen, liegen die Chloridgehalte in den meisten Proben über 100 mg/L.

5.2.2.6 Nitrit

Nitrite bilden ein Zwischenstadium der biologischen Zersetzung von Verbindungen, die organischen Stickstoff enthalten. Unter aeroben Bedingungen wird Ammoniak durch Bakterien in Nitrite umgewandelt, aber auch bakterielle Reduktion von Nitraten erzeugt Nitrite. Durch Oxidation gehen Nitrite leicht in Nitrate über, so daß sie selten in Oberflächengewässern auftreten. Hohe Nitritgehalte sind ein Hinweis auf teilweise zersetzte, organische Abfälle (WORCH 1997). Aus diesem Grund sind die Nitritgehalte in Gewässern meist gering. In Oberflächengewässern dominiert die Bildung von Nitrit aus der Nitrifikation. Durch eine Änderung der Abwasserbelastung können die Nitritkonzentrationen in Fließgewässern beeinflußt werden (KÖLLE 2001).

Die Nitritgehalte reichen im Kartiergebiet von 0,010 — 0,313 mg/L. In den Proben BAO (0,313 mg/L), BEA (0,298 mg/L), BAZ (0,281 mg/L), BAB (0,269 mg/L) und BEB (0,218 mg/L) treten erhöhte Nitritkonzentrationen auf. Diese Werte liegen aber noch unterhalb des von der EU empfohlenen Trinkwasserrichtwertes von 0,5 mg/L. Da sich jedoch hohe Nitritgehalte toxisch auswirken, wird von der deutschen Trinkwasserverordnung ein Grenzwert von 0,1 mg/L vorgeschrieben. Dieser Wert wird von den Proben BCR, BAA, BAT, BBZ, BBF und BCX überschritten. Alle diese Wässer werden aber nicht zur Trinkwasserversorgung verwendet. Die Meßstellen mit höheren Nitritgehalten sind hauptsächlich auf den neogenen Rücken verteilt. Da in diesen Gebieten auch zahlreiche Proben mit geringen Gehalten entnommen wurden, ist eine geogene Ursache auszuschließen. Nitrit kann in diesen Bereichen aus der Landwirtschaft

eingetragen werden. Eine Erhöhung der Nitritkonzentrationen in flachen Grundwasserleitern kann durch die Verkürzung der Reaktionszeit bei der Wasserentnahme verursacht werden, so daß nicht genügend Zeit zum Abschluß der Redoxprozesse zur Verfügung steht (KÖLLE 2001).

5.2.2.7 Phosphat

Bei niedrigen pH-Werten treten vor allem primäre und sekundäre Phosphate auf. Schwach alkalische Wässer beinhalten dagegen häufig Hydrogenphosphat. Im Wasser gelöster anorganisch gebundener Phosphor dient als Nährstoff für die Produktion von Phytoplankton, wodurch er organisch gebunden in die Nahrungskette gelangt. Durch Abbauprozesse werden diese dann wieder in die anorganisch gebundene Form überführt. Nur unter reduzierenden Bedingungen kann im Sediment gebundenes Phosphor in größeren Mengen frei gesetzt werden. Durch Düngemiteleintrag und Abwassereinleitungen wird der natürliche Phosphorkreislauf nachhaltig beeinflusst. In stehenden Gewässern führen erhöhte Phosphoreinträge zu verstärktem Algenwachstum, da für die Photosynthese benötigter Stickstoff in Form von Nitrat ausreichend vorhanden ist (WORCH 1997).

In den beprobten Wässern des Kartiergebietes liegen die Phosphatgehalte im Bereich von 0,17 bis 2,61mg/L. Leicht erhöhte Werte treten in den Proben BAB (2,61 mg/L), BCR (1,95 mg/L), BBW (1,90 mg/L) auf. Dabei unterschreiten sie den von der EU angegebenen Trinkwasserrichtwert von 6,7 mg/L. Diese Probenwässer stammen aus Meßstellen, die nicht als Trinkwasser genutzt werden. Die unregelmäßige Verteilung des Phosphates deutet auf einen Eintrag über die intensive Landwirtschaft, insbesondere durch Aufbringen und Auswaschung von Düngemitteln, oder über Abwassereinleitungen in das Grundwasser hin. Probleme bei der Phosphatbestimmung können auftreten, wenn die zu untersuchenden Wässer mehr als 10 mg/L Silikat enthalten. Wie die Analyse der Wässer zeigt, liegen die Silikatkonzentrationen in allen Proben über 10 mg/L.

5.2.2.8 Silicium

In der Natur tritt Silicium als zweithäufigstes Element auf. So enthalten die meisten Wässer Kieselsäure (SiO_2) oder Silikate (SiO_4^{4-} und SiO_2^{2-}). Silicium ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element der Erdkruste. Im wesentlichen ist es in Quarz und Silikaten

und allen Tonmineralen enthalten. Durch die Verwitterung von silikatischen Mineralen gelangt Silicium in die Hydrosphäre (KÖLLE 1997).

Die SiO₂-Konzentrationen der beprobten Wässer streuen zwischen 10,05 mg/L und 75,50 mg/L. In den Poben BDD (75,50 mg/L), BDW (67,00 mg/L), BCZ (66,35 mg/L) und BDY (63,10 mg/L) sind durchschnittlich höhere Konzentrationen enthalten. In den Proben, die in den Basalten und Serpentiniten gewonnen wurden, waren die höchsten Siliciumwerte gemessen worden. Ursache dafür ist die chemische Mineralzusammensetzung der Basalte mit SiO₂-Konzentrationen bis 20 %, sowie der Serpentinite (Mg₆[(OH)₈/Si₄O₁₀]. Die hohen Siliciumgehalte der Meßstellen auf den neogenen Rücken werden durch die Verwitterung von silikatischen Mineralen in den Sand- und Tonsteinschichten hervorgerufen.

5.2.3 Spurenelemente

In der Geochemie werden alle Elemente als Spurenelemente bezeichnet, die mit weniger als 0,01 Gewichtsprozenten in der oberen Erdkruste vorkommen. Wasserinhaltsstoffe unter 0,1 mg/L zählen zu den Spurenstoffen. Die meisten Schwermetalle gehören gleichzeitig zu den Spurenmetallen, deren natürliche Hintergrundkonzentrationen im Bereich von 0,01 bis 1 µg/L liegen. Bei den Schwermetallen handelt es sich um Stoffe mit einer Dichte > 5 g/cm³ (WORCH 1997). In Abhängigkeit der Konzentration zeigen viele der Schwermetalle eine umwelttoxische Wirkung. Sie sind nicht biologisch abbaubar. Schwermetalle können aus lithogenen, pedogenen und anthropogenen Quellen eingetragen werden. Lithogen liegen sie eingebunden in die Mineralstruktur und Kristallgitter der Bodenpartikel vor. Sie zeigen eine geringe Mobilität, die abhängig vom pH-Wert, dem Tongehalt und dem Humusgehalt. Pedogene Schwermetalle entstehen bei der Freisetzung von lithogenen Schwermetallen im Zuge der Verwitterungs- und Stoffumwandlungsprozesse. Freie Schwermetalle fixieren sich an Ton- und Humuspartikel. In überwiegend industriellen Gebieten gelangen sie anthropogen über das Aufbringen von Klärschlämmen und über künstliche Düngemittel wie Gülle, Kalk und Kompost in den Boden. Aufgrund der überwiegend landwirtschaftlichen Nutzung des Gebietes sind die anthropogenen Ursachen als gering einzustufen. In vielen Oberflächengewässern werden deutlich höhere Konzentrationen gefunden. Dies deutet auf einen anthropogenen Eintrag hin. Der Transport in Gewässern kann sowohl in gelöster als auch in partikulärer Form erfolgen. In zahlreichen Mineralen und Gesteinen sind Spurenelemente enthalten. Zu einer

starken Anreicherung von Schwermetallen im Sediment kann es durch Ausfällung und Sorption kommen. Eine Änderung der Milieubedingungen führt zu einer Remobilisierung der Schwermetalle (WORCH 1997).

41 Spurenelemente wurden durch das ICP-MS - Labor der TU Dresden in Tharandt bestimmt. Besonders die seltenen Erden Elemente (Pr, Ho, Tb, Nd, Gd, Er, Tm, Dy, Yb, Lu, Sm), aber auch Beryllium (Be), Chrom (Cr), Mangan (Mn), Hafnium (Hf), Silber (Ag), Wolfram (W), Zirkon (Zr), Yttrium (Y) und Thorium (Th) liegen in so geringen Konzentration vor, daß sie in den meisten Proben unterhalb der Nachweisgrenze fallen. Von den seltenen Erden konnte Cerium (Ce) in allen Proben mit Gehalten zwischen 0,01 µg/L und 0,10 µg/L nachgewiesen werden.

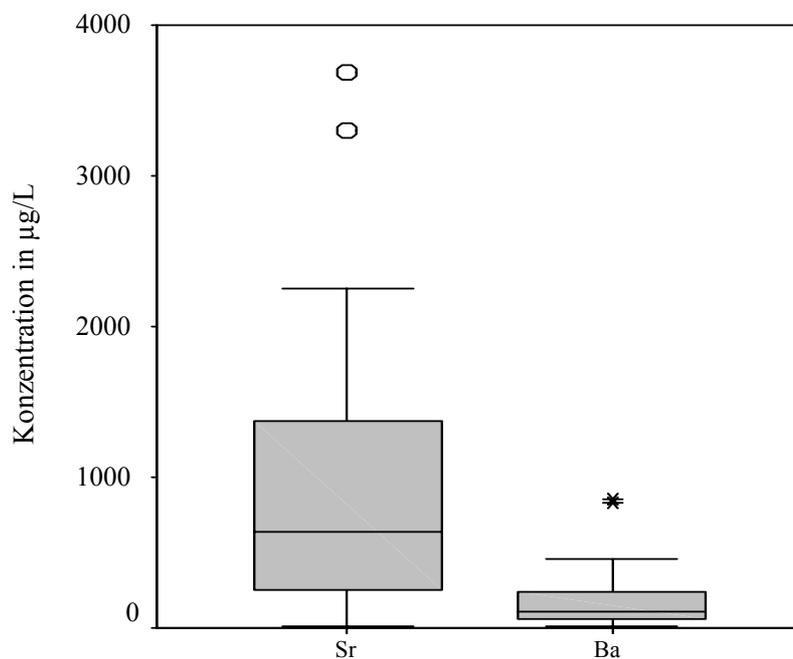


Abb. 17: Boxplot der Elemente Strontium und Barium

Strontium liegt in den beprobten Wässern im Bereich von 14 µg/L und 3,67 mg/L. Auffällig ist, daß sich Strontium im Bereich des Troia- und des Kumkale-Rückens angereichert hat. Mit seinen Gehalten bis 3,67 mg/L ist Strontium im Wasser nicht nur als Spurenelement vertreten. Die Gehalte an Barium schwanken zwischen 7,67 und 460,00 µg/L. Mit 833,00 µg/L Barium sind die Werte der Quelle QEG stark erhöht. Auch Barium liegt mit seinen Gehalten über 0,1 mg/L und tritt wie das Strontium nicht in allen Proben nur als Spurenelement auf.

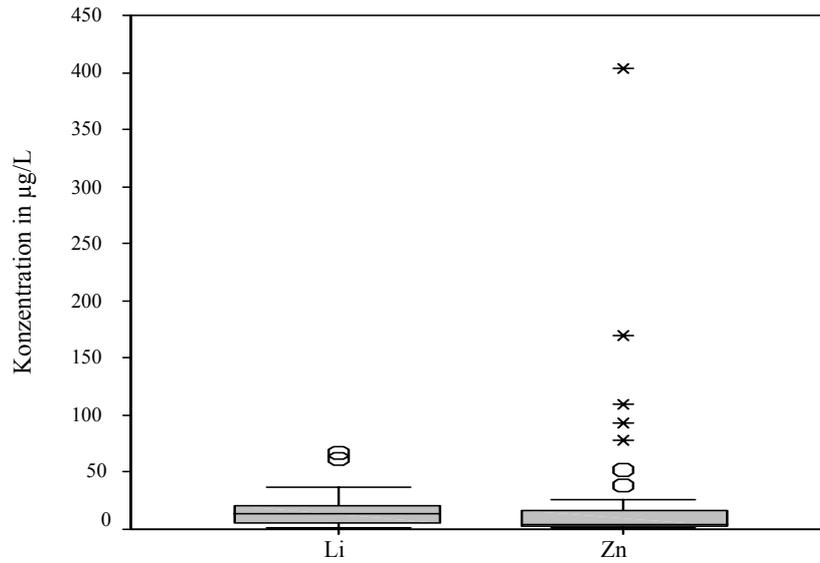


Abb. 18: Boxplot der Elemente Lithium und Zink

Unbelastete natürliche Gewässer weisen Zinkgehalte unter 10 µg/L auf (WORCH 1997). Zwischen 1,77 und 403,02 µg/L liegen die Zinkkonzentrationen vor. Im Bereich zwischen 1,68 µg/L und 36,70 µg/L schwanken die Lithiumgehalte der untersuchten Wasserproben. Auf dem Kumkale-Rücken befindliche Proben BBV und BBW weisen mit 61,70 und 66,60 µg/L erhöhte Konzentrationen auf. Die Cadmiumgehalte der Proben schwanken im Bereich von 0,24 µg/l und 3,15 µg/L. Damit unterschreiten alle Wässer den von der EU empfohlenen Trinkwasserrichtwert von 5 µg/L. Cadmium kann sich mit Konzentrationen bis 10 mg/kg im Sediment anreichern (WORCH 1997).

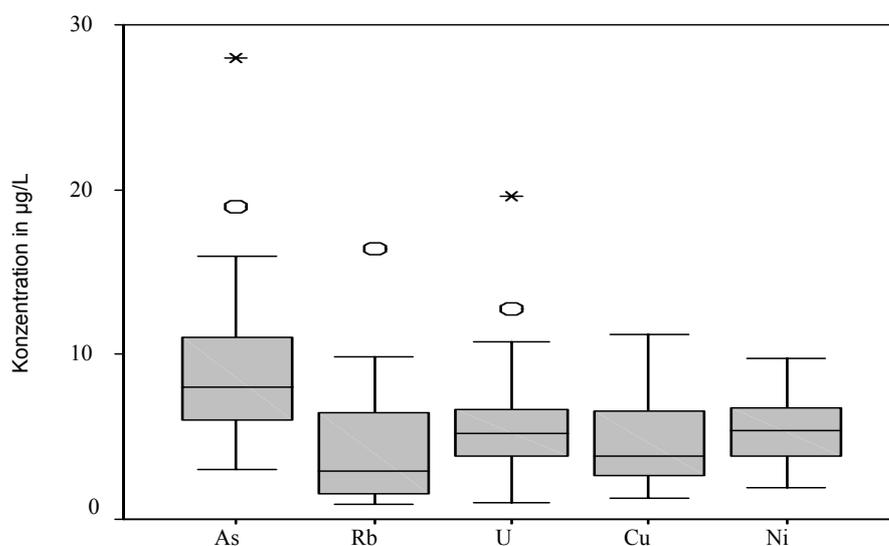


Abb. 19: Boxplot der Elemente Arsen, Rubidium, Uran, Kupfer und Nickel

In den Proben streuen die Urankonzentrationen zwischen 0,36 und 19,60 µg/L. Mit 19,60 µg/L und 15,90 µg/L Uran weisen die Wässer BBW und BDD hohe Gehalte auf. Nickel überschreitet mit Werten zwischen 1,92 µg/L und 12,20 µg/L in keiner Probe den angegebenen EU-Trinkwasserrichtwert von 20 µg/L. Anhand der Korrelationsanalyse wird vermutet, daß ein Zusammenhang zwischen dem Parameter Uran, Lithium und Strontium besteht. Möglicherweise besteht hier eine Scheinkorrelation. Diese drei Elemente sind signifikant positiv mit der Leitfähigkeit korreliert. Mit zunehmender Leitfähigkeit steigen die Gehalte der drei Spurenstoffe an. Für alle Spurenelemente läßt sich dieses Verhalten nachvollziehen. In den untersuchten Proben reichen die Cobaltkonzentrationen von 0,19 µg/l bis 1,52 µg/L. In Seen und Flüssen liegen die Arsenkonzentrationen meist unter 10 µg/L. Erhöhte Gehalte in Grundwässern sind geogen bedingt (WORCH 1997). Die Konzentrationen schwanken zwischen 3,30 µg/L und 27,80 µg/L. Von der EU wird ein Trinkwasserrichtwert von 10 µg/L empfohlen. Dieser wird von den Proben BAU, BSC, BDZ, BAF, BEA, BAL, BAA, BBZ und QS2 überschritten. Untersuchungen der Quelhöhle auf Arsen weisen sowohl 2001 (WOLKERSDORFER, pers. Mitteilung 2001) als auch 2002 erhöhte Konzentrationen auf. Antimonergehalte liegen im Bereich von 0,02 und 0,52 µg/L und unterschreiten damit deutlich den EU-Trinkwasserrichtwert von 5 µg/L. Auffällig gering sind die Kupfergehalte, die mit Konzentrationen zwischen 1,31 µg/L und 11,20 µg/L weit unterhalb dem angegebenen EU-Richtwert von 2 mg/L liegen. Im Grundwasser sind im Normalfall weniger als 10 µg/L Blei enthalten. Je nach Belastungsgrad sind in Flüssen Bleigehalte zwischen 0,1 µg/L und über 10 µg/L enthalten. Bereits bei einer Bleikonzentration um 0,1 mg/L können niedere Wasserorganismen geschädigt werden. Aufgrund seiner toxischen Wirkung wird von der EU ein Trinkwasserrichtwert von 10 µg/L empfohlen (WORCH 1997). Die Bleigehalte der untersuchten Wässer liegen im Bereich von 0,24 µg/L und 0,85 µg/L. Mit 42,90 µg/L und 11,70 µg/L differenzieren sich die Meßstellen BAA und BCX stark von den übrigen Proben und überschreiten den angegebenen Richtwert.

Eine Tendenz zu einer negativen Korrelation zwischen dem pH-Wert und den Spurenelementen läßt sich aus der Korrelationsanalyse ableiten. Spurenelemente sind wahrscheinlich so fest in das Kristallgitter eingebaut, daß sie nur schwer herauszulösen sind. Aufgrund neutraler pH-Werte sind die Wässer nicht aggressiv genug, um die Spurenelemente aus dem Gestein lösen zu können. Elemente die bei der Gesteinsumwandlung freigesetzt werden, können gleich wieder in neue Minerale eingebaut ohne zuvor an das Wasser abgegeben zu werden.

5.3 Auswertung der Plausibilitätskontrollen

5.3.1 Auswertung der Vergleichsmessung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Nitrat

Um die Ergebnisse der Ionenchromatographie überprüfen zu können, wurden die Parameter Chlorid, Calcium und Magnesium volumetrisch bestimmt.

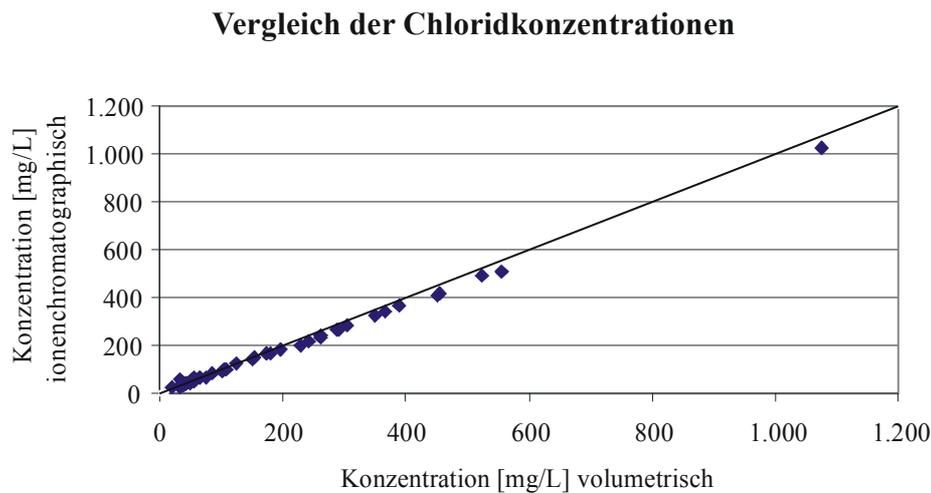


Abb. 20: Vergleich der mittels Ionenchromatographie und Volumetrie bestimmten Chloridkonzentrationen

Chloridkonzentrationen, welche mittels der Ionenchromatographie bestimmt wurden liegen mit Gehalten zwischen 28,2 und 508,1 mg/L bis zu 19 % unter den volumetrisch ermittelten Gehalten von 18,17 bis 555,11 mg/L. Sowohl die mittels Volumetrie als auch die mittels Ionenchromatographie erhaltenen Gehalte von 1077,30 mg/L bzw. 1028 mg/L für die Meßstelle BAH heben sich deutlich von den übrigen Meßwerten ab. Negative Abweichungen bedeuten, daß die Gehalte der Volumetrie höher sind, als die der Ionenchromatographie. Die Gehalte der Proben HS3, BDW, BED, BDF, BCZ, BDD und BDY liegen in der Volumetrie über den Konzentrationen der mittels Ionenchromatographie bestimmten.

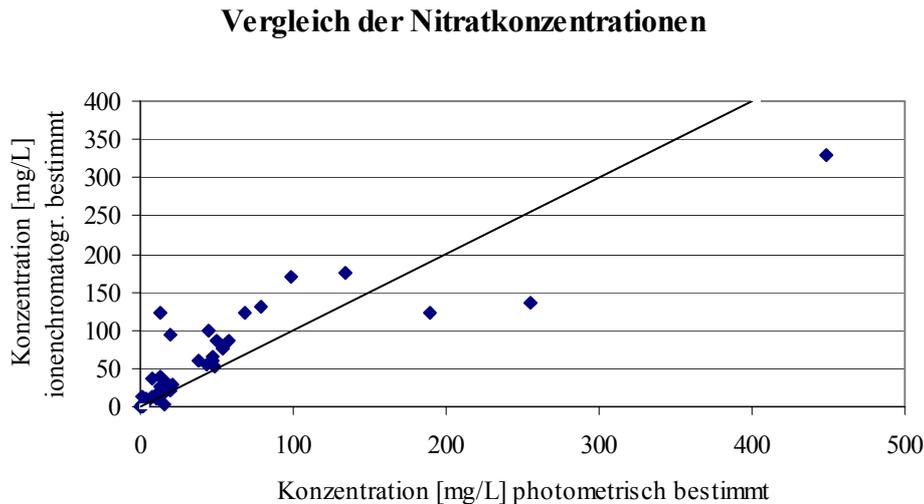


Abb. 21: Vergleich der mittels Ionenchromatographen und Photometer bestimmten Nitratkonzentrationen

Der Nitratgehalt muß im Gelände bestimmt werden, da im Verlauf der Nitrifikation von Ammonium dieses leicht in Nitrat umgewandelt wird. Ist es nicht möglich, diesen Parameter direkt vor Ort zu messen, muß die abgefüllte Probe bei maximal 4 °C aufbewahrt und innerhalb von 48 h bestimmt werden. Für eine längere Aufbewahrung, muß zusätzlich mit konzentrierter Schwefelsäure der pH-Wert auf wenigstens 2 eingestellt werden. Während der Probenahme konnte weder eine Kühlung noch eine Konservierung der Probe erfolgen. Die vor Ort bestimmten Nitratgehalte liegen mit Konzentrationen zwischen 0,6 mg/L und 449,3 mg/L weitgehend unter den mittels der Ionenchromatographie erhaltenen Meßwerten von 0,8 mg/L und 330,0 mg/L. Die Probe QKP weicht extrem von den Konzentrationen der Ionenchromatographie ab. Auch die Wässer QEE, QCF, QET, QNT, BBC, QRW, BDW, BAZ, BED weisen in den ionenchromatographischen Meßwerten geringere Konzentrationen als die vor Ort photometrisch bestimmten Proben. Die Proben BED, BAZ, BDW, QRW und BBC unterschreiten nur gering die ionenchromatographischen Konzentrationen. Es besteht die Möglichkeit, daß durch bakterielle Reduktion unter aeroben Bedingungen Nitrite in Nitrate umgewandelt werden können. Allgemein können Fehler sowohl bei der Probenahme als auch bei der Messung nicht ausgeschlossen werden. Wahrscheinlich sind die extremen Differenzen der Probe QKP auf Meßfehler zurückzuführen. Die allgemein höheren Nitratgehalte der Ionenchromatographie wurden möglicherweise durch eine Umwandlung von Ammonium in Nitrat verursacht. Dies würden auch die im Oktober bestimmten niedrigen Ammoniumgehalte erklären.

Vergleich der Calcium- und Magnesiumkonzentrationen

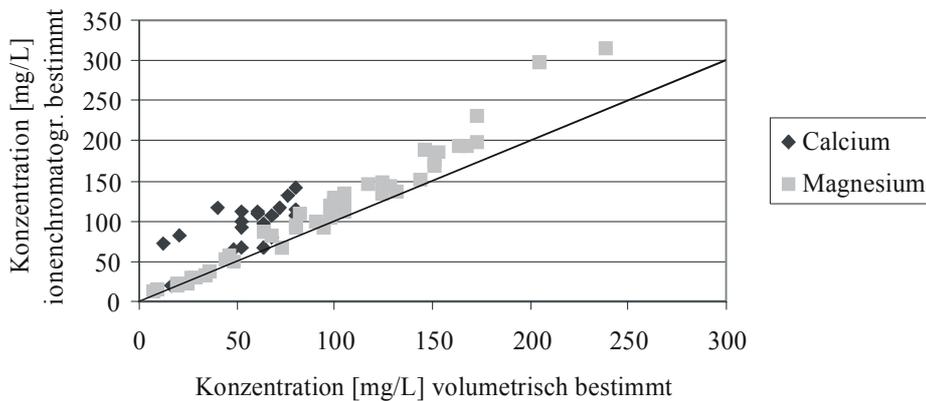


Abb. 22: Vergleich der volumetrisch und ionenchromatographisch bestimmten Calcium- und Magnesiumkonzentrationen

Calcium wurde sowohl volumetrisch als auch mit dem Ionenchromatographen bestimmt. Volumetrisch ermittelte Gehalte liegen im Bereich zwischen 12,02 mg/L und 204,41 mg/L. Mit der Ionenchromatographie wurden nur 21 der 44 Proben gemessen. Diese Konzentrationen schwanken im Bereich von 72 mg/L und 143 mg/L. Die große Punktwolke in Abbildung 22 deutet darauf hin, daß zumindest eine der Methoden mit größeren Fehlern behaftet ist. Wie bereits in Kapitel 3.2.5 erklärt, wird bei dieser Methode das Gerät zunächst mit einem volumetrisch bestimmten Standard kalibriert. Die Konzentration des Standards sollte als Meßergebnis der Kalibrierung wieder ausgegeben werden. Der gemessene Wert lag aber stets über der Konzentration des Standards. Somit liegen die mittels der Ionenchromatographie erhaltenen Meßwerte über den volumetrisch bestimmten Calciumgehalten. Möglicherweise erfolgte keine optimale Auftrennung der einzelnen Elemente. Wahrscheinlich wirken sich die Elemente Barium und Strontium auf die Konzentrationsberechnung des Calciums mit aus. Aufgrund der geringen Datenmenge, werden in der Auswertung die Ergebnisse der Volumetrie verwendet.

Wie das Calcium wurde auch Magnesium sowohl volumetrisch als auch mit dem Ionenchromatographen bestimmt. Die Magnesiumgehalte der Volumetrie bewegen sich im Bereich zwischen 7,29 mg/L und 238,24 mg/L, während die Ergebnisse des Ionenchromatographen Werte zwischen 14 mg/L und 316 mg/L annehmen. Die Abweichungen der Werte voneinander sind insgesamt geringer als dies bei dem Calcium der Fall war. In den meisten Proben liegen die Meßwerte der Volumetrie über den Ergebnissen der Ionenchromatographie. Nur in den Wässern QCF, BAT, QPT und BCT

sind die Gehalte der Volumetrie geringer. Für Magnesium stimmen die Ergebnisse der IC besser mit den Meßwerten der Volumetrie überein als die Ergebnisse des Calciums.

5.3.2 Auswertung der Ionenbilanz

Die Auswertung der Ionenbilanz erfolgte mit dem Programm PHREEQC unter Verwendung der Formel 31. Für die 44 untersuchten Wasserproben wurden die Ionenbilanzen berechnet. Bei der Berechnung der Fehler wurden zum einen die volumetrischen Ergebnisse der Parameter Calcium, Magnesium und des photometrisch bestimmten Nitrat, zum anderen wurde zur besseren Vergleichbarkeit die Nitratgehalte der Ionenchromatographie verwendet. Außerdem wurden Ionenbilanzen mit den Calciumgehalten der Volumetrie und den Magnesiumgehalten der Ionenchromatographie errechnet.

Fehler der Ionenbilanz

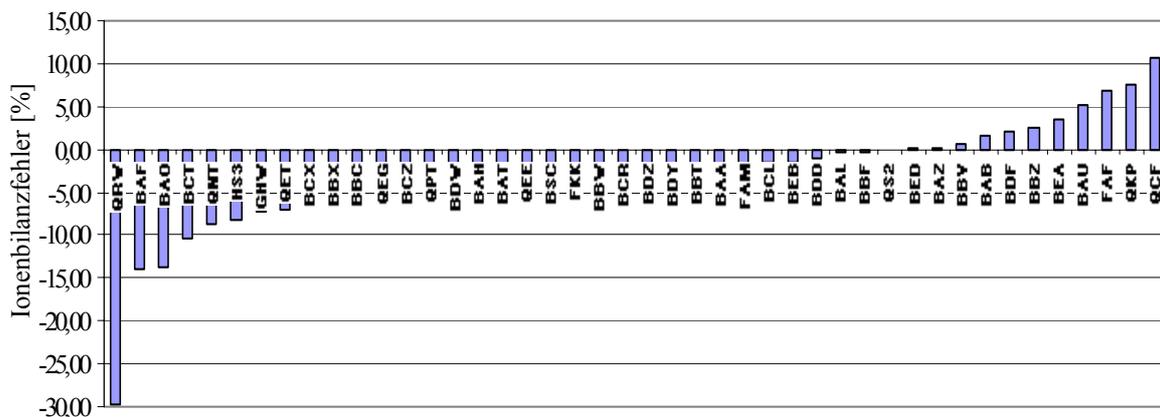


Abb. 23: Verteilung des Fehlers der Ionenbilanz

Die Ionenbilanzen der volumetrischen Calcium- Magnesium und Nitratgehalte weisen kaum Unterschiede auf zu den Bilanzen, in denen die ionenchromatographischen Nitratkonzentrationen und die volumetrische bestimmten Calcium und Nitratkonzentrationen verwendet wurden. In beiden Bilanzen liegen die Fehler zwischen -29 % und 10 %. Sind in den Wasseranalysen weniger Kationen (Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Ammonium und Eisen) als Anionen (Chlorid, Fluorid, Hydrogenkarbonat, Phosphat, Nitrat, Nitrit, Silikat und Sulfat) bestimmt wurden, führt dies zu einer negativen Ionenbilanz. Fehler die größer Null sind, deuten darauf hin, daß zu geringe Anionenkonzentrationen bestimmt wurden. Wie schon der Vergleich der

Calciumgehalte der Ionenchromatographie und der Volumetrie zeigte, deutet auch die Ionenbilanz darauf hin, daß die ionenchromatographischen Calciumkonzentrationen zu hoch bestimmt wurden. Aus diesem Grund werden wie bereits erläutert im weiteren Verlauf der Arbeit, die Konzentrationen der Volumetrie angewendet.

Eine Fehlerberechnung nach der Formel 32 zeigt in allen Wasseranalysen größere Fehler auf als die Ionenbilanz. Diese Berechnung ist den hydrogeochemischen Gegebenheiten besser angepaßt, da sie im Gegensatz zu der Ionenbilanz nach DVWK auch Komplexe und die Speziation berücksichtigt. Desweiteren gehen statt der Konzentrationen die Aktivitäten in diese Formel ein. Grundsätzlich ist es fast unmöglich einen Ionenbilanzfehler von Null zu erhalten, da jede Analysenmethode mit einem Fehler behaftet ist. Um einen möglichst geringen Fehler zu erhalten, müssen alle Kationen und Anionen bestimmt werden und in die Berechnung mit einfließen.

5.3.3 Vergleich der gemessenen und der berechneten Leitfähigkeit

Aus der Konzentration der einzelnen Parameter läßt sich die elektrische Leitfähigkeit berechnen. Aus den Leitfähigkeitsteilbeträgen der einzelnen Kationen und Anionen setzt sich die elektrische Leitfähigkeit der wäßrigen Lösung zusammen. Die berechnete elektrische Leitfähigkeit ist bis auf die Proben BCT, QRW, QKP größer als die der vor Ort gemessenen. Wie Abbildung 24 zeigt, liegen die berechneten Leitfähigkeiten in allen Fällen unter den der im Gelände gemessenen Leitfähigkeit.

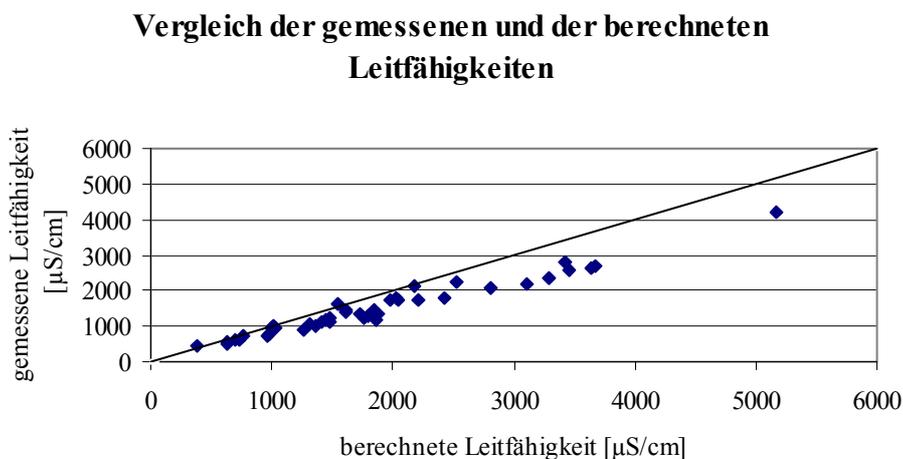


Abb. 24: Vergleich der gemessenen und errechneten Leitfähigkeit.

5.4 Geothermometer

Für die Berechnung der Reservoirtemperaturen der untersuchten Proben wurden die Silicium-Geothermometer nach FOURNIER (1973) und VERMA (2000) angewendet. FOURNIER berücksichtigt in seinen Formeln die Bildungsbedingungen für Quarz, Chalzedon und amorphes SiO₂. Geothermometer werden hauptsächlich zur Ermittlung der Tiefen, denen die Thermalwässer entspringen, eingesetzt.

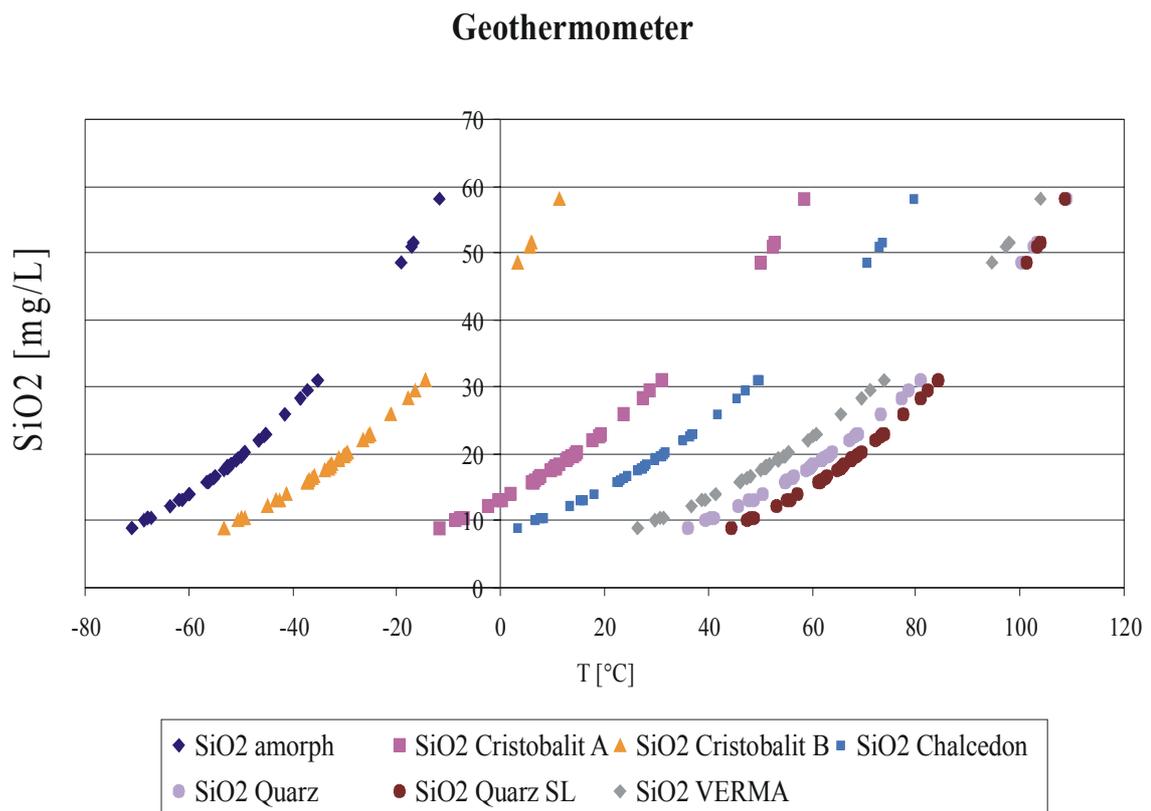


Abb. 25: Geothermometer nach FOURNIER (1973) und VERMA (2000)

Reservoirtemperaturen von -74,9 — 11,9 °C für amorphes Silicium, -57,5 — 11,3 °C für Cristobalite, -1,7 — 79,6 °C für Chalzedon bedeuten, daß diese Minerale mit dem Tiefenwasser nicht im Gleichgewicht standen. Sowohl die Temperaturen, die für Quarz nach VERMA (21,2 — 103,9 °C) als auch die nach FOURNIER (31,1 °C — 108,9 °C) berechnet wurden, deuten auf ein Gleichgewicht zwischen Wasser und Gestein. Amorphes SiO₂ ist sehr leicht löslich und reichert sich somit schnell aus dem Kontaktgestein im Wasser an. Sowohl VERMA als auch FOURNIER beziehen sich in ihren Berechnungen nur auf die Siliciumkonzentrationen. Während des Aufstiegs und Abkühlen kommt es zu einer Quarzübersättigung und Ausscheidung von amorphem Silicium. Somit können die auf diese Weise bestimmten Reservoirtemperaturen als zu niedrig betrachtet werden. Ein

Vergleich der Reservoirtemperaturen mit dem allgemeinen geothermischen Gradienten von 3 K auf 100 m ergibt für die Wässer Tiefen zwischen 400 und 3000 m. Für das Untersuchungsgebiet muß ein höherer Gradient angenommen werden, da es sich zum einen um ein tektonisch aktives Gebiet handelt und zum anderen vor allen im Süden und Südosten junge Basalte und Metamorphite anstehen. Nach MÜTZENBERG (1991) wird für das Gebiet um Tuzla, das sich östlich von Ezine befindet, ein Temperaturgradient von 7 K auf 10 m angegeben. Offene Klüfte entlang von Bruchzonen bestimmen die Porosität der Speichergesteine. Ein Vergleich der Wasseranalysen mit diesem Gradienten ergeben Tiefen zwischen 15 und 130 m. Dies trifft besonders für die Proben BDY, BCZ, BDW und BDD zu. Diese setzen sich in der Abbildung 25 mit höheren SiO₂-Gehalten von den übrigen Proben ab. Für die Proben BDW und BDY kann das gleiche Einzugsgebiet angenommen werden. Es wird angenommen, daß die Wässer in den oberen Aquiferen fließen. Da der Troia-Rücken das Einzugsgebiet darstellt, handelt es sich bei den vorliegenden Proben nicht um Thermalwässer. Für die Proben FAF, FAM und FKK, die den Flüssen Karamenderes und Kemerdere entnommen wurden, erfolgte keine Berechnung der Reservoirtemperatur, da aufgrund des Fließweges die chemische Zusammensetzung besonders stark von der des Tiefenwassers abweicht.

5.5 Ergebnisse der Clusteranalyse

Mittels der Clusteranalyse kann festgestellt werden, ob es sich bei den einzelnen Wasserproben um Wasser aus dem gleichen Einzugsgebiet, oder ob es sich bei den verschiedenen Proben um mehrere Gruppen handelt. Einen Hinweis geben die Histogramme der einzelnen Wasserinhaltsstoffe. Sind die Konzentrationen der Parameter normalverteilt, kann davon ausgegangen werden, daß nur eine Gruppe vorliegt. Zeichnen sich aber mehrgipfelige Verteilungen ab, liegen möglicherweise verschiedene Gruppen vor.

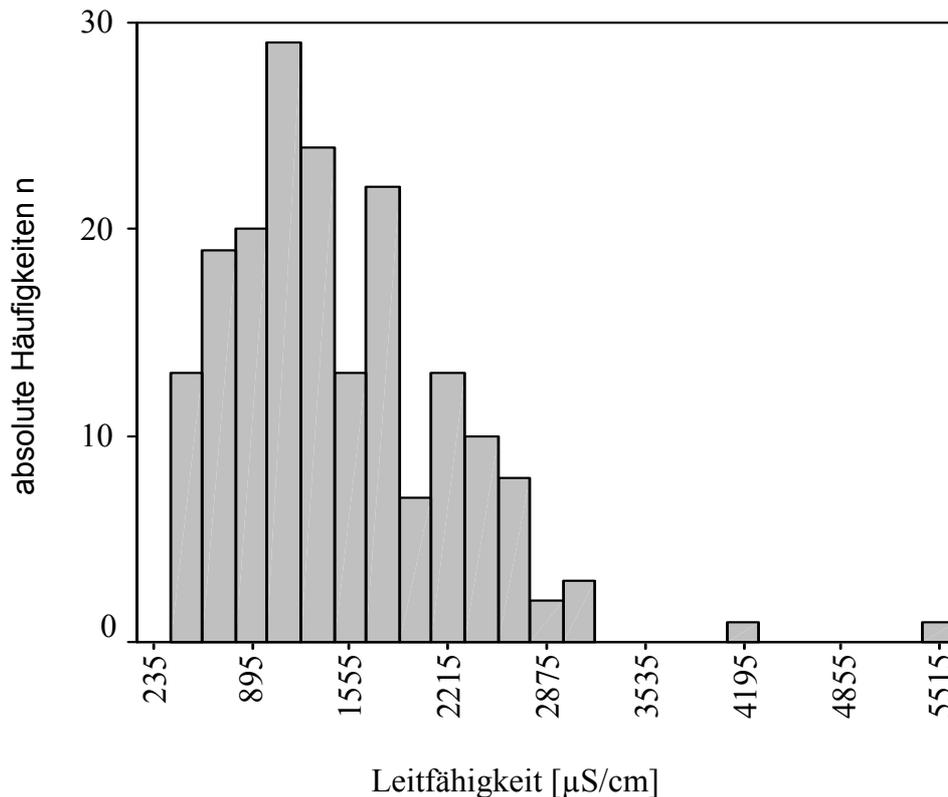


Abb. 26: Histogramm der Leitfähigkeit

Deutlich erkennbar war dies bei der Leitfähigkeit. Hier sind mindestens zwei Gruppen gut sichtbar. Eine große Gruppe zwischen 500 und 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hebt sich deutlich von der Gruppe über 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ab. Wie aus dem Histogramm ersichtlich, besteht die zweite Gruppe aus nur zwei Proben, BBP und BAH. Da es sich wie bereits angesprochen bei der Probe BBP um einen unbenutzten Brunnen handelt, wurde an dieser Meßstelle keine Probe entnommen. Somit fließt dieser Brunnen nicht in die Clusteranalyse mit ein. Möglicherweise läßt sich die große Gruppe noch in weitere Gruppen aufteilen. Eine weitere könnte sich zwischen 2000 und 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ abzeichnen. Aufgrund möglicher Überschneidungen können die Klassen im Histogramm nicht klar unterschieden werden. Mittels der Clusteranalyse kann auf eine Gruppenbildung untersucht werden. Auf Grundlage der Histogramme wurde entschieden, welche Parameter sich auf eine Clusterung auswirken. Die Parameter Leitfähigkeit, pH-Wert, Hydrogenkarbonat, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Calcium, Magnesium, Sulfat, Fluorid, Natrium, Chlorid, Silikat, Strontium, Barium und Lithium werden für die Clusteranalyse herangezogen. Das Programm SPSS gibt als Ergebnis der Clusteranalyse ein Dendrogramm aus, welches in Abb. 27 dargestellt ist.

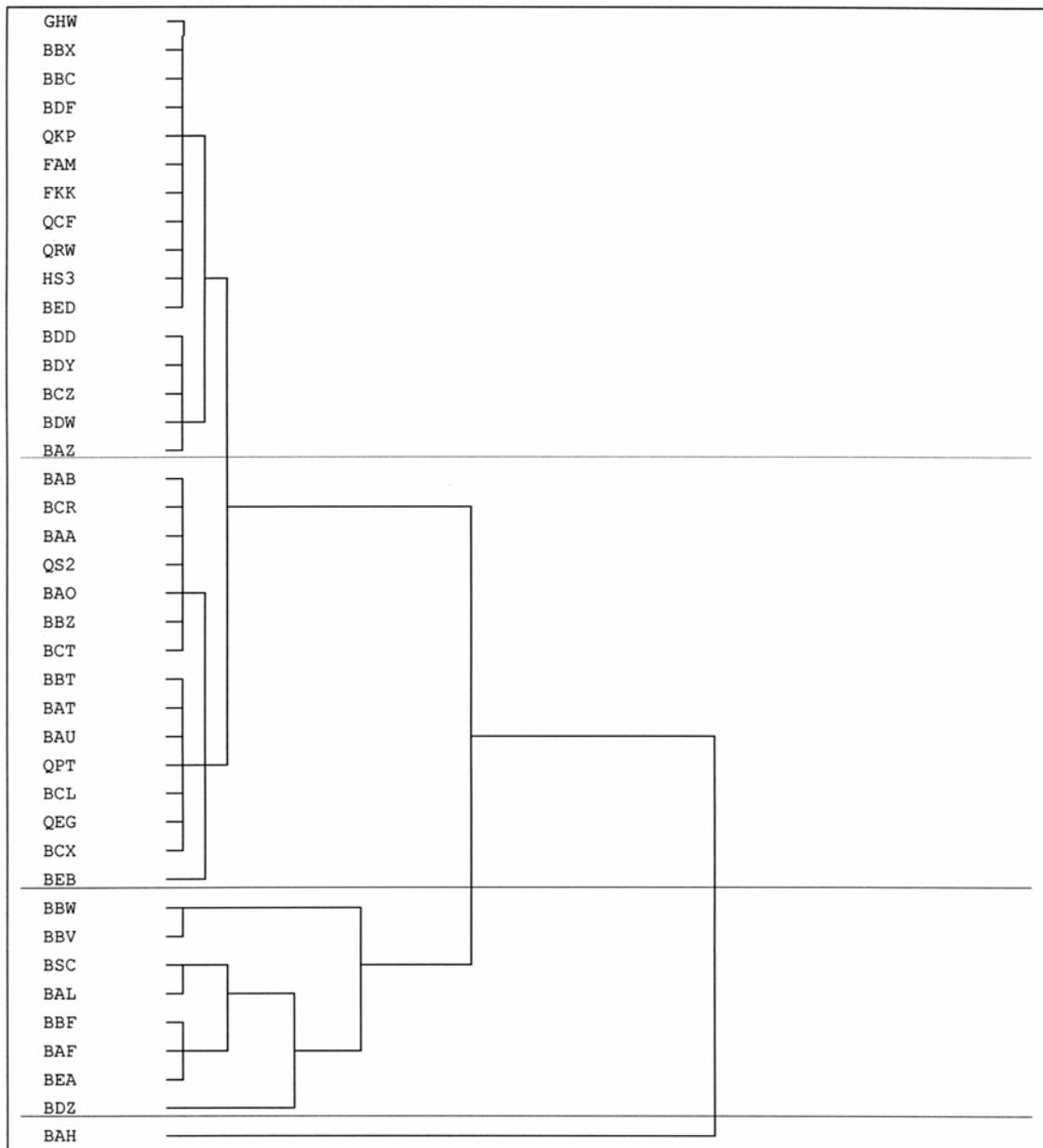


Abb. 27: Dendrogramm der Clusteranalyse mit den Parametern Leitfähigkeit, pH-Wert, Hydrogenkarbonat, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Calcium, Magnesium, Sulfat, Fluorid, Natrium, Chlorid, Silikat, Strontium

Aus dem Dendrogramm läßt sich eine Dreiteilung der Proben gut erkennen. Die dritte Gruppe besteht nur aus der Probe BAH, während in die zweite Gruppe die Proben BBW, BBV, BSC, BAL, BBF, BAF, BEA und BDZ gehören. Alle übrigen Proben zählen zu der ersten Gruppe. Diese läßt sich in zwei Untergruppen unterteilen.

In die erste Gruppe zählen vor allen die Fließgewässer, die Proben aus dem Bergland im Süden und Osten des Untersuchungsgebietes sowie aus den Ebenen entlang der Flüsse.

Auf dem Troia- und dem Kumkale-Rücken ist besonders die zweite Gruppe verteilt. Die aus BAH bestehende dritte Gruppe befindet sich südlich von Gökçalı neben der Hauptstraße von Çannakkale nach Izmir.

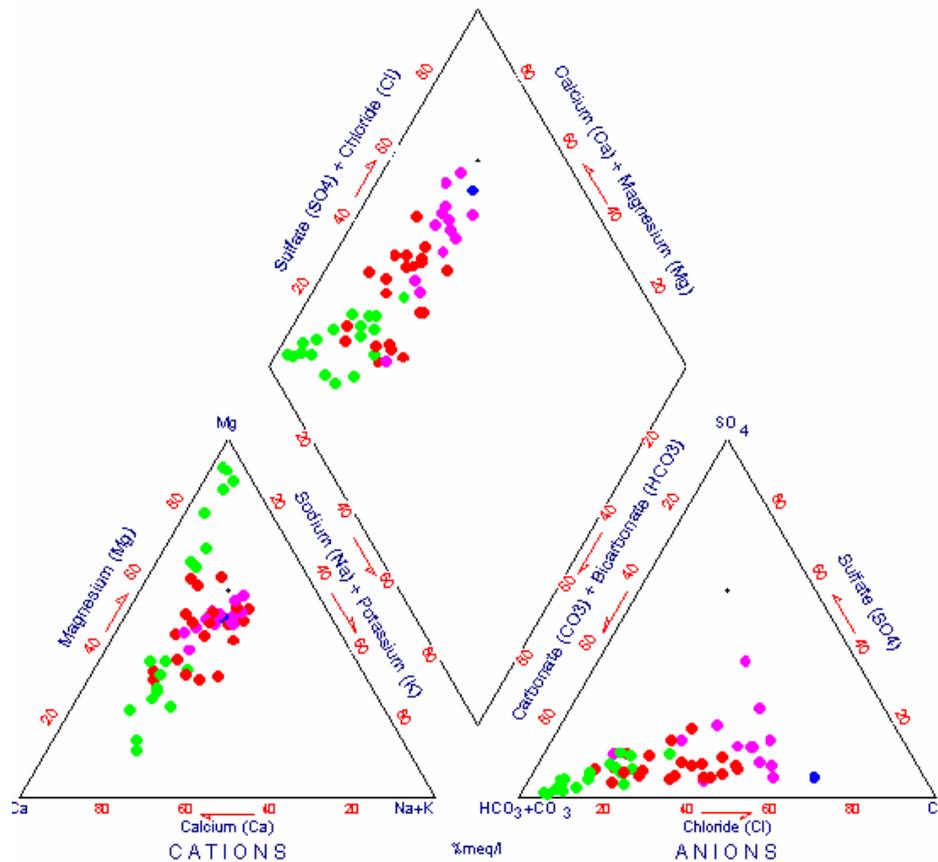
Besonders stark wirken sich die Parameter Leitfähigkeit und Strontium aber auch Chlorid, Natrium, Magnesium, Calcium und Sulfat auf die Clusterbildung aus. Die erste Gruppe wird von Proben mit geringen Leitfähigkeiten zwischen 438 und 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ für die Untergruppe 1a und 1100 bis 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ für die Untergruppe 1b gebildet. Proben zwischen 1900 bis und 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gehören der zweite Gruppe an und die dritte Gruppe zeichnet sich durch Leitfähigkeiten über 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aus.

Cluster 1a läßt sich von den übrigen Gruppen ganz klar abgrenzen. Es wird hauptsächlich von Wässern mit niedrigen Chloridgehalten (25,0 — 70,0 mg/L), geringen Sulfatkonzentrationen (5,0 — 38,0 mg/L), wenig Calcium (12,0 — 70,0 mg/L), Natrium (9,0 — 33,0 mg/L) sowie mit niedrigen Strontiumgehalten (13,0 — 365,0 $\mu\text{g}/\text{L}$) gebildet. Die Proben dieser Unterklasse erstrecken sich klar auf die Berglandsregionen im Osten und Süden des Kartiergebietes sowie auf die von den Flüssen durchquerten Ebenen.

Die Gruppe 1b läßt sich vom Cluster 2 nicht so deutlich unterscheiden. Neben der Leitfähigkeit sind auch die Chloridgehalte mit 81 bis 233 mg/L, Natriumkonzentrationen (38 — 73 mg/L) und die Strontiumwerte (400 — 1400 $\mu\text{g}/\text{L}$) höher als die der ersten Gruppe. Diese Wässer sind besonders auf dem Troia-Rücken aber auch zwischen Kumkale und Halileli zu finden.

Entlang der Küste der Dardanellen und auf dem Troia-Rücken hauptsächlich östlich Kalafat und südlich von Çıplak sind die Meßstellen der zweiten Gruppe zu finden. Diese Proben zeichnen sich durch erhöhte Chloridkonzentrationen (260 — 500 mg/L), Natriumgehalten (85 — 170 mg/L), Magnesium- (100 — 170 mg/L), Silicium- (20 — 25 mg/L) sowie hohe Strontiumkonzentrationen (1400 — 3700 $\mu\text{g}/\text{L}$) aus.

In der Gruppe drei sind neben der Leitfähigkeit auch Chlorid (1027,6 mg/L), Natrium (219,1 mg/L), Calcium (204,4 mg/L), und Magnesium (238,2 mg/L) stark erhöht. Wird bei der Clusteranalyse die Leitfähigkeit nicht mit einbezogen, kann die Meßstelle BAH der zweiten Gruppe zugeordnet werden.



- Gruppe 1a
- Gruppe 1b
- Gruppe 2
- Gruppe 3

Abb. 28: PIPER-Diagramm

Mit dem Programm RockWorks99 wurde ein Piperdiagramm erstellt, in dem Wasserproben durch Symbole den mittels der Clusteranalyse eingeteilten Gruppen zugeordnet wurden. Grün sind die Wässer der Gruppe 1a, rot die Gruppe 1b, violett 2 und Klasse 3 ist mit einem blauen Punkt gekennzeichnet.

Das Kationendreieck zeigt keine klare und deutliche Trennung der einzelnen Gruppen. Während sich besonders die Punktwolken der Klasse 1b, 2 und 3 mischen, teilt sich die Gruppe 1a in einen Bereich mit wenig Magnesium und einen Bereich mit hohen Magnesiumanteilen auf. Alle Proben beinhalten hohe Calcium- und wenig Natrium- und Kaliumanteile.

Im Anionendreieck lassen sich die Gruppen besser auseinanderhalten. Die Probe der dritten Gruppe hebt sich mit seinen hohen Chlorid und Hydrogenkarbonatgehalten von den übrigen Gruppen ab. Wie bereits die Analysen zeigten, sind die Chloridanteile der ersten Gruppe am geringsten. An den Klassengrenzen kommt es zu Überschneidungen. Alle

Proben zeigen hohe Anteile an Hydrogenkarbonat, Calcium und Magnesium sowie geringe Anteile an Natrium und Kalium.

Die erste Gruppe hebt sich mit geringen Sulfat und Chloridanteilen von der zweiten und dritten Klasse ab. In allen Diagrammen ist eine Vermischung der Punktwolken zu verzeichnen. Besonders deutlich ist dies im Kationendreieck ausgeprägt.

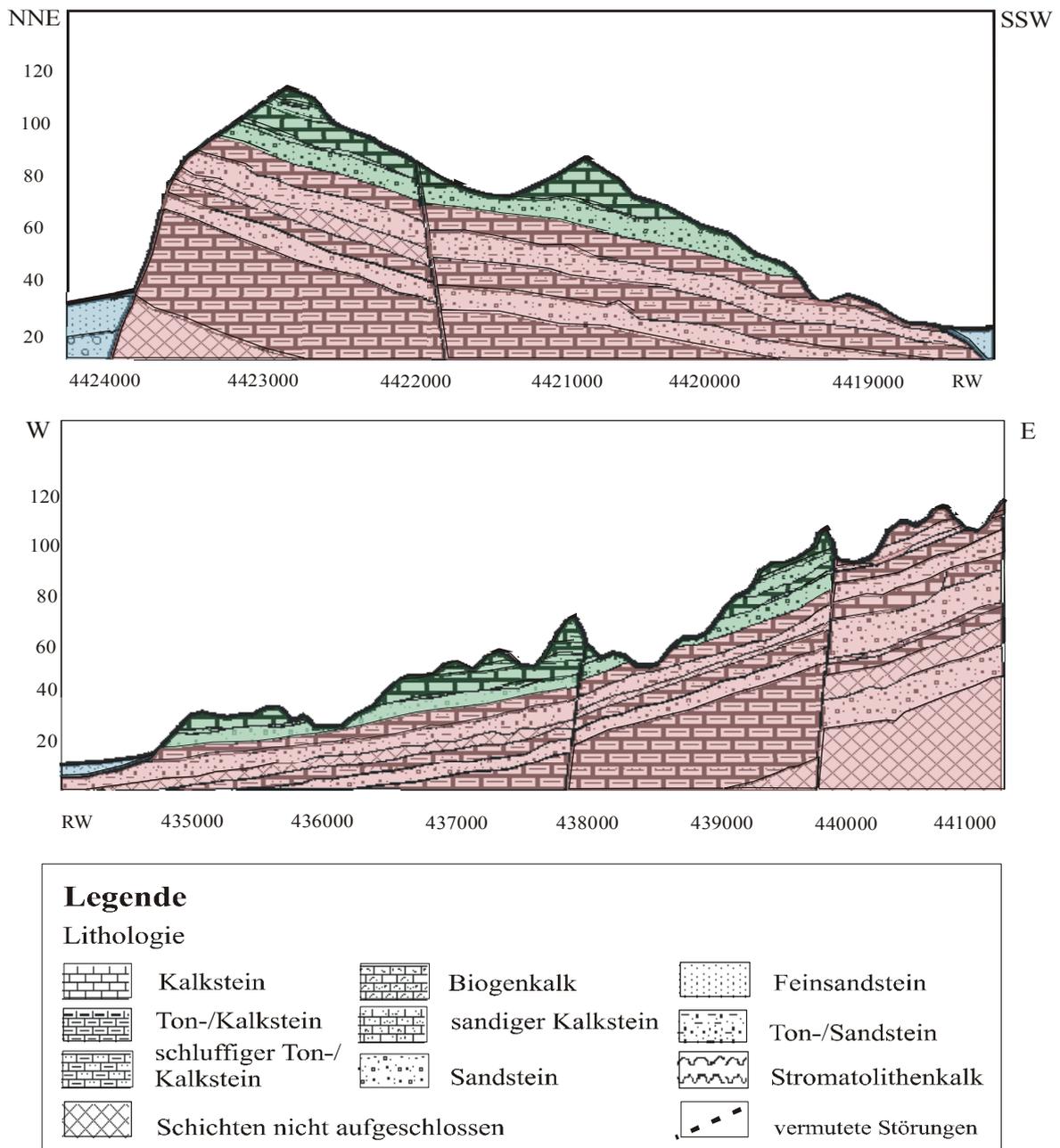


Abb. 29: Profilschnitte durch den Troia-Rücken (stark überhöht) nach BERGMANN (2003)

In den Profilen sind die Schichten, denen die Proben entstammen farbig gekennzeichnet. Die Untergruppe 1a ist vorwiegend in den quartären Ebenen und in den magmatischen und metamorphen Gebieten im Südosten des Untersuchungsgebietes vertreten. In den Profilen sind nur die quartären Ebenen mit einer blauen Farbe markiert. Die Basalte und Serpentine des Südostens sind in den Profilen nicht angeschnitten. Die Gruppe 1b, die in den oberen Schichten der Conkbayırı-Formation (YALTIRAK 2002) verbreitet ist, wurde grün markiert. Rot eingefärbt wurden die Schichten sowohl der Conkbayırı-Formation als auch der Alçitepe-Formation (YALTIRAK 2002), denen die Wässer der zweiten Gruppe zugeordnet werden können.

Anhand der Profile läßt sich erkennen, daß die Proben der Klasse 1b und der zweiten Klasse in den neogenen Schichten liegen. Durch tektonische Bewegungen an der Gökçalı-Störung liegen die miozänen Sedimente der Alçitepe-Formation neben den pliozänen bis pleistozänen Schichten der Conkbayırı-Formation (YALTIRAK 2002).

Die Untergruppe 1b stammt aus den oberen Grundwasserleitern der Conkbayırı-Formation. Wie in der Diplomarbeit von Katrin BERGMANN (2003) beschrieben wird, setzen sich die beiden obersten Aquifere aus Mittel- bis Grobsand zusammen. Zwischen diesen beiden oberen Grundwasserleitern ist ein hellgrauer Kalkstein zwischengeschaltet.

Proben der zweiten Klasse reichen in die stratigraphisch darunterliegenden Aquifere. Dies deckt sich mit der chemischen Zusammensetzung. Erhöhte Kalium- und Magnesiumkonzentrationen deuten darauf hin, daß diese Wässer stärker von Tonmineralen beeinflusst werden, als dies in der Gruppe 1b der Fall ist. Wie in der Arbeit von BERGMANN (2003) beschrieben wird, sind die Tonminerale Chlorit $((\text{Mg,Al})_6[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8])$, Kaolinit $([\text{Si}_2\text{O}_5][\text{Al}_2(\text{OH})_4])$, Illit $(\text{KAl}_2[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}])$ und Montmorillonit $(\text{Al}_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}])$ in den Tonsteinen enthalten. Strontium lagert sich aufgrund der großen spezifischen Oberfläche besonders an Tonpartikeln an. Während des Lösungsprozesses gelangt es in das Grundwasser. Die Grundwasserleiter, denen die Proben dieser Klasse zugeordnet sind, setzen sich aus einem Ton-/Sandstein zusammen.

Sowohl in den quartären Schichten als auch in den metamorphen und magmatischen Gesteinen im Osten des untersuchten Gebietes ist die Untergruppe 1a vertreten. Geringe Calcium-, Natrium- und Chloridkonzentrationen deuten darauf hin, daß es sich nicht um Proben aus karbonatischen und tonigen Schichten handelt. Nach KAYAN (1999) bestehen die quartären Ebenen hauptsächlich aus Sanden. In dem Gebiet hinter Taştepe und östlich

Akçapınar erstreckt sich ein höher gelegenes Bergland, das aus mesozoischen Metamorphiten (Serpentinite) aufgebaut ist. In diese intrudierte nach YALTIRAK (2002) im mittleren bis späten Miozän ein Basalt. Hohe Siliciumkonzentrationen besonders in diesen Berglandsregionen deuten auf einen Ursprung in diesen Gesteinen hin.

Die dritte Gruppe befindet sich südlich Gökçalı. Diese Klasse kann einem sandigen Aquifer der Alçitepe-Formation (YALTIRAK 2002) zugeordnet werden. Ein Vergleich mit den Meßstellen dieser Schicht, in denen nur die Vor-Ort-Parameter aufgenommen wurden, deutet darauf hin, daß es sich bei BAH um eine außergewöhnlich hohe Leitfähigkeit handelt. Die übrigen Meßstellen dieser Schicht weisen Leitfähigkeiten zwischen 2300 und 2600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Unmittelbar neben der Quelle BAH befindet sich der Brunnen BAI, dessen Leitfähigkeit bei 2580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegt. Alle diese Wässer deuten darauf hin, daß die Quelle BAH eher der zweiten Gruppe zuzuordnen ist. Möglicherweise sind diese hohen Leitfähigkeit und der Chloridgehalt anthropogen verursacht wurden. Aus geologischer und hydrogeologischer Sicht ist nicht klärbar, wie diese Quelle als Klasse zu bewerten ist.

6 Schlußfolgerung

Im Sommer 2002 wurde im Historischen Nationalpark Troia und Umgebung eine Kartierung der Wasservorkommen durchgeführt. An 155 Meßstellen wurden Leitfähigkeit, pH-Wert, Temperatur und TDS (total dissolved solids) aufgenommen und nach Möglichkeit zweimal bestimmt. An 44 Stellen wurden Proben entnommen und vor Ort Nitrat, Nitrit, Phosphat sowie Eisen(II) und Eisen(gesamt) ermittelt.

Die Leitfähigkeit schwankt stark zwischen 359 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 5556 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entsprechend weist die Gesamtmineralisation (TDS) eine Spannweite zwischen 234 und 4366 ppm. In den quartären Ebenen der Flüsse Karamenderes, Dümrek und Kemerdere, sowie in den Gebieten im Südosten des Untersuchungsgebietes in denen magmatische und metamorphe Gesteine anstehen, sind vor allen niedrig mineralisierte Wässer mit Leitfähigkeiten bis 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vertreten. Höhere Werte in den Wässern der neogenen Rücken können auf einen Eintrag aus Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zurückgeführt werden. Aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeiten über 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und Gesamtmineralisation fallen die Meßstellen BBP und BAH aus den übrigen Proben heraus. Da es sich bei BBP um einen unbenutzten Brunnen handelt an dem zuvor das Stagnationswasser nicht abgepumpt wurde, sind diese Werte nicht repräsentativ. Die hohe Leitfähigkeit der Maßstelle BAH wird durch hohe Konzentrationen an Chlorid, Calcium, Magnesium und Natrium verursacht.

Mit einer Spannweite zwischen 6,44 und 8,52 schwankt der pH-Wert in einem relativ engen Bereich. Wässer mit höheren pH-Werten sind unregelmäßig über das Gebiet verteilt. Einen guten Puffer zur Einstellung der Säure- und Basenkapazität stellt das im Wasser gelöste Hydrogenkarbonat dar. Da in Oberflächengewässern häufig pH-Werte über 7 auftreten, sind auch in den Flüssen Karamenderes und Dümrek pH-Werte über 8 gemessen wurden. An 6 Meßstellen erfolgte keine Bestimmung des Hydrogenkarbonats.

Das Redoxpotential wurde mit Werten zwischen 58 mV und 895 mV bestimmt. Mit Potentialen über 700 mV heben sich die Meßstellen in Kumkale, Kalafat sowie GHW und BBX deutlich ab. Bei der Meßstelle BBX handelt es sich um eine Tiefbohrung, die zur Trinkwassergewinnung genutzt wird und das Wasser auf die genannten Meßstellen verteilt. Die hohen Potentiale sind auf die Chlorung des Wassers zurückzuführen.

Zwischen 16,4 und 31,9 °C liegen die gemessenen Temperaturen. Im Allgemeinen weisen die Quellen niedrigere Temperaturen auf, was auf längere Fließwege in tieferen Schichten deutet. Durch intensive Sonneneinstrahlung und hohe Umgebungstemperaturen treten besonders in Oberflächengewässern und Wasserleitungen mit Zuleitungen wärmere Temperaturen auf.

An 78 Meßstellen wurde der Sauerstoffgehalt mit einer Konzentration zwischen 1 und 13,64 mg/L bestimmt. Durch Einflüsse hoher Temperaturen und niedriger Wasserführung im Sommer sind in den Flüssen geringe Sauerstoffgehalte (4 – 10 mg/L) zu verzeichnen. Aufgrund dieser Konzentrationen herrschen in allen Meßstellen oxische Bedingungen vor.

Da in allen Wässern oxidierende Bedingungen herrschen, sind in den Proben geringere Eisen(II)-Gehalte mit Konzentrationen zwischen 0 und 0,11 mg/L als Eisen(III), die im Bereich zwischen 0,02 und 1,19 mg/L schwanken. Die Gesamteisenkonzentrationen liegen zwischen 0 und 1,63 mg/L.

Calcium wurde zunächst mit dem Ionenchromatographen bestimmt. Da aber auf diese Weise nur 21 der 44 Proben analysiert werden konnten, erfolgte eine volumetrische Bestimmung der Calciumkonzentrationen. Ein Vergleich der beiden Methoden zeigt, daß zumindest eine der Methoden mit größeren Fehlern behaftet sein muß. Die Ergebnisse der Ionenchromatographie liegen in allen Proben über denen der Volumetrie. Die volumetrischen Ergebnisse streuen im Bereich zwischen 12 und 252 mg/L. Wasserproben, die den neogenen Rücken entstammen, weisen höhere Konzentrationen auf als die Proben des übrigen Untersuchungsgebietes. Diese Gehalte werden durch die Lösung von Calcium aus Kalksteinen in den Ton-/Kalksteinschichten der Rücken hervorgerufen.

Magnesium wurde wie das Calcium volumetrisch und mit dem Ionenchromatographen bestimmt. Die Konzentrationen der Volumetrie sind mit Werten zwischen 7,29 und 238,24 mg/L in 40 Proben geringer als in den ionenchromatographisch (14 – 316 mg/L) analysierten. Insgesamt stimmen die Ergebnisse der Ionenchromatographie gut mit denen der Volumetrie überein. Da Magnesium besonders in den Mineralen der Tone, der Basalte aber auch im Serpentin auftritt und durch Lösungsprozesse in das Grundwasser gelangen kann, sind höhere Magnesiumkonzentrationen besonders über die neogenen Rücken und in den Gebieten im Südosten des Untersuchungsgebietes verteilt.

Im gesamten Arbeitsgebiet sind geringe Kaliumkonzentrationen zwischen 0,7 und 8,0 mg/L vertreten. Vier der 44 Wasserproben weisen Gehalte unter der Nachweisgrenze

von 0,5 mg/L auf. Höhere Konzentrationen sind hauptsächlich über den Troia-Rücken verteilt.

Die Natriumkonzentrationen liegen zwischen 10 und 219 mg/L. Da Natrium durch natürliche Austauschprozesse an Tonmineralen in das Wasser gelangen kann, sind Wässer mit höheren Konzentrationen hauptsächlich über den neogenen Rücken verbreitet.

Ammonium sollte möglichst vor Ort bestimmt werden, um eine Umwandlung der Ionen im Verlauf der Nitrifikation in Nitrat zu verhindern. Da dies aber nicht geschehen ist, können geringe Konzentrationen bis 0,1 mg/L durch den Umwandlungsprozeß verursacht werden. Proben mit niedrigeren Ammoniumkonzentrationen verteilen sich besonders in den alluvialen Ebenen sowie auf dem Kumkale-Rücken. Höhere Gehalte der Wässer auf dem Troia-Rücken können aus der Landwirtschaft über die Düngung eingetragen werden oder an Tonminerale sorbiert, entsprechend des Adsorptionsgleichgewichtes in das Grundwasser abgegeben werden.

Über die im Gelände bestimmte Säure- und Basenkapazität wird die Hydrogenkarbonatkonzentration errechnet. In den Wasserproben liegen die Gehalte zwischen 181,0 und 1034,2 mg/L. In den quartären Ebenen sind hauptsächlich Wässer mit niedrigen Hydrogenkarbonatgehalten verteilt. Die Lösung von Calcium aus den lithologischen Schichten der neogenen Rücken bedingen höhere Hydrogenkarbonatkonzentrationen in den Proben dieser Gebiete.

Die Chloridgehalte der ionenchromatographisch analysierten Proben reichen von 28 bis 1028 mg/L. Zum Vergleich wurden die Wasserproben auch volumetrisch bestimmt. Mit Konzentrationen zwischen 18,17 und 1077,30 mg/L liegen diese Ergebnisse in 37 Proben unter denen der Ionenchromatographie. In den quartären Ebenen der Flüsse und metamorphen und magmatischen Gebieten im Südosten des Untersuchungsgebietes sind geringe Chloridgehalte in den Wässern zu finden. Auch die Wässern der obersten Sand- und Ton-/Kalksteinschicht beinhalten geringe Konzentrationen an Chlorid. Diese Schichten werden von einer Ton-/Kalksteinschicht unterlagert, die aufgrund des salzigen Geschmacks einer Tonschicht auf höhere Chloridgehalte schließen läßt und durch die Proben dieser Schicht bestätigt wird.

Fluorid ist mit Konzentrationen zwischen 0,06 und 0,98 mg/L nur in geringen Mengen enthalten. Drei der Proben liegen unterhalb der Nachweisgrenze von 0,05 mg/L.

Meßstellen mit höheren Fluoridkonzentrationen verteilen sich hauptsächlich auf den neogenen Rücken.

Sulfat ist in den Probenwässern mit Konzentrationen zwischen 8 und 387 mg/L enthalten. Durch die intensive Landwirtschaft, insbesondere durch die Düngung, werden in den Wässern auf dem Troia- und Kumkale-Rücken höhere Sulfatgehalte bestimmt.

Nitrat wurde im Gelände mit Gehalten zwischen 0,6 und 449,3 mg/L analysiert. Begründet durch Viehhaltung und Düngung treten besonders in der näheren Umgebung von Ortschaften hohe Nitratkonzentrationen auf. Obwohl Nitrat möglichst im Gelände bestimmt werden muß wurde es zum Vergleich auch mit dem Ionenchromatographen im Labor an der TU BA Freiberg analysiert. Die vor Ort ermittelten Konzentrationen liegen weitgehend über denen der Ionenchromatographie.

Phosphat ist in den untersuchten Wässern mit Konzentrationen zwischen 0,17 und 2,61 mg/L vertreten. Die unregelmäßige Verteilung der Wasser mit höheren Gehalten deuten auf einen Eintrag aus der Landwirtschaft oder auf Abwassereinleitungen in das Grundwasser hin.

In den untersuchten Probenwässern ist Silicium mit Gehalten zwischen 10,05 und 75,50 mg/L enthalten. Die höchsten Konzentrationen wurden in den Proben aus dem Basalten und Serpentiniten im Südosten des Untersuchungsgebietes bestimmt. Eine Verwitterung von silikatischen Mineralen in den Sand- und Tonsteinschichten bedingen hohe Siliciumkonzentrationen in den Wässern der neogenen Rücken.

Spurenelemente sind in den analysierten Wasserproben nur in geringen Mengen zu finden. Bis auf Cerium (0,01 – 0,10 µg/L) sind seltene Erden in keiner Probe enthalten. Strontium, Barium und Zink sind mit Konzentrationen bis 3,7 mg/L vertreten. Besonders Strontium weist die höchsten Konzentrationen auf den Troia- und Kumkale-Rücken auf. Erhöhte Arsengehalte treten hauptsächlich im Bereich der Quelhöhle KASKAL.KUR auf.

Mit Hilfe der Clusteranalyse kann auf eine Gruppenbildung untersucht werden. Diese wurde unter Einbeziehung der Parameter Leitfähigkeit, pH-Wert, Hydrogenkarbonat, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Calcium, Magnesium, Sulfat, Fluorid, Natrium, Chlorid, Silicium und Strontium mit dem Programm SPSS erstellt. Dabei ergab sich eine Dreiteilung der Gruppen. Die dritte Gruppe besteht nur aus der Probe BAH, während die zweite Klasse Proben enthält, die entlang der Küste der Dardanellen und auf dem Troia-Rücken

hauptsächlich östlich und südlich von Çıplak entnommen wurden. Die erste Gruppe kann in zwei Unterklassen (1a und 1b) unterteilt werden.

Untergruppe 1a wird von Probenwässern aus den magmatischen und metamorphen Berglandsregionen im Südosten des Untersuchungsgebietes sowie von Wässern aus den quartären Ebenen der Flüsse Karamenderes, Dümrek und Kemerdere gebildet. Diese Klasse grenzt sich von den übrigen ganz klar ab. So sind diese Wässer mit Leitfähigkeiten bis 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ niedrig mineralisiert und weisen somit auch geringe Chlorid- (25,0 - 70,0 mg/L), Sulfat- (5,0 - 38,0 mg/L), Calcium- (12,0 - 70,0 mg/L), Natrium- (9,0 - 33,0 mg/L) und Strontiumgehalte (13,0 - 365,0 $\mu\text{g}/\text{L}$) auf. Diese chemische Zusammensetzung weist darauf hin, daß es sich nicht um Proben aus karbonatigen Schichten handelt. Die quartären Ebenen setzen sich hauptsächlich aus Kiesen, Sanden und Schluffen, aber auch Tonen zusammen (KAYAN 1999). Hohe Siliciumkonzentrationen deuten auch auf einen Ursprung der Wässer in den Basalten und Serpentinitten im Südosten des Untersuchungsgebietes.

Klasse 1b kann von der zweiten Gruppe nicht so klar abgegrenzt werden. Dies wird zum einen zum einen aus dem PIPER-Diagramm ersichtlich, zu anderen sind beide Gruppen auf den neogenen Troia- und Kumkale-Rücken verteilt. Leitfähigkeiten bis 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sowie Chloridgehalte zwischen 81 und 233 mg/L, Natrium- (38 - 73 mg/L) und Strontiumkonzentrationen (400 - 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) zeichnen die Wässer dieser Gruppe aus. Die Proben stammen aus den oberen Grundwasserleitern der Conkbayırı-Formation (YALTIRAK 2002).

Die Probenwässer der zweiten Gruppe werden durch Leitfähigkeiten bis 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und höhere Chlorid- (260 - 500 mg/L), Natrium- (85 - 170 mg/L), Magnesium- (100 - 170 mg/L), Silicium- (20 - 25 mg/L) sowie Strontiumkonzentrationen (1400 - 3700 $\mu\text{g}/\text{L}$) charakterisiert. Diese Wässer stammen aus den darunterliegenden Aquiferen und können der Alçıtepe- und den tieferen Schichten der Conkbayırı-Formation (YALTIRAK 2002) zugeordnet werden. Erhöhte Kalium- und Magnesiumgehalte weisen auf einen stärkeren Einfluß der Tonminerale als dies bei der Gruppe 1b der Fall ist. Über Verwitterungs- und Lösungsprozesse können diese Minerale gelöst werden und in das Grundwasser gelangen. In den Ton-/Kalksteinschicht, denen diese Gruppe angehört ist eine Tonschicht mit salzigen Geschmack eingelagert. Sowohl Chlorid als auch Natrium deuten auf einen Ursprung in diesen Schichten hin.

Die dritte Klasse befindet sich südlich von Gökçalı, kann einem sandigen Aquifer der Alçitepe-Formation (YALTIRAK 2002) zugeordnet werden und wird durch eine extreme Leitfähigkeit ($> 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$), Chloridgehalt (1027,6 mg/L), Natrium- (219,1 mg/L), Calcium- (204,4 mg/L), und Magnesiumkonzentration (238,2 mg/L) gekennzeichnet. Wird die Leitfähigkeit bei der Clusteranalyse außer acht gelassen, kann die Meßstelle BAH der zweiten Gruppe zugeordnet werden. Ein Vergleich der Vor-Ort-Parameter der übrigen Meßstellen dieser Schicht zeigt, daß es sich bei BAH um eine außergewöhnlich hohe Leitfähigkeit handelt und sich die übrigen Meßstellen in der zweiten Gruppe ansiedeln würden. Aus geologischer und hydrogeologischer Sicht kann keine Ursache für diese Gruppenzuteilung für den Probenahmepunkt BAH angegeben werden.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

ACED, G./ MÖCKEL, H.J. (1991): Liquidchromatographie – Apparative, theoretische und methodische Grundlagen der HPLC. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim

ALBRECHT, I./LÖFFLER, H./ZIERATH, R. (1979): Hydrogeologie – Hydrochemie. VEB Hydrogeologie, Nordhausen (Hrsg.); VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1. Auflage

ANONYM (a): www.maschreq.de/content/laenderlexikon/tuerkei/karte.shtml. letzter Zugriff: 16.07.2003

ANONYM (b): Handbuch DR 2000 Spektralphotometer. Hach Company

ANONYM (c) (1990): Erklärung Chemischer Verfahren. Hach Technical Center für angewandte Analytische Chemie, Hach Company; Übersetzung 9/91

ANONYM (d): www.science.uottawa.ca/~eih/ch9/9geoth.html. letzter Zugriff: 24.07.2003

BERGMANN, K. (2003): Geologische Verhältnisse der Neogenen Sedimente zwischen Troia und Gökçalı/Türkei

BERGMANN, K./LIPPMANN, P. (2003): Geologische Kartierung des Troia-Rückens im Maßstab 1:10000. unveröffentlichte Diplomkartierung, TU Bergakademie Freiberg

BRANDAU, B. (1997): Troia – Eine Stadt und ihr Mythos – Die neuesten Entdeckungen. Gustav Lübbe Verlag GmbH

COOK, J. M. (1999): The Troad: An Archaeological and Topographical study. Oxford University Press 1973 (Special edition for Sandpiper Becks Ltd.)

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hrsg.) (1990): Methodensammlung zur Auswertung und Darstellung von Grundwasserbeschaffenheitsdaten. DVWK-Schriften 89.Kommisionsvertrieb Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

DOERFFEL, K.(1984): Statistik in der analytischen Chemie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 3. Auflage

ELMAS, A.E./ YIĞITBAŞ, E. (2001): Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in northwestern Anatolia, Turkey. International Journal of Earth Sciences, vol.90, no.2, pp.257-269

FRITZ, J.S./ SCHENK, G.H. (1989): Quantitative Analytische Chemie - Grundlagen-Methoden-Experimente. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden

FUNK, W./ DAMMANN, V./ VONDERHEID, C./ OEHLMANN, G. (Hrsg.) (1985): Statistische Methoden in der Wasseranalytik - Begriffe, Strategien, Anwendungen. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim

GÖBEL, J./SATIR, M./KADEREIT, A./WAGNER, G. A./KAYAN, I. (2003): Stratigraphy, Geochemistry and Geochronometry of Sedimentary Archives Around Hisarlık Hill – a Pilot Study. In: Wagner, G.A./ Pernicka, E./Uerpmann, H.-P. (Hrsg.): Troia and the Troad. Springer

HARTUNG, J.(2002): Statistik- Lehr – und Handbuch der angewandten Statistik;R. Oldenbourg Verlag München, Wien, 13.Auflage

HARTUNG, J./ ELPELT, B. (1992): Multivariate Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R.Oldenbourg Verlag GmbH, München, 4. Auflage

HEINRICHS, H./ HERRMANN, A.G. (1990): Praktikum der Analytischen Geochemie. Springer-Verlag

HOARE, R. (2002): <http://www.worldclimate.com/cgi-bin/grid.pl?gr=N40E026>;
Copyright 1996 – 2002 Buttle and Tuttle Ltd

HÖHFELD, V. (2001): Die Landschaft Homers heute, Naturraum und Landschaftsressourcen in einer Abwanderungsregion. in: Troia – Traum und Wirklichkeit. (Hrsg: Archäologisches Landesamt Baden-Württemberg et al.) Begleitband zur Ausstellung „Troia – Traum und Wirklichkeit“; Konrad Theiss Verlag GmbH Stuttgart, S. 300ff

HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie. Enke Verlag

HÖTZEL, H./ WITTHÜSER, K. (1999): Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit. In: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK): DVWK-Schriften 125, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

HOMER: Ilias. – in der Übersetzung von Schadewaldt, W. (1975); Insel Verlag

KAYAN, İ. (1996): Holocene Stratigraphy of the Lower Karamenderes-Dümrek Plain and archaeological Material in the alluvial Sediments to the North of the Troia-Ridge. In: Studia Troica 6, p. 239-249; Verlag von Zabern, Mainz

KAYAN, İ. (1997): Geomorphological Evolution of the Çıplak Valley and archaeological Material in the Alluvial Sediments to the South of the Lower City of Troia. In: Studia Troica 7, p. 489-507; Verlag von Zabern, Mainz

KAYAN, İ. (1999): Holocene stratigraphy and geomorphological evolution of the Aegean coastal plain of Anatolia. *Quaternary Science Reviews*, 18: 541 – 548; Amsterdam

KAYAN, İ. (2000): The Water Supply of Troia. In: Studia Troica 10, p. 135-144; Verlag von Zabern, Mainz

KNACKE-LOY, O. (1994): Isotopengeochemische, chemische und petrographische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung der bronzezeitlichen Keramik von Troia. Heidelberg Geowissenschaftliche Abhandlungen Band 77, Universität Heidelberg

KÖLLE, W. (2001): Wasseranalysen – richtig beurteilt. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim

KORFMANN, M. (1999): Troia-Ausgrabungen 1998, Unterstadt, Quelhöhle und Umgebung. In: Studia Troica 9, Verlag von Zabern, Mainz

LIPPMANN, P. (2003): Geowissenschaftlich-Montanistische Untersuchungen an der Quelhöhle („KASKAL.KUR“) Troias. unveröffentlichte Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg

MATTHEß, G./UBELL, K. (1983): Lehrbuch der Hydrogeologie Band 1: Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt. Borntraeger

MERKEL, B.J., PLANER-FRIEDRICH, B.(2002):Grundwasserchemie - Praxisorientierter Leitfaden zur numerischen Modellierung von Beschaffenheit, Kontamination und Sanierung aquatischer Systeme. Springer Verlag, Berlin Heidelberg

MOTYKA, R.J./ MOORMANN, M.A., READER, J.W.: Assessment of thermal springs in sites in southern, southeastern Alaska – Preliminary Results and Evaluation. Alaska Open-File Report 127, <http://dggs.dnr.state.ak.us/scan1>

MÜTZENBERG, S.R. (1991): Westliche Biga-Halbinsel (Çanakkale, Türkei): Beziehung zwischen Geologie, Tektonik und Entwicklung der Thermalquellen. Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der ETH und der Universität Zürich, Neue Folge Nr.287

OKAY, A. I./SIYAKO, M/BÜRKAN/K. A. (1991): Geology and Tectonic Evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey. Bull. Tech. Univ. Istanbul, Vol.44, pp. 191 – 256

OTTO, M. (2000): Analytische Chemie. Wiley-VCH Verlag GmbH

PEIFFER, S./PECHER, K. (1997): Experimentelle aquatische Chemie. Spektrum Akademischer Verlag

SCHENK, V. (1994): Bewertung und Auswertung hydrochemischer Grundwasser-Untersuchungen – Bedeutung von natürlichen Unterschieden und Fehlern für die Beurteilung von Beschaffenheitsdaten. In: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK): DVWK-Materialien 1/1994

SCHWEDT, G. (1995): Mobile Umweltanalytik. Vogel Buchverlag, Würzburg, 1. Auflage

SCHWEDT, G./SCHNEPEL, F.-M. (1981): Analytisch-chemisches Umweltpraktikum. Thieme Verlag

ŞENER, S./DEMIRER, T./KALELI, S. (2003): A Research on Irrigation Water Quality of Çanakkale, Ezine and Lapseki Provinces. - 1 S., 2 Tab. (http://www.toprak.org.tr/isd/can_01.htm (23.5.2003)).

SENGÖR, C./YILMAZ, Y. (1981): Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics 75, p. 181 – 241, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

VERMA, M.P. (2000): Revised Quartz solubility temperature dependence equation along the water-vapor saturation curve. Proceedings World Geothermal Congress 2000; Kyushu-Tohoku

VOSS, W. (1997): Praktische Statistik mit SPSS. Carl Hanser Verlag; München

WORCH, E. (1997): Wasser und Wasserinhaltsstoffe. In: Bahadir, M./Collins, H.-J./Hock, B. (Hrsg.): Teubner-Reihe Umwelt. Teubner Verlagsgesellschaft

YALTIRAK, C./ALPAR, B./SAKINÇ, M./YÜCE,H.: (2000): Origin of the Strait of Çanakkale (Dardanellen): Regional Tectonics an the Mediterranean-Marmara Incursion. *Marine Geology* 164, p. 139-156; Elsevier

YALTIRAK, C./ALPAR, B. (2002): Kinematics and evolution of the northern branch of the North Anatolian Fault (Ganos Fault) between the Sea of Marmara and the Gulf of Saros. *Marine Geology* 190, p. 351-166; Elsevier

YILMAZ, Y. (1997): Geology of Western Anatolia. In: Schindler, C./Pfister, M. (Hrsg): Active Tectonics of Northwestern Anatolia – The Marmara Poly-Project. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich

YÜZER, E. (1997): Hydrogeology of Northwestern Anatolia. In: Schindler, C./Pfister, M. (Hrsg): Active Tectonics of Northwestern Anatolia – The Marmara Poly-Project. vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage von Troia in der Türkei	7
Abb. 2: Geologie und Morphologie des Historischen Nationalpark Troia	12
Abb. 3: Geologie der Biga-Halbinsel	16
Abb. 4: Verteilung der Komponenten des anorganischen Kohlenstoffs	24
Abb. 5: Aufbau einer Meßzelle für die Fluoridbestimmung	28
Abb. 6: Aufbau einer HPLC- Anlage mit einer Vorsäule	33
Abb. 7: Prinzip des Ionenaustausches	33
Abb. 8: Chromatogramm der Ionentrennung	34
Abb. 9: Plasmabrenner mit ICP-Anregung	36
Abb. 10: Quadrupol-Massenfilter	37
Abb. 11: Darstellung von Histogrammen	41
Abb. 12: Aufbau eines Boxplots	44
Abb. 13: Beispiel eines PIPER-Diagramms	44
Abb. 14: Löslichkeit von Quarz, Chalzedon und amorphem SiO ₂ [mg/kg]	46
Abb. 15: Boxplots der Elemente K, Ca, Na, Mg	50
Abb. 16: Boxplot der Elemente HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ , NO ₃ , SiO ₂	55
Abb. 17: Boxplot der Elemente Strontium und Barium	61
Abb. 18: Boxplot der Elemente Lithium und Zink	62
Abb. 19: Boxplot der Elemente Arsen, Rubidium, Uran, Kupfer und Nickel	62
Abb. 20: Vergleich der mittels Ionenchromatographie und Volumetrie bestimmten Chloridkonzentrationen	64
Abb. 21: Vergleich der mittels Ionenchromatographen und Photometer bestimmten Nitratkonzentrationen	65
Abb. 22: Vergleich der volumetrisch und ionenchromatographisch bestimmten Calcium- und Magnesiumkonzentrationen	66
Abb. 23: Verteilung des Fehlers der Ionenbilanz	67
Abb. 24: Vergleich der gemessenen und errechneten Leitfähigkeit	68
Abb. 25: Geothermometer nach FOURNIER (1973) und VERMA (2000)	69
Abb. 26: Histogramm der Leitfähigkeit	71
Abb. 27: Dendrogramm der Clusteranalyse	72
Abb. 28: PIPER-Diagramm	74
Abb. 29: Profilschnitte durch den Troia-Rücken (stark überhöht)	75

7.3 Gleichungsverzeichnis

(1) spezifische Leitfähigkeit	19
(2) pH-Wert	20
(3) Elektrodenpotential	21
(4) Redoxpotential (korrigiert)	21
(5) Redoxvorgang an der Kathode	22
(6) Redoxvorgang an der Anode	22
(7) Reaktionsgleichung Kohlensäure	23
(8) Dissoziation der Kohlensäure 1. Stufe	23
(9) Dissoziation der Kohlensäure 2. Stufe	23
(10) anorganische Kohlenstoff	23
(11) Reaktionsgleichung Hydrogenkarbonat	23
(12) Reaktionsgleichung Karbonat	23
(13) Hydrogenkarbonatkonzentration in mg/L	24
(14) Reaktionsgleichung der Ammoniumbestimmung	27
(15) Reaktionsgleichung der Fluoridbestimmung	28
(16) elektrochemische Potentialdifferenz	28
(17) Calcium-Magnesium-Konzentration in mmol/ml	30
(18) Magnesiumkonzentration in mmol/ml	30
(19) Magnesiumkonzentration in mg/ml	30
(20) Calciumkonzentration in mmol/l	30
(21) Calciumkonzentration in mg/l	30
(22) Reaktionsgleichung Silberchlorid	31
(23) Reaktionsgleichung Silberchromat	31
(24) Faktorbestimmung der Silbernitratlösung	31
(25) Chloridkonzentration in mg/l	32
(26) arithmetische Mittelwert	39
(27) Bestimmung des Korrelationskoeffizienten	39
(28) <i>t</i> -Test	40
(29) Nullhypothese des <i>t</i> -Tests	40
(30) Gegenhypothese <i>t</i> -Tests	40
(31) Ionenbilanz	42
(32) Fehlerberechnung	42

(33) Elektrische Leitfähigkeit	43
(34) Amorphes Silicium	45
(35) Beta-Cristobalit	45
(36) Alpha-Cristobalit	46
(37) Chalcedon	46
(38) Quarz	46
(39) Quarz (SL)	46
(40) Geothermometer nach VERMA	47

7.4 Anlagenverzeichnis

Kurzbezeichnung	Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert
BA1	Wasserfassung, Taştepe	440325	4417825
BAA	Bohrbrunnen, Feld NE Tevfikiye	436881	4423770
BAB	Bohrbrunnen im Dümrek	436076	4423963
BAC	Wasserfassung, oberhalb Paşa Tepe	441069	4417200
BAD	Schachtbrunnen, trocken, oberhalb Paşa Tepe, gegenüberliegende Straßenseite	441164	4417247
BAE	Wasserfassung, N Straße nach Tevfikiye, Abzweig Çıplak	438000	4422815
BAF	Schachtbrunnen, S Straße nach Tevfikiye, Abzweig Çıplak	437940	4422741
BAG	Wasserfassung, Friedhof Gökçalı	439797	4422966
BAH	Quelle, südlich Gökçalı, E Straße nach Çanakkale	439908	4421441
BAI	Quelle, südlich Gökçalı, E Straße nach Çanakkale, NE BAH	440016	4421515
BAK	Schachtbrunnen, südlich Gökçalı, E Straße nach Çanakkale, NE BAH	440062	4421713
BAL	Schachtbrunnen, südlich Ortsausgang Gökçalı, nahe Brücke	440263	4422142
BAM	Bohrbrunnen, östlich Halileli	437668	4425562
BAN	Quelle, östlich Ortsausgang Civler	443877	4421257
BAO	Quelle, SE von Civler	443722	4420949
BAP	Quelle, SW von BAO, bei Civler	443662	4420944
BAQ	Wasserhahn, Teehaus in Civler	443662	4420945
BAR	Schachtbrunnen, nördlich von Civler	443447	4421466
BAS	Schurf, nördlich Straße nach Civler	442782	4421278
BAT	Quelle, nördlich der Straße nach Civler	442666	4421187
BAU	Quelle, westlich der Straße nach Akçapınar	442224	4420779
BAV	Schachtbrunnen, westlich der Straße nach Akçapınar, ca. 50 m oberhalb BAU	442147	4420788
BAW	Schachtbrunnen, trocken, Akçapınar		
BAX	Bohrbrunnen bei Cam Tepe	440860	4420084
BAY	Quelle, südlich Büyüктаş Tepe	442227	4417713
BAZ	Quelle, südlich Büyüктаş Tepe, unterhalb BAY	441871	4417800
BBA	Schachtbrunnen, Feld SE/E Gökçalı	441882	4422744
BBB	Bohrbrunnen, an Straße nach Dümrek	440878	4424671
BBC	Quelle, an Straße nach Dümrek, nahe Kiesgrube	441163	4424763
BBD	Bohrbrunnen im Dümrek, westlich Dümrek	441140	4424702
BBE	Quelle, südlich Straße nach Dümrek	442104	4424694
BBF	Quelle, westlich Straße nach Yenimahalle	440560	4426552
BBG	Quelle, westlich von Yenimahalle, an einzelmem Haus	440832	4427328
BBH	Bohrbrunnen im Dümrek, SW Halileli	437575	4424650
BBI	Bohrbrunnen im Dümrek, östlich Halileli	438494	4424805
BBK	Schachtbrunnen 1 in Kalafat	434652	4422208
BBL	Trinkwasser aus Wasserhahn Kalafat	434652	4422208
BBM	Schachtbrunnen, östlich Ortsausgang Kalafat	434412	4422151
BBN	Schachtbrunnen 2 in Kalafat, westlich Ortsausgang	434322	4422151
BBO	Schachtbrunnen, westlich Ortsrand, gegenüber BBN	434302	4422215
BBP	Schachtbrunnen, westlich Kalafat	433370	4421876
BBQ	Bohrbrunnen, westlich Kalafat	433482	4421942
BBR	Schurf zwischen Karamenderes und Deich	434177	4420795
BBS	Quelle, Steilküste, südlich Höhle Sigeon	429302	4424800
BBT	Quelle am Friedhof, nördlich Halileli	438538	4427117
BBU	Schachtbrunnen, NW Halileli	437343	4426703
BBV	Quelle an Steilküste, nördlich Halileli	437962	4428048
BBW	Quelle an Küstenstraße, NE Halileli	439746	4428613
BBX	TW-Bohrbrunnen, SE Halileli	439464	4424642
BBY	Schachtbrunnen, Feld NE Kumkale	436359	4426835
BBZ	Schachtbrunnen, Feld nördlich Kumkale	435665	4427025
BC1	Schachtbrunnen, südlich Çıplak	437419	4421289
BCA	Filter, östlich Mündung Dümrek	435419	4427568
BCB	Bohrbrunnen, SW Kumkale, östlich Dümrek	434336	4425944
BCC	Schachtbrunnen, östlicher Ortsrand Gökçalı	440155	4423075
BCD	Schachtbrunnen, Tankstelle in Gökçalı	440106	4423256
BCE	Trinkwasserdepot, östlich Gökçalı	440579	4423413
BCF	Wasserfassung an alter Hauptstraße in Gökçalı	440123	4422999

Kurzbezeichnung	Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert
BCG	Wasserfassung, neben Teehaus in Gökçalı	440135	4422808
BCH	Schachtbrunnen, SE Ortsrand Gökçalı	440411	4422357
BCI	Schachtbrunnen, östlich Hauptstraße nach Çanakkale, S Gökçalı	440098	4420826
BCK	Schachtbrunnen, östlich Hauptstraße nach Çanakkale, nahe kleinem Haus	440166	4420051
BCL	Quelle, am Hang, nördlich Tigem, westlich Hauptstraße	439598	4420145
BCM	Schurf, NE BCL, westlich Hauptstraße	439888	4420478
BCN	Schachtbrunnen, Wegrund W Hauptstraße, SE Çıplak	439416	4420575
BCO	Schachtbrunnen, SE Çıplak, westlich BCN	438789	4420847
BCP	Schurf, SE Çıplak, ca. 150 m nördlich BCO	438839	4420898
BCQ	Schurf, SE Çıplak, ca. 50 m nördlich BCP	438839	4420898
BCR	Schachtbrunnen, westlich Straße nach Çanakkale	439325	4421177
BCS	Quelle Nordrand Akçeşme	442531	4419557
BCT	Quelle im Bachtal des Kemerdere, NE Akçeşme	442710	4420346
BCU	Quelle, südlich Akçeşme	442616	4419050
BCV	Schachtbrunnen, südlich Akçeşme, auf Berg Harmantarla	443474	4418328
BCW	Schachtbrunnen, südlich Akçeşme, auf Berg Harmantarla, westlich BCV	443029	4417899
BCX	Quelle, östlich Straße nach Çanakkale; Höhe Tigem	441197	4418995
BCY	Quelle, östlich Hauptstraße; gegenüber Tigem	440693	4419154
BCZ	Quelle, südlich Taştepe, am Abzweig nach Derbentbaşı	442198	4415543
BDA	Wasserfassung, südlich Taştepe, nördlich BCZ	441563	4416290
BDB	Wasserfassung, südlich Taştepe, nördlich BDA	441458	4416445
BDC	Wasserfassung, 60 m westlich Straße; nördlich BDB	441347	4416529
BDD	Wasserfassung, südlich Abzweig Taştepe	441069	4417207
BDE	Wasserfassung, südlich Abzweig Taştepe, neben BDD	441088	4417214
BDF	Schachtbrunnen mit Handpumpe, Westrand Taştepe, auf Feld	440177	4417764
BDG	Wasserfassung, Dümrek Teehaus	443505	4425235
BDH	Wasserfassung vor Haus 81, Dümrek	443593	4425274
BDI	Pumpenhaus in Dümrek	443735	4425317
BDK	Wasserleitung, Haus in Dümrek	443863	4425125
BDL	TiefBohrbrunnen, östlich Straße nach Çanakkale, Abzweig Dümrek	440650	4424631
BDM	Schachtbrunnen, nördlich Straße nach Tefikiye	439147	4423239
BDN	Schurf, nördlich Straße nach Tefikiye	439122	4423210
BDO	Quelle, nördlich Straße nach Tefikiye	438916	4423230
BDP	Schurf, 100 m westlich BDO	438859	4423236
BDQ	Wasserfassung, Ortseingang Çıplak	437381	4422560
BDR	Schachtbrunnen, Çıplak Haus 154	437048	4422598
BDS	Wasserfassung in Çıplak, auf Dorfplatz	437048	4422598
BDT	Schachtbrunnen, Çıplak SW Ortsrand	436776	4422788
BDU	Schachtbrunnen, Çıplak SW Ortsrand	436746	4422718
BDV	Schachtbrunnen in Çıplak	436800	4423175
BDW	Quelle, östlich Dümrek	446461	4424848
BDX	Quelle, östlich Dümrek	446099	4424196
BDY	Quelle, östlich Dümrek	445925	4424355
BDZ	Bohrbrunnen, südlich Çıplak	437330	4422059
BEA	Schachtbrunnen, SW Çıplak	435913	4421821
BEB	BohrSchachtbrunnen, SW Çıplak	435971	4422388
BEC	Schachtbrunnen, südlich Çıplak	436856	4421441
BED	Bohrbrunnen für Trinkwasserversorgung in Bozcaada	438731	4417624
BEE	Quelle, Küstenstraße; NE Halileli	439878	4429059
BEF	Schachtbrunnen, SW-Rand Kalafat	434374	4421941
BK1	Wasserfassung 1, Kumkale	435127	4425930
BK2	Wasserfassung 2, Kumkale	435262	4425843
BK3	Wasserfassung 3, Kumkale		
BK4	Wasserfassung 4, Kumkale	435215	4425904
BK5	Wasserfassung 5, Kumkale	434443	4425917
BK6	Wasserfassung 6, Kumkale	434534	4425649
BK7	Wasserfassung 7, Kumkale	435005	4425620
BK8	Wasserfassung 8, Kumkale	435733	4425721

Kurzbezeichnung	Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert
BOC	Bohrbrunnen, südlich Çıplak		
BP1	Schachtbrunnen, Pınarbaşı	437707	4415654
BSC	Schachtbrunnen, südlich Çıplak	436732	4422289
BT2	Quelle Tefikiye	436419	4423597
BT3	Quelle Tefikiye	436529	4423676
BT4	Schachtbrunnen, Troia Unterstadt	435045	4423181
DAA	Schachtbrunnen, östlich Ortsausgang Kalafat, direkt neben BBM, trocken	434412	4422151
DAB	Schachtbrunnen, trocken Kalafat	434120	4422241
DAC	Schachtbrunnen, trocken, östlich Ortsrand Halileli	438584	4425127
DAF	Bohrbrunnen, trocken, Feld östlich Gökçalı	440282	4423515
FAA	Bach, südlich Aquädukt	445622	4420430
FAB	Quelle, südlich Aquädukt	445900	4419665
FAC	Bach, östlich Aquädukt	446369	4420259
FAD	Wasserlauf Dümrek	443355	4425075
FAE	Kanal, westlich Kalafat	433834	4422246
FAF	Karamenderes, Tracerstelle	432822	4422151
FAG	Kanal, SW Kalafat	434066	4421152
FAH	Wasserhochleitung	434178	4420800
FAI	Kanal, vor Zusammenfluss mit FAH	434336	4420588
FAK	Karamenderes, Brücke	434339	4420487
FAL	Dümrek, nördlich Tefikiye	433977	4424881
FAM	Kemerdere, neben BCT	442710	4420346
FAN	Kanal, südlich Tigem	438999	4417682
FAO	Überlauf Staudamm Karamenderes	439420	4415873
FKK	Fluß, Aquädukt Kemir Köy	445633	4420422
GHW	Wasserhahn Küche GH	435079	4423319
HS1	Höhle 2, bei Sigeon "Subaşı Tepe" Entrance		
HS2	Höhle 2, bei Sigeon "Subaşı Tepe" Middle		
HS3	Höhle 2, bei Sigeon "Subaşı Tepe" Shaft 1	429415	4425100
HS4	Höhle 1, bei Sigeon "Subaşı Tepe"		
PAA	Bohrbrunnen, Ortsausgang Pınarbaşı 2. Messung	438393	4416118
PAB	Bohrbrunnen, südwestlich Halileli	437668	4425568
QCF	Quelltopf Düden (Tigem)	438632	4418967
QEE	Quelle, östlich Tefikiye	436138	4423728
QEG	Quelle, nördlich Gökçalı	439976	4423706
QET	Quelle, östlich Tefikiye	435878	4423703
QHE	Höhle KASKAL.KUR, hinter Eingang		
QKP	Quellen Kirkgöz; Pınarbaşı	436576	4415386
QNT	Quelle, nördlich Tefikiye	435632	4423541
QPT	Quelle, östlich Paşa Tepe	436396	4421298
QRW	Quelle B, Becken, römische Wasserleitung	447244	4419922
QS2	Höhle KASKAL.KUR Schacht 2	434800	4423111
QS3	Höhle KASKAL.KUR Schacht 3	434801	4423103
QS4	Höhle KASKAL.KUR Schacht 4	434871	4423090
QWT	Quelle, Riss Tefikiye	436797	4423769



TRO-2608-BAA



TRO-1308-BAH



TRO-2308-BAL



TRO-1408-BAT



TRO-1408-BAU



TRO-2108-BAZ



TRO-2308-BBC



TRO-1608-BBF



TRO-1608-BBT



TRO-1608-BBV



TRO-2108-BCT



TRO-1408-BCZ



TRO-1308-BCL



TRO-1308-BCX



TRO-1208-BDY



TRO-1508-BDZ



TRO-1508-BEA



TRO-1508-BEB



TRO-1908-FAF



TRO-2607-QEG

Datum	Kurzbezeichnung	Wasserprobe	Lf [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH	E_H [mV]	T [$^{\circ}\text{C}$]	TDS [ppm]	O ₂ [%]	O ₂ [mg/l]	Schüttung [L/min]
26.07.02	BAI		838	7,19	365	25,1	564	n.b.	n.b.	n.b.
25.07.02	BAA		1218	7,21	155	24,1	835	n.b.	n.b.	n.b.
26.08.02	BAA	TRO-2608-BAA	1265	7,28	254	17,3	880	n.b.	n.b.	n.b.
25.07.02	BAB	TRO-2507-BAB	1227	7,17	58	18,4	852	6	1	n.b.
26.07.02	BAC		1229	7,35	316	30,8	832	n.b.	n.b.	n.b.
09.08.02	BAE		2019	7,07	295	20,0	1436	n.b.	n.b.	n.b.
15.08.02	BAF	TRO-1508-BAF	2080	6,65	292	19,0	1485	38	4	4,2
09.08.02	BAF		2091	6,94	293	19,9	1498	36	3	6,0
26.07.02	BAG		1030	7,24	349	28,2	697	n.b.	n.b.	n.b.
27.07.02	BAH		4101	6,53	402	21,7	3113	38	3	1,8
13.08.02	BAH	TRO-1308-BAH	4220	6,85	274	23,6	3209	48	4	1,6
27.07.02	BAI		2580	7,10	354	21,9	1871	59	5	0,9
23.08.02	BAL	TRO-2308-BAL	2796	6,98	293	19,1	2049	n.b.	n.b.	n.b.
29.07.02	BAN		2527	7,20	357	25,2	1819	n.b.	n.b.	0,1
14.08.02	BAO	TRO-1408-BAO	1399	6,75	290	18,8	970	44	4	13,5
29.07.02	BAO		1400	6,77	341	19,0	973	45	4	14,2
29.07.02	BAP		1561	6,67	343	20,3	1089	51	5	18,8
29.07.02	BAQ		787	6,84	354	25,2	528	n.b.	n.b.	n.b.
14.08.02	BAT	TRO-1408-BAT	1464	6,46	288	21,3	1014	57	5	5,4
29.07.02	BAT		1471	6,68	340	20,8	1022	n.b.	n.b.	9,4
14.08.02	BAU	TRO-1408-BAU	1760	7,29	283	25,8	1222	90	7	1,3
29.07.02	BAU		1762	7,20	322	25,5	1226	n.b.	n.b.	1,4
14.08.02	BAV		1948	7,26	251	21,3	1377	n.b.	n.b.	n.b.
30.07.02	BAY		1462	8,10	327	27,2	1003	93	7	0,1
21.08.02	BAZ	TRO-2108-BAZ	1370	8,21	253	23,5	940	n.b.	n.b.	0,2
30.07.02	BAZ		1388	8,00	316	24,9	955	66	5	0,2
30.07.02	BBA		3007	7,24	334	18,6	2236	n.b.	n.b.	n.b.
30.07.02	BBC		916	7,01	326	27,9	617	70	6	0,7
23.08.02	BBC	TRO-2308-BBC	932	7,17	278	26,9	635	73	6	0,7
30.07.02	BBE		916	7,00	316	25,7	619	71	6	8,3
30.07.02	BBF		1607	6,97	326	17,9	1134	66	6	6,7
30.07.02	BBF		1760	6,92	329	17,9	1253	83	8	22,0
16.08.02	BBF	TRO-1608-BBF	1785	7,03	306	18,2	1262	81	8	21,3

Datum	Kurzbezeichnung	Wasserprobe	Lf [$\mu\text{S/cm}$]	pH	E _H [mV]	T [°C]	TDS [ppm]	O ₂ [%]	O ₂ [mg/l]	Schüttung [L/min]
30.07.02	BBG		1781	6,95	335	26,0	1241	86	7	0,4
30.07.02	BBH		1192	7,30	242	18,0	826	n.b.	n.b.	n.b.
30.07.02	BBI		1302	7,03	323	17,5	753	n.b.	n.b.	n.b.
01.08.02	BBK		2267	6,76	346	18,4	1630	n.b.	n.b.	n.b.
01.08.02	BBL		1003	7,25	711	26,2	678	n.b.	n.b.	n.b.
01.08.02	BBN		2217	7,16	346	17,6	1592	n.b.	n.b.	n.b.
26.08.02	BBP		5556	6,96	155	19,3	4366	n.b.	n.b.	n.b.
01.08.02	BBR		439	8,04	323	28,1	289	n.b.	n.b.	n.b.
02.08.02	BBS		1189	7,06	339	18,4	822	34	3	5,6
05.08.02	BBT		1465	7,04	298	19,9	1019	87	8	7,1
16.08.02	BBT	TRO-1608-BBT	1466	7,30	291	20,6	1017	89	8	6,7
05.08.02	BBU		1337	7,54	287	21,5	922	n.b.	n.b.	n.b.
16.08.02	BBV	TRO-1608-BBV	2611	7,28	293	19,2	1902	86	8	3,0
05.08.02	BBV		2622	7,20	314	19,0	1917	82	8	2,8
16.08.02	BBW	TRO-1608-BBW	2327	6,81	298	18,3	1680	20	2	1,3
05.08.02	BBW		2356	6,91	302	18,5	1708	18	2	1,3
05.08.02	BBX	TRO-0508-BBX	992	7,10	895	16,8	687	n.b.	n.b.	1200,0
16.08.02	BBY		1814	7,69	297	22,3	1270	n.b.	n.b.	n.b.
06.08.02	BBY		1859	7,56	332	22,3	1309	n.b.	n.b.	n.b.
16.08.02	BBZ	TRO-1608-BBZ	1343	7,60	292	17,7	928	n.b.	n.b.	n.b.
06.08.02	BBZ		1353	7,65	332	17,8	937	n.b.	n.b.	n.b.
06.08.02	BCA		454	7,65	323	27,9	299	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCC		2076	6,84	308	18,6	1481	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCD		1211	7,11	275	23,9	846	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCF		1007	7,26	321	23,0	687	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCG		1010	7,33	311	22,4	691	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCH		2585	7,10	321	22,0	1879	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCI		2624	6,91	284	20,4	1912	n.b.	n.b.	n.b.
13.08.02	BCK		2246	7,06	274	25,0	1599	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCK		2253	7,10	300	23,5	1611	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCL		1620	7,40	286	22,8	1131	80	7	< 1
13.08.02	BCL	TRO-1308-BCL	1653	7,41	269	31,9	1133	104	8	n.b.
13.08.02	BCM		2488	6,92	266	23,3	1794	n.b.	n.b.	n.b.

Datum	Kurzbezeichnung	Wasserprobe	Lf [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH	E _H [mV]	T [°C]	TDS [ppm]	O ₂ [%]	O ₂ [mg/l]	Schüttung [L/min]
07.08.02	BCM		2500	7,36	277	26,8	1794	n.b.	n.b.	n.b.
13.08.02	BCN		2313	7,37	249	22,3	1660	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCN		2313	7,53	270	21,4	1663	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCO		1674	7,28	299	22,7	1167	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCP		2461	8,09	269	28,5	1761	n.b.	n.b.	n.b.
13.08.02	BCR	TRO-1308-BCR	1367	7,11	261	22,2	941	n.b.	n.b.	n.b.
07.08.02	BCR		1411	7,23	279	21,4	973	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	BCS		1267	6,71	343	23,1	870	70	6	n.b.
21.08.02	BCT	TRO-2108-BCT	968	7,14	273	19,8	661	91	8	11,1
08.08.02	BCT		973	6,83	335	19,9	665	80	7	11,5
08.08.02	BCU		1017	6,85	349	18,5	700	72	7	4,8
08.08.02	BCV		1011	6,99	356	18,1	694	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	BCW		915	6,96	336	18,1	625	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	BCX		2094	6,93	298	27,3	1478	69	6	1,7
13.08.02	BCX	TRO-1308-BCX	2116	6,88	277	26,9	1496	82	7	1,7
13.08.02	BCY		1795	6,90	251	26,7	1248	79	6	2,7
08.08.02	BCY		1808	7,08	296	27,3	1261	72	6	2,7
08.08.02	BCZ		1257	7,29	298	18,3	868	29	3	8,3
14.08.02	BCZ	TRO-1408-BCZ	1273	7,34	275	17,2	885	30	3	7,8
08.08.02	BDA		1276	7,84	303	22,8	877	n.b.	n.b.	0,2
08.08.02	BDB		1304	7,77	290	24,5	896	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	BDC		1378	7,65	302	22,9	951	n.b.	n.b.	n.b.
23.08.02	BDD	TRO-2308-BDD	1245	7,36	268	27,0	846	93	7	1,5
08.08.02	BDD		1245	7,46	304	30,9	844	94	7	1,2
26.07.02	BDE		1229	7,35	316	30,8	832	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	BDE		1241	7,42	312	30,4	842	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	BDF		894	7,50	349	19,1	610	n.b.	n.b.	n.b.
23.08.02	BDF	TRO-2308-BDF	917	7,71	270	18,0	626	n.b.	n.b.	n.b.
09.08.02	BDG		905	7,17	287	21,9	613	71	6	n.b.
09.08.02	BDH		904	7,13	296	21,5	613	70	6	17,5
09.08.02	BDK		1108	7,38	317	24,5	757	n.b.	n.b.	n.b.
09.08.02	BDL		1033	7,26	305	25,0	702	n.b.	n.b.	n.b.
09.08.02	BDN		1858	7,92	257	26,6	1294	n.b.	n.b.	n.b.

Datum	Kurzbezeichnung	Wasserprobe	Lf [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH	E _H [mV]	T [°C]	TDS [ppm]	O ₂ [%]	O ₂ [mg/l]	Schüttung [L/min]
09.08.02	BDO		1466	7,22	267	23,2	1014	61	5	1,5
09.08.02	BDP		1738	7,85	268	28,5	1205	n.b.	n.b.	n.b.
15.08.02	BDQ		2104	6,95	303	22,6	1494	45	4	3,5
09.08.02	BDQ		2116	6,76	324	24,6	1502	40	3	4,2
09.08.02	BDR		3192	6,82	322	20,3	2371	n.b.	n.b.	n.b.
15.08.02	BDS		2120	7,03	292	25,3	1501	49	4	16,7
09.08.02	BDS		2140	6,93	309	26,4	1516	50	4	16,5
09.08.02	BDT		1744	7,15	330	19,5	1230	n.b.	n.b.	n.b.
12.08.02	BDW	TRO-1208-BDW	1099	7,30	288	19,7	755	76	7	31,9
12.08.02	BDX		1136	7,64	283	17,6	630	88	8	3,0
12.08.02	BDY	TRO-1208-BDY	1200	7,31	306	17,2	834	43	4	21,3
15.08.02	BDZ	TRO-1508-BDZ	1047	7,30	294	19,8	716	n.b.	n.b.	540,0
15.08.02	BEA	TRO-1508-BEA	2214	7,46	270	20,7	1585	n.b.	n.b.	n.b.
15.08.02	BEB	TRO-1508-BEB	1131	7,19	275	20,0	777	n.b.	n.b.	n.b.
15.08.02	BEC		1246	7,50	296	18,8	858	n.b.	n.b.	n.b.
19.08.02	BED	TRO-1908-BED	726	6,94	250	19,0	491	n.b.	n.b.	100*
21.08.02	BEE		1469	7,39	272	18,6	1019	n.b.	n.b.	3,5
25.07.02	BK1		1582	6,90	325	18,3	1582	78	7	n.b.
25.07.02	BK2		993	7,35	825	27,8	671	97	7	n.b.
25.07.02	BK4		988	7,35	840	23,7	672	106	9	n.b.
25.07.02	BK5		1081	8,27	375	30,2	729	n.b.	n.b.	n.b.
25.07.02	BK6		1151	7,26	410	31,3	778	n.b.	n.b.	n.b.
25.07.02	BK8		965	8,52	394	27,0	652	n.b.	n.b.	n.b.
26.07.02	BP1		583	7,33	369	23,3	390	n.b.	n.b.	n.b.
24.07.02	BSC	TRO-2407-BSC	2704	7,09	305	17,1	1988	n.b.	n.b.	n.b.
25.07.02	BT2		2422	6,44	383	23,0	1742	68	6	0,3
25.07.02	BT3		1643	7,36	346	22,0	1148	89	8	0,5
28.07.02	FAA		673	7,34	196	22,3	451	56	5	n.b.
28.07.02	FAB		840	6,71	348	17,9	572	42	4	n.b.
28.07.02	FAC		808	6,80	313	19,3	549	40	4	n.b.
31.07.02	FAD		907	7,86	213	23,3	613	n.b.	n.b.	n.b.
31.07.02	FAE		561	7,43	287	26,0	373	55	5	n.b.
31.07.02	FAF		428	8,19	304	28,9	281	108	8	n.b.

Datum	Kurzbezeichnung	Wasserprobe	Lf [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH	E _H [mV]	T [°C]	TDS [ppm]	O ₂ [%]	O ₂ [mg/l]	Schüttung [L/min]
19.08.02	FAF	TRO-1908-FAF	438	8,37	221	26,4	289	119	10	n.b.
01.08.02	FAG		390	7,97	327	27,0	256	88	7	n.b.
01.08.02	FAH		359	8,40	302	27,4	234	n.b.	n.b.	n.b.
01.08.02	FAI		391	7,76	325	27,5	257	102	8	n.b.
01.08.02	FAK		440	7,51	292	25,9	290	n.b.	n.b.	n.b.
06.08.02	FAL		2382	7,32	265	26,1	1706	n.b.	n.b.	n.b.
08.08.02	FAM		588	7,99	301	25,9	390	n.b.	n.b.	n.b.
21.08.02	FAM	TRO-2108-FAM	607	7,98	226	23,4	403	92	8	n.b.
19.08.02	FAN		418	7,76	222	25,7	276	n.b.	n.b.	n.b.
26.07.02	FAO		472	8,11	354	28,1	312	n.b.	n.b.	n.b.
27.07.02	FKK	TRO-2707-FKK	625	8,18	321	25,4	417	110	9	n.b.
22.07.02	GHW	TRO-2207-GHW	1006	7,06	827	28,5	678	109	8	n.b.
02.08.02	HS1		699	7,87	319	20,1	470	n.b.	n.b.	n.b.
02.08.02	HS2		763	7,58	341	18,7	518	n.b.	n.b.	n.b.
02.08.02	HS3	TRO-0208-HS3	758	7,16	362	17,4	514	n.b.	n.b.	n.b.
02.08.02	HS4		693	7,69	302	18,8	468	n.b.	n.b.	n.b.
26.07.02	PAA		756	7,03	287	19,0	517	n.b.	n.b.	n.b.
26.07.02	PAA		763	7,06	297	18,6	517	n.b.	n.b.	n.b.
27.07.02	PAB		2959	7,07	284	18,5	2190	n.b.	n.b.	n.b.
22.07.02	QCF	TRO-2207-QCF	524	7,31	344	26,7	348	109	9	1200,0
24.07.02	QEE	TRO-2407-QEE	2556	7,12	343	17,6	1861	84	8	n.b.
26.07.02	QEG	TRO-2607-QEG	1783	6,86	358	22,3	1249	66	6	1,8
26.08.02	QET		1695	7,83	255	17,7	1194	n.b.	n.b.	n.b.
24.07.02	QET	TRO-2407-QET	1750	7,73	332	17,9	1237	n.b.	n.b.	n.b.
23.07.02	QET		1756	7,50	371	18,1	1240	95	9	10,8
26.07.02	QKP		568	7,47	357	18,2	383	n.b.	n.b.	n.b.
26.07.02	QKP		572	7,51	363	18,0	385	n.b.	n.b.	n.b.
26.07.02	QKP	TRO-2607-QKP	575	7,36	387	17,9	387	n.b.	n.b.	n.b.
23.07.02	QNT	TRO-2307-QNT	2236	7,27	304	20,8	1610	152	14	7,8
24.07.02	QPT	TRO-2407-QPT	1747	6,92	355	21,7	1226	57	5	8,0
15.08.02	QPT		1784	7,13	307	22,3	1250	53	5	4,9
28.07.02	QRW	TRO-2807-QRW	727	6,97	313	19,3	491	58	5	11,2
28.07.02	QRW		731	7,07	355	18,8	494	n.b.	n.b.	n.b.

Vor-Ort-Parameter

Anhang 3

Datum	Kurzbezeichnung	Wasserprobe	Lf [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH	E _H [mV]	T [°C]	TDS [ppm]	O ₂ [%]	O ₂ [mg/l]	Schüttung [L/min]
31.07.02	QS2		1137	7,96	319	17,4	788	n.b.	n.b.	1,1
23.07.02	QS2	TRO-2307-QS2	1182	7,35	342	17,6	816	84	80	1,0
23.07.02	QS4		1097	6,91	393	17,1	757	n.b.	n.b.	n.b.
25.07.02	QWT		2688	8,47	305	22,0	1956	58	5	n.b.

n.b. nicht bestimmt

* in m³/h

Datum	Kurzbezeichnung	Fe _{tot} [mg/L]	Fe ²⁺ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	NO ₂ ⁻ [mg/L]	PO ₄ ³⁻ [mg/L]	K _S [mmol/l]	K _B [mmol/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/L]
26.08.02	BAA	0,01	n.b.	12,7	0,110	0,61	8,65	0,32	527,8
25.07.02	BAB	1,63	0,45	1,3	0,269	2,61	10,60	0,35	646,9
15.08.02	BAF	0,01	n.b.	12,7	0,013	1,11	13,10	0,40	799,3
13.08.02	BAH	0,02*	0,00*	4,3	0,057	0,30	11,23	0,74	685,5
23.08.02	BAL	0,00	n.b.	99,2	0,048	0,36	8,95	0,61	546,1
14.08.02	BAO	0,01	n.b.	19,6	0,313	0,53	8,30	n.b.	506,4
14.08.02	BAT	0,00	n.b.	79,0	0,109	1,73	6,99	0,79	426,5
14.08.02	BAU	0,01	n.b.	38,8	0,020	0,46	9,45	0,65	576,6
21.08.02	BAZ	0,03	0,00	1,8	0,281	0,45	16,95	0,42	1034,2
23.08.02	BBC	0,03	n.b.	2,2	0,035	0,44	9,85	0,42	601,0
16.08.02	BBF	0,03	n.b.	12,5	0,104	0,39	8,85	0,32	540,0
16.08.02	BBT	0,01	n.b.	43,8	0,049	0,32	8,25	0,49	503,4
16.08.02	BBV	0,01	n.b.	20,2	0,060	1,53	7,85	0,34	479,0
16.08.02	BBW	0,01	n.b.	20,7	0,051	1,90	10,45	0,65	637,6
05.08.02	BBX	0,03	n.b.	14,6	0,011	0,68	9,01	0,49	549,6
16.08.02	BBZ	0,01	n.b.	68,9	0,106	0,55	6,25	0,42	381,3
13.08.02	BCL	0,02	n.b.	47,1	0,059	0,21	7,83	0,34	477,4
13.08.02	BCR	0,03	n.b.	8,4	0,117	1,95	11,34	0,89	692,0
21.08.02	BCT	0,00	n.b.	57,3	0,010	0,58	6,85	0,54	418,0
13.08.02	BCX	0,01	n.b.	53,7	0,103	0,17	8,88	0,80	541,5
14.08.02	BCZ	0,01	n.b.	3,5	0,031	0,67	13,10	0,59	799,3
23.08.02	BDD	0,02	n.b.	1,5	0,045	1,07	14,75	0,68	900,0
23.08.02	BDF	0,03	n.b.	49,3	0,015	0,62	6,75	0,26	411,9
12.08.02	BDW	0,01	n.b.	1,0	0,021	0,80	12,23	0,21	745,9
12.08.02	BDY	0,02	n.b.	1,3	0,012	0,66	13,93	0,42	850,1
15.08.02	BDZ	0,03	n.b.	8,3	0,013	0,24	7,90	0,63	482,0
15.08.02	BEA	0,01	n.b.	133,7	0,298	0,54	5,70	0,38	347,8
15.08.02	BEB	0,02	n.b.	17,6	0,218	0,22	7,90	0,43	482,0
19.08.02	BED	0,02	n.b.	15,1	0,020	0,23	5,45	0,23	332,5
24.07.02	BSC	0,02	n.b.	44,7	0,050	0,41	9,97	0,51	608,1
19.08.02	FAF	0,00	n.b.	0,6	0,067	0,60	3,05	n.b.	186,1
21.08.02	FAM	0,01	n.b.	0,9	0,024	0,70	3,70	0,19	225,8
27.07.02	FKK	0,31	0,00	1,0	0,014	0,47	4,82	0,11	294,2

Datum	Kurzbezeichnung	Fe _{tot} [mg/L]	Fe ²⁺ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	NO ₂ ⁻ [mg/L]	PO ₄ ³⁻ [mg/L]	K _S [mmol/l]	K _B [mmol/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/L]
22.07.02	GHW	0,02	n.b.	12,2	0,033	0,45	8,82	0,53	537,9
02.08.02	HS3	0,00	n.b.	10,6	0,048	0,20	5,50	0,29	335,6
22.07.02	QCF	0,02	n.b.	2,7	0,083	0,29	3,88	0,19	236,4
24.07.02	QEE	0,06	0,01	260,1	0,022	0,65	8,88	0,60	542,0
26.07.02	QEG	0,03	n.b.	13,1	0,043	1,77	11,13	0,24	679,1
24.07.02	QET	0,06	0,01	193,7	0,041	0,44	7,30	0,41	445,6
26.07.02	QKP	0,02	n.b.	16,4	0,069	0,25	2,97	0,42	181,0
23.07.02	QNT	0,02	n.b.	453,7	0,049	0,27	7,21	0,35	439,8
24.07.02	QPT	0,01	n.b.	47,5	0,097	0,27	8,05	0,34	491,4
28.07.02	QRW	0,04	n.b.	1,0	0,049	0,42	6,73	0,56	410,9
23.07.02	QS2	0,03	n.b.	50,4	0,064	0,90	6,96	0,35	424,4

n.b. nicht bestimmt

* gemessen am 27.08.02, unfiltrierte Probe

Wasserprobe	Fe(tot) [mg/L]	Fe(II) [mg/L]	Fe(III) [mg/L]	NO ₃ [mg/L]	NO ₂ [mg/L]	PO ₄ [mg/L]	K _B [mmol/l]	K _S [mmol/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/L]
TRO-2608-BAA	0,01	n.b.	n.b.	12,7	0,110	0,61	0,32	8,65	527,8
TRO-2507-BAB	1,63	0,45	1,19	1,3	0,269	2,61	0,35	10,60	646,9
TRO-1508-BAF	0,01	n.b.	n.b.	12,7	0,013	1,11	0,40	13,10	799,3
TRO-1308-BAH	0,02	0,00	0,02	4,3	0,057	0,30	0,74	11,23	685,5
TRO-2308-BAL	0,00	n.b.	n.b.	99,2	0,048	0,36	0,61	8,95	546,1
TRO-1408-BAO	0,01	n.b.	n.b.	19,6	0,313	0,53	n.b.	8,30	506,4
TRO-1408-BAT	0,00	n.b.	n.b.	79,0	0,109	1,73	0,79	6,99	426,5
TRO-1408-BAU	0,01	n.b.	n.b.	38,8	0,020	0,46	0,65	9,45	576,6
TRO-2108-BAZ	0,03	0,00	0,03	1,8	0,281	0,45	0,42	16,95	1034,2
TRO-2308-BBC	0,03	n.b.	n.b.	2,2	0,035	0,44	0,42	9,85	601,0
TRO-1608-BBF	0,03	n.b.	n.b.	12,5	0,104	0,39	0,32	8,85	540,0
TRO-1608-BBT	0,01	n.b.	n.b.	43,8	0,049	0,32	0,49	8,25	503,4
TRO-1608-BBV	0,01	n.b.	n.b.	20,2	0,060	1,53	0,34	7,85	479,0
TRO-1608-BBW	0,01	n.b.	n.b.	20,7	0,051	1,90	0,65	10,45	637,6
TRO-0508-BBX	0,03	n.b.	n.b.	14,6	0,011	0,68	0,49	9,01	549,6
TRO-1608-BBZ	0,01	n.b.	n.b.	68,9	0,106	0,55	0,42	6,25	381,3
TRO-1308-BCL	0,02	n.b.	n.b.	47,1	0,059	0,21	0,34	7,83	477,4
TRO-1308-BCR	0,03	n.b.	n.b.	8,4	0,117	1,95	0,89	11,34	692,0
TRO-2108-BCT	0,00	n.b.	n.b.	57,3	0,010	0,58	0,54	6,85	418,0
TRO-1308-BCX	0,01	n.b.	n.b.	53,7	0,103	0,17	0,80	8,88	541,5
TRO-1408-BCZ	0,01	n.b.	n.b.	3,5	0,031	0,67	0,59	13,10	799,3
TRO-2308-BDD	0,02	n.b.	n.b.	1,5	0,045	1,07	0,68	14,75	900,0
TRO-2308-BDF	0,03	n.b.	n.b.	49,3	0,015	0,62	0,26	6,75	411,9
TRO-1208-BDW	0,01	n.b.	n.b.	1,0	0,021	0,80	0,21	12,23	745,9
TRO-1208-BDY	0,02	n.b.	n.b.	1,3	0,012	0,66	0,42	13,93	850,1
TRO-1508-BDZ	0,03	n.b.	n.b.	8,3	0,013	0,24	0,63	7,90	482,0
TRO-1508-BEA	0,01	n.b.	n.b.	133,7	0,298	0,54	0,38	5,70	347,8
TRO-1508-BEB	0,02	n.b.	n.b.	17,6	0,218	0,22	0,43	7,90	482,0
TRO-1908-BED	0,02	n.b.	n.b.	15,1	0,020	0,23	0,23	5,45	332,5
TRO-2407-BSC	0,02	n.b.	n.b.	44,7	0,050	0,41	0,51	9,97	608,1
TRO-1908-FAF	0,00	n.b.	n.b.	0,6	0,067	0,60	n.b.	3,05	186,1
TRO-2108-FAM	0,01	n.b.	n.b.	0,9	0,024	0,70	0,19	3,70	225,8
TRO-2707-FKK	0,31	0,00	0,31	1,0	0,014	0,47	0,11	4,82	294,2

Wasserprobe	Fe(tot) [mg/L]	Fe(II) [mg/L]	Fe(III) [mg/L]	NO ₃ [mg/L]	NO ₂ [mg/L]	PO ₄ [mg/L]	K _B [mmol/l]	K _S [mmol/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/L]
TRO-2207-GHW	0,02	n.b.	n.b.	12,2	0,033	0,45	0,53	8,82	537,9
TRO-0208-HS3	0,00	n.b.	n.b.	10,6	0,048	0,20	0,29	5,50	335,6
TRO-2207-QCF	0,02	n.b.	n.b.	2,7	0,083	0,29	0,19	3,88	236,4
TRO-2407-QEE	0,06	0,01	0,04	255,6	0,022	0,65	n.b.	8,88	542,0
TRO-2607-QEG	0,03	n.b.	n.b.	13,1	0,043	1,77	0,24	11,13	679,1
TRO-2407-QET	0,06	0,01	0,04	189,2	0,041	0,44	0,41	7,30	445,6
TRO-2607-QKP	0,02	n.b.	n.b.	16,4	0,069	0,25	0,42	2,97	181,0
TRO-2307-QNT	0,02	n.b.	n.b.	449,3	0,049	0,27	0,35	7,21	439,8
TRO-2407-QPT	0,01	n.b.	n.b.	47,5	0,097	0,27	0,34	8,05	491,4
TRO-2807-QRW	0,04	n.b.	n.b.	1,0	0,049	0,42	0,56	6,73	410,9
TRO-2307-QS2	0,03	n.b.	n.b.	50,4	0,064	0,90	0,35	6,96	424,4

n.b. nicht bestimmt

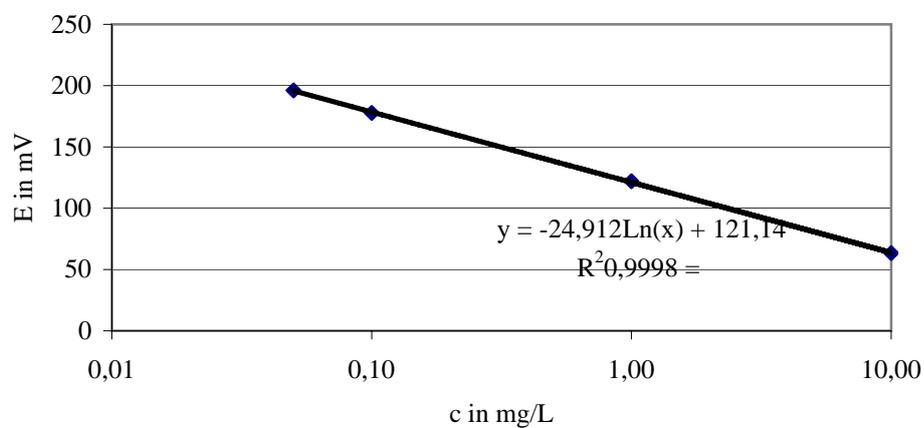
Wasserprobe	Li ⁺ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Ca ²⁺ [mg/L]	Mg ²⁺ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	SO ₄ [mg/L]
TRO-2608-BAA	< 0,05	31,9	2,0	132,7	122,6	122,8	15,6	77,9
TRO-2507-BAB	< 0,05	39,2	7,5	105,8	117,9	101,1	13,5	27,5
TRO-1508-BAF	< 0,05	111,4	1,1	n.b.	147,0	364,7	40,5	53,7
TRO-1308-BAH	< 0,05	219,1	1,3	n.b.	316,4	1027,6	9,7	110,6
TRO-2308-BAL	< 0,05	134,4	2,4	n.b.	187,3	508,1	169,4	64,5
TRO-1408-BAO	< 0,05	38,9	0,9	n.b.	51,1	169,3	92,9	41,2
TRO-1408-BAT	< 0,05	43,5	1,1	n.b.	66,2	169,6	129,7	55,4
TRO-1408-BAU	< 0,05	126,0	1,3	n.b.	148,9	201,7	61,3	80,0
TRO-2108-BAZ	< 0,05	17,9	< 0,5	n.b.	297,9	40,2	1,7	8,4
TRO-2308-BBC	< 0,05	18,7	0,9	92,0	91,9	32,6	1,7	18,3
TRO-1608-BBF	< 0,05	85,4	4,2	n.b.	134,7	184,2	123,9	127,4
TRO-1608-BBT	< 0,05	97,9	4,9	n.b.	98,8	149,4	55,8	115,3
TRO-1608-BBV	< 0,05	167,9	3,8	n.b.	193,0	417,6	21,0	309,8
TRO-1608-BBW	< 0,05	137,4	5,0	n.b.	192,9	329,1	29,3	237,7
TRO-0508-BBX	< 0,05	23,8	1,3	100,3	93,1	55,1	19,3	38,2
TRO-1608-BBZ	< 0,05	72,9	1,1	n.b.	93,6	143,1	123,9	118,6
TRO-1308-BCL	< 0,05	72,9	2,4	n.b.	104,6	233,4	60,6	42,1
TRO-1308-BCR	< 0,05	85,8	3,4	n.b.	118,8	102,7	35,4	62,3
TRO-2108-BCT	< 0,05	26,1	1,3	142,7	33,4	43,8	85,3	33,1
TRO-1308-BCX	< 0,05	125,1	1,1	n.b.	130,3	340,3	76,3	86,6
TRO-1408-BCZ	< 0,05	23,8	< 0,5	71,6	177,5	66,4	6,4	22,0
TRO-2308-BDD	< 0,05	9,7	< 0,5	19,2	231,2	29,0	3,0	8,9
TRO-2308-BDF	< 0,05	28,5	2,2	129,1	48,9	61,8	53,4	37,8
TRO-1208-BDW	< 0,05	16,9	< 0,5	81,8	135,9	36,9	0,8	14,2
TRO-1208-BDY	< 0,05	16,1	0,7	64,1	188,6	54,2	< 0,5	12,6
TRO-1508-BDZ	< 0,05	64,7	4,2	110,6	86,4	65,5	13,3	65,5
TRO-1508-BEA	< 0,05	106,9	2,7	n.b.	152,5	265,3	174,2	387,1
TRO-1508-BEB	< 0,05	67,9	2,7	110,9	81,3	81,2	32,4	69,3
TRO-1908-BED	< 0,05	28,4	1,5	117,9	37,1	54,8	14,5	26,2
TRO-2407-BSC	< 0,05	151,6	7,6	n.b.	167,7	494,0	99,7	126,5
TRO-1908-FAF	< 0,05	21,9	2,1	66,1	15,0	28,2	0,9	26,3
TRO-2108-FAM	< 0,05	30,9	2,1	67,8	30,7	67,5	1,1	37,8
TRO-2707-FKK	< 0,05	33,3	1,6	97,5	20,7	54,5	1,6	11,9
TRO-2207-GHW	< 0,05	22,1	1,5	116,2	109,4	52,4	19,3	38,0
TRO-0208-HS3	< 0,05	26,1	1,5	106,6	29,4	65,2	11,0	30,4
TRO-2207-QCF	< 0,05	25,8	2,0	79,2	22,0	31,8	1,5	23,4
TRO-2407-QEE	< 0,05	143,1	2,6	n.b.	198,2	410,7	134,8	161,2
TRO-2607-QEG	< 0,05	67,2	1,9	n.b.	134,9	214,4	26,5	44,6
TRO-2407-QET	< 0,05	76,0	4,0	n.b.	111,7	242,6	122,8	85,5
TRO-2607-QKP	< 0,05	21,8	1,7	n.b.	21,2	32,0	2,0	25,2
TRO-2307-QNT	< 0,05	93,4	7,0	n.b.	143,9	286,0	330,3	122,5
TRO-2407-QPT	< 0,05	65,2	23,6	n.b.	91,3	268,4	65,8	53,4
TRO-2807-QRW	< 0,05	22,5	0,9	109,7	13,6	41,1	0,8	20,1
TRO-2307-QS2	< 0,05	44,8	59,1	113,2	58,1	95,6	86,8	38,3

n.b. nicht bestimmt

Datum	c(mg/L)	E in mV
22.10.2002	0,05	196,1
22.10.2002	0,1	177,7
22.10.2002	1	122
22.10.2002	10	63,4

Datum	Probe	E in mV	c in mg/L
22.10.2002	TRO-1308-BCL	144,6	0,4
22.10.2002	TRO-1308-BCX	147,5	0,3
22.10.2002	TRO-1408-BAU	126,1	0,8
22.10.2002	TRO-1508-BAF	148,6	0,3
22.10.2002	TRO-1508-BEB	159,9	0,2
22.10.2002	TRO-1608-BBZ	149,0	0,3
22.10.2002	TRO-2308-BBC	182,1	0,1
22.10.2002	TRO-2308-BDF	182,4	0,1
22.10.2002	TRO-2407-QET	146,6	0,4
22.10.2002	TRO-2607-QKP	177,4	0,1

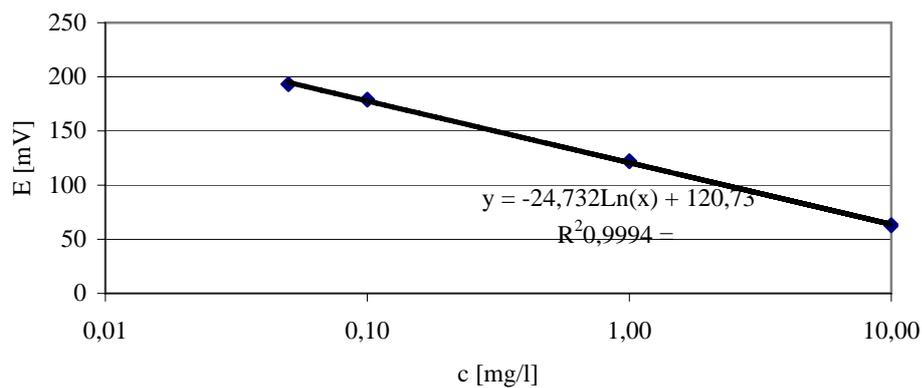
Kalibrierung 22.10.02



Datum	c(mg/L)	E in mV
29.10.2002	0,05	193,2
29.10.2002	0,1	178,9
29.10.2002	1	122
29.10.2002	10	62,9

Datum	Probe	E in mV	c in mg/L
29.10.2002	TRO-1208-BDY	190,3	0,1
29.10.2002	TRO-1308-BAH	146,9	0,3
29.10.2002	TRO-1308-BCR	121,3	1,0
29.10.2002	TRO-1408-BAT	176,6	0,1
29.10.2002	TRO-1508-BEA	156,6	0,2
29.10.2002	TRO-1608-BBF	148,5	0,3
29.10.2002	TRO-1608-BBV	141,1	0,4
29.10.2002	TRO-1608-BBW	144,7	0,4
29.10.2002	TRO-1908-BED	175,5	0,1
29.10.2002	TRO-1908-FAF	176,7	0,1
29.10.2002	TRO-2108-BAZ	206,5	<0,05
29.10.2002	TRO-2108-BCT	178,4	0,1
29.10.2002	TRO-2307-QS2	163,7	0,2
29.10.2002	TRO-2308-BDD	211,7	<0,05
29.10.2002	TRO-2407-BSC	148,5	0,3
29.10.2002	TRO-2407-QEE	138,2	0,5
29.10.2002	TRO-2807-QRW	174,6	0,1

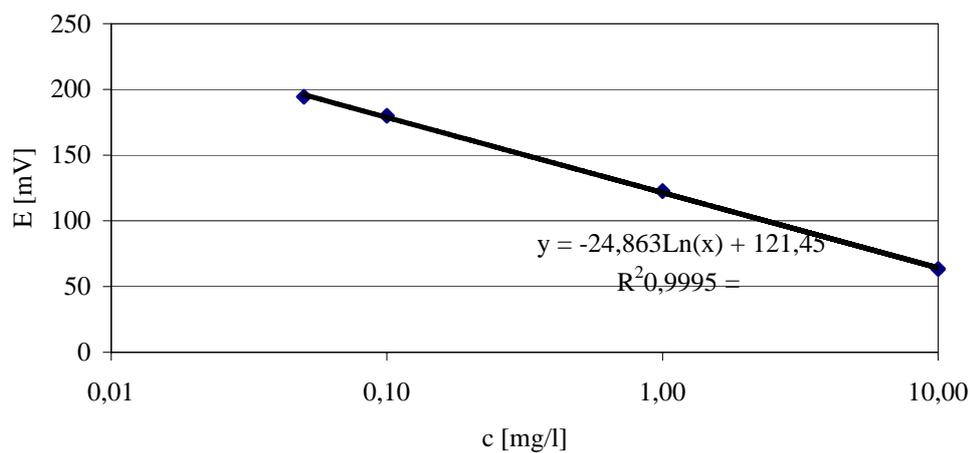
Kalibrierung 29.10.02



Datum	c(mg/L)	E in mV
37565	0,05	194,4
37565	0,1	179,9
37565	1	122,6
37565	10	63,4

Datum	Probe	E in mV	c in mg/L
37565	TRO-0208-HS3	165,5	0,170042144
37565	TRO-0508-BBX	184,6	0,078872808
37565	TRO-1208-BDW	196,1	<0,05
37565	TRO-1408-BAO	174,7	0,117450687
37565	TRO-1408-BCZ	189,9	0,063730826
37565	TRO-1508-BDZ	171,3	0,134662002
37565	TRO-1608-BBT	138,4	0,505738312
37565	TRO-2108-FAM	170,9	0,136845987
37565	TRO-2207-GHW	183,5	0,082440677
37565	TRO-2207-QCF	178,6	0,100399675
37565	TRO-2307-QNT	151,4	0,299811536
37565	TRO-2308-BAL	153,6	0,274422576
37565	TRO-2407-QPT	151,7	0,296215711
37565	TRO-2507-BAB	143	0,420315446
37565	TRO-2607-QEG	158,9	0,221738998
37565	TRO-2608-BAA	168	0,153775738
37565	TRO-2707-FKK	169,3	0,145941924

Kalibrierung 05.11.02



Wasserprobe	Sr 88	Zn 66	Ba 138	Cu 65	Mn 55	Rb 85	As 75	Li 7	Pb 208	U 238	Ni 60	Mo 95	Cs 133
TRO-2608-BAA	415,00	92,60	232,00	7,15	130,00	1,27	16,40	10,30	42,90	9,92	6,72	0,94	<0,03
TRO-2507-BAB	654,00	2,33	243,00	<1,26	319,00	1,33	7,33	11,20	0,24	<0,02	2,55	1,00	<0,03
TRO-1508-BAF	1555,00	4,18	324,00	<3,16	5,74	4,26	11,70	18,00	0,62	5,13	5,25	1,06	n,b,
TRO-1308-BAH	1603,00	2,56	423,00	3,94	<0,77	5,78	9,56	29,90	<0,19	6,13	9,65	1,07	0,33
TRO-2308-BAL	2103,00	169,00	320,00	5,73	9,98	3,13	14,30	21,00	0,72	4,64	8,99	1,08	n,b,
TRO-1408-BAO	495,00	1,97	20,70	2,05	<0,77	1,43	4,24	7,38	<0,19	1,03	5,37	0,35	0,17
TRO-1408-BAT	971,00	2,60	62,20	<3,16	<1,93	3,43	<8,09	8,85	0,55	1,87	5,37	<0,8	n,b,
TRO-1408-BAU	957,00	77,60	202,00	3,17	<1,93	4,27	10,80	23,30	0,71	6,66	2,85	1,71	n,b,
TRO-2108-BAZ	13,60	2,39	7,67	<3,16	<1,93	<0,73	<8,09	3,25	<0,48	<0,06	5,02	<0,8	n,b,
TRO-2308-BBC	114,00	13,80	34,90	1,63	<0,77	1,12	<3,23	6,08	<0,19	0,68	5,28	<0,32	0,22
TRO-1608-BBF	1779,00	3,67	121,00	4,69	<1,93	1,28	<8,09	29,30	0,54	13,70	5,21	1,35	n,b,
TRO-1608-BBT	1143,00	3,40	93,00	4,55	<1,93	2,55	<8,09	24,80	0,49	9,79	4,27	3,17	n,b,
TRO-1608-BBV	3689,00	25,40	68,70	8,80	<1,93	1,63	8,14	61,70	0,84	12,80	6,32	3,15	n,b,
TRO-1608-BBW	3300,00	6,11	85,70	6,79	<1,93	1,16	9,58	66,60	0,85	19,60	5,46	2,70	n,b,
TRO-0508-BBX	141,00	24,80	64,10	5,60	<0,77	0,55	<3,23	5,17	0,30	1,54	5,92	<0,32	<0,03
TRO-1608-BBZ	681,00	4,63	224,00	4,62	<1,93	0,98	19,10	19,70	<0,48	4,08	4,49	1,37	n,b,
TRO-1308-BCL	712,00	1,77	460,00	1,31	<0,77	8,12	8,15	18,80	<0,19	4,52	3,54	0,58	0,61
TRO-1308-BCR	550,00	2,46	183,00	1,52	91,00	2,21	6,96	18,30	<0,19	5,51	2,76	1,75	<0,03
TRO-2108-BCT	826,00	3,41	7,77	<3,16	<1,93	3,83	<8,09	6,97	<0,48	1,04	4,53	<0,8	n,b,
TRO-1308-BCX	711,00	7,70	237,00	2,60	<0,77	5,99	7,01	21,10	11,70	4,93	8,02	0,64	0,90
TRO-1408-BCZ	120,00	4,98	33,00	<3,16	<1,93	<0,73	<8,09	3,92	<0,48	1,32	12,20	<0,8	n,b,
TRO-2308-BDD	64,60	2,99	10,20	<3,16	<1,93	<0,73	<8,09	1,68	<0,48	15,90	5,81	<0,8	n,b,
TRO-2308-BDF	365,00	8,44	37,20	<3,16	<1,93	1,27	9,60	3,36	<0,48	0,70	4,97	<0,8	n,b,
TRO-1208-BDW	55,00	2,82	13,30	<1,26	<0,77	0,68	<3,23	3,48	0,31	0,36	6,18	<0,32	<0,03
TRO-1208-BDY	65,40	5,47	18,00	<1,26	<0,77	0,39	<3,23	3,93	0,31	0,48	10,30	<0,32	0,04
TRO-1508-BDZ	2259,00	2,69	79,80	<3,16	<1,93	10,40	11,40	36,70	<0,48	8,84	2,26	3,53	n,b,
TRO-1508-BEA	1446,00	16,10	233,00	11,20	8,70	2,62	14,20	14,50	0,58	5,86	8,56	1,26	n,b,
TRO-1508-BEB	1371,00	15,30	102,00	3,66	<1,93	9,84	8,86	28,50	<0,48	6,70	3,10	1,53	n,b,
TRO-1908-BED	363,00	4,86	35,10	<3,16	<1,93	1,76	9,07	5,52	<0,48	1,10	3,73	<0,8	n,b,
TRO-2407-BSC	1809,00	51,60	205,00	6,54	18,50	1,54	11,20	22,80	0,58	4,95	9,72	1,48	n,b,
TRO-1908-FAF	201,00	2,90	74,70	<3,16	17,90	1,48	<8,09	2,51	0,51	1,41	2,72	1,34	n,b,
TRO-2108-FAM	295,00	3,79	18,20	5,14	35,60	<0,73	<8,09	4,21	<0,48	0,74	7,89	<0,8	n,b,

Wasserprobe	Sr 88	Zn 66	Ba 138	Cu 65	Mn 55	Rb 85	As 75	Li 7	Pb 208	U 238	Ni 60	Mo 95	Cs 133
TRO-2707-FKK	164,00	6,20	22,40	1,34	<0,77	0,92	<3,23	8,48	<0,19	0,43	3,01	0,45	<0,03
TRO-2207-GHW	140,00	109,00	63,10	9,12	<0,77	0,90	3,30	5,46	0,65	1,64	6,00	<0,32	<0,03
TRO-0208-HS3	170,00	3,40	308,00	1,50	<0,77	0,41	<3,23	4,86	<0,19	1,64	3,06	0,75	<0,03
TRO-2207-QCF	144,00	4,26	57,20	2,06	<0,77	2,56	5,62	7,48	<0,19	1,56	1,92	0,97	1,35
TRO-2407-QEE	1301,00	38,10	106,00	6,21	<0,77	6,51	4,13	29,40	<0,19	10,80	6,45	1,72	0,03
TRO-2607-QEG	496,00	17,10	833,00	1,83	<0,77	2,46	5,21	14,70	<0,19	3,26	4,12	<0,32	0,04
TRO-2407-QET	1069,00	3,18	154,00	3,27	<0,77	8,34	7,60	20,60	<0,19	6,58	4,23	2,12	0,04
TRO-2607-QKP	284,00	3,10	71,00	<3,16	<1,93	1,66	<8,09	5,10	<0,48	1,70	2,40	1,11	n,b,
TRO-2307-QNT	864,00	3,52	182,00	4,51	<0,77	7,72	5,97	21,40	<0,19	6,62	5,75	1,04	0,05
TRO-2407-QPT	572,00	2,54	382,00	3,03	<0,77	5,06	6,97	17,30	<0,19	3,86	4,64	2,17	0,03
TRO-2807-QRW	166,00	4,16	11,30	<1,26	<0,77	0,55	<3,23	6,28	0,26	0,72	3,77	<0,32	<0,03
TRO-2307-QS2	357,00	17,40	449,00	3,27	<0,77	16,40	27,80	13,00	<0,19	2,01	3,80	5,91	0,03

n.b. nicht bestimmt
 alle Elemente wurden
 in µg/L bestimmt

Wasserprobe	Sb 121	Co 59	In 115	Bi 209	205 Tl	Zr 90	Eu 151	184 W	Ce 140	Sm 147	Y 89	Th 232	Dy 162	Pr 141
TRO-2608-BAA	0,12	0,72	0,02	0,13	0,01	<0,14	0,03	<0,05	0,07	<0,03	<0,16	<0,04	0,02	<0,01
TRO-2507-BAB	<0,02	0,36	<0,01	<0,05	<0,01	<0,14	0,04	0,15	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1508-BAF	0,16	0,93	<0,03	0,21	0,13	<0,36	0,08	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	0,02
TRO-1308-BAH	0,08	1,52	0,02	<0,05	0,03	<0,14	0,06	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2308-BAL	0,27	1,18	<0,03	<0,13	0,11	<0,36	0,09	<0,13	0,04	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1408-BAO	<0,02	0,86	0,01	<0,05	0,01	<0,14	<0,01	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1408-BAT	<0,05	0,98	0,05	0,30	0,11	0,41	0,03	0,18	0,10	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1408-BAU	0,14	0,40	<0,03	0,20	0,13	0,82	0,04	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2108-BAZ	0,06	<0,25	<0,03	<0,13	0,06	<0,36	<0,02	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2308-BBC	<0,02	0,32	<0,01	<0,05	<0,01	<0,14	<0,01	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1608-BBF	0,12	0,83	<0,03	<0,13	0,07	<0,36	0,02	<0,13	<0,01	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1608-BBT	0,20	0,51	0,05	0,17	0,15	<0,36	0,04	<0,13	0,02	0,08	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1608-BBV	0,15	0,95	<0,03	0,17	0,08	<0,36	<0,02	<0,13	<0,01	0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1608-BBW	0,20	0,72	<0,03	0,17	0,12	<0,36	0,05	<0,13	0,01	0,08	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-0508-BBX	0,06	0,33	<0,01	<0,05	<0,01	<0,14	<0,01	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1608-BBZ	0,25	0,59	<0,03	0,15	0,10	<0,36	0,07	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	0,02	<0,02
TRO-1308-BCL	0,04	0,55	<0,01	<0,05	0,04	<0,14	0,08	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1308-BCR	0,21	0,41	<0,01	<0,05	0,03	<0,14	0,03	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2108-BCT	<0,05	0,80	<0,03	<0,13	0,05	<0,36	<0,02	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1308-BCX	0,07	0,80	<0,01	<0,05	0,03	1,30	0,03	<0,05	0,02	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1408-BCZ	0,10	0,38	0,03	0,19	0,08	<0,36	<0,02	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2308-BDD	0,09	<0,25	<0,03	<0,13	<0,02	<0,36	<0,02	<0,13	<0,01	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2308-BDF	0,52	0,50	0,05	<0,13	0,06	<0,36	0,02	<0,13	0,01	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1208-BDW	0,07	0,22	0,02	<0,05	0,03	<0,14	<0,01	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1208-BDY	0,12	0,19	<0,01	<0,05	0,02	<0,14	<0,01	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-1508-BDZ	0,18	0,37	<0,03	0,17	0,19	<0,36	<0,02	0,24	<0,01	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1508-BEA	0,38	1,17	0,05	0,15	0,06	<0,36	0,06	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1508-BEB	0,13	0,41	0,06	0,16	0,14	<0,36	0,03	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1908-BED	0,13	0,41	0,03	0,14	0,13	<0,36	<0,02	<0,13	0,01	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2407-BSC	0,25	1,31	0,04	0,20	0,22	<0,36	0,05	<0,13	0,02	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-1908-FAF	0,36	0,31	<0,03	0,14	0,10	<0,36	0,03	<0,13	0,04	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2108-FAM	0,24	0,39	<0,03	<0,13	0,04	<0,36	<0,02	<0,13	0,05	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02

Wasserprobe	Sb 121	Co 59	In 115	Bi 209	205 Tl	Zr 90	Eu 151	184 W	Ce 140	Sm 147	Y 89	Th 232	Dy 162	Pr 141
TRO-2707-FKK	0,06	0,37	<0,01	<0,05	0,01	<0,14	<0,01	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2207-GHW	0,46	0,39	<0,01	<0,05	0,03	<0,14	0,01	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-0208-HS3	0,02	0,48	<0,01	0,09	0,03	<0,14	0,05	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2207-QCF	0,09	0,33	<0,01	<0,05	0,11	<0,14	0,01	<0,05	0,02	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2407-QEE	0,28	0,77	<0,01	<0,05	0,02	<0,14	0,02	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2607-QEG	0,13	0,62	<0,01	<0,05	<0,01	<0,14	0,11	<0,05	<0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2407-QET	0,07	0,60	0,01	<0,05	0,03	<0,14	0,02	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2607-QKP	0,16	0,37	<0,03	0,49	0,29	<0,36	<0,02	<0,13	<0,01	<0,07	<0,39	<0,1	<0,02	<0,02
TRO-2307-QNT	0,11	0,93	<0,01	<0,05	0,08	<0,14	0,02	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2407-QPT	0,15	0,80	<0,01	<0,05	0,02	<0,14	0,05	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01
TRO-2807-QRW	<0,02	0,64	<0,01	0,35	0,04	<0,14	<0,01	<0,05	0,02	<0,03	0,20	<0,04	0,02	<0,01
TRO-2307-QS2	0,28	0,49	<0,01	<0,05	0,05	<0,14	0,06	<0,05	0,01	<0,03	<0,16	<0,04	<0,01	<0,01

n.b. nicht bestimmt
 alle Elemente wurden
 in µg/L bestimmt

Wasserprobe	Ho 165	Tb 159	Be 9	Cr 52	109 Ag	Cd 111	Sn 118	Nd 146	Gd 157	Er 166	Tm 169	Yb 174	Hf 178	175 Lu
TRO-2608-BAA	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	1,44	0,04	0,05	<0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2507-BAB	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1508-BAF	<0,02	<0,01	0,12	<5,71	0,28	0,66	0,14	<0,04	<0,04	0,03	0,01	<0,03	<0,08	0,02
TRO-1308-BAH	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2308-BAL	0,03	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,93	0,26	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1408-BAO	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1408-BAT	0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,59	0,20	<0,04	<0,04	<0,03	0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1408-BAU	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,64	0,18	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	0,14	<0,01
TRO-2108-BAZ	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	<0,56	0,08	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	0,01
TRO-2308-BBC	<0,01	<0,01	<0,05	3,02	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1608-BBF	0,02	<0,01	0,13	<5,71	<0,12	<0,56	0,15	0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1608-BBT	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	<0,56	0,08	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1608-BBV	0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	1,25	0,14	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1608-BBW	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,79	0,14	<0,04	<0,04	<0,03	0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-0508-BBX	<0,01	<0,01	<0,05	19,70	0,95	<0,22	0,14	0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1608-BBZ	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,62	0,14	<0,04	<0,04	0,04	0,01	<0,03	<0,08	0,01
TRO-1308-BCL	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1308-BCR	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2108-BCT	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	<0,56	0,10	<0,04	<0,04	0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1308-BCX	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	3,15	0,07	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1408-BCZ	<0,02	<0,01	<0,12	10,70	<0,12	0,63	0,19	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	0,01
TRO-2308-BDD	<0,02	<0,01	<0,12	13,70	<0,12	<0,56	<0,07	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-2308-BDF	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	<0,56	0,21	<0,04	<0,04	<0,03	0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1208-BDW	<0,01	<0,01	<0,05	9,46	<0,05	<0,22	0,04	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1208-BDY	<0,01	<0,01	<0,05	9,69	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-1508-BDZ	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	<0,56	0,14	<0,04	<0,04	<0,03	0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1508-BEA	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,63	0,20	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	0,01
TRO-1508-BEB	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	0,17	<0,56	0,09	<0,04	<0,04	0,03	<0,01	<0,03	<0,08	0,01
TRO-1908-BED	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,62	0,13	<0,04	<0,04	<0,03	0,01	<0,03	<0,08	0,02
TRO-2407-BSC	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,76	0,24	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-1908-FAF	0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,80	0,07	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	0,01
TRO-2108-FAM	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	<0,56	0,10	0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01

Wasserprobe	Ho 165	Tb 159	Be 9	Cr 52	109 Ag	Cd 111	Sn 118	Nd 146	Gd 157	Er 166	Tm 169	Yb 174	Hf 178	175 Lu
TRO-2707-FKK	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	0,24	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2207-GHW	<0,01	<0,01	<0,05	19,80	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-0208-HS3	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	0,04	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2207-QCF	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2407-QEE	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2607-QEG	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	1,51	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2407-QET	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	<0,22	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2607-QKP	<0,02	<0,01	<0,12	<5,71	<0,12	0,69	0,09	<0,04	<0,04	<0,03	<0,01	<0,03	<0,08	<0,01
TRO-2307-QNT	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	0,56	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2407-QPT	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	0,62	<0,03	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2807-QRW	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	0,80	<0,03	0,04	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
TRO-2307-QS2	<0,01	<0,01	<0,05	<2,28	<0,05	0,76	0,04	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01

n.b. nicht bestimmt
 alle Elemente wurden
 in µg/L bestimmt

Probe	Sr 88	Ba 138	Ca-Titration [mg/L]	Ca (korrigiert)	IC Ca-IC [mg/L]	Ca-Differenz [%]	Mg-Titration [mg/l]	Mg-IC [mg/L]	Mg-Differenz [%]
TRO-2608-BAA	415	232	76,15	75,51	133	42,6	99,67	123	18,7
TRO-2507-BAB	654	243	80,16	79,26	106	24,2	104,53	118	11,4
TRO-1508-BAF	1555	324	88,18	86,30	n.b.	n.b.	116,69	147	20,6
TRO-1308-BAH	1603	423	204,41	202,38	n.b.	n.b.	238,24	316	24,7
TRO-2308-BAL	2103	320	152,30	149,88	n.b.	n.b.	153,15	187	18,2
TRO-1408-BAO	495	20,7	112,22	111,71	n.b.	n.b.	43,76	51	14,4
TRO-1408-BAT	971	62,2	104,21	103,17	n.b.	n.b.	72,93	66	-10,1
TRO-1408-BAU	957	202	72,14	70,99	n.b.	n.b.	123,98	149	16,7
TRO-2108-BAZ	13,6	7,67	16,03	16,01	n.b.	n.b.	204,20	298	31,5
TRO-2308-BBC	114	34,9	52,10	51,96	92	43,4	80,22	92	12,7
TRO-1608-BBF	1779	121	88,18	86,28	n.b.	n.b.	104,53	135	22,4
TRO-1608-BBT	1143	93	64,13	62,89	n.b.	n.b.	89,95	99	8,9
TRO-1608-BBV	3689	68,7	112,22	108,47	n.b.	n.b.	167,74	193	13,1
TRO-1608-BBW	3300	85,7	84,17	80,78	n.b.	n.b.	162,88	193	15,6
TRO-0508-BBX	141	64,1	52,10	51,90	100	48,1	80,22	93	13,8
TRO-1608-BBZ	681	224	96,19	95,29	n.b.	n.b.	80,22	94	14,3
TRO-1308-BCL	712	460	88,18	87,00	n.b.	n.b.	97,24	105	7,1
TRO-1308-BCR	550	183	64,13	63,40	n.b.	n.b.	97,24	119	18,1
TRO-2108-BCT	826	7,77	80,16	79,33	143	43,8	34,03	33	-1,9
TRO-1308-BCX	711	237	100,20	99,25	n.b.	n.b.	99,67	130	23,5
TRO-1408-BCZ	120	33	12,02	11,87	72	83,2	150,72	177	15,1
TRO-2308-BDD	64,6	10,2	16,03	15,96	19	16,5	172,60	231	25,3
TRO-2308-BDF	365	37,2	104,21	103,81	129	19,3	48,62	49	0,5
TRO-1208-BDW	55	13,3	20,04	19,97	82	75,5	131,27	136	3,4
TRO-1208-BDY	65,4	18	48,10	48,01	64	25,0	145,86	189	22,7
TRO-1508-BDZ	2259	79,8	52,10	49,77	111	52,9	63,21	86	26,9
TRO-1508-BEA	1446	233	168,34	166,66	n.b.	n.b.	143,43	153	6,0
TRO-1508-BEB	1371	102	60,12	58,65	111	45,8	68,07	81	16,3
TRO-1908-BED	363	35,1	72,14	71,75	118	38,8	36,47	37	1,7
TRO-2407-BSC	1809	205	124,25	122,23	n.b.	n.b.	150,72	168	10,1
TRO-1908-FAF	201	74,7	64,13	63,85	66	3,0	9,72	15	35,2

Probe	Sr 88	Ba 138	Ca-Titration [mg/L]	Ca (korrigiert)	IC Ca-IC [mg/L]	Ca-Differenz [%]	Mg-Titration [mg/l]	Mg-IC [mg/L]	Mg-Differenz [%]
TRO-2108-FAM	295	18,2	52,10	51,79	68	23,2	26,74	31	12,8
TRO-2707-FKK	164	22,4	64,13	63,94	97	34,2	19,45	21	5,9
TRO-2207-GHW	140	63,1	40,08	39,88	116	65,5	82,65	109	24,4
TRO-0208-HS3	170	308	68,14	67,66	107	36,1	29,17	29	0,8
TRO-2207-QCF	144	57,2	68,14	67,93	79	14,0	24,31	22	-10,7
TRO-2407-QEE	1301	106	108,22	106,81	n.b.	n.b.	172,60	198	12,9
TRO-2607-QEG	496	833	68,14	66,81	n.b.	n.b.	123,98	135	8,1
TRO-2407-QET	1069	154	92,18	90,96	n.b.	n.b.	104,53	112	6,4
TRO-2607-QKP	284	71	56,11	55,76	n.b.	n.b.	19,45	21	8,4
TRO-2307-QNT	864	182	128,26	127,21	n.b.	n.b.	128,84	144	10,5
TRO-2407-QPT	572	382	96,19	95,24	n.b.	n.b.	94,81	91	-3,9
TRO-2807-QRW	166	11,3	60,12	59,94	110	45,2	7,29	14	46,3
TRO-2307-QS2	357	449	80,16	79,35	113	29,2	46,19	58	20,5

n.b. nicht bestimmt

Probe	Cl-Titration [mg/L]	Cl- Ionenchromatographisch [mg/L]	Differenz [%]
TRO-2608-BAA	125,83	123	-2
TRO-2507-BAB	108,00	101	-7
TRO-1508-BAF	388,82	365	-7
TRO-1308-BAH	1077,30	1.028	-5
TRO-2308-BAL	555,11	508	-9
TRO-1408-BAO	178,64	169	-6
TRO-1408-BAT	174,52	170	-3
TRO-1408-BAU	227,32	202	-13
TRO-2108-BAZ	42,17	40,2	-5
TRO-2308-BBC	36,69	32,6	-13
TRO-1608-BBF	196,47	184	-7
TRO-1608-BBT	153,95	149	-3
TRO-1608-BBV	455,68	418	-9
TRO-1608-BBW	349,39	329	-6
TRO-0508-BBX	55,09	55,1	0
TRO-1608-BBZ	149,84	143	-5
TRO-1308-BCL	260,93	233	-12
TRO-1308-BCR	103,89	103	-1
TRO-2108-BCT	48,23	43,8	-10
TRO-1308-BCX	366,87	340	-8
TRO-1408-BCZ	54,52	66,4	18
TRO-2308-BDD	18,17	29,0	37
TRO-2308-BDF	54,17	61,8	12
TRO-1208-BDW	34,97	36,9	5
TRO-1208-BDY	33,94	54,2	37
TRO-1508-BDZ	66,52	65,5	-2
TRO-1508-BEA	287,33	265	-8
TRO-1508-BEB	85,26	81,2	-5
TRO-1908-BED	51,89	54,8	5
TRO-2407-BSC	523,57	494	-6
TRO-1908-FAF	32,23	28,2	-14
TRO-2108-FAM	74,29	67,5	-10
TRO-2707-FKK	59,66	54,5	-9
TRO-2207-GHW	55,20	52,4	-5
TRO-0208-HS3	64,69	65,2	1
TRO-2207-QCF	34,06	31,8	-7
TRO-2407-QEE	452,25	411	-10
TRO-2607-QEG	243,10	214	-13
TRO-2407-QET	262,98	243	-8
TRO-2607-QKP	38,06	32,0	-19
TRO-2307-QNT	304,13	286	-6
TRO-2407-QPT	290,41	268	-8
TRO-2807-QRW	41,37	41,1	-1
TRO-2307-QS2	100,80	95,6	-5

Wasserprobe	NO ₃ -photometrisch ¹⁾	NO ₃ (Korrigiert) ¹⁾	NO ₃ -Ionenchromatogr. ¹⁾	Differenz [%]
TRO-2608-BAA	2,9	12,7	15,6	18
TRO-2507-BAB	0,3	1,3	13,5	90
TRO-1508-BAF	2,9	12,7	40,5	69
TRO-1308-BAH	1,0	4,3	9,7	56
TRO-2308-BAL	22,4	99,2	169	41
TRO-1408-BAO	4,4	19,6	92,9	79
TRO-1408-BAT	17,9	79,0	130	39
TRO-1408-BAU	8,8	38,8	61,3	37
TRO-2108-BAZ	0,4	1,8	1,7	-6
TRO-2308-BBC	0,5	2,2	1,7	-33
TRO-1608-BBF	2,8	12,5	124	90
TRO-1608-BBT	9,9	43,8	55,8	21
TRO-1608-BBV	4,6	20,2	21,0	4
TRO-1608-BBW	4,7	20,7	29,3	30
TRO-0508-BBX	3,3	14,6	19,3	24
TRO-1608-BBZ	15,6	68,9	124	44
TRO-1308-BCL	10,6	47,1	60,6	22
TRO-1308-BCR	1,9	8,4	35,4	76
TRO-2108-BCT	12,9	57,3	85,3	33
TRO-1308-BCX	12,1	53,7	76,3	30
TRO-1408-BCZ	0,8	3,5	6,4	44
TRO-2308-BDD	0,3	1,5	3,0	51
TRO-2308-BDF	11,1	49,3	53,4	8
TRO-1208-BDW	0,2	1,0	0,8	-27
TRO-1208-BDY	0,3	1,3	< 0,5	n.b.
TRO-1508-BDZ	1,9	8,3	13,3	38
TRO-1508-BEA	30,2	133,7	174	23
TRO-1508-BEB	4,0	17,6	32,4	46
TRO-1908-BED	3,4	15,1	14,5	-4
TRO-2407-BSC	10,1	44,7	99,7	55
TRO-1908-FAF	0,1	0,6	0,9	36
TRO-2108-FAM	0,2	0,9	1,1	17
TRO-2707-FKK	0,2	1,0	1,6	36
TRO-2207-GHW	2,8	12,2	19,3	37
TRO-0208-HS3	2,4	10,6	11,0	3
TRO-2207-QCF	0,6	2,7	1,5	-81
TRO-2407-QEE	57,8	255,6	135	-90
TRO-2607-QEG	3,0	13,1	26,5	51
TRO-2407-QET	42,8	189,2	123	-54
TRO-2607-QKP	3,7	16,4	2,0	-702
TRO-2307-QNT	101,5	449,3	330	-36
TRO-2407-QPT	10,7	47,5	65,8	28
TRO-2807-QRW	0,2	1,0	0,8	-31
TRO-2307-QS2	11,4	50,4	86,8	42

¹⁾ in mg/L

n.b. nicht bestimmt

Wasserprobe	el Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$] berechnet	Lf ($\mu\text{S}/\text{cm}$) gemessen	Differenz %
TRO-2608-BAA	1791,76	1265,33	29,38
TRO-2507-BAB	1762,69	1227,33	30,37
TRO-1508-BAF	2808,41	2080,00	25,94
TRO-1308-BAH	5161,30	4220,33	18,23
TRO-2308-BAL	3430,36	2795,67	18,50
TRO-1408-BAO	1612,60	1399,33	13,23
TRO-1408-BAT	1612,43	1464,00	9,21
TRO-1408-BAU	1982,01	1760,00	11,20
TRO-2108-BAZ	1883,47	1370,00	27,26
TRO-2308-BBC	1038,07	932,13	10,21
TRO-1608-BBF	2432,01	1785,33	26,59
TRO-1608-BBT	1851,34	1466,33	20,80
TRO-1608-BBV	3631,93	2611,00	28,11
TRO-1608-BBW	3284,49	2327,33	29,14
TRO-0508-BBX	1365,86	991,80	27,39
TRO-1608-BBZ	1856,71	1342,67	27,69
TRO-1308-BCL	1537,71	1652,67	-7,48
TRO-1308-BCR	1732,29	1366,67	21,11
TRO-2108-BCT	1004,13	968,13	3,58
TRO-1308-BCX	2183,37	2116,00	3,09
TRO-1408-BCZ	1787,78	1272,67	28,81
TRO-2308-BDD	1485,21	1245,00	16,17
TRO-2308-BDF	1262,80	917,23	27,37
TRO-1208-BDW	1471,53	1098,67	25,34
TRO-1208-BDY	1864,82	1199,50	35,68
TRO-1508-BDZ	1318,92	1046,67	20,64
TRO-1508-BEA	3108,52	2214,33	28,77
TRO-1508-BEB	1412,83	1131,00	19,95
TRO-1908-BED	957,75	725,97	24,20
TRO-2407-BSC	3675,67	2703,80	26,44
TRO-1908-FAF	379,73	438,15	-15,38
TRO-2108-FAM	738,26	606,75	17,81
TRO-2707-FKK	693,99	625,48	9,87
TRO-2207-GHW	1018,27	1005,67	1,24
TRO-0208-HS3	973,54	757,87	22,15
TRO-2207-QCF	624,31	524,47	15,99
TRO-2407-QEE	3459,62	2556,40	26,11
TRO-2607-QEG	2031,89	1782,50	12,27
TRO-2407-QET	2211,40	1750,33	20,85
TRO-2607-QKP	637,07	575,20	9,71
TRO-2307-QNT	2518,19	2236,25	11,20
TRO-2407-QPT	2046,61	1747,25	14,63
TRO-2807-QRW	767,00	727,23	5,19
TRO-2307-QS2	1443,92	1181,75	18,16

Wasserprobe	IB ¹⁾	IB ²⁾	IB ³⁾	IB ⁴⁾	E.B. ⁵⁾	I.S. ⁶⁾	E.B/IS % ¹⁾	E.B. ⁵⁾	I.S. ⁶⁾	E.B/IS % ⁴⁾
TRO-2608-BAA	-2,01	14,04	5,08	-2,19	0,00	0,02	-2,74	0,00	0,02	-2,99
TRO-2507-BAB	1,62	9,52	5,37	0,90	0,00	0,02	2,25	0,00	0,02	1,25
TRO-1508-BAF	-14,05	n.b.	-7,73	-14,96	-0,01	0,03	-21,25	-0,01	0,03	-22,68
TRO-1308-BAH	-4,23	n.b.	3,68	-4,33	0,00	0,05	-6,19	0,00	0,05	-6,35
TRO-2308-BAL	-0,36	n.b.	4,94	-2,54	0,00	0,04	-0,51	0,00	0,04	-3,67
TRO-1408-BAO	-13,78	n.b.	-11,17	-17,78	0,00	0,02	-20,01	0,00	0,02	-26,14
TRO-1408-BAT	-4,21	n.b.	-6,54	-7,13	0,00	0,02	-5,90	0,00	0,02	-10,07
TRO-1408-BAU	5,23	n.b.	10,57	4,14	0,00	0,02	7,52	0,00	0,02	5,97
TRO-2108-BAZ	0,16	n.b.	19,41	0,16	0,00	0,02	0,21	0,00	0,02	0,22
TRO-2308-BBC	-5,76	7,87	-0,86	-5,72	0,00	0,01	-8,06	0,00	0,01	-8,01
TRO-1608-BBF	-0,24	n.b.	7,08	-5,61	0,00	0,02	-0,33	0,00	0,02	-7,98
TRO-1608-BBT	-2,09	n.b.	0,48	-2,75	0,00	0,02	-0,30	0,00	0,02	-3,95
TRO-1608-BBV	0,73	n.b.	4,80	0,70	0,00	0,03	1,01	0,00	0,03	0,97
TRO-1608-BBW	-3,07	n.b.	2,33	-3,37	0,00	0,03	-4,33	0,00	0,03	-4,76
TRO-0508-BBX	-6,46	8,78	-1,28	-6,80	0,00	0,01	-9,01	0,00	0,02	-9,49
TRO-1608-BBZ	2,53	n.b.	6,60	-0,78	0,00	0,02	3,47	0,00	0,02	-1,09
TRO-1308-BCL	-1,47	n.b.	0,68	-2,18	0,00	0,02	-2,11	0,00	0,02	-3,13
TRO-1308-BCR	-2,59	n.b.	3,43	-4,02	0,00	0,02	-3,76	0,00	0,01	-14,73
TRO-2108-BCT	-10,33	6,57	-10,86	-12,65	0,00	0,01	-14,73	0,00	0,01	-18,17
TRO-1308-BCX	-6,52	n.b.	-0,02	-7,41	0,00	0,03	-9,68	0,00	0,03	-11,02
TRO-1408-BCZ	-5,09	11,26	2,35	-5,25	0,00	0,02	-7,10	0,00	0,02	-7,32
TRO-2308-BDD	-1,10	13,50	13,11	-1,18	0,00	0,02	-1,50	0,00	0,02	-1,61
TRO-2308-BDF	2,08	7,96	2,08	1,73	0,00	0,01	2,83	0,00	0,01	2,36
TRO-1208-BDW	-4,30	8,65	-2,61	-4,29	0,00	0,02	-5,97	0,00	0,02	-5,95
TRO-1208-BDY	-2,18	11,09	8,90	-2,11	0,00	21,38	0,00	0,00	0,02	-2,90
TRO-1508-BDZ	-2,59	16,98	5,97	-2,97	0,00	0,01	-3,73	0,00	0,01	-4,28
TRO-1508-BEA	3,42	n.b.	5,28	1,86	0,00	0,03	4,47	0,00	0,03	2,44
TRO-1508-BEB	-1,47	12,80	3,17	-2,51	0,00	0,02	-2,10	0,00	0,02	-3,59
TRO-1908-BED	0,12	13,81	0,66	0,18	0,00	0,01	0,17	0,00	0,01	0,26
TRO-2407-BSC	-3,70	n.b.	-0,88	-5,38	0,00	0,03	-5,39	0,00	0,03	-7,87
TRO-1908-FAF	6,87	11,98	11,02	6,81	0,00	0,01	9,30	0,00	0,01	9,23
TRO-2108-FAM	-1,67	7,05	1,02	-1,70	0,00	0,01	-2,35	0,00	0,01	-2,38
TRO-2707-FKK	-3,22	10,13	-1,81	-3,29	0,00	0,01	-4,66	0,00	0,01	-4,77
TRO-2207-GHW	-7,34	17,46	3,02	-7,86	0,00	0,01	-10,26	0,00	0,01	-11,01
TRO-0208-HS3	-8,25	4,51	-8,25	-8,29	0,00	0,01	-11,72	0,00	0,01	-11,78
TRO-2207-QCF	10,81	13,73	9,51	11,00	0,00	0,01	14,63	0,00	0,01	14,88
TRO-2407-QEE	-4,08	n.b.	-0,03	-0,26	0,00	0,04	-5,86	0,00	0,03	-0,37
TRO-2607-QEG	-5,34	n.b.	-2,56	-5,95	0,00	0,02	-7,67	0,00	0,02	-8,56
TRO-2407-QET	-7,01	n.b.	-5,23	-7,01	0,00	0,02	-10,04	0,00	0,02	-10,04
TRO-2607-QKP	7,52	n.b.	8,72	10,14	0,00	0,01	10,19	0,00	0,01	13,63
TRO-2307-QNT	-8,78	n.b.	-5,82	-4,60	0,00	0,03	-12,60	0,00	0,03	-6,52
TRO-2407-QPT	-4,58	n.b.	-5,65	-5,45	0,00	0,02	-6,61	0,00	0,02	-7,88
TRO-2807-QRW	-29,82	-4,65	-24,45	-29,81	0,00	0,01	-46,03	0,00	0,01	-46,01
TRO-2307-QS2	-0,18	10,72	4,18	-2,80	0,00	0,01	-0,26	0,00	0,02	-4,14

1) Calcium, Magnesium und Nitrat volumetrisch bestimmt

2) Calcium ionenchromatographisch, Magnesium und Nitrat volumetrisch bestimmt

3) Magnesium ionenchromatographisch, Calcium und Nitrat volumetrisch bestimmt

4) Calcium und Magnesium volumetrisch, Nitrat ionenchromatographisch bestimmt

5) electric balance

6) ionic strength

Wasserprobe	SiO ₂ [mg/L]	T (SiO ₂ (Am)) ¹⁾	T (SiO ₂ (CriA)) ¹⁾	T (SiO ₂ (CriB)) ¹⁾	T (SiO ₂ (Chalc)) ¹⁾	T (SiO ₂ (Qz)) ¹⁾	T (SiO ₂ (Qz SL)) ¹⁾	T SiO ₂ ¹⁾²⁾
TRO-2608-BAA	22,00	-46,6	17,8	-26,6	35,13	67,1	72,2	59,0
TRO-2507-BAB	25,77	-41,6	23,7	-21,1	41,59	73,2	77,6	65,6
TRO-1508-BAF	17,92	-52,7	10,4	-33,3	27,15	59,4	65,3	50,8
TRO-1308-BAH	19,77	-49,8	13,9	-30,2	30,92	63,0	68,6	54,7
TRO-2308-BAL	16,35	-55,4	7,2	-36,2	23,69	56,0	62,3	47,3
TRO-1408-BAO	31,12	-35,3	31,1	-14,3	49,65	80,9	84,4	73,8
TRO-1408-BAT	28,31	-38,5	27,3	-17,8	45,56	77,0	81,0	69,6
TRO-1408-BAU	17,58	-53,3	9,7	-33,9	26,41	58,7	64,7	50,1
TRO-2108-BAZ	10,31	-67,8	-7,7	-49,8	7,53	40,2	48,2	30,7
TRO-2308-BBC	29,42	-37,2	28,8	-16,4	47,22	78,6	82,3	71,3
TRO-1608-BBF	18,12	-52,4	10,8	-33,0	27,55	59,8	65,7	51,3
TRO-1608-BBT	12,96	-61,8	-0,5	-43,3	15,33	47,9	55,1	38,7
TRO-1608-BBV	15,85	-56,3	6,2	-37,2	22,55	54,9	61,4	46,1
TRO-1608-BBW	18,12	-52,4	10,8	-33,0	27,55	59,8	65,7	51,3
TRO-0508-BBX	23,04	-45,1	19,5	-25,0	36,99	68,8	73,7	60,9
TRO-1608-BBZ	9,04	-71,1	-11,6	-53,4	3,24	36,0	44,3	26,3
TRO-1308-BCL	19,23	-50,7	12,9	-31,1	29,85	62,0	67,6	53,6
TRO-1308-BCR	16,62	-54,9	7,8	-35,7	24,30	56,6	62,9	47,9
TRO-2108-BCT	31,08	-35,3	31,0	-14,3	49,60	80,9	84,3	73,7
TRO-1308-BCX	22,69	-45,6	18,9	-25,5	36,38	68,3	73,2	60,3
TRO-1408-BCZ	51,04	-17,1	52,4	5,6	72,92	102,8	103,4	97,3
TRO-2308-BDD	58,08	-11,9	58,4	11,3	79,55	108,9	108,7	103,9
TRO-2308-BDF	20,23	-49,1	14,7	-29,4	31,82	63,9	69,3	55,6
TRO-1208-BDW	51,54	-16,7	52,8	6,0	73,41	103,2	103,8	97,8
TRO-1208-BDY	48,54	-19,1	50,1	3,4	70,40	100,4	101,4	94,7
TRO-1508-BDZ	19,12	-50,8	12,7	-31,2	29,61	61,8	67,4	53,4
TRO-1508-BEA	10,54	-67,3	-7,0	-49,2	8,26	41,0	48,8	31,5
TRO-1508-BEB	19,69	-49,9	13,7	-30,3	30,76	62,9	68,4	54,5
TRO-1908-BED	19,08	-50,9	12,6	-31,3	29,54	61,7	67,4	53,3
TRO-2407-BSC	17,96	-52,7	10,5	-33,3	27,23	59,5	65,4	50,9
TRO-2207-GHW	22,92	-45,3	19,3	-25,2	36,79	68,7	73,6	60,7
TRO-0208-HS3	12,19	-63,5	-2,4	-45,0	13,21	45,8	53,2	36,6
TRO-2207-QCF	13,23	-61,3	0,2	-42,7	16,06	48,6	55,7	39,5

Wasserprobe	SiO ₂ [mg/L]	T (SiO ₂ (Am)) ¹⁾	T (SiO ₂ (CriA)) ¹⁾	T (SiO ₂ (CriB)) ¹⁾	T (SiO ₂ (Chalc)) ¹⁾	T (SiO ₂ (Qz)) ¹⁾	T (SiO ₂ (Qz SL)) ¹⁾	T SiO ₂ ¹⁾²⁾
TRO-2407-QEE	18,35	-52,0	11,2	-32,6	28,04	60,2	66,1	51,8
TRO-2607-QEG	15,85	-56,3	6,2	-37,2	22,55	54,9	61,4	46,1
TRO-2407-QET	16,00	-56,0	6,5	-36,9	22,90	55,3	61,7	46,5
TRO-2607-QKP	13,92	-59,9	1,9	-41,1	17,86	50,4	57,3	41,3
TRO-2307-QNT	15,77	-56,4	6,0	-37,4	22,37	54,7	61,2	46,0
TRO-2407-QPT	18,00	-52,6	10,6	-33,2	27,31	59,5	65,5	51,0
TRO-2807-QRW	10,00	-68,6	-8,6	-50,6	6,53	39,3	47,3	29,7
TRO-2307-QS2	20,00	-49,5	14,3	-29,8	31,37	63,4	69,0	55,2

¹⁾ in °C

²⁾ nach VERMA (2000)

	Lf	pH	redox	T	TDS	O ₂	Fetot	No ₃	No ₂	PO ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	NH ₄	Na	K	Ca	Mg	F	SiO ₂	Sr	Ba	Rb	Li	U	Ni	Co
Lf		-0,361	-0,082	-0,145	0,999	-0,117	0,056	0,348	0,055	0,078	0,237	0,951	0,597	0,207	0,915	-0,018	0,673	0,821	0,484	-0,058	0,681	0,360	0,086	0,628	0,512	0,474	0,753
pH	-0,361		-0,121	0,142	-0,356	0,158	0,032	-0,167	0,019	-0,221	-0,112	-0,338	-0,097	-0,160	-0,287	-0,018	-0,182	-0,163	-0,152	-0,232	-0,234	-0,292	0,067	-0,250	-0,155	-0,218	-0,483
redox	-0,082	-0,121		-0,023	-0,081	0,112	-0,292	-0,049	-0,281	-0,199	-0,097	-0,085	-0,077	-0,165	-0,118	0,067	-0,028	-0,066	-0,180	-0,018	-0,120	0,035	0,082	-0,110	-0,090	-0,040	-0,138
T	-0,145	0,142	-0,023		-0,150	-0,133	-0,075	-0,093	-0,031	-0,149	0,051	-0,092	-0,201	0,204	-0,116	-0,236	-0,280	-0,098	-0,002	-0,043	-0,286	0,004	-0,227	-0,159	-0,105	-0,070	-0,136
TDS	0,999	-0,356	-0,081	-0,150		-0,117	-0,054	0,335	0,047	0,070	0,228	0,958	0,592	0,206	0,916	-0,017	0,681	0,815	0,473	-0,063	0,678	0,353	0,087	0,623	0,503	0,476	0,756
O ₂	-0,117	0,158	0,112	-0,133	-0,117		-0,111	0,271	-0,077	-0,061	-0,235	-0,119	-0,071	-0,054	-0,090	0,901	0,110	-0,227	-0,073	-0,106	-0,124	0,253	0,760	-0,061	-0,095	-0,183	-0,086
Fetot	0,056	0,032	-0,292	-0,075	-0,054	-0,111		-0,168	0,344	0,512	0,074	-0,051	-0,109	0,268	-0,078	0,052	0,007	0,008	0,133	0,027	-0,052	0,069	-0,082	-0,056	-0,171	-0,199	-0,124
No ₃	0,348	-0,167	-0,049	-0,093	0,335	0,271	-0,168		0,215	-0,099	-0,289	0,274	0,510	0,195	0,344	0,181	0,601	0,086	0,168	-0,201	0,288	0,252	0,254	0,135	0,062	0,201	0,545
No ₂	0,055	0,019	-0,281	-0,031	0,047	-0,077	0,344	0,215		0,162	0,090	-0,024	0,231	0,279	-0,023	0,113	0,180	0,098	0,032	-0,123	-0,004	0,018	-0,029	-0,036	-0,070	-0,070	0,105
PO ₄	0,078	-0,221	-0,199	-0,149	0,070	-0,061	0,512	-0,099	0,162		0,311	-0,012	0,136	0,073	0,050	0,065	-0,065	0,204	0,282	0,161	0,208	0,153	-0,178	0,214	0,163	-0,086	-0,037
HCO ₃	0,237	-0,112	-0,097	0,051	0,228	-0,235	0,074	-0,289	0,090	0,311		0,106	-0,137	-0,040	0,039	-0,034	-0,272	0,576	0,043	0,550	-0,027	-0,020	-0,076	0,013	0,148	0,334	-0,095
Cl	0,951	-0,338	-0,085	-0,092	0,958	-0,119	-0,051	0,274	-0,024	-0,012	0,106		0,501	0,206	0,909	-0,025	0,702	0,671	0,432	-0,174	0,627	0,358	0,073	0,569	0,398	0,426	0,787
SO ₄	0,597	-0,097	-0,077	-0,201	0,592	-0,071	-0,109	0,510	0,231	0,136	-0,137	0,501		0,237	0,676	-0,076	0,444	0,457	0,410	-0,289	0,737	0,033	-0,020	0,707	0,617	0,280	0,563
NH ₄	0,207	-0,160	-0,165	0,204	0,206	-0,054	0,268	0,195	0,279	0,073	-0,040	0,206	0,237		0,208	0,071	0,293	0,145	0,278	-0,027	0,054	0,212	0,087	0,014	0,054	0,064	0,204
Na	0,915	-0,287	-0,118	-0,116	0,916	-0,090	-0,078	0,344	-0,023	0,050	0,039	0,909	0,676	0,208		-0,038	0,661	0,651	0,659	-0,298	0,784	0,284	0,086	0,767	0,575	0,311	0,708
K	-0,018	-0,018	0,067	-0,236	-0,017	0,901	0,052	0,181	0,113	0,065	-0,034	-0,025	-0,076	0,071	-0,038		-0,231	-0,141	-0,022	-0,088	-0,037	0,387	0,839	0,010	-0,101	-0,293	-0,111
Ca	0,673	-0,182	-0,028	-0,280	0,681	0,110	0,007	0,601	0,180	-0,065	-0,272	0,702	0,444	0,293	0,661	-0,231		0,359	0,302	-0,367	0,486	0,395	0,371	0,331	0,192	0,052	0,543
Mg	0,821	-0,163	-0,066	-0,098	0,815	-0,227	0,008	0,086	0,098	0,204	0,576	0,671	0,457	0,145	0,651	-0,141	0,359		0,336	0,288	0,483	0,194	-0,039	0,450	0,513	0,534	0,371
F	0,484	-0,152	-0,180	-0,002	0,473	-0,073	0,133	0,168	0,032	0,282	0,043	0,432	0,410	0,278	0,659	-0,022	0,302	0,336		-0,315	0,451	0,227	0,059	0,548	0,437	-0,088	0,271
SiO ₂	-0,058	-0,232	-0,018	-0,043	-0,063	-0,106	0,027	-0,201	-0,123	0,161	0,550	-0,174	-0,289	-0,027	-0,298	-0,088	-0,367	0,288	-0,315		-0,234	-0,251	-0,145	-0,262	0,010	0,402	-0,253
Sr	0,681	-0,234	-0,120	-0,286	0,678	-0,124	-0,052	0,288	-0,004	0,208	-0,027	0,627	0,737	0,054	0,784	-0,037	0,486	0,483	0,451	-0,234		0,084	0,111	0,911	0,709	0,129	0,543
Ba	0,360	-0,292	0,035	0,004	0,353	0,253	0,069	0,252	0,018	0,153	-0,020	0,358	0,033	0,212	0,284	0,387	0,395	0,194	0,227	-0,251	0,084		0,353	0,115	-0,029	-0,143	0,212
Rb	0,086	0,067	0,082	-0,227	0,087	0,760	-0,082	0,254	-0,029	-0,178	-0,076	0,073	-0,020	0,087	0,086	0,839	0,371	-0,039	0,059	-0,145	0,111	0,353		0,089	0,008	-0,405	-0,140
Li	0,628	-0,250	-0,110	-0,159	0,623	-0,061	-0,056	0,135	-0,036	0,214	0,013	0,569	0,707	0,014	0,767	0,010	0,331	0,450	0,548	-0,262	0,911	0,115	0,089		0,762	0,076	0,444
U	0,512	-0,155	-0,090	-0,105	0,503	-0,095	-0,171	0,062	-0,070	0,163	0,148	0,398	0,617	0,054	0,575	-0,101	0,192	0,513	0,437	0,010	0,709	-0,029	0,008	0,762		0,107	0,278
Ni	0,474	-0,218	-0,040	-0,070	0,476	-0,183	-0,199	0,201	-0,070	-0,086	0,334	0,426	0,280	0,064	0,311	-0,293	0,052	0,534	-0,088	0,402	0,129	-0,143	-0,405	0,076	0,107		0,526
Co	0,753	-0,483	-0,138	-0,136	0,756	-0,086	-0,124	0,545	0,105	-0,037	-0,095	0,787	0,563	0,204	0,708	-0,111	0,543	0,371	0,271	-0,253	0,543	0,212	-0,140	0,444	0,278	0,526	

signifikant zum Signifikanzniveau 0.01

signifikant zum Signifikanzniveau 0.01

signifikant zum Signifikanzniveau 0.01

