

MOBILISATION VON SCHWERMETALLEN IM BEREICH
RHEINHESSISCHES HÜGELLAND ALS FOLGE
ANTHROPOGEN BEDINGTEN NITRATEINTRAGES - FOLGEN
FÜR DEN GRUNDWASSERSCHUTZ ?

Dissertation
zur Erlangung des Grades
„Doktor der Naturwissenschaften“
am Fachbereich Geowissenschaften
der Johannes Gutenberg – Universität
in Mainz

vorgelegt von
Harald Schmitt
geb. in Mainz

Mainz
Januar 2001

1. Berichtstatter:

2. Berichtstatter:

Tag der mündlichen Prüfung: 10.04.2001

Erklärung

Hiermit versichere ich gemäß § 11 (3) der Promotionsordnung vom 30. April 1990, daß ich diese als Dissertation vorgelegte Arbeit selbständig verfaßt und alle benutzten Hilfsmittel und Quellen in der Arbeit angegeben habe. Sie ist weder als Prüfungsarbeit für eine andere Prüfung noch ganz oder teilweise als Dissertation an einer anderen Fakultät oder einem anderen Fachbereich eingereicht worden.

Mainz, den

(Harald Schmitt)

Danksagung

Ich danke meinem Mentor Herrn Prof. Dr. D. Schenk für die Anregung zu dieser Arbeit und die zahlreichen Diskussionen, die immer mit einer großzügigen Unterstützung verbunden waren. Herrn Prof. Dr. J. Preuß sei herzlichst für die Übernahme des Coreferats gedankt.

Besonderen Dank gilt allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Angewandte Geologie, die mir während der ganzen Zeit bei Fragen und Problemen zur Seite standen. Bei Diskussionen erfuhr ich viele Anregungen und Hilfen durch Dr. Th. Hofmann, Dr. H. Knoke, sowie meinen Kollegen Frau Dipl. Geogr. S. Simon, Dr. F. Enzmann, Dipl. Geol. W. Bott und Dipl. Hydr. M. Karnuth. Für die Hilfe bei zahlreichen Analysen im Hydrochemischen Labor gilt besonders Frau C. Berg und Frau A. Steil herzlichen Dank.

Der Energie- und Wasserversorgungs-GmbH Alzey danke ich besonders für die finanziellen und materiellen Unterstützungen bei den Untersuchungen in der Umgebung von Alzey. Insbesondere den zahlreichen Mitarbeitern, die mir tatkräftig und sachkundig bei den Geländearbeiten unter die Arme griffen. Dank gebührt auch den Mitarbeitern des Geologischen Landesamtes und des Landesamts für Wasserwirtschaft für die Recherchen im Bohrarchiv und die Analyse einiger Schwermetalle, was unkompliziert ermöglicht werden konnte.

Dank gebührt außerdem dem DFG-Graduiertenkolleg „Kreisläufe und Austauschprozesse von Stoffen in der Umwelt“ sowie dem Umweltzentrum der Universität Mainz, die diese Arbeit erst durch ihre Finanzierungen ermöglichten.

Meine Eltern H. und E. Schmitt brachten immer viel Geduld auf und unterstützten mich wo Sie nur konnten. Meiner Frau Dominique und meinem Sohn Niklas danke ich für ihr Verständnis und Ihre Liebe, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Kurzfassung

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war eine hydrogeologische Untersuchung zur Herkunftsbestimmung der Grundwässer im Raum Alzey/Rheinhessen. Ein erster Anlaß zu weiteren Untersuchungen war durch erhöhte Schwermetallgehalte in den Rohwässern gegeben. Im Alzeier Raum können Kluftgrundwasserleiter (Rotliegendes und z.T. verkarstetes Kalktertiär) sowie Porengrundwasserleiter (Tertiäre Meeressande und Ablagerungen des Quartärs) unterschieden werden. Aufgrund der Lösungsinhalte ergibt sich eine Typisierung in erdalkalische Hydrogenkarbonatwässer bzw. Austauschwässer, bei denen Erdalkalien durch Alkalien ersetzt wurden. Mit verschiedenen Grundwassermodellierungen konnten mögliche „Grundwasserneubildungs-Pfade“ aufgezeigt werden. Die 1996 durchgeführte Herabsetzung des Arsengrenzwertes zwang viele Versorgungsunternehmen weitere Verfahrenstechniken zur Grundwasseraufbereitung anzuwenden. Es zeigten sich erhebliche Schwierigkeiten bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie bezogen auf das lokale Untersuchungsgebiet Alzey. Schwermetallmobilisationen im Untergrund können aufgrund anthropogen eingetragener Nitrate im sonst reduzierenden Milieu ermöglicht werden. Mittels Tritium- und FCKW-Analysen konnten Alter bzw. Verweilzeiten der Wässer bestimmt werden. Zusammen mit den Werten von Deuterium und Sauerstoff-18, Schwefel-34 und Sauerstoff-18 aus dem im Wasser gelösten Sulfat und Stickstoff-15 und Sauerstoff-18 aus dem im Wasser gelösten Nitrat, konnten Aussagen über Änderungen im Aquifermilieu getroffen werden. Es zeigte sich, daß selbst bei einem völligen Stop des Düngemiteleintrages, die Schwermetallmobilisationen in Grundwässern im Bereich Rheinhesisches Hügelland innerhalb der nächsten 30 Jahre nicht abnehmen werden.

Abstract

The objective of this work was to trace the origin of heavy metals in the groundwater from the Rhine-Hesse region in Rhineland-Palatinate/Germany. It was possible to differentiate pore-aquifers of tertiary sea-sands and quaternary sediments respectively as well as fissured-aquifers of tertiary limestones and permic depositions. Chemically, the groundwaters are characterized by an exchange of alkaline earth metals with alkali metals, which is reflected in their contents of solutes. With the aid of different groundwater models it was possible to determine potential groundwater regeneration paths. It is difficult to introduce the new ec-groundwater quality guideline ("EG-Grundwasserrahmenrichtlinie") for the Alzey research area. Heavy metal mobilization in the subsurface area may take place due to the occurrence of anthropogenic nitrates, which alter the reducing environment and as a consequence favour the solubility of the heavy metals under oxidizing conditions.

Together with isotope- and CFC-analyses it is also feasible to determine the age and chemical change of groundwaters. Assuming the immediate cessation of N-fertilization in the Rhine-Hesse area, the impact of heavy metal mobilization on the groundwater would be detectable for approximately the next thirty years since large amounts of nitrates are still present in the soils.

DANKSAGUNG	IV
KURZFASSUNG	V
ABSTRACT	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XI
1. EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEM- BZW. AUFGABENSTELLUNG.....	1
1.2 EU - WASSERRAHMENRICHTLINIE (WRRL)	4
2. DAS ARBEITSGEBIET	7
2.1 GEOLOGISCHE SITUATION.....	7
2.1.1 <i>Das Saar-Nahe-Becken (SNB)</i>	7
2.1.2 <i>Das Mainzer Becken</i>	7
2.1.3 <i>Geographischer und geomorphologischer Überblick</i>	11
2.1.4 <i>Historischer (Quecksilber) Bergbau</i>	11
2.1.5 <i>Luftbilddauswertung- Tektonik</i>	14
2.2 HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK	17
2.2.1 <i>Rotliegend-Sedimente und Magmatite</i>	17
2.2.2 <i>Tertiäre Meeressande</i>	18
2.2.3 <i>Tertiäre Kalksteine</i>	18
2.2.4 <i>Quartäre Porengrundwasserleiter</i>	18
2.3 NITRATPROBLEMATIK -DÜNGEMITTELEINTRAG.....	19
3. MATERIAL UND METHODIK	22
3.1 PROBENNAHME AN DEN BRUNNEN UND QUELLEN.....	22
3.2 PROBENNAHME FÜR DIE QUANTITATIVE GASANALYTIK.....	23
3.3 PUMPVERSUCHE.....	24
3.4 CHEMISCHE ANALYSEN DER WÄSSER.....	24
3.5 ISOTOPE UND FCKW	25
3.5.1 <i>Deuterium und Sauerstoff-d^2O</i>	26
3.5.2 <i>Tritium</i>	28
3.5.3 <i>d^4S und d^8O aus dem Sulfatschwefel</i>	30
3.5.4 <i>d^5N und d^8O aus dem Nitratstickstoff</i>	32
3.5.5 <i>Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)</i>	34
4. ERGEBNISSE	37
4.1 GRUNDWASSERHAUSHALT	37
4.1.1 <i>Niederschlag</i>	37
4.1.2 <i>Evapotranspiration (Gesamtverdunstung)</i>	37
4.1.3 <i>Unterirdischer- und oberirdischer Abfluß</i>	38
4.1.4 <i>Grundwasserhaushalts- Bilanzierung</i>	42

4.2	ANALYSEN.....	43
4.2.1	Chemische Analysen der Brunnenwässer.....	43
4.2.2	Analysen der Quellwässer.....	49
4.2.3	Schwermetallanalysen ausgesuchter Grundwassermessstellen.....	56
4.2.4	TOC Analysen.....	56
4.2.5	Gasanalysen.....	57
4.2.6	Isotopie der Grundwässer.....	57
4.2.7	FCKW-Gehalte der Grundwässer.....	59
4.2.8	RFA-Analysen.....	60
5.	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	61
5.1	PHREEQC - BERECHNUNGEN DER WÄSSER.....	61
5.1.1	Vorgehensweise.....	62
5.1.2	Niederschlag.....	62
5.1.3	Pfad Niederschlag - „Tertiärwasser“.....	64
5.1.4	Pfad „Niederschlag - Rotliegend-Wasser“.....	66
5.1.5	Pfad „Tertiär – Rotliegend - Mischwasser“.....	68
5.1.6	Hypothetische Tiefenwassereinflüsse.....	69
5.1.7	Sulfidoxidation.....	71
5.1	ISOTOPIE DER GRUNDWÄSSER.....	74
5.1.1	Datierung der Grundwässer mittels Tritium.....	74
5.1.2	Datierung der Wässer mittels FCKW- Bestimmung der Jungwasseranteile und Verweilzeiten.....	75
5.1.3	Untersuchung der stabilen Isotope.....	82
5.1.4	Herkunft des im Wasser gelösten Sulfats.....	83
5.1.5	Herkunft des im Wasser gelösten Nitrats.....	84
5.2	HYDROGEOLOGISCHE PARAMETER.....	85
5.3	CHEMISMUS DER GRUNDWÄSSER.....	85
5.4	MINERALWÄSSER IM RAUM ALZEY- IONENAUSTAUSCH.....	87
5.5	HERKUNFT DER SCHWERMETALLHALTIGEN WÄSSER.....	89
6.	GRUNDWASSERBILANZIERUNG - MODELLVORSTELLUNG.....	92
7.	GENESE DER WÄSSER.....	100
8.	BEDEUTUNG FÜR DEN GRUNDWASSERSCHUTZ.....	103
9.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	106
10.	LITERATURVERZEICHNIS.....	109
11.	ANHANG.....	117
11.1	BOHRPROFILE IM RAUM ALZEY – ÜBERSICHT.....	92
11.2	ANALYSEN DER GRUNDWÄSSER.....	141
11.3	HOCH- UND RECHTSWERTE DER PROBENNAHME-LOKATIONEN.....	155

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Schematische Darstellung einer möglichen Schwermetallmobilisation aufgrund anthropogen bedingten Nitratreintrages	2
Abb. 2-1: Geologische Übersicht (HANEKE, 1987)	7
Abb. 2-2: Stratigraphisches Säulenprofil des Alzeyer Horstes (verändert aus einem Manuskriptdruck der geologischen Karte des Blattes Alzey), Bet = Bohnerzton; RT = Rhyolithuff	10
Abb. 2-3: Ehemalige Bergbaugebiete im Raum Alzey (verändert nach MARTIN, G.P.R. 1968)	12
Abb. 2-4: Darstellung aller Photolineationen als Streichrichtungsrose mit a) Längenberücksichtigung (N = 9434) und b) ohne Längenwichtung (N = 1036), nach WALTER (1998)	14
Abb. 2-5: Das rezente Hauptbeanspruchungssystem Mitteleuropas (AHORNER, 1975)	15
Abb. 2-6: Regionale Richtungsverteilung der Photolineationen (verändert nach WALTER, 1998)	16
Abb. 3-1: Deuterium und Sauerstoff-18 Konzentrationen in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge und Temperatur der Station Koblenz (Quelle: GNIP database, IAEA 1998)	27
Abb. 3-2: Meteoric water line der Meßstation Koblenz, Monatsmittelwerte der Jahre 1974-1995 (IAEA, 1998)	28
Abb. 3-3: Tritiummonatsmittelwerte der Station Stuttgart der Jahre 1961-1995 (IAEA, 1998)	30
Abb. 3-4: Die $\delta^{34}\text{S}$ -Zusammensetzung aus Sulfatschwefel von marinen Evaporiten im Laufe der Erdgeschichte (KROUSE, 1980)	31
Abb. 3-5: $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Nitraten verschiedener Herkunft (nach SCHMIDT, VOERKELINS & AMBERGER, 1992)	33
Abb. 3-6: Atmosphärische CCl_4 -, F11-, F12- und F113- Konzentrationen (nach BULLISTER, WISEGARVER & MENZIA, 1999)	34
Abb. 3-7: Verlauf der erwarteten F12-Konzentration gegen die F11-Konzentration am Beispiel eines nitratbelasteten Aquifers (OSTER, 1996 b)	35
Abb. 4-1: Lage der wichtigsten Vorfluter (verändert nach LfW, 1993)	39
Abb. 4-2: Abflußkurve des Wiesbaches bei Uffhofen	40
Abb. 4-3: Abflußkurve des Wiesbaches bei Gensingen	40
Abb. 4-4: Abflußkurve des Appelbaches bei Bosenheim	41
Abb. 4-5: Abflußkurve des Appelbaches bei Gaugrehweiler	41
Abb. 4-6: Abflußkurve der Selz bei Alzey	41
Abb. 4-7: pH – Wert Verteilung der Brunnenwässer	43
Abb. 4-8: Redoxpotentialverteilung der Brunnenwässer (in mV)	44
Abb. 4-9: Verteilung der spezifischen Leitfähigkeit der Brunnenwässer (in $\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	45
Abb. 4-10: Temperaturverteilung der Brunnenwässer ($^{\circ}\text{C}$)	45
Abb. 4-11: Temperatur gegen Brunnentiefe	46
Abb. 4-12: Verteilung der Gesamtionenkonzentrationen der Brunnenwässer (in mmol (eq/l))	47
Abb. 4-13: PIPER-Diagramm der Brunnenwässer	48
Abb. 4-14: SCHÖLLER-Diagramm der Brunnenwässer	49
Abb. 4-15: pH – Wert Verteilung der Quellwässer	50
Abb. 4-16: Redoxpotentialverteilung der Quellwässer (in mV)	51

Abb. 4-17: Verteilung der spezifischen Leitfähigkeit der Quellwässer (in $\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	52
Abb. 4-18: Temperaturverteilung der Quellwässer (in $^{\circ}\text{C}$)	52
Abb. 4-19: Verteilung der Gesamtionenkonzentrationen der Quellwässer (in mmol (eq/l))	53
Abb. 4-20: PIPER-Diagramm der Quellwässer.....	54
Abb. 4-21: SCHÖLLER-Diagramm der Quellwässer.....	55
Abb. 4-22: TOC-Gehalte der untersuchten Wässer.....	56
Abb. 4-23: Schwermetallgehalte in Pumpenablagerungen aus Heimersheim (120 m Teufe) und Flonheim (50 m Teufe)	60
Abb. 5-1: Modellhafte Sulfidoxidation durch Nitratzugabe.....	72
Abb. 5-2: Mineralisationen der modellierten Wässer im modifizierten Schöller-Diagramm	73
Abb. 5-3: Gemessene Tritiumgehalte der Grundwasserproben (Fehlerbalken entsprechen der analytischen $2\text{-}\sigma$ Abweichung der Messung).....	75
Abb. 5-4: F11/F12-Verhältnisse der untersuchten Wässer.....	77
Abb. 5-5: Korrelationsdiagramm zwischen Tritium und F12-Gehalt	80
Abb. 5-6: Meteorische Niederschlagsgerade (MWL) für den Raum Alzey, zusätzlich dargestellt ist die MWL (gestrichelt) für den europäischen kontinentalen Raum (nach CRAIG, 1961a, 1961b).....	82
Abb. 5-7: Isotopenuntersuchungen am gelösten Sulfat der Wässer.....	83
Abb. 5-8: Isotopie des gelösten Nitrats	84
Abb. 5-9: Tektonische Strukturskizze des Mainzer-Beckens (STAPF, 1988).....	87
Abb. 5-10: Schwermetallmobilisation durch die Infiltration sauerstoffreichen Wassers	91
Abb. 6-1: Schematisches Bilanzmodell.....	96
Abb. 6-2: Sulfat und Hydrogenkarbonaterhöhung am Beispiel des Brunnen Flonheim	97
Abb. 6-3: Schematische Darstellung der Nitratumsetzungen	99
Abb. 7-1: Schematische Darstellung zur Genese der Wässer (verändert nach HÖLTING, 1989)	102

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1: Gefundene Elementkonzentrationen aus ca. 2600 Bodenproben im Pfälzer Bergland (verändert nach KOZIOL, 1997)	3
Tab. 2-1: Die Stratigraphie des Rotliegenden (STAPF, 1990) und des Tertiärs (ROTHAUSEN & SONNE, 1984).....	9
Tab. 3-1: Übersicht über die zu analysierenden Ionen	24
Tab. 3-2: Vergleich physikalischer Eigenschaften von H ₂ O und D ₂ O (BREUER, 1994).....	25
Tab. 3.3: Nuklide des Wasserstoffs und des Sauerstoffs und deren Häufigkeit in Seewasser (nach MAZOR, 1997)	26
Tab. 4-1: Grundwasserhaushalt der Jahre 1986 - 1995 (Monatsmittel).....	42
Tab. 4-2: Schwermetallanalysen ausgesuchter Grundwassermeßstellen	56
Tab. 4-3: Übersicht der Ergebnisse der quantitativen Gasanalytik.....	57
Tab. 4-4: Ergebnisse der Isotopenanalysen der Grundwässer (Zusammenstellung aus den Messungen von 1998 und 1999).....	58
Tab. 4-5: FCKW - Gehalte der untersuchten Proben.....	59
Tab. 5-1: Korrektur des Hydrogenkarbonatgehaltes – PHREEQC Lauf 1: Gleichgewicht bei einem Kohlendioxid-Partialdruck von 10 ^{-3,4} bar.....	63
Tab. 5-2: Darstellung einiger Sättigungsindizes PHREEQC – Niederschlag	64
Tab. 5-3: Lösungszusammensetzungen bei variiertem Kohlendioxid-Partialdruck und konstantem pH-Wert.....	64
Tab. 5-4: Festphasen und Sättigungsindizes (“Tertiär”).....	65
Tab. 5-5: Festphasen und Sättigungsindizes (“Rotliegend”).....	66
Tab. 5-6: Lösungszusammensetzung eines „Rotliegend-Wassers“	66
Tab. 5-7: Auswahl einiger Sättigungsindizes des „Rotliegend-Wassers“	67
Tab. 5-8: Mischungen von „Tertiär- und Rotliegendwässern“	68
Tab. 5-9: Mischungen ohne Gleichgewichtssetzung.....	69
Tab. 5-10: Hypothetische Tiefenwasserzusammensetzung.....	70
Tab. 5-11: Chemische Zusammensetzung des Brunnenwassers Lonsheim	71
Tab. 5-12: Berechnete Jungwasseranteile in Prozent, basierend auf den gemessenen FCKW-Gehalten (<i>kursiv gedruckte Werte deuten auf eine zusätzliche F12/F11-Kontamination hin</i>).....	76
Tab. 5-13: Mittlere Verweilzeiten basierend auf den gemessenen FCKW-Gehalten.....	79
Tab. 5-14: Mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte der verschiedenen Grundwasserleiter (MEIER-HARTH & SCHMITT, 1999).....	85
Tab. 5-15: Nickel-, Arsen-, Eisen- und Nitratanalysen des Brunnen Flonheim	90
Tab. 6-1: Flächenanteil der geologischen Formationen – Blatt Alzey 6214	92
Tab. 6-2: Grundwasserneubildungsraten	93

1. Einleitung

1.1 Problem- bzw. Aufgabenstellung

Grund- und Quellwässer stellen mit fast 73 % den größten Anteil an der Trinkwasserversorgung der Bundesrepublik Deutschland (FÖRSTNER, 1995), 27 % werden durch Uferfiltrat, angereichertes Grundwasser und der Oberflächenwassernutzung abgedeckt. Nach LAWA (1997) ist die nachhaltige Nutzung der Gewässer als begrenzt verfügbare Ressource unverzichtbar für die Sicherung der Gesundheit der Bevölkerung sowie der wirtschaftlichen Entwicklung der Gemeinschaft. Neben punktuellen Belastungen sind vor allem diffuse Belastungen des Grundwassers durch großflächige Einträge von zunehmender Bedeutung. Für die weit verbreiteten und besonders empfindlichen Kluftgrundwasserleiter im Rheinhessischen Tafel- und Hügelland besteht ein Forschungsbedarf zu grundlegenden und methodischen Aspekten der Erfassung der Strömungsverhältnisse, der Mechanismen des Stofftransports und der Wechselbeziehungen mit der Gesteinsmatrix. Die Ausbringung von Nitrat und stickstoffhaltigen Produkten aus der Landwirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten zu einer starken Beeinflussung des Grundwasserbereichs geführt. Mikrobiologische Umsetzungen von Stickstoffverbindungen und ihre Auswirkungen auf die Hydrochemie in Aquiferen gehören damit zu den dringlichen Problemen der Grundwasserqualität. Je nach den Gegebenheiten des Stoffeintrages und den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen können lokale Grundwasserbelastungen großräumig und langfristig verfrachtet werden und somit regionale Auswirkungen hervorrufen, durch die die Nutzung der Grundwasserleiter beeinträchtigt oder ausgeschlossen werden. Die Erfassung des Transports reaktiver Substanzen, welche miteinander oder mit dem durchströmten Boden oder Gestein in Wechselwirkung treten, ist noch weitgehend ungelöst. Dies gilt besonders für die mikrobiologischen Prozesse im Boden- und Grundwasser, die zu den wesentlichen natürlichen Selbstreinigungsprozessen gehören (DFG, 1995).

Anhand der in der Vergangenheit gesetzlich vorgeschriebenen Untersuchungen der Trinkwasserförderungsanlagen im Raum Alzey zeigten sich in verschiedenen Rohwasseranalysen Anzeichen von Schwermetallerhöhungen. Dieser Anlaß zu weiteren Untersuchungen zeigte, daß es nicht möglich war, lokal übergreifende Aussagen über verschiedene Grundwassertypen und die damit verbundenen geologischen und hydrologischen Gegebenheiten zu machen. Das Arbeitsgebiet ist vor 1996 nur aus geologischer, noch intensiver aus paläontologischer Sicht, untersucht worden. Die hydrogeologische Sicht spielte nur eine untergeordnete Rolle. Eine geologische Karte ist Jahr 1999 vom Geologischen Landesamt Mainz herausgegeben worden.

Um das regional sehr unterschiedliche hydrogeologische System beschreiben zu können, sollen die Grundwässer, sowie die geologischen und hydrogeologischen Zusammenhänge einer genaueren Untersuchung unterzogen werden. Die für die Region typische geologische Situation einer tertiären Überlagerung von Rotliegend-Sedimenten und Magmatiten und die daraus resultierenden Mischwasserglieder sollen voneinander getrennt und Anteile der jeweiligen Mischwasserkomponenten ermittelt werden. Der Zusammenhang zwischen Mineralisationen (Fahlerzen) im Untergrund und erhöhten Schwermetallgehalten im Grundwasser wird mittels Isotopenanalysen untersucht. Damit soll die Mobilisierbarkeit von

Schwermetallen aufgrund der besonderen hydrogeologischen Situation aufgezeigt werden. Abbildung 1-1 zeigt eine schematische Darstellung einer möglichen Schwermetallmobilisation aufgrund anthropogen bedingten Nitratreintrages durch die Landwirtschaft.

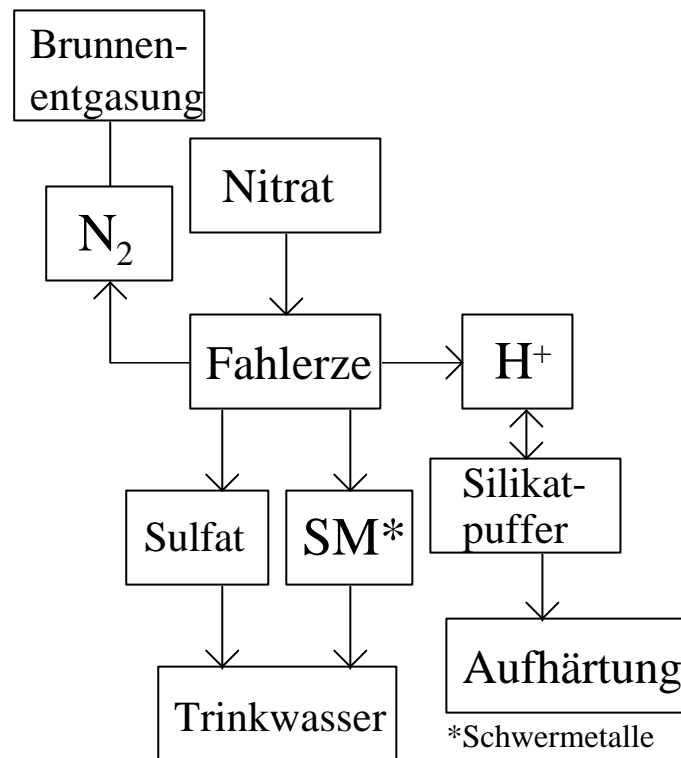


Abb. 1-1: Schematische Darstellung einer möglichen Schwermetallmobilisation aufgrund anthropogen bedingten Nitratreintrages

In verschiedenen Wässern sind seit den siebziger Jahren eine Erhöhung von Schwermetallen und eine wahrscheinlich daraus resultierende Sulfaterhöhung beobachtet worden. Insbesondere Arsen- und Nickelkonzentrationen haben die Grenzwerte in den Rohwässern zeitweise überschritten (SCHMITT, 1996).

In langjährigen Untersuchungen konnte die Arbeitsgruppe Mineralogie (VON PLATEN, H.; HOFMEISTER; W.) an Boden- und Haldenproben in der unmittelbaren Umgebung des Untersuchungsgebietes erhöhte Quecksilber-, Arsen- und Antimonkonzentrationen nachgewiesen werden. Die Lage dieser Proben deckt sich ungefähr mit dem Verlauf der alten Stollen und Pingen und dokumentieren eine oberflächennahe Vererzung. Nachgewiesen wurden folgende mit der Hg-As-Sb-Vererzung vergesellschafteten Schwermetalle (Tab. 1-1).

Tab. 1-1: Gefundene Elementkonzentrationen aus ca. 2600 Bodenproben im Pfälzer Bergland (verändert nach KOZIOL, 1997)

Element	Feststoffkonzentration in ppm
Hg	5400
As	321
Sb	381
Cu	136
Zn	176
Fe	8020
Ag	1,67
Ba	730
Pb	48
Cd	2
Sn	5
Se	0,6
Ni	0,507
Te	0,037
V	415
Cr	517
Co	55
Ni	189
Ga	30
Rb	131
Sr	500
Y	37
Zr	383
Nb	20
La	50
Ce	90
Pr	9
Nd	37
Sm	9
S	1900

Die gefundenen Schwermetall-Höchstkonzentrationen von Bodenproben des Pfälzer Berglandes nach Tabelle 1-1 gaben den Anlaß für weitere Untersuchungen. Bisherige Untersuchungen von SCHMITT (1996), BOTT (1998), WALTER (1998) und JÄGER (1998) haben in ihren Wasseranalysen erhöhte Alkali- und Erdalkaligehalte, sowie erhöhte Eisen-, Mangan- und Arsenwerte festgestellt. Nitrat hingegen ist in tiefer liegenden Grundwässern nicht nachweisbar, wobei bei verschiedenen Quellen ein Anstieg zu verzeichnen ist.

Diese Arbeit soll einen Beitrag zum Verständnis der hydrogeologischen und hydrologischen Zusammenhänge im Großraum Alzey liefern. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie, die einen transparenten, effizienten und kohärenten Rahmen für die gemeinschaftliche Wasserpolitik schaffen soll, wird für den lokalen Fall Alzey überprüft. Möglichkeiten für einen effizienten Grundwasserschutz werden ggf. aufgezeigt.

1.2 EU - Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

Ungefähr 55 % der Gesamtfläche Deutschlands wird als landwirtschaftliche Nutzfläche-, ca. 30 % als Waldfläche- und ca. 11 % als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt. Flächeninanspruchnahme und nutzungsbedingte stoffliche sowie strukturelle Belastungen können das Leistungsvermögen des Naturhaushaltes erheblich einschränken (SRU, 1996).

Nach §1 Wasserhaushaltsgesetz ist das Grundwasser mit seinen essentiellen Funktionen im Naturhaushalt flächendeckend zu schützen. Es ist unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit so zu schützen, daß die Qualität des nicht verunreinigten Grundwassers erhalten bleibt und eine weitere Schädigung von bereits verunreinigtem Grundwasser verhindert bzw. saniert wird (LAWA, 1997). Nach SCHENK & KAUPE (1998) kann es daher nicht Ziel einer Grundwasserbewirtschaftung sein, mit immer ausgefeilteren Aufbereitungstechniken die anthropogenen Verunreinigungen wieder aus dem Grundwasser zu entfernen.

Dem Grundwasserschutz kommt aufgrund der nahezu ubiquitären Verbreitung des Grundwassers und damit seinem hohen Gefährdungspotential gegenüber Verunreinigungen eine übergeordnete Bedeutung zu, was sich auch in der Verankerung des Grundwasserschutzes in Empfehlungen, Richtlinien, Verordnungen und in der Gesetzgebung widerspiegelt (SCHENK & KAUPE, 1998). Ubiquitär heißt nicht, daß die Grundwassergewinnung überall in unbegrenzter Menge und gleichbleibender Güte durchführbar ist. Hier müssen einzelne Grundwasservorkommen aufgrund ihrer Verschmutzungsempfindlichkeit bzw. der primären und sekundären anthropogenen Beeinflussbarkeit unterschieden werden.

Mit der WRRL soll ein transparenter, effizienter und kohärenter, für die gemeinschaftliche Wasserpolitik unbedingt erforderlicher Rahmen geschaffen werden. Die grundlegenden Prinzipien und Strukturen für den Schutz und den nachhaltigen Gebrauch von Wasser sollen in der Gemeinschaft in Übereinstimmung mit dem Subsidiaritätsprinzip koordiniert, integriert und langfristig weiterentwickelt werden (EG-WRRL, 1999).

Nach SRU (1998b) ist durch die langanhaltende und vielfältige Grundwasserbewirtschaftung von einer nahezu überall anthropogenen Grundwasserbeeinflussung auszugehen. Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ist somit als Schutzziel nicht bzw. kaum erreichbar. Der Rat formulierte in Anlehnung an das Wasserhaushaltsgesetz (§ 34 WHG; Verschlechterungsverbot) daß das Umweltqualitätsziel „anthropogen *möglichst* unbelastetes Grundwasser anzustreben“ ist (SRU, 1998b). Damit sollen weitere anthropogene Belastungen vermieden werden.

Geltende Gesetze entsprechen zwar weitgehend dem eingeforderten Grundsatz "anthropogen unbelastetes Grundwasser", im Gesetzes - Vollzug herrschen aber erhebliche Defizite. Trotz verminderter Stoffeinträge aus landwirtschaftlichen Nutzungen ist das Grundwasser nach wie vor durch Nitrat und Pflanzenschutzmittel gefährdet. In den Boden eingetragene Stoffe können freigesetzt werden und ins Grundwasser gelangen. Die Grundwasserneubildung wird durch wasserbauliche Maßnahmen und Flächenversiegelungen

beeinträchtigt. Als Umwelthandlungsziel wird der flächenhafte Grundwasserschutz allgemein anerkannt. In der Praxis ist er jedoch überwiegend nutzungsbezogen ausgerichtet, d.h. er beschränkt sich im wesentlichen auf Schutzgebietsausweisungen für die Einzugsgebiete von Wassergewinnungsanlagen. Der Schutz außerhalb der Gewinnungsanlagen ist im eigentlichen Sinne nicht gewährleistet (WIGGERING et al., 1999).

Auch im Jahr 2000 kann in Deutschland nicht von einem flächendeckenden Grundwasserschutz gesprochen werden. Der Umweltrat betont im Umweltgutachten 2000 erneut, daß ein flächendeckender Schutz der Ressource Grundwasser nur in strikter Einheit mit dem Bodenschutz realisierbar ist, da fast alle Vorgänge im Boden direkt abhängig von dessen Wassergehalt ist.

Die geplante Wasserrahmenrichtlinie enthält zwar einige wichtige Ansätze für den europaweiten Gewässerschutz. Der Rat gibt aber zu bedenken, daß der Richtlinienentwurf erhebliche Defizite aufweist und nicht akzeptable Möglichkeiten eröffnet, das Ziel eines nachhaltigen Gewässerschutzes zu unterlaufen (SRU 2000).

Eine Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustandes der aquatischen Ökosysteme (Binnenoberflächengewässer, Übergangsgewässer, Küstengewässer, Grundwasser), sowie die Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen und die Verhinderung von Überschwemmungen und Dürren sind die in Artikel 1 der WRRL erklärten Ziele. Die Mitgliedsstaaten haben innerhalb von 10 Jahren einen Maßnahmenkatalog aufzustellen, und nach 13 Jahren in die Praxis umzusetzen und dies der Kommission vorzulegen. Nach sieben Jahren sollen Programme zur Überwachung der ökologischen und des chemischen Zustandes der Oberflächengewässer bzw. die Überwachung des chemischen und mengenmäßigen Zustandes der Grundwasserkörper anwendungsbereit sein. Die Mitgliedsstaaten haben gemäß Artikel 3 Absatz 1 Flußgebietseinheiten als Haupteinheiten für die Bewirtschaftung von Einzugsgebieten (Land oder Meeresgebiet), welche aus einem oder mehreren benachbarten Einzugsgebieten und den ihnen zugeordneten Grund- und Küstengewässern besteht, zu definieren. Jede Flußgebietseinheit ist spätestens nach fünf Jahren aufgrund ihrer Merkmale zu analysieren und auf Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf den Zustand der Oberflächengewässer und Grundwässer zu überprüfen. Außerdem ist eine wirtschaftliche Analyse der Wassernutzung durchzuführen.

In den Flußgebietseinheiten sind alle Wasserkörper zu ermitteln, die für die Entnahme für den menschlichen Gebrauch genutzt werden und durchschnittlich mehr als 10 m³ täglich liefern oder mehr als 50 Personen bedienen (Artikel 7, WRRL). Alle Wasserkörper, die mehr als 100 m³ täglich liefern, sind aufgrund festgelegter Qualitätsnormen zu überwachen. Kleinere lokale Wasservorkommen werden nur zu größeren zusammengefaßt.

Es bleibt zu befürchten, daß kleinere lokale Wasservorkommen aufgrund ihrer Komplexität (Lage und Grenzen der Grundwasserkörper, Eigenschaften der Deckschichten, Grundwasserneubildung, Grundwasserdynamik, Grundwasserbeschaffenheit, Flächennutzung) und

aufgrund der geringen Entnahmemengen nicht erfaßt werden und somit nicht unter die Berichtspflicht der WRRL fallen.

Das nutzbare Grundwasserdargebot soll nach Ansicht des Umweltrates auch künftig von den jeweiligen Fachbehörden ermittelt werden. Die einzelnen Regionen sollen aber die Befugnis erhalten selbst über die Verleihung vom Wasserrechten entscheiden zu können, d.h. selbst Einnahmen aus dem Verkauf von Wasserentnahmerechten erzielen zu können.

Anhand des Untersuchungsgebietes Alzey soll die Umsetzbarkeit der Wasserrahmenrichtlinie überprüft und Defizite im Hinblick auf einen vorsorgenden Grundwasserschutz dokumentiert werden.

2. Das Arbeitsgebiet

2.1 Geologische Situation

2.1.1 Das Saar-Nahe-Becken (SNB)



Abb. 2-1: Geologische Übersicht (HANEKE, 1987)

Das ungefähr 100 x 40 km große-, aus permokarbonischen Gesteinen gebildete SNB ist in einem viel größeren spätvariszischen intermontanen Senkungsraum gebildet worden (HENK, 1993). Das von SW nach NE streichende SNB liegt am Nordrand des Saxothuringikums und wird durch die noch heute aktive Hunsrück-südrandstörung (AHORNER et al., 1975) gegen den Südrand des Rhenoherynikums abgegrenzt. Im Westen, Osten und Süden wird es von den mesozoischen Schichten Lothringens bzw. des Pfälzer Waldes und von den tertiären Schichten des Mainzer Beckens diskordant überlagert.

2.1.2 Das Mainzer Becken

Das Arbeitsgebiet liegt auf dem Alzeyer Horst, einem Teil des Pfälzer Hauptsattels, in einem tertiären Senkungsfeld, dem Mainzer Becken.

Am Westrand des Mainzer Beckens (vgl. Abb. 2-1) im Übergangsbereich zum Alzeyer Horst, der einen Teil des Pfälzer Hauptsattels bildet, liegt das Rheinhessische Tafel- und Hügelland. Die Gesteine reichen, stratigraphisch betrachtet, von Rotliegend-Sedimenten und Magmatiten bis zum diskordant darüber lagernden Tertiär. Die jüngsten Ablagerungen werden durch das Quartär gebildet. Im Laufe einer tektonisch bedingten intensiv magmatischen Phase kam es im Saar- Nahe- Becken, während des Oberrotliegend, zur Entwicklung eines bimodalen Vulkanismus, der sich in den Gesteinen der Oberen Tholeyer- und Nahe-Gruppe widerspiegelt (VON PLATEN & HOFMEISTER, 1993).

Die Sedimente des Rotliegend bestehen hauptsächlich aus Arkosen, Konglomeratlagen und schluffig tonigen Abfolgen, während Sedimente des Tertiärs aus einer tonig mergeligen küstenfernen Fazies (Rupelton, Schleichsand und Cyrenenmergel) und einer sandig kiesigen küstennahen Fazies bestehen. Während des Miozäns kam es zur Ablagerung der Cerithien-, Corbicula- und Hydrobienschichten. Den Abschluß bilden jungtertiäre Dinotheriensande aus dem Pliozän und Löß bzw. Lößlehm, sowie Ablagerungen des Quartärs. Während des Pleistozäns erfuhr das Rheinhessische Tafel- und Hügelland durch die klimatisch bedingten Erosions- und Akkumulationsvorgänge und durch äolisch angelieferte Substrate (Löß) eine Überprägung, die bis in das Spätglazial anhielt und u. a. zur Entstehung der meist 50 – 60 cm mächtigen Decksedimente sowie zur Bildung von Flugsanddecken und Dünen führte. Infolge des trockenen Klimas ist der Gesamtkarbonatgehalt des Lößes (Calcit und Dolomit) ungewöhnlich hoch. Er beträgt im Mittel 26,4 % (SCHÖNHALS, 1996). An dem so genannten Eltviller Tuffband ist der jüngste Würm-Löß erkennbar, der die größte Verbreitung im Untersuchungsgebiet hat (SEMMELE, 1967).

Tabelle 2-1 zeigt die neugeordnete Stratigraphie nach STAPF (1990) und ROTHAUSEN & SONNE (1984) auf. Abbildung 2-2 zeigt zur besseren Übersicht ein stratigraphisches Säulenprofil, welches sich aus Teilen des Mainzer Beckens (nach ROTHAUSEN & SONNE, 1984) und des Saar-Nahe-Beckens zusammensetzt.

Tab. 2-1: Die Stratigraphie des Rotliegenden (STAPF, 1990) und des Tertiärs (ROTHAUSEN & SONNE, 1984)

Perm	Oberrotliegend		NW	SE	
	Nahe-Gruppe	Kreuznach-Formation	Standenbühl-Formation	Wadem-Formation	
		Sponheim-Formation			
	Donnersberg-Formation				
	Unterrotliegend				
	Tholey-Gruppe	Thallichtenberg-Formation			
		Oberkirchen-Formation			
		Disibodenberg-Formation			
	Lebach-Gruppe	Odernheim-Formation			
		Jeckenbach-Formation			
		Lauterecken-Formation			
		Quirnbach-Formation			
		Wahnwegen-Formation			
	Kusel-Gruppe	Altenglan-Formation			
		Remigiusberg-Formation			

Tertiär	Pliozän	Arvensis-Schotter	
		Bohnerzton	
	Miozän	Hydrobienschichten	
		Corbículaschichten	
		obere mittlere Cerithienschichten untere	
		Süßwasserschichten	
	Oligozän	Oberes-	Cyrenenmergel
			Schleichsand
		Mittleres-	oberer unterer Meeressand
			Rupelton
		Unteres-	Mittlere Pechelbronn Schichten
Eozän	Eozäner Basiston		

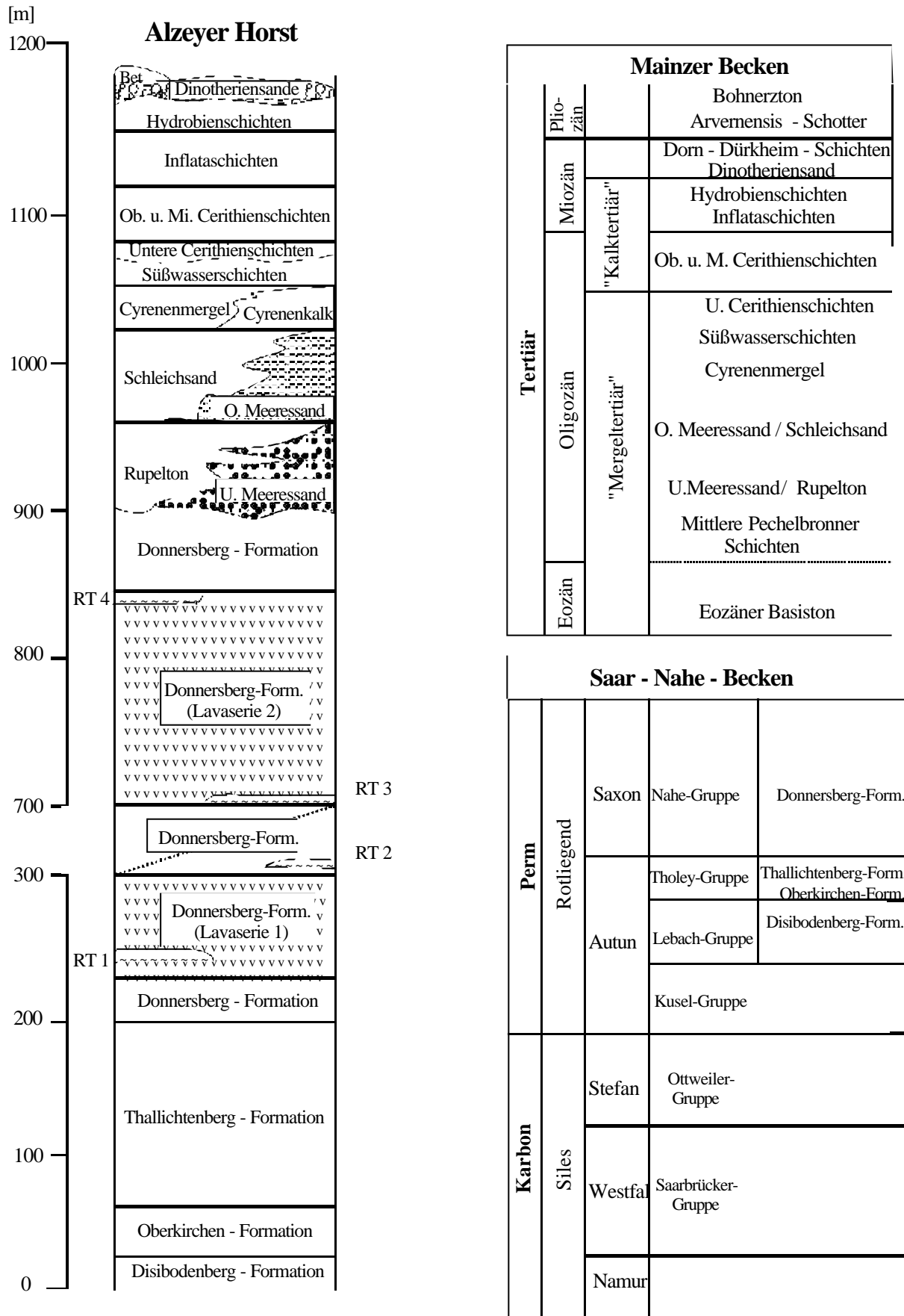


Abb. 2-2: Stratigraphisches Säulenprofil des Alzeyer Horstes (verändert aus einem Manuskriptdruck der geologischen Karte des Blattes Alzey), Bet = Bohnerzton; RT = Rhyolithuff

2.1.3 Geographischer und geomorphologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt ca. 35 km SSW von Mainz im Rheinhessischen Tafel- und Hügelland. Viele flache Hügelzüge kennzeichnen die namensgebende Landschaft. Einen Teil des Pfälzer Hauptsattels bildet der Alzeyer Horst. Der Staatsforst Vorholz (Gemarkung Kriegsfeld) stellt den Übergang zum Nordpfälzer Bergland dar. Topographische Grundlagen der Arbeit waren das Meßtischblatt Alzey (6214), Kriegsfeld (6213), Bad Kreuznach (6113) und Wörrstadt (6114).

Das Untersuchungsgebiet wird von einigen Bergen und Tälern durchzogen. Der Staatsforst Vorholz ist eines der höchst gelegenen Teilgebiete mit bis zu 360 m ü. N.N. Weitere Erhebungen sind der Hieberg (318,6 m) südlich von Bechenheim, der Wingertsberg (291,6 m) und der Schneeberg (252,4 m) südlich von Flonheim, der Baierforst (291,9 m) östlich von Nack, der Birnberg (290 m) südlich von Erbes-Büdesheim und der Omesberg (275,3 m) westlich von Alzey, um nur einige zu nennen. Tiefste Niederungen bilden das Wiesbachtal (140 m) und das Selztal (180 m). Es ergibt sich somit ein maximaler Höhenunterschied von ca. 220 m.

Nach der Diplomkartierung von SCHWEHLA (1976) ist bei fast allen Höhenzügen ein relativ langsames Abflachen nach N zu beobachten, während die Südseiten relativ steil einfallen; die steilen Kanten werden in der Regel durch widerstandsfähigere Magmatite (Mandelberg bei Weinheim), z.T. auch durch Sandstein und Arkosen (Kesselberg bei Weinheim) gebildet. Landwirtschaftlicher Anbau von Weinbergen und Ackerflächen mit Getreide und Zuckerrüben bestimmen das Bild. Wald ist in größerer zusammenhängender Fläche (außer im Staatsforst Vorholz) nicht anzutreffen.

Appelbach, Wiesbach und Selz sind als die drei Hauptvorfluter des Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes, besonders im Unterlauf, tief in die Plateaus, Verebnungen und Hügelländer eingeschnitten. Diese Täler bilden wichtige morphologische Gliederungselemente des Tafel- und Hügellandes.

2.1.4 Historischer (Quecksilber) Bergbau

Das so genannte Quecksilberdreieck befindet sich, mit den Städten Bad Kreuznach-Kirchheimbolanden-Kusel als Eckpunkte, im Nordpfälzer Bergland und ist ca. 1200 km² groß (KOZIOL & HOFMEISTER, 1997). Die Erzlagerstätten sind, nach VON PLATEN & HOFMEISTER (1993) aufgrund von Spätfolgen eines permokarbonischen Magmatismus in Verbindung mit verschiedenen tektonischen Ereignissen, aus hydrothermalen Prozessen, die zu Gesteinsalterationen führten, entstanden. Mit Hilfe von Rb-Sr- und K-Ar-Isotopendaten wurden daraus entstandene Vulkanite auf 289-292 Ma (Beginn des Oberrotliegend) datiert (LIPPOLT & HESS, 1989).

Hauptsächlich im Westteil des Blattes Alzey wurden seit dem frühen Mittelalter in der Umgebung von Wendelsheim, Niederwiesen und Nack Bodenschätze wie Quecksilber, Eisen, Kupfer und vereinzelt Kohle, abgebaut. Heute sind die zahlreichen Gruben und Stollen, die bis ins Mittelalter zurückreichen, nur noch reliktsch vorhanden. Die ca. 90 historischen

Schürfstellen zählten im 17. Jahrhundert mit den Abbaugebieten von Almadén (Spanien) und Idrija (Slowenien) zu den bedeutendsten in Europa.

Im Wassereinzugsgebiet des Wiesbachs, Appelbachs und des Finkenbachs liegen die folgenden ehemaligen Quecksilber-Bergbaugebiete (Abb. 2-3):

- Alzey - Wonsheim
- Erbes - Büdesheim
- Mörsfeld
- Kriegsfeld - Spitzenberg
- Nieder-Wiesen – Teufelswiese.



Abb. 2-3: Ehemalige Bergbaugebiete im Raum Alzey (verändert nach MARTIN, G.P.R. 1968)

- Alzey – Wonsheim

Informationen aus dem Bergbauggebiet Alzey-Wonsheim existieren nur aus den Jahren 1774-1779, was auf eine kurze und nicht sehr ertragreiche Existenz dieser Gruben hinweist (MARTIN, 1971). Das Schürfggebiet nördlich der Straße von Hof Iben nach Wonsheim liegt mitten in der Tholey-Gruppe des Unterrotliegenden. Nördlich davon steht das Oberrotliegende mit einem dazwischen geschalteten Andesit an. Die Pingen und Schürfe am Westhang des Berges Nonnkaut (228 m ü. N.N.) liegen aber ausschließlich in den Sand- und Siltsteinen der Tholey-Gruppe.

- Erbes-Büdesheim

1486 wurde zum ersten Mal der Quecksilberbergbau an der Gemarkungsgrenze Wendelsheim/Flonheim erwähnt (MARTIN, 1971). Nördlich davon waren im 18. Jahrhundert die Gruben Heilig-Drei-Königsstollen, Burkhardt-Stollen im Eichenwald und das Grubenfeld Am Ufer in Betrieb. Die Quecksilbervererzungen im Bereich Erbes-Büdesheim treten entlang von Störungen und in Form von Imprägnationen in rhyolitischen Tuffen, Schiefen und Sandsteinen auf. Die Vererzungen bestehen überwiegend aus Zinnober (SPUHLER, 1957).

- Mörsfeld, Kriegsfeld-Spitzenberg und Nieder-Wiesen-Teufelswiese

Zwischen Mörsfeld und Nieder-Wiesen liegt das große Mörsfelder Bergbauggebiet. Direkt nördlich davon, zwischen Kriegsfeld und Nieder-Wiesen, schließen sich mit Kriegsfeld-Spitzenberg und Nieder-Wiesen-Teufelswiese, zwei weitere große Grubenfelder an. Der Bergbau in dieser Region begann im 15. Jahrhundert. In der Gemarkung Daimbach und Kriegsfeld existieren noch heute ausgedehnte Stollensysteme bzw. Bergwerke (SPUHLER, 1957). Außerdem finden sich überall verteilt zahllose Pingen und Halden. Es wurde hauptsächlich in erzführenden Gängen und imprägnierten Sandsteinen nach Quecksilber geschürft. Die Vererzungen stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit permischen Tuffschloten (bei Mörsfeld) oder intermediären Intrusivgesteinen (Kriegsfeld und Teufelswiese) (ISENBART, 1994). Stratigraphisch gesehen liegen diese magmatischen Gesteine in der Lebach-Gruppe des Unterrotliegenden. Diese Gruppe besteht aus Sandsteinen bzw. Arkosen, Silt- und Tonsteinen mit Karbonat- und Kohlelagen. Am häufigsten kommen Zinnober und gediegenes Quecksilber als Quecksilberminerale vor. Untergeordnet treten Kalomel, Amalgam und Kupfer-Fahlerze auf (HINZMANN, 1991).

In Untersuchungen an Boden- und Haldenproben konnten in Mörsfeld erhöhte Quecksilberkonzentrationen nachgewiesen werden. Die Lage dieser Proben deckt sich ungefähr mit dem Verlauf der alten Stollen und dokumentieren somit eine Vererzung. Während im Pingen- und Haldenfeld von Nieder-Wiesen-Teufelswiese keine nennenswerten Konzentrationen an Quecksilber, Arsen und Antimon gefunden werden konnten, läßt sich im Grubenfeld von Kriegsfeld eine starke Quecksilber-Arsen-Antimon Vererzung lokalisieren (KOZIOL, 1997).

2.1.5 Luftbildauswertung- Tektonik

Für die Luftbildauswertung wurden die Schwarzweißaufnahmen, Befliegung 17/84 im Maßstab von ca. 1:12.500 und Befliegung 30/97 im Maßstab von ca. 1:13.000 des Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz herangezogen.

Bei den aus den Luftbildern ermittelten Linearen handelt es sich hauptsächlich um Grauton- und Grautonwechsellineare, morphologische Lineare und Vegetationslineare. Das Auswerten der Luftbilder war durch die teilweise sehr mächtigen quartären Überdeckungen erschwert, da sich Strukturen des Untergrundes nur noch sehr schwach bzw. nicht mehr bis an die Oberfläche durchpausen. Auch die Unterscheidungen von anthropogenen Linearen (z.B. alte Wege, alte Flurgrenzen) mit Grauton und Grautonwechsellinearen fiel aufgrund verschiedener Flurbereinigungen nicht leicht. Topographische Maßstabskarten des Blattes Alzey aus den Jahren 1919, 1941, 1957 und 1976 dienten als Interpretationshilfen. Dadurch konnten alte Feldwege und ehemalige Ackerbuschreihen, die parallel zu heutigen Äckern verlaufen weitgehend erkannt und nicht als Lineationen gedeutet werden.

Bei der statistischen Luftbildauswertung fanden sich Maximalwerte der Lineationen bei 70° (NE-SW) und 160° (NW-SE), was den variszischen Hauptkluftrichtungen entspricht. Nebenmaxima treten bei 10° (NNE - SSW), bei 50° (NE-SW) und bei 90° (E-W) auf. Die Ausbildung der Talrandsegmente scheinen tektonisch stark beeinflusst worden zu sein, da auch hier die variszischen Kluftrichtungen zu beobachten sind. Auch das etwas unterdrückte Nebenmaxima der „rheinischen Richtung“ (10°) zeigt die Beeinflussung durch die Rheintalgrabenbildung.

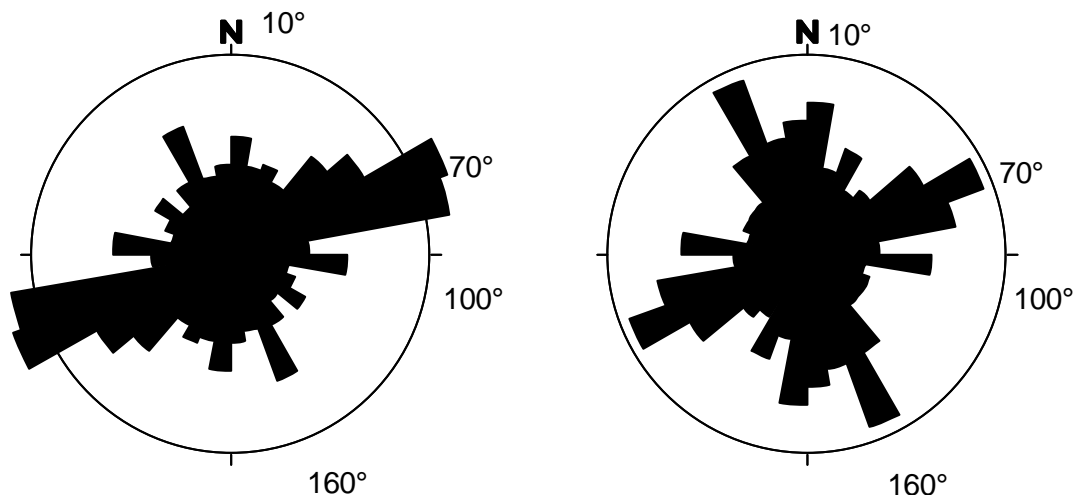


Abb. 2-4: Darstellung aller Photolineationen als Streichrichtungsrose mit a) Längenberücksichtigung (N = 9434) und b) ohne Längenwichtung (N = 1036), nach WALTER (1998)

Die Richtung NW-SE zeigt das rezente tektonische Stressfeld an. Bezogen auf die Beckenachse können Längs- ($\pm 70^\circ$) und Querstörungen ($\pm 140^\circ$), dieser Richtung entspricht auch die Hauptbeanspruchungskomponente des rezenten Spannungsfeldes (AHORNER et al., 1975) und weniger gut ausgeprägte Diagonalstörungen (bei $\pm 110^\circ$ und 170°), voneinander unterschieden werden. Auffallend ist das Maximum bei $10 - 20^\circ$. Diese der

rheinischen Richtung entsprechenden Lineare sind wahrscheinlich im Tertiär durch die Entwicklung des Oberrheingrabens entstanden. Die Vergitterungen von rheinisch und antirheinisch verlaufenden Brüchen mit alten variszischen Elementen sind z.T. durch die rezente Tektonik reaktiviert worden (vgl. Abb. 2-5).

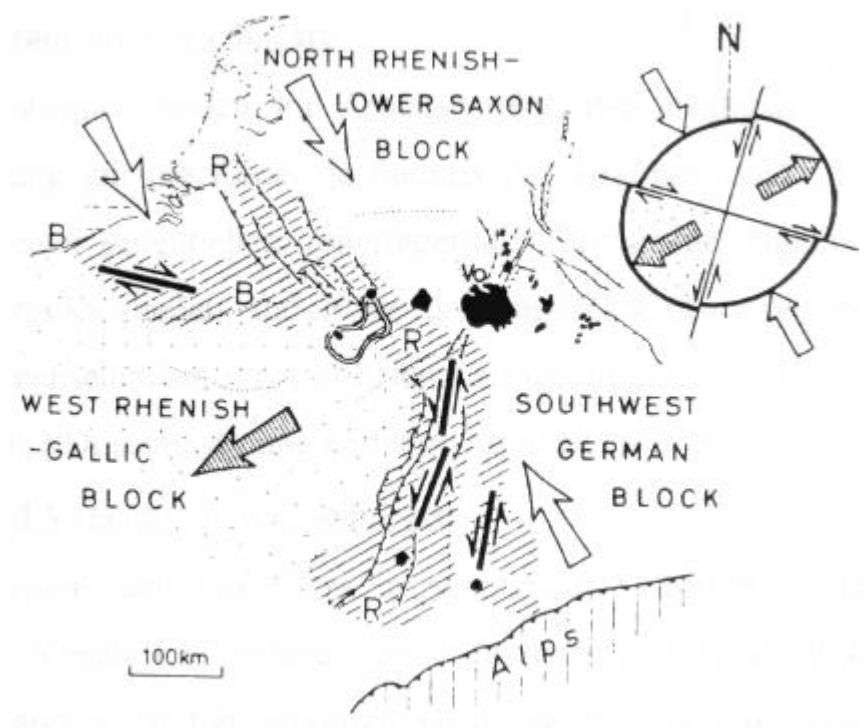


Abb. 2-5: Das rezente Hauptbeanspruchungssystem Mitteleuropas (AHORNER, 1975)

Abb. 2-6 zeigt das Meßtischblatt Alzey (6214) aufgeteilt in Quadranten. Die Quadranten 6, 7 und 9 zeigen ein klares NE-SW Maximum (70°), dem ein orthogonales NW-SE (160°) System zugeordnet ist. Die starke Häufung der Lineare dieser Orientierung läßt sich mit zu dieser Richtung laufenden Klüften und Störungen, auch durch die Ausbißlinien der Rotliegend-Sandsteine als Grautonlineare registriert, erklären. Das generelle Streichen der permischen Gesteine entspricht im allgemeinen der NE-SW Richtung. Eine allgemeine Vorzugsrichtung der Lineare innerhalb eines kleineren Areals kann nach Abb. 2-6 somit nur für die Auszählbereiche im Einflußbereich der Selztörung (Quadranten 6, 7 und 9) angegeben werden kann. Das orthogonale System entspricht in seiner Anordnung dem variszischen und rezenten Kompressionsregime.

Daraus kann gefolgert werden, daß eine Wiederbelebung der alten variszischen Elemente durch junge bis ins Quartär reichende Tektonik stattgefunden hat. Folglich ist die Selztalstörung eine variszische Schwächezone, an der der Alzeyer Horst seit dem Pleistozän (SONNE, 1969) herausgehoben wird. Das klare Linearsystem im Kalkplateau südlich der Selz (Quadrant 9) entspricht exakt einem Trennflächensystem, welches parallel zur größten und kleinsten Hauptnormalspannung des rezenten Stressfeldes ausgerichtet ist (WALTER, 1998).

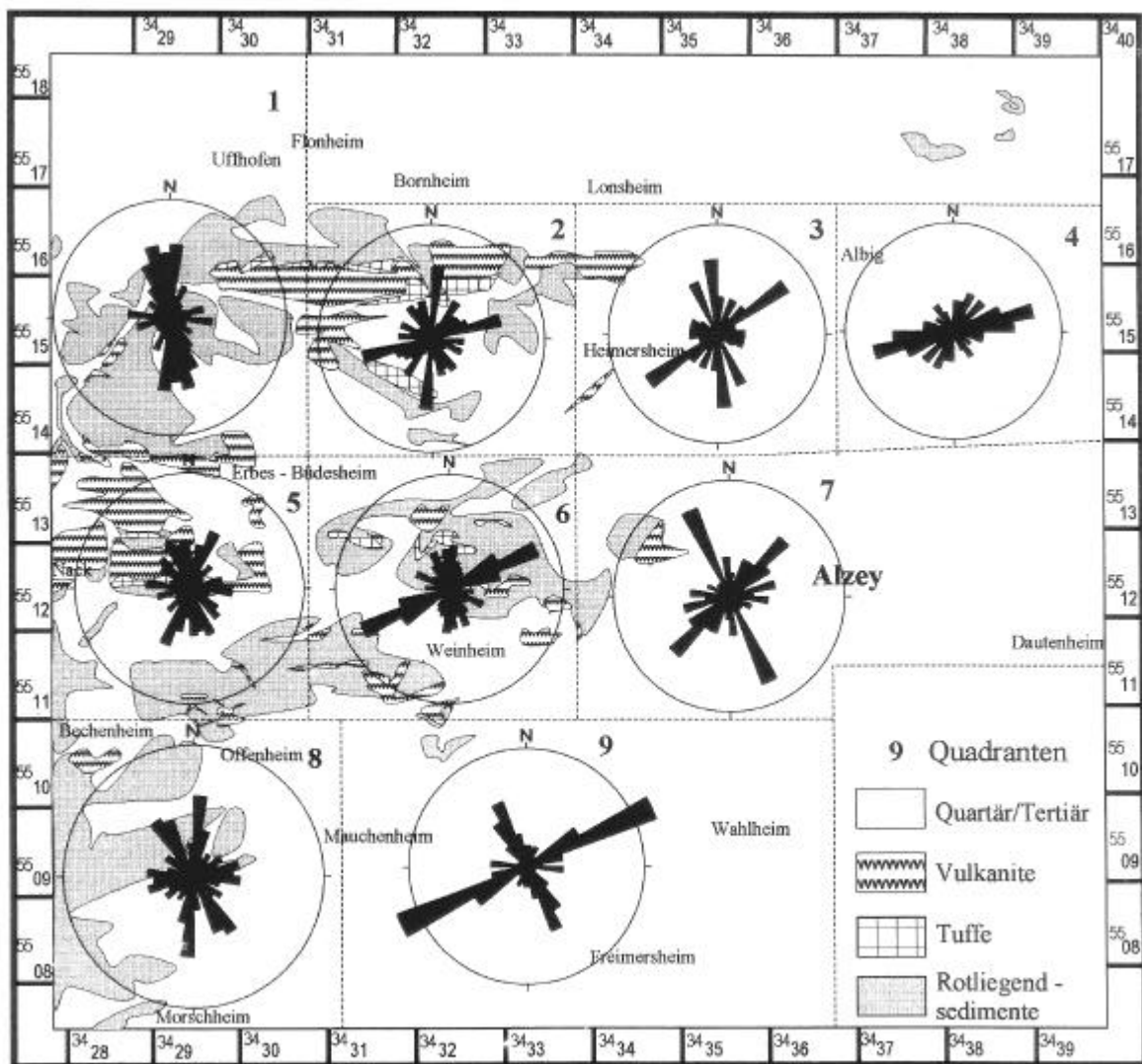


Abb. 2-6: Regionale Richtungsverteilung der Photolineationen (verändert nach WALTER, 1998)

2.2 Hydrogeologischer Überblick

Die Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes sind meist Sandstein und Konglomeratlagen innerhalb schluffig toniger Rotliegend-Abfolgen. Vor allem während des Alttertiärs kam es zur Ablagerung z.T. sehr mächtiger mariner Schluff- und Tonablagerungen von mehreren 10er Metern und zur Ausbildung von Evaporiten. Der Grundwasserzufluß erfolgt entweder vertikal und/oder horizontal aus den klüftigen Rotliegendgesteinen oder aus den diskordant darüber gelagerten tertiären Schichten.

Aufgrund der Überdeckung bzw. lateralen Verzahnung mit Rupelton und Schleichsand sind die hydraulischen Wasserverhältnisse innerhalb dieser Formationen durchwegs gespannt bis halbgespannt.

Aus einigen Tiefbohrungen im Mainzer Becken sind höher konzentrierte Mineralwässer bekannt, deren genauer Ursprung bis heute nicht genau geklärt ist. Man geht von einer Wanderung der Sole aus dem Oberrheingraben in das Mainzer Becken aus. WAGNER (1933) beschreibt „die Herkunft der erdmuratischen Kochsalzquellen der Bäder Kreuznach und Münster a. Stein und ihre Beziehung zur Tektonik des Mainzer Beckens“. Nach WAGNER (1933) und HEYL et al. (1971) sind die mineralhaltigen Quellen an Störungszonen gebunden, „und zwar an den variszisch gerichteten rotliegenden Horst Albig - Biebelnheim - Schwabsburg - Nierstein - Nackenheim, der das Mainzer Becken durchquert, und die herzynisch gerichtete Abbruchzone des Pfälzer Berglands zum Mainzer Becken: Albig, Flonheim - Wöllstein, Hackenheim - Kreuznach.“ (WAGNER, 1933).

Aufgrund der unterschiedlichen piezometrischen Höhen müßte der hydraulische Fließgradient der Tiefenwässer in entgegengesetzter Richtung verlaufen, also vom Pfälzer Bergland in Richtung Oberrheingraben. HÖLTING (1969, 1994) und SCHWILLE (1955) folgerten u.a. daraus, daß die Herkunft der Mineralwässer auch anhand ihrer Ionenverhältnisse mit Evaporitlagen des Lothringer Muschelkalks in Verbindung zu bringen ist. Die Solwässer würden von dort über das Saar-Karbon in das Mainzer Becken wandern.

SCHWILLE (1953, 1954) beschäftigte sich außerdem mit den Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumchloridwässern im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens und mit dem Ionenumtausch und dem Chemismus von Grund- und Mineralwässern im Mainzer Becken. Die unterschiedlichen Grundwasserleiter werden nachfolgend detaillierter beschrieben.

2.2.1 Rotliegend-Sedimente und Magmatite

Kluftgrundwasserleiter bilden die Sandsteine der Nahe-, Tholey- und Lebach-Gruppe, sowie auch die basaltischen Andesite. Die Ergiebigkeiten hängen vor allem von der Intensität der tektonischen Beanspruchung und vom jeweiligen Anteil der zwischengelagerten Ton- bzw. Schlufflagen ab. Hauptsächlich im zentralen und westlichen Teil des Blattes Alzey werden z.T. sehr ergiebige Quellen von Rotliegend-Kluftgrundwasserleitern gespeist (z.B. Aulheimertalquelle, Riedertalquelle Erbes-Büdesheim und die Schloßbergquelle Nieder-Wiesen (auf dem benachbarten Blatt Kriegsfeld). Das Rotliegend wird in den übrigen Gebieten des Alzey-Niersteiner Horstes von sehr mächtigen Tertiärablagerungen überdeckt und von einigen tieferen Brunnen durchteuft (z.B. Brunnen Heimersheim, Brunnen Flonheim,

Brunnen Bechenheim, Brunnen Bornheim, Brunnen Flonheim/Bornheim, Brunnen Lonsheim, ehemalige Brunnen in Offenheim, Uffhofen und Albig).

2.2.2 Tertiäre Meeressande

In den tertiären Meeressanden trifft man auf meist mittel- bis grobklastische Aufarbeitungsprodukte der mitteloligozänen Küstenlinie. Die teils schwach verfestigten bzw. unverfestigten Sande und Kiese bilden mehrere 10er Meter mächtige i.a. sehr ergiebige Porengrundwasserleiter. Diese stehen oft in hydraulischem Kontakt mit unterlagerten Rotliegend Sandsteinen und Magmatiten. Die in diesen Grundwasserleiter verfilterten Brunnen liefern einen bedeutsamen Beitrag zur Eigenwasserversorgung (z.B. Brunnen Bechenheim, Brunnen Flonheim, Brunnen Bornheim, Brunnen Esselborn). Alle genannten Brunnen sind sowohl in den tertiären Meeressanden als auch in den Rotliegend Sedimenten und/oder Magmatiten verfiltert. Es kann davon ausgegangen werden, daß Mischwässer mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen aus den verschiedenen Brunnen gefördert werden. Berechnete Jungwasseranteile sind im Kapitel 5 nachzulesen.

2.2.3 Tertiäre Kalksteine

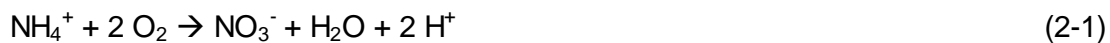
Aus den teils zerklüfteten und z.T. verkarsteten Kalksteinen beziehen viele Schichtquellen über den wasserstauenden Schichten des Mergeltertiärs ihr „Quellwasser“. Die Kalk-Mergel-Wechselagerungen der Mittleren Cerithien-, Inflata- und Hydrobienschichten können Mächtigkeiten bis 100 Meter erreichen. Zum Teil sind diese Quellen sehr ergiebig (14 l/s, Aufspringquelle Freimersheim). Anthropogene Einflüsse sind nicht auszuschließen, da grundwasserüberdeckende Schichten z.T. nur sehr geringmächtig sind. Um der Trinkwasserverordnung gerecht zu werden muß die Wasserqualität ständig überwacht werden. Aus diesem Grund wurden schon vor einigen Jahren Geräte zur Online-Trübungsmessung und UV-Filtration in den Quellschächten installiert, um z.B. nach einem Starkregenereignis die Quelle bei Überschreitung der eingestellten Sollwerte der Trübungsmessung automatisch vom Netz zu trennen. Außerdem schwanken die analysierten Nitratwerte um den Grenzwert, so daß Quellwasser mit einem nitratarmen Wasser gemischt werden muß.

2.2.4 Quartäre Porengrundwasserleiter

Schon vor dem Anschluß an eine allgemeine Wasserversorgung versorgten sich ganze Ortschaften über sehr flachgründige wasserwirtschaftlich eher unbedeutende Brunnen und Quellen. Die aufgrund ihres geringen effektiven Porenvolumens nicht sehr ergiebigen Quellen und Brunnen fallen in den Sommermonaten oftmals trocken und sind durch geringmächtige grundwasserüberdeckende Schichten gegenüber Schadstoffeinträgen sehr gefährdet. Sie entsprechen aufgrund ihrer meist überhöhten Nitrat-, Kalium- und Sulfat-Werte nicht den Trinkwasserbestimmungen.

2.3 Nitratproblematik -Düngemiteleintrag

Der natürliche, anthropogen unbeeinflusste Nitratgehalt des oberflächennahen Grundwassers beträgt etwa 2-5 mg/l, unter nährstoffreichen Böden bis 10 mg/l. Die wichtigste Ursache für die heutige Nitratbelastung des Grundwassers ist unzweifelhaft der Düngemiteleintrag in landwirtschaftlich genutzten Gebieten (LfW, 1993). Innerhalb der letzten 20 Jahre hat die erhöhte Düngemittelzufuhr der Landwirtschaft im Rhein Hessischen Tafel- und Hügelland nicht nur zu einer Steigerung der Erträge geführt, sondern auch zu einem Nitratanstieg im Grundwasser, was hauptsächlich auf die Mineraldüngung zurückzuführen ist. Abgesehen von der Mineraldüngung entsteht Nitrat überwiegend durch die Oxidation reduzierter Stickstoffverbindungen. Bei der Mineralisierung organisch gebundenen Stickstoffs wird Ammonium gebildet, welches durch Mikroorganismen zu Nitrat umgesetzt werden kann (KÖLLE et al., 1983):



Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1982) verläuft die Pufferung der Wasserstoffionen nach dem Carbonat Puffersystem nach bekannten Reaktionsgleichungen,



Im Wirtschaftsjahr 1991/92 wurden auf die landwirtschaftliche Nutzfläche der Bundesrepublik Deutschland (12,019 Mio. ha im Jahre 1991; STATISTISCHES BUNDESAMT 1992) 1,5783 Mio. t N, 0,6834 Mio. t P₂O₅, 0,9317 Mio. t K₂O (davon 0,0195 Mio. t als Kaliumsulfat-Dünger) und 1,5938 Mio. t CaO sowie 0,073026 t aufgebracht (nach MATTHESS, 1994). Das entspricht etwa 13,15 g N/m², 5,7 g P₂O₅/m², 7,8 g K₂O/m² und 12,3 g CaO/m², sowie daraus resultierend etwa 1,8 g SO₄/m² und ca. 5,7 g Cl/m².

Bei einer völligen Auswaschung der Sulfate und Chloride bedeutet das bei einer Grundwasserneubildung von 100 mm eine Zusatzbelastung von 18 mg/l SO₄ und 57 mg/l Chlorid pro Wirtschaftsjahr. Die seit der Jahrhundertwende eingesetzten stickstoffhaltigen Düngemittel verursachen noch heute eine Nitratерhöhung auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Nach STREBEL & BÖTTCHER (1985) besteht ein Zusammenhang zwischen Nitrateintrag und der Bodennutzung. Im Bereich von Sonderkulturen (Gemüse, Weinbau) werden die höchsten Nitratgehalte (einige 100 - 1000 mg/l) gemessen (SCHWILLE, 1953b, 1962). Im Rhein Hessischen Tafel -und Hügelland sind bisher Nitratgehalte von bis zu 300 mg/l, im Raum Alzey von bis zu 160 mg/l bekannt (SCHMITT, 1996). In Sickerwässern sind Nitratgehalte von ca. 800 mg/l (JÄGER, 1998) in der ungesättigten Bodenzone nachgewiesen worden.

Unter bestimmten Voraussetzungen kann Nitrat im Grundwasser von verschiedenen Elektronendonatoren zu elementarem Stickstoff reduziert werden. Eisen (II),

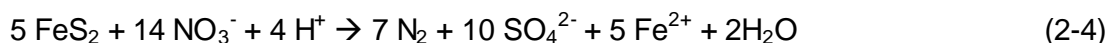
Schwefelwasserstoff und Methan sind als gelöste Wasserinhaltsstoffe thermodynamisch in der Lage Nitrat zu reduzieren. Mengenmäßig kommt diesem Reduktionspotential wahrscheinlich keine große Bedeutung zu, da diese Wasserinhaltsstoffe meist nur in Konzentrationen von weniger als 0,1 mmol pro Liter in Grundwässern vorliegen und Nitrat hingegen, leicht in höheren Konzentrationen von bis zu 150 mg/l (= 2,5 mmol/l) in Grundwässern zu finden ist. Mengenmäßig bedeutsamer sind die im Aquifergerüst vorhandenen Festphasen. Solche reaktiven Stoffdepots mit dem thermodynamischen Potential Nitrat abzubauen sind: Eisen-(II)-Silikate, organische Substanzen und Metallsulfide (HENNEKES et al., 1998).

Nach APELLO & POSTMA (1999) können Eisen(II)-Silikate einen begrenzten Nitratabbau leisten. Es werden für pleistozäne Aquifere Reduktionsraten von 4×10^{-5} mol/(l*a) beschrieben. Diese Reduktionsrate scheint nur bei sehr hohen Verweilzeiten oder sehr geringen Nitratreintrag relevant. Nach OBERMANN (1982) kann die heterotrophe Denitrifikation für signifikante Abbauleistungen verantwortlich sein. Die Reaktion für den „einfachsten“ Kohlenwasserstoff lautet:

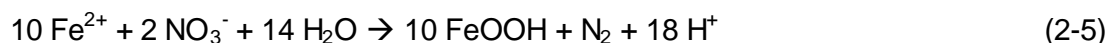


Aus 360 mg organischer Substanz (davon 144 mg Kohlenstoff) können mit 600 mg Nitrat ca. 586 mg Hydrogenkarbonat umgesetzt werden. Dabei entstehen 106 mg (=45 ml) Kohlendioxid und 134 mg (=112 ml) Stickstoff.

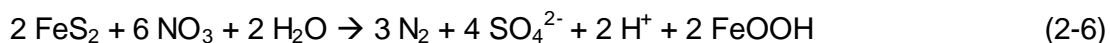
Je komplexer die organischen Substanzen werden, desto höher ist der thermodynamische Energiegewinn bei einem möglichen Abbau. Der Abbau hochmolekularer Substanzen ist daher kinetisch begrenzt. Neben festen organischen Phasen kann aus der ungesättigten Bodenzone nachgelieferter gelöster organischer Kohlenstoff von Bedeutung sein (OBERMANN, 1982). Die autothrophe Denitrifikation durch Metallsulfide ist detailliert im Fuhrberger Feld beschrieben worden (z.B. KÖLLE, 1982, 1983; KÖLLE et al., 1985; BÖTTCHER et al., 1985, 1989, 1990; FRIND et al. 1989, 1990). Das häufigste Metallsulfid in Sedimenten ist der Pyrit oder der dazu isomorphe Markasit. Nach ROHMANN & SONTHEIMER (1985) lautet der erste Schritt der Nitratreduktion:



Das zweiwertige Eisen kann dann als Eisenoxyhydrat gefällt werden:



Aus beiden Gleichungen ergibt sich formal die Gesamtgleichung:



Die Gleichungen werden durch die Mikroorganismen *Thiobacillus denitrificans* (Sulfatoxidation) und *Gallionella ferruginea* (Fe^{2+} -Oxidation) katalysiert (nach APELLO & POSTMA, 1999).

3. Material und Methodik

3.1 Probennahme an den Brunnen und Quellen

Alle bekannten Brunnen, Meßstellen und gefaßten Quellen im Bereich der Energie- und Wasserversorgungs- GmbH Alzey wurden mehrmals beprobt. Zusätzlich wurden Wasserproben verschiedener Bachquellen im Untersuchungsgebiet genommen.

Die Wasserproben der Brunnen wurden an den für die Trinkwasserversorgung angeschlossenen Brunnen möglichst direkt aus dem Probenhahn am Brunnenkopf entnommen. Eine geschlossene Durchflußmeßzelle wurde dafür an den Probenhahn angeschlossen, um den von außen in das System einwirkenden Sauerstoff möglichst auszuschließen. Gemessen wurden: pH-Wert, Sauerstoffgehalt, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential und Wassertemperatur. Außerdem wurden organoleptische Parameter (Aussehen, Farbe, Geruch, Trübung) bestimmt. Die Säurekapazität des Wassers, und damit der Hydrogenkarbonatgehalt, wurde durch Titration bestimmt. Eine Behandlung der Redoxelektrode mit Schleifpulver und Acetylsalicylsäure war aufgrund der sehr langsam reagierenden Redoxelektrode hilfreich. Die Wasserproben wurden nach der Stabilisierung der Meßwerte entnommen, kleiner 0,45 µm filtriert, und dann in die konditionierten PE-Weithalsflaschen überführt. Einige Proben wurden zusätzlich auf ihre Gehalte an DOC, FCKW und ihre Isotopenverteilung analysiert.

Die Pegel des Landesamtes für Wasserwirtschaft (Pegel Uffhofen 2075, Pegel Lonsheim/Bornheim 2195), die Pegel der EWG (Versuchsbohrung Erbes-Büdesheim, Pegel Offenheim) und die früher betriebenen Brunnen (Flonheim alt, Flonheim Haus, Albig alt und Bornheim alt) dienen heute nicht mehr der Wasserversorgung, d.h. es sind keine Unterwasser-Pumpen (U-Pumpe) installiert. Hier mußten eine U-Pumpe bzw. eine Saugpumpe zur Probennahme eingebaut werden. An diesen Brunnen bzw. Pegeln dauerte eine Stabilisierung der Meßwerte erheblich länger, da hier erst mehrere Stunden gepumpt werden mußte, bis sich das Wasser in den Filterrohren ausgetauscht hatte.

Die Brunnen Lonsheim, Heimersheim, Bornheim, Flonheim neu, Albig neu, Esselborn, Bechenheim neu und Bechenheim alt sind an die Trinkwasserversorgung angeschlossen, d.h. eine Unterwasserpumpe ist in den jeweiligen Brunnen installiert und somit ist die Probennahme leichter durchzuführen. Pegel mit einem niedrigen Flurabstand (Offenheim, Bornheim alt, Uffhofen und Versuchsbohrung Erbes-Büdesheim) wurden nur mit einer Saugpumpe beprobt.

Die gefaßten Quellen Aulheimer Tal alt, Aulheimer Tal neu, sowie die Quelle Nieder-Wiesen wurden nicht mit Hilfe der Durchflußmeßzelle beprobt, da hier das Quellwasser schon vor der Probennahme mit Sauerstoff belüftet wurde. Hierzu wurden die Meßelektroden, bis auf die Quelle Aulheimer Tal neu, direkt in das fließende Quellwasser eingetaucht. Die Quelfassung in Freimersheim befindet sich unter Flur. Das in einen unterirdischen Sammelbehälter fließende Wasser wird mit einer Pumpe ins Netz gefördert. Hier wurde die Probe direkt an einem Wasserhahn vor der Aufbereitung entnommen. Die Quellen in Nieder-Wiesen und Freimersheim sind mit einer Trübungsmessung und einer nachgeschalteten UV-Entkeimung versehen. Die Meßinstrumente werden fernüberwacht und schalten vollautomatisch die

Förderung ins Netz ab, wenn z.B. durch einen Starkregen, eine Trübung im Quellwasser entsteht.

Die Wasserproben für die Isotopenanalysen wurden nicht filtriert, um möglichst luftstickstofffreie Proben zu erhalten. Die konditionierten PE-Flaschen sind dazu in einen Eimer getaucht worden, der zuvor mit dem zu untersuchenden Wasser im Durchfluß gefüllt worden ist. Dafür wurden je eine Flasche à 100 ml (Deuterium und ^{18}O), eine Flasche à 500 ml (Tritium), sowie zwei Flaschen à 1000 ml (^{34}S und ^{18}O aus Sulfat bzw. ^{15}N und ^{18}O aus Nitrat) gefüllt. Der Probenbehälter für die Isotopenbestimmung aus Nitrat wurde zusätzlich mit einigen Millilitern Chloroform versetzt, um im Wasser enthaltene Bakterien und Mikroorganismen abzutöten, um einen vorzeitigem Nitratabbau entgegenzuwirken.

Die Probennahme für die hochempfindliche FCKW-Analytik erfolgte nach OSTER (1999) mit 500-ml-Glasschliffflaschen. Die Flaschen wurden nach mehrmaligem Austausch mit dem unfiltrierten Probenwasser unter Wasser verschlossen und in mit Probenwasser gefüllte geschlossene Metallbehälter bis zur Analyse aufbewahrt, um eine Kontamination der Probe zu minimieren. Ein Austausch der Probe mit Luftsauerstoff muß schon bei der Probenahme vermieden werden. Die Quellen in Nieder-Wiesen und Aulheim wurden unter Zuhilfenahme der Tauchpumpe Comet, die das Wasser direkt aus dem Quellschacht pumpt, bevor es mit Luftsauerstoff in Berührung kam, beprobt.

3.2 Probennahme für die quantitative Gasanalytik

An den Brunnen Albig neu, Flonheim neu und Bornheim neu wurden jeweils eine Doppelprobe für eine quantitative Gasanalyse entnommen. Dazu wurde ein druckfester Probenbehälter an den Probennahmehahn an den Brunnenköpfen angeschlossen und unter Druck senkrecht durchströmt. Leichte Hammerschläge an das Druckgefäß sollten vorhandene Gasblasen an der Innenwand entfernen. Die Probennahme erfolgte unter erhöhtem Druck, um ein frühzeitiges Ausgasen durch die druckentlastende Förderung zu verhindern. Nach mehrmaligem Wasseraustausch wurde der Probenauslaßhahn geschlossen und das Wasser unter Druck abgefüllt. Spezielle Schraubverschlüsse sicherten den erhöhten Druck im Probennahmegefäß auch während des darauffolgenden Transportes.

3.3 Pumpversuche

In den beiden Brunnen der Gemeinde Albig und der Brunnen Esselborn und Offenheim wurden Pumpversuche (SCHMITT, 1996; BOTT, 1998) durchgeführt und ausgewertet. Außerdem wurden ältere Pumpversuchsdaten von Brunnen im Raum Alzey aus dem Bohrarchiv des Geologischen Landesamtes Rheinland Pfalz mit Näherungsverfahren ausgewertet. Die mittleren Durchlässigkeiten (K_f -Werte) sind in den tertiären Meeressanden und im Kalktertiär (ca. $1,6 \times 10^{-4} - 3,5 \times 10^{-3}$ m/s) am höchsten und in den Rotliegend-Magmatiten (ca. $1 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-7}$ m/s) am geringsten. Vor allem in den Rotliegend-Sandsteinen (ca. $1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-6}$ m/s) schwanken die K_f -Werte in Abhängigkeit von der Klüftung erheblich. Verschiedene Bohrprofile bestätigen, daß beim Bau der verschiedenen Brunnen mehrere Grundwasserleiter durchteuft wurden. Somit werden nur Mischwässer gefördert. Die Herkunft und Beurteilung dieser Wässer gestaltet sich daher als äußerst schwierig.

3.4 Chemische Analysen der Wässer

Folgende institutseigene Analysegeräte kamen zum Einsatz:

- Photometer SQ 118, Fa. MERCK
- Flammenphotometer ELEX 6361, Fa. EPPENDORF
- Atom-Absorptions-Spektrometer Spectr AA-300, Fa. VARIAN
- Waters-Ionenchromatograph (HPLC)

Tab. 3-1: Übersicht über die zu analysierenden Ionen

Chemisches Element	Nachweisgrenze (mg/l)	Bestimmungsgrenze (mg/l)	Analysemethode
Natrium	1,1	1,7	Flammenphotometer
Kalium	0,2	0,3	Flammenphotometer
Calcium	0,2	0,2	Flammenphotometer
Lithium	0,3	0,5	Flammenphotometer
Magnesium	0,04	0,07	Flammen-AAS
Eisen (II)	0,01	0,06	Flammen-AAS
Mangan	0,02	0,04	Flammen-AAS
Ammonium	0,009	0,01	Photometer
Aluminium	0,04	0,05	Photometer
Arsen	0,1 µg/l	0,5 µg/l (Uni Mainz)	Hydrid-AAS (Univ. Kiel, Univ. Mainz)
Hydrogenkarbonat	-	-	Titration im Gelände
Chlorid	0,9/1,2	1,0/2,2	Photometer /HPLC
Nitrat	0,6/1,8	1,0/3,2	Photometer /HPLC
Sulfat	9,0/2,6	10,0/3,8	Photometer /HPLC
Nitrit	0,018	0,02	Photometer
Phosphat	0,05	0,06	Photometer
Silicium als SiO ₂	0,01	0,02	Photometer
Sulfid als HS ⁻	0,01	0,02	Photometer

DOC- Gehalte verschiedener Trinkwasserproben konnten im ESWE Labor der Stadtwerke Wiesbaden bestimmt werden. Desweiteren konnten freundlicherweise verschiedene Schwermetallgehalte im Labor des Landesamtes für Wasserwirtschaft untersucht werden.

3.5 Isotope und FCKW

Ausgewählte Grundwassermeßstellen im Raum Alzey wurden auf ihre Gehalte an Deuterium, Sauerstoff-18, Tritium, Schwefel-34 und Sauerstoff-18 aus dem im Wasser gelösten Sulfat und Stickstoff-15 bzw. Sauerstoff-18 aus dem im Wasser gelösten Nitrat, untersucht. Außerdem wurden die Wässer auf verschiedene FCKW-Gehalte zur Alters- und Jungwasseranteilbestimmung analysiert.

Isotope unterscheiden sich nur geringfügig in ihrem chemischen Verhalten, nicht aber in ihrem physikalischen Verhalten, was auf die unterschiedlichen Massen zurückzuführen ist. Tabelle 3-2 zeigt die unterschiedliche physikalischen Eigenschaften am Beispiel von D₂O und H₂O auf. In einem System, das aus Molekülen verschiedener Isotopenspezies (z.B. beim Wasser aus ¹H₂¹⁶O, ¹H²H¹⁶O, ¹H₂¹⁸O, usw.) besteht, sorgen deren unterschiedliche physikalische Eigenschaften für die Verteilungsmechanismen, die zu einem Isotopengleichgewicht führen können (MOSER & RAUERT, 1980).

Dies führt zu Änderungen in der Verteilung der Isotopenspezies, zur sogenannten Isotopenfraktionierung. So treten Frequenzunterschiede im Schwingungsverhalten der Atome in Molekülen oder Kristallen auf (FAURE, 1984). Diese quantenmechanischen Effekte und die damit verbundene Isotopenfraktionierung treten nach MOSER & RAUERT (1980) mit abnehmender Temperatur stärker in Erscheinung. Die wesentlichste Ursache für die Isotopenfraktionierung im Wasserkreislauf bilden die im Allgemeinen verschiedenen Dampfdrucke bzw. Schmelzpunkte der einzelnen Isotopenspezies eines Moleküls. Die zwischenmolekularen Kräfte nehmen Einfluß auf die molekulare Diffusion sowie auf andere Transporteigenschaften. Die thermischen Eigenschaften wie Schmelz- und Siedepunkt, Wärmekapazität und Dampfdruck haben dabei die größten Auswirkungen auf die Isotopenfraktionierung.

Tab. 3-2: Vergleich physikalischer Eigenschaften von H₂O und D₂O (BREUER, 1994)

	H ₂ O	D ₂ O (schweres Wasser)
Rel. Molekülmasse	18,016	20,029
Schmelzpunkt	0 °C	3,82 °C
Siedepunkt	100 °C	101,42 °C
Dichte (bei 20 °C)	0,998 g cm ⁻³	1,106 g cm ⁻³
Dichtemaximum bei	3,98 °C	11,6 °C

Die Verteilung der Isotopenspezies des Wassers (Tab. 3-2) und seiner Inhaltsstoffe liefert Rückschlüsse über verschiedene Entstehungsprozesse (z.B. Kontakt mit der Atmosphäre, Matrix des Grundwasserleiters, interne Austauschvorgänge, Transportphänomene, etc.) und Verweilzeiten. Weitere Einzelheiten auf dem Gebiet der Isotopenuntersuchungen, insbesondere zur Meßtechnik und Methodik, finden sich in den zusammenfassenden

Darstellungen von MOSER & RAUERT (1980), von GAT & GONFIANTINI (1981), von FRITZ & FONTES (1980, 1986) und in zahlreichen Publikationen der International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wien.

3.5.1 Deuterium und Sauerstoff-d¹⁸O

Nach MOSER & RAUERT (1980) sind unter 10^6 Wassermolekülen in natürlichen Wässern mit der Isotopenzusammensetzung $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ etwa 2000 Moleküle $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ mit dem schweren Sauerstoffisotop ^{18}O und etwa 320 Moleküle $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$, bei denen eines der beiden Wasserstoffatome ^1H durch das schwere Wasserstoffisotop ^2H (Deuterium) ersetzt ist, vorhanden. Tab. 3-3 zeigt die verschiedenen Nuklide des Wasserstoffs und des Sauerstoffs und deren Häufigkeit am Beispiel des Seewassers.

Tab. 3.3: Nuklide des Wasserstoffs und des Sauerstoffs und deren Häufigkeit in Seewasser (nach MAZOR, 1997)

Nuklid	Name	Massenzahl (Protonen+Neutronen)	Häufigkeit in Seewasser
H (^1H)	„normaler Wasserstoff“	1 Proton	^1H - 99,984 %
D (^2H)	Deuterium (schwerer stabiler Wasserstoff)	1 Proton + 1 Neutron	^2H - 0,016 %
T (^3H)	Tritium (radioaktiver Wasserstoff)	1 Proton + 2 Neutronen	^3H - 5×10^{-6} %
^{16}O	„normaler Sauerstoff“	8 Protonen + 8 Neutronen	^{16}O - 99,76 %
^{17}O	Schwerer (sehr seltene) Sauerstoff	8 Protonen + 9 Neutronen	^{17}O - 0,04 %
^{18}O	Schwerer Sauerstoff	8 Protonen + 10 Neutronen	^{18}O - 0,20 %

Die isotopische Zusammensetzung von Wasser wird mittels der Massenspektrometrie bestimmt. Die Abweichung (δ) bezogen auf SMOW (Standard Mean Ocean Water), bzw. V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) wird in Promille angegeben (CRAIG, 1961b und GAT & GONFIANTINI, 1981). Sie berechnen sich nach MAZOR (1997) wie folgt:

$$\delta\text{D} = \frac{(D/H)_{\text{Probe}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \cdot 10^3 \quad (3-1)$$

und

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Probe}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \cdot 10^3 \quad (3-2)$$

Negative δD -Werte treten bei niedrigeren-, positive δD -Werte bei höherem Deuteriumgehalt im Vergleich zu SMOW auf; gleiches gilt für $\delta^{18}\text{O}$.

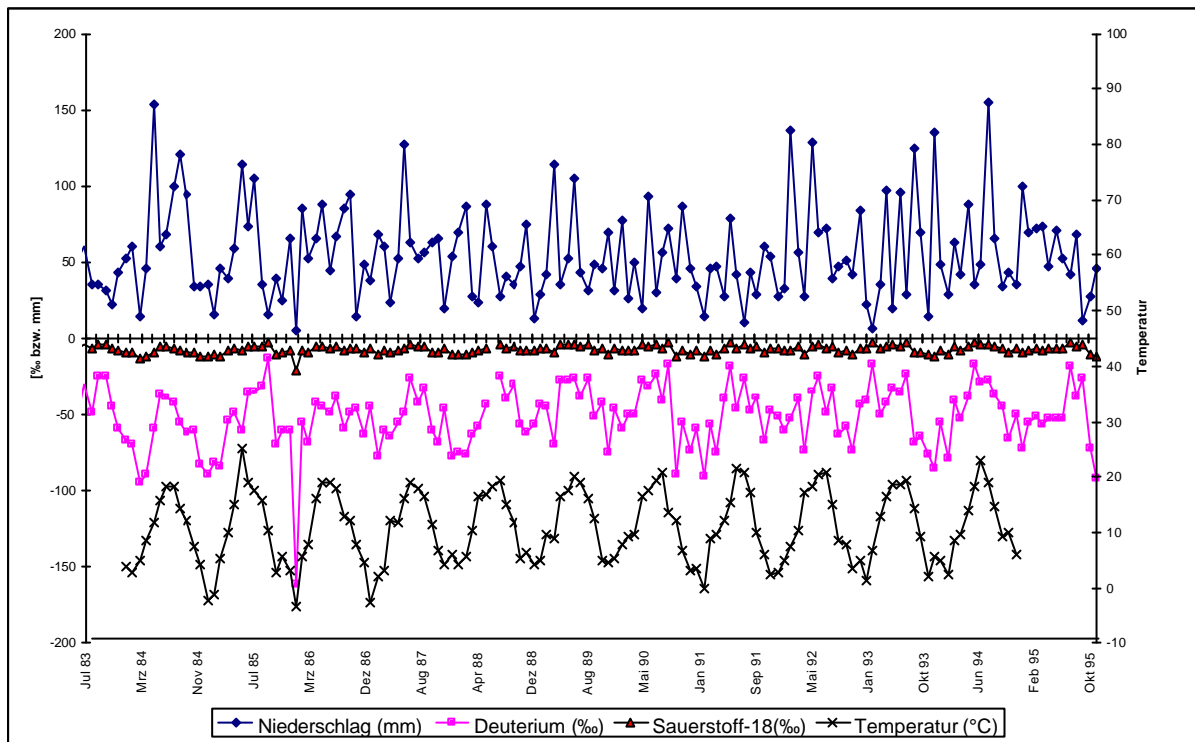


Abb. 3-1: Deuterium und Sauerstoff-18 Konzentrationen in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge und Temperatur der Station Koblenz (Quelle: GNIP database, IAEA 1998)

Isotopisch leichtere Moleküle werden bei Phasenübergängen (Verdunstung, Kondensation, Sublimation) in der stärker flüchtigen Phase vor allem durch den unterschiedlichen Dampfdruck der Wassermoleküle angereichert.

Durch das laufende Ausregnen bei der Kondensation der Niederschläge verringert sich der Gehalt an schweren Isotopen mit wachsendem Abstand von der Küste (*Kontinentaleffekt*).

Die Abnahme der Lufttemperatur mit der orographischen Höhe bewirkt auch eine Abnahme der schweren Isotope in den Niederschlägen (*Höheneffekt*).

Beim *Mengeneffekt* tritt durch die zunehmende Niederschlagsmenge ebenfalls eine Anreicherung der schweren Isotope auf.

Die Temperaturabhängigkeit der Isotopenfraktionierung und des Feuchtigkeitsdefizits hat weiterhin zur Folge, daß in den Niederschlägen ein jahreszeitlicher Gang des Isotopengehalts (*Jahreszeiteffekt*) und eine Anreicherung der schweren Isotope mit wachsender geographischer Breite bzw. mit abnehmender mittlerer Jahrestemperatur (*Breiteneffekt*) auftritt, was sich in Abb. 3-1 widerspiegelt (MOSER & RAUERT, 1980).

Nach CRAIG (1961a, 1961b) besteht für meteorische Wässer eine lineare Beziehung zwischen dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert und dem entsprechend definiertem $\delta^2\text{H}$ -Wert:

$$\delta^2\text{H} = s \delta^{18}\text{O} + d \quad (3-3)$$

Sie wird als Niederschlagsgerade (meteoric water line, MWL) bezeichnet. Die Steigung s dieser Geraden hat für kontinentale Niederschläge einen Wert von ca. 8, der Deuterium (^2H)-Exzeß d liegt bei +10 ‰. Somit ergibt sich aus (3-3):

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \text{‰} \quad (3-4)$$

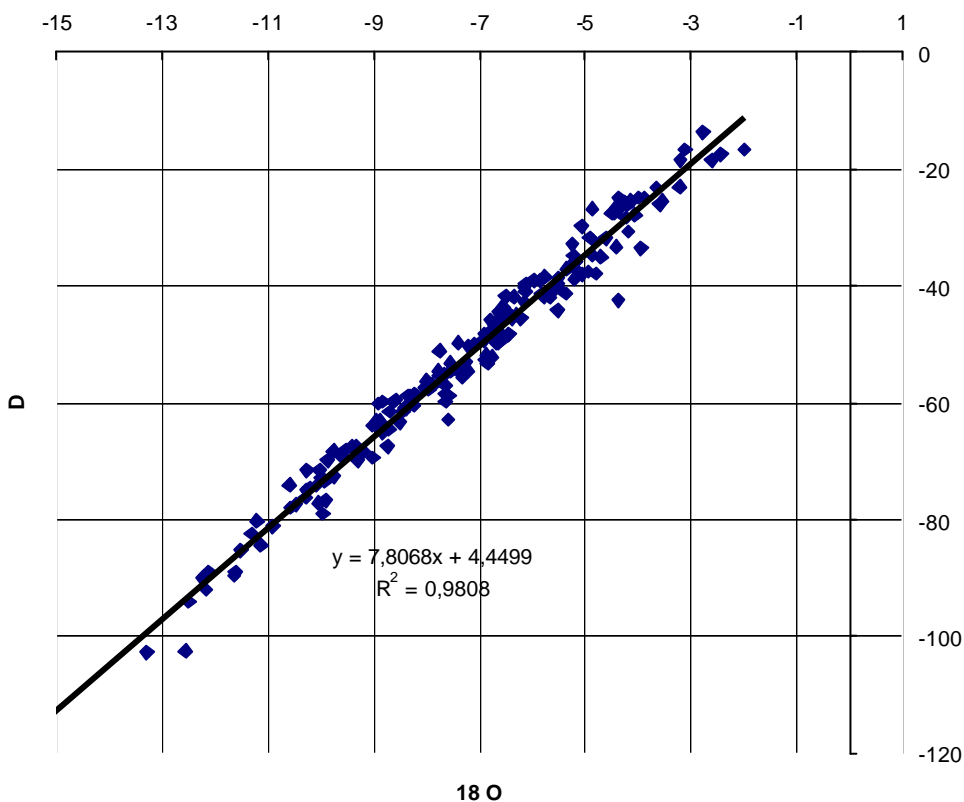


Abb. 3-2: Meteoric water line der Meßstation Koblenz, Monatsmittelwerte der Jahre 1974-1995 (IAEA, 1998)

Abweichungen von der MWL können in Grundwässern, neben den atmosphärischen Fraktionierungsprozessen, auch auf einen Isotopenaustausch mit dem Gestein zurückzuführen sein. Ein solcher Isotopenaustausch tritt bevorzugt bei Temperaturen $>60^\circ\text{C}$ auf (GAT & GONFIATINI, 1981).

3.5.2 Tritium

Von den radiogenen Umweltisotopen hat Tritium in den letzten Jahrzehnten eine zunehmend breite Anwendung bei hydrologischen Untersuchungen gefunden. Von der International Atomic Agency (IAEA) und der World Meteorological Organization (WMO) wurde ein

weltweites Probensammelnetz zur Untersuchung der zeitlichen Eingabe (INPUT) des ^3H durch Niederschläge in den Grundwasserleiter eingerichtet.

Tritium (^3H oder T) ist das radiogene und schwerste Isotop des Wasserstoffs. Seine Konzentration wird in Tritium units (TU) oder auch als Tritium ratio (TR) angegeben. Eine TU entspricht $10^{-18} \text{ } ^3\text{H} / ^1\text{H}$ oder $0,119 \text{ Bq/l}$ (MAZOR, 1997). Alle Radionuklide zerfallen unabhängig von äußeren Einflüssen nach dem Zerfallsgesetz in andere stabile oder radioaktive Nuklide (MOSER & RAUERT, 1980):

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3-5)$$

N = Anzahl der nach der Zeit t vorhandenen radioaktiven Atome

N_0 = Anzahl der zur Zeit $t = 0$ vorhandenen radioaktiven Atome

λ = Zerfallskonstante

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,693 / T_{1/2} \quad (3-6)$$

Die Halbwertszeit $T_{1/2}$ für Tritium beträgt 12,43 Jahre. Der Tritiumzerfall erfolgt in ein β -Teilchen und das leichte Heliumisotop ^3He . Natürliches Tritium wird in der höheren Atmosphäre durch Neutroneneinfang von ^{14}N gebildet, wobei neben Tritium noch Kohlenstoff ^{12}C entsteht.



Die Tritiumatome, die bei diesem Prozess entstehen (ca. 6 TU im Jahresmittel für Niederschläge in Mitteleuropa, (ROETHER, 1967), werden sofort zu Wasser oxidiert und gelangen mit dem Niederschlag in den Wasserkreislauf. Dieses natürliche Tritium ist für hydrogeologische Fragestellungen nur bei Wässern, die vor den Kernwaffenversuchen in den Jahren 1952/53 gebildet wurden von Interesse. Nach MOSER & RAUERT (1980) ist dies praktisch aber nicht möglich, da das durch die Kernwaffenexplosionen künstlich erzeugte Tritium die Niederschläge um das Tausendfache der natürlichen Tritiumkonzentration überhöht hat. Die hydrologische Auswertung von Tritiummessungen in Wässern nicht älter als wenige Jahrzehnte stützt sich daher hauptsächlich auf den Nachweis von „Bomben“-Tritium zur Unterscheidung von jüngeren und älteren Wässern.

In Abb. 3-3 ist die Tritiumkonzentration im Regen der Meßstation Stuttgart aus den Jahren 1961-1995 dargestellt. Aus der Kenntnis der Tritiumeintragsfunktion aus dem Niederschlag, der Halbwertszeit und der gemessenen Konzentration im Wasser kann man auf das Alter von Grundwässern rückschließen. Die Abbildung zeigt deutlich den Höhepunkt der Bombentritiumkonzentration Anfang der sechziger Jahre. Fast 6000 TU sind in der Meßstation Stuttgart registriert worden.

Nach MAZOR (1997) sind Wässer mit Konzentrationen $< 0,5 \text{ TU}$ vor 1952, bei Konzentrationen $> 10 \text{ TU}$ nach 1952 gebildet worden. Bei Konzentrationen zwischen 0,5 und

10 TU liegen Mischwässer vor. Zur Bestimmung der Konzentration wird in einer Wasserprobe die energiearme β -Strahlung von Tritium ($E_{\max} = 0,018 \text{ MeV}$) gemessen. In der sog. Low-Level-Meßtechnik werden als Detektoren zur Strahlungsmessung meistens Flüssigkeitsszintillationsspektrometer oder Gasproportionalzählrohre verwendet (MOSER & RAUERT, 1980).

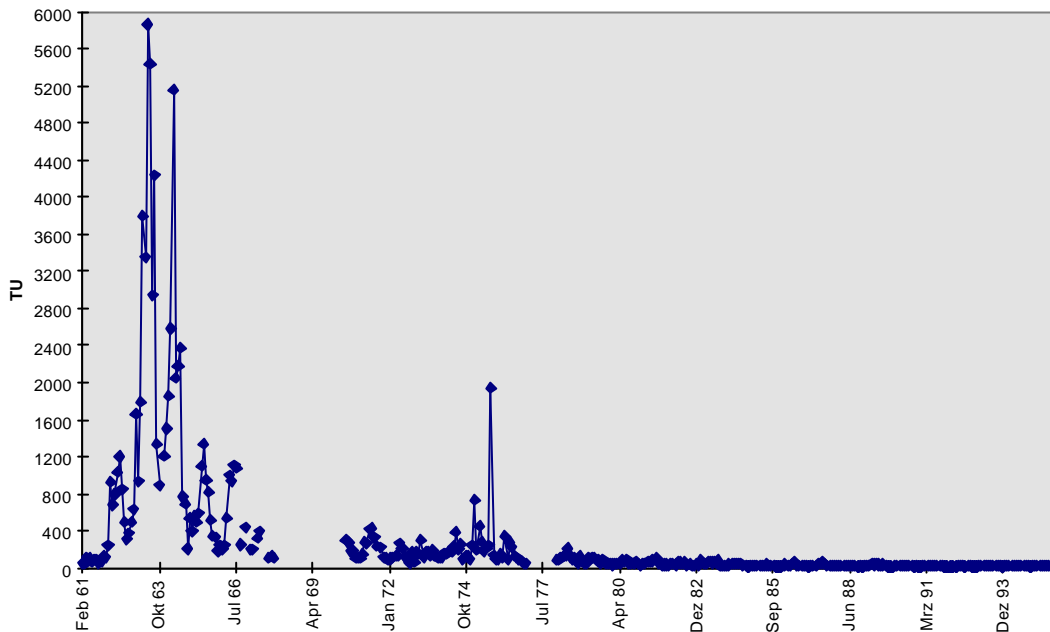


Abb. 3-3: Tritiummonatsmittelwerte der Station Stuttgart der Jahre 1961-1995 (IAEA, 1998)

Den in Abb. 3-3 dargestellten Tritiumeinheiten können mehrere Alter zugeordnet werden. Um die Alter der Wässer eindeutiger zu bestimmen müssen noch weitere Parameter in die Untersuchungen mit herangezogen werden.

3.5.3 $\delta^{34}\text{S}$ und $\delta^{18}\text{O}$ aus dem Sulfatschwefel

Das Element Schwefel hat die vier stabilen Isotope ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S und ^{36}S , die mit ca. 95.02 %, 0.75 %, 4.21 % und 0.02 % im Sulfatkreislauf existieren (KROUSE, 1980; FAURE, 1986). Die isotopische Zusammensetzung für $\delta^{34}\text{S}$ wird folgendermaßen beschrieben:

$$\delta^{34}\text{S} = \left(\frac{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{spl}} - (^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{std}}}{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{std}}} \right) * 10^3 \quad (3-8)$$

Der international anerkannte Standard zu Bestimmung des Isotopenverhältnis von S ist der ^{34}S -Gehalt aus dem Troilit (FeS) des Canyon-Diablo-Eisen-Meteoriten (CDT-Standard). Für den $\delta^{18}\text{O}$ Wert aus dem Sulfat gilt der V-SMOW Standard.

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Probe}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{V-SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{V-SMOW}}} \cdot 10^3 \quad (3-9)$$

Schon NIELSEN & RAMBOW (1969, 1970) untersuchten mit den $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ - Verhältnissen im Sulfat von Mineralwässern Hessens dessen Herkunft. Sie konnten teilweise die Isotopenverhältnisse im Sulfatschwefel von Evaporitsulfaten der verschiedenen geologischen Formationen voneinander unterscheiden, während bei gleichaltrigen Evaporiten die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte im allgemeinen weltweit recht einheitlich sind.

Wässer aus dem Tertiär des Oberrheingrabens liefern nach NIELSEN & RAMBOW (1969) sehr unterschiedliche $\delta^{34}\text{S}$ -Werte, was auf den komplizierten Schichtenaufbau zurückzuführen ist.

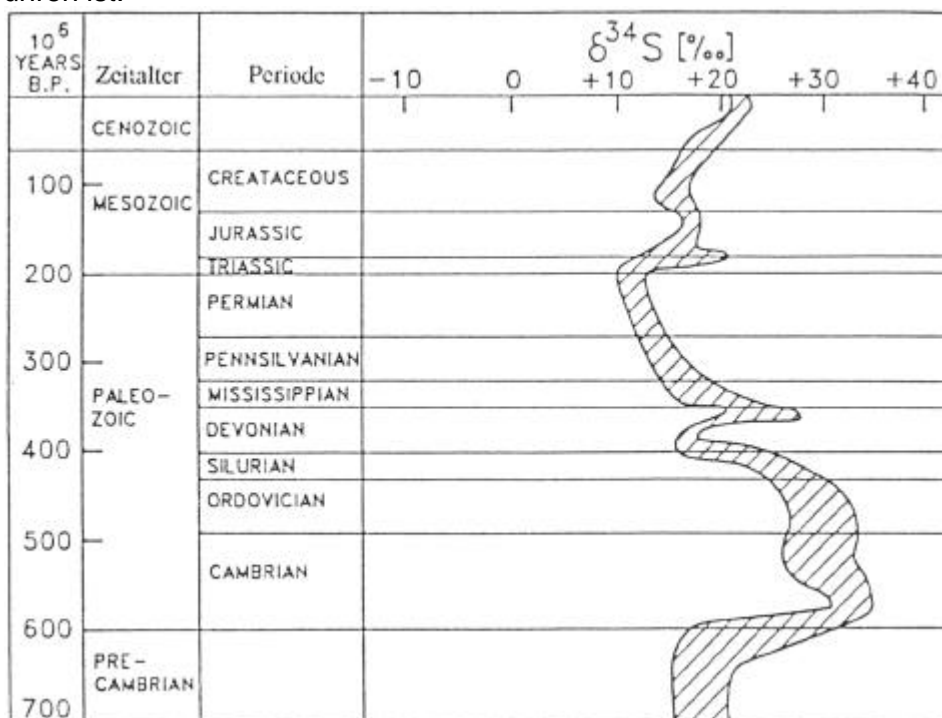


Abb. 3-4: Die $\delta^{34}\text{S}$ -Zusammensetzung aus Sulfatschwefel von marinen Evaporiten im Laufe der Erdgeschichte (KROUSE, 1980)

Schwefel liegt im Grundwasser bei nicht reduzierenden Bedingungen meist als Sulfat vor, das hauptsächlich aus Evaporitgesteinen stammt (MATTHESS, 1961). Nach KÄSS (1992) ermöglicht der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert als hydrologischer Tracer keine zeitliche Differenzierung von Grundwässern, vielmehr nur Hinweise auf seine Herkunft und geochemische Evolution. Wie Abb. 3-4 zeigt, liegt das rezente Isotopenverhältnis für $\delta^{34}\text{S}$ aus dem Sulfatschwefel im Ozean bei ca. 20 ‰ - der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert beträgt 9,6 ‰. Die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte schwanken im Bereich von 8 ‰ (spätes Perm/frühe Trias) bis 35 ‰ (Kambrium). Nach NIELSEN und RAMBOW (1969) sind die Werte für $\delta^{34}\text{S}$ aus dem Sulfatschwefel stets positiv, d.h. der marine Sulfatschwefel enthält immer einen Überschuss an ^{34}S gegenüber dem irdischen Mittelwert. In der geochemischen Gesamtbilanz wird dieser Überschuss kompensiert durch ein $\delta^{34}\text{S}$ -Defizit bei den sedimentären Sulfiden, deren δ -Werte bei ca. -5 bis -15 ‰ liegen und im Extremfall -50 ‰ erreichen können (NIELSEN & RAMBOW, 1969). Treten nun $\delta^{34}\text{S}$ - SO_4 -Werte auf, die

unter 8 ‰ liegen, so ist davon auszugehen, daß ein wesentlicher Teil des Sulfates nicht-evaporitischen Ursprungs ist (HEYL et al., 1970). In Frage kommt hierfür Schwefel aus oxidierten Sulfiden (meist negative $\delta^{34}\text{S}$ -Werte), atmosphärischem Fallout und anthropogen in den Kreislauf eingebrachter Schwefel, der nach MATTHESS (1961) insbesondere aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammt. Auch die δ -Werte dieses Schwefels sind im allgemeinen schwach negativ (NIELSEN & RAMBOW, 1969).

Die Tendenz zur Isotopenfraktionierung ist aufgrund des nicht allzu großen Massenunterschiedes der Schwefelisotope nicht so deutlich ausgeprägt wie etwa beim Wasser. Nach NIELSEN & RAMBOW (1969) und FRITZ et al. (1989) findet bei der bakteriellen Sulfatreduktion eine starke kinetische Isotopenfraktionierung statt, bei der das leichte Isotop bevorzugt wird und es somit zu einer Anreicherung des ^{32}S in den biogenen Sulfiden der Sedimente kommt. Auf der anderen Seite reichert sich durch die bakterielle Sulfatreduktion $\delta^{34}\text{S}$ im restlichen Sulfat an.

Die Gefahr einer Verfälschung der S-Isotopenwerte besteht am ehesten bei Wässern mit sehr geringen Sulfatkonzentrationen, während sulfatreiche Wässer weniger in Ihren $\delta^{34}\text{S}$ -Werten beeinflußt werden (NIELSEN & RAMBOW, 1969).

3.5.4 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{18}\text{O}$ aus dem Nitratstickstoff

Stickstoff hat zwei stabile Isotope ($^{14}\text{N} = 99,64\%$, $^{15}\text{N} = 0,36\%$) und gelangt meist als Nitrat in den Bereich des Grundwassers (vgl. Kap. 3.3). Primäre Quellen sind u.a. Mineral- und Stalldünger, organische Substanzen in den Böden und Siedlungsabwässer. Alle Stickstoffumwandlungen im Stickstoffkreislauf haben Isotopenfraktionierungen zur Folge, d.h. die Verbindungen mit den Isotopen ^{14}N bzw. ^{15}N oder ^{16}O bzw. ^{18}O werden bei diesen Prozessen verschieden schnell umgesetzt und differieren somit in verschiedenen Verhältnissen (AMBERGER & SCHMIDT, 1987).

Daher wird bei Isotopenuntersuchungen neben der Stickstoffisotopie auch das Isotopenverhältnis des Nitratsauerstoffs bestimmt. Als Standard zur Ermittlung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte wird der Gehalt der Luft an ^{15}N (sog. AIR-Standard) benutzt. Für Sauerstoff gilt der V-SMOW Standard. Die isotopische Zusammensetzung wird durch den $\delta^{15}\text{N}$ ausgedrückt, definiert als:

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{spl}} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{std}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{std}}} * 10^3 \quad (3-10)$$

analog gilt für Sauerstoff:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Probe}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{V-SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{V-SMOW}}} * 10^3 \quad (3-11)$$

Nach AMBERGER & SCHMIDT (1987) ist die Aussagekraft der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ohne zugehörige $\delta^{18}\text{O}$ -Werte nur begrenzt anwendbar. Es können nur bedingt Rückschlüsse auf Vorgeschichte und Herkunft der betreffenden Stickstoffverbindungen gezogen werden. N-Verbindungen aus Luftstickstoff haben $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nahe 0 ‰ im Gegensatz zu Verbindungen, die am biologischen Kreislauf teilnehmen und mit ^{15}N angereichert bzw. verarmt sind und positive bzw. negative $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ausweisen.

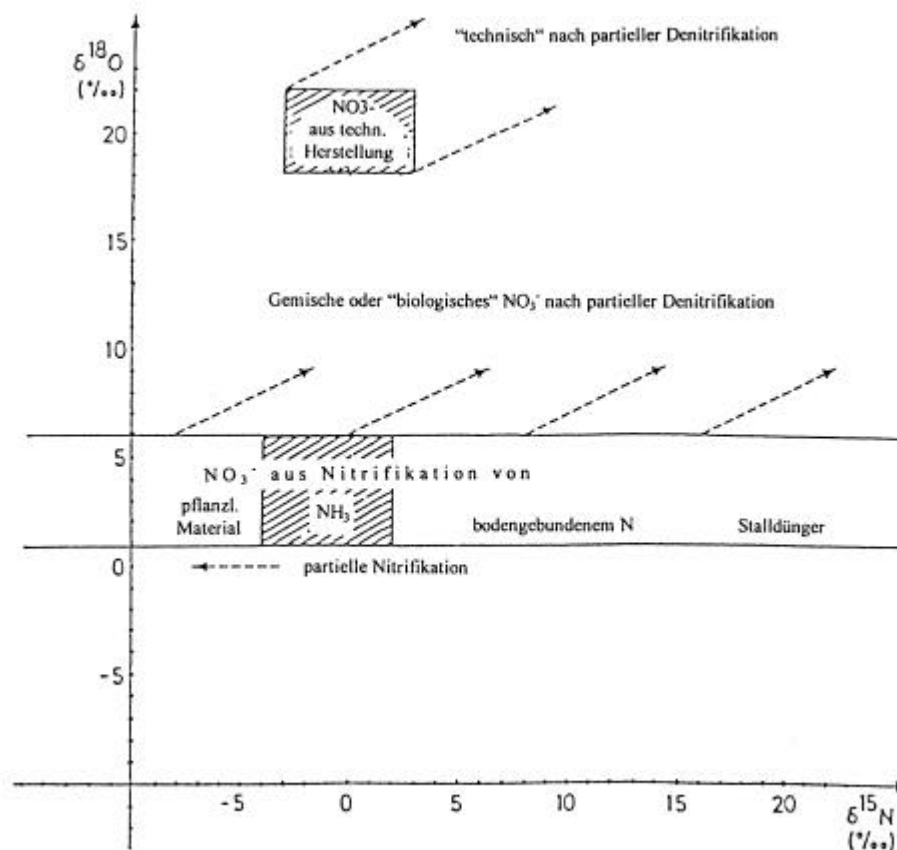


Abb. 3-5: $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Nitraten verschiedener Herkunft (nach SCHMIDT, VOERKELINS & AMBERGER, 1992)

Mit der Analyse des ^{18}O -Verhältnisses aus dem im Wasser gelösten Nitrat kann die Herkunft des Nitrates weiter differenziert werden. So liegen die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus technisch hergestelltem Nitrat zwischen 18 und 23,5 ‰, während biologisch gebildetes Nitrat weit niedrigere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweist. MOSER (1992) zeigte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von saurem Regen von bis zu 60 ‰. Abb. 3-5 zeigt einen Überblick über $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte von Nitraten verschiedener Herkunft. Es wird deutlich, daß durch Denitrifikation das schwere Sauerstoffisotop im verbleibenden Nitrat angereichert wird. Weitere Isotopenfraktionierungen innerhalb des komplexen hydrologischen Stickstoffkreislaufs werden von HÜBNER (1986) beschrieben.

3.5.5 Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)

Seit den dreißiger Jahren werden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) industriell hergestellt und vor allem als Treib-, Kühl- und Lösungsmittel verwendet. Das bedingte einen globalen zeitlichen Anstieg der FCKW-Konzentrationen in der Atmosphäre. Insbesondere die atmosphärischen Konzentrationen der FCKW-Spezies F11 (CCl_3F) und F12 (CCl_2F_2) stiegen aufgrund ihrer vergleichsweise großen atmosphärischen Lebensdauer (Abb. 3-6) von 50-100 Jahren monoton an (CUNNOLD et al. 1983a, 1983b, WMO, 1991). Eine signifikante F113 ($\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$)-Emission erfolgt erst seit rund 20 Jahren (BUSENBERG & PLUMMER, 1993; OSTER, 1996).

Nach BUSENBERG & PLUMMER (1992), COOK et al. (1995), EKWURZEL et al. (1994), SZABO (1996) und OSTER et al. (1996) kann, aufgrund des Gasaustausches in der ungesättigten Bodenzone, mit FCKW markiertem Sickerwasser unter bestimmten Voraussetzungen eine Altersdatierung vorgenommen werden.

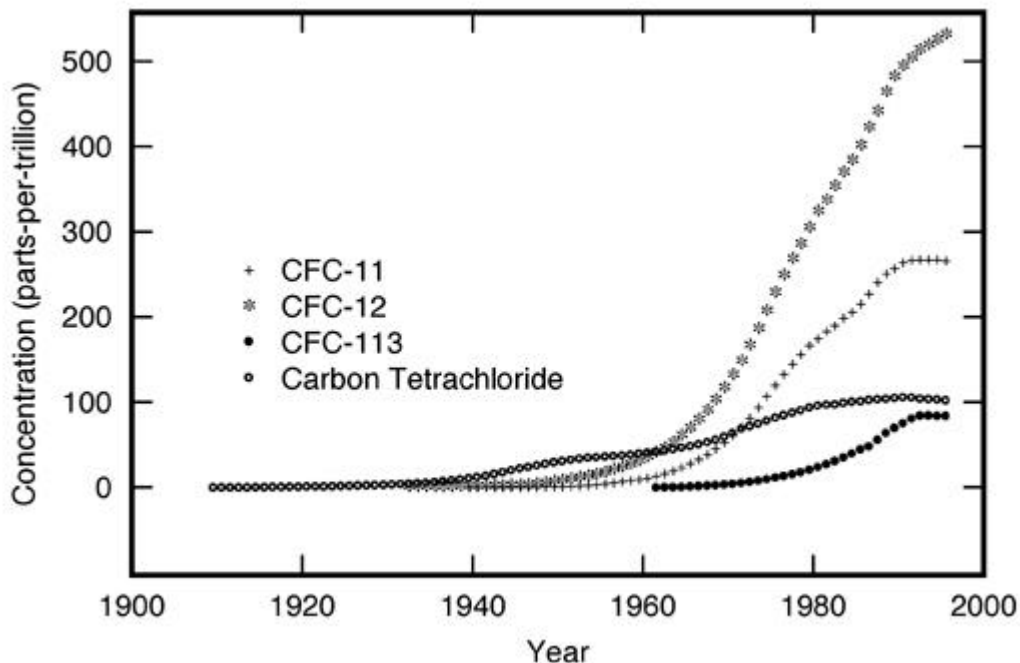


Abb. 3-6: Atmosphärische CCl_4 -, F11-, F12- und F113- Konzentrationen (nach BULLISTER, WISEGARVER & MENZIA, 1999).

Nach der Grundwasserneubildung ist das derart markierte Sickerwasser von weiterem Gasaustausch isoliert. Vergleichsweise altes Grundwasser enthält daher weniger FCKW, da bei dessen Bildung der atmosphärische Pegel niedrig war. Bei einem zeitlich bekannten FCKW-Konzentrationsverlaufes ist so eine Datierung des Grundwassers im Einzugsgebiet eines Aquifers möglich. Die Gleichgewichtskonzentration von FCKW an der Grundwasser-oberfläche lässt sich mit der nach dem Henry'schen Gesetz abgeleiteten Bunsenschen Löslichkeit α berechnen. Nach OSTER (1994) ergibt sich im Lösungsgleichgewicht die Wasserkonzentration c_w (bei der Temperatur T) aus der Luftkonzentration C_1 (die auf 273,15 K und 1013 hPa bezogen ist) zu:

$$C_w = \alpha(T) \cdot C_1 \quad (3-12)$$

BUSENBERG & PLUMMER (1992) fanden heraus, daß bei einer Änderung der Temperatur um 2 °C die FCKW-Gehalte sanken. Dies bedeutet, daß bei Wässern die vor 1980 gebildet worden sind, eine Abweichung von weniger als einem Jahr und bei Wässern, die nach 1985 gebildet worden sind, eine Abweichung von bis zu 3 Jahren in den berechneten Altern auftreten können. Dabei führt eine Temperaturerhöhung zu einer Verfälschung hin zu höheren Altern (EKWURZEL et al., 1994).

Die Konzentration von FCKW kann durch einen vorhandenen Luftüberschuß im Grundwasser, der in die gesättigte Bodenzone kommt, beeinflusst werden. Nach BUSENBERG & PLUMMER (1992) beträgt dieser Anteil an Exzess-Luft höchstens 30 cm³/kg bzw. 5 cm³/l, was zu einer rechnerischen Altersabweichung von höchstens einem Jahr zu jüngeren Modellaltern führt.

In anaeroben Systemen können die FCKW mikrobiologisch im Wasser abgebaut werden (COOK et al., 1995, DUNKLE et al., 1993, OSTER et al., 1996a-c, LOVLEY & WOODWARD, 1992). F11 wird dabei ungefähr zehnmal schneller abgebaut als F12 (OSTER, 1996). Nach LOVLEY & WOODWARD (1992) beginnt dieser Abbau erst nach abgeschlossener Denitrifikation. Stattgefundene Abbauprozesse werden durch den Quotienten F11/F12, der seit 1975 konstant ist, angezeigt. Unter günstigen Umständen ist aufgrund des konstanten Verhältnisses der Abbauraten von F12 und F11 eine Korrektur möglich (OSTER, 1996a; 1996b). Gemäß dem Anstieg der atmosphärischen FCKW-Konzentrationen ist das erwartete Verhältnis von F11 und F12 im Wasser vorgegeben.

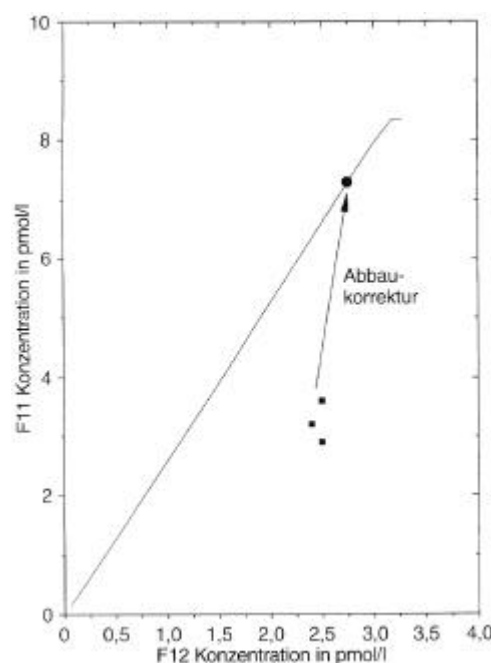


Abb. 3-7: Verlauf der erwarteten F12-Konzentration gegen die F11-Konzentration am Beispiel eines nitratbelasteten Aquifers (OSTER, 1996 b)

Die Gerade, dargestellt in Abb. 3-7, mit der $(\Delta F_{11}/\Delta F_{12})$ -Steigung 10/1 ergibt mit dem Schnittpunkt der erwarteten Kurve die abbaukorrigierte FCKW-Konzentration.

Das Meßprinzip des FCKW-Nachweises ist die Gaschromatographie mit einem Electron-Capture-Detector (ECD) (OSTER, 1987; BULLISTER & WEISS, 1988). Die Reproduzierbarkeit der Messung von FCKW F12 und F11 in Wasserproben beträgt $\pm 3\%$ (1σ). Mit dem Eigenbaumeßsystem sind Konzentrationen im Wasser bis minimal ca. 0,01 pmol/l (= $0,01 \times 10^{-12}$ mol/l) routinemäßig meßbar, während die aktuelle Gleichgewichtskonzentration für F11 rund 8 pmol/l beträgt (OSTER, 1996 b).

Die FCKW werden aus einer 10-30 ml großen Wasserprobe durch ein Trägergas (95 % Argon, 5 % Methan, ECD-Qualität) quantitativ extrahiert. Zur Aufkonzentrierung wird der Gasstrom kontinuierlich über eine Kühlfalle geleitet (Purge and Trap-Technik). Die Entgasungseffizienz dabei liegt bei ca. 99 %. Das gesamte Meßsystem ist ausschließlich aus Metallteilen aufgebaut, um Kontaminationen und Systemblanks zu reduzieren. Der gesamte Meßablauf inklusive der Ergebnisaufzeichnung des Detektorsignals wird vollautomatisch mit einem PC gesteuert. Eine Messung dauert etwa 20 min. (mündl. Mitt. OSTER, 1999; OSTER et al., 1996a).

4. Ergebnisse

4.1 Grundwasserhaushalt

Im Untersuchungsgebiet konnten weitere Grundwasserhaushaltsbetrachtungen nach den Verfahren von NATERMANN (1951), THORNTHWAITE (1955) und UHLIG (1959) angewandt werden. Das Landesamt für Wasserwirtschaft stellte freundlicherweise die Rohdaten der Abflußpegel des Appelbaches in Gaugrehweiler und Bosenheim, des Wiesbaches in Uffhofen und Gensingen, sowie der Selz in Alzey, für weitere Berechnungen zur Verfügung. Durch diese erweiterte Datenbasis konnte das Arbeitsgebiet für Grundwasserhaushaltsberechnungen auf ca. 500 km² erweitert werden. Das Meßtischblatt Alzey hat im Gegensatz dazu eine Fläche von 133,5 km².

Im gemäßigten Klimabereich sind für die Grundwasserneubildung und für den gesamten Wasserhaushalt allein Niederschläge in Form von Regen und Schnee von Bedeutung (RICHTER & LILLICH, 1975). Die für die Berechnung des Grundwasserhaushalts erforderlichen Daten sind durch die Grundwasserhaushaltsgleichung bestimmt. In der einfachsten Form lautet sie:

$$N = A_o + A_u + V \quad (4-1)$$

N = Niederschlag

A_u = unterirdischer Grundwasserabfluß,

A_o = oberirdischer Abfluß,

V = Gesamtverdunstung ((Transpiration V_t und Evaporation V_e) = Evapotranspiration)).

Der unterirdische Abfluß wurde nach dem NATERMANN - Verfahren (1951) bestimmt. Die potentielle Evapotranspiration (ETP) gibt nur den größtmöglichen Wert pro Monat an. Sie kann nur empirisch aus vorhandenen Klimawerten bzw. Erfahrungswerten errechnet werden, da keine detaillierten Angaben über die Bodenfeuchte vorliegen und keine Differenzierung zwischen V_t und V_e getroffen werden konnte. Unter Berücksichtigung der Feldkapazität des Bodens kann man die aktuelle ETP nach UHLIG (1959) berechnen.

4.1.1 Niederschlag

Zur Ermittlung der durchschnittlichen Niederschlagsmenge konnten Daten der EWG und des Deutschen Wetterdienstes verwendet werden. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge (1987-1998) des semiariden Gebietes beträgt ca. 550 mm/a, gegenüber dem Bundesdurchschnitt von 837 mm/a (LIEBSCHER, 1982). Ein niederschlagsarmes Jahr ist das Jahr 1991 mit 355 mm/a; ein niederschlagsreiches Jahr das Jahr 1988 mit 679 mm/a.

4.1.2 Evapotranspiration (Gesamtverdunstung)

Nach der Formel von THORNTHWAITE (1955) errechnet sich die potentielle Evapotranspiration (ETP) aus den vorhandenen Daten der Lufttemperatur, unter Berücksichtigung der tatsächlichen Monatslänge und der je nach Tag, Monat und geographischer Breite, unterschiedlichen Sonnenscheindauer:

$$uETP = 1.6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad (u = \text{nicht korrigiert}) \quad (4-2)$$

t = Monatsmittel der Temperatur

$$I = \sum_{Jan}^{dez} i \quad \text{mit } i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

I = Wärmeindex

$$a = (0,0675 * I^3 - 7,71 * I^2 + 1,792 * I + 49239) * 10^{-5} \quad (4-4)$$

Gleichung (4-2) gilt zunächst nur für idealisierte Monate von 30 Tagen mit 12 Stunden Tageslänge.

$$ETP = 0,533 \cdot f \cdot \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \quad (4-5)$$

T_m = Monatsmittel der Temperatur

f = Korrekturfaktor

Der Korrekturfaktor f in Gleichung (4-5), nach UHLIG (1959), berücksichtigt die tatsächliche Monatslänge und die von der geographischen Breite abhängige Sonnenscheindauer (vgl. UHLIG, 1959). Die potentielle ETP gibt aber nur den maximal möglichen Wert pro Monat an. Nach UHLIG (1959) kann man unter Berücksichtigung der Feldkapazität des Bodens mit verschiedenen Nomogrammen die aktuelle Verdunstung berechnen. Herr Prof. Sabel (Hess. Landesamt für Umwelt und Geologie, freundl. mündl. Mitt.) rechnet mit einer mittleren nutzbaren Feldkapazität im Raum Alzey von maximal 200 mm.

4.1.3 Unterirdischer- und oberirdischer Abfluß

Anhand der mittleren Monatsabflußwerte wurde A_u mit Hilfe des A_u-Linienverfahren nach NATERMANN bestimmt. Die Lage der ausgewerteten Abflußpegel ist in Abb. 4-1 ersichtlich. Die beiden wichtigsten Vorfluter am Rande des Nordpfälzer Berglandes sind der in S-N-Richtung fließende Wies- und Appelbach. Der Wiesbach wird seit 1972 durch das Landesamt für Wasserwirtschaft mittels Abflußschreibern überwacht. Die Größe des Einzugsgebietes für den Wiesbach beträgt für den Abflußpegel Uffhofen 84,9 km² und für den Abflußpegel Gensingen 197 km². Der Wiesbach führt durchschnittlich etwa 260 Liter Wasser pro Sekunde bei Uffhofen, bzw. 460 Liter Wasser pro Sekunde bei Gensingen. Betrachtet man nur den unterirdischen Anteil so beträgt dieser bei Uffhofen etwa 130 Liter pro Sekunde und bei Gensingen etwa 230 Liter Wasser pro Sekunde. Der Wiesbach mündet nach ca. 42 km Fließstrecke bei Gensingen in die Nahe.

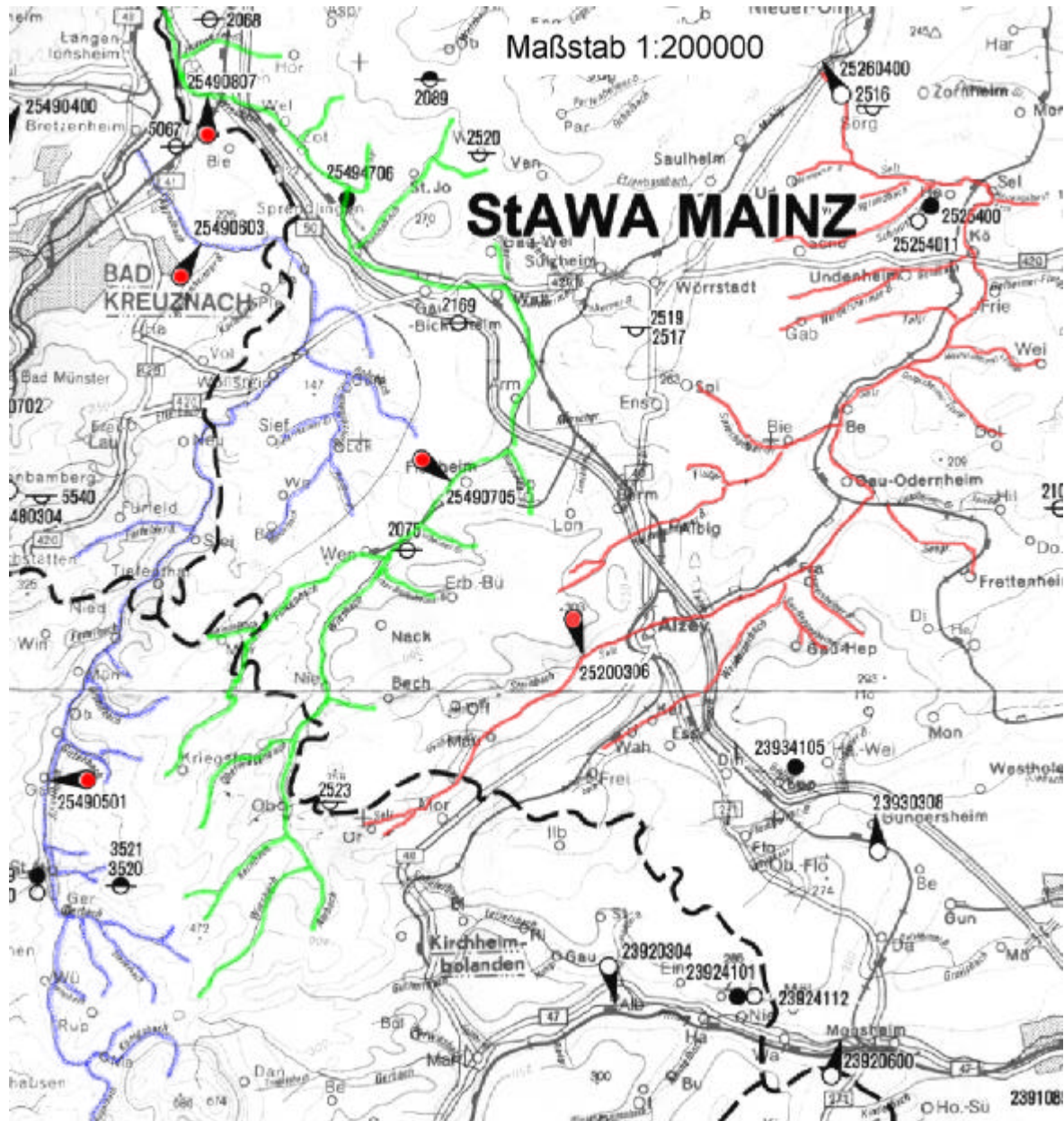


Abb. 4-1: Lage der wichtigsten Vorfluter (verändert nach LfW, 1993)

Desweiteren sind für die Einzugsgebiete der Abflußpegels für den Appelbach bei Bosenheim mit 166 km^2 und bei Gaugrehweiler mit $41,4 \text{ km}^2$ angegeben worden. Der Appelbach führt bei Gaugrehweiler etwa 300 Liter Wasser pro Sekunde (A_u beträgt ca. 60 Liter/Sekunde) und bei Bosenheim etwa 600 Liter Wasser pro Sekunde (A_u beträgt ca. 200 Liter/Sekunde). Nach ca. 40 km Fließstrecke mündet er bei Bretzenheim in die Alsenz.

Vergleicht man die unterirdischen Abflußkurven von Appelbach und Wiesbach, so ist über einen Zeitraum von fast 30 Jahren zu erkennen, daß der Appelbach (A_o/A_u ca. 3:1) schneller entwässert, d.h. weniger Rückhaltevermögen besitzt als der Wiesbach (A_o/A_u ca. 2:1). Es ist aufgrund der geologischen Untergrundzusammensetzung davon auszugehen, daß das Wasser aufgrund der besser ausgebildeten Klüftung bzw. der niedrigeren Porosität schlechter gespeichert werden kann.

Das Einzugsgebiet der Selz bei Alzey beträgt 27,3 km². Da die Selz in ihrem Oberlauf bei Alzey nur wenig Wasser führt, ist ihr Einzugsgebiet hier als abflußarm zu bezeichnen. Im Gegensatz dazu gewinnt die Selz bis zu ihrer Einmündung in den Rhein bei Ingelheim für die dortige Haushaltsbilanz zunehmende Bedeutung. Für die Wasserhaushaltsbetrachtung westlich von Alzey ist sie von nur geringer Relevanz. Die mittlere Abflußspende beträgt ca. 60 Liter Wasser pro Sekunde, wobei davon fast 40 Liter Wasser den unterirdischen Abfluß ausmachen. Das Speichervermögen der Selz ist bezogen auf den Wies- und Appelbach relativ hoch. Das liegt hauptsächlich am Anteil der tertiären Grundwasserlandschaft der Kalksteine und Mergel, die von West nach Ost zunimmt.

Der oberirdische Abfluß errechnet sich aus der Differenz zwischen dem Gesamt- und dem unterirdischen Abfluß.

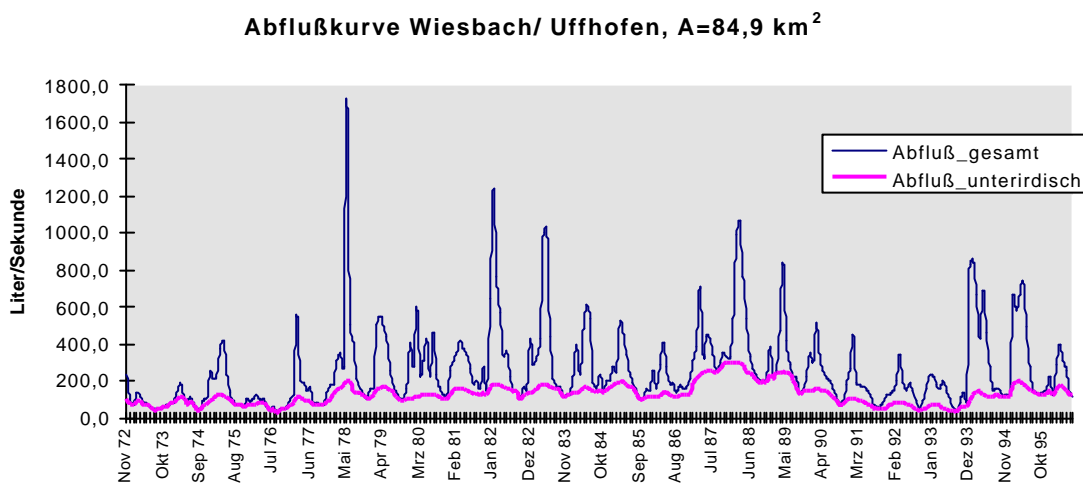


Abb. 4-2: Abflußkurve des Wiesbaches bei Uffhofen

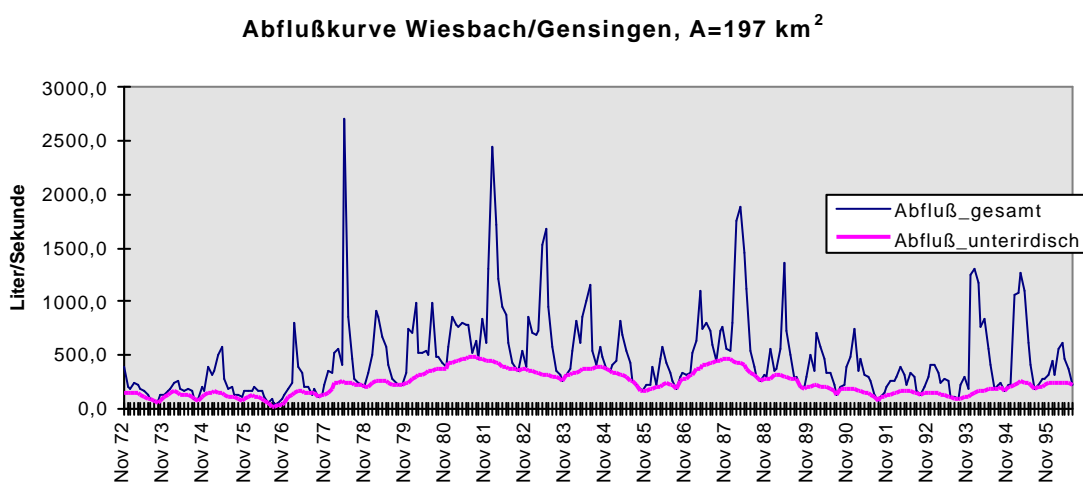


Abb. 4-3: Abflußkurve des Wiesbaches bei Gensingen

Abflußkurve Appelbach/Bosenheim, A=166 km²

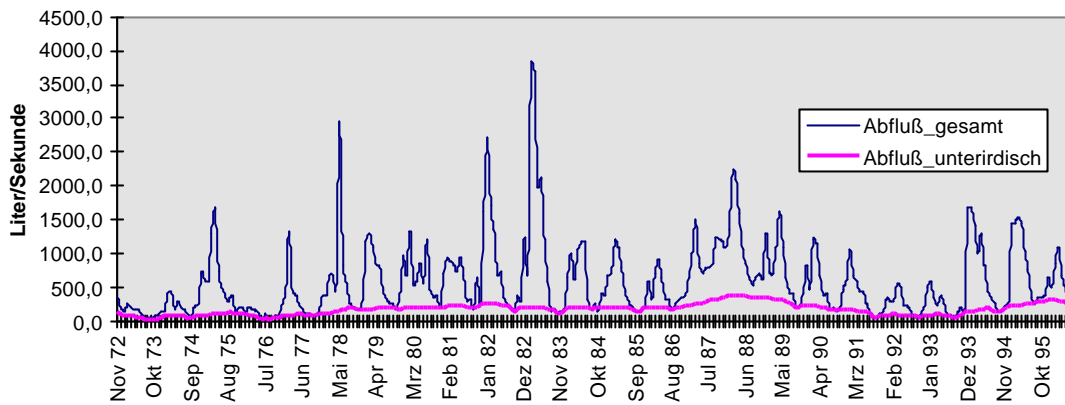


Abb. 4-4: Abflußkurve des Appelbaches bei Bosenheim

Abflußkurve Appelbach/Gaugrehweiler, A=41,4 km²

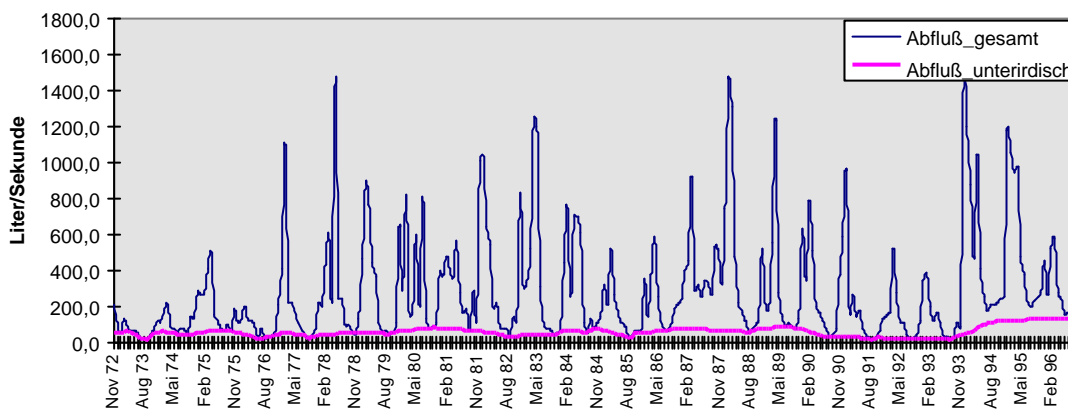


Abb. 4-5: Abflußkurve des Appelbaches bei Gaugrehweiler

Abflußkurve Selz/Alzey, A=27,3 km²

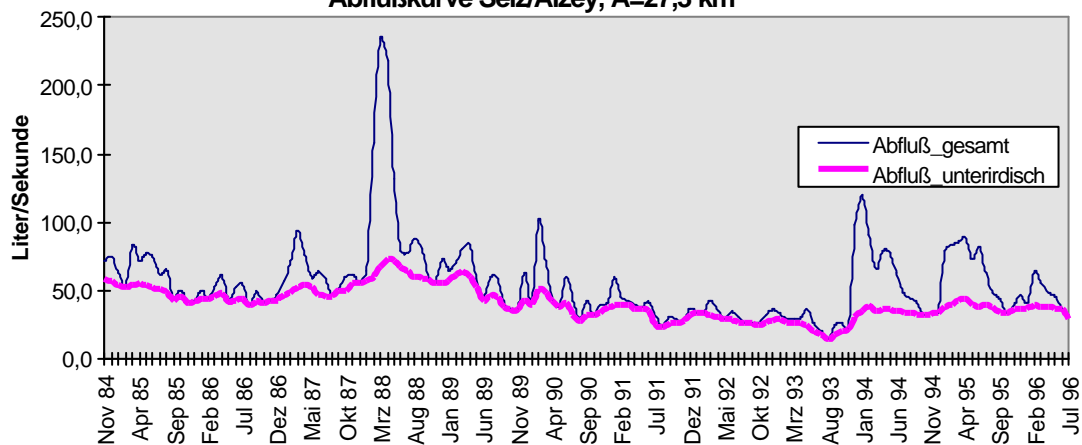


Abb. 4-6: Abflußkurve der Selz bei Alzey

4.1.4 Grundwasserhaushalts- Bilanzierung

Im jahreszeitlichen Ablauf wird die Grundwasserneubildung im wesentlichen von Niederschlags- und Verdunstungshöhe und dem Wassergehalt der ungesättigten Bodenzone beeinflusst. Die Grundwasserneubildungsrate betrug für das betrachtete Untersuchungsgebiet im langjährigen Mittel im Schnitt ca. 56 mm pro Jahr. Allein die Winterniederschläge führten bei verlangsamerter Evapotranspiration zu einer erhöhten Grundwasserneubildung von ca. 40 mm. Die Grundwasserneubildung betrug dagegen im Frühjahr, bei ansteigenden Temperaturen (erhöhte Evapotranspiration), ca. 15 mm. Mit dem Beginn der Vegetationsperiode nimmt die Möglichkeit zur Grundwasserneubildung stark ab. Die für die Evapotranspiration benötigte Wassermenge wird zunächst aus dem Wassergehalt der ungesättigten Bodenzone gedeckt. Während der restlichen Monate wurden die Ressourcen der Böden (nutzbare Feldkapazität) des semi-ariden Gebietes fast vollständig aufgebraucht.

Tab. 4-1: Grundwasserhaushalt der Jahre 1986 - 1995 (Monatsmittel)

	Niederschlag	Abfluß ges.	Au	Ao	akt. Verdunstung	Differenz
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Januar	32	14,5	4,2	10,3	7,0	10,7
Februar	29	15,3	4,4	10,9	7,0	6,7
März	41	16,8	4,4	12,4	30,0	-6,0
April	47	15,8	4,3	11,5	48,0	-16,8
Mai	48	10,5	4,2	6,3	68,0	-30,6
Juni	61	7,6	4,1	3,5	76,0	-22,6
Juli	60	5,4	3,9	1,5	84,0	-29,0
August	53	4,5	3,7	0,8	49,0	-0,5
September	46	5,0	3,7	1,3	62,0	-20,9
Oktober	39	5,7	3,8	1,9	40,0	-6,7
November	43	9,5	4,0	5,5	13,0	20,9
Dezember	38	12,1	4,2	7,8	8,0	17,9
Mittel	44,8	10,2	4,1	6,1	41,0	

Diese Maximalwerte können nur näherungsweise auf das gesamte Meßtischblatt Alzey übertragen werden, da sehr viele Faktoren (versiegelte Flächen, Bewuchs) im einzelnen nicht berücksichtigt werden können. Es zeigt sich, daß der in der Vergangenheit berechnete Wert von 100 mm/a als zu hoch zu bewerten ist (MAIER-HARTH & SCHMITT, 1999; SCHMITT, 1996).

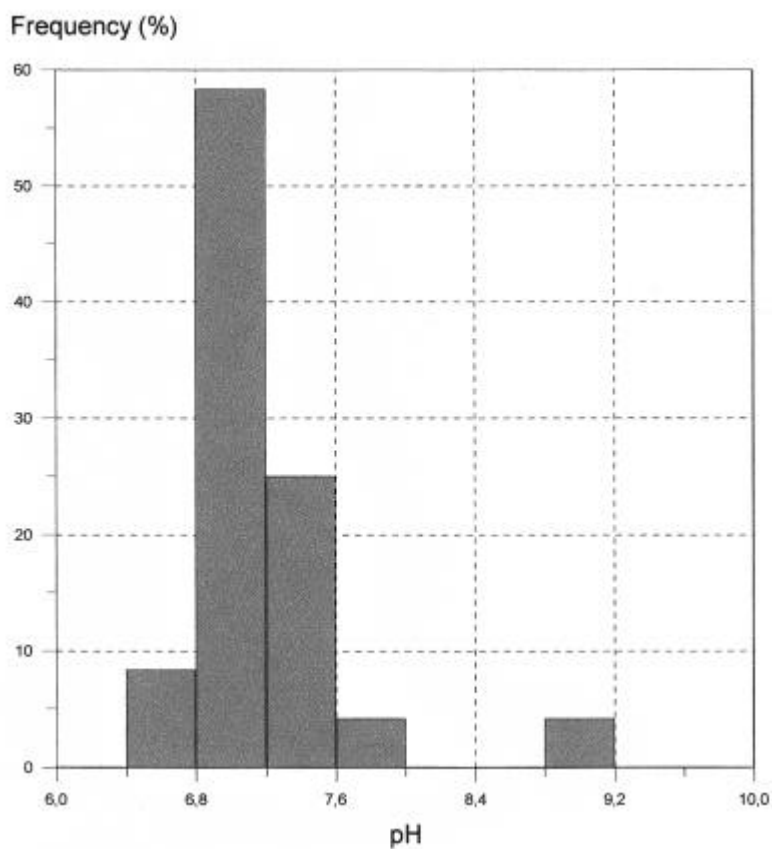
Das Landesamt für Wasserwirtschaft gab eine großregionale Grundwasserneubildung für das Gebiet Alzey mit 30 bis 50 mm pro Jahr an (LfW, Herr Kampf, mündl. Auskunft). Laut LfW-Berichts Nr.225/93, beträgt der mittlere Gebietsniederschlag am Nordrand des Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes (Grundwasserlandschaft: Tertiäre Kalksteine) ca. 500 mm/a, wovon weniger als 100 mm/a der Grundwasserneubildung zur Verfügung steht.

4.2 Analysen

4.2.1 Chemische Analysen der Brunnenwässer

Eine allgemeine Übersicht über die Darstellung einiger Feldparameter sind aus den Abbildungen 4-7 bis 4-11 ersichtlich. Es erscheint sinnvoll Brunnenwässer von Quellwässern bei der Ergebnisdarstellung zu trennen, da aufgrund der reduzierenden bzw. oxidierenden Bedingungen der Brunnen- und Quellwässer von unterschiedlichen Analyseergebnissen auszugehen ist. Die Plausibilitätskontrolle ergab Fehler in der Gesamtionenbilanz im Schnitt unter 3%.

Abb. 4-7: pH – Wert Verteilung der Brunnenwässer



Die Häufigkeitsverteilung des pH-Wertes zeigt eine Schwankung des pH-Wertes um den Neutralpunkt (pH 7,1 im Mittel, $\sigma=0,5$).

Alle Brunnen mit einer Teufe von mehr als 50 m fallen durch einen niedrigen Nitratwert (kleiner 5,5 mg/l) auf. Bei diesen Brunnen herrschen reduzierende Bedingungen im Grundwasser vor (Nitratreduktion). Alle anderen Brunnenwässer weisen Nitratgehalte bis zu 158 mg/l (Maximalwert Brunnen Flonheim Haus, 1995) auf. Hier wird durch die vermehrte landwirtschaftliche Tätigkeit Nitrat in die oberflächennahen Grundwasserleiter eingetragen und teilweise die zulässigen Grenzwerte für Nitrat von 50 mg/l im Rohwasser überschritten.

Abbildung 4-8 zeigt die Verteilung des Redoxpotentialgehaltes in den gemessenen Rohwässern.

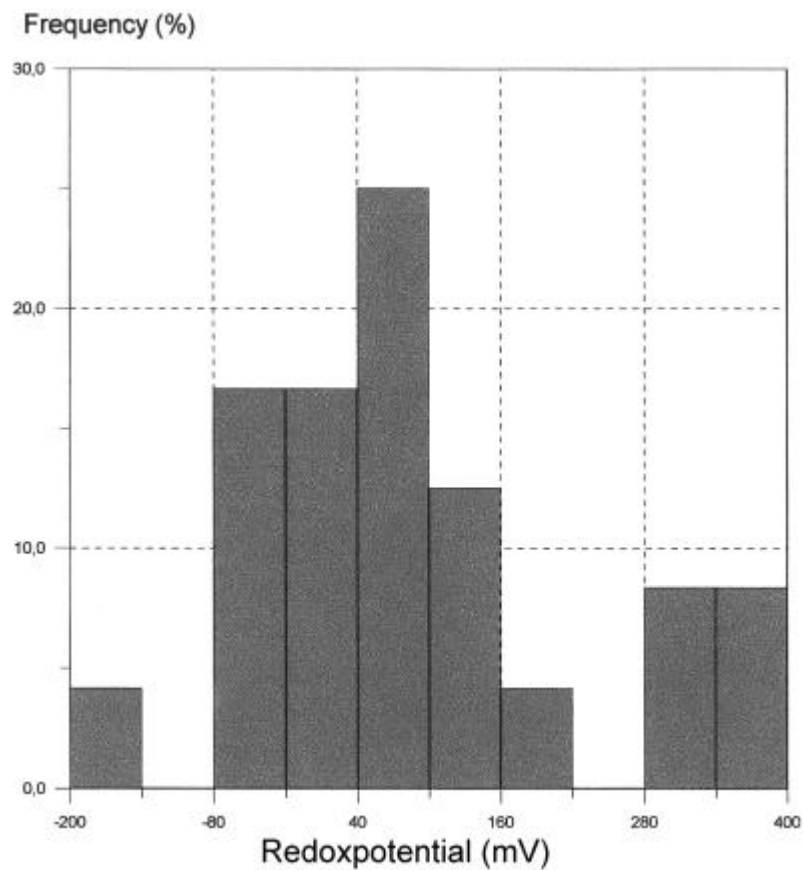


Abb. 4-8: Redoxpotentialverteilung der Brunnenwässer (in mV)

Die Messungen der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit liegen im Bereich von 643 bis 1784 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$, was auf der Abbildung 4-9 dargestellt ist. Abbildung 4-10 zeigt eine Darstellung der gemessenen Wassertemperaturen, die im allgemeinen zwischen 6,7°C und 12,7°C liegen.

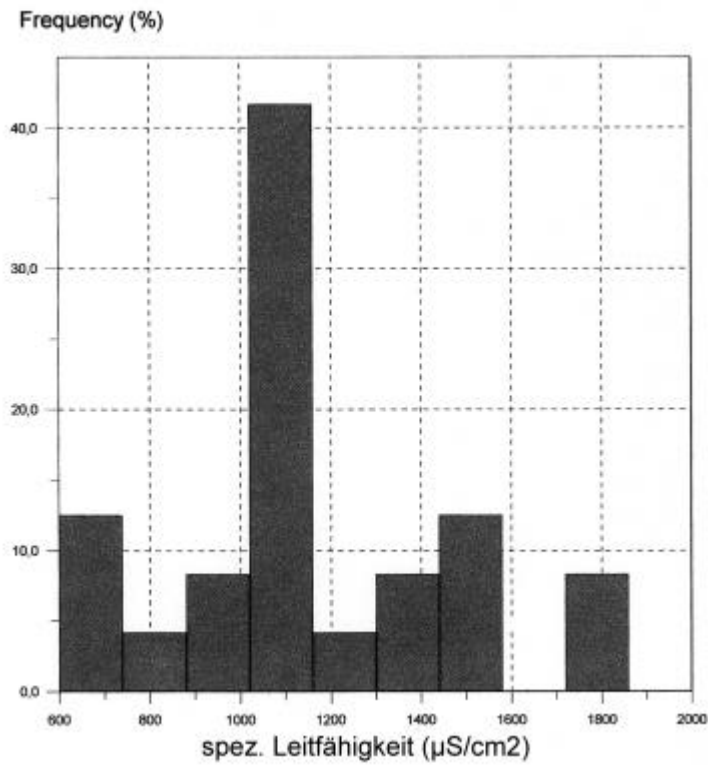


Abb. 4-9: Verteilung der spezifischen Leitfähigkeit der Brunnenwässer (in µS/cm²)

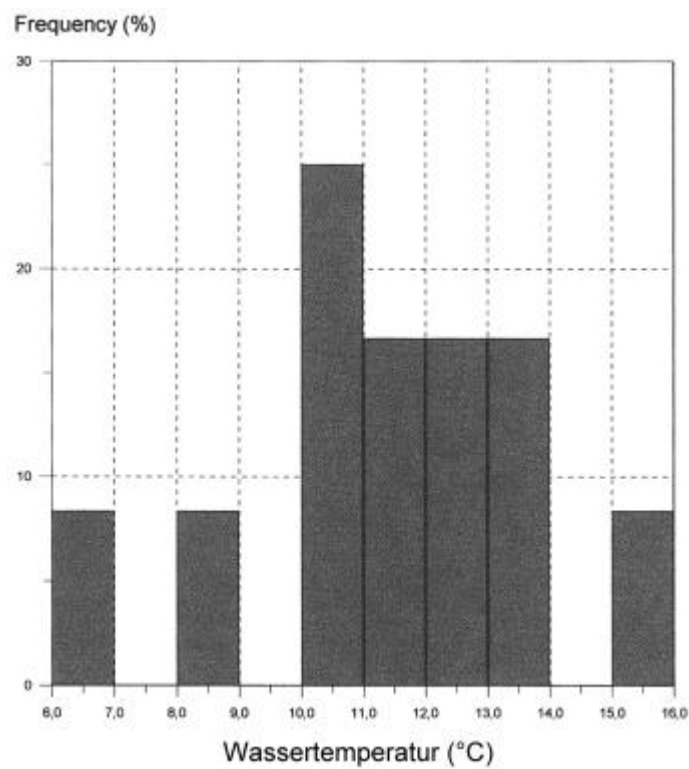


Abb. 4-10: Temperaturverteilung der Brunnenwässer (°C)

Die Wassertemperaturen steigen mit zunehmender Brunnentiefe von ca. 1°C pro 40 m Tiefe an. Die Ordinate mit der hier aufgetragenen Tiefe schneidet in Abbildung 4-11 die Abszisse bei ca. 10°C, da hier ungefähr die mittlere durchschnittliche Grundwassertemperatur liegt. Die Bestimmung der organoleptischen Parameter ergab keine besonderen Auffälligkeiten.

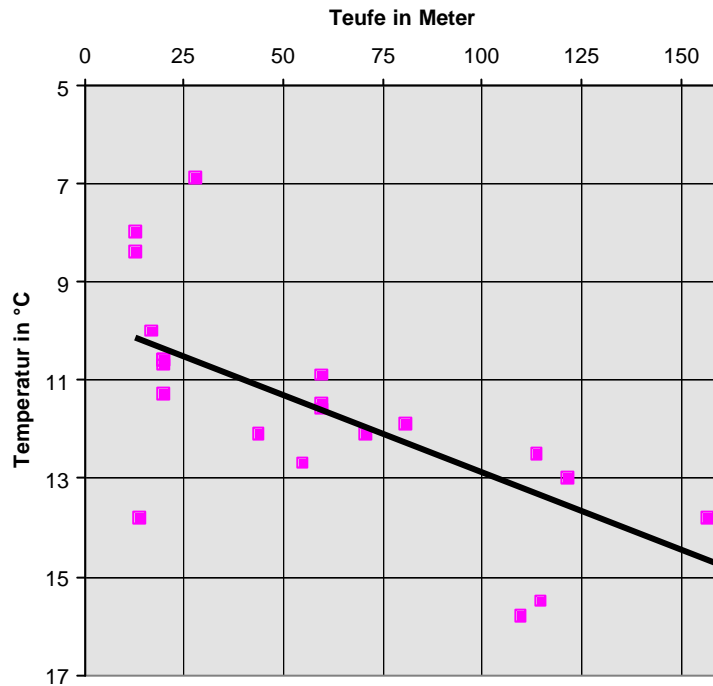


Abb. 4-11: Temperatur gegen Brunnentiefe

Die Brunnen in Albig und die Grundwassermeßstelle 2075 des Landesamts für Wasserwirtschaft in Uffhofen nehmen bezüglich ihrer Wasserchemie eine Sonderstellung ein. Die Wässer der Brunnen Albig alt, Albig neu und des Pegels Uffhofen fallen durch hohe Natrium-Werte ($400 \text{ mg/l} = 17,2 \text{ mmol(eq)/l}$) auf. Die Brunnenwässer des Brunnens Albig neu und des Pegels Uffhofen enthalten im Gegensatz zu allen anderen Wässern weniger als 5 mg/l Magnesium. Auch die spezifische elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert zeigen erhöhte Werte an (Leitfähigkeit : $1780\text{-}2470 \text{ }\mu\text{S}$, pH-Wert $8,2 - 9,1$). Auch das Brunnenwasser Albig neu zeigt im Gegensatz zu allen anderen Wässern mit $15,8 \text{ }^\circ\text{C}$ eine ungewöhnlich hohe Temperatur auf.

Die Gesamtlösungsinhalte (Abb. 4-12) liegen zwischen $13,9$ und $37,9 \text{ mmol(eq)/l}$, was aus Abbildung 4-12 ersichtlich ist.

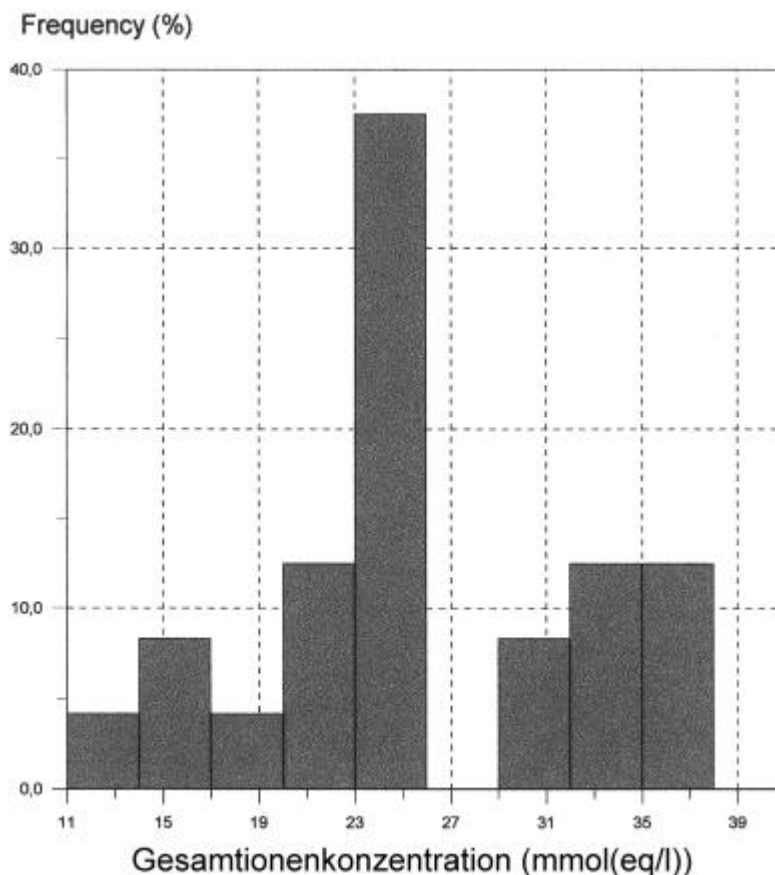


Abb. 4-12: Verteilung der Gesamtionenkonzentrationen der Brunnenwässer (in mmol (eq/l))

Die verschiedenen Brunnenwässer lassen sich nach Einteilung unter Zuhilfenahme der Piper- (Abb. 4-13) und Schöller- (Abb. 4-14) Diagramme grob in zwei Kategorien unterteilen:

1. Calcium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Wässer
2. Natrium-Kalium-Hydrogenkarbonat-Wässer.

Zur ersten Kategorie gehören die Brunnen und Grundwassermeßstellen in Lonsheim, Heimersheim, Bornheim, Flonheim, Bechenheim, Freimersheim, Offenheim, Lonsheim/Bornheim, Esselborn, Nack und die Versuchsbohrung Erbes-Büdesheim. Alle aufgeführten Brunnen fördern erdalkalische Wässer, die Magnesium und Calcium dominiert sind. In Albig treten alkalische Wässer mit vorwiegend Natrium und etwas Kalium auf. Zudem zeigen sie, daß alle Wässer als überwiegend hydrogencarbonathaltig bzw. als überwiegend sulfat- und chloridhaltig anzusehen sind.

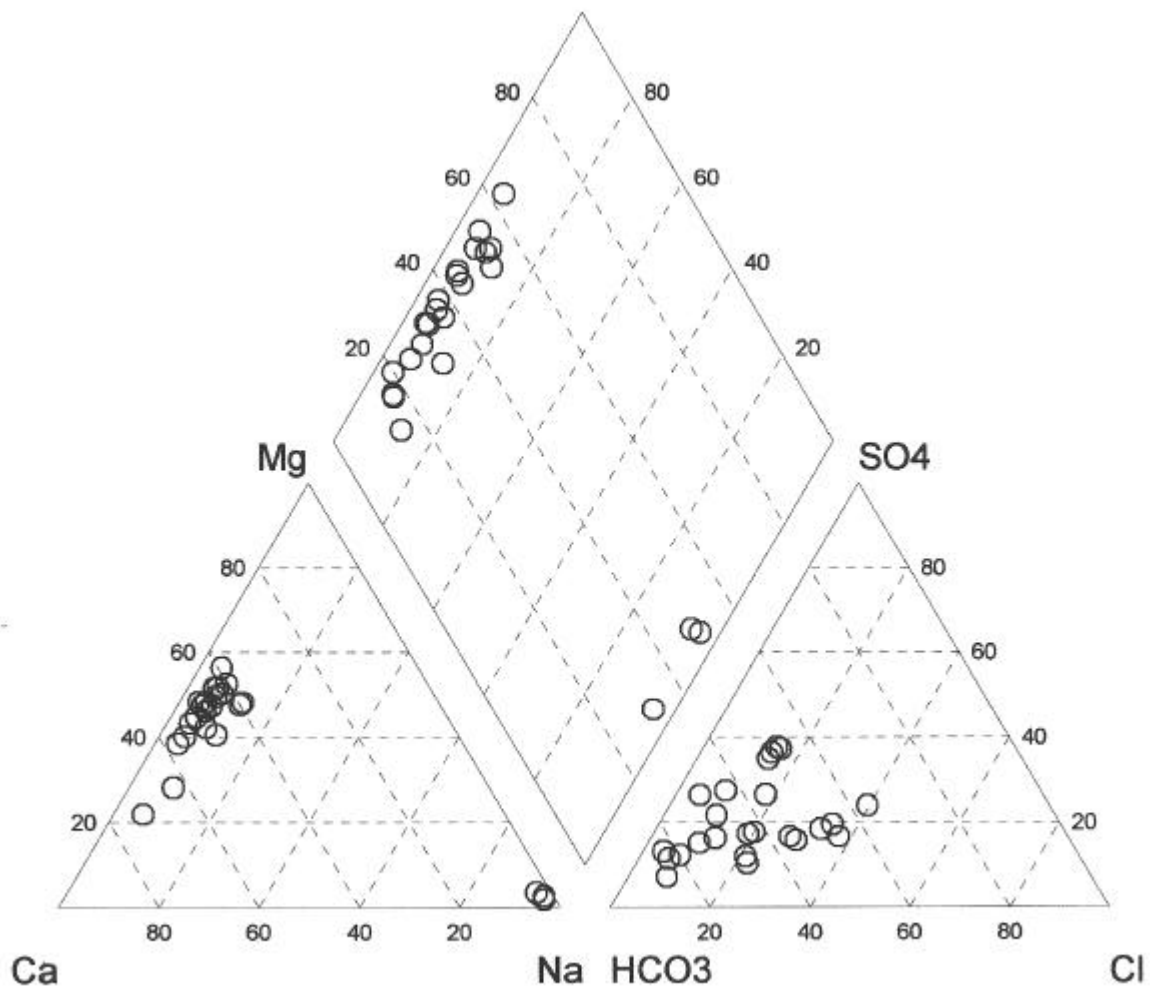


Abb. 4-13: PIPER-Diagramm der Brunnenwässer

Concentration (meq/l)

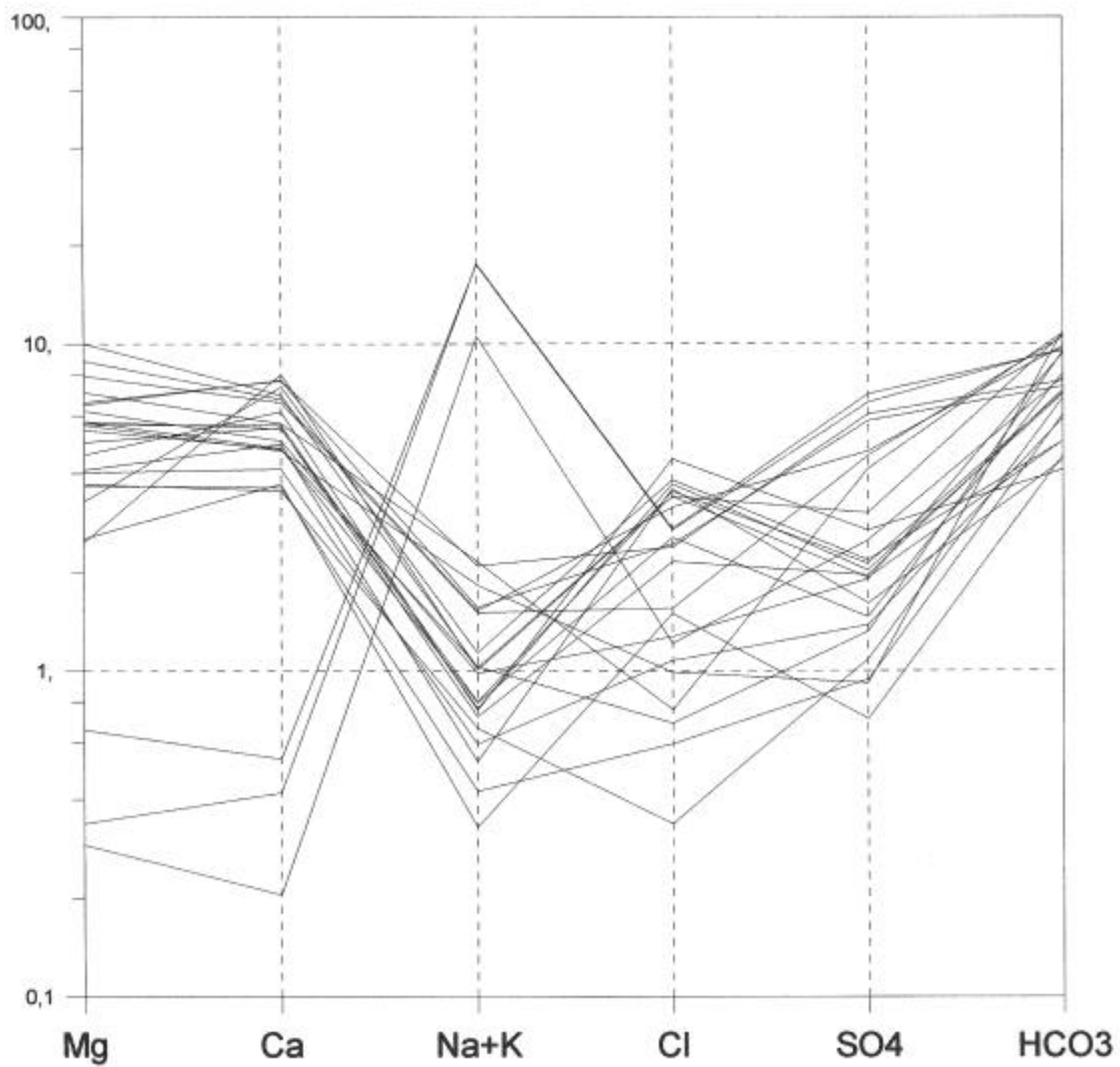


Abb. 4-14: SCHÖLLER-Diagramm der Brunnenwässer

4.2.2 Analysen der Quellwässer

Es konnten insgesamt über 50 verschiedene beprobte Quell- und Bachwässer mit in die Auswertung einbezogen werden. Auch hier ergab die Plausibilitätskontrolle Fehler in der Gesamtionenbilanz im Schnitt unter 3%.

Eine allgemeine Übersicht über die Darstellung einiger Feldparameter sind aus den Abbildungen 4-15 bis 4-19 ersichtlich. Die Häufigkeitsverteilung des pH-Wertes zeigt eine Schwankung des pH-Wertes um den Neutralpunkt (pH 7,2 im Mittel, $\sigma=0,3$).

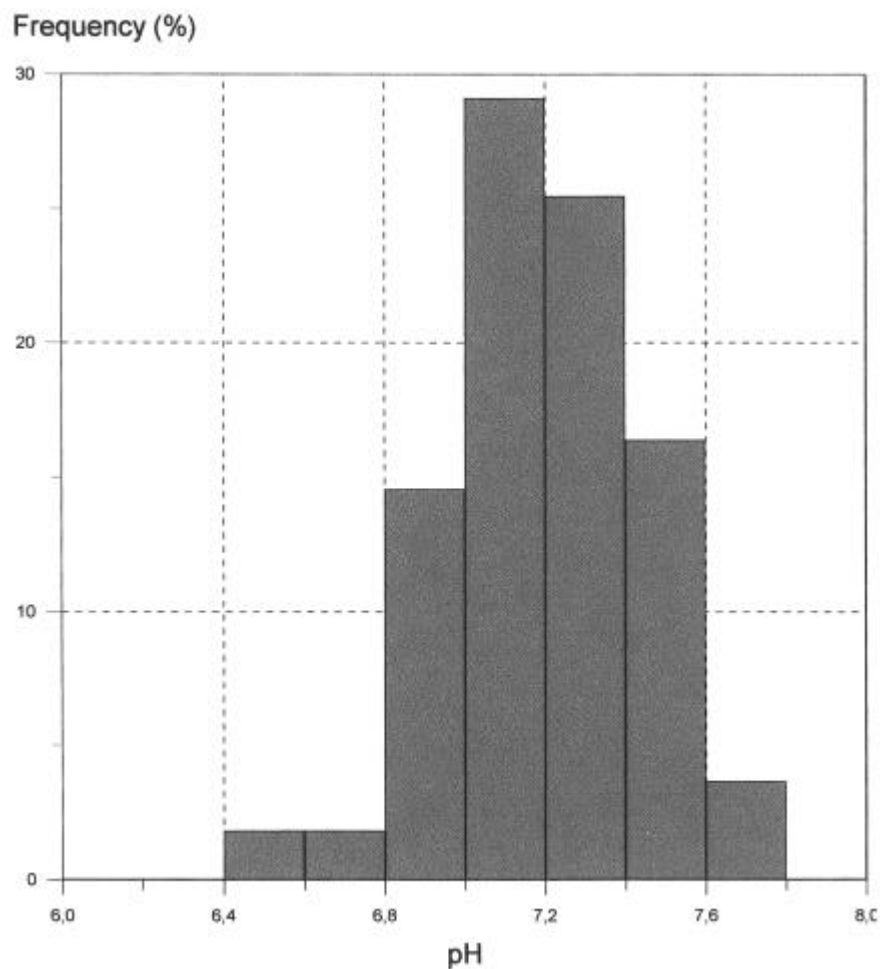


Abb. 4-15: pH – Wert Verteilung der Quellwässer

Die Verteilung des Redoxpotentials zeigt nur positive Werte an, was aufgrund der sauerstoffreichen Quellwässer natürlicherweise zu erwarten war. Die Werte schwanken zwischen 70 und 440 mV.

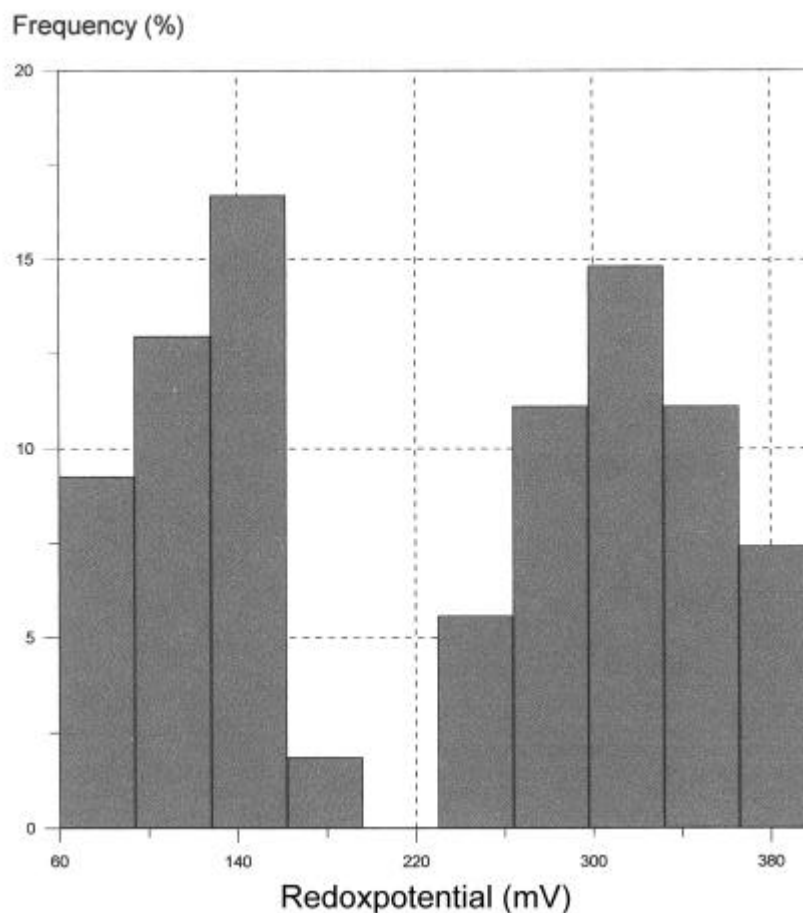


Abb. 4-16: Redoxpotentialverteilung der Quellwässer (in mV)

Abbildung 4-17 zeigt eine Darstellung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit, die im Mittel etwa $1100 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ beträgt.

Einzelne Bachquellen erreichten eine spezifische Leitfähigkeit von über $3500 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ und Gesamtlösungsinhalte von über $45 \text{ mmol}(\text{eq})/\text{l}$. Wahrscheinlich sind die Wässer in den Gräben durch Verdunstung aufkonzentriert bzw. durch Düngemittelabschwemmungen anthropogen verändert worden. Die Wassertemperaturen der Quellen liegen i.A. zwischen $4,9$ und $12,1^\circ\text{C}$, was in Abbildung 4-18 dargestellt ist.

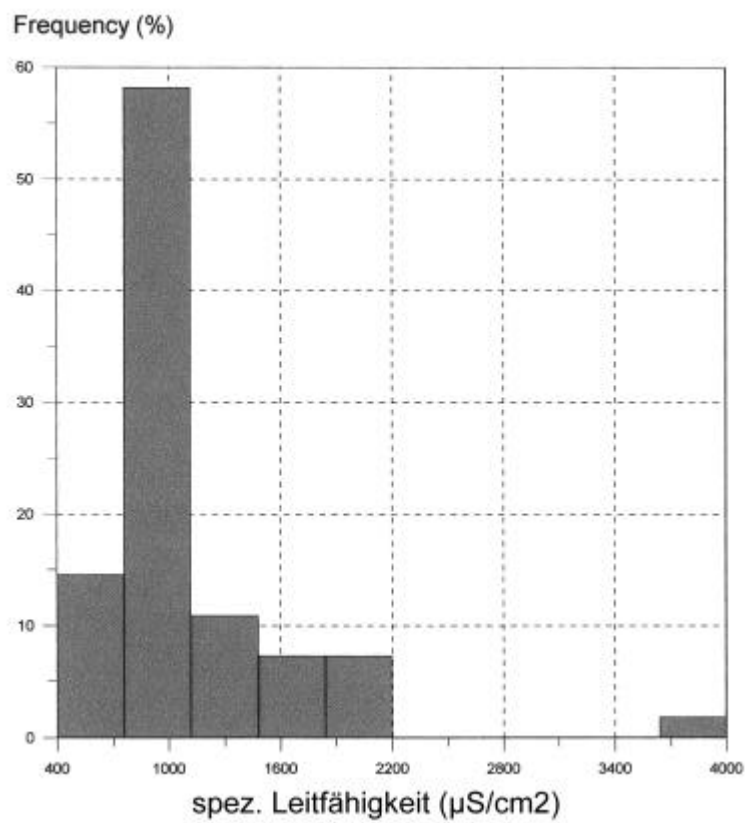


Abb. 4-17: Verteilung der spezifischen Leitfähigkeit der Quellwässer (in $\mu\text{S}/\text{cm}^2$)

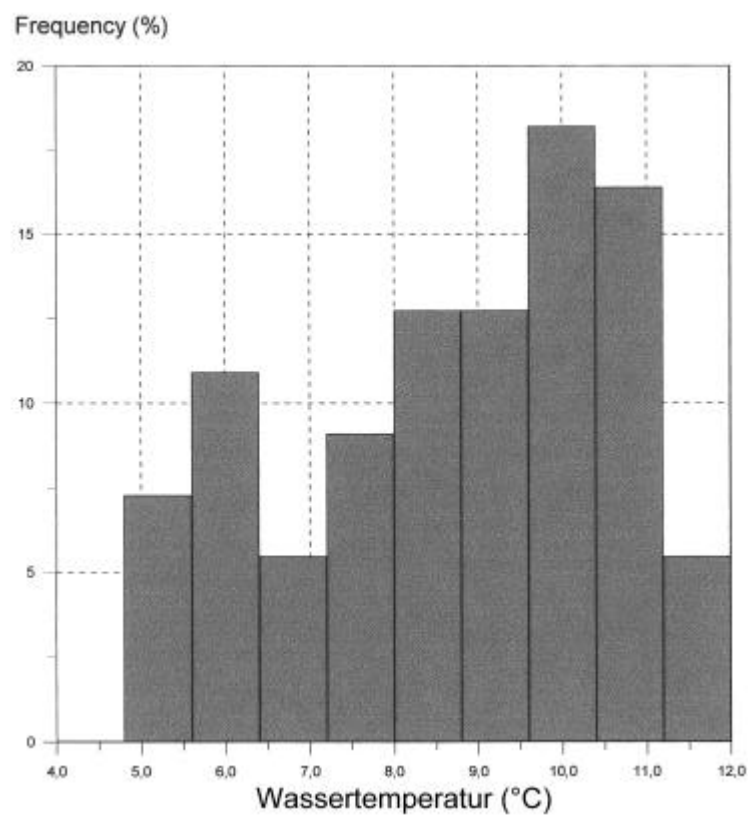


Abb. 4-18: Temperaturverteilung der Quellwässer (in $^{\circ}\text{C}$)

Die Gesamtlösungsinhalte der gemessenen Quellwässer liegen zwischen 8,3 und 33 mmol(eq)/l (Abb. 4-19); das arithmetische Mittel beträgt 23 mmol(eq)/l ($\sigma=9,3$). Die Bestimmung der organoleptischen Parameter ergab auch hier keine besonderen Auffälligkeiten.

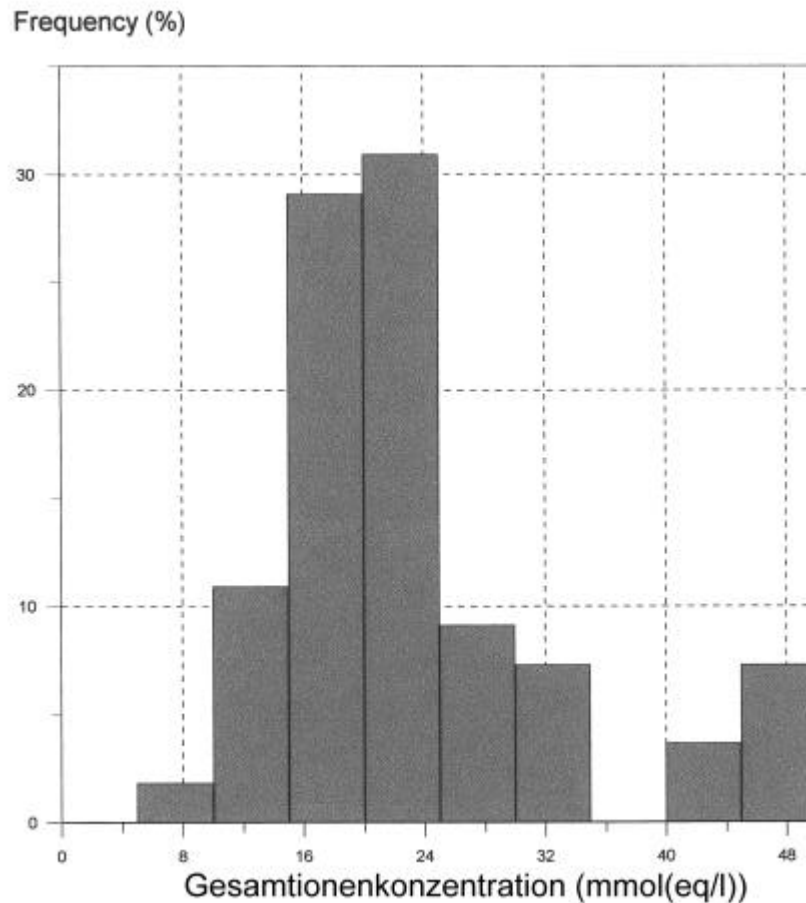


Abb. 4-19: Verteilung der Gesamtionenkonzentrationen der Quellwässer (in mmol (eq)/l)

Die Quellwässer lassen sich mit Hilfe der Piper- (Abb. 4-20) und Schöller- (Abb. 4-21) Diagramme allesamt als erdalkalische Wässer beschreiben. Wobei der größte Teil als hydrogenkarbonat-, sulfat- und chloridhaltig einzustufen ist, während ein kleinerer Anteil überwiegend hydrogenkarbonathaltig ist. Die Wässer des ersten Typs weisen Chloridgehalte von 3 bis 4 mmol(eq)/l auf, die des zweiten von 0,8 bis 2 mmol(eq)/l. Die Gehalte an Hydrogenkarbonat (4 bis 7 mmol(eq)/l) und Sulfat (0,7 bis 4 mmol(eq)/l) sind bei beiden Wassertypen gleich.

Die Nitratgehalte liegen mit einem Schwankungsbereich von ± 50 mg/l um den zulässigen Grenzwert, dies entspricht einer Konzentration von 0,5 bis 1,5 mmol(eq)/l. Es werden aber auch Konzentrationen von 190 mg/l erreicht (Albig Sumborn bzw. Albig Faulborn).

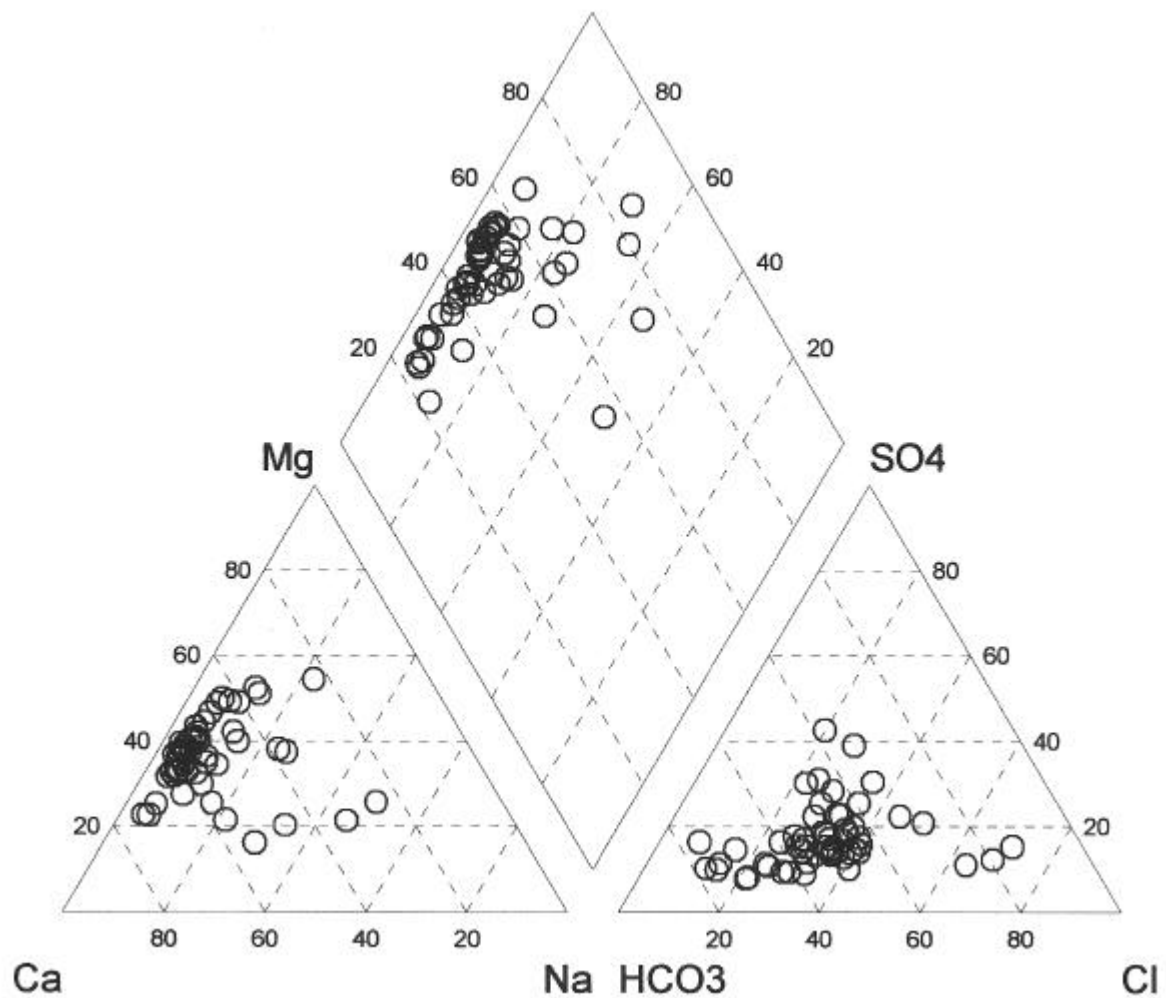


Abb. 4-20: PIPER-Diagramm der Quellwässer

Concentration (meq/l)

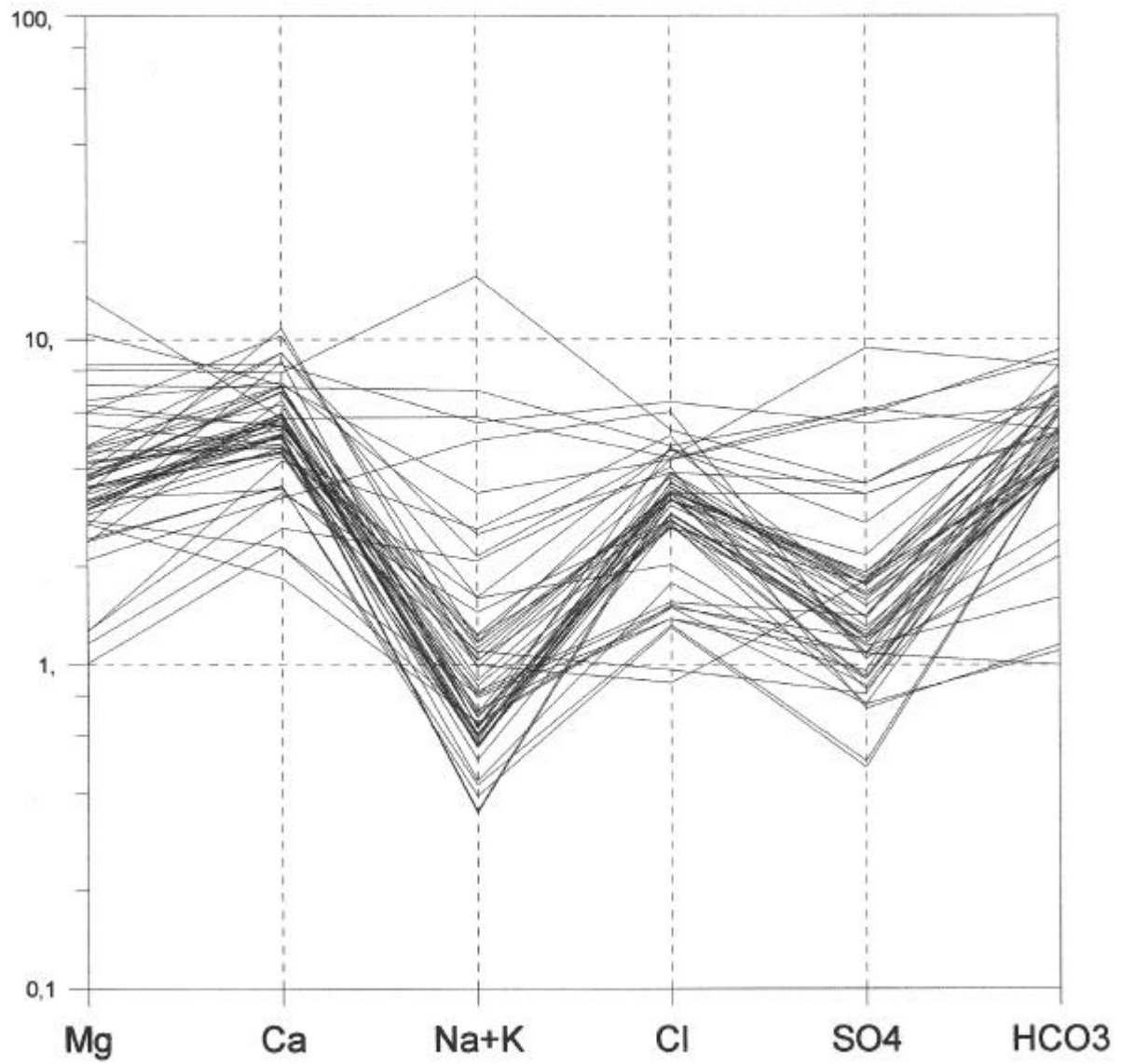


Abb. 4-21: SCHÖLLER-Diagramm der Quellwässer

4.2.3 Schwermetallanalysen ausgesuchter Grundwassermeßstellen

Tab. 4-2: Schwermetallanalysen ausgesuchter Grundwassermeßstellen

µg/l	Grenzwert	Bornheim	Lonsheim	Heimersheim	Nieder-Wiesen	Bechenheim1	Bechenheim2	Freimersheim	Aulheim	Albig	Offenheim	Esselborn
Cobalt		<2	4,1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Cadmium	5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Antimon	10	3,5	5,52	14,78	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Quecksilber	1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Arsen	10	22,6	27	24,8	<2	<2	<2	<2	<2	12,4	<2	<2
Kupfer	3000	<2	3,7	<2	<2	2,6	6	2,7	2,1	<2	<2	2,3
Chrom	50	<2	2,4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Aluminium	200	<25	<25	45	<25	35	<25	<25	<25	<25	<25	<25
Eisen	200	950	875	805	10	65	50	<10	<10	140	1180	25
Barium	1000	23	22	60	92	166	147	266	405	<20	80	97
Strontium		1170	1380	427	342	415	1050	599	547	324	1290	771
Mangan	50	55	30	44	<10	245	20	<10	<10	11	25	<10
Bor	1000	122	184	36	30	75	355	<20	25	1330	155	20
Zink	5000	<15	<15	15	<15	25	20	<15	<15	<15	<15	<15
Blei	40	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Nickel	50	<5	7,8	<5	<5	6,3	<5	<5	<5	<5	<5	<5

1999 wurde an ausgesuchten Grundwassermeßstellen eine Rohwasser-Probennahme für eine Schwermetallanalyse durchgeführt. Untersucht wurden Cobalt, Cadmium, Antimon, Quecksilber, Arsen, Kupfer, Chrom, Aluminium, Eisen, Barium, Strontium, Mangan, Bor, Zink, Blei und Nickel. Es zeigten sich bei den Elementen Arsen, Antimon, Eisen und Mangan signifikante schon in der Vergangenheit bekannte Erhöhungen, die über den heutigen Grenzwerten der Trinkwasserverordnung liegen.

4.2.4 TOC Analysen

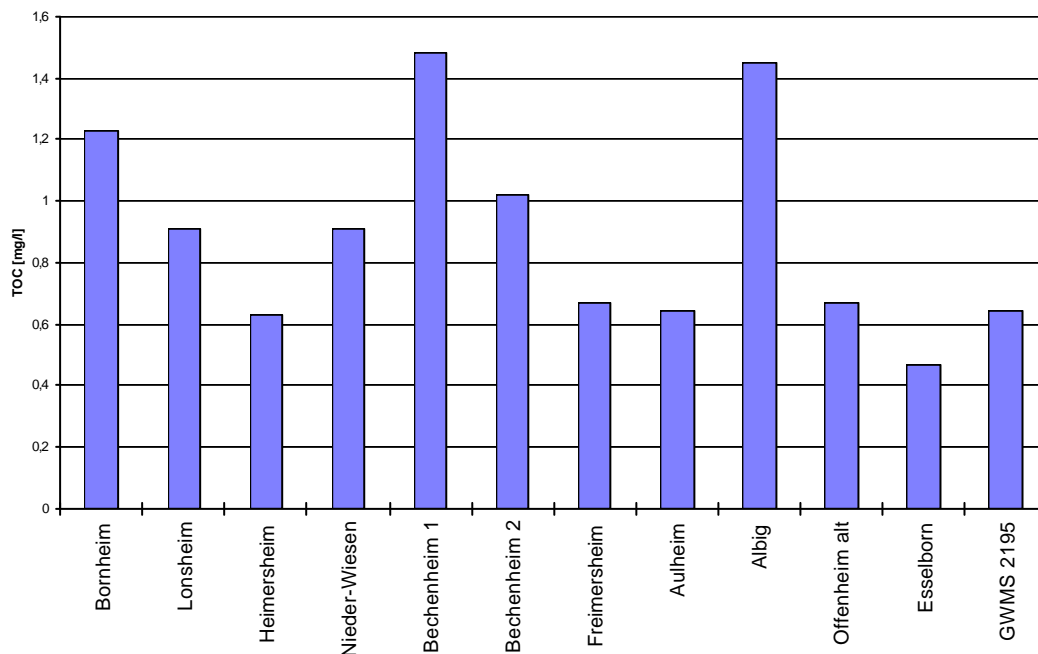


Abb. 4-22: TOC-Gehalte der untersuchten Wässer

Nach OBERMANN (1982) kann die heterotrophe Denitrifikation für signifikante Abbauleistungen verantwortlich sein. An zwölf Wasserproben konnten TOC-Gehaltsbestimmungen (Gesamtgehalt gelösten organischen Kohlenstoffs) im Labor der Stadtwerke Wiesbaden durchgeführt werden. Der TOC-Gehalt liegt zwischen 0,5 und 1,5 mg/l, wie Abbildung 4-22 zeigt.

4.2.5 Gasanalysen

Während der Probennahmen ist bei den Brunnen Flonheim neu, Bornheim neu und Albig neu eine intensive Entgasung beobachtet worden. Bei den Brunnen Albig neu und Bornheim wurde einmal der charakteristische Geruch von H₂S - Gas wahrgenommen, was durch die nachfolgenden Gasanalysen aber nicht bestätigt werden konnte. Tabelle 4-3 zeigt die Gasgehalte der analysierten Wässer. Die Angabe der Konzentrationen der einzelnen Stoffe erfolgt in Nml/kg (mg Stoff pro kg Wasser normiert auf einem Druck von 1013 mbar und einer Temperatur von 0°C). Zudem erfolgte eine Messung der Isotopenverteilung im Stickstoff der Proben.

Tab. 4-3: Übersicht der Ergebnisse der quantitativen Gasanalytik

Nml/kg	Bornheim neu	Albig	Flonheim neu
Helium	0,04	0,01	0,014
Wasserstoff	<0,002	<0,003	<0,002
Sauerstoff	0,54	0,42	0,45
Argon	0,3	0,31	0,45
Methan	0,0017	0,0022	0,006
Stickstoff	35,1	27,8	20,8
N ₂ /Ar-Gehalt	117,0	89,7	46,2
d ¹⁵ N-N ₂ (‰-AIR)	4,4	2,6	4,3

4.2.6 Isotopie der Grundwässer

Ausgewählte Grundwassermeßstellen im Raum Alzey wurden auf ihre Gehalte an Deuterium, Sauerstoff-18, Tritium, Schwefel-34 und Sauerstoff-18 aus dem im Wasser gelösten Sulfat und Stickstoff-15 bzw. Sauerstoff-18 aus dem im Wasser gelösten Nitrat, untersucht. Außerdem wurden die Wässer auf verschiedene FCKW-Gehalte (F11, F12, F113) zur Alters- und Jungwasseranteilbestimmung analysiert (vgl. Kap. 4.2.7). Zudem erfolgte die Bestimmung des $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes aus Stickstoff im Gasanteil der Wässer bei den Brunnen Albig alt, Bornheim neu und Flonheim neu (vgl. Tab. 4-4).

Tab. 4-4: Ergebnisse der Isotopenanalysen der Grundwässer (Zusammenstellung aus den Messungen von 1998 und 1999).

	$\delta^{34}\text{S-SO}_4$ (‰)	$\delta^{18}\text{O-SO}_4$ (‰)	$\delta^{15}\text{N-NO}_3$ (‰)	$\delta^{15}\text{N-N}_2$ (‰)	$\delta^{18}\text{O-NO}_3$ (‰)	Tritium (TU)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
Albig neu	-4,7	4,9		2,6		2,6±0,8	-9,65	-68,80
Aulheim						5,2±0,6	-8,57	-61,00
Bechenheim alt	4,5	3,5				14,2±1,0	-9,16	-62,30
Bechenheim neu	17,5	8,7				2,0±0,7	-9,26	-63,90
Bornheim alt	1,2	0,4	6,3		18,6	11,3±1,1	-8,57	-60,00
Bornheim neu	-12,1	1,3		4,4		8,4±1,2	-8,65	-60,70
Esselborn	-4,5	8,6	3,8		14,6	4,6 ± 0,6	-8,48	-58,45
Flonheim alt	-13,7	2,9				11,7±1,0	-8,55	-59,00
Flonheim neu	-14,5	2,9	18,3	4,3		12,6±1,0	-8,70	-59,80
Freimersheim	5,9	2,9	2,1		15,5	8,2±0,9	-8,73	-60,80
Heimersheim	-18,6	5,9				<0,6	-8,26	-56,50
Lonsheim	-9,5	1,4				3,9±1,0	-8,59	-58,90
Lonsh./Born. 2195						2,6±0,6	-8,88	-61,60
Nieder-Wiesen						13,4±0,9	-8,90	-60,40
Offenheim alt						1,2±0,6	-9,25	-64,40
Offenheim P2	-3,8	0,4				7,0±1,5	-8,99	-61,50

Die aufgeführten Probennahmestellen wurden im Winter 1997/98 und im Sommer 1999 auf ihre Deuterium-, Sauerstoff-18- und Tritiumgehalte untersucht (Tab. 4-4). Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Differenzen waren nur innerhalb der Analyse-Fehlergrenzen feststellbar. Der Tritiumgehalt liegt zwischen <0,6 TU im Brunnen Heimersheim bis maximal 14,2 TU im Brunnen Bechenheim neu. Die Isotopenverteilungen im wassergelösten Sulfat der Proben zeigen für $\delta^{18}\text{O-SO}_4$ Werte zwischen +0,4 und +8,7 ‰, sowie für $\delta^{34}\text{S-SO}_4$ Werte von -18,6 bis +17,5 ‰. Die $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ Werte betragen zwischen +2,1 und +18,3 ‰. Die $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ Werte liegen im Bereich von +14,6 bis +18,6 ‰.

Nitrat konnte nur in Quellen und in den flacheren Brunnen mit größeren Konzentrationen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund konnten die Isotopenverteilung der $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ Werte aus dem gelösten Nitrat nur aus den Proben der Brunnen Bornheim alt und Esselborn, sowie der Aufspringquelle Freimersheim untersucht werden. Im Wasser des Brunnen Flonheim konnte wegen der geringen Nitratkonzentration nur der $\delta^{15}\text{N-}$, und nicht der zugehörige $\delta^{18}\text{O}$ Wert aus den im Wasser gelösten Nitrat bestimmt werden, was die Interpretationsfähigkeit leider einschränkt.

Die $\delta\text{D-}$ und $\delta^{18}\text{O-}$ Werte der Alzeyer Wässer liegen zwischen -56,5 und -68,8 ‰ bzw. zwischen -8,26 und -9,6 ‰. Wie Abbildung 5-24 zeigt, liegen alle Proben in guter Näherung auf der Niederschlagsgeraden (MWL) des $\delta\text{D-}\delta^{18}\text{O-}$ Diagramms.

4.2.7 FCKW-Gehalte der Grundwässer

Tab. 4-5: FCKW - Gehalte der untersuchten Proben

	1998		1999		1998		1999		1998		1999		1998		1999	
	F12	±	F12	±	F11	±	F11	±	F113	±	F113	±	F11/F12	F11/F12		
Albig neu	0,11	0,05	0,17	0,09	0,13	0,05	0,2	0,05	<0,01		0,02	0,05	1,18	1,18		
Aulheim			1,7	0,1			3,6	0,2			0,35	0,05		2,12		
Bechenheim alt	0,18	0,05	0,25	0,05	0,34	0,05	1,6	0,1	0,03	0,05	0,12	0,05	1,89	6,40		
Bechenheim neu	0,07	0,05	0,02	0,05	0,1	0,05	0,16	0,05	0,01	0,05	0,03	0,05	1,43	8,00		
Bornheim alt	0,70	0,05			1,5	0,1			0,15	0,05			2,14			
Bornheim neu	0,28	0,05	0,33	0,05	0,08	0,05	0,02	0,05	<0,01		0,02	0,05	0,29	0,06		
Esselborn	0,91	0,05	0,87	0,05	1,3	0,1	1,7	0,1	0,12	0,05	0,2	0,05	1,43	1,95		
Flonheim alt	4,80	0,3			0,06	0,05			<0,01				0,01			
Flonheim neu	3,20	0,2			0,29	0,05			<0,01				0,09			
Freimersheim	6,90	0,4	7,4	0,4	6,3	0,4	8,9	0,9	0,13	0,05	0,23	0,05	0,91	1,20		
Heimersheim	0,01	0,05	0,04	0,05	0,02	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05	<0,01		2,00	1,25		
Lonsh/Bornheim			0,14	0,4			1,3	0,1			0,14	0,05		9,29		
Lonsheim	1,40	0,1	1,3	0,1	0,02	0,05	<0,01		<0,01		<0,01		0,01			
Nieder-Wiesen			2,1	0,2			3,6	0,2			0,43	0,05		1,71		
Offenheim alt			0,03	0,05			0,14	0,05			0,01	0,05		4,67		
Offenheim P2	0,13	0,05			0,08	0,05			<0,01				0,62			

1997/98 und 1999 wurden an den oben aufgeführten Probennahmestellen Wasserproben auf ihre FCKW-Gehalte im Spurenstofflabor Oster/Wachenheim analysiert. Teilweise wurden dabei gut korrelierbare Doppelbestimmungen durchgeführt. Die in pmol/l angegebenen Werte reichen für F11, F12 und F113, von <0,01 bis 8,9 , <0,01 bis 7,4 bzw. von <0,01 bis 0,35.

Unter Zuhilfenahme der im vorigen Kapitel beschriebenen Tritiumkonzentrationen können Altersaussagen sowie eine Berechnung der Jungwasseranteile der verschiedenen Wässer gemacht werden. Die erst seit den letzten 20 Jahren bestehende F113- Konzentrationen konnten in fast allen beprobten Grundwassermeßstellen eindeutig nachgewiesen werden. Stattgefundene Abbauprozesse werden durch den Quotienten F11/F12, der seit 1975 konstant (2:1) ist, angezeigt.

4.2.8 RFA-Analysen

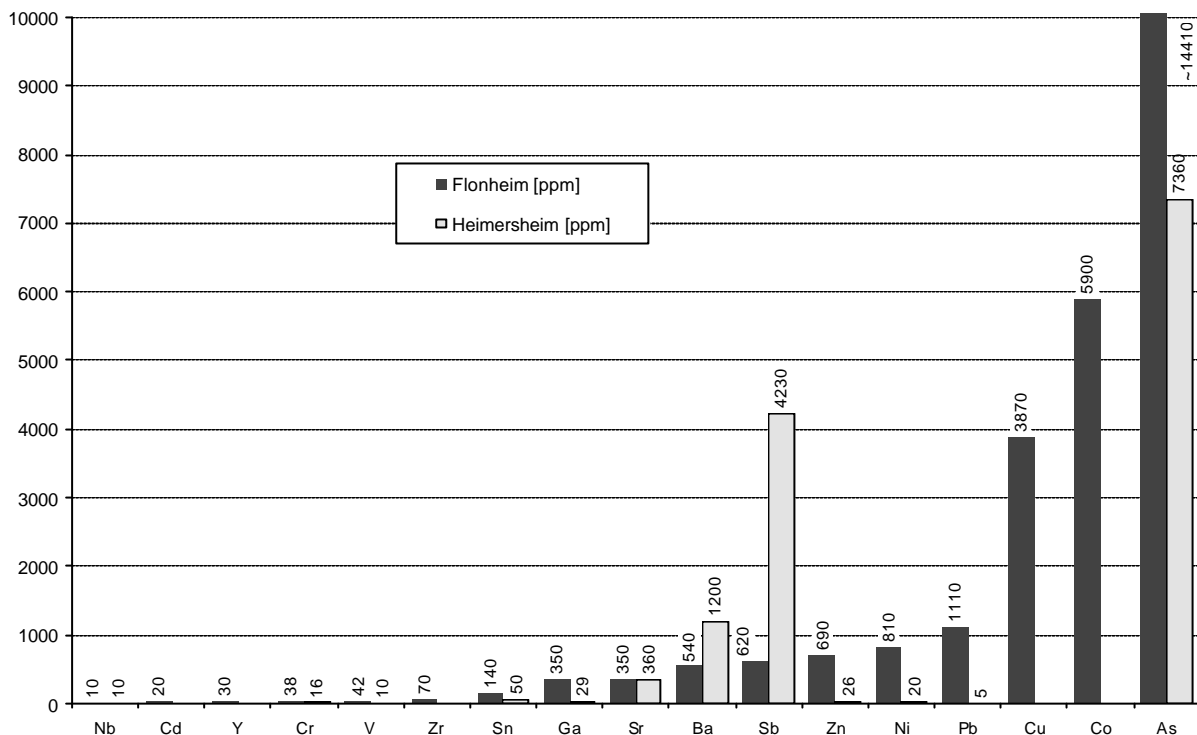


Abb. 4-23: Schwermetallgehalte in Pumpenablagerungen aus Heimersheim (120 m Teufe) und Flonheim (50 m Teufe)

Während eines Pumpenwechsels 1998 des Brunnen Flonheim und des Brunnen Heimersheim konnten Proben der Pumpenablagerungen aus ca. 50 m und 120 m Tiefe gewonnen werden. Die daraufhin durchgeführten RFA-Analysen im mineralogischen Institut der Universität Mainz zeigen extrem erhöhte Gehalte an Schwermetallen, wenn man die ALEX 02 – Liste des Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht zugrunde legt (Abb. 4-23). Arsen liegt mit 7 g pro kg Feststoff in Heimersheim und mit über 14 g pro kg Feststoff in Flonheim tausendfach über den Orientierungswert der Zielebene 3 (oSW3) von 60 mg pro kg Trockenmasse (TM). Ziel der Zielebene 3 ist es, einen Zustand herzustellen, der ggf. unter Hinnahme von Nutzungseinschränkungen sicherstellt, daß die menschliche Gesundheit nicht gefährdet ist.

Auch die oSW3 der Parameter Antimon (60 mg/kg TM), Cobalt (200 mg/kg TM), Kupfer (500 mg/kg TM), Blei (500 mg/kg TM) und Nickel (200 mg/kg TM) werden deutlich überschritten.

5. Interpretation der Ergebnisse

5.1 PHREEQC - Berechnungen der Wässer

Die thermodynamischen Berechnungen wurden mit dem Computerprogramm PHREEQC (PARKHURST et al., 1999) durchgeführt. Mit diesem in C- programmierten geochemischen Computermodell können Zustände und Prozesse in aquatischen Systemen auf Grundlage der Gleichgewichtsthermodynamik modelliert und interpretiert werden (**pH-REdox-EQuilibrium**).

Nach Eingabe verschiedener Parameter (Ionenkonzentrationen, Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential, etc.) wurde die Verteilung der gelösten anorganischen Spezies mit ihren Aktivitäten und Konzentrationen, sowie die Sättigungszustände der Fluide berechnet. Positive Sättigungsindizes zeigen, daß eine Mineralphase zur Ausfällung neigt (bzw. bei den gegebenen thermodynamischen Bedingungen nicht in Lösung gehen kann), negative zeigen eine Lösungstendenz an. Der berechnete Sättigungsindex (SI) von Calcit ($SI_{\text{Calcit}} > 0$ bedeutet eine Übersättigung, $SI_{\text{Calcit}} < 0$ eine Untersättigung) beschreibt das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Bei einer Calcituntersättigung wird dem System durch das Programm PHREEQC solange Kohlendioxid zugeführt, bis sich der Gleichgewichtszustand wieder eingestellt hat. Somit wird die mögliche Entgasung von Kohlendioxid während der Trinkwasserförderung berücksichtigt. Ist das System calcituntersättigt, kann eine mögliche Lösung des Gesteins aus dem Mineralbestand des Untergrunds erfolgen. Alle „PHREEQC-Berechnungen“ der einzelnen Brunnen und Quellen zeigten, daß die Wässer mit deren Lösungsinhalten im Gleichgewicht stehen und daß keine schweren Analysefehler im Hinblick auf das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht aufgetreten sind.

Alle Brunnenwässer die reduzierenden Bedingungen unterliegen, weisen ein niedriges Redoxpotential auf und enthalten gelöstes Eisen (II). Die Sättigungsindizes der zweiwertigen Eisenverbindungen sind stets negativ, was auf eine Untersättigung zurückzuführen ist. Die Sättigungsindizes von Pyrit weisen daher bei allen Wässern stark negative Werte auf (bis zu -200). Die beiden Sulfat-Phasen Gips und Anhydrit neigen bei Sättigungsindizes zwischen -0,6 und -2,3 ebenfalls dazu gelöst zu werden.

Die Eisen-Phasen Goethit und $\text{Fe}(\text{OH})_3$ zeigen positive Sättigungsindizes, womit hier die Tendenz zur Fällung überwiegt, das heißt aber auch, daß keine Lösung von Eisen (III) - Verbindungen aus dem umliegenden Festphasen möglich sind.

Der atmosphärische Kohlendioxid-Partialdruck beträgt ca. $10^{-3,4}$ bar. Nach APPELO & POSTMA (1999) liegt der Wert in der Bodenpassage bzw. im Grundwasser, je nach Konzentration an Hydrogenkarbonat, zwischen $10^{-2,5}$ bar und $10^{-1,5}$ bar. Je größer dieser Wert ist, desto mehr CO_2 kann bei einer Förderung aus dem Wasser entgasen.

5.1.1 Vorgehensweise

Aufgrund der unbekanntenen Grundwasserherkunft sollen mit dem Programm PHREEQC verschiedene Pfade von Niederschlag – Sickerwasser – Tertiär – Rotliegend nachmodelliert werden. Ein bekanntes Niederschlagswasser wird durch Gleichgewichtssetzungen bekannter Mineralphasen zu einem oberflächennahem „Tertiärwasser“ modelliert. Unter Berücksichtigung verschiedener CO_2 -Partialdrücke und pH-Werte wird so ein bekanntes Wasser generiert, welches als ein mögliches Endglied zu deuten ist. Außerdem wird ein Niederschlagswasser durch Gleichgewichtssetzungen bekannter Mineralphasen zu einem hypothetischen „Rotliegend-Wasser-Endglied“ modelliert. Die generierten Endglieder sollen dann mit verschiedenen Verhältnissen miteinander gemischt werden. Zusätzlich wird versucht mit dem modellierten Endglied „Tertiärwasser“ mit Hilfe verschiedener Gleichgewichtsphasen und Redoxbedingungen ein Mischwasser zu generieren, wie es heute im Raum Alzey bekannt ist.

Die durchgeführten Isotopenuntersuchungen haben eine weitere anthropogen induzierte Beeinflussung des Grundwassers gezeigt, so daß nach weiteren Tiefeneinflüssen gesucht, und mit in die PHREEQC-Modellierung aufgenommen werden muß.

Da Löß und Lößlehm weite Teile des Untersuchungsgebietes überlagern (nördlich von Bermersheim erreicht er eine Mächtigkeit von über drei Metern (Sonne, 1956); bei der Bohrung Domäne/Erbes-Büdesheim traf man über 10 m an (GLA, 1999), ist auf eine Gleichgewichtseinstellung mit Magnesit nicht verzichtet worden. Auf den hohen Gesamtkarbonatanteil des Lößes wurde schon im Kapitel 2.1.2 verwiesen. Nach SCHÖNHALS (1996) ist die Variationsbreite des Tongehaltes im Rheinhessischen Hügelland auffallend groß.

Der mittlere Tongehalt beträgt 17,4 % und die mittlere KAK 0,35 mmol(eq)/g Ton. Die niedrigsten Tongehalte weisen Cc-Horizonte aus Sandlöß (7,8 %) und aus Sandigem Löß auf (9,3 %). Der größte Teil der Cc-Horizonte aus typischem Löß liegt im KAK-Bereich von kleiner 0,29 mmol(eq)/g Ton. Deutlich geringer ist deren Anteil im KAK-Bereich von 0,30 – 0,39 mmol(eq)/g Ton. Im KAK-Bereich von 0,40 – 0,47 mmol(eq)/g Ton liegen nur sehr wenige Cc-Horizonte. Die höchste KAK erreichen mit 0,51 mmol(eq)/g Ton zwei Cc-Horizonte aus sandigem Löß und aus Sandlöß (nach SCHÖNHALS, 1996).

5.1.2 Niederschlag

In der Regel sind im Niederschlag geringe Anteile an Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- und HCO_3^- gelöst. Für Na^+ , Cl^- und Mg^{2+} zeigt sich mit der Entfernung zur Küste eine Abnahme der Konzentrationen. Der Hydrogenkarbonatgehalt ergibt sich aus der Reaktion mit dem atmosphärischen Kohlendioxidgehalt und dem Regenwasser. Sulfat und Nitratgehalte sind zum Teil durch die Reaktion des Regenwassers mit Stick- und Schwefeldioxyden aus Industrie-Abgasen erhöht. Daneben findet eine Ionenaufnahme (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-) durch Aerosole statt. Durch die Wechselwirkungen von Gasen und Aerosolen mit dem

Niederschlagswasser kommt es zu einer Änderung des pH-Wertes gegenüber dem aus dem Gleichgewicht zum atmosphärischen CO₂-Gehalt resultierenden Wert von pH 5.65 (DVWK, 1992).

Aus dem Jahr 1998 standen mehrere Sommer-Niederschlagsanalysen der Pumpstation Offenheim zur Verfügung. Die gemessenen pH-Werte liegen im Schwankungsbereich von 5,50 – 6,1. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit beträgt 20,8 bis 51,10 µS/cm. Die Gesamtionenstärke zeigt Werte um 2 mmol(eq)/l.

Die Ionenbilanzfehler der Niederschlagsanalysen betragen bis zu 20 %, d.h. es fehlen Kationen bzw. es sind zu hohe Anionenkonzentrationen, die für einen korrekten Ladungsausgleich nötig sind, gemessen worden. Es muß wahrscheinlich von einem unkorrekt gemessenen Hydrogenkarbonatgehalt ausgegangen werden. Das wird auch durch den atmosphärischen Kohlendioxid-Partialdruck, der berechnet $10^{-2,5}$ bar ergeben würde, bestätigt. Die zur Berechnung verwendete Niederschlagsanalyse wurde mit dem atmosphärischen Kohlendioxid-Partialdruck ins Gleichgewicht gesetzt. Der initiale pH-Wert ist auf einen Wert von 6 voreingestellt worden. Der daraus resultierende Hydrogenkarbonatwert ist dann für weitere Simulationen verwendet worden.

Tab. 5-1: Korrektur des Hydrogenkarbonatgehaltes – PHREEQC Lauf 1: Gleichgewicht bei einem Kohlendioxid-Partialdruck von $10^{-3,4}$ bar

mg/l	gemessen	Modell 1
HCO ₃ ⁻	10	3,88
Ca ²⁺	1,4	1,40
Cl ⁻	1	15,24
K ⁺	1,6	1,60
Mg ²⁺	5,5	5,49
NO ₃ ⁻	7,3	7,25
Na ⁺	1,6	1,60
SO ₄ ²⁻	2	2,00

Niederschlagswässer weisen eine sehr geringe Mineralisation (hohes Sättigungsdefizit) sowie ein hohes Aziditäts- und Oxidationspotential auf. Sie beinhalten eine Reihe gelöster Gase, die ihr Lösungsvermögen gegenüber reinem Wasser steigern, was im Kontakt mit der mineralischen Substanz des Bodens und dem Gestein zu intensiven Lösungs-, Hydrolyse-, Austausch- und Redoxreaktionen führt, die in ihrer Gesamtheit die chemische Verwitterung bestimmen (VOIGT, 1990).

Der Modellauf berechnet die Lösungsinhalte unter Gleichgewichtssetzung mit dem natürlichen Kohlendioxid-Partialdruck von $10^{-3,4}$ bar und einer Temperaturerniedrigung auf 11°C. Die Darstellung (Tab 5-1) der Ionenkonzentrationen nach dem Modell-Lauf zeigt die berechnete Erniedrigung des Hydrogenkarbonatgehaltes. Die Chloridkonzentration erhöht sich durch den dem Programm vorgegebenen Ladungsausgleich. Der pH-Wert erhöht sich aufgrund des erniedrigten Kohlendioxid-Partialdruckes auf einen Wert von 6,8. Die

errechneten Sättigungsindizes (Tab. 5-2) zeigen durchweg negative Werte an. Das Niederschlagswasser kann noch gelöste Ionen aller aufgeführten Festphasen aufnehmen.

Tab. 5-2: Darstellung einiger Sättigungsindizes PHREEQC – Niederschlag

Phase	SI log	IAP	log KT	
Anhydrite	-4.93	-9.27	-4.33	CaSO ₄
Aragonite	-4.36	-12.62	-8.26	CaCO ₃
Calcite	-4.20	-12.62	-8.41	CaCO ₃
CO ₂ (g)	-3.40	-21.61	-18.21	CO ₂
Dolomite	-7.68	-24.43	-16.75	CaMg(CO ₃) ₂
Gypsum	-4.68	-9.27	-4.59	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Magnesite	-4.00	-11.81	-7.81	MgCO ₃
N ₂ (g)	-18.33	-239.89	-221.56	N ₂
O ₂ (g)	-0.66	87.40	88.05	O ₂

5.1.3 Pfad Niederschlag - „Tertiärwasser“

Versickert das mit dem atmosphärischen Kohlendioxid-Partialdruck stehende Niederschlagswasser im Boden, so werden weitere Mineralphasen gelöst. Der Kohlendioxid-Partialdruck im Boden wird sich aufgrund mikrobieller Aktivität auf den ungefähren Wert von $10^{-1,5} - 10^{-2,5}$ bar (APPELO & POSTMA, 1999) ändern, d.h. es kann mehr Kohlendioxid im Wasser gelöst werden.

Tab. 5-3: Lösungszusammensetzungen bei variiertem Kohlendioxid-Partialdruck und konstantem pH-Wert

	"Regen"		Lauf 1		Lauf 2		Lauf 3	
	mol/l	mg/l	mol/l	mg/l	mol/l	mg/l	mol/l	mg/l
p(CO ₂) 10 ^x bar			-1,5	-1,5	-2	-2	-2,5	-2,5
pH Eingabe			7		7		7	
pH result.			7,0		7,4		7,7	
Al gesamt			1,30E-07	0,00	1,38E-07	0,00	1,55E-07	0,00
HCO ₃ ⁻	6,36E-05	3,88	8,80E-03	536,80	5,18E-03	315,98	3,20E-03	195,20
Ca ²⁺	3,50E-05	1,40	2,60E-03	104,21	1,75E-03	70,14	1,20E-03	48,10
Cl ⁻	4,30E-04	15,24	4,67E-04	16,56	4,67E-04	16,56	4,67E-04	16,56
K ⁺	4,09E-05	1,60	4,00E-11	0,00	1,03E-10	0,00	2,73E-10	0,00
Mg ²⁺	2,26E-04	5,49	1,06E-03	25,76	7,10E-04	17,25	4,84E-04	11,76
NO ₃ ⁻	1,18E-04	7,20	1,21E-04	7,20	1,21E-04	7,20	1,21E-04	7,20
Na ⁺	6,96E-05	1,60	4,50E-04	10,35	3,79E-04	8,72	3,18E-04	7,31
SO ₄ ²⁻	2,08E-05	2,00	2,15E-05	2,06	2,14E-05	2,05	2,14E-05	2,05
SiO ₂		0,00	6,50E-05	3,90	6,50E-05	3,90	6,53E-05	3,92
Ionenstärke	9,10E-04		1,10E-02		7,60E-03		5,30E-03	

Bei verschiedenen Kohlendioxid-Partialdrücken und konstanten Gleichgewichtssituationen wurden verschiedene PHREEQC-Läufe simuliert. Es zeigte sich bei pH-Wert Vorgaben von 5,5 bis 8,5 und konstanten Kohlendioxid-Partialdruck keine wesentlichen Veränderungen der

Lösungszusammensetzungen. Konstante pH-Werte und Variationen des Kohlendioxid-Partialdruck von $10^{-1,5}$ bar bis $10^{-2,5}$ bar erzeugten hingegen die in Tabelle 5-3 dargestellten Lösungszusammensetzungen. Das „Regenwasser“ wurde bei obigen Modellierungen mit folgenden Festphasen und den angegebenen Sättigungsindizes ins Gleichgewicht gesetzt. Der initiale Sauerstoffgehalt beträgt 7 mg/l.

Tab. 5-4: Festphasen und Sättigungsindizes („Tertiär“)

Phase	Log Si
Al(OH) ₃ (a)	0
Anorthite	-5
K-feldspar	-6
Calcite	0
Quartz	0
Magnesite	-1
Albite	-4
Illite	-4

Die Wässer mit der oben beschriebenen hydrochemischen Zusammensetzung bei eingestelltem Kohlendioxid-Partialdruck von $10^{-1,5}$ bar bzw. 10^{-2} bar scheinen einem „Tertiärwasser“ aus dem Alzeier Raum am nächsten zu kommen, wenn man es z.B. mit der Analyse des Brunnenwassers aus Esselborn vergleicht. Das Augenmerk der chemischen Zusammensetzung lag hauptsächlich auf korrektem Kalk-Kohlensäuregleichgewicht (Hydrogenkarbonat, Calcium) pH-Wert und Ionenstärke.

Es ist wahrscheinlich nicht davon auszugehen, daß der angenommene Kohlendioxid-Partialdruck noch höher ausfallen würde. Die im Alzeier Raum erhöhten Sulfatkonzentrationen im Grundwasser können nicht allein durch Gesteins-Wasser-Wechselbeziehungen entstanden sein, was die PHREEQC-Modellierungen und die Untersuchungen der Schwefelisotopengehalte aufzeigen. Da der Sättigungsindex von Gips bei obigen Modellläufen stets negative Werte aufzeigt (Si_{Gips} ca. -3) ist von Lösungsvorgängen durch eventuell im Untergrund eingeschalteter Evaporit-Gipslagen nicht auszugehen. Das heißt aber auch, daß noch Lösungsvorgänge stattfinden können, was aufgrund der Schwefelisotope in Bechenheim und Esselborn bestätigt werden konnte (siehe Kapitel 5.1.4).

Magnesium wird durch den im Löß und tertiären Kalken vorkommenden Mg-Calcit im Grundwasser gelöst. Nach MATTHESS (1994) und STUMM & MORGAN (1996) ist ein 10%iger Mg-Calcit ($-\lg K_{\text{eq}}(10) \approx 8$) weniger stabil als Calcit ($-\lg K_{\text{C}} = 8,35$) oder Aragonit ($-\lg K_{\text{A}} = 8,22$), wenn das Aktivitätsverhältnis ($[\text{Mg}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}] < 10^2$ bzw. $< 10^{3,5}$) ist. Der Sättigungsindex von Magnesit wurde auf $Si_{\text{Magnesit}} = 10^{-1}$ voreingestellt. Ein Mg-Calcit ist zwar instabiler als Calcit, wird aber mengenmäßig nicht in gleichem Umfang gelöst.

5.1.4 Pfad „Niederschlag - Rotliegend-Wasser“

Pyrit steht im tieferen Untergrund praktisch in unbegrenzter Menge zur Verfügung. Setzt man das Niederschlagswasser aus Kapitel 5.1.2 mit Pyrit ins Gleichgewicht erfolgt eine Redoxpotentialerniedrigung und eine geringfügige pH-Wert-Änderung. Eisen wird allmählich im Wasser gelöst. So könnte ein Niederschlag, der in den Klüften eines Rotliegendesandsteines versickert, nachmodelliert werden. Das „Regenwasser“ wurde bei folgenden Modellierungen mit den in Tab. 5-5 angegebenen Festphasen und Sättigungsindizes ins Gleichgewicht gesetzt.

Tab. 5-5: Festphasen und Sättigungsindizes („Rotliegend“)

Phase	Log Si
Al(OH) ₃ (a)	0
Anorthite	-4
K-feldspar	-4
Calcite	0
Quartz	0,5
Magnesite	-0,5
Albite	-6
Pyrite	0
SiO ₂	-1

Das modellierte Wasser hat die in Tab. 5-6 dargestellte Zusammensetzung. Auch bei dieser Modellierung wurde eine Lößüberdeckung berücksichtigt.

Tab. 5-6: Lösungszusammensetzung eines „Rotliegend-Wassers“

	mol/l	mg/l
p(CO ₂) 10 ^x	-1,5	-1,5
pH Eingabe	7	
pH result.	7,1	
pe	-2,6	
Al gesamt	8,72E-09	0,00
HCO ₃ ⁻	1,02E-02	620,37
Ca ²⁺	2,00E-03	80,08
Cl ⁻	4,47E-04	15,85
K ⁺	1,05E-06	0,041
Mg ²⁺	2,56E-03	62,21
NO ₃ ⁻	1,17E-04	7,25
Na ⁺	5,89E-06	0,14
SO ₄ ²⁻	1,05E-04	10,08
SiO ₂	1,47E-04	8,80
Fe ²⁺	3,90E-05	2,11
Ionenstärke	1,32E-02	

Die berechneten Sättigungsindizes sind in Tabelle 5-7 dargestellt. Bei niedrigeren Temperaturen ist die Lösungs- und Kristallisationsgeschwindigkeit von Quarz sehr gering, so daß sich gegenüber Quarz meist kein Gleichgewicht einstellt. Daher bestimmt die Löslichkeit der amorphen Kieselsäure die Obergrenze der gelösten SiO₂-Spezies (STUMM & MORGAN, 1996). Das erklärt auch die Untersättigung der amorphen Kieselsäure gegenüber der Übersättigung von Quarz in natürlichen Wässern, was in sämtlichen PHREEQC-Läufen zu beobachten war.

Tab. 5-7: Auswahl einiger Sättigungsindizes des „Rotliegend-Wassers“

Phase	SI	log IAP	log KI	
Al(OH) ₃ (a)	-2.82	8.93	11.76	Al(OH) ₃
Albite	-6.00	-0.74	5.26	NaAlSi ₃ O ₈
Alunite	-9.54	-9.12	0.41	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆
Anhydrite	-2.87	-7.20	-4.33	CaSO ₄
Anorthite	-6.77	21.50	28.27	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
Aragonite	-0.15	-8.41	-8.26	CaCO ₃
Calcite	0.00	-8.41	-8.41	CaCO ₃
Chalcedony	-0.11	-3.83	-3.72	SiO ₂
Chlorite(14A)	-10.45	63.40	73.85	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈
CO ₂ (g)	-1.50	-19.71	-18.21	CO ₂
Dolomite	0.03	-16.72	-16.75	CaMg(CO ₃) ₂
Fe(OH) ₃ (a)	-4.31	13.95	18.26	Fe(OH) ₃
FeS(ppt)	-5.30	-45.04	-39.74	FeS
Gibbsite	-0.00	8.93	8.93	Al(OH) ₃
Goethite	1.58	13.95	12.37	FeOOH
Gypsum	-2.61	-7.20	-4.59	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Hematite	4.05	27.89	23.85	Fe ₂ O ₃
Illite	-2.79	10.63	13.42	K _{0.6} Mg _{0.25} Al _{2.3} Si _{3.5} O ₁₀ (OH) ₂
K-feldspar	-4.00	-1.49	2.51	KAlSi ₃ O ₈
Magnesite	-0.50	-8.31	-7.81	MgCO ₃
Melanterite	-6.66	-9.05	-2.40	FeSO ₄ ·7H ₂ O
N ₂ (g)	-1.02	-4.23	-3.21	N ₂
Pyrite	0.00	-90.53	-90.53	FeS ₂
Quartz	0.35	-3.83	-4.19	SiO ₂
Siderite	0.54	-10.26	-10.80	FeCO ₃
SiO ₂ (a)	-1.00	-3.83	-2.83	SiO ₂
Sulfur	-7.71	-45.49	-37.78	S

5.1.5 Pfad „Tertiär – Rotliegend - Mischwasser“

Die in Tabelle 5-8 aufgeführten Mischungen von den in den vorigen Kapiteln beschriebenen „Tertiär-“ und „Rotliegend-Wässern“ zeigen keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer Wasserchemie. Für die Konzentration des Parameters Calcium müßte es zu einer chemischen Aufkonzentrierung kommen. Es muß daher davon ausgegangen werden, daß nach weiteren noch nicht bekannten hoch bzw. höher konzentrierten Tiefenwassereinflüssen und weiteren Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen zu suchen ist. In Tabelle 5-8 sind verschiedene Mischwässer eines „Tertiärwassers“ (Kap. 5.1.3) mit einem hypothetischen „Rotliegendwasser“ (Kap. 5.1.4) mit verschiedenen Mischungsverhältnissen dargestellt.

Tab. 5-8: Mischungen von „Tertiär- und Rotliegendwässern“

	Tertiär	Rotliegend	Mischung 1:1	Mischung 2:1	Mischung 1:2
	mol/l	mol/l	mol/l		
p(CO ₂) 10 ^x	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
pH Eingabe	7,0	6,9			
pH result.			7,2	7,2	7
Al gesamt	1,38E-07	8,73E-09	1,93E-07	1,94E-07	1,94E-07
HCO ₃ ⁻	5,18E-03	1,01E-02	1,33E-02	1,33E-02	1,34E-02
Ca ²⁺	1,75E-03	2,00E-03	1,25E-03	1,24E-03	1,25E-03
Cl ⁻	1,13E-03	1,26E-03	1,21E-03	1,16E-03	1,23E-03
K ⁺	1,00E-10	1,05E-06	8,40E-12	8,90E-12	7,97E-12
Mg ²⁺	7,10E-04	2,57E-03	5,10E-03	5,08E-03	5,15E-03
NO ₃ ⁻	1,21E-04	1,17E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04
Na ⁺	3,79E-04	1,17E-04	2,96E-04	2,98E-04	2,94E-04
SO ₄ ²⁻	2,14E-05	1,00E-04	9,50E-05	9,14E-05	9,80E-05
SiO ₂	6,50E-05	2,00E-05	6,37E-05	6,40E-05	6,32E-05
Fe ²⁺	0	4,20E-05	3,60E-05	3,49E-05	3,84E-05
Ionenstärke	7,60E-03	1,30E-02	1,80E-02	1,84E-02	1,86E-02
pe	4	-3	-2,75	-2,76	-2,75

Nach der modellierten PHREEQC-Mischung ist das jeweilige Mischwasser zusätzlich, zu den in Tabelle 5-4 dargestellten Festphasen und Sättigungsindizes, mit der Festphase Pyrit ($S_{iPyrit}=0$) und einem Kohlendioxid-Partialdruck von $10^{-1,5}$ bar ins Gleichgewicht gesetzt worden, da von einem erhöhten Kohlendioxid-Partialdruck und der Eisenphase Pyrit in nahezu unbegrenzter Menge ausgegangen werden kann.

Ohne eine Gleichgewichtssetzung stellt sich ein Kohlendioxid-Partialdruck von $10^{-1,5}$ bar und ein Pe-Wert von etwa 13 ein. Eisen ist unter diesen aeroben Verhältnissen nur noch als Fe(III) vorhanden (Tab. 5-9). Wird nur der Kohlendioxidpartialdruck ins Gleichgewicht gesetzt, ist Pyrit sehr stark untersättigt.

Der scheinbare Kohlendioxidpartialdruck stellt sich rechnerisch auf ca. $10^{-4,3}$ bar ein, wenn nur Pyrit ($S_{iPyrit}=0$) mit dem Mischwasser ins Gleichgewicht gesetzt wird.

Tab. 5-9: Mischungen ohne Gleichgewichtssetzung

	Tertiär	Rotliegend	Mischung 1:1	Mischung 2:1	Mischung 1:2
	mol/l	mol/l	mol/l		
p(CO ₂) 10 ^x	-2	-1,5	-1,47	-1,52	-1,41
pH Eingabe	7,0	6,9			
pH result.			6,9	6,9	6,9
Al gesamt	1,38E-07	8,73E-09	7,34E-08	9,50E-08	5,18E-08
HCO ₃ ⁻	5,18E-03	1,01E-02	7,68E-03	6,84E-03	8,51E-03
Ca ²⁺	1,75E-03	2,00E-03	1,87E-03	1,83E-03	1,91E-03
Cl ⁻	1,13E-03	1,26E-03	1,19E-03	1,17E-03	1,22E-03
K ⁺	1,00E-10	1,05E-06	5,26E-07	3,50E-07	7,01E-07
Mg ²⁺	7,10E-04	2,57E-03	1,60E-03	1,32E-03	1,94E-03
NO ₃ ⁻	1,21E-04	1,17E-04	1,19E-04	1,20E-04	1,20E-04
Na ⁺	3,79E-04	1,17E-04	1,92E-04	2,54E-04	1,30E-04
SO ₄ ²⁻	2,14E-05	1,00E-04	6,30E-05	4,90E-05	7,70E-05
SiO ₂	6,50E-05	2,00E-05	1,06E-04	9,22E-05	1,19E-04
Fe ²⁺ (Fe ³⁺ nach Mischung)	0	4,20E-05	2,10E-05	1,40E-05	2,80E-05
Ionenstärke	7,60E-03	1,30E-02	1,05E-02	9,50E-03	1,14E-02
pe	4	-3	13	13,1	13,1

5.1.6 Hypothetische Tiefenwassereinflüsse

Die im Raum Alzey bekannten Ca-Mg-Hydrogenkarbonatwässer besitzen Hydrogenkarbonatkonzentrationen von über 10 mmol(eq)/l, bei gleichzeitig erhöhtem Sulfatgehalt von über 7 mmol(eq)/l. Die $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ Verhältnisse bestätigen, daß Gips-Evaporite nicht allein für die erhöhten Sulfatgehalte im Grundwasser verantwortlich sein können. Ein direkter Oberflächeneinfluß über den Brunnenkopf kann mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, da in allen tieferen Brunnen bis zu 30 m Tonsperren eingebaut sind. Außerdem zeigen die Isotopenbestimmungen eine sekundäre Sulfatquelle durch Sulfidoxidation an. Der hohe Gehalt an Hydrogenkarbonat kann nur von einer zusätzlichen Kohlendioxidquelle herrühren. Der Kohlendioxid-Partialdruck muß im tieferen Untergrund gegenüber dem atmosphärischen Kohlendioxid-Partialdruck stark erhöht sein. Damit können sich die Konzentrationen der Alkali- und Erdalkalien aufgrund von Gesteins-/Wasserwechselwirkungen (Silikahydrolyse) erhöhen. Außerdem findet im tieferen Untergrund bei Anwesenheit von Rupelton zusätzlich ein Ionenaustausch statt.

CO₂-Quellen könnten vulkanische CO₂ – Entgasungen im tieferen Untergrund, hervorgerufen durch tektonisch aktive Störungszonen sein. Eine weitere wenig wahrscheinliche Hypothese könnten CO₂-Entgasungen durch Metamorphosereaktionen oder magmatische Prozesse sein.

Die meisten organischen Kohlenstoffverbindungen haben einen hohen Energiegehalt und eine geringe thermodynamische Stabilität. Dies führt dazu, daß sich diese Verbindungen nahezu ständig in Umwandlung befinden, um auf ein niedriges energetisches Niveau zu gelangen. Der Großteil dieser Abbaureaktionen (CO₂-Bildung) findet im Boden und im aquatischen System unter Beteiligung von Organismen ab (DVWK, 1996). Wahrscheinlich sind die in

vielen Horizonten des Rotliegend bekannten Kohleflözchen oder verkohlte Pflanzenhäcksel (z.B. Disibodenberg-Formation (GLA, 1999)) als C_{org} -Quellen verantwortlich zu machen.

Die Simulation einer möglichen CO_2 -Zufuhr ist in nachfolgender Tabelle dargestellt. Es wurden in zehn Schritten insgesamt 10 mmol CO_2 zugesetzt. Calcit und Magnesit stehen wahrscheinlich in unbegrenzter Menge zur Verfügung. Das Wasser ist daher mit Calcit und Magnesit ins Gleichgewicht gesetzt worden ($Si_{Calcit}=0$, $Si_{Magnesit} = -0,5$). Die Reaktionstemperatur wurde aufgrund der anzunehmenden Tiefe auf 20° C voreingestellt. Das System steht auch ohne eine erzwungene Gleichgewichtsstellung mit der Eisenphase Pyrit nahezu im Gleichgewicht.

Tab. 5-10: Hypothetische Tiefenwasserzusammensetzung

	pH	pe	+ CO2 mol/l	HCO3 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	pCO2
1	6,95	-2,39	1,00E-03	551,36	101,00	60,84	-1,41
2	6,92	-2,31	2,00E-03	599,07	108,89	65,57	-1,34
3	6,88	-2,26	3,00E-03	643,41	116,22	69,95	-1,27
4	6,85	-2,21	4,00E-03	684,93	123,09	74,05	-1,21
5	6,83	-2,16	5,00E-03	724,03	129,56	77,92	-1,16
6	6,80	-2,12	6,00E-03	761,05	135,69	81,58	-1,11
7	6,78	-2,09	7,00E-03	796,27	141,52	85,05	-1,06
8	6,76	-2,06	8,00E-03	829,89	147,09	88,37	-1,02
9	6,74	-2,03	9,00E-03	862,08	152,43	91,55	-0,98
10	6,73	-2,00	1,00E-02	893,01	157,55	94,61	-0,95

Vergleicht man die modellierten Wässer der Tabelle 5-10 mit bekannten Analysen, so sind Gemeinsamkeiten bei der chemischen Zusammensetzung feststellbar. Die modellierten pH-Werte und besonders die modellierten CO_2 -Partialdrücke sind in größeren Tiefen nachvollziehbar. Als ein repräsentatives Beispiel wurde eine Analyse des Brunnenwassers aus Lonsheim, dargestellt in Tabelle 5-11, herangezogen. Die modellierten Analysewerte sind gut mit den gemessenen korrelierbar, d.h. die modellierte Zusammensetzung der hypothetischen Grundwasserbildung ist aufgrund einer nicht bekannten CO_2 -Quelle aus dem tieferen Untergrund möglich. Noch nicht berücksichtigt sind die im Untergrund ablaufenden Sulfidoxidationen und Lösung eingeschalteter Gipslagen, was aufgrund der modellierten negativen Gips-Sättigungsindizes durchaus noch möglich wäre.

Genauere Aussagen könnten über $\delta^{13}C$ -Isotopenuntersuchungen getroffen werden. Es wird davon ausgegangen, daß der $\delta^{13}C$ -Wert der gebundenen und freien Kohlensäure des Grundwassers allein von den Mischungsanteilen aus biogenem CO_2 der Bodenzone und dem marinen Bodenkalk bestimmt wird (MOSERT & RAUERT, 1980).

Tab. 5-11: Chemische Zusammensetzung des Brunnenwassers Lonsheim

Element	mol/l	mg/l
Al	5,38E-06	0,15
HCO ₃ ⁻	1,18E-02	719,80
Ca ²⁺	2,97E-03	119,04
Cl ⁻	1,38E-03	48,92
K ⁺	3,43E-04	13,41
Mg ²⁺	3,60E-03	87,48
NO ₃ ⁻	0,01	-
Na ⁺	1,24E-03	28,52
SO ₄ ²⁻	2,20E-03	211,20
SiO ₂	1,70E-04	10,20
Fe ²⁺	1,92E-05	1,07
Mn ²⁺	6,37E-07	0,03
Ionenstärke	2,09E-02	
pH	6,9	
pCO ₂ (bar)	10 ^{-1,31}	

5.1.7 Sulfidoxidation

Mit dieser Simulation soll die im Grundwasser ablaufende Sulfidoxidation in einem geschlossenen System aufgezeigt werden. Der Kohlendioxidpartialdruck wird daher nicht vorgegeben, sondern vom System nach unterschiedlich hohen Oxidationsmittelzugaben berechnet. Für diese Modellierung wird Nitrat (eingegeben als Kaliumnitrat) als Oxidationsmittel verwendet. In einem natürlichen anoxischen Grundwassersystem wäre Sauerstoff bereits vor Nitrat als Oxidans verbraucht worden. In der angenommenen Tiefe ist nicht mehr mit freiem Sauerstoff zu rechnen.

Reagiert ein Wasser mit der Zusammensetzung aus Tabelle 5-10 mit insgesamt 10 mmol (entspricht etwa 620 mg) Nitrat als Oxidationsmittel, so ergeben sich für die Gehalte an Eisen, Calcium, Sulfat und Hydrogenkarbonat, die in Abbildung 5-1 dargestellten Zusammenhänge (dargestellt in 20 Einzelschritten). Für die Modellierung ist das Wasser mit Pyrit ins Gleichgewicht gesetzt worden, da angenommen wird, daß Pyrit im Untergrund in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht. Die modellierten pe-Werte liegen im Bereich von -2,4 bis -3 (S(-2)/S(6) als Redoxpaar), bei einem gleichzeitigen pH-Anstieg auf pH 7,5. Zu beachten ist, daß der berechnete pH-Wert des Programmes PHREEQC nur massenbilanziert ist. Es ist davon auszugehen, daß dieser Wert nicht unbedingt der Realität entspricht. Der Sättigungsindex von Gips bleibt selbst nach allen Reaktionsschritten untersättigt. Calcit wird nur sehr leicht übersättigt. Der berechnete Kohlendioxidpartialdruck liegt im Bereich von 10^{-1,2} bis 10^{-1,9} bar. Aus diesem Grund ist ein geringer Anstieg des Hydrogenkarbonates zu beobachten. Das zugesetzte Nitrat wird vollständig in Stickstoff umgewandelt.

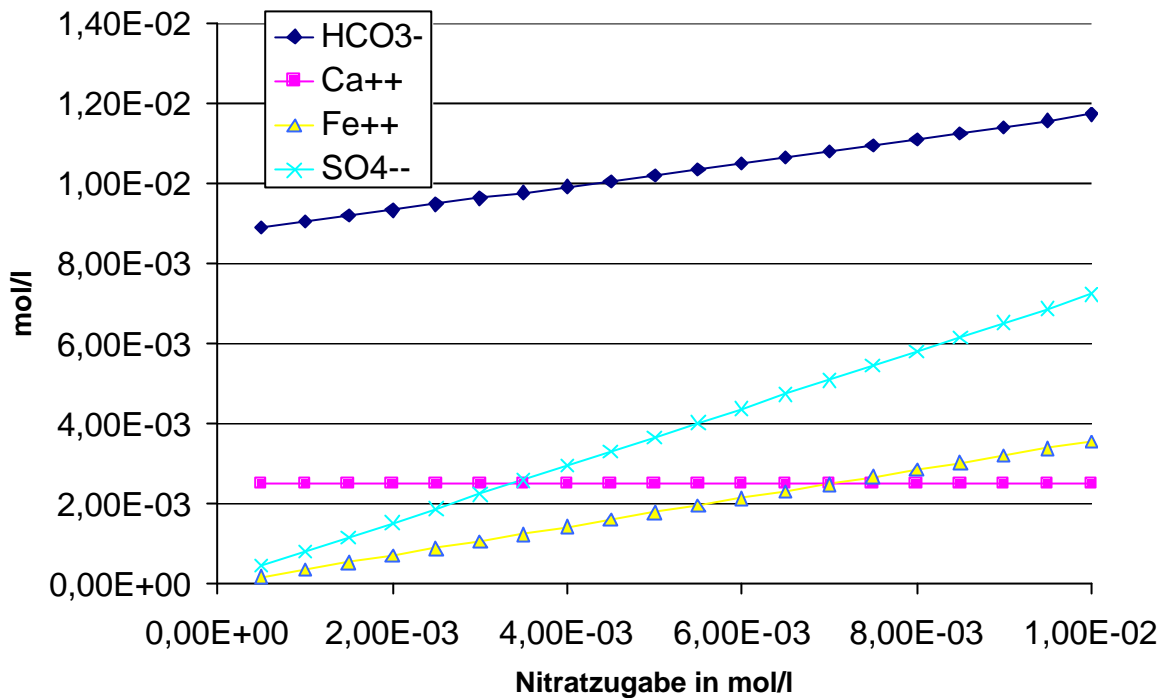


Abb. 5-1: Modellhafte Sulfidoxidation durch Nitratzugabe

Betrachtet man die modellierten Wässer von „Niederschlag“, „Tertiärwasser“, „Rotliegendwasser“, „Tiefenwasser nach 5 mmol CO₂-Zugabe“ und „Tiefenwasser nach 5 mmol Nitratzugabe“ in einem modifizierten Schöller-Diagramm (Abb. 5-2), wird die Erhöhung der Mineralisation bis hin zum gemessenen Wasser des Brunnens Lonsheim sichtbar. Das wird bei den modellierten Werten der Calcium-, Magnesium-, Sulfat- und Hydrogenkarbonatgehalte besonders deutlich. Auf die Darstellung der Alkalien ist aufgrund der sehr niedrigen Gehalte für eine deutlichere Darstellung verzichtet worden. Außerdem wurde für die modellierte Sulfidoxidation Kaliumnitrat als Oxidationsmittel zugesetzt. Kalium mußte für das Programm PHREEQC rein rechnerisch für eine ausgeglichene Bilanz dazu addiert werden. Die dargestellten Chloridgehalte entsprechen nicht den natürlichen-, da PHREEQC über Chlorid die Ladungsbilanz ausgleichen sollte.

Die modellierten chemischen Zusammensetzungen der Rotliegend- und Tiefenwässer nach CO₂-Zugabe sind gut mit dem Brunnenwasser aus Lonsheim korrelierbar. Der noch fehlende Sulfatgehalt wird über die stattfindende Sulfidoxidation erhöht.

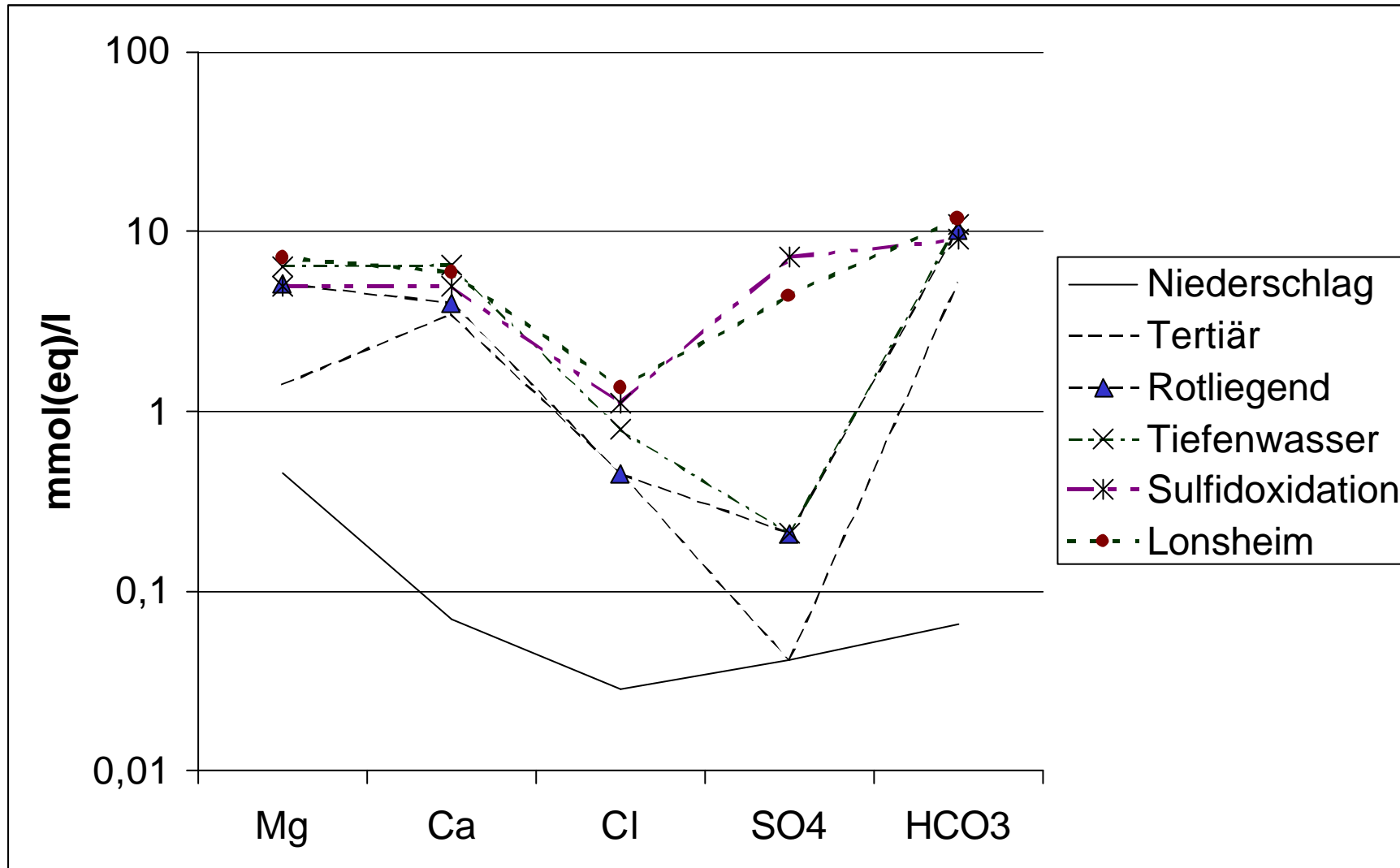


Abb. 5-2: Mineralisationen der modellierten Wässer im modifizierten Schöller-Diagramm

5.1 Isotopie der Grundwässer

5.1.1 Datierung der Grundwässer mittels Tritium

Die gemessenen Tritiumwerte reichen von nicht nachweisbar (Brunnenwasser Heimersheim <0,6 TU) bis über 14 TU (Brunnenwasser Bechenheim alt). Die Tritiumgehalte der aktuellen Niederschläge liegen in einem Bereich von 12 bis 18 TU (Vergleichswerte der Tritiumgehalte im Niederschlag der Meßstationen Karlsruhe und Koblenz). Der große Anteil an Grundwasserproben mit ³H-Gehalten kleiner 10 TU deutet darauf hin, daß es sich wahrscheinlich überwiegend um Mischwässer aus einer tritiumfreien Komponente (> 40 Jahre) und einer jungen Grundwasserkomponente handelt (MAZOR, 1997).

Für die Grundwässer der Entnahmestellen mit Tritiumgehalten zwischen 2 bis 8 TU lassen auf Mischwässer mit hohen Anteilen tritiumfreien Wassers schließen, das vor 1950 gebildet wurde. Das trifft auf die Entnahmestellen Heimersheim, Offenheim alt, Albig neu, Bechenheim neu, Esselborn, Lonsheim, Offenheim P2 und die Quelle Aulheim zu. Für die Grundwässer der Entnahmestellen mit Tritiumgehalten zwischen 10 und 15 TU, die im Bereich der Tritiumgehalte rezenter Niederschläge liegen, läßt sich anhand der vorliegenden Tritiumwerte nicht eindeutig entscheiden, ob es sich um Mischwässer mit einer dominierenden sehr jungen Komponente oder ein Mischsystem mit höheren Anteilen einer tritiumfreien Komponente handelt. Wässer mit einem hohen jungen Grundwasseranteil sind die Brunnen Bechenheim alt, Bornheim alt, Flonheim alt und neu und die Quelle Nieder-Wiesen. Bei den Brunnen handelt es sich um relativ flachgründige Brunnen mit teilweise hohen Nitratgehalten (Bornheim alt 160 mg/l). Von einer Zumischung einer jungen Grundwasserkomponente kann somit ausgegangen werden. Die einzigen Grundwässer mit einem Tritiumgehalt unterhalb der Nachweisgrenze, d.h. einem Alter > 40 Jahre, stellen die Wässer der Entnahmestelle Heimersheim-, bzw. der Entnahmestelle Offenheim alt, dar.

Aufgrund der Tritium-Eintragskurve (vgl. Abb. 3-4) ist es nicht möglich die Menge des Jungwasseranteils oder dessen Alter zu bestimmen. Man kann daher nur Prognosen über die Jungwasseranteile aufstellen (Abb. 5-3). Die Wässer lassen sich grob in drei Kategorien einteilen:

- Wässer mit einem sehr niedrigen alten Grundwasseranteil (Bechenheim alt, Bornheim alt, Flonheim alt, Flonheim neu, Nieder-Wiesen)
- Wässer mit einem niedrigen alten Grundwasseranteil (Freimersheim, Offenheim P2, Bornheim neu, Esselborn)
- Wässer mit einem hohen alten Grundwasseranteil (Bechenheim neu, Albig, Lonsheim, Lonsheim/Bornheim 2195, Heimersheim, Offenheim alt)

Auffällig ist auch der deutliche Unterschied im Tritiumgehalt der Meßstelle Bechenheim neu ($2,0 \pm 0,7$ TU) und Bechenheim alt ($14,2 \pm 1$ TU), was auf die unterschiedlichen Ausbautiefen (120 m Bechenheim neu, 60 m Bechenheim alt) und damit auf unterschiedliche Aquifersysteme zurückzuführen ist.

Die 1997/98 und 1999 gemessenen FCKW-Gehalte der Grundwasserproben erleichtern hier eine genauere Altersbestimmung und die Berechnung des Jungwasseranteils.

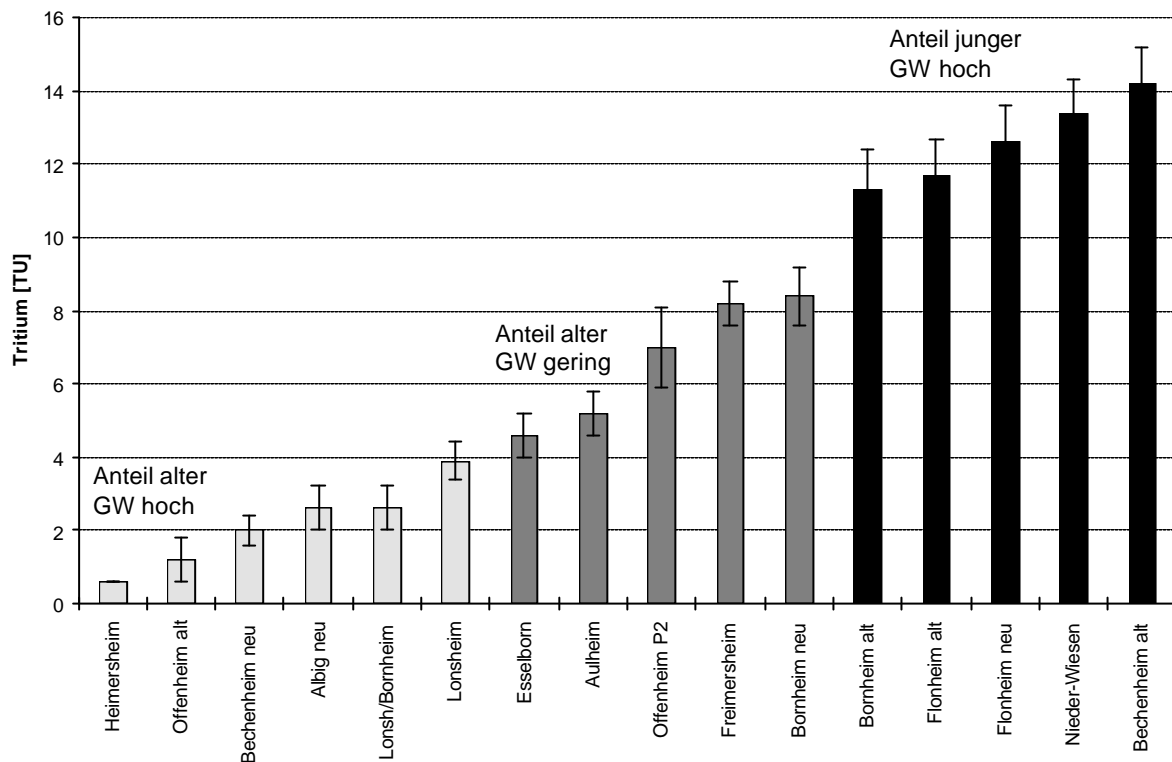


Abb. 5-3: Gemessene Tritiumgehalte der Grundwasserproben (Fehlerbalken entsprechen der analytischen 2- σ Abweichung der Messung)

5.1.2 Datierung der Wässer mittels FCKW- Bestimmung der Jungwasseranteile und Verweilzeiten

Im Lösungsgleichgewicht mit der heutigen Atmosphäre werden für F12, F11 und F113 Werte von 3,2 pmol/l, 6,9 pmol/l und 0,8 pmol/l erwartet. Erhöhte Werte deuten auf eine anthropogene Kontamination hin (kursiv gedruckte Werte, Tab. 5-12). Anhand der gemessenen FCKW-Konzentrationen und der FCKW-Eintragsfunktion können die untersuchten Wässer in drei verschiedene Typen klassifiziert werden.

Typ 1: Grundwässer, die von einem FCKW-Abbau beeinflusst sind.

Typ 2: Grundwässer, deren FCKW-Gehalt auf eine anthropogene Beeinflussung hindeuten (zusätzlicher Eintrag).

Typ 3: Grundwässer, deren FCKW-Gehalt dem Erwartungswert gemäß der Eintragsfunktion entsprechen (Datierung möglich).

Tab. 5-12: Berechnete Jungwasseranteile in Prozent, basierend auf den gemessenen FCKW-Gehalten (*kursiv gedruckte Werte deuten auf eine zusätzliche F12/F11-Kontamination hin*)

pmol/l	F12	F11	F113
Albig neu	3	<2	<2
Aulheim	53	52	44
Bechenheim alt	6	5	4
Bechenheim neu	<1	2	4
Bornheim alt	22	22	19
Bornheim neu	<i>10</i>	<1	3
Esselborn	27	25	25
Flonheim alt	<i>150</i>	<1	<2
Flonheim neu	<i>100</i>	4	<2
Freimersheim	<i>231</i>	<i>129</i>	29
Heimersheim	<1	<1	<2
Lonsh/Bornheim	4	19	18
Lonsheim	<i>41</i>	<1	<2
Nieder-Wiesen	66	52	54
Offenheim alt	<1	<2	<2
Offenheim P2	4	<2	<2

Zum Typ 1 (Lonsheim, Bornheim neu, Offenheim P2):

Der Quotient F11/F12 zeigt bei oben genannten Meßstellen stattgefundenen Abbauprozesse an (Abb. 5-4). Man erkennt deutlich, daß die Proben der Wässer aus Lonsheim, Bornheim neu und Offenheim P2 einen Abbau von FCKW stattgefunden hat, da diese Proben kein F11/F12-Verhältnis von ca. 2:1 aufweisen.

Der F12 - Meßwert des Brunnen Lonsheim beträgt 1,4 pmol/l. Der festgestellte F11-Wert beträgt 0,1 pmol/l gegenüber dem nach der Eintragsfunktion korrespondierenden F11 Wert von ca. 3,3 pmol/l. Das ist nur mit einem natürlichen FCKW-Abbau in einem vollständig anoxischen System zu erklären. Die Abbaurate für F11 ist stoffspezifisch wesentlich größer als die für F12, d.h. der F11-Gehalt des Brunnenwassers Lonsheim ist nahezu vollkommen abgebaut, während der F12-Gehalt lediglich erniedrigt ist. Somit ergibt sich für die Altersbestimmung ein „F12-Maximalwert“, da dieser nur eine untere Schranke angeben kann.

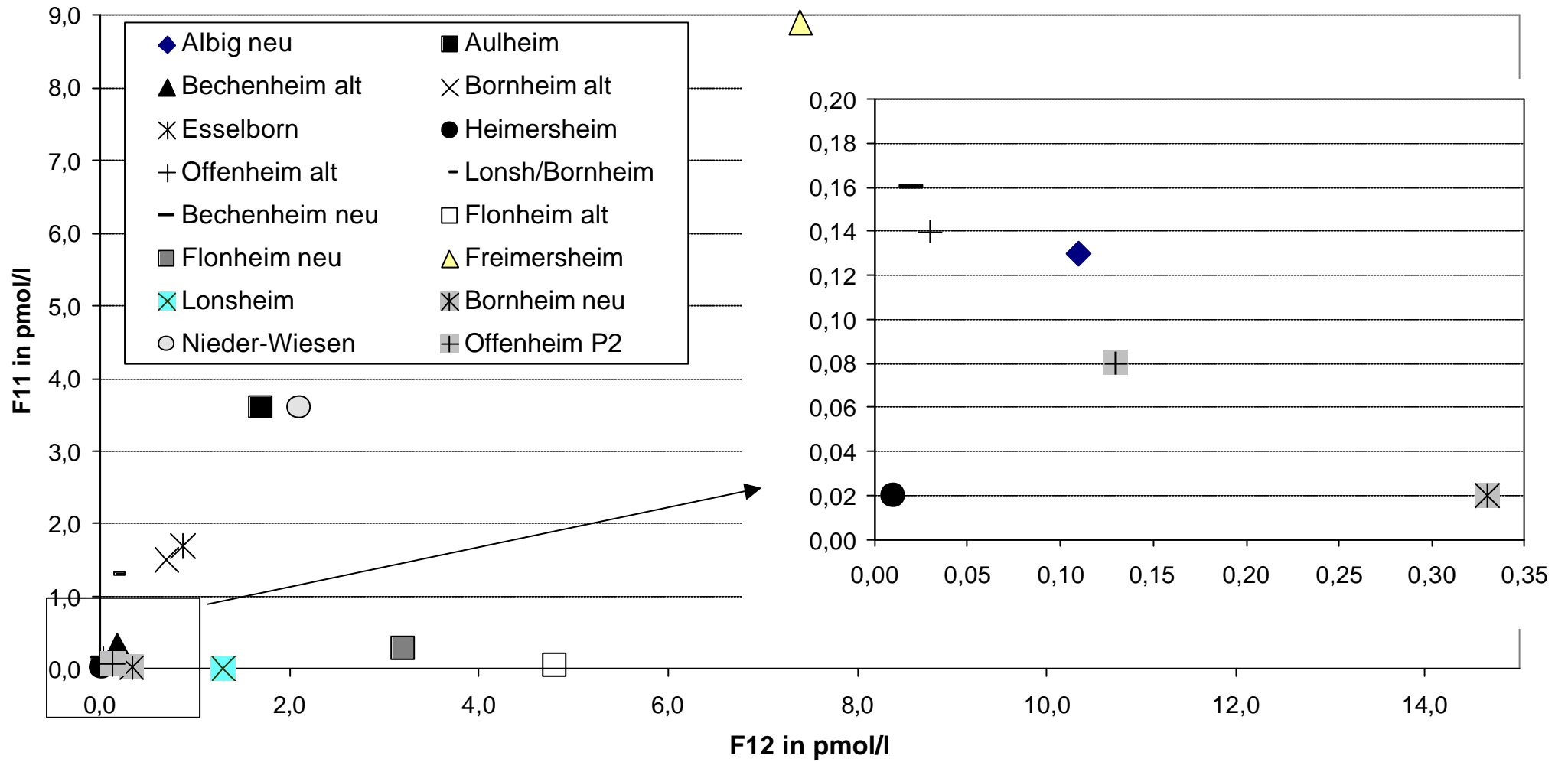


Abb. 5-4: F11/F12-Verhältnisse der untersuchten Wässer

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit ist eine eventuelle Zumischung einer F12-kontaminierten Wasserkomponente. Eine solche Zumischung würde ebenfalls zu einer entsprechenden Verschiebung im F12/F11- Verhältnis führen, wie ein natürlicher Abbauprozess der FCKWs.

Die Wässer der Entnahmestellen Bornheim neu und Offenheim P2 sind bezüglich ihrer F12-Gehalte scheinbar auch abbaubeeinflusst, da auch hier der korrespondierende F11-Gehalt deutlich erniedrigt ist. Das Wasser der Entnahmestelle Quelle Nieder-Wiesen scheint bei der Probennahme leicht kontaminiert worden zu sein, da der korrespondierende F11-Gehalt von 3,6 pmol/l leicht von dem berechneten F11-Wert (4,5 pmol) abweicht; ein Abbau ist bei dem hier vorherrschenden aeroben Grundwassermilieu auszuschließen. Bei der Probennahme war der Kontakt Quellwasser - Luftsauerstoff technisch nicht vollkommend zu verhindern.

Zum Typ 2 (Flonheim alt, Flonheim neu, Freimersheim):

Die Wässer der Entnahmestellen Flonheim neu, Flonheim alt und Aufspringquelle Freimersheim weisen einen deutlichen Überschuss an F12 gegenüber dem aus der Löslichkeit des atmosphärischen F12 zu erwarteten Gehalt von etwa 3 pmol/l auf. Bei diesen Wässern muß von einer anthropogenen FCKW-Kontamination im Grundwasser durch den Einfluß von z.B. Abwässern ausgegangen werden. Als Ursache des F12 Überschusses kann in Flonheim die laufende In-situ-Aufbereitung (SCHMITT, 1996) des Wassers angesehen werden. Die Ursache im FCKW-Exzess der Quelle Freimersheim könnte möglicherweise in der Art der Quellfassung liegen.

Zum Typ 3:

Für die Wässer Heimersheim, Bechenheim neu, Offenheim P2, Offenheim alt und Albig neu wurden mittlere Verweilzeiten von mehr als 40 Jahren bestimmt. Die übrigen Verweilzeiten schwanken zwischen 26 und 40 Jahren. Die Alter aus der F11- und der F12-Bestimmung zeigen dabei eine gute Übereinstimmung. Die F113-Alter können nur Aussagen über die letzten 20 Jahre liefern, da sie erst seit den 70er Jahren hergestellt werden. So zeigt F113 Verweilzeiten von mehr als 20 Jahren für die meisten Wässer an. Die Proben aus Esselborn und Bornheim alt liegen mit Altern von 17 bzw. 16 Jahren leicht darunter. Die aus den Messungen der F113-Werte aus Nieder-Wiesen und dem Aulheimer Tal resultierenden Alter sind wahrscheinlich auf die Zumischungen von sehr jungen Wässern zurückzuführen (Jungwasseranteile > 50%). Den F12- bzw. F11-Modellaltern sind im allgemeinen ein größeres Gewicht zuzuordnen (freundl. mündl. Mittlg. Dr. H. Oster, 2000).

Eine Interpretation der FCKW Daten kann unter Zuhilfenahme des Piston-flow-Modells durchgeführt werden (OSTER, 1998). Diese einfache Modellvorstellung über das Strömungsverhalten im Grundwassersystem unterstellt keinerlei Mischungsvorgänge im Aquifer. Der freie Parameter dieser Modellvorstellung ist die mittlere Verweilzeit des Wasser im Grundwasserleiter. Es muß allerdings davon ausgegangen werden, daß diese Modellvorstellung die tatsächliche Situation nicht gut widerspiegelt. Diese Datierungsvariante soll trotzdem rein rechnerisch durchgeführt werden und als Orientierungshilfe dienen (Tab. 5-13).

Tab. 5-13: Mittlere Verweilzeiten basierend auf den gemessenen FCKW-Gehalten

	Verweilzeiten in Jahren		
	F12	F11	F113
Albig neu	>40	>40	>20
Aulheim	21	23	14
Bechenheim alt	37	34	>20
Bechenheim neu	>40	>40	>20
Bornheim alt	28	27	16
Bornheim neu	35	40	>20
Esselborn	26	28	17
Heimersheim	>40	>40	>20
Lonsh/Bornheim	>40	>40	>20
Lonsheim	(<22)		
Nieder-Wiesen	17	23	12
Offenheim alt	>40	>40	>20
Offenheim P2	>40	>40	>20

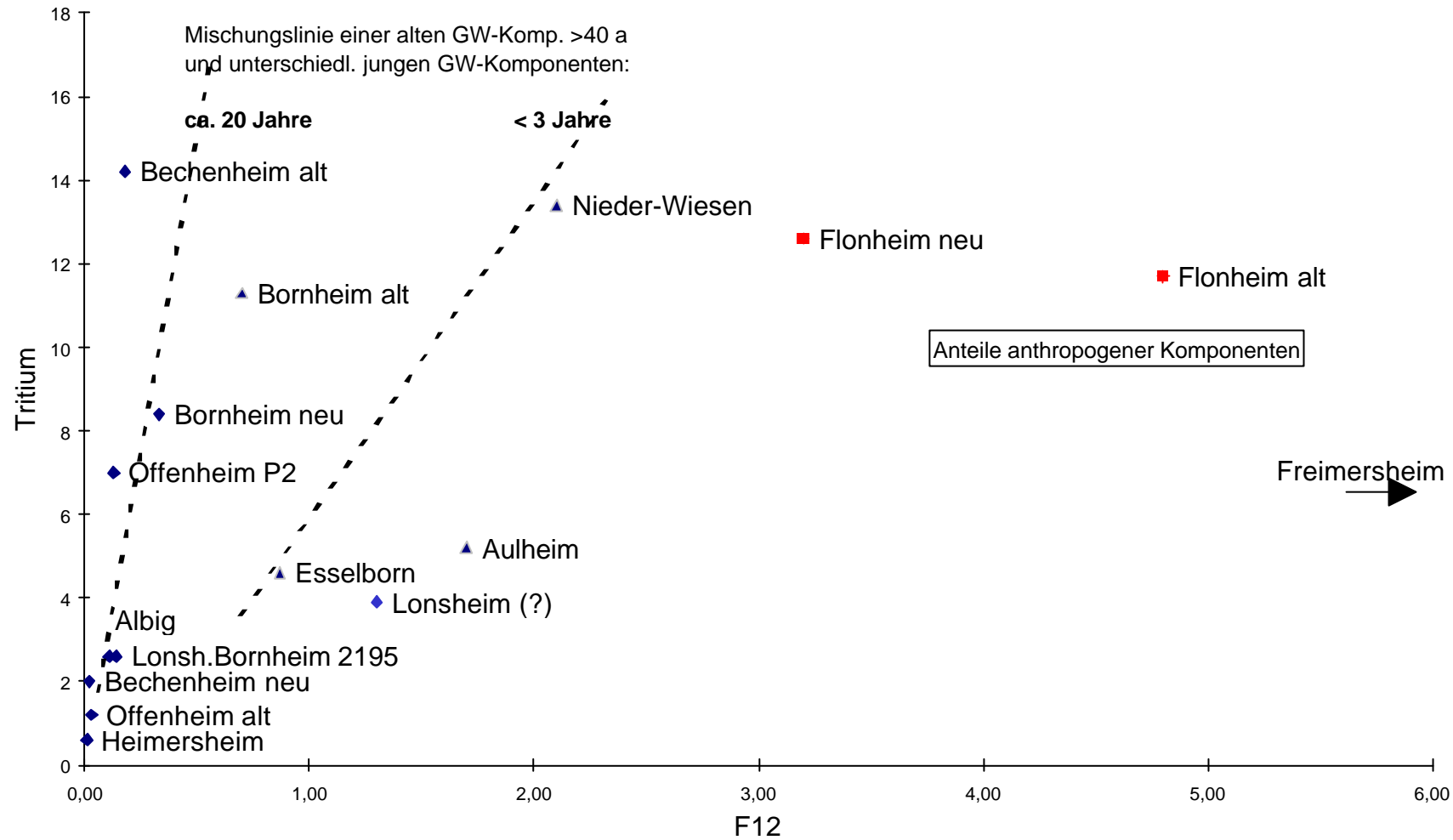


Abb. 5-5: Korrelationsdiagramm zwischen Tritium und F12-Gehalt

In Abb. 5-5 ist daher zur Präzisierung der Altersaussagen ein Korrelationsdiagramm zwischen Tritium- und F12-Gehalt dargestellt. Ausgehend von einem Mischwassersystem aus einer alten (> 40 Jahre), Tritium- bzw. FCKW-freien und einer jungen Komponente sind in Abb. 5-5 zwei Mischungslinien für verschiedene Alter der jungen Komponente (ca. 20 Jahre sowie < 3 Jahre) dargestellt. Aus der Lage der Meßpunkte zu den Mischungslinien läßt sich ableiten, daß nur die Wässer der Entnahmestellen Esselborn, Nieder-Wiesen, Aulheim und vermutlich auch Bornheim alt Anteile einer sehr jungen (< 3 Jahre) Grundwasserkomponente enthalten. Dies wird durch die deutlich erhöhten F113-Gehalte dieser aeroben Wässer bestätigt. Außerdem handelt es sich bei den Entnahmestellen Nieder-Wiesen und Auhlheim um Quellwässer und bei den Entnahmestellen Esselborn und Bornheim alt um nur sehr flachgründige Brunnen.

Alle anderen, nicht durch anthropogene FCKW-Kontamination beeinflussten Wässer, deuten auf ein Alter der jungen Grundwasserkomponente von > 20 Jahre hin, sofern nicht auch das F12 durch Abbau reduziert ist, was bei den Entnahmestellen Lonsheim, Bornheim neu und Offenheim P2 wahrscheinlich der Fall ist. Die FCKW- Meßwerte der „FCKW-kontaminierten“ Meßstellen Freimersheim, Flonheim alt und Flonheim neu lassen keine Rückschlüsse auf Jungwasseranteil oder Verweilzeiten zu. Hier muß allein auf die Aussagen der Tritiummessungen zurückgegriffen werden.

5.1.3 Untersuchung der stabilen Isotope

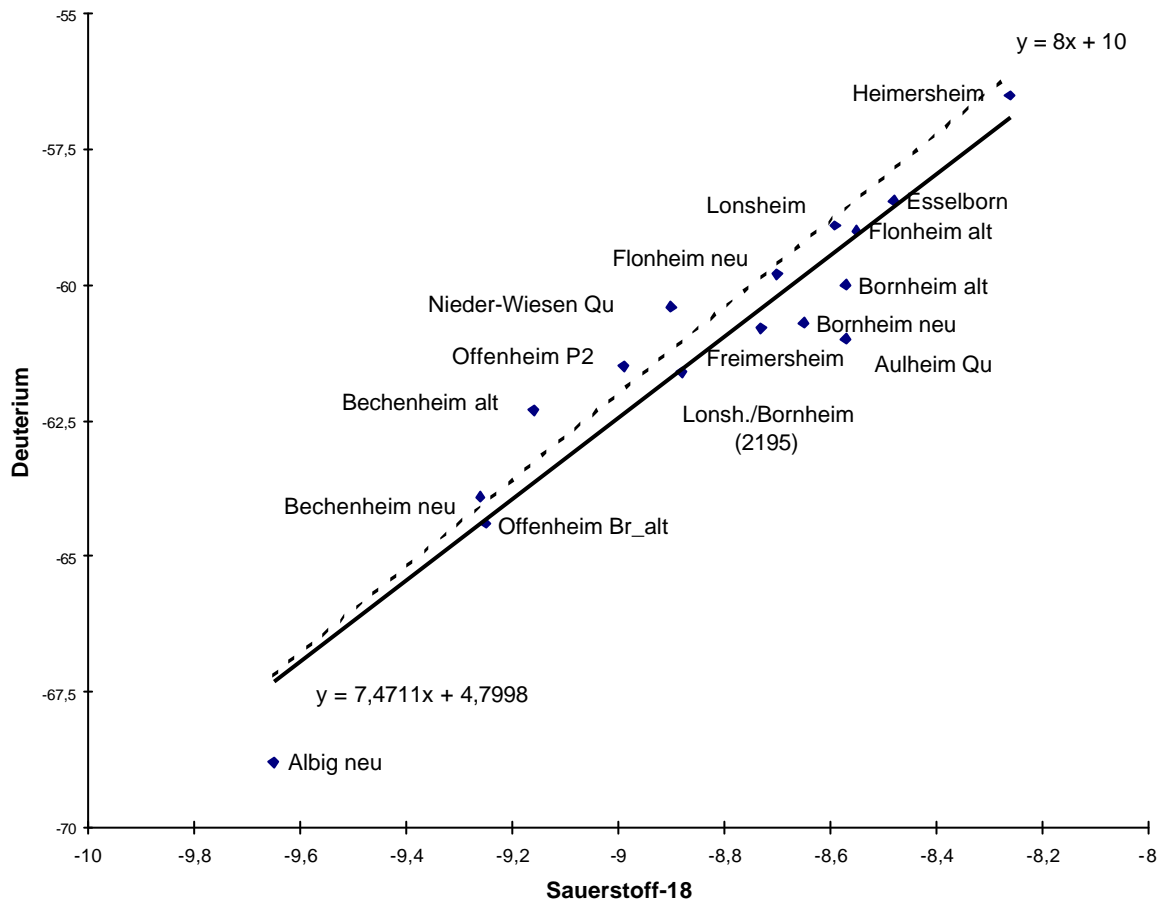


Abb. 5-6: Meteorische Niederschlagsgerade (MWL) für den Raum Alzey, zusätzlich dargestellt ist die MWL (gestrichelt) für den europäischen kontinentalen Raum (nach CRAIG, 1961a, 1961b)

Die Auftragung der stabilen Isotope ^2H und ^{18}O der untersuchten Grundwässer in einem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm (Abb. 5-6) zeigt, daß alle Proben auf der sogenannten Niederschlagsgeraden liegen und damit keine Anteile verdunstungsbeeinflusster Wässer aufweisen. Anhand der Lage der Proben in Abb. 5-6 lassen sich grob drei unterschiedliche Gruppen von Wässern entlang der Niederschlagsgeraden unterscheiden. Die Probe Heimersheim ist gegenüber allen anderen Wässern zu deutlich schwereren Werten der stabilen Isotope ^2H und ^{18}O verschoben. Demgegenüber liegen die Wässer der Entnahmestellen Offenheim P2, Bechenheim-alt bzw. -neu und speziell Albig-neu bei wesentlich negativeren $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten. Die unterschiedliche Lage der Wässer entlang der Niederschlagsgeraden resultiert vermutlich aus verschiedenen Höhenlagen der entsprechenden Einzugsgebiete. Um die beobachtete Verschiebung im $\delta^{18}\text{O}$ von etwa 1 ‰ zu erklären, bedarf es einen Höhenunterschied im Neubildungsgebiet von etwa 300 m bei -0,3 ‰ pro 100 m. Eine weitere Möglichkeit ist der Einfluß eines Oberflächengewässers. Der Einfluß einer jungen Grundwasserkomponente mit jahreszeitlich variierenden Gehalten der stabilen Isotope analog den Niederschlägen im betreffenden Gebiet kann aufgrund der bei den betroffenen Proben im

$\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm in Abb. 5-3 vorhandenen hohen Anteile einer tritiumfreien Wasserkomponente ausgeschlossen werden.

Die sogenannte Niederschlagsgerade errechnet sich für das Untersuchungsgebiet Alzey zu $\delta^2\text{H} = 7,5 \delta^{18}\text{O} + 4,8$. Im Vergleich dazu beträgt die Meteoric water line der Meßstation Koblenz (Monatsmittelwerte der Jahre 1974-1995, IAEA, 1998) etwa $\delta^2\text{H} = 7,8 \delta^{18}\text{O} + 4,45$. Für den mitteleuropäischen kontinentalen Raum gibt CRAIG (1961a, 1961b) für die MWL ungefähr $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ an. Das errechnete Ergebnis für den Raum Alzey läßt sich gut mit den vorigen Ergebnissen korrelieren.

5.1.4 Herkunft des im Wasser gelösten Sulfats

Die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen am gelösten Sulfat der Wässer in Abb. 5-7 zeigen, daß das Sulfat der Mehrzahl der untersuchten Grundwässer seinen Ursprung in der Oxidation von Sulfiden hat. Ausnahmen hiervon sind die Grundwässer aus Esselborn und Bechenheim-neu. Vor allem bei letzterer Probe mit hohem positiven $\delta^{34}\text{S}$ -Wert ist ein großer Einfluß von gelöstem Sulfat geogener Herkunft (Evaporitsulfat) bemerkbar.

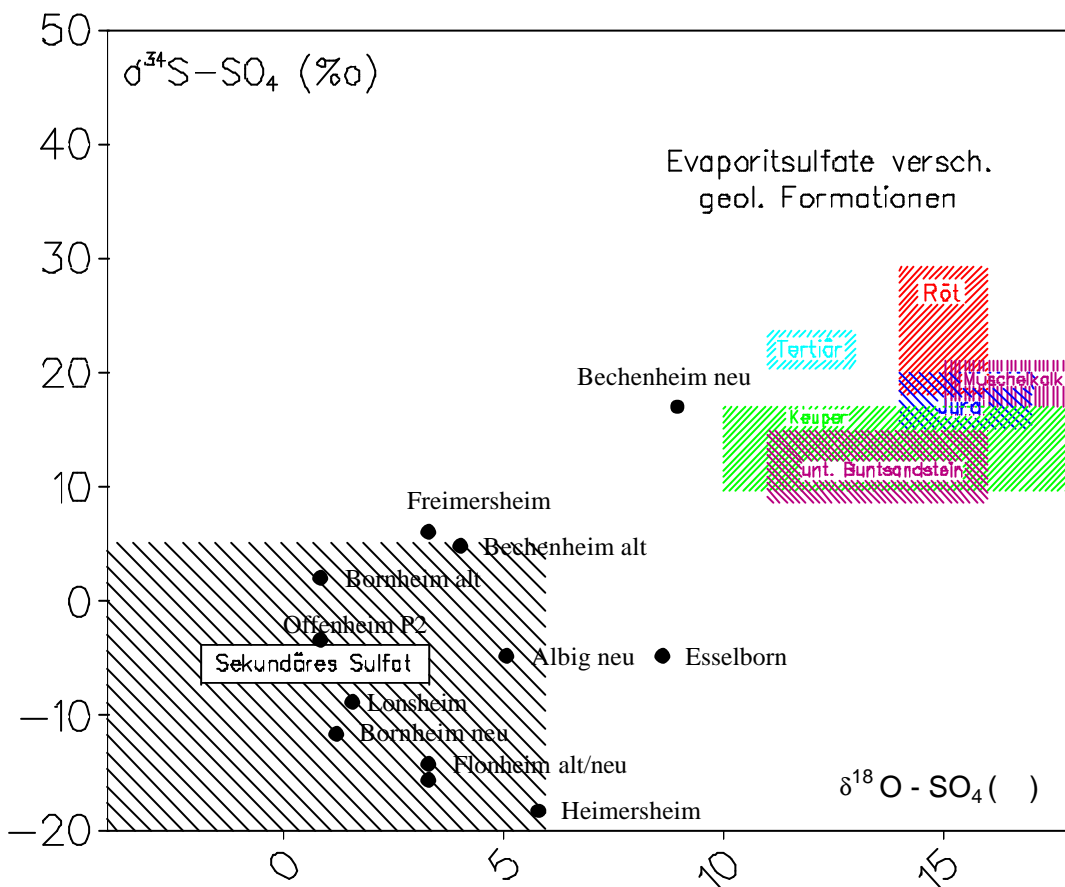


Abb. 5-7: Isotopenuntersuchungen am gelösten Sulfat der Wässer

5.1.5 Herkunft des im Wasser gelösten Nitrats

Die auf die Isotopie des gelösten Nitrats untersuchten Proben zeigen alle eine mehr oder weniger deutliche Prägung durch eine Nitratkomponente aus Mineraldünger (siehe Abb. 5-8). Bei den Proben Freimersheim und Esselborn ist zudem ein geringer Anteil an im Boden gebildetem Nitrat sichtbar. Nur das Grundwasser der Entnahmestelle Flonheim-neu, für die allerdings aufgrund zu geringer NO_3^- -Gehalte kein $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ -Wert vorliegt, zeigt aufgrund eines hohen $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes von $+18,3\text{‰}$ einen Einfluß von Denitrifikationsprozessen. Die quantitativen Gasgehaltsbestimmungen der Wässer aus den Brunnen Albig, Flonheim neu und Bornheim neu bestätigen anhand der gleichzeitig zunehmenden Stickstoffgehalte, Stickstoff-Argon-Verhältnisse sowie ^{15}N -Isotopie am gelösten Stickstoff (angegeben als relative Abweichung vom Luft-Stickstoff) das Vorhandensein einer zusätzlichen Stickstoff-Komponente mit einer von Luft abweichenden ^{15}N -Isotopie ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Luft}} = 0\text{‰}$). Das Wasser aus Albig zeigte einen $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von $+2,6\text{‰}$, das aus Bornheim $+4,4\text{‰}$ und das aus Flonheim $4,3\text{‰}$ bei den untersuchten Proben an. Es ist wahrscheinlich, daß Stickstoff im Untergrund aufgrund der Nitratreduktion bzw. Sulfatoxidation nach der Gleichung 2-3 (OBERMANN, 1982) bzw. nach der Gesamtgleichung 2-6 (nach ROHMANN & SONTHEIMER, 1985) gebildet wird.

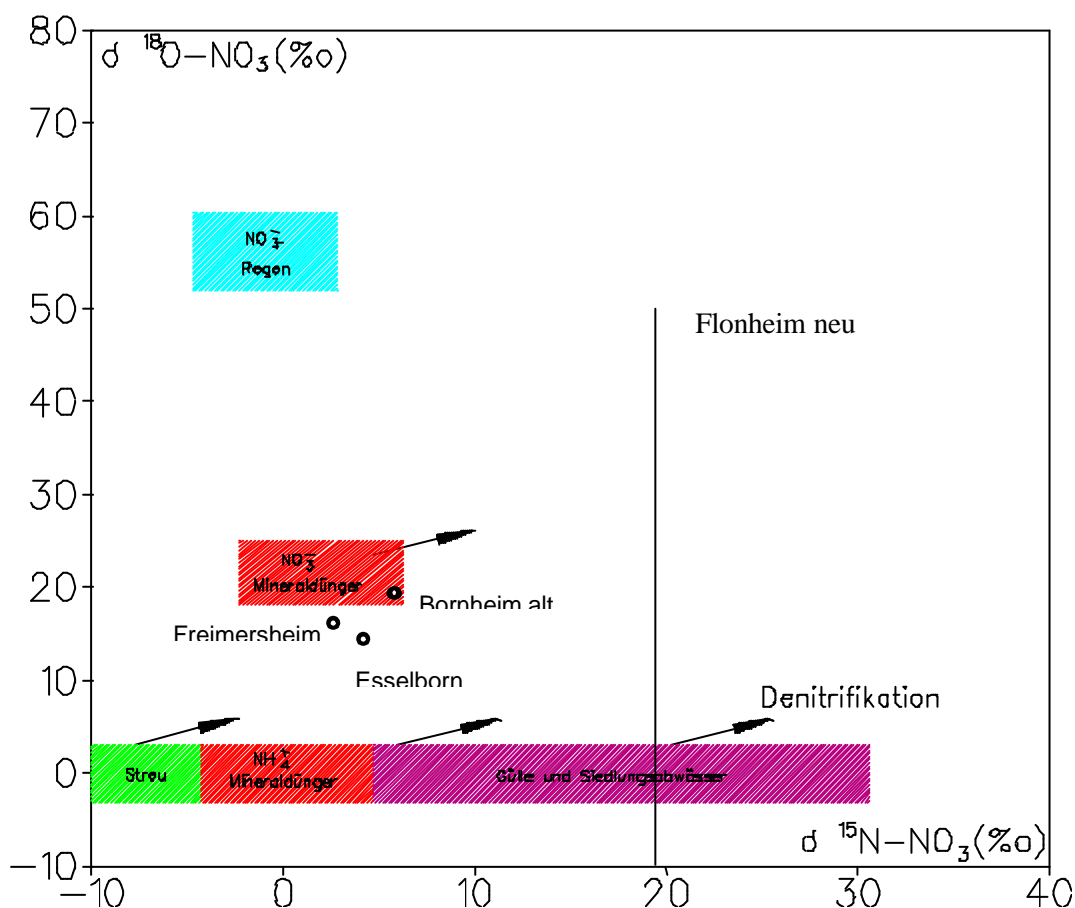


Abb. 5-8: Isotopie des gelösten Nitrats

5.2 Hydrogeologische Parameter

Die teilweise selbst bestimmten- und aus Daten des geol. Landesamtes berechneten Durchlässigkeitsbeiwerte weisen die Aquifere im Raum Alzey als mäßig gute bis schlechte Grundwasserleiter aus. Es muß aber davon ausgegangen werden, daß die Bestimmung der hydrogeologischen Parameter im Untersuchungsgebiet nur als grobe Annäherung zu betrachten ist. Wie viele Bohr- und Ausbauprofile zeigen, sind fast alle Brunnen sowohl in den Poren- als auch in den Kluftaquifere verfiltert, d.h. es muß fast immer von mehreren Grundwasserzuflüssen in einem „Kurzschlußsystem“ ausgegangen werden. Da meist Mischwässer gefördert werden, gestalten sich Aussagen über die Herkunft der Wässer und deren Beurteilung als äußerst schwierig.

Die Randbedingungen für verschiedene Auswerte- und Berechnungsverfahren sind nur bedingt zur Ermittlung der hydrogeologischen Parameter geeignet (z.B. isotroper, homogener unendlich horizontal ausgedehnter Aquifer, vollkommener Brunnen, teilweise unbekannte Aquifermächtigkeiten, etc.). Sämtliche aus Pumpversuchen gewonnenen Parameter sollten daher mit einer gewissen Skepsis betrachtet werden.

Tab. 5-14: Mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte der verschiedenen Grundwasserleiter (MEIER-HARTH & SCHMITT, 1999)

Grundwasserleiter	mittlere K_f -Werte im m/s
Tertiärer Kalkstein und Meeressand	$3 \times 10^{-4} - 3,5 \times 10^{-3}$
Tertiärer Meeressand	$1,6 \times 10^{-4}$
Tert. Meeressand und Rotliegend Sandsteine	$2,8 - 5,2 \times 10^{-5}$
Rotliegend-Sandsteine	$1 \times 10^{-4} - 3,7 \times 10^{-6}$
Rotliegend-Magmatite	$1,7 - 4,8 \times 10^{-6}$

Die mittleren Durchlässigkeiten (K_f -Werte) sind in den tertiären Meeressanden und Kalktertiär (ca. $1,6 \times 10^{-4} - 3,5 \times 10^{-3}$ m/s) am höchsten und in den Rotliegend-Magmatiten (ca. $1 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-6}$ m/s) am geringsten. Vor allem in den Rotliegend-Sandsteinen (ca. $1 \times 10^{-4} - 3,7 \times 10^{-6}$ m/s) und Magmatiten schwanken die K_f -Werte in Abhängigkeit von der Klüftung erheblich.

5.3 Chemismus der Grundwässer

Um Veränderungen im Chemismus der Grundwässer aufzeigen zu können, wurden alle bekannten Analysedaten der EWG Alzey, des Landesamts für Wasserwirtschaft und des Geologischen Landesamts der Brunnen und Quellen in Tabellenform zusammengefaßt (siehe Anhang). Teilweise sind Analysedaten vom ersten Pumpeneinbau bis in die siebziger Jahre vorhanden. Das Landesamt für Wasserwirtschaft führt zu Kontrollzwecken mehrmals jährlich Analysen an der Quelle Freimersheim und am Pegel Lonsheim/Bornheim (2195), durch. Zu bemerken ist noch, daß nicht alle Analysedaten verwendet werden konnten, da teilweise nur das Reinwasser analysiert wurde. Das wurde durch die zu gering analysierten Eisengehalte der Wässer, die geogen bedingt viel höher sein müssen, verdeutlicht. Die Analysen der

Reinwässer wurden daher nicht mit in die Tabelle übernommen. Einige Sauerstoffkonzentrationen der sauerstoffarmen Tiefenwässer wurden wahrscheinlich erst im Labor bestimmt.

Die Analysewerte der Brunnen Lonsheim, Flonheim neu und des Pegel Uffhofen zeigen während der letzten Jahre, eine deutliche Erhöhung der Sulfatwerte, sowie einen leichten Anstieg von Calcium und Magnesium und damit auch eine Erhöhung der Leitfähigkeit. Häufig sind steigende Sulfatgehalte bei nitratfreien Wässern mit reduzierendem Milieu anzutreffen. Die untersuchten Grundwässer lassen sich aufgrund Ihrer Lösungsinhalte folgendermaßen unterteilen (vgl. Piper/Schöller-Diagramme Abb. 4-13/14; 4-20/21):

- Erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogencarbonathaltig
- Erdalkalische Wässer, hydrogencarbonat-, sulfat-, chlorid-, (nitrat)- haltig
- Erdalkalische Wässer mit einem höheren Alkaligehalt, überwiegend sulfat-, chlorid-, (nitrat)-haltig
- Alkalische Wässer, hydrogencarbonat-, sulfat-, chloridhaltig.

Oberflächennahe Grundwässer zeigen aufgrund Ihrer Nitratgehalte eine anthropogene Beeinflussung durch die Landwirtschaft. Bei den Wässern aus Tiefen über 40 m liegen die Nitratgehalte aufgrund der ablaufenden Nitratreduktion im anoxischen Milieu unter 2 mg/l. Basierend auf geologischen- und hydrogeologischen Gegebenheiten sowie hydrochemischen Untersuchungen wurde von dem Landesamt für Wasserwirtschaft die gesamte Landesfläche Rheinland-Pfalz in 14 Grundwasserlandschaften unterteilt (LfW-Bericht Nr.225/93, Lfw-Bericht Nr. 208/96). Das Untersuchungsgebiet Alzey könnte somit in mindestens vier Grundwasserlandschaften unterteilt werden:

- I. Tertiäre Kalksteine
- II. Tertiäre Mergel und Tone
- III. Rotliegend-Sedimente
- IV. Rotliegend-Magmatite

Fast alle Brunnenbohrungen im Untersuchungsgebiet durchteufen, laut der Bohrprofile, mindestens zwei der oben aufgeführten geologischen Formationen. Man kann in diesen Fällen von einem hydraulischen Kurzschluß sprechen, da die geförderten Wässer als Mischwässer zu bezeichnen sind. Eine Einteilung der Wässer gemäß den Grundwasserlandschaften ist somit nicht möglich, da keine Grundwasser-„Endglieder“ vorliegen. MATTHESS (1994) unterteilt Grundwässer in Sedimentgesteinen, die hier den größten Anteil im Untersuchungsgebiet haben, nochmals in vier Gruppen:

- I. Grundwässer in Sandsteinen u.a. psephitisch-psammitische Festgesteine
- II. Grundwässer in Karbonatgesteinen
- III. Grundwässer in Ton-, Mergel- und Schluffgesteinen
- IV. Grundwässer in Gips-, Anhydrit- und Salzgesteinen.

Die Wässer der Trinkwassergewinnungsanlagen der Energie und Wasserversorgungs GmbH Alzey und der Grundwassermeßstellen des Landesamtes für Wasserwirtschaft können mit Grundwässern in psephitisch-psammitischen Festgesteinen/Lockergesteinen, Grundwässern der Karbonatgesteine und Grundwässern in Ton-, Mergel- und Schluffgesteinen verglichen werden. Die Unterschiede werden durch das Vorkommen von Karbonaten, Gips, Anhydrit oder anderer Salze, als Bindemittel oder Einschaltung in den Sedimentgesteinen, verwischt.

5.4 Mineralwässer im Raum Alzey- Ionenaustausch

Solquellen sind aus dem Grenzgebiet des Mainzer Beckens im unteren Nahetal, in Bad Kreuznach und Bad Münster schon seit langem bekannt. Das Quarzporphyrmassiv von Bad Kreuznach bildet einen engeren Quellbezirk (WAGNER, 1933). Aber auch nicht an den Quarzporphyr gebundene Salzwässer (Schlachthaus Kreuznach, Glan- und oberes Nahetal) zeigen, daß der Quarzporphyr nicht der Träger der Mineralquellen ist (WAGNER, 1933).

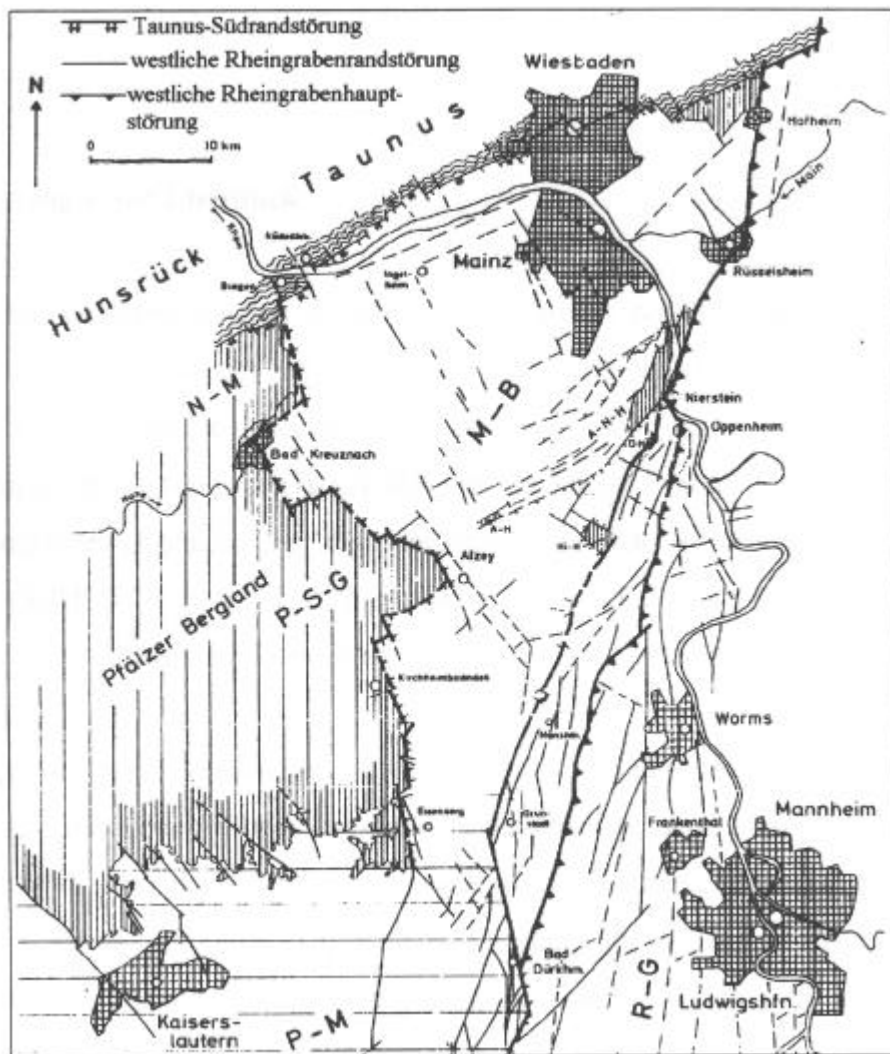
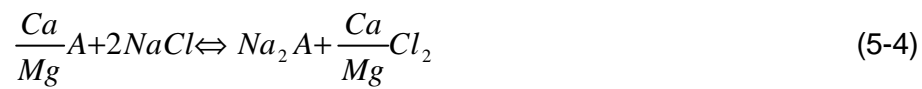
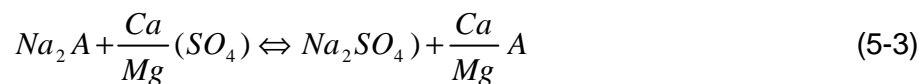
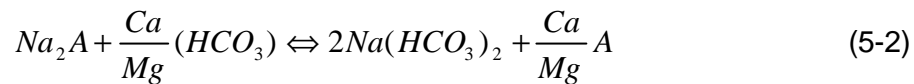


Abb. 5-9: Tektonische Strukturskizze des Mainzer-Beckens (STAPF, 1988)

Ein möglicher Weg der Mineralwässer über herzynisch- und variszisch gerichtete Störungszonen (Abb. 5-9) von Nackenheim am Rhein (bituminöse kalkige Schichten), über

Albig, nach Bad Kreuznach wurden von DELKESKAMP (1908), WAGNER (1933) und HEYL & GEIB (1971) beschrieben. Dieser Auffassung widersprachen SCHWILLE (1955), HÖLTING (1969, 1994). Sie kamen zu dem Schluß, daß die Mineralwässer aus den Muschelkalksalinaren des Saarlandes stammen müßten.

Einen einfachen Hinweis über die Verbreitung von Ionenaustauschvorgängen im Untergrund liefern Wässer, deren Äquivalentkonzentrationen von Calcium + Magnesium kleiner sind als die Äquivalentkonzentration von Hydrogenkarbonat. Der Überschuß an HCO_3^- - Ionen ist Alkali - Ionen zuzuordnen. Die ursprünglich äquivalente Ca^{2+} - Konzentration ist durch den Austausch von Ca^{2+} gegen gebundenes Na^+ verringert worden. Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumsulfatwässer sind häufig in basaltischen- und sedimentären Grundwasserleitern vorzufinden (MATTHESS, 1994). Der Ionenaustausch im Bereich des Mainzer - Beckens ist nach SCHWILLE (1954) folgendermaßen zu erklären (A = Austauschmasse):



Wenn erdalkalisulfathaltiges- oder erdalkalihydrogenkarbonathaltiges Wasser einen mit Na - Ionen belegten Aquifer durchströmt, werden die Wässer nach Verlassen des Aquifers einen erhöhten Gehalt an Natriumsulfat oder Natriumhydrogenkarbonat (Gleichungen 5-2 und 5-3) aufweisen. Man spricht auch von einer natürlichen Enthärtung. Gleichung (5-4) stellt den Umkehrungsprozeß (Regeneration von Permutiten in der Technik, Erklärung für Ca-Cl₂-Wässer) dar (MATTHESS, 1994 und SCHWILLE, 1954).

Die Äquivalentkonzentrationen von Calcium und Magnesium sind bei den Brunnen Albig neu und Uffhofen deutlich kleiner als die Äquivalentkonzentration von Hydrogenkarbonat. Bei diesen Wässern haben eindeutig Austauschvorgänge im Untergrund stattgefunden, da die Na^+ - Konzentration (Albig neu 397,5 mg/l, Uffhofen 236,5 mg/l) wesentlich höher-, und die Ca^{2+} - bzw. Mg^{2+} - Konzentrationen sehr viel niedriger (Albig neu 8,9 mg/l Ca^{2+} und 4,7 mg/l Mg^{2+} , Uffhofen 4,1 mg/l Ca^{2+} und 3,5 mg/l Mg^{2+}) als bei allen anderen Brunnen sind. Bei den Brunnen Bechenheim neu, Albig alt und bei der Versuchsbohrung Erbes-Büdesheim sind die Äquivalentkonzentrationen von Calcium und Magnesium nur unwesentlich kleiner als die Äquivalentkonzentration von Hydrogenkarbonat. Bei diesen Wässern fallen die erhöhten K^+ - und teilweise Na^+ - Konzentrationen auf (Bechenheim neu 35,9 mg/l Na^+ und 15,5 mg/l K^+ , Albig alt 332 mg/l Na^+ und 39,4 mg/l K^+ , Erbes-Büdesheim 15,6 mg/l Na^+ und 22,28 mg/l K^+). Die zusätzlich erhöhten K^+ - Konzentrationen lassen auf einen Austausch von Ca^{2+} und Mg^{2+} mit den gebundenen K^+ - und Na^+ - Ionen des Untergrundes schließen. Während bei der Versuchsbohrung Erbes-Büdesheim hauptsächlich Mg^{2+} (9,85 mg/l) gegen K^+ (22,28 mg/l) ausgetauscht wurde, ist dieser Vorgang bei den Brunnen Albig alt und Bechenheim neu nicht

mehr eindeutig nachvollziehbar, da Ca^{2+} - und Mg^{2+} - Konzentrationen, wie bei allen anderen Brunnen, deutlich erhöht zu sein scheinen. Bei diesen „ausgetauschten“ Wässern handelt es sich um $(\text{Na},\text{K})\text{HCO}_3$ -bzw. $(\text{Na},\text{K})_2\text{SO}_4$ - Wässer, was auch in den prozentualen Verteilungen der Mg-, Ca-, Na- und K- Spezies zu sehen ist (Albig alt $(\text{Mg},\text{Ca})\text{SO}_4$, $(\text{Na},\text{K})_2\text{SO}_4$, Bechenheim neu $(\text{Ca},\text{Mg})\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 und K_2SO_4). Bei den Brunnen Albig neu und des Pegels Uffhofen sind hauptsächlich, bei den Na- und K- Spezies $(\text{Na},\text{K})_2\text{SO}_4$, NaHCO_3 und bei den Ca-, und Mg-Spezies $(\text{Mg},\text{Ca})\text{SO}_4$, enthalten.

Die untersuchten Proben der Quellen und Bachquellen zeigen keine Anzeichen von eventuell abgelaufenen Austauschvorgängen. Sie entsprechen in ihrer Beschaffenheit der zu erwartenden Mineralisation, wie sie von MATTHESS (1994) für die jeweiligen Lithologien (Rotliegend-Sandsteine und Magmatite, sowie tonig-mergelige und karbonatische Tertiär-Ablagerungen) angegeben wurden.

5.5 Herkunft der schwermetallhaltigen Wässer

Es befinden sich eine Vielzahl von Pingen und Stollen im ehemaligen Bergbaugebiet Mörsfeld/Kriegsfeld, welches im Einzugsgebiet der wohl meisten Brunnen und Quellen liegt. Im Grubenfeld von Kriegsfeld wurde eine hohe Quecksilber-Arsen-Antimon-Vererzung lokalisiert, die vermutlich auf intermediäre Intrusivgesteine (ISENBART, 1995) zurückzuführen ist. Die Vererzungen sollen bis in 200 m Tiefe reichen (KOZIOL, 1997). Wie aus mehreren Bohrprofilen der Brunnen zu ersehen ist, sind Intrusivgesteine bis in 150 m (Heimersheim, Offenheim) Tiefe erbohrt worden. Aufgrund hydrothermalen Vorgänge sind Rotliegend-Sandsteine mit schwermetallreichen Wässern imprägniert worden.

Davon ausgehend, daß am Spitzenberg ein Arsengehalt von mindestens 300 mg/kg Boden nachgewiesen wurde (KOZIOL, 1997), scheint es wahrscheinlich, Arsenverbindungen und andere vergesellschafteten Minerale auch in größerer Tiefe anzutreffen. Die Batch-Versuche des Wiesbachsediments ergaben Arsengehalte von mindestens 0,39 mg/kg Sediment (SCHMITT, 1996). Die gefundenen Elementkonzentrationen nach Tabelle 1-1 bestätigen außerdem, daß Schwermetallmobilisationen aufgrund ablaufender Sulfidoxidationen im Raum Alzey stattfinden, was durch die bisher durchgeführten Untersuchungen bestätigt werden konnte. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Bindung und Mobilität ökotoxischer Metalle und Metalloide im Bereich von ehemaligen Quecksilbergruben im Nordpfälzer Bergland“ durchgeführten Untersuchungen (Bodenuntersuchungen, Untersuchung von Nutzpflanzen, Biomonitoring), des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, belegen außerdem die öffentliche Brisanz der geogen vorhandenen Schwermetalle.

Pyrit kann signifikante Mengen an Spurenelementen enthalten, die bei der Denitrifikation mobilisiert werden können. So können beispielsweise As, Co, Ni, Pb und Zink freigesetzt werden. Nach VAN BEEK et al. (1989) sind in den Niederlanden in einem durch Pyritoxidation beeinflussten Grundwasser 110 µg Arsen, 250 µg Kobalt und 650 µg Nickel nachgewiesen worden. Der Abbau der Nitratfracht durch die Eisensulfidoxidation wird durch die Mobilisation anderer zum Teil trinkwasserbedenklicher Stoffe erkauft (Säure, Eisen, Sulfat,

Schwermetalle). Das kann durch die Ergebnisse der in nachfolgender Tabelle dargestellten Analysen bestätigt werden. Die Schwankungen der Nickel und Arsenwerte in der Vergangenheit lassen sich durch den stattgefundenen Nitratabbau erklären. Je nach Zumischung von nitrathaltigen Wasser steigt und sinkt die Nickelkonzentration. Das bestätigt sich auch durch die gleichzeitige Abnahme bzw. Zunahme von Nitrat und Nickel in dem Zeitraum von 1987 bis 1995 (vgl. Tab. 5-15). Die Erhöhung des Arsengehaltes scheint mit der Verringerung des Nitratwertes zu korrelieren. Der Anstieg des Sulfatgehaltes und die Reduzierung des Nitratgehaltes während der letzten Jahre sprechen für eine mikrobielle Nitratreduktion und Sulfatoxidation.

Tab. 5-15: Nickel-, Arsen-, Eisen- und Nitratanalysen des Brunnen Flonheim

mg/l	Ni	As	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻
02.12.81	n.b.	0,0010	0,110	9,8
19.01.83	n.b.	0,0070	0,130	11,2
14.03.84	n.b.	n.b.	n.b.	11,1
26.06.85	n.b.	0,0150	0,220	26,5
11.06.86	n.b.	0,0150	0,170	15,4
01.04.87	0,077	0,0100	0,158	1,0
27.04.88	0,09	0,0140	0,200	15,0
14.06.89	0,083	0,0190	0,200	20,7
25.04.90	0,132	0,0120	n.b.	35,9
12.06.91	0,09	0,0200	0,160	18,8
27.05.92	0,063	0,0200	0,300	11,4
09.06.94	0,044	0,0180	0,400	5,1
17.05.95	0,039	0,0190	0,350	4,2
01.08.95	n.b.	0,0270	0,47	5,5

Nachfolgende Abbildung des 1996 gestarteten „in-situ Aufbereitungsversuchs“ am Brunnen Flonheim (SCHMITT, 1996) zeigt ein hervorragendes Beispiel die Sensibilität von Schwermetallverbindungen im Untergrund und im Grundwasser aufzuzeigen. Werden durch Sauerstoffzugabe (Redoxpotentialerhöhung) Arsen- und Eisenverbindungen als z.B. Eisenarsenatverbindungen ausgefällt, können gleichzeitig günstige Redoxbedingungen für andere Schwermetalle geschaffen werden. So können andere Sulfide (Fahlerze) im Untergrund oxidiert werden (wie z.B. NiS, CdS, CoS und CuS als Ni²⁺-, Cd²⁺-, Co²⁺- und Cu²⁺). Die Messungen vom Februar 1996 zeigen, daß der Abbau der Nitratfracht durch die Eisensulfidoxidation durch die Mobilisation anderer zum Teil trinkwasserbedenklicher Stoffe erkauft wird.

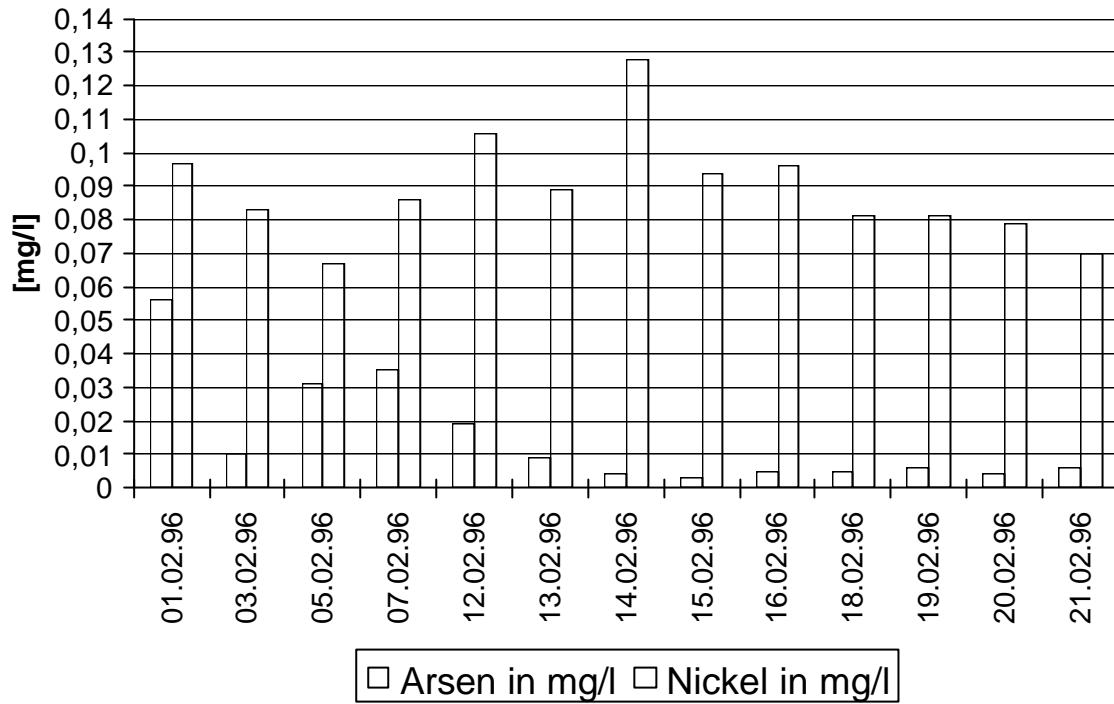


Abb. 5-10: Schwermetallmobilisation durch die Infiltration sauerstoffreichen Wassers

6. Grundwasserbilanzierung - Modellvorstellung

In diesem Kapitel sollen verschiedene Möglichkeiten dargestellt werden, die in Kapitel 2.3 dargestellten Reaktionsgleichungen auf ihre Plausibilität zu überprüfen. Es soll aufgezeigt werden, ob der aufgebrauchte Düngemittelintrag im Alzeier Raum überhaupt ausreichend ist, die dargestellten Zusammenhänge stattfinden zu lassen. Für die dargestellten Reaktionen muß außerdem genügend organische Substanz als mikrobiell verfügbarer organisch gebundener Kohlenstoff und ein ausreichender Erzgehalt im tieferen Untergrund zur Verfügung stehen.

Mit der Berechnung dieses einfachen Grundwasserbilanz-Modells sollen Obergrenzen abgesteckt werden, anhand derer entschieden werden kann, inwieweit anthropogene und geogene Quellen vorliegen müßten, die vorhandenen Schwermetallgehalte in den Grundwässern zu verursachen.

Die Fläche, die für die großräumigere Grundwasserhaushaltsberechnungen herangezogen wurde, betrug ca. 500 km². Als Grundwasserneubildungsrate für das Blatt Alzey wurde insgesamt ca. 55 mm als langjähriges Mittel berechnet. Bei einer Fläche für das Meßtischblatt Alzey von 133,5 km² würde das theoretisch einer Neubildungsrate von maximal 7,5 Millionen m³ Wasser pro Jahr entsprechen. Dieser Mittelwert soll für die flächenmäßigen Anteile von schlecht bis gut infiltrierbaren Boden weiter differenziert werden. In Tabelle 6-1 sind alle geologischen Einheiten mit ihren Flächenanteilen dargestellt. Für weitere Betrachtungen bezüglich der Durchlässigkeiten wurden die einzelnen Flächen in schlecht-, mittel- und gut-durchlässig unterteilt. Fast 30 % der Gesamtfläche sind als schlecht-durchlässig, ca. 60 % als mittel-durchlässig und ca. 10 % als gut-durchlässig zu bezeichnen. Für die aus der klimatischen Bilanz abgeleiteten Grundwasserneubildungsraten ergeben sich die in Tabelle 6-2 dargestellten Werte.

Über längere Zeit entspricht die mittlere Sickerwassergeschwindigkeit der Grundwasserneubildungsrate (SCHNEIDER, 1998). Bei einer mittleren Grundwasserneubildungsrate von 55 l/m²a ergibt sich eine theoretische Filtergeschwindigkeit von: $V_f = 0,055 \text{ m/a}$.

Bei einem angenommenen nutzbaren Hohlraumvolumen von 10 % ergibt sich daraus eine theoretische Sickergeschwindigkeit von: $V_s = 0,55 \text{ m/a}$. Das bedeutet, daß nach 30 Jahren eine Sickerstrecke von ungefähr 16 Metern in der ungesättigten Zone zurückgelegt werden kann.

Abk.	Stratigraphie	Fläche in m ²	%	Durchlässigkeit
Gesamt	Gesamt	133576071	100,00	(-/o/+)
hu	Abschwemm-Massen	19530208	14,62	-
h	Auensedimente	2092736	1,57	-
Bet	Bohnerzton	124831	0,09	-
olo1	Cyrenenmergel	1634189	1,22	-
rh	eff. Rhyolith (Kreuznacher Massiv)	26408	0,02	-
ba	interm./bas. Intrusiva	53993	0,04	-
L2	Lavaserie 2	2904325	2,17	-
MT	Mergeltertiär	1466317	1,10	-
Ok	Oberkirchen-Form.	1690625	1,27	-
T4	Rhyolith-Tuff	969375	0,73	-
olu2	Rupelton	3512988	2,63	-
R	Rutschungen	1375075	1,03	-
mio	Dinotherien-Sand	1264812	0,95	+
miu1	Inflata-Schichten	7555337	5,66	+
KT	Kalktertiär	3437123	2,57	+
olo3	Ob/M. Cerithiensch.	2357716	1,77	+
pgt	Terassensedimente	578664	0,43	+
Di	Disibodenberg-Form.	1916837	1,44	o
Do	Donnersberg-Formation	7409839	5,55	o
G	Glan-Gruppe	379839	0,28	o
miu2	Hydrobienschichten	194125	0,15	o
plo	Löß-Lößlehm	54944399	41,13	o
olu3	Schleichsand	15677997	11,74	o
Y	Schutt	1416962	1,06	o
olo2u	Süßwasser-Schichten	933676	0,70	o
Th	Thalichtenberg-Form.	79609	0,06	o
olo2u	unt. Cerithien	48068	0,04	o

(Durchlässigkeiten sind in gut (+), mittel (o) und schlecht (-) unterteilt)

Legt man die folgenden Zahlen zugrunde, so ergibt sich eine Grundwasserneubildung von rund 6,1 Millionen Kubikmetern Wasser.

Tab. 6-2: Grundwasserneubildungsraten

Durchlässigkeit	Fläche in m ²	%	Grundwasserneubildungsrate pro Jahr (mm)
gut	15193652	11,4	80 (maximal)
mittel	83001351	62,1	55 (berechnet)
schlecht	35381069	26,5	10 (Schätzung)

Nitrat wird hauptsächlich als Mineraldünger auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgebracht. Da nicht das gesamte Meßtischblatt als landwirtschaftliche Nutzfläche angesehen werden kann, reduziert sich diese Fläche auf ca. 50 % der Gesamtfläche, ungeachtet des Sonderkulturanbaus und der zahllosen Kleingärten und Versiegelungen. Das

heißt, mit dieser Modellvorstellung können ungefähr 3 Millionen Kubikmeter Wasser pro Jahr mit Nitrat belastet sein und somit im langjährigen Mittel im Raum Alzey eingetragen werden.

Auf die landwirtschaftliche Nutzfläche der Bundesrepublik Deutschland werden pro Jahr ca. 13,15 g N/m², 5,7 g P₂O₅/m², 7,8 g K₂O/m² und 12,3 g CaO/m², sowie daraus resultierend etwa 1,8 g SO₄/m² und ca. 5,7 g Cl/m² in Form von Düngern aufgebracht (STATISTISCHES BUNDESAMT, 1992). Übertragen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche des Blattes Alzey (50 % der Gesamtfläche) sind das ca. 875 t N pro Jahr, die sich in 3 Millionen Kubikmetern Wasser lösen könnten. Das entspricht einer N-Konzentration von ca. 291 mg/l bzw. einer Nitratkonzentration von ca. 1730 mg/l.

Die heterotrophe Denitrifikation findet wahrscheinlich vermehrt im oberflächennahen Bereichen statt, da hier die erforderliche organische Substanz als mikrobiell verfügbarer organisch gebundener Kohlenstoff zur Verfügung steht, wie er in Pflanzenrückständen, Wurzelausscheidungen, u.a. enthalten ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1992). Es müssen sich lokal sauerstoffarme bzw. freie Räume bilden, in denen eine Nitratreduktion stattfinden kann. Aber auch in tieferliegenden Bereichen sind kohlige Pflanzenhäcksel (z.B. Disibodenberg-Formation) bekannt.

Aus 360 mg organischer Substanz (davon 144 mg Kohlenstoff) und 600 mg Nitrat werden ca. 586 mg Hydrogenkarbonat gebildet. Dabei entstehen 106 mg (=45 ml) Kohlendioxid und 134 mg (=112 ml) Stickstoff. Bei einer völligen Nitratauswaschung (1730 mg/l) und völligem Nitrat-Abbau durch organische Substanz könnten 1690 mg/l Hydrogenkarbonat aus 1038 mg organischer Substanz gebildet werden und somit das Wasser aufhärten. Bei einer angenommen nutzbaren Porosität von 10 % sind 100 Liter Wasser in einem Kubikmeter „Boden“ vorhanden, bzw. 103800 mg „organische Substanz“. Bei einer angenommenen mittleren Dichte von 1,8 t/m³ Boden entspricht das 57,7 mg/kg C_{org}. Der Boden müßte einen C_{org}-Gehalt von 0,57 ‰ verfügbar haben, um das aufgebrachte Nitrat vollständig abzubauen.

Bei Sickerwasseruntersuchungen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind im Alzeier Raum Nitratgehalte von 12,9 mmol(eq)/l (entspricht ca. 800 mg/l, Bohrung Acker Bornheim in vier Metern Tiefe) und ca. 10 mmol(eq)/l (entspricht ca. 626 mg/l, Bohrung Acker Offenheim in 30 cm Tiefe) nachgewiesen worden (JÄGER, 1998). Die Nitratkonzentration im Sickerwasser des Ackers Offenheim ist bereits in einem Meter Tiefe von 10 mmol(eq)/l auf ca. 3 mmol(eq)/l (ca. 185 mg/l) zurückgegangen. Zu beachten ist, daß die analysierten Werte nur stichpunktartig während der Vegetationszeit erfaßt worden sind. Sie können unter obigen Gesichtspunkten somit nur als Maximalwerte angesehen werden. Die N-Auswaschung als Nitrat weist somit erhebliche Schwankungen in der Konzentration auf. Diese ist abhängig von der Jahreszeit abhängigen Mineralisierung, Klima, Art und Intensität der Bodennutzung (Pflanzenbestand, Häufigkeit der Bodenbearbeitung) und N-Zufuhr durch mineralische und organische Düngung, um nur einige Faktoren zu nennen. Es kann davon ausgegangen werden, daß der größte Teil des durch Mineraldünger aufgebrachten Nitrats durch Pflanzen aufgenommen wird. Die Nitrat-Analysen der Quellen Aulheim (ca. 50 – 60 mg/l), Freimersheim (ca. 50 – 55 mg/l), Nieder-Wiesen (ca. 30 mg/l) und der Brunnen Esselborn

(ca. 20 – 30 mg/l) und Bornheim alt (ca. 100 mg/l) zeigen, daß bei der angenommenen Sickergeschwindigkeit von 0,55 Metern pro Jahr, das vor 30 Jahren auf die Felder aufgebrauchte Nitrat, zumindest teilweise in den oberen Grundwasserleiter gelangen konnte. Die aufgeführten Nitratkonzentrationen belegen somit eindeutig den anthropogenen Einfluß durch die Landwirtschaft.

Wenn 2/3 des aufgebrauchten Mineraldüngers von den Pflanzen aufgenommen wird und ca. 50 - 100 mg/l Nitrat als Maximalwert (Brunnen Bornheim) zu verzeichnen sind, müßten ca. 500 – 550 mg/l Nitrat abgebaut worden sein. Dazu sind etwa 500 – 550 mg organische Substanz nötig, was einem C_{org} -Gehalt des Bodens von ca. 0,16 – 0,18 ‰ entspricht. Von 875 t Düngemittel des auf die landwirtschaftliche Nutzfläche aufgebrauchten Mineraldüngers sind 25 - 50 t (als Nitrat) innerhalb eines Zeitraumes von 30 Jahren bis in eine Tiefe von ca. 20 Metern verfrachtet worden.

Die autothrophe Denitrifikation (Sulfidoxidation) findet ausschließlich in den anaeroben erzhaltigen Grundwasserleitern des Rotliegend statt. Aus 240 mg „Erz“ und 372 mg NO_3 , können 384 mg SO_4 und 178 mg $FeOOH$ gebildet werden, wenn die Gleichung 2-6 vollständig ablaufen würde. Übertragen auf das Blatt Alzey könnten aus 1116 mg „Erz“ (z.B. FeS_2) mit 1730 mg NO_3 , 1785 mg Sulfat und 828 mg $FeOOH$ gebildet werden, wenn das gesamte Nitrat abgebaut werden würde. Nimmt man analog zur vorhergehenden Rechnung auch hier eine 10%ige nutzbare Porosität und eine mittlere Dichte von 1,8 t/m³ Boden an, so ergibt sich ein „Erz-Gehalt“ des Bodens von ca. 0,62 ‰, der für die vollständig ablaufende Reaktion benötigt würde.

In den unteren Grundwasserleiter könnten etwa 50 - 100 mg/l Nitrat verfrachtet werden, wenn man von den vorigen Ergebnissen der heterotrophen Denitrifikation ausgeht. Die bestimmten fast neutralen pH – Werte der Alzeyer Wässer zeigen an, daß diese Reaktion nicht vollständig abläuft, bzw. durch die zweite Teilreaktion teilweise kompensiert wird. Nach OBERMANN (1982) läuft diese Gesamtreaktion nicht vollständig ab, da die erste Teilreaktion (Gleichung 2-4) eine höhere Energieausbeute als die Oxidation des Fe^{2+} aufweist. Dabei entstünden saure Wässer, die reich an Eisen und Sulfat sind. Mit einer Versauerung ist aber nur nach vollständiger Reaktion der zweiten Teilgleichung (Gleichung 2-5) zu rechnen; im ersten Reaktionsschritt wird sogar Säure verbraucht.

Die benötigten Anteile des organisch verfügbaren Kohlenstoffs und des Pyritgehaltes im Boden sprechen gegen eine Limitierung der ablaufenden Reaktionsgleichungen durch Pyrit oder C_{org} .

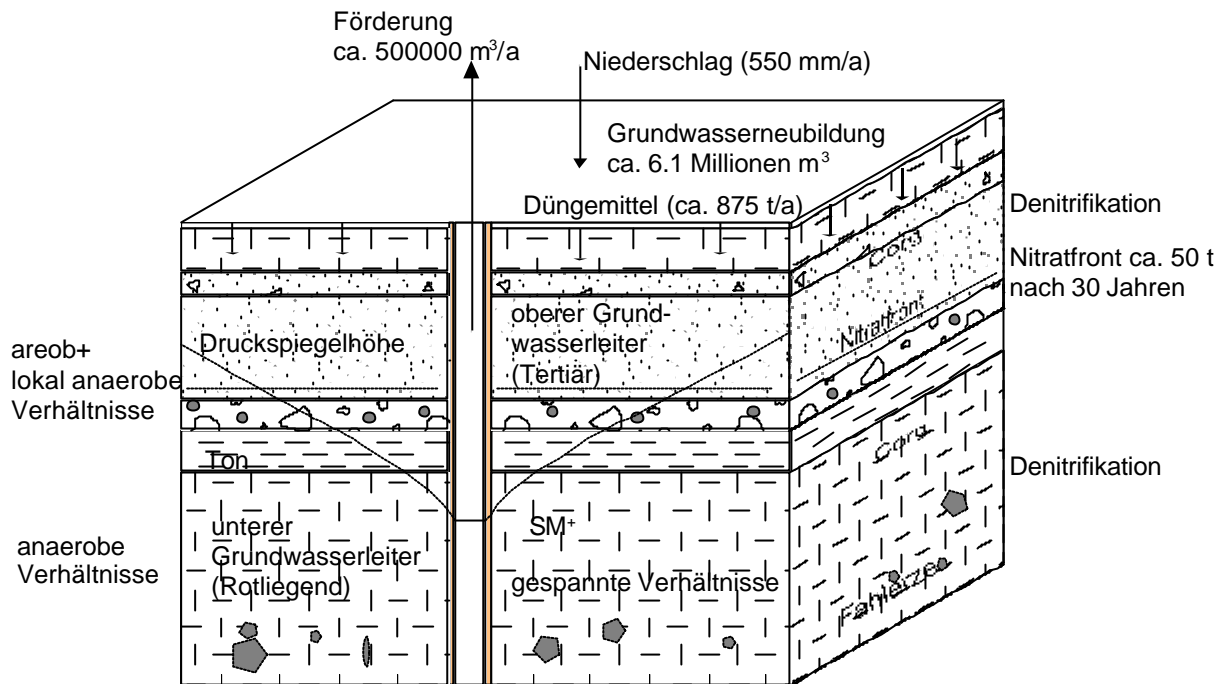


Abb. 6-1: Schematisches Bilanzmodell

Die Abbildung 6-1 zeigt ein schematisches Bilanzmodell der dargestellten Situation; das rechnerisch nur auf die Fläche des Meßtischblattes Alzey bezogen ist.

Wie zu erwarten war, bestätigen die Analysen der Brunnen- und Quellwässer im Alzeyer Raum, daß derzeit der komplette Düngemittelauftrag nicht vollständig als Nitrat ausgewaschen wird. Ansonsten wären Sulfatgehalte von mehreren Tausend Milligramm und extrem hohe Eisengehalte die Folge. Die Gipsättigung wäre auch nach vollständiger Nitratumsetzung nicht erreicht. Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht würde durch den stark erhöhten Hydrogencarbonatgehalt merklich gestört werden. Das konnte auch mit den Modellierungen des Programms PHREEQC bestätigt werden (Kapitel 5.1).

Als limitierende Faktoren für die aufgeführten Reaktionen können nur Nitrat oder andere Oxidationsmittel in Betracht gezogen werden. Abbildung 6-2 zeigt die Erhöhung der Sulfat und Hydrogencarbonatgehalte von 1981 bis 1997 am Beispiel eines Brunnen in Flonheim. Im langjährigen Mittel stiegen seit 1981 die Konzentrationen von Sulfat und Hydrogencarbonat gleichermaßen mit ca. 6 mg pro Liter und Jahr an. Normalerweise sollten hohe Nitratkonzentrationen und ein Anstieg der N-Auswaschung mit niederschlagsarmen Vegetationsperioden im Zusammenhang stehen, da weniger Nitrat durch die Pflanzen aufgenommen werden kann.

Eine zeitliche Korrelation zwischen Konzentrationen und Niederschlagsmenge ist in Abbildung 6-2 nicht ersichtlich, was auf die lange zeitliche Verzögerung der N-Frachten zurückzuführen ist, daher resultieren wahrscheinlich die aus der Grafik ersichtlichen Plateaubildungen.

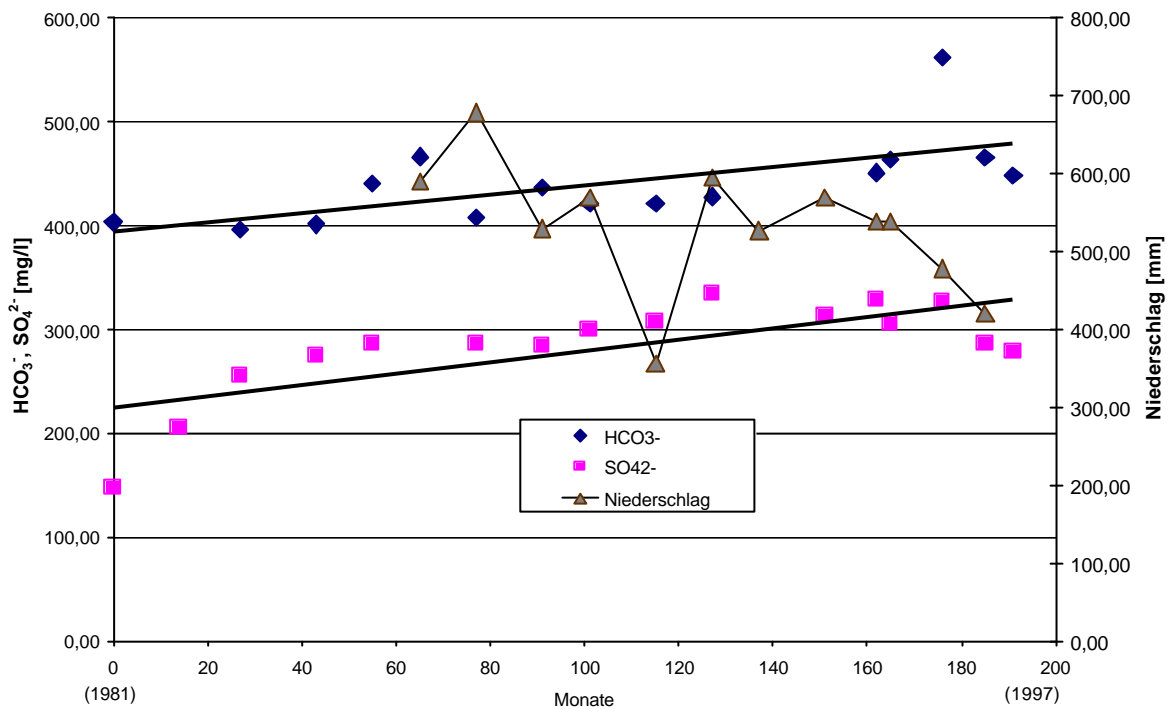


Abb. 6-2: Sulfat und Hydrogenkarbonaterhöhung am Beispiel des Brunnen Flonheim

Wenn die autotrophe Denitrifikation nur unvollständig abläuft (Gleichung 2-4) sind dafür nur 5,5 mg/l Nitrat und ca. 4 mg Erz nötig; dabei würden ungefähr 1,5 mg/l Fe^{2+} entstehen. Wahrscheinlich findet in einem weit geringerem Maße die Reaktion der zweiten Teilgleichung (Gleichung 2-5) statt. Die darauf folgende Säurereaktion könnte mit anderen Feststoffphasen, wie z.B. Calcit, Feldspat, Metallhydroxide, Tonminerale oder organische Substanzen abgepuffert werden. Wenn nur 0,5 mg/l Nitrat zur Rückreaktion umgesetzt würden, könnten 2,2 Milligramm gelöstes Fe^{2+} ungefähr 3,5 mg FeOOH bilden, was wiederum vor dem ersten Reaktionsschritt einen erhöhten Fe^{2+} -Gehalt voraussetzen würde. Diese geringen Reaktionsumsätze können in diesem Fall die Grundwasserbeschaffenheit durch eine Säurereaktion und den damit verbundenen CO_2 -Excess nicht negativ beeinflussen (z.B. durch die Freisetzung von Aluminium, was analytisch nicht festgestellt werden konnte).

Für den Brunnen Flonheim würde das bedeuten, daß nur sehr geringe Nitratkonzentrationen aus einem oberen Grundwasserstockwerk zufließen konnten. Da es sich um einen gespannten Grundwasserleiter handelt ist davon auszugehen, daß Nitrat entweder über den vorhandenen Brunnenkurzschluß bei einer Grundwasserabsenkung durch die Förderung in das untere Stockwerk gelangen- und dann abgebaut werden kann, oder aus einem viel weiter

entfernten Nährgebiet transportiert worden ist. Eine diffusive Verlagerung kann aufgrund der über 20 Meter mächtigen Tone ausgeschlossen werden.

Die 50 – 100 mg/l Nitrat aus dem oberen Grundwasserstockwerk können bei einer Abstandsgeschwindigkeit von ca. 1 Meter pro Jahr noch nicht in das untere Stockwerk gelangt sein. Bei einem angenommenen Gradienten von 0,005 % ergibt sich bei einem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von 3×10^{-5} m/s eine Abstandsgeschwindigkeit von 3×10^{-8} m/s für den Rotliegend-Grundwasserleiter bei einem nutzbaren Hohlraumvolumen von 5 %. Innerhalb eines Jahres könnte theoretisch eine horizontale Fließstrecke von ungefähr 0,9 Metern zurückgelegt werden. Bei einer Verweilzeit von 30 Jahren entspricht das einer Strecke von 27 Metern. Für die Grundwasserleiter der tertiären Meeressande entspricht das analog einer Fließstrecke von ca. 90 Metern, bei einem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von 3×10^{-4} m/s und einem nutzbaren Hohlraumvolumen von 15 %. Es scheint also eher unwahrscheinlich, daß Nitratbauprodukte (Sulfat, Schwermetalle) aus einem entfernten Liefergebiet innerhalb der letzten 50 Jahre bis zu den jetzigen Förderbrunnen gelangen konnten.

Allein die lokal auftretenden, durch die Grundwasserförderung auftretenden Wasserwegsamkeiten, wie Störungen und Brunnen - Kurzschlüsse sind hypothetisch für die Mobilisationen verantwortlich zu machen.

Abbildung 6-3 zeigt die schematische Darstellung des Nitratreintrages und Nitratbaues durch die heterotrophe und autotrophe Denitrifikation. Die autotrophe Denitrifikation ist in der Abbildung nur durch die Gleichung 2-4 dargestellt. Die im Rotliegend gebildeten sulfidischen Erze können über diese mikrobiologisch katalysierten Reaktionen aus dem Gesteinsverband gelöst und die vergesellschafteten Schwermetalle mobilisiert werden. Im Grundwasser wird zunächst aller vorhandener Sauerstoff verbraucht, da diese Reaktion eine höhere Energieausbeute erlaubt (STUMM & MORGAN, 1996). Limitierender Faktor für die Oxidation von Metallsulfiden ist die Löslichkeit von Sauerstoff im Grundwasser (max. 10 mg/l = 0,3 mmol/l). Nitrat hat bei einer Konzentration von z.B. 120 mg/l (= 2 mmol/l) eine ungleich höhere Oxidationskapazität.

Nitrat ist in der gesättigten und ungesättigten Zone sehr mobil und zeigt nur geringe Wechselwirkungen. Bei vielen Grundwasserwerken in der Bundesrepublik ist in den letzten 10 - 20 Jahren ein stetiger Anstieg der Nitratkonzentration im geförderten Wasser zu verzeichnen. Die jährlichen Anstiegsraten liegen dabei nicht selten zwischen 1 und 3 mg/l. In verschiedenen Fällen wurden jedoch auch schon durchbruchsartige Anstiege der Nitratkonzentration festgestellt (LRZ, 2000). Nach DVWK (1996) sind jährliche Steigerungsraten um 10 mg/l keine Seltenheit.

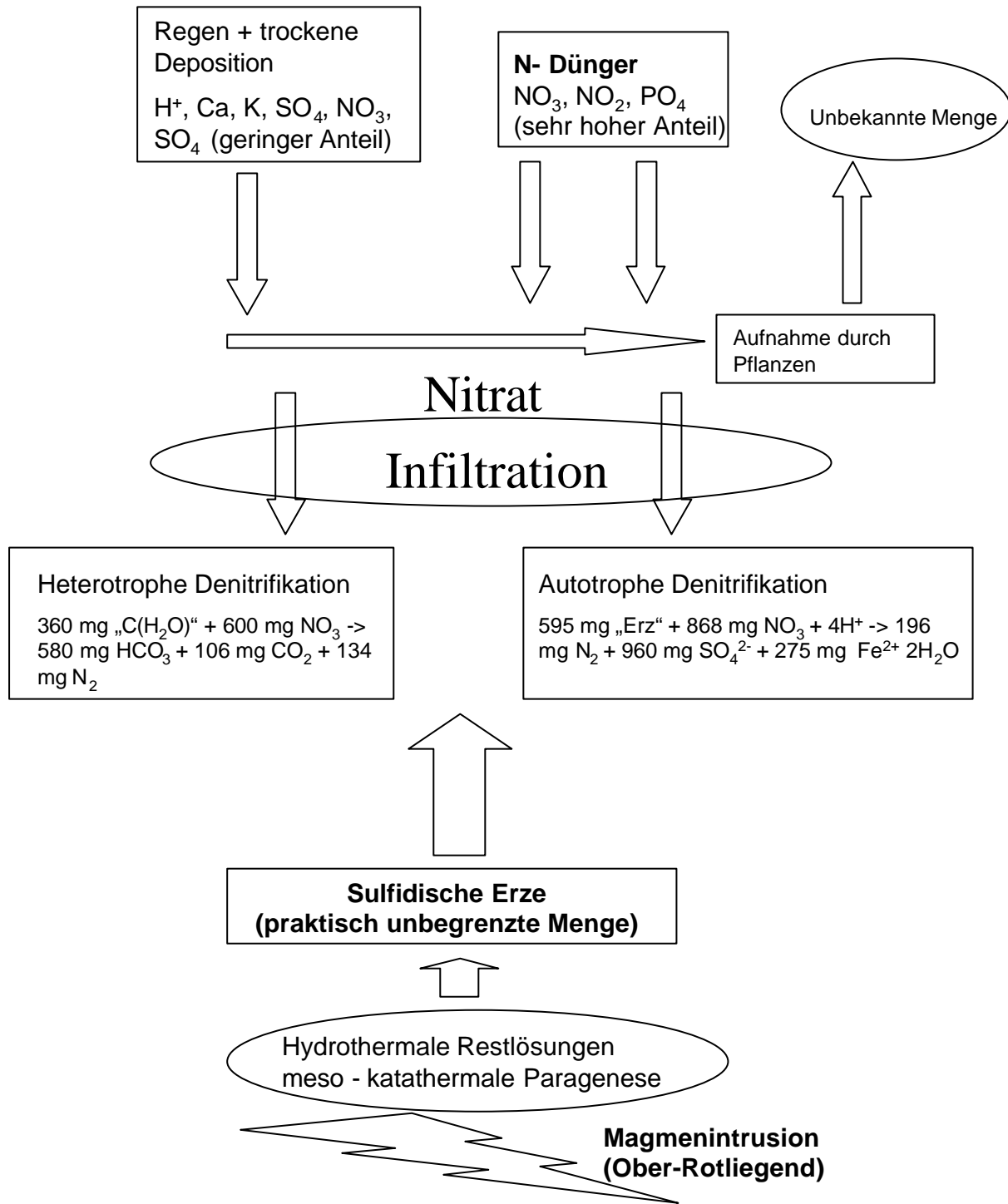


Abb. 6-3: Schematische Darstellung der Nitratumsetzungen

7. Genese der Wässer

Daten aus Pumpversuchen weisen die Gesteine im Alzeyer Raum als mäßig bis schlechte Grundwasserleiter aus. Woher die Grundwässer letztendlich stammen, kann aufgrund der vorangegangenen Untersuchungen nicht eindeutig geklärt werden. Es konnte kein signifikanter chemischer Unterschied zwischen oberflächennahen Quell- und tieferen Brunnenwässern in ihren jeweiligen chemischen Milieus gefunden werden. Die Bestimmungen der Tritium und FCKW- Gehalte zeigten, daß die Hauptkomponente der Wässer älter als 40 Jahre ist und gemischt wird mit einer sehr jungen Komponente, die viel kürzere Verweilzeiten aufweist. Mit dem Computerprogramm PHREEQC konnten mögliche Wasserzusammensetzungen aufgrund verschiedener Mischungsverhältnisse und unterschiedlicher Wasser-Gesteinswechselwirkungen nachvollzogen werden. Die Bilanzberechnungen des vorangegangenen Kapitels bestätigten, daß die benötigten Anteile des organisch verfügbaren Kohlenstoffs und des Pyritgehaltes im Boden ausreichend sind, die aufgebrachten Düngemittel über die autotrophe- und heterotrophe Denitrifikation abzubauen. Bei einer angenommenen Sickergeschwindigkeit von 0,55 Metern pro Jahr, kann das vor 30 Jahren auf die Felder aufgebrachte Nitrat, zumindest teilweise bis in den oberen Grundwasserleiter gelangen. Die aufgeführten Nitratkonzentrationen belegen somit eindeutig den anthropogenen Einfluß durch die Landwirtschaft.

Demnach kann bei einer Grundwasserförderung ein oxisches nitratbelastetes Wasser durch Klüfte, Störungen oder auch Brunnen-Kurzschlüsse in den tieferen Untergrund infiltrieren (Abb. 7-1) und aufgrund mikrobiologisch katalysierten Reaktionen Schwermetalle aus dem sulfidischen Untergrund mobilisieren. Die hohen Sulfatkonzentrationen und intensiven Entgasungen in den Wässern sind ein Indiz für die ablaufende Sulfidoxidation und gleichzeitige Nitratreduktion. Dies wird durch die Isotopenbestimmung am gelösten Sulfat bestätigt. Außerdem wird zusätzlich durch die quantitative Gasanalyse und durch die Isotopenbestimmungen des Stickstoffes belegt, daß ein Stickstoffüberschuß, der zweifelsfrei nicht aus Luftstickstoff besteht, in den untersuchten Wässern vorhanden ist. Die schon vermutete Herkunft des Nitrats aus der intensiven landwirtschaftlichen Düngung konnte ebenfalls durch Isotopenuntersuchungen belegt werden.

An dem Alzeyer Wasserkreislauf nehmen nur meteorische Wässer teil, was aufgrund der Deuterium- und Sauerstoff-18 Isotopie bestätigt werden konnte. Es muß davon ausgegangen werden, daß zumindest ein kleinerer Teil des geförderten Grundwassers nicht in der unmittelbaren Alzeyer Umgebung gebildet wird. Es kann nur angenommen werden, daß diese Wässer nach HÖLTING (1994) eventuell aus dem Saar-Karbon stammen, was schon SEMMLER (1952) vor fast 50 Jahren vermutete. Dies wäre zumindest eine Erklärung für den hohen Kohlendioxid-Gehalt. Die sehr komplexe Grundwasserherkunft wird durch verschiedene Mischungsvorgänge und Wasser-Gesteinswechselwirkungen aus oberflächennahen nitratreichen und tieferen Grundwässern, die noch eine zusätzliche unbekanntete Grundwasserkomponente enthalten, gebildet. Es ist außerdem davon auszugehen, daß sekundäre Kluft-Calcitfüllungen bis hinunter in die Rotliegend-Magmatite und Sandsteine reichen. Unter den herrschenden hohen Drücken und erhöhten Temperaturen wird der Calcit zusätzlich im Grundwasser gelöst. Die hohen Magnesiumgehalte können primär durch

Lösungvorgänge von Mg-Calciten und sekundär gebildeter Tonminerale (z.B. Illite) entstanden sein.

Die nachgewiesenen Schwermetallgehalte der Grundwässer sind somit eindeutig auf die Erzvorkommen im Oberrotliegend zurückzuführen.

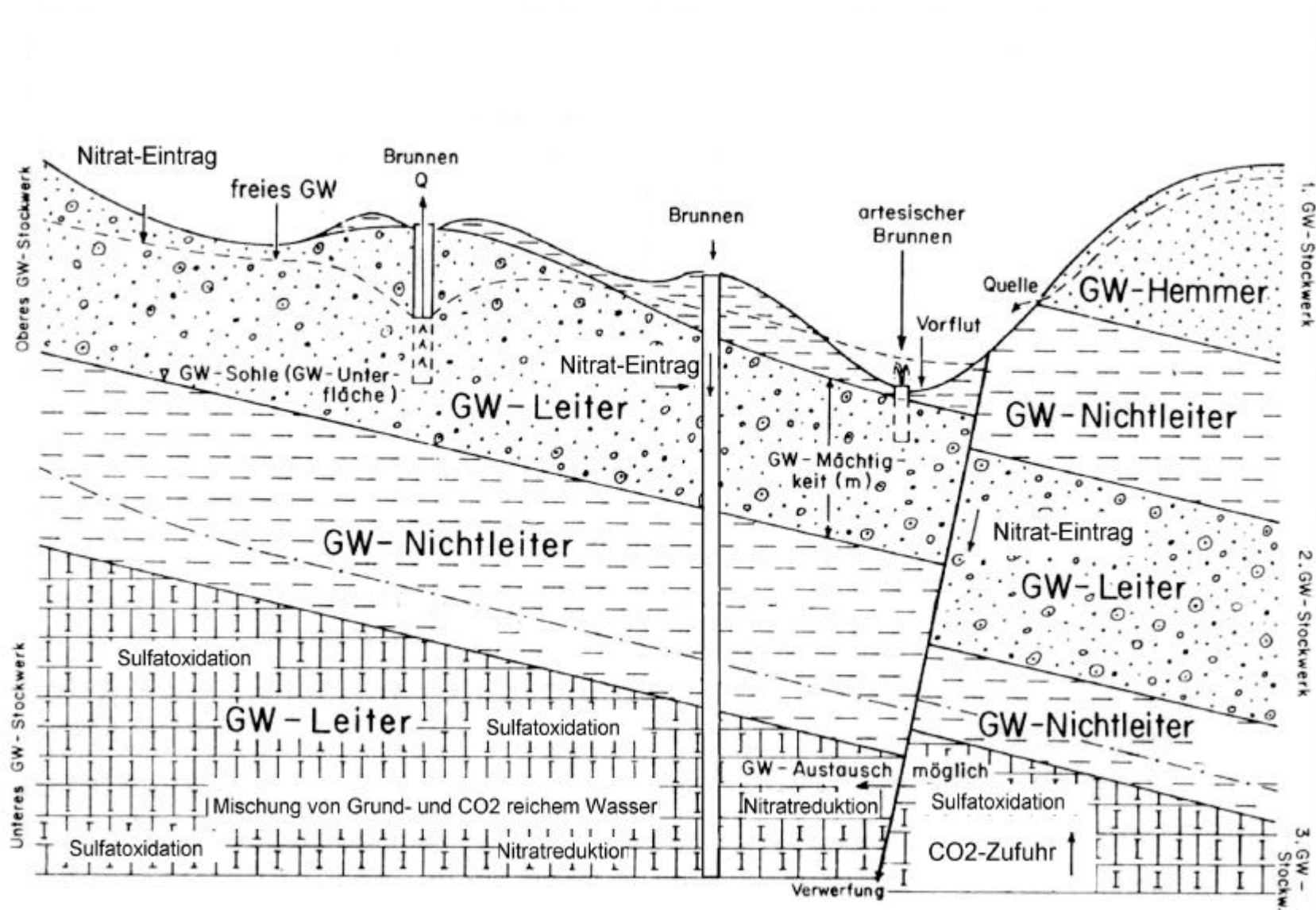


Abb. 7-1: Schematische Darstellung zur Genese der Wässer (verändert nach HÖLTING, 1989)

8. Bedeutung für den Grundwasserschutz

Die Grundwassersituation im Raum Alzey ist komplexer als anfangs angenommen. Es stellt sich die Frage, wie in diesem speziellen Fall mit dem Schutzgut Trinkwasser im Hinblick auf die geltende Gesetzgebung für einen flächenhaft wirkenden Grundwasserschutz im Konflikt mit der landwirtschaftlichen Nutzung umgegangen werden muß.

In verschiedenen Rohwässern ist eine Erhöhung der Schwermetallbelastung nachgewiesen worden. Diese Schwermetalle stammen zweifelsfrei aus der Sulfidoxidation der im Untersuchungsgebiet anstehenden geogenen Fahlerze, die seit dem Mittelalter abgebaut wurden. Schwermetalle sind nicht anthropogen in die Grundwässer eingetragen-, sondern durch den Eintrag von Nitrat anthropogen induziert. Der Abbau von Nitrat aus Mineraldüngern ist im tieferen Untergrund im anaeroben Milieu für die Mobilisation der Schwermetalle aus dem Mineralverband verantwortlich. Nitrat selbst ist in den anaeroben Rohwässern nur in Spuren nachweisbar. Oberflächennahe Wässer (z.B. Brunnen Esselborn, Brunnen Bornheim alt, Quelle Aulheimertal, Quelle Freimersheim, Quelle Nieder-Wiesen) belegen aber eindeutig die Beeinflussung des Grundwassers durch den landwirtschaftlichen Düngemiteleintrag.

Die Nitratgehalte der geförderten oberflächennahen Wässer erreichen teilweise gerade den Grenzwert der TVO von 50 mg/l oder liegen etwas darunter. Es besteht also hinsichtlich des Grenzwertes keine Notwendigkeit den Düngemiteleintrag zu stoppen, da kurzfristige Grenzwertüberschreitungen der geförderten Rohwässer immer mit der Zumischung von nitratfreien oder –armen Wasser kompensiert werden konnten. Es wird somit nicht gegen die geltende Trinkwasserverordnung verstoßen.

Verfolgt man aber konsequent einen vorsorgenden flächendeckenden Grundwasserschutz, müßten bodenkundliche und geologische Standortgegebenheiten, die historische Nutzung, sowie etwaige Nutzungsänderungen oder –einschränkungen in Lösungsansätze für eine grundwasserverträgliche Landnutzung einbezogen werden (WIGGERING et al., 1999). Letztendlich müßte der Düngemiteleintrag als eine potentielle Gefahr für den Grundwasserschutz erkannt und gestoppt werden, da eine künftige Schwermetallmobilisation, auch in entfernten Gebieten nicht auszuschließen ist. Außerdem läßt sich der Zeitfaktor nur sehr schwer ermitteln, was im Alzeier Untersuchungsgebiet der Fall ist. Lügen die Böden des Untersuchungsraumes einer Gefährdungsabschätzung zugrunde, müßten nach den Orientierungswerten des in Rheinland-Pfalz eingeführten Merkblattes Alex 02 weite Landstriche mit nicht finanzierbarem Aufwand saniert werden. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Bindung und Mobilität ökotoxischer Metalle und Metalloide im Bereich von ehemaligen Quecksilbergruben im Nordpfälzer Bergland“ durchgeführten Untersuchungen (Bodenuntersuchungen, Untersuchung von Nutzpflanzen, Biomonitoring), des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, belegen die öffentliche Brisanz der geogen vorhandenen Schwermetalle. Die Bevölkerung soll laut des Forschungsberichtes, vorsorglich den überwiegenden Verzehr von Nutzpflanzen und Pilzen aus der betroffenen Gegend vermeiden.

Es gibt keine Möglichkeiten die Vielzahl der verketteten Reaktionen im Untergrund zu steuern. Die hochkomplexen Reaktionswege und der Tiefeneinfluß unbekannter Wässer, gekoppelt

mit anthropogenen Nitrateinträgen, machen das sensible System nahezu undurchschaubar. Selbst bei einem völligen Nitrateintragsstop kann man davon ausgehen, daß durch die zeitliche Verzögerung des Nitratflusses die Schwermetallmobilisationen in den nächsten 30 Jahren nicht abnehmen werden. Außerdem ist der Zufluß unbekannter (nitratthaltiger) Wässer im tieferen Untergrund für den Fall Alzey nicht abschätzbar, da die besondere hydrogeologische Situation (gespannte Grundwasserleiter) für ein entfernteres Grundwasser-Nährgebiet verantwortlich gemacht werden kann.

Die für die Region Alzey zuständigen Fachbehörden sollen aufgrund der WRRL weiterhin die Befugnis erhalten, selbst über die Verleihung der Wasserrechte entscheiden zu können. Damit verbunden bleibt auch die gesetzliche Pflicht die Grundwässer chemisch zu überwachen und ggf. für eine unbelastete Trinkwasserversorgung der Bevölkerung aufzubereiten. Die Wasserversorgung einiger ländlicher Gebiete erfolgt noch ausschließlich dezentral. Einzelne Wasserversorger sind schon heute gezwungen aufgrund der geltenden Trinkwasserverordnung, die geförderten Wässer aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung miteinander zu mischen und chemisch aufzubereiten. Die Verschärfung verschiedener Grenzwerte macht eine Wasserförderung geogen belasteter Wässer finanziell unmöglich. Es stellt sich die Frage, ob sich das für die kleineren Versorgungsunternehmen betriebswirtschaftlich rechnen kann, eigene Wasserförderungsanlagen zu unterhalten, da aufwendige Aufbereitungsanlagen, gemessen an den geringen Entnahmemengen, unwirtschaftlich sind. Das hier angewendete Instrumentarium zu Untersuchung der Herkunft und geochemischen Zusammensetzung ist für viele Versorgungsunternehmen finanziell- und zeitlich nicht durchführbar. Die Förderung aus eigenen Brunnen wird im Raum Alzey aus genannten Gründen in naher Zukunft eingestellt werden. Das Gebiet wird dann ausschließlich an eine zentrale Wasserversorgung angeschlossen. Eine Fernwirkung von Grundwässern, dieser dann „stillgelegten Grundwasserleiter“, kann aber auch dann nicht ausgeschlossen werden.

Es bleibt außerdem zu befürchten, daß kleinere lokale Wasservorkommen aufgrund ihrer Komplexität (Lage und Grenzen der Grundwasserkörper, Eigenschaften der Deckschichten, Grundwasserneubildung, Grundwasserdynamik, Grundwasserbeschaffenheit, Flächennutzung) und aufgrund der geringen Entnahmemengen nicht erfaßt werden und somit nicht unter die Berichtspflicht der WRRL fallen. Die Einteilung der Wässer in Flußgebietseinheiten scheint aufgrund der vielfältigen komplexen Zusammenhänge der Grundwasservorkommen mit mehreren Grundwasserstockwerken und eventuellen Grundwasserzuflüssen nicht ausreichend.

Der Umweltrat (SRU, 2000) gibt zu bedenken, daß es noch erhebliche Unsicherheiten in den Begriffsbestimmungen („gute ökologische Potentiale“, „erheblich veränderter Wasserkörper“) und viele Ausnahmebeschränkungen gibt, um die Umweltziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie zu unterlaufen. Ausnahmebeschränkungen müssen deutlich reduziert und Begriffe genauer definiert werden, damit die Wasserrahmenrichtlinie den Grundstock für die Gewässerschutzpolitik der Europäischen Union der kommenden 20 bis 30 Jahre legen kann. Der Umweltrat regte mittels länderübergreifender Grundwassereinheiten und -untereinheiten (SCHENK & KAUBE, 1999; SRU 1998b) eine einheitliche Erfassungs-

und Bewertungssystematik für die Grundwasserbeschaffenheit und für die Abschätzung ihrer Belastungsempfindlichkeit gegenüber Stoffeinträgen und strukturellen Eingriffen einzuführen. Die bisher ausgewiesenen länderspezifischen Grundwasserlandschaften und Grundwasserregionen sollen als Räume mit vergleichbaren hydrogeologischen Voraussetzungen und vergleichbarer Grundwasserbeschaffenheit über den naturräumlichen Bezug hinaus, nutzungsorientiert definiert werden (nach WIGGERING et al., 1999).

9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Grundwasserproblematik in einem ländlichen stark landwirtschaftlich genutzten Raum, der weitgehend dezentral versorgt wird und nicht wie andere Teile des Bundeslandes ausschließlich an eine überregionale Wasserversorgung angeschlossen ist, wird mit dem Fallbeispiel Alzey verdeutlicht.

Das im Mainzer-Becken liegende Untersuchungsgebiet wird hauptsächlich von tertiären- und Rotliegend-Sedimenten und Magmatiten geprägt. Die Grundwassergewinnungsanlagen der Energie- und Wasserversorgungs-GmbH Alzey fördern das Grundwasser aus diesen geologischen Einheiten. Eine Linearanalyse zeigt eine Vergitterung von rheinischen und zugehörigen antirheinischen-, sowie älteren variszischen Elementen, die teilweise durch das rezente Kompressionsregime reaktiviert worden sind. Ein Überblick über das ehemalige Bergbauggebiet Alzey verdeutlichte den möglichen Zusammenhang zwischen Vererzungen (Fahlerzen) im Untergrund und der Herkunft der geogen bedingten schwermetallhaltigen Wässer, die ihren Beitrag zum Chemismus des Grundwassers leisten. Die Erzlagerstätten sind, nach VON PLATEN & HOFMEISTER (1993), aufgrund von Spätfolgen eines permokarbonischen Magmatismus in Verbindung mit verschiedenen tektonischen Ereignissen, aus hydrothermalen Prozessen, die zu Gesteinsalterationen führten, entstanden. Imprägnationen sind durch hydrothermale schwermetallhaltige Restdifferentiate hervorgerufen worden. Mit Hilfe von Rb-Sr- und K-Ar-Isotopendaten wurden daraus entstandene Vulkanite auf 289-292 Ma (Anfang des Oberrotliegend) datiert (LIPPOLT & HESS, 1989).

Das Rheinhessische Tafel- und Hügelland ist eines der trockensten Gegenden in Rheinland-Pfalz. Die Grundwasserneubildungsrate beträgt für das betrachtete Untersuchungsgebiet im langjährigen Mittel ca. 56 mm pro Jahr bei einem Niederschlag von ca. 550 mm. Allein die Winterniederschläge führten bei verlangsamter Evapotranspiration zu einer erhöhten Grundwasserneubildung von ca. 40 mm. Die Grundwasserneubildung betrug dagegen im Frühjahr, bei ansteigenden Temperaturen (erhöhte Evapotranspiration), ca. 15 mm. Mit dem Beginn der Vegetationsperiode nimmt die Möglichkeit zur Grundwasserneubildung stark ab. Die für die Evapotranspiration benötigte Wassermenge wird zunächst aus dem Wassergehalt der ungesättigten Bodenzone gedeckt. Während der restlichen Monate wurden die Ressourcen der Böden (nutzbare Feldkapazität) des semi-ariden Gebietes fast vollständig aufgebraucht.

In der vorliegenden Arbeit wurden sämtliche Brunnen und Quellen im Versorgungsgebiet der Energie- und Wasserversorgungs-GmbH Alzey auf ihre Gesamtlösungsinhalte hin, untersucht. Alte Analysen wurden nach sorgsamer Überprüfung mit in die Interpretation einbezogen. Die erhöhte Düngemittelzufuhr der Landwirtschaft, innerhalb der letzten Jahrzehnte, bedingte einen Nitratanstieg im Grundwasser, welcher hauptsächlich auf Mineraldüngung zurückzuführen ist. Im Raum Alzey sind Nitratgehalte in Brunnenwässern von bis zu 160 mg/l bekannt. In Sickerwässern sind Nitratgehalte von 800 mg/l in der ungesättigten Bodenzone nachgewiesen worden. Bei den Wässern handelt es sich vorwiegend um Calcium-Magnesium- bzw. Natrium-Kalium-Hydrogenkarbonat-Wässer, die teilweise Ionenaustauschvorgängen im Untergrund ausgesetzt sind. Die Wässer lassen sich nicht eindeutig klassifizieren, da sie aus mehreren unterschiedlichen Grundwasserleitern gefördert werden und somit eindeutig als Mischwässer zu bezeichnen sind.

Mit verschiedenen thermodynamischen Grundwassermodellierungen konnten mögliche „Grundwasserneubildungs-Pfade“ aufgezeigt werden. Dabei stellte sich heraus, daß ein Pfad allein nicht für die Genese der Grundwässer repräsentativ ist. Erst eine Vermischung aller aufgezeigten Pfade ermöglichen die Zusammensetzung der analysierten Mischwässer. Die modellierte Zusammensetzung eines hypothetischen Grundwassers zeigte, daß noch eine zusätzliche nicht bekannte CO₂-Quelle aus dem tieferen Untergrund vorhanden sein muß. Genauere Aussagen könnten eventuell über $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenuntersuchungen getroffen werden.

Die Auftragung der Werte $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ gegen $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ bzw. $\delta^{34}\text{S-SO}_4$ und $\delta^{18}\text{O-SO}_4$ lieferten Informationen zur Herkunft des Nitrates bzw. des Sulfates in den Grundwässern. Zudem läßt sich die partielle Denitrifikation in den Grundwässern im Raum Alzey an den Ergebnissen von quantitativen Gasanalysen belegen. In allen beprobten Brunnen (Albig neu, Bornheim neu und Flonheim neu) ist ein Überschuß von gelöstem Stickstoff im Wasser sowie ein erhöhtes Stickstoff/Argon-Verhältnis detektiert worden. Außerdem wird zusätzlich durch Isotopenbestimmungen des Stickstoffes belegt, daß dieser Stickstoffüberschuß zweifelsfrei nicht aus Luftstickstoff besteht.

Mit Hilfe der FCKW-Analysen konnten Aussagen über Alter und Jungwasseranteile der untersuchten Wässer gemacht werden. Aus den gemessenen FCKW-Konzentrationen ließen sich verschiedene Modellalter errechnen. Dabei wurden für die Wässer Heimersheim, Bechenheim neu, Offenheim P2 und Albig neu mittlere Verweilzeiten von mehr als 40 Jahren bestimmt. Die übrigen Verweilzeiten schwanken zwischen 26 und 40 Jahren. Die Alter aus der F11- und der F12-Bestimmung zeigen dabei eine gute Übereinstimmung.

Von 875 t Düngemittel des auf die landwirtschaftliche Nutzfläche aufgebrauchten Mineraldüngers könnten 25 - 50 t (als Nitrat) innerhalb eines Zeitraumes von 30 Jahren bis in eine Tiefe von ca. 20 Metern verfrachtet worden. Es konnte festgestellt werden, daß selbst bei einem völligen Stopp des anthropogen induzierten Nitratreintrages Schwermetallmobilisationen innerhalb der nächsten 30 Jahre nicht abnehmen werden, da alle untersuchten Wässer (> 30 Jahre) erhöhte Schwermetallkonzentrationen aufweisen, was wahrscheinlich auf eine langsame Tiefenzirkulation zurückzuführen ist.

Das hier angewendete Instrumentarium zur Untersuchung der Grundwasser-Herkunft und geochemischen Zusammensetzung ist für eine konsequente Durchsetzung eines flächendeckenden Grundwasserschutzes für viele Versorgungsunternehmen finanziell- und zeitlich kaum durchführbar. Es gibt keine Möglichkeiten die Vielzahl der verketteten Reaktionen im Untergrund zu steuern. Die hochkomplexen Reaktionswege und der Tiefeneinfluß unbekannter Wässer, gekoppelt mit anthropogenen Nitratreinträgen, machen das sensible System nahezu undurchschaubar. Aus diesem Anlaß wird die Grundwasserförderung im Alzeier Versorgungsgebiet in naher Zukunft stark reduziert, bzw. ganz eingestellt werden. Die Förderung oberflächennaher Grundwässer ist aufgrund der erhöhten Nitratgehalte bereits eingeschränkt worden.

Zur Zeit werden noch ungefähr 500.000 m³ Trinkwasser durch die Energie und Wasserversorgungs GmbH Alzey gefördert. Bereits 1.5 Millionen Kubikmeter Trinkwasser werden für die Versorgung der Bevölkerung hinzugekauft.

In naher Zukunft erfolgt die Trinkwasserversorgung dann indirekt durch die Wasserversorgung Rheinhessen GmbH, die den Weg der Gewinnung von uferfiltriertem Grundwasser beschritten hat.

10. Literaturverzeichnis

AG BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 331 S., Hannover.

APPELO, C. A. J. & POSTMA, D. (1999): Geochemistry, Groundwater and Pollution.- Rotterdam, Brookfield.

AMBERGER, A. & SCHMIDT, H.-L. (1987): Natürliche Isotopengehalte von Nitrat als Indikatoren für dessen Herkunft. - Geochim. Cosmochim. Acta, 51, S. 2699- 2705, London.

BÖTTCHER J., STREBEL, O., DUIJNISVELD, W.H.M. (1985): Vertikale Stoffkonzentrationsprofile im Grundwasser eines Lockergesteins-Aquifers und deren Interpretation (Beispiel Fuhrberger Feld).- Z. dt. geol. Ges. 136, 543-425.

BÖTTCHER J., STREBEL, O., DUIJNISVELD, W.H.M. (1989): Kinetik und Modellierung gekoppelter Stoffumsetzungen im Grundwasser eines Lockergesteins-Aquifers.- Geolog. Jahrb., Reihe C, 51.

BÖTTCHER J., STREBEL, O., VOERKELIUS, S. AND SCHMIDT, H.-L. (1990): Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer.- J. Hydrology 114, 413-425.

BOTT, W. (1998): Hydrochemische Untersuchungen der Grundwässer im Raum Alzey/Rheinhessen: Bestimmung der Mineralisation und Genese, Untersuchung der Isotopie und Datierung der Wässer mittels Tritium und Fluorchlorkohlenwasserstoffen.- Diplomarbeit Universität Mainz, 128 S. ; [unveröffentlicht].

BREUER, H. (1994): dtv Atlas zur Chemie.- 7 Aufl., 117 Abb.; München.

BULLISTER, JOHN L., WISEGARVER DAVID P.; MENZIA, FREDERICK A. (1999): Chlorofluorocarbon Tracer Program.- Pacific Marine Environmental Laboratory NOAA R/PMEL, Seattle, <http://www.pmel.noaa.gov/cfc/review/>.

BUSENBERG, E. & PLUMMER, L. N. (1992): Use of chlorofluorocarbons CCl₃F and CCl₂F₂ as hydrologic tracers and age-dating tools: The alluvium and terrace system in central Oklahoma. - Water Resource Research, 28, S. 2257-2283.

BUSENBERG, E. & PLUMMER, L. N. (1993): Use of trichlorofluorocarbon-113 (CFC-113) as a hydrologic tracer and age-dating tool of young groundwater. - Geological Society of America Abstract Programs, 25 (6), A365.

COOK, P. G. & SOLOMON, D. K. (1995): Transport of atmospheric trace gases to the water table: Implications for groundwater dating with chlorofluorocarbons and krypton 85. - Water Resource Research, 31, S. 263-270.

COOK, P. G., SOLOMON, D. K., PLUMMER, L. N., BUSENBERG, E. & SCHIFF, S. L. (1995): Chlorofluorocarbons as tracers of groundwater transport in shallow, silty sand aquifer. -Water Resource Research, 31, S. 425-434.

CUNNOLD, D. M.; PRINN, R. G.; RASMUSSEN, R. A.; SIMMONDS, P. G.; ALYEA, F. N.; CARDELINO, C. A.; CEAWFORD, A. J.; FRACER, P. J. & ROSEN, D. (1983A): The Atmospheric Lifetime Experiment, 3, Lifetime Methodology and Application to the Three Years of F11 Data.- J. Geophys. Res. 88, 8379-8400.

CUNNOLD, D. M.; PRINN, R. G.; RASMUSSEN, R. A.; SIMMONDS, P. G.; ALYEA, F. N.; CARDELINO, C. A.; CEAWFORD, A. J.; FRACER, P. J. & ROSEN, D. (1983A): The Atmospheric Lifetime Experiment, 4, Results of F12 based on Three Years Data.- J. Geophys. Res. 88, 8401-8414.

CRAIG, H. (1961): Isotopic variation in meteoric waters. - Science, 133, No. 3465, S. 1702-1703, Washington.

CRAIG, H. (1961): Standards for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters. - Science, 133, S. 1833-1834, Washington.

DELKESKAMP, R. (1908): Die Herkunft des Salzgehaltes der natürlichen Mineralquellen.- Kali, 2 (24): 533-541; Halle.

DFG (1995): Perspektiven der Wasserforschung. Ergebnisse aus der 50. Sitzung der Kommission am 10. und 11. März 1994 / DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft. Hrsg. von Helmut Kobus und Ulrich de Haar.- Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo : VCH, 1996.

DVWK (1988): Bedeutung biologischer Vorgänge für die Beschaffenheit des Grundwassers.- Hrsg.: DVWK, bearbeitet vom DVWK-Fachausschuß Grundwasserbiologie; Hamburg; Berlin: Parey.

DVWK (1992): Anwendung hydrogeochemischer Modelle.- Schriftenreihe des DVWK, 100, 344 S.; Hamburg, Berlin: Parey.

DVWK (1996): Hydrogeochemische Stoffsysteme,- Teil 1, Schriftenreihe des DVWK, 110, 288 S.; Hamburg, Berlin: Parey.

DVWK (1998): Hydrogeochemische Stoffsysteme,- Teil 2, Schriftenreihe des DVWK, 117, 397 S.; Hamburg, Berlin: Parey.

EKWURZEL, B., SCHLOSSER, P., SMETHIE, W. M., PLUMMER, L. N., BUSENERG, MICHEL R. L., WEPERDING, R. & STUTE, M. (1994): Dating of shallow groundwater: Comparison of the transient tracers $^3\text{H}/^3\text{He}$, Chlorofluorocarbons and $^{85}\text{Krypton}$. - Water Resource Research, 30, S. 1693-1708.

ELKINS, J. W., THOMPSON, T. M., SWANSON, T. H., BUTLER, J. H., HALL, B.D., CUMMINGS, S. O., FISHER, D.A. & RAFFO, A. G. (1993): Decrease in the growth rates of atmospheric chlorofluorocarbons 11 and 12. - *Nature*, 364, S. 780-783.

EVERDINGEN, R. O. VAN & KROUSE, H. R. (1985): The isotopic composition of sulfate generated by bacterial and abiological oxidation. - *Nature*, 315, S. 395-396, London.

FRIND, E.O., DUYNISVELD, W.H.M., STREBEL, O. & BOETTCHER, J. (1989) Simulation of nitrate and sulfate transport and transformation in the Fuhrberger Feld aquifer, Hannover, Germany. In: KOBUS, J. & KINZELBACH, W. (eds.): Contaminant transport in groundwater. Balkema, 3: 97-104, Rotterdam.

FRIND, E.O., DUYNISVELD, W.H.M., STREBEL, O. & BOETTCHER, J. (1990): Modeling of multicomponent transport with microbial transformation in groundwater: The Fuhrberg case. In: *Water Resources Research*, Vol.26, Nr.8, S.1707-1719.

FRITZ, P. & FONTHES J.-C. (Eds) (1980): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. - Vol. 1, Amsterdam-Oxford-New York (Elsevier).

FRITZ, P. & FONTHES J.-C. (Eds) (1980): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. - Vol. 2, Amsterdam-Oxford-New York (Elsevier).

FRITZ, P., BASHARMAL, G. M., DRIMME, R. J., BSEN, J. & QURESHI, R. M. (1989): Oxygen isotope exchange between sulfate and water during bacterial reduction of sulfate. - *Chem. Geol.*, 79, S. 99-105, Amsterdam.

FRITZ, P. & FRAPE, S.K. (1987): The isotope geochemistry of sulfate in Canadian Shield brines.- *Applied Geochemistry*, Vol. 2, pp. 133-136.

FRY, B., RUF, W., GEST, H. & HAYES, J. M. (1988): Sulfur isotope effects associated with oxidation of sulfide by O₂ in aqueous solution. - *Chem., Geol.*, 73, S. 205-210, Amsterdam.

GAT, J.R. & GONFIANTINI, R. (Hrsg) (1981): Stable isotope hydrology. Deuterium and oxygen-18 in the water cycle. - IAEA Techn. Rep. Series 210, Wien.

GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (GLA) (1999): Erläuterungen zur geologischen Karte Blatt Alzey 6214.- 60 S., Mainz.

HINZMANN, S. (1991): Mineralogie, Geochemie und Ökologie des Quecksilbers in den historischen Bergbaugebieten von Rheinland-Pfalz.- Dissertation, Universität Mainz.

HÖLTING, B. (1969): Zur Herkunft der Mineralwässer in Bad Kreuznach und Bad Münster am Stein.- *Notizbl. hess. L.-Amt f. Bodenforschung*, 97, 367-378, Wiesbaden.

HÖLTING, B. (1989): *Hydrogeologie*.- 3. Auflage, Stuttgart.

HÖLTING, B. (1994): Die Mineralquellen in der Nordpfalz.- *Mitteilg. d. DGG*, H12, Essen.

HÜBNER, H. (1986): Isotope effects of nitrogen in the soil and biosphere. - In: FRITZ, P. & FONTES, J.-C. (Eds) (1980): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. - Vol. 2, S. 361-425 Amsterdam-Oxford-New York (Elsevier).

IAEA (1998): GNIP-database.- <http://www.iaea.or.at/programs/ri/gnip/gnipmain.htm>; Wien.

ISENBARTH, A. (1994): Petrographisch-geochemische Untersuchung vulkanischer Schloten und Quecksilber-, Arsen- und Antimonergehalte in Böden und Halden des ehemaligen Quecksilberbergbaureviere Mörsfeld (Rheinland-Pfalz).- Diplomarbeit Universität Mainz, [unveröffentlicht].

JÄGER, H. (1998): Geogene Variationen der Sicker- und Grundwässer im Raum Alzey/Rheinhessen.- Diplomarbeit Universität Mainz, 120 S. ; [unveröffentlicht].

KÄSS, W. (19??): Geohydrologische Markierungstechnik. - In: MATTHESS, G (Hrsg): Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2 , Stuttgart (Borntraeger).

KÖLLE, W. (1982): Auswirkungen der Nitratbelastungen in einem reduzierenden Grundwasserleiter.- DVGW-Schriften 31, 109-126.

KÖLLE, W.; STREBEL, O. AND BÖTTCHER, J. (1983): Denitrifikation in einem reduzierenden Aquifer.- Vom Wasser, 61, 125-147.

KÖLLE, W.; WERNER, P., STREBEL, O. AND BÖTTCHER, J. (1985): Formation of sulfate by microbial denitrifikation in a reducing aquifer.- International Water Supply Association, specialized Conference Berlin.

KOZIOL, M. (1997): Schwermetall- und Metalloidgehalte in den historischen Quecksilber-Bergbaugebieten des Nordpfälzer Berglandes.- Dissertation, Universität Mainz.

KOZIOL, M., HOFMEISTER, W., PLATEN, H. VON, SCHMITT H., SCHENK, D., BIESTER, H., KRUPP, E., SCHULZ, F., HIRNER, A. V., SCHLÖSSER, D. & KRATZ, K.-L. (1997): „Die Nordpfälzer Quecksilberlagerstätten“ im Blickpunkt der heutigen Umweltforschung.- Mainzer naturwissenschaftliches Archiv/Beiheft, 19, 93-97; Mainz.

KROUSE, H. R. (1980): Sulfur isotopes in our environment.- in FRITZ, P. & FONTES, J.-C. (Eds) (1980): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry.- Vol. 1, 407-434, Amsterdam-Oxford-New York.

LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND GEWERBEAUF SICHT (1996): Altablagerungen und Altstandorte.- Merkblatt ALEX 02, Orientierungswerte; Oppenheim.

LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1989): Grundwasserbeschaffenheit.- Mainz.

LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1993): Grundwasserbericht 1992.- Nr.225/93: Mainz.

LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1996): Synoptik der Grundwasserverhältnisse in Rheinland Pfalz.- Nr. 208/96: Mainz.

LIPPOLT & HESS (1989): Isotopic evidence for the stratigraphic position of the Saar-Nahe-Rotliegend vulcanism III: Synthesis of results and geological implication.- N.Jb.Mineral.Geol.Paläont.Mh., 9, 553-559.

LOVLEY, D. R. & WOODWARD, J. C. (1992): Consumptions of freons CFC-11 and CFC-12 by anaerobic sediments and soils. Environmental Science & Technology, 26, S. 925-929.

LRZ (Leibnitz Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) München (2000): Skript der Grundvorlesung Wassergüte- und Abfallwirtschaft (<ftp://ftp.lrz-muenchen.de/pub/comp/platforms/pc/archiver/>).- 2000.

MAIER-HARTH, U. & SCHMITT, H. (1999): Hydrogeologische Beschreibung Blatt Alzey (6214).- in Erläuterungen zur geologischen Karte Blatt Alzey, GLA Rheinland Pfalz, Mainz.

MARTIN, G.P.R. (1968): Eine zeitgenössische Literatur der im Jahre 1776 auf kurpfälzischen Territorium betriebenen Quecksilber-Bergwerke.- Pfälzer Heimat, 19 (3): 103-110; Speyer.

MATTHESS G. (1994): Die Beschaffenheit des Grundwassers.- 3., überarb. Aufl. - Berlin; Stuttgart; (Borntraeger).

MAZOR, E. (1997): Chemical and isotopic groundwater hydrology. The applied approach. - 2 Edit., New York-Basel-Hong Kong.

MOSER H. & RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. - In: MATTHESS, G (Hrsg): Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 8, Stuttgart (Borntraeger).

NATERMANN, E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers (A_UL) und die Trockenwetterabflüsse (TWL).- Wasserwirtschaft (Sonderheft); Stuttgart.

OSTER; H. (1987): Aufbau einer seegängigen Freonmeßapparatur.- Diplomarbeit, Universität Heidelberg, [unveröffentlicht].

OSTER, H. (1994): Datierung von Grundwasser mittels FCKW: Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen.- Dissertation, Universität Heidelberg.

OSTER, H., SONNTAG, C. & MÜNNICH, K. O. (1996a): Methodische Aspekte zur Datierung von Grundwasser mittels FCKW F11, F12 und F113.- Vom Wasser, 86, S. 205-216.

OSTER, H., SONNTAG, C. & MÜNNICH, K. O. (1996b): FCKW-Datierung nitratbelasteten Grundwassers: ein Fallbeispiel.- Grundwasser 1/3-4, S. 148-155.

OSTER, H., SONNTAG, C. & MÜNNICH, K. O. (1996c): Groundwater dating with chlorofluorocarbons. - Water Resource Research, 32, S. 2989-3001.

OSTER, H. (1998): Spurenstoffuntersuchungen im Raum Alzey - Ergebnisse.- Wachenheim [unveröffentlicht].

OSTER, H. (1999): Spurenstoffuntersuchungen im Raum Alzey - Ergebnisse.- Wachenheim [unveröffentlicht].

PARKHURST, D. L. & APPELO C.A.J. (1999): Users guide to PHREEQC-A computer program für speciation, reaction-Path, 1D-transport, and inverse geochemical calculations.- USGS Water-Resources Investigations Report 99-4259; Denver, Colorado.

PLATEN, H. VON & HOFMEISTER, W. (1993): Eruptivgesteine des Saar-Nahe-Beckens, SW-Deutschland.- Chemie der Erde, 53 (2), 65-104.

RICHTER W. UND LILLICH, W. (1975): Abriß der Hydrogeologie.- Stuttgart.

ROHMANN, U. UND SONTHEIMER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser- Ursachen, Bedeutung, Lösungswege.- DVGW- Forschungsstelle am Engler Bunte Institut der Universität Karlsruhe in HENNEKES, G, et al. , 1998.

SCHENK, D. & KAUPE, M. (1998): Grundwassererfassungssysteme in Deutschland dargestellt auf der Basis hydrogeologischer Prozesse und geologischen Gegebenheiten.- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hrsg.), Stuttgart.

SCHMIDT, H.L., VOERKELINS, S. & AMBERGER, A. (1992): Nitrogen and Oxygen Isotopes as Indicators for Nitrification and Denitrifikation, in: MATTHES et al. (eds.): Progress in Hydrochemistry; Springer.

SCHMITT, H. (1996): Mineralisation und Genese der Grundwässer im Raum Alzey/Rheinhessen. - Diplomarbeit Universität Mainz, 149 S; [unveröffentlicht].

SCHNEIDER, W. (1998): Schadstofftransport in Boden und Grundwasser. Arbeits- und Übungsmaterialien Sommeruniversität Bremen.

SCHÖNHALS, E. (1996): Ergebnisse bodenkundlicher Untersuchungen in der Hessischen Lößprovinz mit Beiträgen zur Genese des Würm-Lösses.- in Boden und Landschaft, 8, 272 S.; Gießen.

SCHWILLE F. (1953a): Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumchlorid-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens.- Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 81: 314-335, Wiesbaden.

SCHWILLE, F (1953b): Chloride und Nitrate in den Grundwässern Rheinhessens und des Rheingaus.- Gas und Wasserf., 94, 14: 184-188, München.

SEITH, R. & JEKEL, M (1997): Biologische Oxidation von Arsenat (III) on Festbettreaktoren.- Vom Wasser, 89; Berlin.

SEMMELE, A. (1967): Neue Fundstellen von vulkanischem Material in hessischen Lössen.- Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 95: 104-108.

SEMMLER, W. (1952): Die Mineralquellen des Saarlandes.- Z. deutsch. geol. Ges. , 19, 803-922. Berlin.

SONNE, V (1956): Ein Beitrag zur geologischen Spezialkartierung des Blattes Alzey.- Diplomarbeit TH Darmstadt, 65 S. Darmstadt; [unveröffentlicht].

SONNE, V. (1969): Die Entwicklung des Alzey-Niersteiner Horstes seit Beginn des Tertiärs.- Jber. u. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., N.F. 51: 81-86, Stuttgart.

SPUHLER, L. (1957): Einführung in die Geologie der Pfalz.- Speyer, Pfälz. Ges. Förd. Wiss., Speyer.

SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1996): Konzepte einer dauerhaft umweltgerechten Nutzung ländlicher Räume.- Sondergutachten, Wiesbaden.

SRU (1998): Pressemitteilung vom 27.02.98 zum Sondergutachten "Flächendeckend wirksamer Grundwasserschutz. Ein Schritt zur dauerhaft umweltgerechten Entwicklung". Metzler-Poeschel, 209 S.; Stuttgart.

SRU (1998b): Flächendeckend wirksamer Grundwasserschutz. Ein Schritt zur dauerhaft umweltgerechten Entwicklung.- Metzler-Poeschel, 209 S.; Stuttgart.

SRU (2000): Umweltgutachten 2000. Schritte ins nächste Jahrtausend.- Stuttgart: Metzler-Poeschel, 2000. 688 Seiten.

STBA, STATISTISCHES BUNDESAMT (1992): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1992.- 764 S., Mainz (Kohlhammer.)

STAPF, K. (1988): Zur Tektonik des westlichen Rheingrabenrandes zwischen Nierstein und Wissembourg (Elsaß).- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 70, 399-410, 1 Abb., Stuttgart.

STAPF, K. (1990): Einführung lithostratigraphischer Formationsnamen im Rotliegend des Saar-Nahe-Beckens (SW-Deutschland).- Mitt. Pol., **77**, 111-124, 2 Abb.: Bad Dürkheim.

STOBER, I. (1986): Strömungsverhalten in Festgesteinsaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen. - Geol. Jb., Reihe C 42, Hannover.

STRAYLE, G., STOBER, I. & SCHOLZ, W. (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen. - Information 6/94 d. GLA Baden-Württemberg, Freiburg/Brsg.

STREBEL, O. & BÖTTCHER, J. (1985): Einfluß von Bodennutzung und Bodennutzungsänderungen auf die Stoffbilanz eines reduzierenden Aquifers im Einzugsgebiet eines Förderbrunnens.- Wasser u. Boden, 37: 111-114, Hamburg.

STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1996): Aquatic Chemistry.- Wiley & Sons Inc., N.Y..

SZABO, Z., RICE, D. E., PLUMMER, L. N., BUENBERG, E., DRENKHARD, S. & SCHLOSSER, P. (1996): Age-dating of groundwater with chlorofluorocarbons, tritium/helium-3 and flow path analysis in a unconfined aquifer of the New Jersey coastal plain. - Water Resource Research, 32, S. 1023-1038.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. (1955): The water balance.- Publ. in Climat., VIII, Nr.1, Drexel Inst. Laboratory of Climatologie; Centeron N.J..

TORAN, L. & HARRIS, R. F. (1989): Interpretation of sulfur and oxygen isotopes in biological and abiological sulfide oxidation. - Geochim. Cosmochim. Acta, 53, S. 2341-2348, London.

UHLIG, S. (1959): Wasserhaushaltsbetrachtungen nach THORNTHWAITE.- Z. Acker-Pflanzenbau, 109: 384-407; Berlin.

VOIGT, H., J. (1990): Hydrogeochemie.- Springer, VEB Leipzig.

VON PLATEN, H. & HOFMEISTER, W. (1993): Eruptivgesteine des Saar-Nahe-Beckens, SW-Deutschland.- Chemie d. Erde, 53, 65-104.

WALTER, M. (1998): Erkundungen von Photolineationen und Störungen mit geophysikalischen und strukturgeologischen Methoden im Bereich des Alzeier-Niersteiner Horstes.- Diplomarbeit Universität Mainz, 117 S. , 4 Karten; [unveröffentlicht].

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) (1991): Scientific Assessment of Stratospheric Ozon Depletion: 1989.- Global Ozone Research and Monitoring Projekt, Report No. 20, Geneve.

WIGGERING, H., MÜLLER, F. & SCHENK, D. (1999): Umweltindikatoren: Problemadäquate Informationen für die Umsetzung von Umweltqualitätszielen. Z.d.t. geol. Ges., 150/4, S. 769-787.

11. Anhang

11.1 Bohrprofile im Raum Alzey – Übersicht

Ort	Jahr	GLA Bezeichnung	Teufe	Bearbeitet von	Sonstiges
Albig, Hauptbohrung	1972	GLA#6214-132	115m		15,8m ³ , Kf ± 9E-7 m/s
Bechenheim	1987	GLA#6214-142	122m		
Bechenheim	1955	GLA#6214-10	60,0		Kf ± 2 e-5 m/s
bei Heimersheim r34120 h 14580	vor 1953		11 m	nach Walger 1953	
Bohrung 1, östlich Weinheim r 35140, h 12140	1956		38,20	GLA	
Bohrung 2, r 34430, h 11880	1956		18,75	GLA, Sonne	
Bohrung 3, 120m NW Bohrung 2	1956		6,50	GLA, Sonne	
Bohrung 4, 65 m WNW Bohrung 3	1956		>2,85	GLA, Sonne	
Bornheim	1974	GLA#6214-66	114	Sonne, GLA, Brechtel	
Bornheim Gemeindebr.	1949	GLA#6214-3	17m	Walger 1953	
Erbes-Büdesheim, Domäne	1950	GLA#6214-31	42,0		Kf ± 2e-5 m/s
Flonheim	1976	GLA#6214-133	71,0	Brechtel	artesisch
Flonheim	1950	GLA#6214-5	44,0	Wagner, Hlfb, Brechtel	artesisch, läuft mit 7,5 cbm aus Kf± 3-4 e-5 m/s
Gau-Bickelheim	1983	WWA # 2169	15 m		
Gensingen, Rumpfmühle	1987	GLA#6113-277, WWA#2180	200 (100)		salinares Wasser auf 100m ausgeb.
Heimersheim	1966	GLA#6214-50	157	Brechtel	Kf± 8e-3 m/s
Heimersheim, Gemeindebrunnen	1953		16,0	Walger, 1953	Kf ± 1e-4 m/s

Ort	Jahr	GLA Bezeichnung	Teufe	Bearbeitet von	Sonstiges
Lonsheim	1978	GLA#6214-137 +# 6	81 m	Sonne, GLA, Brechtel	Binokularunters.
Lonsheim	1949	GLA#6214-131	43,10	Wagner, HLfB	
Offenheim (7 Brunnen)	ab 1909	GLA#6214-15- 21	ca.50- 180	Brechtel, Mattheß	„Melaphyr“
Erbes-Büdesh., Rohrfilterbr. 2	1960	GLA#6214-43	74,80	GLA	Kf± 3e-6 m/s
Erbes-Büdesheim, Rohrfilterbr. 3	1960/6 1	GLA#6214-44	60,20	Brechtel	Kf± 1,7e-6 m/s
Erbes-Büdesh., Rohrfilterbr. 1	1960	GLA#6214-42	16,70	GLA, Fa. Brechtel	Bohrung verfüllt,- 9,75m ruh. Wsp
Uffhofen	1957	GLA#6214-32	57,50	Geib, GLA, Brechtel	artesisch
Albig	1949	GLA#6214-1	68,80	GLA; Wagner	Kf± 1,4-06
Eppelsheim	1951	GLA#6214-4	170,0	GLA	
Alzey	1952	GLA#6214-22	32,00	GLA	Schwefelquelle Römerzeit?
Alzey, Versuchsbohrung 1	1952	GLA#6214-23	28,00	GLA	
Alzey, Versuchsbohrung 2-4	1956	GLA#6214-24- 26	18,75	GLA	
Erbes-Büdesheim, 4 Versuchsbohr.	1957	GLA#6214-27- 30	±24m	GLA	
Ensheim	1957	GLA#6214-40	52,50	GLA	
Erbes-Büdesheim	1959	GLA#6214-41	22,00	GLA	
Mauchenheim	1962	GLA#6214-45	35,50	GLA	
Albig, 16 Sondierungen	1963	GLA#6214-46	-8,00	GLA	Lageplan

Ort	Jahr	GLA Bezeichnung	Teufe	Bearbeitet von	Sonstiges
Alzey, Fa. Altmann	1966	GLA#6214-53	37,00	GLA	kein Wasser
Alzey, Antonitermühle	1968	GLA#6214- 54+55	10,00	GLA	
Albig, Versuchsbohrung	1972	GLA#6214- 65+143	110,50	GLA	9m ³ , 50m Absenkung, Kf±8,6E-7
Baugrundbohrungen A63	1974	GLA#6214-67- 109	9,0- 30,0	GLA	siehe Gutachten ! Profil
Lonsheim	1974	GLA#6214-134	50,00	GLA	
Bermersheim Baugrube Hochbeh.	1980	GLA#6214- 138+139	2,10	GLA	
Baugrunduntersuchung A63	1982	GLA#6214-140	35,00	GLA	
Biebelnheim	1987	GLA#6214-142	122,00	GLA	
Biebelnheim, Sondierungen	1988	GLA#6214-144- 146	3 - 5m	GLA	

Name:	Albig (1949)	GLA#6214-1
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	68,80	
Ausbauteufe	68,80	
Filterstrecken	18 m ?	
Geophysik		
Pumpversuch	8 m ³ /h Abs. Von -3,9 auf -29,5 m, Kf ± 1,4 E-6	
0- 0,95m Mutterboden mit Kulturschutt - 07,80 schwach feinsandiger gelber Mergel (verlehmt oberer Rupelton) - 12,00 braungrauer Mergel (Rupelton) - 17,00 grüngrauer toniger Mergel (Rupelton) - 48,20 dunkel blaugrauer toniger Mergel (Rupelton) - 57,00 blaugrauer toniger Mergel (Rupelton) - 61,00 schwach schiefriger dunkelblaugrauer bituminöser Ton (Fischschiefer, Rupelton) - 62,00 Wechsel v. verfestigtem Meeressand aus Melaphyr und Sandstein mit dunkelgrauen Tonlagen - 68,50 klüftiger teils verfestigter teils lockerer dunkelgrauer Meeressand, wasserführend , Als Unterlage kann klüftiger Melaphyr angenommen werden. Das Wasser stand unter dem Ton unter artesischem Druck und stieg bis 9 m uGOK an.		

Name:	Eppelsheim (1951)	GLA#6214-4
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe		
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
Lageplan bei Blatt 6314 KiBo 0-02,80 Lehm, gelb, -02,30 erster Wasserhorizont ! - 06,50 Lehm, gelb, zäh - 09,30 Lehm, braun, zäh mit Steinen - 18,50 Ton, blaugrau, hart - 19,00 Ton, grau, sandig - 25,00 Ton, dunkelgrau, hart - 64,50 Ton, grau, hart -127,60 Ton, dunkelgrau, hart gelagert -127,70 Schiefer, scharzgrau -145,00 Ton, dunkelgrau, hart -170,00 Ton, graubraun, zäh		

Name:	Alzey (Brunnen für Hr. Korn),1952	GLA#6214-22
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	32,00 m	
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
0-06,00 Lößlehm - 07,00 Letten, gelb - 07,40 glimmerhaltiger gelber Schleichsand - 11,00 gelber Letten - 12,00 verhärteter Schleichsand - 12,40 feinkörniger Sand - 16,00 Letten, gelbgrün - 16,40 Sand mit gelbem Kies vermischt - 24,50 blauer Letten, in Wechsellagerung mit schiefrigem Letten u. Sanden, dazwischen einige wenige cm starke braunkohleführende Lage - 30,50 Schleichsand mit grober Kieselage bei ca. 26-17 m, hühnereigroße Gangquarze ebenso Quarzite u. kleine Hornfelsgerölle - 32,00 blauer Letten Die grobe Geröllage im Schleichsand führte etwas Wasser, das aber infolge des feinen Treibsandgehaltes für die Einrichtung		

einer Pumpe wenig geeignet erschien. Das Geröllvorkommen inmitten der Schleichsandserie deutet wahrscheinlich auf die Einmündung eines Baches in den Sedimentationsraums des Schleichsandes hin.

Name:	Alzey, Versuchsb. 1, 1952	GLA#6214-23
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	28,00 m	
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
<p>Dr. Schottler, GLA</p> <p>0-00,90 umgelagerter graubrauner Mergel mit Lößbestandteilen</p> <ul style="list-style-type: none"> - 01,80 gelbbrauner Mehlsand, kalkhaltig (unreiner Löß) - 02,35 gelbbrauner feinsandiger Mergel, stark kalkhaltig, unrein (umgelagert) - 02,75 weißl.-grauer Mehlsand mit Pupa und Succinea (?) - 05,75 ockergelber glimmerreicher Feinsand - 06,45 ockergelber, hellfleckiger, mergeliger Feinsand - 07,80 dunkel hellgrau-braunfleckiger Mergel, schwach feinsandig - 08,05 grauer schwach fahlgelber Mehlsand - 09,50 grauer Mergel - 10,10 grauer schwach braunfleckiger Mergel - 11,10 hellbrauner Mergel - 11,90 grauer schwach kalkhaltiger Ton - 13,80 grünlich-grauer Mergel, hellgrau, feinsandig, glimmerhaltig - 16,00 grauer, stark sandhaltiger, glimmerführender Mergel mit dünnen Schalenresten - 16,90 grauer Mergel mit einzelnen Sandschmitzen (dünnwandige Schalenreste) - 17,30 grau bis ockergelber Mergel mit glimmerhaltigem Feinsand und Schalenresten - 18,10 bräunlich-grauer mergeliger Feinsand, z.T. sandige Mergel - 19,40 grau bis ockergelber Mergel mit glimmerhaltigem Feinsand - 20,20 mittelgrauer Mergel - 21,80 dunkelbräunlichgrauer Mergel mit Schalenresten - 22,10 grauer Mergel - 28,00 grauer feinsandiger glimmeriger Mergel mit Hydrobien 		

Name:	Alzey Versuchsbohrung. 2-4	GLA#6214-24-26
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	18,75; 06,50; 02,80	
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
<p>Alzey 2 (GLA#6214-24):</p> <ul style="list-style-type: none"> 0-05,50 Diluvium und Alluvium - 18,75 Schleichsand (om₂) <p>Alzey 3 (GLA#6214-25):</p> <ul style="list-style-type: none"> 0-03,10 Löß, Mergel und Sand - 03,70 bräunlicher sandiger Mergel - 04,95 gelbbrauner Feinsand (mergelig), z.T. rötlich - 05,30 anmooriger kalkfreier Ton mit Sandfetzen - 05,90 mergeliger Sand - 06,05 kalkreicher mergeliger Sand uns etwas Kies - 06,20 brauner Löß/Lößlehm mit Sand und etwas Kies - 06,50 Kies und wenig Löß, im Kies: Gangquarz, Melaphyr, bräunlicher Sandstein, Quarzporphyr ?, Arkose (gebleicht) <p>Alzey 4 (GLA#6214-26)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0-02,85 aluviale und diluviale Schichten, wenig Löß ab 02,85 rote Sandsteine, helle Arkosen (Tholeyer?) 		
Name:	Erbes Büdesheim, 4 Versuchsbohrungen (1957)	GLA#6214-27-30
Rechtswert	s.u.	
Hochwert		

Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
r:30100; h:13640 (im Garten des Hauptlehrer BÖHLER), GLA#6214-27 0-02,00 Löß - 03,00 Lößlehm mit Lößkindeln - 05,00 sandigere Lage - 07,00 gelbgraue Mergel mit Turmschnecken	
r:30100; h:13560 (neue Gemeindeschule), GLA#6214-28 ab 9-10 m glimmerhaltiger Mergel mit Schnecken	
r:30160; h:13900 (Betonwerk Seidner), GLA#6214-29 0-02,00 Lehm - 02,50 Kies darunter grünlicher Mergel	
r:30300; h:13980 (Brück, Grabengasse), GLA#6214-30 bis 24 m Schleichsand, darunter Melaphyr	

Name:	Ensheim (1958)(275 m SW des Pumpenhauses)	GLA#6214-40
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	52,50 m	
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
0-00,50 Lehm, dunkelbraun, humos - 33,00 Ton, graugrün (Septarienton) - 44,00 Sand, feinkörnig, tonig - 52,00 Sand, mittelkörnig, teils tonig - 52,50 Schiefertone, Rotliegendes		
Kf ± 1E-5 - 2E-6 m/s		

Name:	Albig Versuchsbohrung (1972)	GLA#6214-65+143
Rechtswert	37220	
Hochwert	15990	
Höhenlage Meßstellenoberkante	165 m ü. NN	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	110,0 m	
Ausbauteufe	110,0 m	
Filterstrecken	56 - 108 m, 200 mm Rilsan, Bohrdurchm. 700/400 mm	
Geophysik		
Pumpversuch	2,5 l/s, 50 m Absenkung bei 44 h Pumpdauer	
0-01,30 m Mutterboden - 02,00 Mergel, grüngrau, schwach olivstichig; ± Kalkstein-Grus, weißgrau und bräunlich (umgelagertes Tertiär) - 04,20 Mergel. Grüngrau, schwach oliv, schwach ockerfleckig - 04,50 Mergel, feinsandig, glimmerhaltig, grünlichgrau, schwach oliv - 10,00 Mergel grüngrau, schwach oliv - 15,00 Mergel, grau, olivstichig, schwach ockerfleckig - 52,00 Mergel. Grau - 73,00 Mergel, unterschiedlich kalkhaltig, dunkelgrau und bräunlich - 83,00 Mergel, z.T. mit Muschelbruch, grau und schwach bräunlich - 88,00 Mergel, unterschiedlich kalkhaltig, grau - 90,00 Ton und Tonstein, ± Mergel (Nachfall ?), grau - 110,00 Sandstein, ± Tonstein, durch Nachfall ± mergelig, graugrün mit rötlichen schwarzen und bräunlichen Einschlüssen (Melaphyr, Rotliegendes)		

Name:	Brunnen Lonsheim (1978)	1 von 2
--------------	--------------------------------	----------------

Rechtswert	33520
Hochwert	16120
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	81 m
Ausbauteufe	80,50 m
Filterstrecken	-23,5-29,5; 34,5-55,5; 70,5-78,50
Geophysik	
Pumpversuch	
Bohrprofil in Metern Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Bearbeiter Dr. Sonne	
-00,20	Mutterboden
-01,40	Lößlehm, hellbraun
-02,10	Lößlehm, mit Molluskenbruch, braun
-03,90	Lößlehm, dunkelbraun (Bodenbildung ?)
-07,40	Mergel, sandig, glimmerhaltig, gelbgrau
10,60	Mergel, ± sandig, z.T. fein geschichtet, hellgrau
22,20	Mergel, grau
-25,40	Fein- bis Mittelsand, schwach tonig, kalkhaltig, dunkelgrau (Meeressand)
-28,80	Mittel- und Grobsand, mit Barytkonkretionen, kalkhaltig, dunkelgrau und bunt, Meeressand
-29,00	Gemisch aus Kalksandstein, Mergel, Sand und Melaphyrbruch ?, dunkelgrau und bunt, (Übergang zum Rotliegenden?)
-30,20	Magmatit (Melaphyr bis Andesit)
-39,20	Tonstein, sandig, rotviolett
-40,00	Sandstein, feinkörnig, glimmerhaltig, graugrün
-42,00	Tonstein, schwach sandig, rotviolett
-42,60	Tonstein, sandig, graugrün
-43,20	Sandstein, feinkörnig, rötlichbraun
-45,00	Sandstein, feinkörnig, grauweiß
-46,00	Sandstein, z.T fest gebunden, rötlichgrau
-49,20	Tonstein ± sandig, graugrün
-52,80	Tonstein, feinkörnig, rotviolett
-54,50	Sandstein, fein- bis mittelkörnig, grau
-55,60	Sandstein, mittel- bis grobkörnig (kaolinhaltig), rötlichgrau
-58,50	Sandstein, grüngrau, Tonstein, rotbraun, in Wechsellagerung
-62,40	Tonstein, ± sandig, graugrün
-63,00	Sandstein, feinkörnig, grauweiß, Tonstein, ± sandig, grau
-70,80	Tonstein ± sandig, dunkelgrau, mit Sandeinlagen, meist mittelkörnig, grau
-72,00	Tonstein, schwarzgrau
-75,00	Tonstein ± sandig, dunkelgrau
-76,50	Tonstein ± sandig, rot und grau
-78,50	Tonstein ± sandig, glimmerhaltig, grau
-81,00	Tonstein, sandig, rötlichgrau
ET	
0	-29,00 m Tertiär (aufgenommen M.Schmitt, GLA)
	-63,00 m Tholeyer Fazies
	-81,00 m Lebacher Fazies (aufgenommen Dr. Atzbach, GLA)

Binokularuntersuchung an einigen Proben der Bohrung Lonsheim (1978)	
Geologisches Landesamt	
26,8 - 29,0 m	mittelgrauer Kalksandstein, Korngröße um 0,2-0,5 mm. Einzelne Einschlüsse grünlicher Tonsteinfragmente. Vereinzelt Pflanzenabdrücke (Calamiten-Stengel)
29,0 - 30,2	Brecciöser bis konglomeratischer kalkhaltiger Sandstein, Geröll-Durchmesser meist < 1 cm, maimal 2 cm. Geröll: graue Quarzite, rote, sehr feinkörnige Sandsteine und helle Tonsteine. Häufig Einschlüsse von verkieseltem Holz (Gagat). Magmatite nicht vorhanden.
30,2 - 34,0	Blaßgrünlicher und kirschroter Tonstein, sehr wahrscheinlich Tuff.
34,0 - 39,2	Kirschroter Tonstein mit schichtparallel eingelagerten blaßgrünen Einschaltungen: Tuff
45,0 - 46,0	Arkosesandstein, (Typ Tholeyer Schichten) mit einzelnen Muskoviten und eingelagerten Tonfetzen

Name:	Brunnen Lonsheim (1978)	2 von 2
Bohrprofil in Metern Aufgenommen Fa. Brechtel, Bohrmeister		
0	-07,40	dunkelbrauner Lehm
-10,60		graugelber Lehm
-22,20		blaugrauer Ton
-25,40		Fein- und Mittelsand, dunkelgrau
-26,80		Mittel-, Fein- und Grobsand
-29,00		Grauwacke

-34,00	rotbrauner Ton
-39,20	Sandstein und Ton, rötlich
-40,60	Kalkstein
-42,00	Mergel, rotbraun
-46,00	Sandstein
-49,20	Tonschiefer
-55,60	Sandstein
-70,80	Tonschiefer
-72,00	Schiefer, schwarz, klüftig
-76,50	Tonmergel
-78,50	Ton mit Sandstein
-81,00	Tonmergel

Name: Bohrung Lonsheim (1949)		GLA# 131 u. #6
Rechtswert	33 820	
Hochwert	16 140	
Höhenlage Meßstellenoberkante	175 m NN	
Bohrendteufe	43,10	
Ausbauteufe	?	
Filterstrecken	?	
Pumpversuch	abges. Wsp. - 6m bei 34 m ³ /h, W-Temp. 11-11,5°C	
Profil HLfB, W. Wagner		
0-03,00	grober Gehängeschutt, mit Lehm vermischt	
-05,20	lehmgiger feinerer Gehängeschutt	
-07,30	gelbgrauer Rupelton	
-24,70	blaugrauer etwas sandiger Rupelton mit einzelnen Melaphyrgeröllen	
-29,00	dunkelgrauer, feinkörniger, verfestigter Meeressand aus Melaphyrmaterial, durch den Meisel beim Bohren in mittelfeinen Sand zertrümmert. Wasseraustritt ; es stieg bis 50 cm unter Gelände u. stand abgesperrt durch den überlagerten Rupelton unter Druck (oberer Wasserhorizont)	
-34,70	Meeressand aus Melaphyrmaterial, z.T. fest verkittet und verhärtet (Muschelreste). Bei 34,70 m grobe Gerölle aus Melaphyr im „Meeressand“ z.T. weiß zersetzt.	
-37,80	verhärteter Meeressand mit Versteinerungsresten	
-38,50	weiß zersetzte grobe Melaphyrgerölle	
-42,20	rotbrauner wasserundurchlässiger Ton (Rupelton örtlicher Entwicklung)	
-43,10	feinkiesiger Meeressand etwas vertont. In dieser Schicht trat wieder eine größere Wassermenge zu (unterer Wasserhorizont)	
-43,30	rotbrauner Rupelton, örtl. Entwicklung, wasserundurchl., vereinzelt Melaphyrstückchen	
0-01,10	Auffüllung	
-02,00	Mutterboden, braun	
-05,20	Lehm, gelb	
-07,30	Letten, gelb	
-24,70	Ton, blau	
-27,50	Ton, blau u. Sand	
-29,00	Fels, blau	
-36,70	Grauwacke	
-37,80	Konglomerat	
-38,50	Grauwacke	
-42,20	Mergel, rot	
-43,10	Grauwackedarunter Mergel, rot	
nach Bohrmeisterangaben		

Name: Brunnen Bornheim (1974)		1 von 2
Rechtswert	32340	
Hochwert	14460	
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	114 m	
Ausbauteufe	108 m	
Filterstrecken	-50-72; 78-96; 100-104	
Geophysik		
Pumpversuch		
Bohrprofil in Metern Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Bearbeiter Dr. Sonne		
0	-00,60	Mutterboden
	-00,90	grober Hangschutt
	-02,30	Ton, sandig u. steinig, dunkelgraubraun
	-03,70	Schluff, tonig, feinsandig, hellbraun
	-04,00	Schluff, sandig, steinig, ockerfarben
	-04,20	Schluff, feinsandig, graubraun
	-06,10	Mergel, ocker und graublau

-10,50	Mergel, graublau und graubraun
-17,00	Mergel, grau, feinsandig
-18,00	Mergel, grau
-23,00	Mergel, dunkelgrau
-46,00	Mergel, grau
-47,00	Mergel, grau, stark sandig
-48,00	Sand u. Feinkies, tonig, grau
-49,00	Sand- u. Feinkies, stark tonig, grau
-52,00	Sand- bis Mittelkies, dunkelgrau
-53,00	Sand- u. Grobkies, grau
-54,00	Sandstein, feinkörnig, grau
-55,00	Grobsand bis Mittelkies, bunt
-61,00	Tonstein, hellbraun-rot
-62,00	Tonstein, rotbraun, mit grüngrauen Sandsteineinlagerungen
-63,00	Tonstein, rotbraun
-64,00	Feinsandstein, violettgrau
-65,00	Tonstein, rotbraun
-66,00	Tonstein, mit sandigen Einlagerungen, rot und grün
-71,00	Feinsandstein, rot-violettgrau
-76,00	Tonstein, rotbraun
-78,00	Tonstein, rot und grün
-82,00	Feinsandstein, grau bis grauviolett
-83,00	Tonstein, oliv, feinsandig
-87,00	Feinsandstein, grauviolett
-94,00	Arkose, feinkörnig, rot bis violett
-95,00	Feinsandstein, hellgrau bis weiß
-96,00	Tonstein, rot
-99,00	Tonstein, rot ± sandig
-101,00	Feinsandstein, grauviolett
-103,00	Tonstein ± sandig, hellgrau
-104,00	Feinsandstein, grauviolett
-108,00	Tonstein, dunkelbraun, (Lebacher Fazies)
-109,00	Tonstein ± sandig, graubraun
-114,00	Tonstein, dunkelbraun (Lebacher Fazies)
-55 m	Tertiär (aufgenommen Dr. Sonne, GLA)
-114 m	Tholeyer Schichten (aufgenommen, Dr. Atzbach, GLA)

Name:	Brunnen Bornheim (1974)	2 von 2
Bohrprofil, Fa, Brechtel, Bohrmeister		
Brunnen Bornheim (1974)		
0	-00,50	Mutterboden
	-00,90	Kalkstein, Geröll
	-03,80	Lehm mit Sand, gelb
	-04,10	Lehm mit Fein- Mittelkies
	-07,50	Ton, grau-schwarz, zäh
	-48,00	Ton, dunkelgrau, sehr zäh
	-49,00	Ton mit Mittelkies
	-51,00	Ton, Grobsand, Mittelkies
	-53,00	Kies, grob, mit Sandstein
	-55,00	Sandstein, graugrün
	-67,00	Sandstein mit Mergel und Ton
	-71,00	Sandstein, rotbraun
	-79,00	Mergel mit Sandstein, rotbraun
	-81,00	Sandstein, grau
	-90,00	Mergel, Sandstein, rotbraun
	-94,00	Sandstein, rotbraun, sehr hart
	-95,00	Buntsandstein
	-101,00	Mergel mit Sandstein, rotbraun
	-109,00	Ton, Mergel mit Sandstein
	-114,00	Schieferton, grau

Name:	Bornheimer Gemeindebrunnen, 1949
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
Profil nach WALGER (1953)	
0-5,00 m Lehm	
- 10,00	Kies

- 15,00	Kies mit Steinen
- 17,00	Sandstein
Brunnen Bornheim alt (1949)	
0	Löß gemischt mit Gehängelehm
-07,40	lockerer lehmiger, gelbbrauner Meeressand
-08,50	desgl., etwas lockerer, mit kleinen Geröllen
	Bei 08,50 m dunkler fest verkitteter Meeressand mit kleinen Geröllen
	Reste von Muscheln (Steinkerne)
	Sandstein und etwas Melaphyrmaterial
-10,00	desgl. Mit groben Geröllen
-15,00	mittelkörniger z.T. fest verkitteter, sonst lockerer Meeressand
-16,20	verkitteter fester Meeressand, dunkelgrau
-17,00	grober Brandungsschutt, gut abgerollt aus verkittetem, dunkelgrauen Sandstein des Rotliegenden
	ab 17,00 m fester verkitteter Sandstein, rötlichbraun

Name: BRUNNEN UFFHOFEN (um 1957)		GLA#6214-32
Rechtswert	3019	
Hochwert	1672	
Bohrendteufe	57,50	
Ausbauteufe	34,50 ???	
Filterstrecken	22 m Länge	
Geophysik		
Pumpversuch	Wsp. +0,15 m, abges.Wsp-18m bei 15 m ³ /h	

Bohrprofil Geologisches Landesamt Dr. Geib		
wahrscheinlich nicht mehr zugänglich		
-01,20	brauner sandiger Lehm, vorwiegend umgelagertes Lößmaterial	
-04,60	schwarzbrauner, humoser Auelehm, schwerer lehmiger Ton	
-05,70	grober Kies, wasserführend	
-25,00	grauer Mergel	
-26,00	schwarzer feinschichtiger Ton = Fischschiefer	
-27,10	grauer Kalksandstein mit Sehkuhrrippen, wasserführend	
-27,50	grauer Feinkies, wasserführend	
-28,30	Kalksandstein	
-34,20	grauer Mergel	
-35,40	grauer, feinsandiger Mergel	
-39,20	grauer Mergel	
-40,10	rötlicher Mergel	
-42,00	grauer Mergel	
-48,90	grauer Kalksandstein, z.T. mit mergeligen Einschaltungen	
-51,40	grauer, kiesiger Kalksandstein	
-52,50	grauer Mergel mit sandigen Einschaltungen	
-54,00	grauer Mergel	
-55,00	grauer, rötlichgeflammter Schiefer Ton	
-55,50	fester Arkosesandstein	
-56,00	grobkonglomeratische Sandsteine, Arkose, wasserführend	
-57,50	grauer rötlichgeflammter Schiefer Ton	
Deutung		
bis	-01,20	jüngstes Alluvium
	-04,60	Auelehm
	-05,70	Wiesbachkies
	-25,00	oberer Rupelton
	-26,00	mittlerer Rupelton
	-54,00	unterer Rupelton mit mächtigen Sandsteinlagen
	-57,50	Tholeyer Schichten (Unterrotliegendes)
artesisch, nach 5 stündigem Pumpversuch am 13.2.57, Ruhewasserspiegel 0,15 m über Flur !!		

Bohrprofil Uffhofen, Fa. Brechtel 8.11.56 - 23.2.57		
-00,30	Mutterboden braun	ruh. Wsp. +0,15 m
-01,20	Lehm, braun, hart	
-04,00	Lehm, schwarz, zäh	
-05,70	Grob- u. Mittelkies, rostbraun mit Steinen	
-25,20	Ton, dunkelgrau, hart, trocken	
-26,00	Tonschiefer, schwarzgrau, sehr hart, trocken	
-27,10	Ton, grau u. schwarz, mit Basalt, mit Erzsteinen	
-27,50	Konglomerat, grau, mit Basalt	
-28,30	Basalt, grau, sehr hart, mit Feinsand	
-34,20	Ton, hellgrau, mit Sandstein, sehr hart	
-35,40	Sandstein, mit Tonmergel, weißgrau	
-39,20	Ton, verhärtet, mit Sandstein, graugrün	
-40,10	Ton, bunt	

-43,20	Ton, weißgrau, verhärtet
-45,20	Ton, gelbgrau, mit Quarzkies
-47,00	Ton, grau, mit Sandstein
-48,90	Meeressand, grau, verhärtet
-51,40	Sandstein, weiß, z.T. faul
-52,50	Meeressand, grau, sehr hart
-55,00	Ton, bunt, trocken, sehr hart
-55,50	Sandstein, bunt, faul, mit Quarzkies
-56,00	Grob- u. Mittelkies, mit Geröll und Ton
.57,50	Ton, grau und rot

Name: Rohrfilterbrunnen 1, Erbes-Büdesheim, Bahnhofpunkt Uffhofen (1960)		GLA # 42
Rechtswert	29520	
Hochwert	15700	
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	16,70	
Ausbauteufe	Bohrung durch GLA eingestellt und verfüllt	
Filterstrecken	-	
Geophysik	-	
Pumpversuch	-	
Profil Geologisches Landesamt		
0-00,60	rotbrauner sandiger Lehm, Pflanzenwurzeln	
-02,40	brauner schluffiger Lehm (Löß)	
-04,80	rotbrauner toniger Lehm mit Gelbbraunen und grauen Schiefertonsbruchstücken	
-08,90	dto, jedoch vorwiegend graue Schiefertone mit feinkörnigen Sandsteinbröckchen	
-09,70	zersetzter Melaphyr, violettrot, mit Anreicherung von Eisenhydroxid	
-10,90	dto, etwas grünlicher	
-12,10	Melaphyr, etwas frischer als bisher	
-13,60	violetter Tonstein (?), obere Teil des Kernes aus Melaphyr	
-17,00	Violetter dichter bzw. sehr feinkörniger „Tonstein“, z. T. grünlich verfärbt, besonders von Klüften ausgehend	
Profil Fa. Brechtel (16.2.69 - 3.3.60)		
0-00,60	Mutterboden, trocken	
-02,40	Lößlehm, hellbraun, trocken	
-04,80	Lehm, rotbraun, sehr hart, trocken	
-08,90	Lehm rotbraun, gelb melliert, mit Sandsteingeröll, hart, trocken	
-09,70	Lehm, rotbraun, gelb-grau melliert, mit Sandsteingeröll, trocken	
-10,90	Ton, grüngrau, braun melliert, sehr hart, trocken	
-12,10	Sandstein, braun-grau, faul	
-13,60	Sandstein, grau, sehr hart	
-16,70	Melaphyr, schwarz-grau, sehr hart	
-9,75 m ruhender Wasserspiegel		
keine Zeichnung angefertigt. Die Bohrung wurde bei -16,79 m durch das geologische Landesamt Mainz eingestellt.		
Zeit der Ausführung 16.02.60- 15.03.60 -		

Name: Rohrfilterbrunnen 2, Erbes-Büdesheim (1960)		GLA # 43
Rechtswert	29750	etwa 250 m oberhalb Bohrung 1
Hochwert	15600	
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	69,40	
Ausbauteufe	74,80	
Filterstrecken	-20-50 m, 54-62 m	
Geophysik		
Pumpversuch	ruh. Wsp. -27,35, abges. Wsp. -53,30 bei 8 m ³ /h (01.10.60), Kf (HÖLTING= 3 E-6 m/s)	
Bohrprofil Geologisches Landesamt		
0-02,50	Löß	
-07,60	Gehängelehm mit Sandsteinbrocken durchsetzt	
-12,20	Schiefertone, grünlichgrau, rötlich geflammt	
-14,60	Hellgelblichbrauner, mittelkörniger Sandstein, geklüftet, mit Eisenhydroxid auf Klüftflächen	
-17,40	feinkörniger, sehr fester Sandstein, hellgrau	
-20,30	weißgrauer, grobkörniger Arkosesandstein, Eisenhydroxyd auf Klüftflächen	
-23,70	mittelkörniger sehr fester klüftiger Sandstein, hellgraugelb	
-24,80	mittel-grobkörniger, sehr fester klüftiger Sandstein, hellgraugelb	
-25,10	grobkörniger, sehr fester klüftiger Sandstein, hellgraugelb	
-26,60	grauer feinstkörniger, sehr fester, aber klüftiger Sandstein	

-28,10	grauer, feinstkörniger, sehr fester, aber geklüfteter Sandstein, teilweise tonsteinartig, sehr fest
-28,90	feinkonglomeratischer verkieselter, sehr fester Sandstein, gut geklüftet
-30,20	rötlicher Ton mit sandigen Einschaltungen
-30,90	rötliche und graue Tuffe
-31,40	violett-rötlicher Porphyrit, zersetzt
-32,10	violett-rötlicher Porphyrit, etwas fester, gut geklüftet
-32,40	grünlichgrauer, zersetzter Melaphyr, klüftig
-34,20	fester violettgrüner Melaphyr, klüftig
-38,30	schwarzgrauer sehr harter Melaphyr
-40,80	graugrünlischer Tonstein, nicht sehr hart
-47,30	rötliche und graue Tonsteine, einzelne Lagen etwas verfestigt, sonst sehr weich
-48,00	Tonstein, teilweise sehr fest, Wechsellagerung von festen und weichen Schichten
-48,90	grauer, sehr fester Tonstein, stark geklüftet, mit vielen Eisenhydroxidbestegen
-50,60	schwarzgrauer, sehr fester Sandstein, geklüftet
-51,30	verkieselte Bank, mit Chalcedon durchsetzt
-57,30	grauer Schiefer-ton mit einzelnen Sandsteinlagen
-60,20	grauer Schiefer-ton mit einzelnen Sandsteinlagen
-61,70	grauer feinkörniger Sandstein, stark zerüttet, Klüfte mit Kalkspat und Pyrit erfüllt
-62,30	grauer Tonstein und verkieselter Sandstein mit Eisenhydroxid auf Klüften
-64,20	grauer Schiefer-ton und Sandstein, mürbe
-64,50	Chalcedon und Kalkspatader etwas Kupferkies
-68,80	hellgrauer Tonschiefer und Sandstein
-69,40	dunkelgrauer Sandstein

Name: Rohrfilterbrunnen 2, Erbes-Büdesheim		GLA # 43
Bohrprofil Fa. Brechtel		
0-01,40	Mutterboden, trocken	
-02,50	Lößlehm, trocken	
-07,60	Sandsteingeröll, mit Lehm, trocken	
-12,20	Ton, grau, gelb-rot melliert, hart, trocken	
-14,60	Sandstein, gelb, trocken	
-17,40	Sandstein, gelb, grau melliert, sehr hart, trocken	
-20,30	Sandstein, graubraun, stark klüftig, sehr hart, trocken	
-23,70	Sandstein, braun-gelb, sehr hart, trocken	
-24,80	Sandstein, braungrau, grobkörnig, sehr hart, trocken	
-25,10	Sandstein, grau-gelb, grobkörnig, trocken	
-26,50	Sandstein, graubraun, feinkörnig, sehr hart, trocken	
-26,60	Tonstein, grüngrau, sehr hart, trocken	
-28,10	Sandstein, graubraun, feinkörnig, sehr hart	
-28,90	Sandstein, braungrau, sehr grobkörnig, hart	
-30,20	Lehm, gelbbraun, mit Sandsteingeröll, trocken, fest	
-31,40	Ton, blau-braun melliert, hart, trocken	
-32,10	Melaphyr, braungrau, faul	
-32,40	Ton, grün, braun melliert, sehr hart, trocken	
-34,20	Melaphyr, braungrau, sehr hart	
-38,30	Melaphyr, schwarzgrau, sehr hart	
-40,80	Ton, grüngrau, sehr hart, trocken	
-43,20	Ton, rotbraun, grün melliert, hart, trocken	
-47,30	Ton, hellgrau, grün melliert, mit versteinerten Schichten, trocken	
-48,00	Ton, braun, mit versteinerten Schichten, trocken	
-48,90	Tonstein, hellgrau, sehr hart	
-50,60	Melaphyr, schwarz-grau	
-51,30	Quarz, hart	
-53,50	Ton, grüngrau, zäh - hart, trocken	
-60,20	Ton, blaugrau, zäh-hart,, mit versteinerten Schichten, trocken	
-61,70	Tonstein, grau, hart	
-62,30	Tonstein, grau, mit Sandsteingeröll, hart, klüftig	
-64,20	Ton, blaugrau, mit versteinerten Schichten, trocken	
-64,50	Kalkstein, mit Sandsteingeröll	
-68,80	Ton, hell-dunkelgrau, melliert, strak mit Kies durchsetzt, trocken	
-70,40	Ton, grau, sehr hart, trocken	
-74,00	Tonstein, grau, sehr hart	
-74,80	Ton, blaugrau, hart, trocken	
Zeit der Ausführung: 15.03.60 -01.10.60		

Name: Rohrfilterbrunnen 3, Erbes-Büdesheim, Uffhoferstr., Gemarkung Uffhofen GLA # 44	
Rechtswert	????
Hochwert	????
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	- 60,20 m

Ausbauteufe	-60 m
Filterstrecken	-29,50-47,50, 51-58 m
Geophysik	
Pumpversuch	ruh.Wsp.-2,10 m, abges. Wsp.-47,60 bei 10 m ³ /h (16.1.61)
	Kf(HÖLTING)= 1,7 e-6 m/s
Ausführung GLA fehlt !!!!!?????, Lage ????	
Bohrprofil Fa. Brechtel	
0-01,90	Mutterboden, rotbraun
-04,20	Lößlehm mit Sandsteingeröll
-05,60	Mittel- bis Grobkies, mit Lößlehm
-08,80	Lößlehm, sehr schluffig, faul, grünlich-grau
-10,90	Ton, grau, sehr hart, trocken
-12,60	Melaphyr, graubraun, faul
-25,70	Ton, grau, mit versteinerten Schichten, hart (Melaphyr, faul)
-28,20	Tonstein, grau, hart
-45,30	Ton, grau, mit Tonsteinschichten, hart
-51,60	Ergußgestein, grau, sehr hart
-56,80	Ton, grau, mit versteinerten Schichten
-60,20	Ergußgestein, grau, sehr hart
-2,10 m ruhender Wasserspiegel	
Zeit der Ausführung: 17.10.60 - 17.01.61	

Name: Brunnen Heimersheim (1966)		GLA # 50
Rechtswert	33 380	
Hochwert	14 510	
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	157 m	
Ausbauteufe	157 m	
Filterstrecken	-60-120, 123-155 m	
Geophysik		
Pumpversuch	ruh.Wsp. -57,80m, abges. Wsp.-86,10 m bei 7,2 m ³ /h	
Bohrprofil Fa. Brechtel		
0	-00,30	Mutterboden
	-04,00	Kalkstein und Mergel
	-06,00	Mergel, tonig
	-10,80	Ton, blaugrau, zäh
	-11,60	Tonmergel, rostig
	-12,60	Tonmergel mit Kalkstein, faul
	-22,50	Tonstein, grau
	-25,00	Basalt, blau
	-26,20	Basalt, braun
	-27,60	Tuff
	-28,20	Tonstein
	-33,20	Tuff mit Basaltschichten
	-36,70	Tuff mit Sandstein, blaugrün, faul
	-40,00	Tuff
	-44,60	Basalt
	-44,90	Tonstein mit Quarz
	-47,30	Tuff
	-47,80	Tonstein mit Quarz
	-58,40	Tuff
	-63,40	Basalt (laut Bohrmeister: mit Quarz !?)
	-64,90	Tuff
	-65,90	Basalt mit Quarz ?
	-66,80	Tuff
	-67,80	Basalt mit Quarz ?
	-80,00	Tuff
	-75,20	Basalt mit Quarz ?
	-76,00	Tonstein
	-79,20	Tuff
	-82,60	Basalt, mit Quarz ?, braun
	-84,00	Basalt mit Quarz, grau
	-85,00	Tuff, rotbraun, mit Quarz ?
	-91,30	Tuff, grünlich mit Quarz ?
	-95,00	Tonstein, blau und grau, mit Quarz ?
	-116,60	Basalt, mit Quarz ?
	-121,30	Mergel, bunt
	-124,00	Basalt mit Tuff
	-126,80	Melaphyr
	-131,40	Melaphyr mit Tuff
	-140,00	Melaphyr
	-146,80	Tuff, grünlich

-148,40	Melaphyr
-152,20	Tuff, bunt, zäh
-157,00	Tuff, grün
handschriftlich nachbearbeitet von Dr. Sonne, GLA: setze Basalt=Melaphyr und Mergel =Tuff	

Name:		Brunnen Flonheim (1976)
Rechtswert		3430.38
Hochwert		5516.78
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe		71,00
Ausbauteufe		70,00
Filterstrecken		-36-56; 60-68
Geophysik		
Pumpversuch		
Brunnen Flonheim neu (1976) nach Bohrmeisterangaben		
0	-01,90	Mutterboden
	-02,50	Ton, schwach sandig, schwarzbraun
	-04,50	Ton, gelb, schwach sandig
	-05,40	Mittel- bis Grobkies
	-23,00	Ton, graublau
	-31,10	Ton, schwarzbraun
	-31,60	Sandstein, hellgrau
	-33,00	Kies
	-34,00	Sandstein, hellgrau
	-35,50	Tonstein, grau
	-39,10	Sandstein, hellgrau
	-40,20	Ton, gelbrot
	-40,80	Sandstein, hellgrau
	-41,20	Ton, bunt
	-42,00	Sandstein, hellgrau
	-42,70	Sandstein, bunt
	-43,10	Tonstein, gelb
	-46,70	Sandstein, bunt
	-47,30	Tonstein, grünbraun
	-49,80	Sandstein, rotbraun
	-50,30	Ton, rotbraun
	-64,40	Sandstein, grau
	-66,50	Sandstein, rotbraun
	-71,00	Tonstein, blaugrau

Name:		Brunnen Flonheim (1950)	GLA#5
Rechtswert			
Hochwert			
Höhenlage Meßstellenoberkante			
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK			
Bohrendteufe		44 m	
Ausbauteufe		43,50 m	
Filterstrecken		31,40 - 43,50	
Geophysik			
Pumpversuch			
		29.6-01.07.50: 48 Std., abg. Wsp.-7,22 m bei 39 m ³ /h	
		01.07.50: 48 Std., abges. Wsp. - 7,06 m bei 38 m ³ /h	
		04.7-5.7.50: 20 Std., abg. Wsp. -15,35 m bei 69 m ³ /h	
		10.07.50: 4 Std., abges. Wsp. - 15,85 m bei 87 m ³ /h	
		Kf= 3- 4 e-5 m/s	
Profil HLfB, Prof. Wagner vor Erreichen der Endteufe, Profil nicht vollständig			
0-01,80	Ackerboden		
-02,35	dunkelbrauner humoser abgeschwemmter Mergellehm		
-04,45	abgeschwemmter Mergel		
-05,10	(0,65m) Bachlehm, vermischt mit groben Schottern des ehemaligen Wiesbaches, wasserführend		
-23,50	graublauer Rupelton (toniger Mergel)		
-27,80	schiefriger braungrauer Mergel (s.g. Fischeschiefer)		
-32,10	Mittlerer Rupelton, mit Knollen von frischem und zersetzten Eisenkies (Schwefeleisen)		
-32,17	grauer, zu einer festen Steinlage verkitteter Meeressand		
-32,22	grauer, loser Meeressand		
-36,00	sandiger Mergel, mit mergeligem Sand, vereinzelt Quarzgerölle, vermischt mit einzelnen eingeschwemmten rötlichen tonigen Gesteinsstücken aus dem Rotliegenden		
-38,70	verwitterter hellgrauer Meeressandstein.		
Die Bohrung von Flonheim hat, wie es sich vorausbestimmen ließ, Wasser, das unter Druck steht (artesisches Wasser) ergeben. Es war			

vermutet worden, daß die blaugrauen tonigen Mergel, auf Grund der Bohrung in der Essigfabrik an 100 m stark werden. Die Bohrung in der Essigfabrik hatte in 80 m diese tonigen Mergel (Rupel- oder Septarientone) noch nicht durchörtert. Offenbar liegt die Essigfabrik in einen geologischen Graben einer versenkten Erdscholle. Unter dem Mergel liegen mergelige Kiese (Meeressande), in denen Wasser zirkuliert, das in dem bergigen Hinterland seinen Ursprung nimmt. Das Rotliegende war am Tag der Besichtigung 19.4.50 noch nicht erreicht, dürfte aber in wenigen Metern angetroffen werden. Unter dem Rupelton trat das gespannte Wasser in den verfestigten Meeressanden auf. Es stieg bis 2 m über Gelände und läuft mit 7,5 m³/h in dieser Höhe seit mehreren Tagen aus. Infolge der eingelagerten **Schwefeleisenknollen** ist es zu erwarten, daß das Wasser einen beträchtlichen Eisen- und Sulfatgehalt hat. Zweckmäßig ist, bis zum rotliegenden Gestein hinabzugehen. Bei tieferer Fassung ist mit einem Vielfachen an Wasser zu rechnen.

Darmstadt, den 22.4.50

gez.:W. Wagner

Brunnen Flonheim (1950) Fa. Brechtel

0	-01,80	Mutterboden
	-02,35	Ton, schwarz
	-04,45	Lehm, gelb
	-05,10	Mittel- bis Grobkies mit Geröll
	-23,50	Ton, blau
	-32,10	Ton, schwarzbraun
	-41,60	Sandstein, grau
	-42,00	Ton, weißgrau
	-44,00	Sandstein, grau

Name:	Beobachtungsrohr Gensingen, Rumpfmühle (1987)	WWA # 2180
Rechtswert	3422515	
Hochwert	5528530 auf TK 25 ' 6113	
Höhenlage Meßstellenoberkante	93,05	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	92,31 GOK	
Bohrendteufe	200	
Ausbauteufe	100	
Filterstrecken	78-102	
Geophysik	siehe Gutachten H. WAGNER	
Pumpversuch	Absenkung auf -137m bei 6 m ³ /h	
0-00,80 Boden, kiesig		
00,80-03,60 Terrassenschotter, fG, gS		
03,60-31,50 T, s		
31,50-142 Feinsandstein, rot, mit dünnen Silt- und Tonsteinlagen		
142-200 Tonstein mit Siltstein, feinsandige Tonlagen		
Als Trinkwasserbrunnen ungeeignet -> salinares Wasser, dem WWA als GWM überlassen, Ausbau 100 m.		

Name:	Offenheim Brunnen 1 (1909)	
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante	234,00	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	142,20 m	
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
Fa. Wasserwerks- u. Kanalisationsbauten O. Smreker, Mannheim, Dez. 1909		
Offenheim Brunnen 1 (1909)		
0-01,10 Mutterboden		
01,10-03,50 Löß		
03,50-05,00 Sand mit Kalk		
05,00-05,20 Ton		
05,20-13,50 Schleichsand mit Ton		
13,50-16,60 Ton mit Schleichsand		
16,60-20,80 Schleichsand		
20,80-22,20 mittelharter Stein		
22,20-50,80 verschiedenartiger Melaphyr		
Vertiefung durch Fa. Brechtel (1914)		
50,80-51,50 Melaphyr		
51,50-53,00 Melaphyr mit schwachen Tonschichten		
53,00-73,20 Melaphyr (hart)		
73,20-77,50 heller sandiger Ton		
77,50-82,20 rötlicher Ton		
82,20-95,20 dunkelbrauner Letten		
95,20-99,20 rötlicher Ton		

99,20-104,0	scharfer heller Sandstein
104,0-108,0	schmieriger Sandstein
108,0-114,0	rötlicher sandiger Ton
114,0-125,0	harter grauer Ton
125,0-142,20	hellgrauer Ton

Offenheim Brunnen 1 (1909)

nach MATTHEß (1956)

0-00,30	Mutterboden
- 03,00	graublauer Letten mit Sandadern
- 04,50	gelber Letten und Geröll
- 13,35	grauer Letten und Sandsteingeröll u. Sandadern
- 18,00	grauer Letten
- 22,00	grauer, verwachsener Schleichsand
- 30,00	fester geschlossener Melaphyr
- 34,75	lockerer Melaphyr, mit blauen Lettenadern
- 50,80	weicher hellblauer Melaphyr
- 51,50	Melaphyr
- 53,00	Melaphyr mit schwarzen Tonschichten
- 73,20	Melaphyr, hart
- 77,50	heller sandiger Ton
- 82,20	rötlicher Ton
- 95,20	dunkelblauer Letten
- 99,80	rötliche Tone
-104,00	scharfer, heller Sand
-108,00	schmieriger Sandstein
-114,00	rötlicher sandiger Ton
-125,00	fester grauer Ton
-142,23	hellgrauer Ton

Name: Brunnen 2 Offenheim (1909)**Rechtswert****Hochwert****Höhenlage Meßstellenoberkante****Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK****Bohrendteufe****Ausbauteufe****Filterstrecken****Geophysik****Pumpversuch****Fa. Smreker (1909)****Brunnen 2 Offenheim (1909)**

0-0-01,10	Mutterboden
01,10-01,60	Mulm
01,60-04,50	Löß
04,50-05,50	Sand mit Kalk
05,50-07,40	Ton
07,40-12,50	Schleichsand mit Ton
12,50-14,30	Ton mit Schleichsand
14,30-14,90	Schleichsand mit Ton
14,90-17,60	Schleichsand
17,60-17,80	Sand
17,80-18,40	grober Sand
18,40-18,80	Sand mit Ton
18,80-19,40	Ton mit Sand
19,40-20,80	mittelharter Stein
20,80-50,00	verschiedenartiger Melaphyr

Vertiefung Fa. Brechtel (1914)

50,00-74,00	Melaphyr
74,00-75,00	roter Ton
75,00-76,50	hellgrauer sandiger Ton
76,50-78,00	hellgrauer Ton
78,00-85,20	dunkelgrauer Ton
85,20-87,90	hellgrauer Ton
87,90-89,40	hellgrauer sandiger Ton
89,40-90,90	hellgrauer Ton
90,90-93,70	rotbrauner sandiger Ton
93,70-96,70	roter sandiger Ton
96,70-98,00	roter Ton
98,00-106,7	hellroter harter Sandstein
106,7-109,5	hellroter schmieriger Sandstein
109,5-111,0	roter sandiger Ton
111,0-117,5	hellroter schmieriger Sandstein
117,5-119,5	roter sandiger Ton

119,5-185,25	hellgrauer Ton, teilweise sandig
Brunnen 2 Offenheim (1909), nach MATTHEß (1956)	
0- 00,30	Mutterboden
- 19,50	harter graugrüner zäher Letten
- 31,00	fester geschlossener Melaphyr
- 33,00	fauler zerklüfteter Melaphyr
- 38,00	zerklüfteter Melaphyr
- 50,00	fester Melaphyr, vereinzelt harte Quarzitädern
- 74,00	Melaphyr
- 75,00	roter Ton
- 76,50	hellgrauer sandiger Ton
- 78,00	hellgrauer Ton
- 85,20	dunkelgrauer Ton
- 87,90	hellgrauer Ton
- 89,40	hellgrauer sandiger Ton
- 90,90	hellgrauer Ton
- 93,70	rotbrauner sandiger Ton
- 96,70	roter sandiger Ton
- 98,00	roter sandiger Ton
-106,70	roter harter Sandstein
-109,50	roter schmieriger Sandstein
-111,00	roter sandiger Ton
-117,50	Sandstein
-119,50	roter sandiger Ton
-185,25	hellgrauer sandiger Ton

Name: Brunnen 3 Offenheim (1909)	
Rechtswert	
Hochwert	
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	155,75
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
Fa. Smreker (1909)	
Brunnen 3 Offenheim (1909)	
0-0-01,00	Mutterboden
01,00-02,10	Mulm
02,10-05,70	Löß
05,70-05,90	Sand mit Kalk
05,90-09,70	Ton
09,70-11,50	Schleichsand mit Ton
11,50-11,80	Ton mit Schleichsand
11,80-13,10	Schleichsand mit Ton
13,10-14,50	Schleichsand
14,50-14,80	Sand
14,80-15,70	grober Sand
15,70-16,60	Sand mit Ton
16,60-17,90	Ton mit Sand
17,90-19,50	mittelharter Stein
19,50-50,60	verschiedenartiger Melaphyr
Vertiefung Fa. Brechtel (1914)	
50,60-58,00	Melaphyr (teilweise sehr hart)
58,00-69,40	Melaphyr mit hellgrauen Tonschichten
69,40-74,80	hellgrauer sandiger Ton
74,80-87,20	brauner Letten
87,20-88,60	grauer Ton
88,60-90,30	brauner sandiger Ton
90,30-93,00	rotbrauner Ton
93,00-104,0	heller Sandstein
104,0-106,4	rotbrauner sandiger Ton
106,4-107,0	roter schmieriger Sandstein
107,0-109,0	roter Sandstein mit Tonlagen
109,0-110,5	hellroter Sandstein
110,5-134,6	grauer Sandstein
134,6-136,6	grauer Ton
136,6-148,85	grauer Sandstein
148,85-155,75	grauer Ton

Brunnen 3 Offenheim (1909) nach MATTHEß (1956)

0-00,80m	Mutterboden
- 02,00	gelber Lehm Boden
- 04,00	schwarzbrauner Torf mit Letten
- 12,00	gelber Letten mit Sandadern
- 17,00	grauer lettenhaltiger zäher Schleichsand mit Buntsandsteingeröllen, vereinzelt flachen und spitzen Muscheln
- 35,00	fester geschlossener Melaphyr, viel Magneteisen enthalten
- 50,60	fester Melaphyr
- 70,00	Melaphyr
-109,00	Tonschicht
-149,00	Sandstein
-155,75	Ton

Name: Brunnen 4 Offenheim (1909)

Rechtswert	
Hochwert	
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendeufe	113,90
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	

Fa. Smreker (1909)**Brunnen 4 Offenheim (1909)**

0,0-02,00	gelber Lehm + Geröll
02,00-02,50	faule Erde
02,50-06,60	verschiedenfarbiger Letten
06,60-14,00	festgelegter graugelber Sand
14,00-14,50	Melaphyr-Geröll
14,50-19,50	blauer Melaphyr
19,50-20,80	blauer Ton., fauler Melaphyr
20,80-32,40	Melaphyr
32,40-35,90	schwarzblauer Melaphyr
35,90-38,80	schwarzblauer Melaphyr + Quarzit+ blauer Ton
38,80-39,90	schwarzblauer Melaphyr
39,90-41,60	blauer Schiefer + Melaphyr
41,60-50,00	schwarzblauer Melaphyr

Vertiefung Fa. Brechtel (1914)

50,00-60,00	hellgrauer Ton
60,00-62,00	heller sandiger Ton
62,00-64,70	roter Letten
64,70-75,30	heller Ton
75,30-76,10	roter sandiger Letten
76,10-82,50	dunkelbrauner Letten
82,50-85,80	hellgrauer Sandstein
85,80-89,40	dunkler Ton
89,40-101,6	heller Sandstein
101,6-109,0	roter sandiger Letten
109,0-110,0	grauer sandiger Ton
110,0-113,9	roter sandiger Ton

Brunnen 4 Offenheim (1909) nach MATTHEß (1956)

0-02,00	Lehm mit Steinen
- 03,50	schwarzer fauler Letten mit Geröllen
- 04,40	blauer harter Letten
- 05,20	blauer sandiger Letten
- 06,55	weiß-gelblicher sandiger Letten
- 14,00	sehr fest gelagerter graugelber Sand
- 14,80	Melaphyrgeröll
- 19,50	sehr harter blauer Melaphyr
- 20,75	harter blauer Ton und blauer Melaphyr
- 36,00	Melaphyr
- 39,00	Melaphyr mit Quarzit und etwas blauer Ton
- 40,00	schwarzblauer Melaphyr
- 41,70	blauer Schiefer und Melaphyr
- 50,90	schwarzblauer Melaphyr
- 60,00	hellgrauer Ton
- 62,00	heller sandiger Ton
- 64,70	roter Letten

- 75,30	heller Ton
- 76,10	roter sandiger Letten
- 82,50	dunkelbrauner Letten
- 85,80	hellgrauer Sandstein
- 89,40	dunkler Ton
-101,60	heller Sandstein
-109,00	roter sandiger Letten
-110,00	grauer sandiger Ton
-113,70	grober sandiger Ton

Name: Brunnen 5 Offenheim (1909)	
Rechtswert	
Hochwert	
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	123,50 m
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
Fa. Smreker (1909)	
Brunnen 5 Offenheim (1909)	
0-00,30	Mutterboden
00,30-01,00	gelber Lehm + Geröll
01,00-01,30	faule Erde
01,30-03,50	Löß
03,50-05,10	verschiedenfarbiger Letten
05,10-06,50	Ton mit Kalkablagerungen
06,50-10,20	festgelegter graugelber Sand
10,20-12,20	leichter Sand + Löß + Ton
12,20-13,90	gelber Sand + Muscheln
13,90-14,40	Schleichsand mit Ton
14,40-14,70	Melaphyr Geröll
14,70-77,80	verschiedenartiger Melaphyr
Vertiefung Fa. Brechtel (1914)	
77,80-78,00	hellroter Sandstein
78,00-81,00	schwarzbrauner Ton
81,00-82,60	rotbrauner Ton
82,60-86,00	heller Sandstein
86,00-87,50	hellgrauer Ton
87,50-88,00	rotbrauner Ton
88,00-89,30	grauer Ton
89,30-91,50	roter Ton
91,50-97,00	hellroter Sandstein
97,00-101,6	grauweißer Sandstein
101,6-104,0	roter Sandstein
104,0-108,0	roter Ton
108,0-110,0	schwarzgrauer Ton
110,0-113,0	rötlicher sandiger Ton
113,0-115,0	grauer sandiger Ton
115,0-117,5	hellgrauer Ton
117,5-121,5	hellgrauer Sandstein
121,5-123,5	hellgrauer fester Ton
Brunnen 5 Offenheim (1909) nach MATTHEß (1956)	
0-00,40m	Mutterboden
- 01,60	gelber Lehmboden und Geröll
- 06,00	graublauer Letten
- 14,30	gelber Letten
- 51,00	weicher Melaphyr mit graublauen Lettenadern
- 57,00	Melaphyr mit Röteln
- 61,00	Melaphyr mit hellgrauen Lettenadern
- 64,00	Melaphyr mit Röteln
- 65,00	Melaphyr mit Lettenadern
- 69,00	Melaphyr
- 74,00	Melaphyr mit weißgrauen Letten
- 76,00	Melaphyr mit Röteln
- 77,85	Buntsandstein
- 81,00	schwarzbrauner Ton
- 82,60	rotbrauner Ton
- 86,00	heller Sandstein
- 90,50	brauner Ton

- 91,50	roter Ton
-104,00	Sandstein
-108,00	roter Ton
-110,00	schwarzbrauner Ton
-113,00	rötlicher, weißer sandiger Ton
-115,00	grauer Ton
-117,50	hellgrauer Ton
-121,50	hellgrauer Sandstein
-122,50	grüner Ton
-123,50	hellgrüner fester Ton

Name: Brunnen 6 Offenheim (1909),	
Rechtswert	
Hochwert	
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
Fa. Smreker (1909)	
Brunnen 6 Offenheim (1909)	
0-00,70 Mutterboden	
00,70-03,50	Löß
03,50-05,20	blauer Ton
05,20-06,70	Ton mit Kalkablagerungen
06,70-08,90	Schleichsand mit Muscheln
08,90-11,10	leichter Sand + Löß + Ton
11,10-11,30	Geröll
11,30-13,10	gelber Sand mit Muscheln
13,10-13,80	Schleichsand mit Ton
13,80-15,10	Melaphyr
Brunnen 6 Offenheim (1909) nach MATTHEß (1956)	
0-00,40 Mutterboden	
- 01,70	gelber Lehmboden
- 01,80	schwarzer Torf
- 06,20	brauner zäher Letten
- 12,50	grauer harter Letten
- 12,80	braublauer Melaphyr
- 29,00	sehr harter Melaphyr
- 34,00	harter Melaphyr, Quarz, Quarzit
- 40,00	harter Melaphyr
- 50,00	weicher zerklüfteter Melaphyr

Name: Brunnen 7 Offenheim (1909)	
Rechtswert	
Hochwert	
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
Brunnen 7 Offenheim:	
0,0-01,50 Mutterboden	
01,50-02,20	Löß
02,20-06,80	blauer Ton
06,80-07,20	Ton mit Kalkablagerungen
07,20-10,70	Schleichsand mit Muscheln
10,70-11,20	leichter Sand + Löß + Ton
11,20-11,60	Geröll
11,60-11,90	gelber Sand mit Muscheln
11,90-12,10	Schleichsand mit Ton
12,10-13,50	Melaphyr

Brunnen 7 Offenheim (1909) nach MATTHEß (1956)		
0-00,40	Mutterboden	
- 11,50	zäher gelber Letten	
- 20,00	geschlossener Melaphyr	
- 51,80	harter Melaphyr	

Name:	Brunnen Albig (an der Goldbach) 1972	GLA#6214-132
Rechtswert	343741	
Hochwert	551613	
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe	115 m	
Ausbauteufe		
Filterstrecken	90-105 m, Durchm. 300 mm	
Geophysik		
Pumpversuch	120 h	
0-01,30 m Humus - 02,00 Kalksteingeröll, lehmig - 06,50 Ton, gelbgrün, fett - 15,00 Ton, zäh, gelbgrün und blau - 52,00 Ton, blau, zäh und fett - 82,00 Ton, grüngrau, z.T. mit bräunlichen Einlagen - 85,00 Ton, hellgrau - 90,00 Ton, hellgrau mit Sandsteinbänken - 103,00 Melaphyr. Mit etwas braunem und hellgrauen Ton - 115,00 Melaphyr graugrün, teils mit roten harten Einlagen Pumpe bei 104,34 m eingebaut Leistung 4,4 l/s, Absenkung 82,5 m, Pumpdauer 120 h , Ruhewassersp. 11,42 m Bohrungsdurchmesser bis 9,80 m, 900 mm, Rest 470 mm		

Name:	Eine Brunnenbohrung bei Heimersheim (vor 1953, nach WALGER(1953))	
Rechtswert	34120	
Hochwert	14580	
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe		
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch		
0-7,00 m grüngrauer Ton (Rupelton) - 11,00 Kies, fest verkittet, im wesentlichen Melaphyr (Meeressand) darunter Rotliegender Sandstein Gemeindebrunnen (WALGER, 1953) r 34160, h 14565 ohne nähere Angaben zum Profil 16,00 m Teufe, bei Förderung von 25 m ³ /h, 4,60 m Absenkung, nach HÖLTING Kf= ca. 1,1 E-4 m/s		

Name:	Brunnen Bechenheim (1987), Brunnen Bechenheim (1955,alt)	
Rechtswert		
Hochwert		
Höhenlage Meßstellenoberkante		
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK		
Bohrendteufe		
Ausbauteufe		
Filterstrecken		
Geophysik		
Pumpversuch	Bech alt Kf (HÖLTING) = 2 e-5 m/s	
Brunnen Bechenheim neu (1987)		
0	-00,20	Mutterboden
	-05,50	Lehm
	-41,00	Schiefer
	-55,50	Schiefer, Sandstein
	-62,00	Schiefer
	-72,50	Schiefer, Sandstein

-85,00	Schiefer
-91,00	Schiefer, Sandstein
-98,00	Sandstein
-104,00	Sandstein, Ton
-122,00	Sandstein
Bechenheim alt (1955)	
0-02,10m Lehm	
- 5,50	Sandstein, tonig, gelb
- 7,20	Tonschiefer, braun
- 8,70	Sandstein, gelb
-13,00	Tonschiefer, braun
-31,50	Tonschiefer, grauschwarz
-32,30	Sandstein, wasserführend , grau
-46,50	Tonschiefer, grauschwarz
-54,50	Konglomerat
-60,00	Tonschiefer, schwarz

Name: Versuchsbohrungen des GLA E Weinheim	
Bohrung 1: Bohrung nahe der Hansemühle (SONNE, 1956), r 35140, h 12140	
Bohrung 2: zwischen Rechenmühle u. Selz (SONNE, 1956), r 34430, h 11880	
Bohrung 3: 120 m NW Bohrung 2 (SONNE, 1956)	
Bohrung 4: 65 m WNW Bohrung 3 (SONNE, 1956)	
Rechtswert	
Hochwert	
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	
Bohrendteufe	
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
GLA	
Bohrung 1: Bohrung nahe der Hansemühle (SONNE, 1956), r 35140, h 12140	
0-06,00m Lößlehm	
- 0,7,00	Letten, gelb
- 07,40	glimmerhaltiger gelber Schleichsand
- 11,00	gelber Letten
- 12,00	verhärteter Schleichsand
- 12,40	feinkörniger Sand
- 16,00	Letten, gelbgrün
- 16,40	Sand, mit gelben Kies vermischt
- 24,50	blauer Letten in Wechsellagerung mit schiefrigem Letten und Sanden, dazwischen eine kaum Zentimeter starke braunkohlführende Lage
- 30,50	Schleichsand mit grober Kieslage bei ca. 26 -27 m .
- 32,00	blauer Letten
- 38,20	Schleichsandmergel
Bohrung 2: zwischen Rechenmühle u. Selz (SONNE, 1956), r 34430, h 11880	
- 0-05,50m Alluvium u. Diluvium. Bei 2,20 m braune Lehme, die umgelagerten Löß enthalten (Succinea oblongo). Bei 4,45 m Kiese (kalkiges Bindemittel), mittelfeinkörnig	
- 18,75	hellgrauer, stark kalkhaltiger Mergel mit starkem Feinsandgehalt (glimmerig) Schleichsand
Bohrung 3: 120 m NW Bohrung 2	
0-03,10m Löß, Mergel und Sand	
- 03,70	bräunlicher sandiger Mergel
- 04,95	gelbbrauner Feinsand, mergelig, z.T. rötlich
- 05,30	anmooriger, kalkfreier Ton mit Sandfetzen
- 05,90	mergeliger Sand
- 06,05	kalkreicher mergeliger Sand, etwas Kies
- 06,20	brauner Löß/Lößlehm mit Sand und etwas Kies
- 06,50	Kies und wenig Löß. Im Kies: Ganquarz, Melaphyr, bräunlicher Sandstein, ?Quarzporphyr, Arkose
Bohrung 4: 65 m WNW Bohrung 3	
0-02,80 Alluvium und Diluvium	
bei 2,85	? Rotliegendes, wenig Löß
ab 2,85	rote Sandsteine, helle Arkosen (Tholeyer)
Name:	Bohrung Erbes Büdesheim, Domäne (1950) GLA#6214-31
Rechtswert	30500
Hochwert	13700
Höhenlage Meßstellenoberkante	
Höhenlage Meßstellenoberkante zu GOK	

Bohrendteufe	
Ausbauteufe	
Filterstrecken	
Geophysik	
Pumpversuch	
0-10,00m	Löß
-12,00	Wechsel zu gelbgrauen Mergel
- 14,00	grüngrauer Mergel
- 15,00	etwas dunklerer grauer Mergel
- 18,00	dunkelgrauer Mergel (wahrscheinlich Cyrenenmergel)
- 42,00	Melaphyr (grobkörniger Tholeyit)
Absenkung 14,50 m bei Q= 3,6 m ³ /h, Kf = ca. 2E-5 m/s	

11.2 Analysen der Grundwässer

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
2195 (LOBO)	13.09.99	10,80	0,753		4,141			0,197	1,857	0,286	0,048	5,714	7,081	0,027	0,004	0,0017	15,69	15,02	-0,68	-4,4	30,71
2195 (LOBO)	13.09.99	10,80	0,753		4,141			0,197	1,857	0,286	0,048	5,714	7,081	0,027	0,004	0,0017	15,69	15,02	-0,68	-4,4	30,71
Albig	13.09.99	9,45	1,893		6,596			0,165	17,251	0,260	0,121	0,399	0,288	0,007	0,045	0,0004	17,94	18,37	0,43	2,4	36,31
Albig Flutgraben groß	01.12.97	8,30	4,344	0,526	9,390	0,003	0,002	0,127	5,563	0,203	0,128	5,734	13,545	0,001	0,004	0,0029	22,56	25,18	2,62	11,0	47,74
Albig Flutgraben klein	01.12.97	7,15	5,275	0,195	3,623	0,004	0,000	0,158	15,437	0,199	0,066	7,884	8,081	0,002	0,004	0,0084	16,24	31,68	15,44	64,4	47,93
Albig alt	01.08.95	13,25	2,200	0,053	12,908			0,233	14,441	1,008	0,267	3,283	9,887	0,003	0,029	0,0032	28,41	28,92	0,51	1,8	57,33
Albig alt (nach 400m3)	11.02.98	9,60	2,680		6,600	0,001		0,180	17,208	0,285	0,118	0,534	0,658	0,002	0,043	0,0000	18,88	18,85	-0,03	-0,2	37,73
Albig alt 2	01.08.95	13,00	2,285		8,640			0,217	15,268	0,890	0,259	2,705	9,015	0,010	0,083	0,0032	23,92	28,23	4,31	16,5	52,16
Albig Br	14.03.84	9,38	1,850		7,016	0,000	0,000	0,000	17,399	0,325	0,000	0,349	0,362	0,000	0,000	0,0000	18,25	18,44	0,19	1,0	36,68
Albig Br	27.03.85	9,61	1,921	0,000	6,621	0,000	0,000	0,000	18,225	0,271	0,000	0,479	0,370	0,004	0,040	0,0000	18,15	19,39	1,24	6,6	37,54
Albig Br	09.07.86	9,96	1,960	0,081	6,716		0,000	0,000	16,468	0,263	0,000	0,529	0,551	0,001	0,043	0,0000	18,72	17,86	-0,87	-4,7	36,58
Albig Br	10.06.87	11,11	1,941	0,023	6,791		0,000	0,000	17,499	0,256	0,000	0,569	0,354	0,002	0,042		19,86	18,72	-1,14	-5,9	38,58
Albig Br	01.08.95	9,75	1,692		6,662			0,177	17,290	0,278	0,130	0,444	0,393	0,004	0,043	0,0003	18,10	18,58	0,48	2,6	36,69
Albig Br	21.01.98	9,50	2,708		6,995	0,001		0,173	17,408	0,254	0,118	0,419	0,337	0,002	0,044	0,0007	19,20	18,58	-0,62	-3,3	37,79
Albig Faulborn	01.12.97	5,10	3,357	3,066	3,352	0,001	0,000	0,227	0,870	0,107	0,037	10,778	3,407	0,002	0,096	0,0004	14,87	15,30	0,42	2,8	30,17
Albig Sumborn	01.12.97	4,70	3,610	2,411	1,666	0,001	0,000	0,223	0,531	0,107	0,029	8,578	2,683	0,002	0,005	0,0004	12,39	11,93	-0,45	-3,7	24,32
Alzey Krötenquelle	01.12.97	6,65	3,892	1,319	3,623	0,001	0,001	0,213	2,388	0,116	0,024	7,400	6,525	0,001	0,001	0,0004	15,48	16,46	0,97	6,1	31,94
Alzey Poppenmühle	01.12.97	4,05	3,413	0,827	1,874	0,001	0,000	0,167	0,961	0,071	0,019	5,454	3,119	0,001	0,001	0,0004	10,16	9,63	-0,54	-5,4	19,79
Aufspringquelle Freimersheim	01.12.97	4,90	2,708	0,918	0,750	0,000	0,003	0,178	0,452	0,054	0,016	5,055	3,349	0,000	0,000	0,0000	9,28	8,93	-0,35	-3,8	18,20
Aulh. Tal alt	01.08.95	6,20	2,200	1,181	1,457			0,260	0,696	0,223	0,023	5,659	4,501	0,003		0,0002	11,04	11,10	0,07	0,6	22,14
Aulheim	13.09.99	5,85	2,313	0,718	0,635			0,187	0,474	0,083	0,019	4,780	4,180	0,002	0,001	0,0002	9,52	9,54	0,02	0,3	19,06
Aulheimertal 1	01.12.97	6,00	2,651	1,240	0,916	0,000	0,001	0,272	0,705	0,157	0,022	5,459	4,164	0,001	0,000	0,0000	10,81	10,51	-0,30	-2,8	21,31
Aulheimertal 2	01.12.97	5,85	2,792	0,906	0,895	0,000	0,002	0,193	0,583	0,110	0,020	5,304	3,999	0,001	0,001	0,0000	10,45	10,02	-0,43	-4,2	20,46
Bechenh. alt 1	04.08.82	0,00	2,034	0,050	1,314	0,000	0,000	0,135	0,626	0,192	0,000	4,865	5,061	0,003	0,001	0,0029	3,40	10,75	7,35	103,9	14,15
Bechenh. alt 1	22.05.85	7,89	2,240	0,000	1,403	0,000	0,000	0,000	0,692	0,304	0,000	4,177	4,830	0,001	0,000	0,0000	11,54	10,00	-1,53	-14,2	21,54

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Bechenh. alt 1	14.03.88	8,07	2,510	0,097	1,457		0,000	0,000	0,739	0,205	0,000	5,689	5,431	0,003	0,002	0,0004	12,14	12,07	Differenz	Differenz	Summe
Bechenh. alt 1	26.04.89	8,57	0,000	0,100	2,020		0,000	0,000	0,787	0,230	0,000	4,591	6,402	0,004	0,001	0,0054	10,69	12,02			
Bechenh. alt 1	14.03.90	7,92	0,000	0,050	1,895		0,003	0,000	0,696	0,217	0,000	5,339	6,254	0,004		0,0119	9,86	12,52	-0,07	-0,6	24,21
Bechenh. alt 1	03.04.91	9,10	0,000		1,582		0,000	0,000	0,652	0,217	0,000	5,190	5,925	0,009	0,001	0,0109	10,68	12,00	1,33	11,7	22,71
Bechenh. alt 1	08.04.92	7,93	2,059	0,035	0,583		0,000	0,000	1,870	0,409	0,000	4,840	5,596	0,006		0,0008	10,61	12,72	2,66	23,7	22,39
Bechenh. alt 1	17.03.93	7,97	1,805		1,499			0,000	0,478	0,230	0,000	4,990	6,912	0,007	0,001	0,0075	11,28	12,63	1,32	11,7	22,69
Bechenh. alt 1	17.05.95	8,32	1,974	0,055	1,478			0,000	0,652	0,210	0,000	5,040	5,842	0,004		0,0087	11,83	11,76	2,12	18,1	23,33
Bechenh. alt 1	01.08.95	8,45	1,664	0,029	1,561			0,160	0,635	0,216	0,026	5,195	6,077	0,006		0,0081	11,70	12,16	1,35	11,3	23,90
Bechenh. alt 1	11.09.96	8,21	1,974		1,499			0,000	0,609	0,205	0,000	4,790	5,842	0,004		0,0091	11,69	11,46	-0,07	-0,6	23,59
Bechenh. alt 1	25.06.97	8,25	1,918		1,499			0,000	0,609	0,235	0,000	4,890	5,842	0,003	0,003	0,0073	11,67	11,59	0,46	3,8	23,87
Bechenh. alt 1	11.12.97	8,10	2,539		1,457			0,165	0,587	0,205	0,023	4,790	5,752	0,003		0,0080	12,10	11,37	-0,23	-2,0	23,15
Bechenh. neu 2	14.03.88	11,57	0,592		0,479			0,000	2,088	0,381	0,000	5,190	5,184	0,001	0,002	0,0007	12,64	12,85	-0,08	-0,7	23,26
Bechenh. neu 2	26.04.89	11,43	0,000		0,937	0,013	0,000	0,000	1,983	0,448	0,000	3,343	5,661	0,000	0,018	0,0004	12,38	11,45	-0,73	-6,2	23,46
Bechenh. neu 2	14.03.90	11,20	0,000		0,000	0,002	0,003	0,000	1,870	0,435	0,000	4,840	5,760	0,000	0,014	0,0004	11,20	12,92	0,20	1,6	25,49
Bechenh. neu 2	03.04.91	12,34	0,000		0,562	0,001	0,000	0,000	1,566	0,384	0,000	4,691	5,596	0,028	0,016	0,0015	12,90	12,28	-0,92	-7,8	23,83
Bechenh. neu 2	08.04.92	11,10	0,705		0,583		0,000	0,000	1,870	0,409	0,000	4,940	5,596	0,006	0,015	0,0008	12,39	12,84	1,72	14,2	24,12
Bechenh. neu 2	17.03.93	10,90	0,790		0,645		0,000	0,000	1,566	0,435	0,000	5,489	6,172	0,003	0,015	0,0005	12,34	13,68	-0,62	-4,9	25,18
Bechenh. neu 2	17.05.95	10,93	0,762		0,562			0,000	1,522	0,384	0,000	4,541	5,596	0,002	0,008	0,0007	12,25	12,05	0,45	3,6	25,23
Bechenh. neu 2	01.08.95	11,40	0,762		0,833			0,263	1,562	0,397	0,055	4,706	5,991	0,003	0,008	0,0008	12,99	12,72	1,35	10,3	26,02
Bechenh. neu 2	11.09.96	11,00	0,818		0,625			0,000	1,653	0,384	0,000	4,691	5,678	0,002	0,012	0,0007	12,44	12,42	-0,20	-1,6	24,31
Bechenh. neu 2	25.06.97	11,00	0,903		0,645			0,000	1,566	0,409	0,000	4,890	5,842	0,003	0,012	0,0007	12,55	12,72	-0,27	-2,1	25,72
Bechenh. neu 2	11.12.97	10,85	0,987		0,916			0,262	1,448	0,376	0,049	4,701	5,645	0,004	0,013	0,0011	12,75	12,24	-0,02	-0,2	24,86
Bechenheim Steinbruch	01.12.97	6,05	0,592	0,002	0,937	0,001	0,001	0,167	0,287	0,138	0,019	3,633	3,686	0,011	0,002	0,0076	7,58	7,78	0,18	1,4	25,27
Bechenheim1	13.09.99	9,25	2,594		1,538			0,142	0,748	0,227	0,026	5,833	6,110	0,006	0,001	0,0096	13,38	12,96	-0,52	-4,1	24,99
Bechenheim2	13.09.99	10,85	0,801		0,554			0,235	1,431	0,376	0,046	4,616	5,760	0,005	0,015	0,0008	12,20	12,25	0,20	2,7	15,36

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Bernersheimer Graben	01.12.97	8,65	4,710	0,700	6,017	0,039	0,043	0,338	4,902	2,080	0,045	7,116	7,233	0,003	0,205	0,0084	20,16	21,59	-0,42	-3,2	26,34
Biebelnheim	11.04.87	8,39	6,234	0,000	6,267		0,001	0,143	16,312	0,358	0,000	1,382	1,152	0,036	0,061	0,0036	20,89	19,30	0,04	0,4	24,45
Biebelnheim	03.07.87	8,89	6,093	0,003	6,725			0,150	18,008	0,384	0,000	1,048	1,234	0,007	0,083	0,0036	21,71	20,77	1,44	6,9	41,75
Biebelnheim	06.11.87	8,89	6,854	0,001	6,912		0,001	0,000	19,139	0,409	0,000	0,948	1,234	0,025	0,083	0,0036	22,66	21,84	-1,59	-7,9	40,20
Biebelnheim	14.04.88	9,00	6,487	0,004	6,725			0,147	18,704	0,384	0,000	1,048	1,152	0,014	0,078		22,22	21,38	-0,95	-4,5	42,48
Biebelnheim	09.09.88	8,61	6,459	0,002	6,350	0,001	0,001	0,163	19,139	0,358	0,000	0,948	1,070	0,005	0,078	0,0007	21,42	21,60	-0,82	-3,7	44,50
Biebelnheim	16.02.89	8,89	6,572	0,002	6,225			0,147	18,834	0,358	0,000	0,848	1,070	0,005	0,111	0,0007	21,69	21,23	-0,84	-3,8	43,60
Biebelnheim	31.08.89	9,21	5,867	0,002	6,454	0,003		0,143	19,313	0,358	0,000	0,948	1,070	0,004	0,078	0,0011	21,54	21,77	0,18	0,8	43,02
Biebelnheim	16.01.90	8,79	6,826	0,004	6,475			0,157	19,704	0,358	0,000	0,948	1,070	0,007	0,094	0,0007	22,09	22,18	-0,47	-2,2	42,92
Biebelnheim	26.09.90	9,00	6,234	0,002	6,537			0,147	19,965	0,384	0,000	0,898	1,152	0,007			21,77	22,41	0,23	1,1	43,31
Biebelnheim	09.01.91	8,89	7,390	0,002	6,454			0,143	20,009	0,358	0,000	0,898	0,987	0,005	0,089	0,0004	22,74	22,35	0,09	0,4	44,27
Biebelnheim	16.10.91	9,00	5,923	0,029	6,621			0,143	18,530	0,371	0,000	0,998	1,234	0,010	0,089	0,0011	21,57	21,23	0,63	2,9	44,18
Biebelnheim	28.04.92	9,39	6,290	0,004	6,714			0,143	19,574	0,384	0,000	0,998	1,234	0,011	0,094	0,0007	22,40	22,30	-0,39	-1,7	45,09
Biebelnheim	26.11.92	9,50	5,811	0,039	6,473	0,009		0,143	18,269	0,307	0,000	0,998	1,234	0,016	0,072	0,0022	21,83	20,90	-0,34	-1,6	42,81
Biebelnheim	22.03.93	9,61	5,782	0,002	6,606			0,143	19,139	0,384	0,000	0,948	1,152	0,008	0,078	0,0004	22,00	21,71	-0,11	-0,5	44,70
Biebelnheim	07.10.93	9,50	3,131	0,026	6,029	0,004		0,143	15,659	0,384	0,000	1,048	1,399	0,005	0,067		18,69	18,56	-0,93	-4,4	42,73
Biebelnheim	05.01.94	9,00	6,600		6,883			0,150	19,356	0,409	0,000	1,048	1,317	0,007	0,078	0,0007	22,48	22,22	-0,29	-1,3	43,71
Biebelnheim	27.04.95	9,21	6,487		6,964			0,150	19,356	0,384	0,000	0,898	1,070	0,009	0,083	0,0007	22,67	21,80	-0,13	-0,7	37,25
Biebelnheim	09.05.96	9,50	6,431		6,814			0,150	19,139	0,384	0,000	0,898	1,234	0,010	0,083		22,75	21,75	-0,27	-1,2	44,70
Biebelnheim	17.09.97	8,79	6,262		6,614			0,153	19,574	0,332	0,000	0,848	1,152	0,006	0,094	0,0011	21,66	22,01	-0,86	-3,9	44,47
Bornheim	13.09.99	9,70	2,149		4,276	0,000		0,188	1,040	0,300	0,045	6,871	8,788	0,039	0,010	0,0023	16,13	17,09	-1,00	-4,5	44,49
Bornheim Br	11.04.84	9,00	1,952	0,040	2,958	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,0000	13,95	0,01	0,35	1,6	43,67
Bornheim Br	26.06.85	9,27	1,941		4,476			0,168	1,470	0,315	0,000	6,238	7,686	0,025	0,005	0,0007	15,69	15,74	0,97	5,8	33,22
Bornheim Br	23.07.86	9,50	2,034	0,089	4,410	0,000	0,000	0,000	1,614	0,320	0,000	6,267	7,175	0,029	0,000	0,0000	16,03	15,41	-13,94	-199,8	13,96
Bornheim Br	19.08.87	9,64	2,316	0,031	4,805	0,000	0,000	0,000	1,261	0,284	0,000	7,031	8,229	0,001	0,009	0,0004	16,79	16,82	0,05	0,3	31,43

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Bornheim Br	14.06.89	9,65	0,000	0,032	5,663		0,000	0,000	1,153	0,258	0,000	5,040	9,134		0,007	0,0010	15,35	15,59	-0,63	-4,0	31,44
Bornheim Br	23.03.90	9,70	0,000		5,476		0,000	0,000	1,305	0,307	0,000	6,088	8,887		0,004	0,0011	15,18	16,59	0,02	0,1	33,61
Bornheim Br	12.06.91	9,78	0,000		5,621	0,001	0,000	0,000	1,305	0,307	0,000	6,836	9,052	0,002	0,003	0,0003	15,40	17,50	0,25	1,6	30,94
Bornheim Br	27.05.92	0,00	0,000		5,496		0,000	0,000	1,218	0,307	0,000	6,886	9,381	0,043	0,008	0,0025	5,50	17,85	1,42	8,9	31,77
Bornheim Br	01.08.95	10,50	1,946		4,997			0,200	1,253	0,317	0,050	6,921	9,027	0,037	0,010	0,0021	17,44	17,62	2,10	12,8	32,91
Bornheim Br	12.09.96	10,43	2,200		4,539		0,001	0,000	1,218	0,307	0,000	6,287	8,476	0,023	0,008	0,0019	17,17	16,32	12,35	105,8	23,34
Bornheim Br	09.12.97	10,21	3,159		4,684	0,001		0,203	1,214	0,308	0,048	6,751	8,854	0,038	0,008	0,0022	18,05	17,22	0,17	1,0	35,06
Bornheim(alt)	01.12.81	9,50	2,970	1,198	3,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,0000	16,71	0,00	-0,85	-5,1	33,49
Bornheim(alt)	25.01.83	9,00	3,086	1,371	3,718		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,003	0,0000	17,18	0,00	-0,83	-4,7	35,28
Bornheim(alt)	11.04.84	9,00	3,173	1,685	2,958	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,004	0,0000	16,82	0,02	-16,71	-200,0	16,71
Bornheim(alt)	05.06.85	9,21	3,272	1,701	3,671		0,000	0,000	1,087	0,739	0,000	6,507	8,212	0,001		0,0000	17,86	16,55	-17,17	-199,9	17,18
Bornheim(alt)	01.08.95	10,50	2,087	1,684	3,956			0,200	0,840	0,277	0,045	7,834	9,895	0,004		0,0020	18,23	18,90	-16,80	-199,6	16,84
Bornheim(alt)	15.12.97	10,65	3,413	1,058	3,040	0,001	0,002	0,203	0,766	0,257	0,039	6,946	10,023	0,001	0,017	0,0015	18,16	18,05	-1,31	-7,6	34,40
Bornheim(alt)	15.12.97	10,65	3,413	1,058	3,040	0,001	0,002	0,203	0,766	0,257	0,039	6,946	10,023	0,001	0,017	0,0015	18,16	18,05	0,67	3,6	37,12
Brunnen Albig alt	01.12.97	9,60	2,680	0,005	6,600	0,001	0,002	0,180	17,208	0,285	0,118	0,534	0,654	0,002	0,043	0,0011	18,88	18,85	-0,11	-0,6	36,21
Brunnen Albig neu	01.12.97	9,50	2,708	0,005	6,995	0,001	0,001	0,173	17,408	0,254	0,118	0,419	0,337	0,002	0,044	0,0007	19,21	18,58	-0,11	-0,6	36,21
Brunnen Bechenheim alt	01.12.97	8,10	2,539	0,002	1,457	0,000	0,001	0,165	0,587	0,205	0,023	4,790	5,752	0,003	0,000	0,0079	12,10	11,37	-0,04	-0,2	37,73
Brunnen Bechenheim neu	01.12.97	10,85	0,987	0,003	0,916	0,000	0,001	0,262	1,448	0,376	0,049	4,701	5,645	0,004	0,013	0,0009	12,75	12,24	-0,62	-3,3	37,79
Brunnen Bornheim neu	01.12.97	9,80	3,159	0,012	4,684	0,001	0,000	0,203	1,214	0,308	0,048	6,751	8,854	0,037	0,008	0,0021	17,65	17,22	-0,73	-6,2	23,47
Brunnen Esselborn	01.12.97	4,55	1,495	0,390	0,708	0,000	0,001	0,165	0,296	0,035	0,016	3,728	2,526	0,001	0,000	0,0000	7,14	6,60	-0,52	-4,1	24,99
Brunnen Flonheim alt	22.12.97	7,70	2,369	0,018	6,079	0,001	0,000	0,163	1,788	0,295	0,039	7,705	6,484	0,023	0,002	0,0028	16,17	16,34	-0,43	-2,5	34,88
Brunnen Flonheim neu	01.12.97	7,35	2,426	0,098	5,809	0,001	0,000	0,147	1,292	0,262	0,035	7,685	6,591	0,003	0,001	0,0033	15,68	15,87	-0,54	-7,9	13,74
Brunnen Heimersheim	01.12.97	6,80	0,338	0,000	1,083	0,001	0,001	0,292	0,535	0,129	0,027	3,558	3,719	0,027	0,014	0,0018	8,22	8,01	0,17	1,1	32,50
Brunnen Lonsheim	01.12.97	10,45	1,551	0,008	4,539	0,001	0,001	0,178	1,174	0,324	0,049	6,612	7,941	0,036	0,006	0,0012	16,55	16,14	0,19	1,2	31,55
Dautenheim Drainage	01.12.97	5,25	3,385	1,398	1,915	0,001	0,001	0,218	0,574	0,071	0,020	6,272	4,625	0,001	0,000	0,0004	11,95	11,56	-0,21	-2,6	16,23

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
		mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	mmol(eq/l)	Anionen	Kationen	mmol(eq/l)	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Dembachtal Bachquelle	01.12.97	4,30	3,385	1,208	1,832	0,000	0,001	0,258	0,979	0,104	0,016	5,130	3,514	0,000	0,000	0,0004	10,73	9,74	-0,40	-2,5	32,69
Erbes-Büdesheim Moosbach	01.12.97	7,30	4,569	0,858	2,727	0,001	0,002	0,213	1,975	0,178	0,026	9,017	4,707	0,001	0,001	0,0007	15,46	15,91	-0,38	-3,3	23,51
Erbes-Büdesheim Riedertal	01.12.97	5,85	3,892	1,124	1,749	0,001	0,001	0,230	0,626	0,082	0,022	7,111	4,361	0,001	0,002	0,0004	12,62	12,20	-0,98	-9,6	20,47
Erbes-Büdeshm. Schloßquelle	01.12.97	4,35	3,498	1,203	1,770	0,001	0,002	0,203	0,513	0,096	0,017	5,833	3,868	0,001	0,001	0,0000	10,82	10,33	0,45	2,9	31,36
Esselborn	13.06.90	4,45	0,000	0,474	1,020		0,000	0,000	0,309	0,038	0,000	3,693	2,798		0,002		5,94	6,84	-0,41	-3,3	24,82
Esselborn	24.04.91	4,78	0,000	0,394	0,604	0,000	0,000	0,000	0,296	0,036	0,000	4,192	2,715	0,000	0,001	0,0000	5,78	7,24	-0,49	-4,7	21,15
Esselborn	10.06.92	4,53	1,156	0,384	0,583		0,000	0,000	0,304	0,036	0,000	3,792	2,633				6,65	6,77	0,89	14,0	12,78
Esselborn	05.05.93	4,57	1,015	0,356	0,479			0,000	0,304	0,041	0,000	3,693	2,386	0,001			6,42	6,43	1,46	22,5	13,02
Esselborn	09.06.94	4,54	1,156	0,387	0,604		0,003	0,000	0,283	0,036	0,000	3,792	2,551				6,69	6,66	0,11	1,7	13,42
Esselborn	18.05.95	4,54	1,044	0,323	0,437		0,002	0,000	0,270	0,043	0,000	3,593	2,386	0,000			6,34	6,29	0,01	0,1	12,84
Esselborn	01.08.95	4,60	0,987	0,291	0,562			0,163	0,291	0,037	0,019	3,443	2,957	0,002	0,001		6,44	6,75	-0,02	-0,4	13,35
Esselborn	11.09.96	4,50	1,269	0,419	0,625		0,002	0,000	0,291	0,033	0,000	3,842	2,551				6,82	6,72	-0,05	-0,8	12,63
Esselborn	24.06.97	4,49	1,297	0,435	0,666		0,002	0,000	0,287	0,087	0,000	3,892	2,633	0,000	0,003		6,89	6,90	0,31	4,7	13,19
Esselborn	10.12.97	4,55	1,495	0,390	0,708	0,000		0,165	0,296	0,035	0,016	3,728	2,526	0,001			7,14	6,60	-0,10	-1,4	13,53
Esselborn	13.09.99	4,35	1,154	0,318	0,485			0,152	0,304	0,046	0,014	3,708	2,347	0,003	0,002	0,0000	6,31	6,42	0,01	0,2	13,79
Esselborn Ess1	01.08.95	4,60	2,905	1,313	2,915		0,002	0,160	0,570	0,125	0,029	5,873	5,308	0,017	0,003	0,0018	11,73	11,93	-0,54	-7,9	13,74
Esselborn Ess1	17.12.97	4,10	4,428	1,219	2,686	0,001	0,006	0,160	0,579	0,175	0,019	6,188	4,567	0,003	0,006	0,0007	12,44	11,54	0,12	1,8	12,73
Esselborn Ess3 o.F.	17.12.97	4,40	3,582	0,900	1,603	0,001	0,005	0,155	0,435	0,088	0,016	4,935	4,114	0,004	0,006	0,0007	10,49	9,60	0,19	1,6	23,66
Esselborn Quelle (Laufbr3)	01.12.97	4,30	1,297	0,374	0,479	0,000	0,001	0,162	0,291	0,099	0,014	3,558	2,395	0,001	0,000	0,0004	6,45	6,36	-0,90	-7,5	23,98
Esselborn(Quelle)	23.10.90	4,39	0,931	0,353	0,418	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000	6,10	0,00	-0,89	-8,9	20,09
Esselborn(Quelle)	17.12.97	4,30	1,326	0,429	0,500	0,000		0,162	0,296	0,129	0,014	3,503	2,444	0,000	0,002	0,0004	6,55	6,39	-0,09	-1,4	12,81
Esselborner Bach	01.12.97	5,40	2,031	0,485	0,895	0,035	0,088	0,205	1,109	0,490	0,016	4,366	2,888	0,002	0,349	0,0015	8,93	9,22	-6,10	-200,0	6,10
Flonheim alt	01.08.95	7,55	2,228	0,523	6,038	0,019		0,170	1,640	0,283	0,040	8,433	6,176	0,004		0,0017	16,36	16,58	-0,17	-2,6	12,94
Flonheim alt	22.12.97	7,70	2,369	0,018	6,079	0,001		0,270	1,788	0,295	0,039	7,705	6,484	0,023	0,002	0,0029	16,17	16,34	0,29	3,2	18,16
Flonheim Br	02.12.81	6,61	1,800	0,158	3,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,0000	11,64	0,01	0,22	1,3	32,94

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Flonheim Br	19.01.83	0,00	1,907	0,181	4,276	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,0000	6,36	0,01	0,17	1,1	32,51
Flonheim Br	14.03.84	6,50	2,169	0,179	5,309	0,000	0,000	0,000	1,244	0,253	0,000	6,936	5,464	0,000	0,000	0,0000	14,16	13,90	-11,63	-199,7	11,65
Flonheim Br	26.06.85	6,58	2,519	0,427	5,725	0,001	0,000	0,112	1,357	0,248	0,000	7,784	5,991	0,008	0,002	0,0022	15,25	15,39	-6,36	-199,5	6,37
Flonheim Br	11.06.86	7,21	2,434	0,248	5,961	0,001	0,000	0,000	1,257	0,253	0,000	6,722	6,262	0,006	0,004	0,0000	15,86	14,50	-0,26	-1,9	28,05
Flonheim Br	01.04.87	7,64	0,956	0,016	1,645		0,000	0,000	1,683	0,302	0,000	5,215	4,081	0,006	0,016	0,0031	10,26	11,31	0,14	0,9	30,64
Flonheim Br	27.04.88	6,68	2,398	0,242	5,957	0,001	0,000	0,000	1,131	0,243	0,000	8,333	6,172	0,007	0,004	0,0033	15,28	15,89	-1,35	-8,9	30,36
Flonheim Br	14.06.89	7,17	0,000	0,334	5,934	0,001	0,000	0,000	1,179	0,215	0,000	4,541	6,501	0,007	0,003	0,0041	13,44	12,45	1,05	9,7	21,57
Flonheim Br	25.04.90	6,90	0,000	0,579	6,246	0,001	0,000	0,000	1,305	0,251	0,000	8,234	6,418	0,000	0,014	0,0044	13,73	16,23	0,62	4,0	31,17
Flonheim Br	12.06.91	6,91		0,303	6,392	0,000	0,000	0,000	1,261	0,248	0,000	7,685	5,925	0,006	0,004	0,0044	13,60	15,13	-0,99	-7,6	25,89
Flonheim Br	27.05.92	7,01	0,000	0,184	6,975	0,001	0,000	0,000	1,218	0,248	0,000	7,635	6,254	0,011	0,001	0,0047	14,17	15,37	2,50	16,7	29,95
Flonheim Br	09.06.94	0,00	2,369	0,082	6,537	0,000	0,001	0,000	1,305	0,253	0,000	8,234	6,665	0,014	0,002	0,0051	8,99	16,48	1,53	10,7	28,74
Flonheim Br	17.05.95	7,39	2,228	0,068	6,850			0,000	1,218	0,256	0,000	8,034	6,501	0,013		0,0040	16,54	16,02	1,20	8,1	29,54
Flonheim Br	01.08.95	7,60	1,918	0,089	6,350			0,143	1,331	0,255	0,037	8,174	6,591	0,017		0,0042	15,96	16,41	7,49	58,8	25,47
Flonheim Br	12.09.96	9,21	2,172	0,065	6,808			0,000	1,305	0,307	0,000	6,986	7,900	0,001	0,002	0,0006	18,26	16,50	-0,51	-3,2	32,56
Flonheim Br ***	24.06.97	7,64	2,313	0,063	5,954			0,000	1,392	0,238	0,000	7,834	6,912	0,002	0,003	0,0027	15,97	16,38	0,45	2,8	32,37
Flonheim Br ***	22.12.97	7,35	2,426	0,098	5,809	0,001		0,147	1,292	0,262	0,035	7,685	6,591	0,003		0,0033	15,68	15,87	-1,76	-10,1	34,76
Flonheim Haus	01.08.95	7,55	2,482	2,547	4,684		0,008	0,270	2,571	0,232	0,040	9,486	5,513	0,003	0,002	0,0005	17,27	17,85	0,41	2,6	32,35
Flonheim/Uffhofen	07.04.81	9,71	1,156	0,000	0,999		0,000	0,053	10,439	0,263	0,000	0,215	0,148	0,007	0,029		11,87	11,10	0,19	1,2	31,55
Flonheim/Uffhofen	07.09.87	9,29	1,044	0,016	1,312		0,000	0,000	10,657	0,230	0,000	0,299	0,247	0,007	0,027	0,0036	11,66	11,47	0,58	3,3	35,12
Flonheim/Uffhofen	01.08.95	7,85	1,213	0,038	2,498		0,005	0,233	10,287	0,266	0,079	0,205	0,291	0,003	0,010	0,0007	11,60	11,14	-0,77	-6,7	22,97
Flonheim/Uffhofen2075	01.08.95	7,85	1,213	0,038	2,498		0,005	0,233	10,287	0,266	0,079	0,205	0,291	0,003	0,010	0,0007	11,60	11,14	-0,19	-1,6	23,13
Freim. alt	24.04.85	4,54	2,764	0,642	1,355	0,000	0,000	0,000	0,352	0,031	0,000	4,366	2,839	0,017		0,0000	9,30	7,61	-0,46	-4,1	22,75
Freim. alt	14.05.86	4,93	3,145	0,642	1,255		0,000	0,000	0,435	0,046	0,000	4,790	3,250			0,0000	9,97	8,52	-0,46	-4,1	22,75
Freim. alt	29.04.87	5,21	2,886	0,882	3,519		0,000	0,000	0,505	0,043	0,000	5,454	3,201			0,0000	12,50	9,20	-1,69	-20,0	16,90
Freim. alt	29.03.89	4,29	3,187	0,693	1,270		0,000	0,000	0,478	0,036	0,000	5,489	3,292	0,001			9,44	9,30	-1,45	-15,7	18,49

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Freim. alt	13.06.90	4,31	0,000	0,823	1,645	0,001	0,000	0,000	0,478	0,031	0,000	4,890	3,456		0,002		6,78	8,86	-3,30	-30,4	21,70
Freim. alt	15.04.92	4,35	0,903	0,645	1,249		0,000	0,000	0,478	0,028	0,000	5,389	3,374	0,000	0,001		7,15	9,27	-0,14	-1,5	18,73
Freim. alt	20.02.98	4,20	3,864	0,710	1,520	0,001		0,168	0,544	0,041	0,017	5,749	3,736	0,001		0,0004	10,29	10,09	2,08	26,6	15,64
Freimers Qu	24.04.85	4,89	2,149	0,847	0,768	0,000	0,000	0,000	0,370	0,051	0,000	4,316	2,724	0,000		0,0000	8,66	7,46	2,12	25,9	16,42
Freimers Qu	14.05.86	5,43	2,383	0,847	0,672		0,000	0,000	0,470	0,072	0,000	4,291	3,143	0,002		0,0000	9,33	7,98	-0,21	-2,0	20,38
Freimers Qu	29.04.87	5,71	2,115	0,873	0,768		0,000	0,000	0,452	0,069	0,000	4,641	2,921	0,000			9,47	8,08	-1,20	-14,8	16,12
Freimers Qu	21.07.87	4,89	2,059	0,806	0,729		0,001	0,000	0,391	0,051	0,000	4,741	2,880				8,49	8,06	-1,35	-15,6	17,31
Freimers Qu	21.07.87	4,89	2,059	0,806	0,729		0,001	0,000	0,391	0,051	0,000	4,741	2,880				8,49	8,06	-1,39	-15,8	17,55
Freimers Qu	12.04.88	4,89	2,172	0,953	0,908		0,001	0,167	0,435	0,051	0,000	4,990	3,292	0,004			8,93	8,77	-0,42	-5,1	16,55
Freimers Qu	13.06.88	4,75	2,228	0,984	0,916		0,000	0,000	0,478	0,061	0,000	5,314	3,127	0,001			8,88	8,98	-0,42	-5,1	16,55
Freimers Qu	13.09.88	4,79	2,341	0,935	0,833		0,000	0,167	0,435	0,051	0,000	4,940	3,127	0,000			8,90	8,55	-0,16	-1,8	17,70
Freimers Qu	09.03.89	4,61	2,398	0,855	0,833		0,001	0,173	0,444	0,051	0,000	4,790	3,127				8,69	8,41	0,10	1,2	17,86
Freimers Qu	28.06.89	4,63	0,000	0,914	1,228		0,000	0,000	0,478	0,079	0,000	3,653	3,152		0,002	0,0001	6,77	7,36	-0,34	-3,9	17,45
Freimers Qu	25.10.89	5,00	2,369	0,927	0,893			0,170	0,478	0,059	0,000	5,040	3,415		0,002		9,19	8,99	-0,28	-3,3	17,11
Freimers Qu	23.03.90	4,79	1,862	0,929	0,787			0,170	0,448	0,051	0,000	5,090	3,374	0,001			8,36	8,96	0,59	8,4	14,14
Freimers Qu	13.06.90	4,84	0,000	0,947	1,249	0,000	0,000	0,000	0,435	0,049	0,000	4,691	3,292		0,002		7,04	8,47	-0,20	-2,2	18,18
Freimers Qu	23.10.90	4,89	2,257	0,898	0,860	0,020		0,170	0,565	0,064	0,000	4,940	3,209	0,000		0,0011	8,93	8,78	0,60	6,9	17,33
Freimers Qu	26.06.91	4,91	0,000	0,908	0,729		0,000	0,000	0,522	0,051	0,000	5,040	3,292			0,0001	6,55	8,90	1,43	18,5	15,50
Freimers Qu	30.10.91	5,11	2,059	0,847	0,752		0,001	0,170	0,400	0,056	0,000	4,840	2,962	0,001			8,77	8,26	-0,15	-1,7	17,71
Freimers Qu	15.04.92	4,90	2,115	0,876	0,770		0,000	0,000	0,435	0,054	0,000	5,040	3,209	0,001	0,001		8,66	8,74	2,36	30,5	15,45
Freimers Qu	26.11.92	5,21	2,031	0,771	0,700	0,001	0,001	0,170	0,365	0,061	0,000	5,240	3,209	0,005			8,72	8,88	-0,51	-5,9	17,02
Freimers Qu	05.05.93	4,98	2,031	0,866	0,666			0,000	0,435	0,059	0,000	4,591	3,045	0,000			8,54	8,13	0,08	0,9	17,40
Freimers Qu	03.06.93	5,00	1,890	0,853	0,722			0,170	0,435	0,066	0,000	4,691	2,880	0,001	0,002	0,0004	8,47	8,08	0,16	1,9	17,60
Freimers Qu	09.06.94	4,88	2,003	0,919	0,750		0,003	0,000	0,426	0,051	0,000	4,890	3,292	0,064		0,0007	8,55	8,72	-0,41	-4,9	16,67
Freimers Qu	01.08.95	4,90	1,805	0,900	1,041			0,177	0,474	0,056	0,019	5,090	3,493	0,003		0,0004	8,65	9,14	-0,39	-4,7	16,54

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Freimers Qu	20.11.95	4,71	2,313	0,906	0,847			0,160	0,435	0,061	0,000	4,990	3,292				8,78	8,78	0,17	2,0	17,28
Freimers Qu	23.04.96	5,11	2,285	0,937	0,868		0,001	0,170	0,478	0,061	0,000	4,940	3,127		0,002		9,20	8,61	0,49	5,5	17,78
Freimers Qu	02.07.96	4,89	2,341	0,916	0,899		0,001	0,170	0,435	0,069	0,000	4,890	3,127	0,001	0,001	0,0004	9,05	8,52	0,00	0,0	17,56
Freimers Qu	11.09.96	4,89	2,115	0,871	0,750		0,002	0,000	0,478	0,051	0,000	5,140	3,456				8,63	9,13	-0,59	-6,6	17,81
Freimers Qu	22.01.98	4,90	2,708	0,918	0,750		0,003	0,178	0,452	0,054	0,016	5,055	3,349	0,000			9,28	8,93	-0,53	-6,0	17,57
Freimersheim	13.09.99	4,70	2,141	0,866	0,722			0,163	0,461	0,054	0,016	4,860	2,781	0,001	0,001	0,0000	8,43	8,17	0,49	5,6	17,76
Freimersheim alte Quelle	01.12.97	4,20	3,864	0,710	1,520	0,001	0,002	0,168	0,544	0,041	0,017	5,749	3,736	0,001	0,000	0,0004	10,29	10,09	-0,35	-3,9	18,20
Freimersheim Laufbr. 1	01.12.97	4,55	3,074	0,818	1,582	0,001	0,002	0,182	0,457	0,108	0,016	5,694	3,020	0,001	0,000	0,0004	10,03	9,30	-0,25	-3,1	16,60
Freimersheim Laufbr. 2	01.12.97	4,65	3,244	0,919	1,228	0,002	0,003	0,210	0,557	0,043	0,016	5,734	3,094	0,001	0,000	0,0004	10,04	9,44	-0,21	-2,0	20,38
Freimersheim Weidasser	01.12.97	4,90	1,777	0,842	0,854	0,001	0,003	0,207	0,400	0,037	0,016	5,035	3,110	0,002	0,001	0,0004	8,37	8,60	-0,73	-7,6	19,32
Fürfeld (Beob.-Rohr)	10.02.89	7,71	0,903	0,006	0,331	0,002		0,257	0,696	0,110	0,000	4,341	3,703	0,005	0,003	0,0091	8,96	8,87	-0,60	-6,2	19,49
Fürfeld (Beob.-Rohr)	20.07.89	7,39	0,705	0,035	0,414	0,002		0,267	0,709	0,118	0,000	4,192	3,538	0,007	0,003	0,0109	8,55	8,58	0,23	2,7	16,98
Fürfeld (Beob.-Rohr)	03.05.90	7,29	0,818	0,069	0,425			0,250	0,731	0,107	0,000	4,242	3,621	0,004	0,003	0,0109	8,60	8,72	-0,09	-1,0	17,82
Fürfeld (Beob.-Rohr)	07.08.90	7,89	0,677	0,026	0,302			0,257	0,739	0,110	0,000	4,242	3,621	0,025	0,002	0,0109	8,90	8,75	0,03	0,3	17,13
Fürfeld (Beob.-Rohr)	09.01.91	7,39	0,677	0,058	0,408	0,001		0,260	0,696	0,107	0,000	4,142	3,538	0,004	0,003	0,0109	8,54	8,50	0,12	1,4	17,32
Fürfeld (Beob.-Rohr)	27.01.92	7,00	0,733	0,073	0,431			0,233	0,652	0,100	0,000	4,142	3,127	0,014	0,001	0,0142	8,24	8,05	-0,15	-1,7	17,65
Fürfeld (Beob.-Rohr)	22.03.93	7,00	0,705	0,053	0,375	0,002		0,260	0,783	0,123	0,000	4,042	3,209	0,004	0,002	0,0095	8,14	8,17	-0,03	-0,4	17,04
Fürfeld (Beob.-Rohr)	13.10.93	7,11	0,818	0,061	0,404			0,260	0,652	0,125	0,000	3,992	3,374	0,001	0,002	0,0058	8,39	8,15	-0,19	-2,3	16,29
Fürfeld (Beob.-Rohr)	27.04.94	7,21	0,846	0,037	0,396			0,237	0,652	0,120	0,000	4,192	3,127	0,014	0,002	0,0153	8,49	8,12	0,04	0,5	16,31
Fürfeld (Beob.-Rohr)	20.12.95	6,79	1,269	0,073	0,475			0,210	0,783	0,123	0,000	4,641	3,538	0,009	0,021	0,0142	8,60	9,13	-0,24	-2,9	16,54
Fürfeld (Beob.-Rohr)	25.06.96	6,79	1,213	0,073	0,489			0,230	0,826	0,115	0,000	4,441	3,374	0,004	0,001	0,0146	8,56	8,78	-0,37	-4,5	16,62
Gensingen(GWM)	06.11.87	8,29	39,912	0,005	19,383	0,000	0,001	0,100	57,634	0,409	0,000	2,745	2,139	0,007	0,111	0,0073	67,59	63,05	0,53	5,9	17,73
Gensingen(GWM)	25.02.88	8,21	41,040	0,000	19,799	0,003	0,005	0,103	63,072	0,384	0,000	3,244	2,222	0,004	0,128	0,0109	69,06	69,06	0,22	2,5	17,34
Gensingen(GWM)	13.06.88	8,11	40,871	0,039	19,779	0,001	0,001	0,090	63,507	0,435	0,000	2,645	1,975	0,007	0,061	0,0109	68,80	68,64	-4,53	-6,9	130,64
Gensingen(GWM)	17.11.88	7,79	42,902	0,000	20,716	0,000	0,001	0,130	64,159	0,281	0,000	3,493	2,880	0,021	0,166	0,0109	71,40	71,01	0,00	0,0	138,12

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Gensingen(GWM)	09.05.89	7,89	46,399	0,006	20,799	0,000	0,001	0,133	69,596	0,432	0,000	3,493	2,880	0,004	0,183		75,10	76,59	-0,16	-0,2	137,44
Gensingen(GWM)	19.10.89	7,79	46,569	0,005	20,653	0,002	0,001	0,130	68,291	0,417	0,000	3,219	2,839	0,007	0,161	0,0109	75,01	74,94	-0,39	-0,6	142,42
Gensingen(GWM)	03.05.90	8,00	48,938	0,000	21,194	0,000	0,001	0,127	70,901	0,419	0,000	2,794	2,715	0,004	0,183	0,0073	78,13	77,02	1,49	2,0	151,69
Gensingen(GWM)	19.10.90	8,00	47,217	0,002	20,778	0,001	0,001	0,130	69,596	0,384	0,000	2,695	2,633	0,004	0,166	0,0073	76,00	75,48	-0,07	-0,1	149,96
Gensingen(GWM)	19.04.91	7,79	47,810	0,002	21,299	0,041	0,002	0,123	69,596	0,332	0,000	2,894	2,880	0,001	0,053	0,0080	76,94	75,76	-1,11	-1,4	155,16
Gensingen(GWM)	16.01.92	7,89	43,325	0,003	21,361		0,001	0,127	65,246	0,358	0,000	2,745	2,798	0,003	0,177	0,0131	72,58	71,34	-0,51	-0,7	151,48
Gensingen(GWM)	25.09.92	8,11	45,525	0,140	21,528	0,001		0,123	67,856	0,384	0,000	2,745	2,715	0,003	0,166	0,0120	75,30	73,88	-1,17	-1,5	152,70
Gensingen(GWM)	08.03.93	7,89	50,094	0,005	21,611	0,000		0,117	72,424	0,409	0,000	2,794	2,962		0,183	0,0040	79,60	78,78	-1,24	-1,7	143,92
Gensingen(GWM)	16.07.93	8,11	44,594		22,610		0,001	0,130	69,596	0,409	0,000	2,745	2,798	0,001	0,177	0,0095	75,31	75,74	-1,42	-1,9	149,18
Gensingen(GWM)	27.04.94	8,21	44,312		22,090	0,010	0,001	0,130	67,856	0,384	0,000	2,645	2,469	0,005	0,128	0,0098	74,63	73,50	-0,83	-1,0	158,38
Gensingen(GWM)	19.08.94	8,21	44,792	0,065	21,902	0,004	0,001	0,120	67,421	0,435	0,000	2,695	2,715	0,002	0,061	0,0124	74,98	73,34	0,42	0,6	151,05
Gensingen(GWM)	18.07.95	7,11	42,253	0,034	18,738	0,003	0,002	0,127	61,767	0,358	0,000	2,844	2,551	0,011	0,133	0,0084	68,14	67,67	-1,13	-1,5	148,12
Gensingen(GWM)	22.04.96	8,29	42,169	0,037	20,466		0,004	0,130	63,507	0,435	0,000	2,944	2,880	0,005	0,172	0,0109	70,96	69,95	-1,64	-2,2	148,32
Haide Quelle Ambach	01.12.97	1,15	4,034	0,153	0,729	0,001	0,003	0,425	1,936	0,153	0,006	2,625	1,160	0,004	0,000	0,0004	6,07	5,88	-0,46	-0,7	135,81
Heimersheim	18.04.95	6,89	0,310		0,874		0,004	0,000	0,522	0,138	0,000	3,643	3,621	0,039		0,0018	8,08	7,96	-1,01	-1,4	140,91
Heimersheim	01.08.95	7,05	0,310		1,145			0,287	0,579	0,138	0,030	3,658	3,810	0,027	0,003	0,0017	8,51	8,25	-0,18	-3,1	11,95
Heimersheim	10.12.97	6,80	0,338		1,083	0,001		0,292	0,535	0,129	0,027	3,558	3,719	0,027	0,014	0,0018	8,22	8,01	-0,12	-1,5	16,05
Heimersheim	13.09.99	6,85	0,386		0,889			0,263	0,548	0,135	0,027	3,548	4,075	0,031	0,001	0,0020	8,13	8,37	-0,26	-3,1	16,75
Heimersheim Bachquelle N	01.12.97	5,20	4,598	1,129	3,352	0,003	0,002	0,145	1,462	0,149	0,024	9,087	4,007	0,002	0,001	0,0007	14,28	14,73	-0,21	-2,6	16,23
Heimersheim Bachquelle S	01.12.97	5,26	4,287	0,244	6,121	0,003	0,004	0,132	1,148	0,028	0,033	10,195	5,974	0,003	0,001	0,0011	15,92	17,38	0,24	2,9	16,49
Heimersheim Quelle	01.12.97	8,30	0,874	0,332	1,811	0,002	0,004	0,220	0,718	0,282	0,035	4,726	5,447	0,001	0,001	0,0033	11,32	11,21	0,45	3,1	29,01
Heimersheimer- Bach in Albig	01.12.97	6,20	6,403	0,442	5,538	0,008	0,008	0,117	5,154	0,397	0,042	8,343	8,328	0,002	0,023	0,0011	18,60	22,29	1,47	8,8	33,30
Kettenheim Quelle	01.12.97	4,05	3,639	0,771	1,624	0,001	0,020	0,163	0,452	0,106	0,016	4,960	4,156	0,001	0,000	0,0004	10,10	9,69	-0,11	-1,0	22,53
Kriegsfeld Kriegsbach	01.12.97	1,10	1,495	0,698	0,750	0,001	0,001	0,298	0,666	0,136	0,010	2,295	1,012	0,001	0,001	0,0018	4,04	4,12	3,69	18,1	40,89
Kriegsfeld Wasenbach	01.12.97	1,60	2,764	0,764	1,145	0,001	0,001	0,205	1,266	0,188	0,012	3,368	1,275	0,007	0,003	0,0047	6,28	6,12	-0,41	-4,2	19,79

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Laufbrunnen 1 Esselborn	01.12.97	4,30	1,326	0,429	0,500	0,000	0,000	0,162	0,296	0,129	0,014	3,528	2,444	0,000	0,002	0,0004	6,55	6,41	0,08	1,9	8,17
Lonsheim	16.06.78	10,14	1,297	0,018	4,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,006	0,0164	15,53	0,04	-0,15	-2,4	12,40
Lonsheim	27.01.83	10,42	1,664	0,007	4,143	0,000	0,002	0,185	1,009	0,000	0,000	6,287	8,476	0,016			16,24	15,79	-0,14	-2,2	12,97
Lonsheim	14.03.84	9,93	1,929	0,023	4,560	0,000	0,000	0,000	1,040	0,276	0,000	6,786	8,097	0,000	0,000	0,0000	16,44	16,20	-15,50	-199,0	15,57
Lonsheim	17.04.84	10,00	1,890	0,011	4,872	0,000	0,000	0,000	1,314	0,453	0,000	7,061	8,196	0,000	0,000	0,0000	16,77	17,02	-0,45	-2,8	32,03
Lonsheim	01.08.95	11,45	1,354		4,893			0,177	1,209	0,327	0,052	6,866	8,418	0,027			17,70	16,90	-0,24	-1,5	32,64
Lonsheim	12.09.96	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,0009	0,00	0,01	0,25	1,5	33,80
Lonsheim	24.06.97	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000	0,0011	0,00	0,04	-0,80	-4,6	34,60
Lonsheim	09.12.97	10,45	1,551		4,539	0,001		0,178	1,174	0,324	0,049	6,612	7,941	0,036	0,006	0,0011	16,54	16,14	0,01	200,0	0,01
Lonsheim	13.09.99	10,45	1,384		4,453			0,170	1,240	0,343	0,050	6,976	7,208	0,039	0,009	0,0013	16,29	15,87	0,04	200,0	0,04
Lonsheim/Bornheim	26.03.91	10,39	0,959	0,008	3,979		0,001	0,197	1,609	0,281	0,000	6,238	8,229	0,018	0,006	0,0025	15,34	16,38	-0,40	-2,4	32,68
Lonsheim/Bornheim	16.10.91	11,00	1,156	0,003	3,847			0,190	1,479	0,253	0,000	6,038	7,735	0,029	0,002	0,0025	16,01	15,54	-0,42	-2,6	32,15
Lonsheim/Bornheim	28.04.92	11,29	1,185	0,010	3,974			0,193	1,609	0,281	0,000	6,138	8,722	0,024	0,003	0,0025	16,45	16,78	1,04	6,6	31,72
Lonsheim/Bornheim	22.04.93	11,79	1,044	0,005	3,916			0,197	1,783	0,256	0,000	6,088	7,817	0,025	0,007	0,0025	16,75	15,98	-0,47	-3,0	31,55
Lonsheim/Bornheim	07.10.93	11,61	1,100	0,015	3,931			0,193	1,653	0,384	0,000	5,689	8,146	0,019	0,006	0,0015	16,65	15,90	0,33	2,0	33,24
Lonsheim/Bornheim	19.04.94	11,61	1,015	0,004	3,729			0,200	1,870	0,332	0,000	5,489	8,805	0,029	0,003	0,0025	16,36	16,53	-0,77	-4,7	32,73
Lonsheim/Bornheim	01.08.95	10,95	0,903		4,060			0,200	1,714	0,272	0,050	5,554	8,413	0,020	0,004	0,0012	15,91	16,03	-0,76	-4,6	32,55
Lonsheim/Bornheim	02.08.95	11,00	1,015	0,003	3,787		0,001	0,200	1,696	0,281	0,000	5,888	7,982	0,002	0,003	0,0022	15,81	15,85	0,18	1,1	32,89
Lonsheim/Bornheim	18.03.96	11,29	0,903		3,764			0,200	1,783	0,332	0,000	5,888	8,064	0,023	0,003	0,0007	15,95	16,10	0,12	0,7	31,94
Lonsheim/Bornheim	01.07.96	11,39	0,903		3,891			0,197	1,827	0,251	0,000	5,938	7,900	0,025	0,007	0,0018	16,19	15,95	0,05	0,3	31,66
Lonsheimer Graben	01.12.97	9,20	4,259	1,898	5,850	0,090	0,033	0,227	2,749	0,616	0,048	7,250	10,451	0,003	0,123	0,0029	21,33	21,24	0,14	0,9	32,05
Mauchenheim Laufbr.1	01.12.97	4,05	3,385	1,014	1,208	0,000	0,003	0,192	0,457	0,096	0,017	5,953	2,979	0,001	0,000	0,0004	9,66	9,50	-0,24	-1,5	32,14
Mauchenheim Laufbr.2	01.12.97	4,05	3,498	1,008	1,312	0,000	0,003	0,192	0,461	0,100	0,017	5,953	2,979	0,001	0,000	0,0004	9,87	9,51	-0,09	-0,4	42,57
Mauchenheim Quelle 1	01.12.97	4,05	3,357	0,676	0,833	0,001	0,002	0,173	0,318	0,035	0,014	5,110	3,176	0,001	0,000	0,0004	8,92	8,65	-0,16	-1,6	19,16
Mauchenheim Quelle 2	01.12.97	4,15	3,244	0,671	1,083	0,001	0,002	0,172	0,309	0,040	0,014	5,015	3,497	0,001	0,000	0,0004	9,15	8,88	-0,36	-3,7	19,38

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Meßstelle Esselborn Ess1	01.12.97	4,10	4,428	1,219	2,686	0,001	0,006	0,160	0,579	0,175	0,019	6,188	4,567	0,003	0,006	0,0007	12,44	11,54	-0,26	-3,0	17,57
Meßstelle Esselborn Ess3	01.12.97	4,40	3,582	0,900	1,603	0,001	0,005	0,155	0,435	0,088	0,016	4,935	4,114	0,004	0,006	0,0008	10,49	9,60	-0,27	-3,0	18,03
Meßstelle Offenheim P1	01.12.97	9,30	1,269	0,005	1,895	0,001	0,000	0,230	0,696	0,284	0,032	5,040	6,204	0,007	0,004	0,0015	12,47	12,27	-0,90	-7,5	23,98
Meßstelle Offenheim P2	01.12.97	7,20	2,144	0,036	1,957	0,001	0,000	0,205	0,565	0,154	0,023	5,549	4,995	0,001	0,001	0,0037	11,34	11,29	-0,89	-8,9	20,09
Meßstelle Offenheim P4	01.12.97	7,00	3,723	0,027	2,020	0,001	0,000	0,208	0,583	0,178	0,023	5,629	5,645	0,004	0,001	0,0024	12,77	12,06	-0,20	-1,6	24,74
Meßstelle Offenheim P5	01.12.97	7,10	3,526	0,000	2,124	0,001	0,000	0,220	0,618	0,179	0,024	5,514	5,760	0,006	0,001	0,0036	12,75	12,11	-0,04	-0,4	22,63
Morschheim Selzquelle 2	01.12.97	5,10	2,736	0,535	1,416	0,001	0,001	0,207	0,548	0,135	0,019	6,492	2,378	0,002	0,000	0,0007	9,79	9,57	-0,71	-5,7	24,83
Morschheim Selzquelle 3	01.12.97	5,00	2,623	0,977	1,270	0,002	0,013	0,205	0,622	0,184	0,016	5,863	3,185	0,002	0,000	0,0007	9,88	9,87	-0,64	-5,2	24,85
Mörsfeld Schindelbach	01.12.97	4,55	2,764	0,614	1,166	0,002	0,003	0,312	0,918	0,309	0,014	4,646	3,003	0,000	0,001	0,0007	9,10	8,89	-0,21	-2,2	19,36
Nack Schachtbrunnen	01.12.97	5,05	3,836	1,108	2,165	0,001	0,000	0,200	1,031	0,101	0,020	7,370	3,300	0,001	0,000	0,0004	12,16	11,82	-0,01	-0,1	19,76
Nack Tiefbrunnen Eder	01.12.97	5,90	1,072	0,789	1,374	0,001	0,001	0,423	0,548	0,046	0,016	4,142	4,032	0,001	0,000	0,0004	9,13	8,78	-0,21	-2,3	17,99
Nieder-Wiesen	13.09.99	6,95	1,032	0,440	1,174			0,237	0,579	0,091	0,014	4,366	4,499	0,002	0,002	0,0000	9,60	9,55	-0,34	-2,8	23,98
Nieder-Wiesen Dembachquelle 2	01.12.97	6,10	0,959	0,224	0,812	0,000	0,001	0,338	0,974	0,129	0,022	3,463	3,242	0,001	0,001	0,0036	8,10	7,84	-0,35	-3,9	17,92
Nieder-Wiesen Dembachquelle 5	01.12.97	7,20	1,382	0,574	0,958	0,000	0,002	0,355	0,544	0,248	0,019	4,721	4,230	0,001	0,001	0,0004	10,11	9,76	-0,04	-0,5	19,15
Oberwiesen Nebelborn	01.12.97	2,40	5,980	0,598	1,041	0,001	0,002	0,250	4,454	0,426	0,022	3,253	2,098	0,000	0,003	0,0007	10,02	10,26	-0,26	-3,3	15,93
Offenheim alt	13.09.99	9,40	0,685		1,316			0,167	0,709	0,318	0,039	4,765	5,427	0,054	0,008	0,0011	11,40	11,32	-0,35	-3,5	19,88
Offenheim alt	13.09.99	9,40	0,685		1,316			0,167	0,709	0,318	0,039	4,765	5,427	0,054	0,008	0,0011	11,40	11,32	0,24	2,3	20,28
Offenheim Dränage	01.12.97	6,15	3,187	1,124	1,915	0,000	0,000	0,185	0,935	0,195	0,016	6,876	3,843	0,000	0,004	0,0000	12,38	11,87	-0,08	-0,7	22,72
Offenheim Ebersfelderhof	01.12.97	5,05	3,413	1,469	1,915	0,001	0,019	0,183	0,648	0,353	0,020	8,059	2,452	0,001	0,001	0,0004	11,87	11,53	-0,08	-0,7	22,72
Offenheim Laufbrunnen 1	01.12.97	6,50	3,187	0,708	1,770	0,000	0,001	0,213	0,705	0,189	0,023	7,166	3,678	0,001	0,000	0,0004	12,16	11,76	-0,51	-4,2	24,25
Offenheim P1	01.08.95	9,55	0,903	0,025	1,978			0,230	0,735	0,250	0,035	4,960	6,521	0,011		0,0037	12,45	12,52	-0,33	-2,8	23,40
Offenheim P1	13.01.98	9,30	1,269		1,895	0,001		0,230	0,696	0,284	0,032	5,040	6,204	0,007	0,004	0,0015	12,46	12,27	-0,40	-3,4	23,93
Offenheim P2	23.12.97	7,20	2,144	0,036	1,957	0,000		0,205	0,565	0,154	0,023	5,549	4,995	0,001	0,001	0,0036	11,34	11,29	0,06	0,5	24,97
Offenheim P4	23.12.97	7,00	3,723	0,027	2,020	0,001		0,208	0,583	0,178	0,023	5,629	5,645	0,004		0,0025	12,77	12,06	-0,20	-1,6	24,73
Offenheim P5	23.12.97	7,10	3,526		2,124	0,001		0,220	0,618	0,179	0,024	5,514	5,760	0,005	0,001	0,0036	12,75	12,11	-0,04	-0,4	22,63

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Offenheim Steinbach	01.12.97	6,50	2,623	0,731	1,790	0,001	0,003	0,212	0,722	0,317	0,022	6,851	3,802	0,002	0,066	0,0004	11,65	11,78	-0,71	-5,7	24,83
Offenheim(Quelle)	09.01.91	6,29	1,918	0,121	0,895			0,280	1,479	0,074	0,000	5,040	3,045	0,001	0,003	0,0004	9,22	9,64	-0,64	-5,2	24,86
Offenheim(Quelle)	03.09.91	7,00	1,128	0,145	0,968			0,317	0,739	0,082	0,000	5,190	2,798	0,001			9,24	8,81	0,14	1,2	23,43
Offenheim(Quelle)	23.07.92	7,39	1,156	0,129	0,943			0,320	0,870	0,097	0,000	5,389	3,127	0,000	0,001	0,0004	9,62	9,48	0,42	4,5	18,86
Offenheim(Quelle)	22.03.93	7,39	0,903	0,139	0,941			0,300	0,739	0,092	0,000	5,289	3,045		0,002		9,38	9,17	-0,43	-4,8	18,05
Offenheim(Quelle)	02.02.94	7,11	1,156	0,137	1,114			0,293	1,087	0,090	0,000	5,040	2,962	0,001	0,001	0,0018	9,51	9,18	-0,14	-1,4	19,11
Offenheim(Quelle)	29.09.94	7,00	1,156	0,182	1,070			0,317	1,087	0,097	0,000	4,990	2,962	0,001		0,0007	9,41	9,14	-0,21	-2,2	18,54
Offenheim(Quelle)	13.02.95	7,00	1,495	0,171	1,033			0,300	0,870	0,079	0,000	5,988	2,880		0,001		9,70	9,82	-0,33	-3,5	18,70
Offenheim(Quelle)	11.07.95	6,89	1,523	0,169	1,047			0,327	1,044	0,107	0,000	5,339	3,209		0,001	0,0007	9,63	9,70	-0,27	-2,9	18,55
Offenheim(Quelle)	17.01.96	7,00	1,382	0,214	1,081			0,293	0,652	0,072	0,000	5,589	3,785				9,68	10,10	0,12	1,2	19,52
Offenheim(Quelle)	12.09.96	7,00	1,382	0,194	1,066			0,323	0,826	0,097	0,000	5,489	3,127	0,001	0,001	0,0007	9,64	9,54	0,07	0,7	19,33
Offenheim(Quelle)	19.03.97	7,21	2,341	0,160	1,010			0,300	1,218	0,123	0,000	5,739	3,374		0,002		10,72	10,45	0,42	4,3	19,78
Orbis Selzquelle 1	01.12.97	5,20	4,682	1,655	1,624	0,001	0,001	0,280	0,518	0,123	0,017	7,211	4,666	0,001	0,001	0,0004	13,16	12,54	-0,10	-1,0	19,18
Orbis/Haide Bachquelle	01.12.97	1,00	5,021	1,342	1,083	0,001	0,027	0,157	2,345	0,269	0,012	4,232	1,267	0,003	0,002	0,0004	8,47	8,13	-0,27	-2,6	21,18
Qu Aulh. Tal	02.12.81	5,89	2,101	1,190	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,003	0,0000	9,38	0,00	-0,62	-4,9	25,70
Qu Aulh. Tal	26.06.85	5,82	2,530	1,061	1,060	0,000	0,000	0,163	0,618	0,087	0,000	5,589	4,147	0,002			10,47	10,44	-0,34	-4,2	16,60
Qu Aulh. Tal	11.06.86	6,36	2,474	0,927	0,912		0,000	0,000	0,565	0,156	0,000	5,180	3,662			0,0000	10,67	9,56	-9,38	-199,9	9,39
Qu Aulh. Tal	01.04.87	6,07	2,485	1,032	0,847		0,000	0,000	0,596	0,118	0,000	5,669	4,049				10,44	10,43	-0,03	-0,3	20,92
Qu Aulh. Tal	27.04.88	5,82	2,369	1,306	1,124		0,000	0,000	0,565	0,118	0,000	5,639	4,032				10,62	10,35	-1,11	-10,9	20,23
Qu Aulh. Tal	14.06.89	5,69	0,000	1,303	1,374		0,000	0,000	0,535	0,092	0,000	4,391	4,444		0,001	0,0001	8,37	9,46	-0,01	0,0	20,87
Qu Aulh. Tal	06.09.89	5,80	0,000	1,103	1,208		0,000	0,000	0,565	0,100	0,000	5,689	4,279		0,002	0,0001	8,11	10,64	-0,27	-2,6	20,98
Qu Aulh. Tal	25.04.90	5,83	0,000	1,169	1,145		0,000	0,000	0,652	0,164	0,000	4,940	4,114			0,0001	8,14	9,87	1,10	12,3	17,83
Qu Aulh. Tal	27.05.92	6,35	0,000	0,911	0,770		0,000	0,000	0,522	0,107	0,000	5,339	4,197	0,002			8,03	10,17	2,52	26,9	18,75
Qu Aulh. Tal	14.04.93	5,97	2,285	0,840	0,750		0,000	0,000	0,565	0,092	0,000	4,990	4,032	0,000	0,001		9,85	9,68	1,73	19,2	18,01
Qu Aulh. Tal	17.05.95	6,39	2,257	0,774	1,936			0,000	0,696	0,146	0,000	5,589	4,608	0,001			11,36	11,04	2,14	23,5	18,20

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Qu Aulh. Tal	01.08.95	6,00	1,946	0,992	1,145			0,193	0,561	0,109	0,023	5,349	4,209	0,003		0,0004	10,08	10,25	-0,17	-1,7	19,53
Qu Aulh. Tal	12.09.96	5,82	2,257	0,871	0,729			0,000	0,522	0,097	0,000	5,289	4,114				9,68	10,02	-0,32	-2,9	22,40
Qu Aulh. Tal	15.07.97	5,82	2,285	0,935	0,770		0,002	0,000	0,478	0,097	0,000	4,990	3,950		0,003		9,81	9,52	0,17	1,7	20,34
Qu Aulh. Tal	18.02.98	5,85	2,792	0,906	0,895		0,002	0,193	0,583	0,110	0,020	5,304	3,999	0,001	0,001		10,45	10,02	0,35	3,5	19,70
Qu Aulh. Tal 1	18.02.98	6,00	2,651	1,240	0,916			0,272	0,705	0,157	0,022	5,459	4,164	0,001			10,81	10,51	-0,29	-3,0	19,33
Qu N.-Wiesen	04.08.82	0,00	1,187	0,479	1,314		0,000	0,207	0,539	0,079	0,000	4,366	4,369	0,003			2,98	9,36	-0,43	-4,2	20,46
Qu N.-Wiesen	30.04.86	6,86	1,187	0,453	1,168		0,000	0,000	0,600	0,130	0,000	4,291	4,337	0,001		0,0000	9,67	9,36	-0,30	-2,8	21,31
Qu N.-Wiesen	17.03.93	7,04	1,185	0,437	1,228		0,000	0,000	0,565	0,097	0,000	4,990	5,678	0,000			9,89	11,33	6,38	103,4	12,34
Qu N.-Wiesen	09.06.94	6,79	1,044	0,516	1,312			0,000	0,565	0,087	0,000	4,541	4,608				9,66	9,80	-0,31	-3,2	19,03
Qu N.-Wiesen	06.07.95	0,00	0,987	0,500	1,270			0,000	0,565	0,079	0,000	4,242	4,279				2,76	9,17	1,44	13,6	21,22
Qu N.-Wiesen	01.08.95	6,65	0,987	0,524	1,561			0,260	0,609	0,146	0,017	4,426	4,563	0,003	0,001	0,0003	9,72	9,77	0,14	1,4	19,46
Qu N.-Wiesen	12.09.96	6,86	0,987	0,435	1,187			0,000	0,565	0,061	0,000	4,541	4,608				9,47	9,78	6,41	107,5	11,92
Qu N.-Wiesen	15.12.97	6,75	1,551	0,450	1,416			0,263	0,570	0,257	0,017	4,621	4,551	0,005		0,0004	10,17	10,02	0,04	0,4	19,49
Quelle Nieder-Wiesen	01.12.97	6,75	1,551	0,450	1,416		0,001	0,263	0,570	0,257	0,017	4,621	4,551	0,005	0,001	0,0003	10,17	10,02	0,31	3,2	19,25
Quelle Offenheim Gemarkung	17.01.96	7,00	1,382	0,214	1,081			0,293	0,652	0,072	0,000	5,589	3,785				9,68	10,10	-0,15	-1,5	20,19
Thierwasen Laufbrunnen	01.12.97	2,15	1,523	0,300	1,083		0,002	0,240	0,622	0,037	0,007	1,841	2,707	0,004	0,002	0,0004	5,06	5,22	-0,15	-1,4	20,19
Thierwasen Wiesbach	01.12.97	2,70	1,495	0,205	1,208		0,006	0,245	0,579	0,073	0,016	2,295	2,765	0,001	0,001	0,0004	5,61	5,73	0,42	4,3	19,78
Wahlheim Quelle 1	01.12.97	4,10	2,877	0,745	1,228	0,001	0,002	0,162	0,470	0,093	0,016	4,456	3,555	0,001	0,000	0,0004	8,95	8,59	0,16	3,2	10,28
Wahlheim Quelle 2	01.12.97	4,15	2,905	0,839	1,166	0,001	0,002	0,163	0,505	0,098	0,017	4,541	3,473	0,001	0,000	0,0004	9,06	8,63	0,12	2,1	11,34
Wahlheim Quelle 3	01.12.97	4,10	2,905	0,835	1,208	0,001	0,003	0,163	0,505	0,100	0,017	4,521	3,489	0,001	0,000	0,0004	9,05	8,63	-0,36	-4,1	17,54
Wallertheim(Br.2a)	21.07.87	10,50	12,326	0,002	5,580			0,000	27,186	0,409	0,000	1,048	1,070	0,068	0,061		28,41	29,84	-0,43	-4,8	17,70
Wallertheim(Br.2a)	09.06.88	10,71	7,475	0,000	6,038			0,147	20,661	0,384	0,000	0,848	0,905	0,258	0,050	0,0036	24,23	23,11	-0,42	-4,7	17,68
Wallertheim(Br.2a)	10.11.88	10,11	7,982	0,005	6,183		0,001	0,147	21,749	0,384	0,000	0,848	0,823	0,158	0,058	0,0018	24,28	24,02	1,43	4,9	58,25
Wallertheim(Br.2a)	23.05.89	9,79	18,250	0,002	6,308			0,147	29,796	0,486	0,000	1,747	1,498	0,222	0,067	0,0036	34,35	33,82	-1,12	-4,7	47,34
Wallertheim(Br.2a)	25.10.89	9,39	21,183	0,002	7,932			0,157	32,949	0,537	0,000	2,196	1,563	1,003	0,072	0,0109	38,51	38,33	-0,26	-1,1	48,30

Ort	Datum	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	Summe	Summe	Differenz	Differenz	Summe
		mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	mmol(eq)/l	Anionen	Kationen	mmol(eq)/l	Prozent	An ⁻ + K ⁺
Wallertheim(Br.2a)	13.02.90	8,21	20,506	0,006	11,159			0,170	34,059	0,512	0,000	2,645	1,646	2,399	0,078	0,0189	39,89	41,36	-0,53	-1,5	68,16
Weinheim Bachquelle	01.12.97	6,75	3,780	1,363	1,395	0,000	0,000	0,227	1,074	0,171	0,029	5,384	6,287	0,000	0,001	0,0007	13,29	12,95	-0,18	-0,5	76,84
Weinheim Weingut Gysler	01.12.97	6,85	3,187	0,837	2,165	0,000	0,000	0,225	0,753	0,420	0,026	5,469	5,941	0,001	0,003	0,0004	13,04	12,61	1,47	3,6	81,24

11.3 Hoch- und Rechtswerte der Probennahme-Lokationen

Probennahmepunkt	Hochwert	Rechtswert	Probennahmepunkt	Hochwert	Rechtswert	Probennahmepunkt	Hochwert	Rechtswert
Albig alt	5515990	3437250	Flonheim alt	5516775	3430375	Nack Tiefbrunnen	5512645	3426850
Albig Faulborn	5514850	3437330	Flonheim neu	5516780	3430380	Nieder-Wiesen	5510060	3425910
Albig neu	5515985	3437245	Flutgraben groß	5517230	3437500	NieWieDembachB2	5510515	3427010
Albig Sumborn	5515720	3437120	Flutgraben klein	5516750	3437390	NieWieDembachB5	5510340	3427165
Alzey Krötenquelle	5511850	3436050	Freimersheim alt	5508885	3434265	Oberwiesen Nebelb.	5507930	3427750
Alzey Poppenmühle	5511495	3433880	FreimershmAufsp.	5507875	3433850	Off.-Ebersfelderhof	5509660	3430015
Aulheimertal 1	5515265	3430435	FreimershmLaufbr1	5508485	3434220	Offenheim Dränage	5511075	3430530
Aulheimertal 2	5515175	3430830	FreimershmLaufbr2	5508275	3434365	Offenheim P1	5511070	3430620
Bechenheim alt	5510565	3428545	Haide Ambach	5504080	3425250	Offenheim P2	5511065	3430570
Bechenheim neu	5510450	3428650	HeimersBach/Albig	5515960	3437250	Offenheim P4	5511070	3430565
Bechhm.Steinbruch	5510625	3429300	Heimersheim	5514510	3433380	Offenheim P5	5511060	3430570
BermershmGraben	5516475	3435200	Heimersheim Quelle	5514570	3434175	Offenhm. Laufbr.1	5510495	3430260
Bornheim alt	5516430	3432250	Kettenheim Quelle	5509585	3435750	Offenhm. Steinbach	5510435	3430260
Bornheim neu	5516590	3432330	Kriegsfeld Kriegsfb.	5508530	3421575	Orbis Qu. Selz1	5507200	3427650
Dautenheim Dränage	5511510	3438880	Kriegsfeld Wasenb.	5507050	3422425	Orbis/Haide Bach	5505710	3427450
Dembach Quelle	5510500	3427425	Lonsheim	5516120	3433520	QuHeimersBach-N	5513975	3433350
Erb.-Büd. Schloßqu.	5513285	3430800	Lonsheimer Graben	5516400	3433750	QuHeimersBach-S	5513650	3434100
Erb.Büd.Moosbach	5513890	3430410	Mauchenheim Qu.1	5509455	3431885	QuWeidasserFreim.	5507950	3433875
Erb.Büd.Riedertal	5514210	3428265	Mauchenheim Qu.2	5509360	3432020	Thierwasen Laufbr.	5503250	3424040
Esselborn	5508700	3436300	Mauchenhm Lauf.1	5509435	3431300	Thierwasen Wiesb.	5502225	3422500
Esselborn Ess1	5508650	3436275	Mauchenhm Lauf.2	5509365	3431360	Wahlheim Qu.1	5509435	3435685
Esselborn Ess3	5508650	3436125	Morschheim Selz2	5507650	3428400	Wahlheim Qu.2	5509380	3435550
Esselborn Qu. Feld	5509150	3436500	Morschheim Selz3	5507200	3429000	Wahlheim Qu.3	5509430	3435555
Esselborn Quelle	5508725	3436325	Mörsfeld Schindelb.	5512390	3423360	Weinheim Bachquelle	5512350	3432025
Esselborner Bach	5509175	3436775	Nack Schachtbrunnen	5512670	3428140	Weinheim Qu. Gysler	5511525	3432610

Lebenslauf

Persönliche Daten:

- Name: Harald Schmitt
- Geburtsdatum/-Ort: 01.12.1969 in Mainz
- Wohnhaft in: 55286 Wörrstadt, Varuspfad 8
- Familienstand: verheiratet
- Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung:

- 1976-1980: Grundschule Wörrstadt
- 1980-1989: Gymnasium Nieder-Olm. Abschluß: Abitur

Studium:

- 1990-1996: Johannes-Gutenberg Universität Mainz: Studium der Geologie
- Dez. 1993: Diplom-Vorprüfung
- Juli 1996: Diplomarbeit „Mineralisation und Genese der Grundwässer im Raum Alzey/Rheinhausen. Abschluß: Diplom-Geologe

Promotion:

- Seit Januar 1997: Promotionsstudium an der Johannes-Gutenberg Universität Mainz

Wehrdienst:

- 1989-1990: 3.PzBtl. 154

Sonstige Tätigkeiten:

- 1987-1996: Gebr. Staab GmbH & Co, 55286 Wörrstadt, Presse Grosso
- Nov./Dez. 1996: Mitgestaltung des universitären Weiterbildungsseminars: Fachgerechte Grundwasserprobennahme und Plausibilitätskontrolle für Fachbehörden, Kommunen und Ingenieurbüros
- freiberufliche Tätigkeit in verschiedenen Ingenieurbüros und Tätigkeiten als wissenschaftliche Hilfskraft im Fachbereich Geowissenschaften
- Mitbetreuung verschiedener Praktikas und Exkursionen im Fachbereich Geowissenschaften

