# SEDIMENTPETROGRAPHIE UND LITHOFAZIES DER JUNGTERTIÄREN UND QUARTÄREN SEDIMENTE IM OBERRHEINGEBIET

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität zu Köln

vorgelegt von

## **Eva-Marie Hagedorn**

aus Leverkusen

2004

Referent:	Professor Dr. Wolfgang Boenigk
Korreferent:	Professor Dr. Klaus Krumsiek
Tag der mündlichen Prüfung:	01.07.2004

## INHALTSVERZEICHNIS

ZUSA	MME	NFASSU	JNG		1
SUMI	MARY.				3
1	EINLE	EITUNG	i		5
1.1	Proble	mstellun	g		6
1.2	Geogr	aphische	er Überblick		8
1.3	Geolog	gischer Ü			8
1.4	Flussg	eschicht	ie		13
1.5	Forsch	nungsges	schichte im	Oberrheingebiet	16
2	STRA SEDII	TIGRA	PHIE DER IM OBERI	JUNGTERTIÄREN UND QUARTÄREN RHEINGRABEN	18
2.1	Südlic	her Ober	rheingraber	۱	23
	2.1.1	Iffezheii	m-Formatior	۱	26
	2.1.2	Breisga	u-Formatior	۱	26
	2.1.3	Neuenb	ourg-Format	ion (Jüngere Schotter)	28
2.2	Mittler	er Oberr	heingraben	/ Karlsruher Schwelle	29
	2.2.1	Pliozän			30
	2.2.2	Quartär			30
2.3	Nördlic	cher Obe	errheingrabe	n	31
	2.3.1	Tektoni	sche / Morp	hologische Gliederung	32
	2.3.2	Pliozän			35
	2.3.3	Quartär			36
3	UNTE	RSUCH	IUNGSME	THODEN	39
3.1	Lithofa	ziesaufr	nahme der E	Sohrungen	39
3.2	Schwe	ermineral	analyse		42
	3.2.1	Probeni	nahme		43
	3.2.2	Probena	aufbereitung	]	44
	3.2.3	Analyse			45
		3.2.3.1	Schwermin	eralgruppen	45
			3.2.3.1.1	Granat-Gruppe	46
			3.2.3.1.2	Epidot-Gruppe	46
			3.2.3.1.3	Hornblende-Gruppe	46
			3.2.3.1.4	Alterit-Gruppe	46
			3.2.3.1.5	Pyroxen-Gruppe	47
			3.2.3.1.6	Gruppe der metamorphen Minerale	47
			3.2.3.1.7	Gruppe der stabilen Minerale	47
			3.2.3.1.8	Gruppe der seltenen Minerale	48
			3.2.3.1.9	Gruppe der opaken Minerale	48
			3.2.3.1.10	Apatit	48
	3.2.4	Auswer	tung der Sc	hwermineralanalyse	49
		3.2.4.1	Schwermin	eralassoziationen der Liefergebiete	49
		3.2.4.2	Einfluss vo	n Verwitterung auf das Schwermineralspektrum	52

4	BESC ANAL	HREIBUN	NG DER BOHRUNGEN UND AUFSCHLÜSSE / GEBNISSE	.55				
4.1	Probe	n aus Zuflü	ssen und Randgebieten des Oberrheingrabens	. 58				
	4.1.1	Sundgau		. 58				
		4.1.1.1 III		.61				
	4.1.2	Zuflüsse a	us dem Schwarzwald	. 62				
		4.1.2.1 W	/iese	. 62				
		4.1.2.2 Ka	ander	. 63				
		4.1.2.3 N	eumagen	. 64				
		4.1.2.4 D	reisam / Bohrungen im Freiburger Stadtgebiet	. 64				
		4.	1.2.4.1 Bohrung Dreisam-Tal	. 66				
		4.	1.2.4.2 Bohrung Freiburg Hauptbahnhof B1	. 67				
		4.	1.2.4.3 Bohrung DB Unterwerkstraße B2	. 68				
		4.	1.2.4.4 Bohrung DB Unterwerkstraße B3	. 69				
		4.	1.2.4.5 Bohrung Lorettobad	.70				
		4.1.2.5 El	lz	.71				
		4.	1.2.5.1 Bohrung Teningen	.73				
		4.	1.2.5.2 Bohrung Emmendingen	.76				
		4.1.2.6 S	chutter	.77				
		4.1.2.7 Ki	inzig	.77				
		4.1.2.8 R	ench	.78				
		4.1.2.9 Murg						
	4.1.3	Zuflüsse aus den kristallinen Vogesen						
		4.1.3.1 D	oller	. 81				
		4.1.3.2 G	iessen	. 81				
		4.1.3.3 Bi	reusch-Sande bei Holtzheim	.81				
	4.1.4	Zuflüsse a	aus dem triassischen Teil der Vogesen	. 82				
	4.1.5	Neckar		.83				
	<b>.</b>	4.1.5.1 M	auer	. 84				
4.2	Südlic	her Oberrhe	eingraben	.88				
	4.2.1	Bohrunger	n Neuenburg-Steinenstadt	.88				
	4.2.2	Bohrung C	Chalampé	.91				
	4.2.3	Bohrung N	/larie-Louise / Kalibecken	.93				
	4.2.4	Bonrung F	Kumersneim-le-Haut	.95				
	4.2.5	Bonrung F	lirtzreiden	.97				
	4.2.0	Bohrung Heitersheim / Weinstetter Muhle						
	4.2.7	7 Bonnung Bleingalten						
	4.2.0	3 Interreg II - Bohrung Hartheim						
	4.2.9	Bobrung N	- Bolitung Nambsheim	107				
	4.2.10	Bohrung N	liederherdheim	113				
	4.2.11	Bohrung H	Hattanschlag	114				
	4 2 13	Bohrung F	Rienel	116				
	4 2 14	Bohrunger	n l ahr	119				
	4,2,15	Bohruna P	Plobsheim	122				
	4,2,16	Bohruna	)ffenburg	124				
			- ·					

4.3	Mittler	er Oberrheingraben	127
	4.3.1	Bohrung Rheinmünster	127
	4.3.2	Bohrung Iffezheim	128
	4.3.3	Zum Vergleich: Bohrungen Soufflenheim / Sessenheim / Lauterbourg	132
	4.3.4	Bohrungen Rheinstetten	136
	4.3.5	Bohrungen Eggenstein	138
	4.3.6	Bohrungen Karlsruhe	141
	4.3.7	Bohrung Kronau	147
	4.3.8	Bohrungen Bienwald	149
		4.3.8.1 Bohrung B Mundatwald	151
		4.3.8.2 Bohrung C Hippodrome Wissembourg	153
		4.2.8.3 Bohrung G Deutschhof	154
		4.2.8.4 Bohrung Bienwaldbrunnen / Kapsweyer	156
	4.3.9	Sandgrube Riedseltz	158
4.4	Nördlie	cher Oberrheingraben	159
	4.4.1	Bohrungen Schwetzingen	159
	4.4.2	Bohrung Speyer-Nord	160
	4.4.3	Bohrung Schifferstadt	163
	4.4.4	Bohrungen Ludwigshafen-Maudach	167
	4.4.5	Ludwigshafen Parkinsel	171
	4.4.6	Bohrung Mannheim-Lindenhof	180
	4.4.7	Bohrungen Mannheim Ergo-Hochhaus	183
	4.4.8	Bohrung Mannheim-Friesenheimer Insel	191
	4.4.9	Bohrungen Mannheim-Käfertal	193
	4.4.10	Bohrung Osthofen	198
	4.4.11	Aufschlüsse im Mainzer Becken	201
		4.4.11.1 Unterer Meeressand am Steigerberg bei Eckelsheim	203
		4.4.11.2 Dinotheriensande / Forschungsgrabung Eppelsheim	204
		4.4.11.3 Pliozäne Kaolinsande / Monsheim - Kriegsheim	206
		4.4.11.4 Freinsheim-Schichten am Palmberg bei Großkarlbach	208
		4.4.11.5 Mainz-Weisenau	209
_			~ . ~
5	ZUSA	MMENFASSENDE INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	212
5.1	Plioza	n	215
	5.1.1	Unterscheidung in eine zentrale fluviatile Fazies und eine Grabenrandfazies	215
	5.1.2	Verlauf des pliozanen Ur-Rheins	216
	5.1.3	Vertikale Untergliederung der pliozänen Sedimente	219
5.2	Quarta		220
	5.2.1	Stratigraphische Untergliederung der Sedimente im Sudgraben	221
		5.2.1.1 Veranderung im Mineralspektrum durch Liefergebietsanderungen	222
		5.2.1.2 Veranderung des Mineralspektrums infolge Verwitterung	223
	5.2.2	Korrelation Sud- / Nordgraben	224
	5.2.3	Petrographische Zusammensetzung der Grabenrand-Schüttungen	225
	5.2.4	EINTIUSS VON LOKAISCHUttungen auf die Zusammensetzung der Grabensedimente	227
5.3	Korrel	ation mit dem Sundgau und der Niederrheinischen Bucht	230
	5.3.1	Sundgau - Oberrheingraben	230
	5.3.2	Oberrneingraben - Niederrheinische Bucht	230

6	DANK	.232
7	LITERATURVERZEICHNIS	.234

### ERKLÄRUNG

## LEBENSLAUF

### ANHANG

A	Übersicht der beprobten Bohrungen und Aufschlüsse
В	Zähltabellen der Schwermineralanalysen
С	Röntgendiagramm der Probe 49,5 m aus der Interreg II-Bohrung Hartheim
D	Verzeichnis der Abbildungen im Text
E	Verzeichnis der Tabellen im Text
F	Verwendete Abkürzungen

### ANLAGEN

Anlage 1:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Emmendingen
Anlage 2:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Chalampé
Anlage 3:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Heitersheim
Anlage 4:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Bremgarten
Anlage 5:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Interreg II - Bohrung Hartheim
Anlage 6:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Interreg II - Bohrung Nambsheim
Anlage 7:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Nambsheim-Balgau
Anlage 8:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Niederhergheim
Anlage 9:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Hettenschlag
Anlage 10:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Riegel
Anlage 11:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Plobsheim
Anlage 12:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Iffezheim
Anlage 13:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Karlsruhe B2
Anlage 14:	Schwermineraldiagramm Bohrung Pliozänpegel PP19
Anlage 15:	Schwermineraldiagramm Saugbohrung FWR7
Anlage 16:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Kronau
Anlage 17:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Schwetzingen F8/3
Anlage 18:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Schwetzingen F10
Anlage 19:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Schifferstadt
Anlage 20:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel
Anlage 21:	Schwermineraldiagramm Bohrung Osthofen
Anlage 22:	Legende zu den Schwermineraldiagrammen und Signaturen der Lithofaziesprofile

## Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Lockergesteine des Quartärs und Jungtertiärs im Bereich des Oberrheingrabens anhand zahlreicher, qualitativ hochwertiger Forschungsbohrungen sedimentpetrographisch untersucht. Zusätzlich erfolgte eine Lithofaziesaufnahme der Sedimentabfolgen unter Leitung des LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG. Vereinzelt geben paläontologische und paläomagnetische Analysenbefunde Hinweise auf die zeitliche Einstufung der Sedimentabfolgen. Ergänzend wurden Sedimente von den Grabenrändern in Tagesaufschlüssen und Bohrungen petrographisch analysiert. Die aus allen Untersuchungen resultierenden Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Entstehung und die stratigraphische Gliederung der quartären und jungtertiären Lockergesteine des Oberrheingrabens zu.

Im Bereich des südlichen Oberrheingrabens sind die pleistozänen Lockergesteinsabfolgen lithofaziell in die Breisgau-Formation und die Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) zu untergliedern. Die Breisgau-Formation lässt sich anhand der Schwermineralbefunde in die Unteren Breisgau-Schichten - mächtige Kiesabfolgen mit verwitterten Geröllen, dichtem Gefüge und einem geringen Hornblende-Anteil - und die Oberen Breisgau-Schichten mit deutlich höherem Hornblende-Gehalt, zunehmendem Anteil an alpinen Geröllen und lockererem Sedimentgefüge unterteilen. Ob die Veränderung im Schwermineralspektrum zwischen Unteren und Oberen Breisgau-Schichten durch eine Liefergebietsänderung oder durch Verwitterungseinwirkung entstand, kann bislang nicht eindeutig beantwortet werden. Die Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) zeichnet sich durch frische Gerölle vorwiegend alpiner Herkunft aus, ist aber schwermineralanalytisch nicht von den Oberen Breisgau-Schichten abzugrenzen. Innerhalb dieser Neuenburg-Formation lassen sich entlang der Bohrprofile recht deutlich zwei Groblagen verfolgen, deren Entstehung vermutlich glazialmorphologisch zu erklären ist.

Im südlichsten Abschnitt des Grabens folgen unterhalb der pleistozänen Sedimente oligozäne Ablagerungen. Weiter nach Norden sind unter den Quartärabfolgen Ablagerungen aus dem Pliozän, die Iffezheim-Formation, eingeschaltet. Die jungtertiären Sedimente lassen sich als Lokalschüttungen von den Grabenrändern ohne alpinen Zufluss eindeutig durch ihr Schwermineralspektrum von den alpin geprägten Sedimentschüttungen abgrenzen, die seit dem obersten Pliozän in den Oberrheingraben gelangen. Beim Vergleich der in mehreren Bohrungen erteuften Sedimente der Iffezheim-Formation fallen deutliche Unterschiede in den ermittelten Schwermineralspektren auf: In Bohrprofilen aus dem Südgraben (Hartheim, Nambsheim, Plobsheim) lässt sich die Iffezheim-Formation in einen oberen Abschnitt mit überwiegend stabilen Schwermineralen (Zirkon, Turmalin, Anatas) und einen unteren Abschnitt, der zusätzlich einen höheren Anteil an instabilen Schwermineralen (Granat, Hornblende und Epidot) beinhaltet, unterscheiden. In den untersuchten Bohrabfolgen aus dem nördlichen Oberrheingraben (Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Parkinsel und Osthofen) treten dagegen pliozäne Sedimente mit einem gemischten Schwermineralspektrum auf (instabile und stabile Schwerminerale), das mit dem des unteren Abschnitts der Iffezheim-Formation vergleichbar ist.

Das aus instabilen und stabilen Mineralen gemischte Schwermineralspektrum in den pliozänen Ablagerungen lässt sich durch Sedimentschüttungen aus Schwarzwald und Vogesen in den Graben und deren Weitertransport nach Norden durch einen pliozänen Ur-Rhein erklären. Petrographische Vergleichsanalysen aus rezenten fluviatilen Schüttungen der Randgebirge bestätigen die Ähnlichkeiten der Mineralzusammensetzungen. In anderen Bohrungen (Iffezheim) und Aufschlüssen am Grabenrand (Riedseltz, Kriegsheim) sind die pliozänen Sedimente dagegen durch stabile Schwerminerale geprägt, was auf einen Sedimenteintrag aus Buntsandstein-Gebieten oder einen höheren Verwitterungsgrad des Materials ("Weisses Pliozän") schließen lässt.

Bedingt durch die Struktur des Oberrheingrabens mit den großen Quartärmächtigkeiten vor allem in Süd- und Nordgraben und der dazwischen liegenden Karlsruher Schwelle, auf der nur deutlich reduzierte Quartärprofile erhalten sind, ist die Korrelation zwischen Süd- und Nordgraben problematisch. Zudem standen im Zeitraum der hier dargestellten Untersuchungen nur wenige ausreichend tiefe Bohrungen im Nordgraben zur Verfügung, die die gesamte quartäre Abfolge durchteuften und das Tertiär erreichten, und somit ausreichende Vergleichsmöglichkeiten der Sedimentabfolgen aus dem Süd- und dem Nordgraben boten.

Im mittleren und nördlichen Oberrheingraben lassen sich die Lithofaziesmuster der pleistozänen Sedimentformationen aus dem südlichen Grabengebiet nicht weiter verfolgen. Durch die zunehmende Sortierung des Materials und Vermischung mit Schüttungen von den Grabenrändern verändert sich der Charakter der Grabensedimente in Richtung Norden. Daher kann die für den südlichen Oberrheingraben neu definierte Lockergesteinsgliederung bislang nicht auf die Sedimentabfolgen im mittleren und nördlichen Oberrheingraben übertragen werden. Hier wird vorerst an der klassischen Einteilung in Kieslager und trennende Zwischenhorizonte festgehalten, deren bisherige zeitliche Einstufung jedoch durch neuere Datierungen angepasst wurde.

Die Untersuchungsergebnisse für den nördlichen Oberrheingraben haben ergeben, dass der Rhein bis auf einen kurzen Zeitabschnitt zu Beginn des Quartärs und zum Ende der letzten Eiszeit nicht am westlichen Grabenrand geflossen ist. Hier treten bis zu 70 m mächtige Sedimente auf, deren stabiles Schwermineralspektrum auf eine Herkunft aus den Buntsandstein-Gebieten des Pfälzerwaldes schließen lässt. Durch unterlagernde alpine Rheinablagerungen sowie durch ihren Polleninhalt sind diese Lokalschüttungen in das Quartär einzuordnen. Ein Einfluss des Rheins kann für diesen Ablagerungszeitraum petrographisch ausgeschlossen werden. Diese Lokalschüttungen wurden in den Bohrungen Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Maudach und Osthofen angetroffen. Im Profil der Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel zeigt sich eine mehrfach wechselnde Sedimentation von Rhein- und Grabenrandschüttungen. Im östlichen Bereich der Grabenscholle belegen die alpin geprägten Schwermineralspektren der quartären Sedimente einen dauerhaften Einfluss des Rheins (Bohrungen in Mannheim, Schwetzingen).

Die Ursachen für den wechselnden Verlauf des Rheins sind in einer tektonischen und klimatischen Steuerung zu vermuten. Durch die starke Absenkung am Ostrand des Grabens ("Heidelberger Loch") ist ein zeitweilig dieser Einsenkung folgender Rheinverlauf denkbar. Weiterhin könnten tektonische Bewegungen der Grabenschollen (Westliche und Östliche Grabenscholle) einen wichtigen Einfluss auf den Verlauf der Gewässer genommen haben. Hinzu kam die wechselnde Sedimentfracht zwischen Hoch- und Spätglazialen sowie während der Warmzeiten.

In einigen Bohrprofilen aus dem Nordgraben zeichnet sich in den obersten Metern im Schwermineralinhalt ein deutliches Nachlassen des alpinen Einflusses zugunsten von Lokalschüttungen ab. Dies könnte auf eine Unterbrechung des fluviatilen Sedimenttransports aus den Alpen durch das Bodenseebecken während des Holozäns zurückzuführen sein.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern wichtige Informationen zur Entstehungsgeschichte der jungtertiären und quartären Sedimente im Oberrheingraben, haben aber auch neue Fragestellungen eröffnet, die weiterführender Untersuchungen bedürfen. Eine konsequente Bearbeitung tiefer Forschungsbohrungen mittels verschiedenster Fachdisziplinen bietet gute Aussichten auf eine Klärung dieser offenen Fragen.

## Summary

In this study, Quaternary and Upper Tertiary unconsolidated sediments from the Upper Rhine Graben were petrographically analysed in numerous high quality core drillings. In addition, the sedimentary lithofacies were investigated under direction of the LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG. The chronological classification of the sedimentary successions was established by the interpretation of sporadic palaeontological and palaeomagnetical data. Furthermore, sediments of the Graben margins were examined in outcrop and drill core. Results from these investigations allow interpretations with respect to the development and the stratigraphic organisation of the Quaternary and Upper Tertiary unconsolidated sediments of the Upper Rhine Graben.

In the southern part of the Upper Rhine Graben, the Pleistocene sediment successions can be subdivided into the Breisgau-Formation and the Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter). On the basis of the performed heavy mineral data, the Breisgau-Formation can de divided into the Untere Breisgau-Schichten, which represent thick successions of weathered gravel with a relatively dense structure and minor amounts of hornblende, and the Obere Breisgau-Schichten, which are characterised by a notably higher hornblende content, increasing proportions of alpine rocks and a more loosely packed sediment structure. It is uncertain whether the differences in the heavy mineral assemblages of the Untere und the Obere Breisgau-Schichten are the result of a change in the catchment area or reflect the effects of weathering. The Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) is characterised by fresh pebbles of dominantly alpine origin, but cannot be distinguished from the Obere Breisgau-Schichten by heavy mineral analysis. Within the Neuenburg-Formation two coarse-grained layers of probably glacial origin can be correlated across the drilled profiles.

In the southernmost section of the Upper Rhine Graben, the Pleistocene sediments are underlain by Oligocene deposits, while further to the north, Pliocene deposits of the Iffezheim-Formation occur beneath the Quaternary strata. The Upper Tertiary sediments derived from the Graben margins without alpine supply can be clearly distinguished by their different heavy mineral assemblage from the alpine dominated sediments, which were accumulated in the Upper Rhine Graben since the uppermost Pliocene.

A comparison of sediments from the Iffezheim-Formation identified in several drill cores revealed apparent differences in heavy mineral assemblages: In drill cores from the South Graben (Hartheim, Nambsheim, Plobsheim) this succession can be divided into an upper section, which is dominated by stable minerals (zircon, turmaline, anatase), and a lower section characterised by a higher percentage of unstable minerals (garnet, hornblende and epidote). In contrast, in the examined drill cores of the North Graben (Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Parkinsel and Osthofen) only Pliocene sediments with a mixed heavy mineral assemblage (with both unstable and stable minerals) were identified. These are similar to those found in the lower section of the Iffezheim-Formation in the South Graben.

The mixed heavy mineral assemblages (containing both unstable and stable minerals) identified in the Pliocene deposits result from the contribution of sediments derived from the Black Forest and the Vosges into the Graben, which were further transported to the north by a Pliocene proto-Rhine. Petrographical analyses of recent fluvial accumulations from the graben margins support the similarities of the mineral composition. In other drill cores (Iffezheim) and outcrops at the Graben margin (Riedseltz, Kriegsheim) the Pliocene sediments are characterised by predominantly stable minerals. This suggests a sediment origin from Buntsandstein areas at the Graben margins or a higher degree of weathering of the source material ("Weisses Pliozän").

Along the Upper Rhine Graben, the greatest thicknesses of Quaternary sediments occur in the southern and northern part of the Graben. Both areas are separated by the intervening threshold of Karlsruhe, where only reduced Quaternary successions have been preserved. Due to this internal structure of the Upper Rhine Graben the correlation between the Quaternary successions of the South and the North Graben is problematic. Additionally, during this study only few sufficiently deep drillings in the northern Graben were available, which traversed the entire Quaternary succession and reached Tertiary sediments thus offering the potential of comparing the sedimentary successions from the southern and the northern Graben.

In the middle and northern Upper Rhine Graben the Lithofacies pattern of the Pleistocene sediment formations from the southern Graben cannot be traced any further. The character of the Graben sediments changes towards the north as a result of the increasing sorting of the sediments and the mixture with material from the margins of the Graben. Therefore, the newly defined stratigraphic scheme for unconsolidated sediments of the South Graben cannot be applied to the sediment successions of the middle and northern Upper Rhine Graben so far. In these areas, this study adheres to the established distinction between gravel-layers ("Kieslager") and intercalated fine-grained horizons ("Zwischenhorizonte"), whose chronological classification has been revised on the basis of more recent age contraints.

The analytical results obtained for the northern Upper Rhine Graben show that the Pleistocene Rhine did not flow along the western margin of the Graben, with the exception of a short period of time at the beginning of the Quaternary and the end of the last ice age. Here sediments up to 70 m thickness and a stable heavy mineral assemblage occur, which were probably derived from the Buntsandstein areas of the Pfälzerwald. These local sediments are of Quaternary age as indicated by underlying alpine Rhine deposits as well as by their pollen contents. Petrographical analyses preclude an influence from the Rhine during this period of deposition. Sediments of this type have been identified in the drillings of Schifferstadt, Speyer, Ludwigshafen-Maudach and Osthofen. In the drilling profile of Ludwigshafen-Parkinsel, repeated changes between Rhine-derived and local sediments are apparent. In the eastern section of the Graben, the alpine-dominated heavy mineral assemblage of the Quaternary sediments provides evidence for a prolonged influence of the Rhine (drillings in Mannheim, Schwetzingen).

As reasons for the changing course of the Rhine tectonic and climatic control factors can be assumed. As a result of the great subsidence near the eastern margin of the Graben ("Heidelberger Loch"), the Rhine may have occasionally followed this depression. Furthermore, tectonic movements of the Graben blocks (western and eastern Graben block) could have influenced the course of the fluvial drainage system. In addition, changes in the sediment supply between high glaciation and late glacial times as well as during the interglacial periods have to be considered.

In some drill sections of the North Graben, the heavy mineral assemblages of the uppermost metres are characterised by decreasing alpine influences, while local contributions become more important. This could be caused by an interruption of the fluvial sediment transport from the Alps by the Bodensee basin during the Holocene.

The results of this study provide important information with regard to the evolution of the Upper Tertiary and Quaternary sediment-fill of the Upper Rhine Graben. Some new questions derived from the presented data may be answered by continued drilling research and the application of various analytical methods.

## 1 Einleitung

Der Rhein ist eines der größten Flusssysteme Europas. Bevor der Rhein aus den Alpen kommend durch den Oberrheingraben zur Nordsee entwässerte, war er Teil des alpinen Drainage-Systems Richtung Mittelmeer (via Rhône) und Schwarzes Meer (via Donau). Während dieser Zeit gelangte nur Abtragungsmaterial aus den Randgebirgen in den Oberrheingraben. Im obersten Pliozän änderte sich infolge tektonischer und klimatischer Einflüsse die Entwässerungsrichtung nach Norden (s. Kap. 1.4). In der Folge gelangten durch den Rhein alpin-geprägte Sedimente in den Oberrheingraben.

Von den Alpen bis in den Oberrheingraben passiert der Rhein verschiedene Landschaftstypen. Die tiefen Alpentäler (Alpenrhein, Walensee, Reuss, Aare) und die glazial gebildeten Becken im Alpenvorland (z. B. das Bodensee-Becken) repräsentieren die glazial geprägte Einzugsregion. Die Sedimentfüllung der Alpentäler ist meist sehr grob bei schlechtem Erhaltungspotenzial älterer stratigraphischer Einheiten. Informationen über die zeitliche Entwicklung stammen primär aus den Feinsedimenten der distalen Vorland-Becken. Das Hochrheingebiet bildete eine Schwelle zwischen der randalpinen Beckenlandschaft und der Sedimentfalle des südlichen Oberrheingrabens. Hier wurde vorwiegend Material durchtransportiert; es sind nur Akkumulationsreste in Form von fluviatilen Terrassen erhalten (ELLWANGER et al. 2002). Auch die Sundgau-Region diente dem Sedimenttransport Richtung Mittelmeer.

Der einsinkende Oberrheingraben bildete schließlich das Hauptsedimentationsgebiet für das alpine Erosionsmaterial. Der Hauptanteil an groben alpinen Geröllen wurde bereits im südlichen Teil des Oberrheingrabens abgelagert. Während im Markgräfler Land die Grobsedimente teilweise Block-Körnungen aufweisen, nimmt die Korngröße bis Rastatt / Baden-Baden auf Mittelkies-Größe ab. Nach Norden folgt eine Region mit reduzierten Quartärprofilen (Karlsruher Schwelle). Im nördlichen Oberrheingraben herrschen Sande und Kies-Sande vor, in denen feinkörnige Zwischenhorizonte eingeschaltet sind, die vereinzelt zeitliche Zuordnungen erlauben. Lokalschüttungen aus den Randgebirgen vermischen sich mit der alpinen Sedimentfracht. Nahe der Stadt Heidelberg liegt ein Senkungsgebiet mit den mächtigsten und vermutlich vollständigsten Sedimentabfolgen aus der Zeit Plio-Pleistozän ("Heidelberger Loch"). Das Rheinsystem setzt sich durch das Mittelrheintal im Rheinischen Schiefergebirge in das Senkungsgebiet der Niederrheinischen Bucht bis zur niederländischen Nordsee fort.

## 1.1 Problemstellung

Der Rhein verbindet als einziger Fluss in Mitteleuropa die Alpen mit der Nordsee. Dies bedeutet für das Quartär auch eine Verknüpfung der alpinen Vergletscherungsgebiete mit den Vorstößen des Inlandeises im nordeuropäischen Raum. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die bekannten stratigraphischen Sukzessionen von Plio- und Pleistozän aus dem nördlichen Alpenvorland, dem Bresse-Graben und der Niederrheinischen Bucht über die Sedimentabfolgen im Oberrheingraben miteinander zu vergleichen. Diesen Abfolgen kommt eine überregionale Bedeutung zu, da in ihnen die Tertiär/Quartär-Grenze gesucht werden muss. Insbesondere die Niederrheinische Bucht (mit den Typlokalitäten des Reuverium und Tiglium), aber auch die Bresse-Region, werden immer wieder als Typregionen für diese Grenzziehung diskutiert.

Zeitgleiche Sedimente aus dem Oberrheingraben waren bisher kaum zugänglich, da Tagesaufschlüsse fehlen bzw. sehr selten sind. In jüngster Zeit wurden vom LBRG Baden-Württemberg, vom LGB Rheinland-Pfalz und vom BRGM Service Géologique Régional d'Alsace im Oberrheingebiet Bohrungen niedergebracht, welche die jungtertiären und quartären Grabensedimente erschließen. Durch die zahlreichen, gekernten Bohrprofile ergibt sich eine ganz neue Qualität des Probenmaterials, das mit einheitlichen Methoden bearbeitet werden kann, und damit die Aussicht, neue Erkenntnisse über die Schichtenfolge und die Entwicklung im Oberrheingebiet seit dem Oberpliozän zu erhalten.

Die bisherige stratigraphische Gliederung der Sedimentfüllung im Oberrheingraben beruht auf einer groben Einteilung in drei Kieslager, die durch feinkörnigere Zwischenhorizonte getrennt werden. Diese Gliederung ist in den Bohrprofilen im südlichen und mittleren Teil des Oberrheingrabens meist nicht nachzuvollziehen, da die feinkörnigen Horizonte, in denen datierbare paläontologische Befunde zu erwarten wären, überwiegend fehlen. Daher kommt bei der Analyse der Bohrungen der sedimentologischen und sedimentpetrographischen Bearbeitung eine besondere Bedeutung zu.

Aus vorangegangenen Untersuchungen in der Niederrheinischen Bucht, aus dem Sundgau und dem Bresse-Gebiet ist ein markanter petrographischer Wechsel in den Abfolgen bekannt, der durch das Einsetzen bzw. Aussetzen von alpinen Schüttungen verursacht wird. Dieser Wechsel, der im südlichen Oberrheingebiet im obersten Pliozän durch den Anschluss des Rheins an den Alpenraum erfolgte, lässt sich einwandfrei in den Bohrungen aus dem Oberrheingebiet nachweisen.

Von den Grabenrändern erfolgen Schüttungen lokaler Zuflüsse in den Graben, deren möglicher Einfluss auf die Schwermineralfraktionen der Sedimente durch Vergleichsproben überprüft werden soll.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die lithologischen Einheiten des Arbeitsgebietes über ihren

sedimentpetrographischen und lithofaziellen Charakter zu erfassen, um in Kombination mit anderen Analysenmethoden, wie beispielsweise der Pollenanalyse und der Magnetostratigraphie, eine stratigraphische Untergliederung zu ermöglichen.



Abb. 1: Übersichtskarte des Oberrheingrabens und seiner Randgebirge (verändert nach WALTER 1992).

## 1.2 Geographischer Überblick

Die Oberrheinebene erstreckt sich auf etwa 300 km Länge zwischen dem Faltenjura südlich von Basel und dem Rheinischen Schiefergebirge nordwestlich von Frankfurt in Südsüdwest-Nordnordost-Richtung. Die Breite des Oberrheingrabens beträgt bis zu 36 km. Im nördlichen Drittel, etwa ab Bruchsal, biegt die östliche Begrenzung in nordsüdlichen Verlauf um, während die westliche Begrenzung die Nordnordost-Richtung beibehält. Dadurch verengt sich die Oberrheinebene nach Norden auf etwa 20 km Breite. Ihre Oberfläche senkt sich von 280 m NN im Süden bis auf 80 m NN im Norden ab. Dabei ist das Gefälle im südlichen Grabenabschnitt deutlich größer als im nördlichen.

Die Oberrheinebene wird seitlich von Randgebirgen begrenzt (s. Abb. 1), die im Schwarzwald und in den Vogesen bis über 1200 m, im Odenwald und Pfälzerwald bis über 500 m Höhe erreichen. Im Bereich des Kraichgaus zwischen Schwarzwald und Odenwald sowie der Pfalzburger Senke zwischen Vogesen und Pfälzerwald bestehen die Grabenränder aus flacherem Hügelland. Am Nordwestrand des Oberrheingrabens schließt sich das Rheinhessische Hügelland an die Oberrheinebene an. Im Nordosten erfolgt ein Übergang in die Hessische Senke.

Die Oberfläche der Tiefebene wird durch die flächenhaften Sand- und Kies-Ablagerungen der letzten Eiszeit geformt. In die Niederterrassenfläche (Hochgestade) hat sich der nacheiszeitliche Rhein einige Meter tief eingeschnitten und eine mehrere Kilometer breite Aue (Rheinniederung) geschaffen. Diese baut sich aus Kiesen und Sanden auf, die häufig von Auelehmbildungen bedeckt werden.

Aus den großen, vegetationslosen Schotterflächen wurden während der Kaltzeiten die feinen Bestandteile der zeitweise trockenliegenden Fluss- und Schmelzwasserablagerungen ausgeweht, mit Staubstürmen über das Land verfrachtet und bei nachlassender Transportkraft des Windes als kalkreicher Löss wieder abgelagert. Ähnlich ist der Flugsand entstanden, der besonders in der nördlichen Oberrheinebene vorkommt und dort örtlich zu Dünen bis über 20 m Höhe aufgeweht wurde.

## 1.3 Geologischer Überblick

Zentraleuropa wird vom Oslo-Graben im Norden bis zum Rhône-Graben im Süden durch ein kontinuierliches System von Riftstrukturen in Nordnordost-Südsüdwest-Richtung durchlaufen, das im Zusammenhang mit großräumigen plattentektonischen Bewegungen steht. Das mittlere Segment dieses Systems ist der Rheingraben (ILLIES 1967). Nach Meinung von AHORNER (1970) setzen sich die aktiven tektonischen Bewegungen vom Oberrheingraben eher in Nordwest-Richtung durch die Niederrheinische Bucht in den Zentralgraben der Nordsee fort, als nach Nordnordosten über die Hessische Senke im Zuge der Mittelmeer-Mjösen-Zone, die nur geringe Seismizität aufweist. Nach Süden verläuft das Bruchsystem über die Rhône-Saône-Senke zum Mittelmeer.

Die Ursache der Grabenbildung liegt vermutlich in einer Aufwölbung des Erdmantels, die in der Kreide einsetzt. Schwarzwald, Vogesen, Odenwald und Pfälzerwald bilden eine vom Graben unterbrochene, domartige Aufwölbung von etwa 200 km Spannweite, in dessen Zentrum sich der Kaiserstuhl-Vulkan befindet, wo die Kruste-Mantel-Grenze auf ca. 24 km Teufe aufsteigt (ILLIES 1974 b). Die Mantelaufwölbung steht wahrscheinlich in Zusammenhang mit der alpinen Orogenese, wobei die Manteldiapire antagonistisch zur Subduktion im Bereich der Alpen wirken. HÜTTNER (1991) geht dagegen von einem primären Auseinanderweichen der Erdkruste infolge Zerrung und dadurch verursachter Mantelaufwölbung aus.

Der Untergrund im Grabengebiet lässt sich dreigliedern. Das Basement ist durch die variscische Orogenese geprägt. Es umfasst Gesteine vom Präkambrium bis zum Karbon. Darauf folgt eine Sedimentbedeckung aus dem Zeitraum Perm bis Jura, die ungefaltet ist, aber durch zahlreiche Störungen unterbrochen wird. Die Mächtigkeit der mesozoischen Schichten beträgt 1500 m bei Karlsruhe und 1100 m nahe Freiburg (ILLIES 1962, 1967). Das oberste Stockwerk bilden eozäne bis quartäre Lockersedimente, die bis zu 3500 m mächtig sind.

Gegen Ende der Jurazeit hebt sich der Rheinische Schild und bleibt trotz des in der Kreide weltweit ansteigenden Meeresspiegels größtenteils landfest, was zur Abtragung der mesozoischen Schichten im Hebungszentrum führt.

Die eigentliche Grabenbildung beginnt im Alttertiär. Im mittleren Eozän setzen die ersten Einsenkungen im Grabenbereich infolge von Krustendehnung ein. Eine Reihe von flachen Seen bilden sich zwischen dem heutigen Frankfurt und Basel. Die Mächtigkeit der Ablagerungen (bohnerzführende Tone und Sande, Süßwasserkalke) beträgt meist unter 100 m (ILLIES 1962).

Erst im oberen Eozän kommt es durch zunehmende Absenkung zu einer flachmarinen Ingression von Süden. Nördlich vom heutigen Heidelberg zeigen sich nur geringfügige Einsenkungstendenzen. Die marin-brackischen Sedimente aus oberem Eozän (Lymnäenmergel) und unterem Oligozän (Pechelbronner Schichten / Streifige Mergel, Bunte Mergel) erreichen Mächtigkeiten von 1800 m im südlichsten Abschnitt des Grabens und ca. 1200 m nahe Karlsruhe. Besonders der südliche Grabenabschnitt ist in Schwellen- und Beckenregionen gegliedert, z. B. den Mülhausener Horst zwischen dem Wittelsheimer und Münchhauser Kalibecken, was sich in lokalen Fazies- und Mächtigkeitsunterschieden abzeichnet. Im Südgraben ist das älteste Tertiär salzführend (ILLIES 1962).

Ab dem mittleren bis oberen Oligozän wird auch der Nordgraben in die Absenkung einbezogen. Die maximale Mächtigkeit der marin-brackischen Sedimente aus dieser Zeitspanne (Graue Schichtenfolge, Niederröderner Schichten) wird mit mehr als 1000 m nahe Karlsruhe erreicht. An den Küsten wird der sogenannte Meeressand (s. Kap. 4.4.11.1) und die Sande der Elsässer Molasse (s. Kap. 4.2.8) abgesetzt. Pfälzer- und Odenwald beginnen sich herauszuheben (ILLIES 1967). Im ausgehenden Oligozän und unteren Miozän lässt der Meereseinfluss nach. Im Süden des Grabens bilden sich die bis 600 m mächtigen Süßwasserschichten, im Norden die Landschneckenmergel (über 500 m).

Infolge starker Absenkung kommen im Nordgraben bis zum unteren Miozän etwa 1650 m brackisch-marine Sedimente (Cerithien-, Corbicula-, Hydrobien-Schichten) zur Ablagerung. Im Südgraben stagnierte die Senkungstendenz im Miozän, das Meer zog sich zurück. Gleichzeitig erreicht der Vulkanismus im Umfeld des Grabens sein Maximum. Die Vorkommen tertiärer Eruptivgesteine am Oberrhein liegen meist in unmittelbarer Nachbarschaft der Randbrüche des Grabens (z. B. Hegau) oder entlang von Störungen (Kaiserstuhl) (WIMMENAUER 1952).

Im Obermiozän lässt auch im Nordgraben die Senkungsgeschwindigkeit wieder deutlich nach, wobei die Schollenbewegungen jedoch anhalten. Das limnische, mergelig-sandige Obermiozän (Jungtertiär I) erreicht seine größte Mächtigkeit bei Worms mit 280 m. Südlich von Karlsruhe finden sich keine obermiozänen Ablagerungen (DOEBL 1967). Hier herrscht Abtragung und Sedimentumlagerung vor. Im Mainzer Becken werden nach längerer Sedimentationsunterbrechung im Unter- und Mittelmiozän die obermiozänen Dinotheriensande abgelagert (BARTZ 1936, s. Kap. 4.4.11.2). Sie müssen durch das Flusssystem des Ur-Rheins durch den Graben transportiert worden sein, da sie Gerölle aus dem Nordschwarzwald und den Nordvogesen enthalten (BARTZ 1961).

Die tektonischen Bewegungen im Graben verstärken sich während Pliozän und Pleistozän wieder, wie die großen Sedimentmächtigkeiten aus dieser Zeit belegen. Es überwiegt die fluviatile Sedimentation von Sanden und Kiesen. Feinsande und Tone deuten auf vorübergehende limnische Ablagerungsbedingungen (ILLIES 1962). Diese zweite Phase der Grabenbildung ist jedoch mit einer Änderung des geodynamischen Kräftefeldes verbunden, die durch Scherbeanspruchung Linksseitenverschiebungen in Längsrichtung des Grabens bewirkt (ILLIES 1974 a, b). Während im Alttertiär eine Zerrung in Ost-West-Richtung überwiegt, baut sich nun das bis heute herrschende Spannungsfeld mit der Hauptspannungsrichtung Nordwest-Südost, also schräg zum Grabenverlauf, auf. Dabei kommt es erneut zu Absenkungen, vor allem im nördlichsten und südlichsten Grabenbereich, denn infolge des abgewinkelten Grabenverlaufs treten besonders in diesen Bereichen durch die Scherspannung auch Zerrungen auf. Das Maximum der Absenkung befindet sich wiederum im Raum Heidelberg ("Heidelberger Loch": 640 m Pliozän, 382 m Pleistozän, BARTZ 1953). Dagegen kommt es im Raum Rastatt-Bruchsal durch den leicht nach Osten abgewinkelten Grabenverlauf zur Kompression, und infolgedessen zur Ausbildung einer tektonischen Schwellenregion ("Karlsruher Schwelle") mit deutlich reduzierten Sedimentablagerungen aus Pliozän und Pleistozän. Ab dem Jungpliozän heben sich die Grabenränder verstärkt heraus, was sich im Pleistozän fortsetzt.

Während des Pliozäns werden über einem stark gegliederten Untergrund fluviatil bis limnische, kalkfreie Sande, Schluffe und Tone, z. T. mit kohligen Pflanzenresten, Torfeinlagerungen und gelegentlichen Feinkieseinschaltungen sedimentiert. In Nähe des Grabenrandes treten kaolinreiche Sande ("Weisses Pliozän") auf (HÜTTNER 1991). Ins höhere Pliozän sind auch die Sundgau-Schotter (s. Kap. 4.1.1) einzustufen, die im Süden des Grabens von der Aare abgelagert wurden, welche zu dieser Zeit noch in die Rhône mündet. Im obersten Pliozän (BOENIGK 1987) setzen dann alpine, kalkhaltige Schüttungen in den Oberrheingraben ein.

Die quartären Sedimente sind im Graben in sehr unterschiedlicher Mächtigkeit entwickelt (s. Abb. 2): Von 20 m am Südrand nehmen sie nach Norden zu und erreichen südlich und westlich des Kaiserstuhls mehr als 200 m (bis 270 m bei Geiswasser). Nördlich vom Kaiserstuhl beträgt die Quartärmächtigkeit über 100 m, um dann gegen Karlsruhe bis auf 55 m abzunehmen. Nördlich von Karlsruhe erfolgt eine rasche Zunahme bis zur größten bekannten Mächtigkeit von 382 m bei Heidelberg (BARTZ 1953). Am Odenwaldrand sind auch weiter nach Norden noch hohe Mächtigkeiten vorhanden (über 250 m), bis sie schließlich nördlich von Darmstadt auf unter 10 m zurückgehen (ANDERLE 1968, BARTZ 1976).

Im Südgraben dominiert alpines Material - z. T. sehr grobe Kiese und Sande - die quartäre Sedimentfüllung des Grabens. Die Sedimentanlieferung ist in den Zeitabschnitten eingeschränkt, in denen die glazialen Becken als Hauptsedimentfallen fungieren, also wenn sie weder Eis noch Sediment enthalten (ELLWANGER et al. 2004). Im Nordgraben - insbesondere im Senkungsgebiet im Raum Heidelberg - ist durch die anhaltende Schüttung von den aufsteigenden Grabenrändern hingegen eine mehr oder weniger kontinuierliche Sedimentation infolge der Absenkung zu erwarten.

Insgesamt hat sich der Graben stellenweise bis zu 3500 m tief eingesenkt, wobei diese Absenkung weitgehend durch die Auffüllung mit Sedimenten ausgeglichen wurde. Die randlichen Berge wurden entgegengesetzt zum Graben bis zu 2200 m angehoben, jedoch hat starke Abtragung der Gebirge diesen Aufstieg oberflächlich verringert. Die Breite des Grabeneinbruchs beträgt etwa 5 km (ILLIES 1965, 1974 a, b). Die westliche Grabenflanke verschob sich gegenüber der östlichen um ca. 30 - 40 km nach Süden. Die Aktivität des Grabens zeigt sich durch seismische Messungen und einen erhöhten geothermischen Gradienten. Viele Thermalquellen stehen hiermit im Zusammenhang (ILLIES 1967). Rezent sind laterale Bewegungen zwischen Graben und Schultern von etwa 0,5 mm pro Jahr zu verzeichnen. Höhenunterschiede von der Niederterrassenfläche zur rezenten Flussaue lassen die anhaltende Tektonik erkennen (BARTZ 1967). Im Südgraben sind Höhendifferenzen von über 20 m bekannt (HÜTTNER 1991).



Abb. 2: Mächtigkeit des Quartärs (nach BARTZ 1974).

## 1.4 Flussgeschichte

Tektonische Vorgänge in der Erdkruste spielten eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung des heutigen Entwässerungssystems in Südwestdeutschland während des Jungtertiärs und älteren Pleistozäns (VILLINGER 1998). Als Folge der tektonischen Bewegungen, insbesondere des Einsinkens des Oberrheingrabens seit dem Eozän, entwässert der Rhein als einziger Alpenfluss zur Nordsee, während alle anderen mehr oder weniger dem Alpenbogen folgen und zum Mittelmeer oder zum Schwarzen Meer fließen (QUITZOW 1976, 1977).

Die Flussgeschichte des Rheins begann mit dem endgültigen Rückzug des Tertiärmeeres aus dem Oberrheingraben im Untermiozän. Der Ur-Rhein entwässerte den Rheingraben nördlich einer Schwelle, die seit dem Untermiozän etwa im Bereich Colmar-Kaiserstuhl-Emmendingen den Graben querte ("Kaiserstuhl-Wasserscheide"). Zuflüsse aus den Vogesen und dem Schwarzwald bildeten die Hauptquellbäche des Ur-Rheins (VILLINGER 1998). Als Ablagerungen dieses Ur-Rheins werden die obermiozänen Dinotheriensande gedeutet, die Gerölle aus dem Nordschwarz-wald und den Vogesen enthalten (BARTZ 1936). Auch in der Niederrheinischen Bucht ist zu dieser Zeit ein Flusssystem erfassbar (BOENIGK 1982).

Südlich dieser Schwelle entwässerten Südvogesen und Südschwarzwald im Mittel- und Obermiozän über den Bereich des noch nicht aufgefalteten Schweizer Juras hinweg nach Südosten ins Molassebecken (LINIGER 1964, s. Abb. 3a). Mit dem Ende der Molasse-Sedimentation im Obermiozän kehrte sich die Entwässerungsrichtung im Alpenvorland durch großräumige Kippungsvorgänge nach Nordosten um. Noch im ausgehenden Obermiozän entwickelte sich das Flusssystem der Ur-Donau, die entlang des Nordrands des Molassebeckens die aus den Alpen nach Norden und von der sich aufkippenden Juratafel nach Südosten strömenden Gewässer aufnahm. Der Oberlauf der Ur-Donau, mit der Aare und der Walliser Rhône als Hauptquellästen, war damals ein großer Alpenfluss, der als "Aare-Donau" bezeichnet wird (FEZER 1991, VILLINGER 1998, s. Abb. 3a). Der Alpenrhein floss zu jener Zeit durch Oberschwaben nach Nordnordosten zur Ur-Donau.

Durch die Hebungsvorgänge von Schwarzwald und Jura während des Pliozäns schlug die Aare einen neuen Weg durch eine Senkungszone zwischen Südschwarzwald und Faltenjura nach Westen zum Sundgau ein und floss mit den Flüssen des südlichen Oberrheingrabens als Aare-Doubs zum Mittelmeer (s. Abb. 3b). Die Ablenkung der Aare und ihrer Zuflüsse belegt im Sundgau ein bis über 20 m mächtiger, oberpliozäner Schotter (Sundgau-Schotter), dessen Herkunft aus dem Berner Oberland und Wallis geröllpetrographisch zu belegen ist (VILLINGER 1998).





Abb. 3a: Miozän - Unterpliozän

Die Paläoentwässerungsrichtungen (rote Linien) im Vergleich zum heutigen Flussnetz (schwarze Linien) vor der Auffaltung des Juragebirges. Die Zuflüsse aus Vogesen und Schwarzwald entwässern nach Süden, d. h. über den noch nicht aufgefalteten Jura hinweg. Sie treffen auf einen Aare-Donau-Hauptstrang, der das nördliche alpine Vorland Richtung Donau entwässerte.

#### Abb. 3b: Pliozän, vor ca. 3,2 Millionen Jahren

Das Paläoflussnetz hat sich deutlich verändert. Hebungen im östlichen Schwarzwald verhinderten den Abfluss der Ur-Aare in die Donau. Die Aare wurde in der Folge nach Westen abgelenkt und durchfloss den südlichen Rheingraben, um via burgundischer Pforte als Aare-Doubs den Bresse-Graben zu erreichen. Diese Phase dauerte lediglich bis vor 2,6 Millionen Jahren an und führte zur Ablagerung der Sundgau-Schotter. Der Ur-Rhein entsprang erst nördlich des Kaiserstuhls, in dessen Umgebung eine Wasserscheide postuliert werden muss.

#### Abb. 3c: Pleistozän

Infolge junger tektonischer Absenkungen im Bereich des Kaiserstuhls und Anhebungen im südlichsten Rheingraben (Sundgau) wurde im obersten Pliozän der Abfluss der Ur-Aare verhindert. In der Folge vereinigte sie sich mit dem Ur-Rhein nördlich des Kaiserstuhls zum heutigen Aare-Rhein-System. Später schloss sich der Alpenrhein diesem System an. Die Rhône entwässert nun Richtung Mittelmeer.



Das heutige Neckar-Einzugsgebiet entwässerte zunächst bis auf seinen nördlichsten Teil, der bereits zum Einzugsgebiet des Ur-Rheins zählte, über die Albtafel zur Ur-Donau. Gesteuert durch den vor allem im Nordteil immer weiter einsinkenden Oberrheingraben erweiterte sich während Plio- und Pleistozän das Rhein-Neckar-Einzugsgebiet durch rückschreitende Erosion immer mehr nach Süden zu Ungunsten der Nebenflüsse der Ur-Donau.

Während des Pliozäns behielt der Ur-Rhein seinen ursprünglichen Verlauf durch den Graben annähernd bei. Lediglich im Bereich des Mainzer Beckens verlagerte sich der Fluss infolge der tektonischen Hebung dieses Gebietes nach Osten.

Im obersten Pliozän kam es durch das wieder einsetzende Absinken des südlichen Oberrheingrabens zur Überwindung der Kaiserstuhl-Wasserscheide durch den Ur-Rhein. Etwa gleichzeitig zeigte sich eine erneute Ablenkung der Aare, diesmal vom Sundgau nach Norden (s. Abb. 3c), wodurch sie (möglicherweise noch bis ins Eopleistozän zusammen mit der Walliser Rhône (BOENIGK 1990)) zum alpinen Quellfluss des Ur-Rheins wurde und dessen Wassermenge beträchtlich erhöhte (LINIGER 1964, VILLINGER 1986, BOENIGK 1987, 1990, PETIT et al. 1996). Deutlich ist diese Entwicklung im petrographischen Wechsel in der Zusammensetzung der Rheinsedimente dokumentiert. Gleichzeitig kommt es im Bresse-Gebiet zu einem Aussetzen der alpinen Schüttungen, was in dieser Region ebenfalls durch Schwermineral- und Geröllanalysen gut belegt ist (BONVALOT 1974, BONVALOT et al. 1984).

Der Alpenrhein entwässerte unterdessen weiter zur Ur-Donau. Der Anschluss des Alpenrheins an den Aare-Rhein (s. Abb. 3c) erfolgte ab dem späten Eopleistozän (VILLINGER 1986), wohl im Zusammenhang mit den ersten Vorstößen des Rheingletschers in das Alpenvorland. In der von risszeitlichen Gletschern vorgezeichneten Bodenseerinne erreichte das jüngste alpine Inlandeis das Hochrheintal. Riesige Schmelzwassermassen drangen über Hochrhein und Aare in den Oberrheingraben. Die alten Terrassen wurden größtenteils weggerissen oder überspült (ILLIES 1965). Die Rhône schlug ihren heutigen Lauf in Richtung Mittelmeer ein.

FRANZEN (1999, 2001) geht davon aus, dass es durch den Anschluss der Alpenentwässerung an den Rhein und die wiederholten Schmelzfluten am Ende der Eiszeiten zur Aufstauung eines "Rheinhessensees" im nördlichen Oberrheingebiet vor dem Engtal des Mittelrheins kam. Er belegt dies durch alt- bis mittelpleistozäne fossilhaltige Seesedimente (ca. 800.000 Jahre), die in einer Hochposition auf obermiozänen Abfolgen liegen. Ob dieser See längerfristig existiert hat, oder ein wiederholtes, paläoklimatisch gesteuertes Phänomen war, wird kontrovers diskutiert.

Als sich gegen Ende der letzten Eiszeit das alpine Inlandeis zurückzog, wurde auch die Bodenseerinne wieder eisfrei. Der zusammenhängende Rheinstrom wurde durch den entstandenen Bodensee unterbrochen; Wassermenge und Geröllfracht ließen nach. Innerhalb der nacheiszeitlichen Rinne, die sich oft mit scharfer Terrassenkante - dem Hochgestade - in die Niederterrassenfläche eingetieft hat, pendelte der Strom mit zahlreichen Mäandern. Die vom östlichen Grabenrand einmündenden Nebenflüsse Kinzig, Murg und Neckar flossen zunächst entlang des Gebirgsrands (Kinzig-Murg-Rinne), bis sie sich schließlich neue, direktere Wege zum Rheinstrom bahnten. Die III hat ihren rheinparallelen Lauf bis heute beibehalten. Die 1817 begonnene und 1874 abgeschlossene Tulla-Korrektion verkürzte den Rheinverlauf erheblich und machte ihn schiffbar (ILLIES 1965).

Die Eroberung von immer größeren Teilen des Donau-Einzugsgebiets durch den viel tiefer fließenden Rhein und seine Nebenflüsse, besonders durch den Neckar, dauert bis heute an.

## 1.5 Forschungsgeschichte im Oberrheingebiet

Die Erforschung des Oberrheingebietes begann im vorletzten Jahrhundert. V. OEYNHAUSEN, V. DECHEN und V. LA ROCHE erkannten, dass es sich um eine Einbruchsenke handelt (V. OEYNHAUSEN et al. 1825). ÉLIE DE BEAUMONT (1841) entwarf die Hypothese, dass die Grabenbildung als Einbruch im Scheitel einer Aufwölbung entstanden sei. BENECKE (1877) datierte den Zeitpunkt des Einbruchs ins Tertiär. SUESS (1885) sah die Entstehungsursache des Grabens in einer Einengung des Gebietes, bei der die Randgebirge auf eine hinabgedrückte Grabenscholle seitlich aufgeschoben wurden. In seiner 1939 veröffentlichen Schrift "Hebung - Spaltung - Vulkanismus" führte CLOOS das tertiäre Einsinken des Oberrheingrabens schließlich auf eine Schwächezone in der Erdkruste zurück. Beweise für die Zerrungsstruktur des Grabens lieferte der Aufschluss der synklinalen Grabenrandverwerfungen beim Bau des Lorettobergtunnels (BRILL 1933, CLOOS 1947).

Die älteren geologischen Arbeiten beschäftigen sich vorwiegend mit den Grabenrändern und den randlichen Grabenbereichen, die der Erforschung besser zugänglich waren als die Grabenfüllung. Über die jüngeren Sedimente des Grabens lagen wegen der geringen Anzahl von Aufschlussbohrungen zunächst nur wenige Kenntnisse vor. Die geologischen und geophysikalischen Erkundungen im Rahmen der Exploration auf Erdöl, Erdgas und Kalisalze erbrachten seit den fünfziger Jahren eine Fülle neuer geologischer Fakten, besonders hinsichtlich der tertiären Grabenfüllung. Durch seismische Messungen wurde der tektonische Aufbau des Untergrundes deutlich. Anstelle einer durch die quartäre Schotterbedeckung vorgetäuschten, einheitlichen "Grabenscholle", die durch zwei Hauptverwerfungen von den Grabenschultern getrennt ist, trat ein komplexes Mosaik von Bruchschollen hervor (ANDRES & SCHAD 1959, ILLIES 1962, CLOSS 1967). Zahlreiche Tiefbohrungen gaben Aufschluss über die Schichtenfolge (DOEBL 1967). DOEBL & OLBRECHT (1974) haben für ihre Karte der Tertiärbasis über 350 Erdöl- und Erdgas-Bohrungen ausgewertet, die den Bereich der Basis der tertiären Sedimente erreicht haben.

Durch die Entwicklung der geotektonischen Vorstellungen der "Plattentektonik" rückten die theo-

retischen Fragen der Grabenbildung in den Vordergrund. Lösungsvorschläge hierzu sind beispielsweise im Rahmen des von der DFG geförderten "International Upper Mantle Project" im Sammelband "The Rhinegraben Progress Report" erschienen, der von der "International Rhinegraben Research Group" durch ROTHE & SAUER (1967) herausgegeben wurde. In diesem Band wird die Entwicklungsgeschichte des Grabens, die Grabenfüllung, der tiefere Untergrund und die vulkanische Aktivität von diversen Autoren dargelegt. Weitere wichtige Forschungsarbeiten wurden in "Graben Problems" (ILLIES & MÜLLER 1970), "Approaches to Taphrogenesis" (ILLIES & FUCHS 1974) und "Mechanism of Graben Formation" (ILLIES 1981) veröffentlicht.

Wesentliche Kenntnisse über die pliozänen und quartären Lockersedimente gehen auf die Arbeiten von BARTZ (1961, 1967, 1974, 1976, 1982) zurück. WIMMENAUER (1952, 1963) untersuchte die Vorkommen tertiärer Vulkanite im Oberrheingebiet petrographisch.

In den 80iger Jahren wurde die Oberrheingrabenforschung durch die Suche nach geothermischen Energiequellen und Sicherung der Trinkwasserversorgung vorangetrieben (PFLUG 1982). Seit dem Jahr 1973 bearbeitet eine von den Ländern Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz gebildete Arbeitsgruppe systematisch den Rhein-Neckar-Raum. Die umfangreiche Untersuchungstätigkeit erbrachte neue Erkenntnisse über den lithologischen und hydrogeologischen Aufbau der Sedimente der Grabenfüllung (HGK 1980, HGK 1987, HGK 1999).

Für die Klärungen stratigraphischer Fragestellungen und Erkenntnisse zur flussgeschichtlichen Entwicklung des Rheins trugen die Schwermineralanalysen der Sedimente im Oberrheingraben und der Niederrheinischen Bucht u. a. von SINDOWSKI (1940), VAN ANDEL (1950), BOENIGK (1976, 1978a, 1978b, 1982, 1987, 2002) und PETIT et al. (1996) bei. Bau- und Entwicklungsgeschichte des Oberrheingrabens sowie deren Forschungsgeschichte werden von PFLUG (1982) und HÜTTNER (1991) zusammengefasst. Einen Überblick über die Forschungen zur Flussgeschichte von Rhein und Donau stellt VILLINGER (1998) zusammen.

# 2 Stratigraphie der jungtertiären und quartären Sedimente im Oberrheingraben

Bei den Ablagerungen des Pliozäns und Quartärs handelt es sich um fluviatile und limnische Bildungen, die als Sande, Kiese, Schluffe und Tone vorliegen. Eine biostratigraphische Gliederung dieser Ablagerungen wurde im nördlichen und mittleren Oberrheingraben verschiedentlich versucht, jedoch blieben die Ergebnisse bisher unzureichend. Daher erfolgt die derzeitige stratigraphische Gliederung nach der lithologischen Ausbildung der Schichten und nach hydrogeologischen Gesichtspunkten, wobei gelegentliche Torf- und Holzeinschaltungen, im Quartär auch Säuger- und Molluskenreste Hinweise auf eine biostratigraphische Einstufung geben können.

Grundlage der meisten stratigraphischen Gliederungen der jungen Grabenfüllung sind die Arbeiten von BARTZ (u. a. 1959, 1976, 1982), die auf Erkenntnissen aus zahlreichen Bohrungen im Raum Karlsruhe / Rastatt beruhen. Im Nordgraben geben KÄRCHER (1987) und die Hydrogeologischen Kartierungen (HGK 1980, 1987, 1999) Untergliederungen der Sedimentabfolge nach lithologischhydrogeologischen Gesichtspunkten an. Für den Südgraben liegen Vorschläge von WERNER et al. (1997) und eine stratigraphische Neugliederung vor (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2000, 2004, ELLWANGER et al. 2001).

#### Jungtertiär

Als Jungtertiär wird die Schichtenfolge zwischen den Oberen Hydrobienschichten und dem Quartär bezeichnet. Der untere Teil, das Jungtertiär I, wird nach VON DER BRELIE (1974) in das jüngste Aquitan und ältere Burdigal gestellt (Miozän). Die meist mergeligen bis tonig-mergeligen und teils sandigen, ockerfarbenen Sedimente wurden in einem großen Süßwassersee abgelagert, der sich von Landau mindestens bis Frankfurt erstreckte (DOEBL & TEICHMÜLLER 1979). Nach Ablagerung des Jungtertiärs I kommt es zu tektonischen Bewegungen, die zu einem komplexen Bruchschollenbau führen, der die unterschiedlichen Mächtigkeiten auf den einzelnen Schollen bedingt (ILLIES 1962).

Die Sedimente des Jungtertiärs II, die dem Pliozän zugerechnet werden, sind überwiegend feinklastisch: Sandige Tone wechsellagern mit Fein- und Mittelsanden und einigen Torfeinschaltungen. Nur vereinzelt treten geröllführende Sande auf. Das Relief war offenbar wenig ausgeprägt.

Das Pliozän ist etwa nördlich einer Linie Sélestat - Lahr erhalten BARTZ (1982). Auch südlich davon kamen während des Pliozäns geringmächtige Sedimente zur Ablagerung, die jedoch vor der Sedimentation der pleistozänen Schotter abgetragen wurden. Im Offenburger Raum sind die Sedimentabfolgen des Pliozäns im Grabenzentrum über 100 m mächtig. Im Bereich der Rastatt-Karlsruher Schwelle sind etwa 60 m Mächtigkeit nachgewiesen. Nördlich dieser Schwellenregion

sind die pliozänen Ablagerungen im Nordgraben weit verbreitet und überlagern meist konkordant das ältere Tertiär. Im Raum Speyer-Germersheim betragen die Mächtigkeiten des Pliozäns 200 bis 250 m; im Raum Ludwigshafen-Mannheim werden wohl mehr als 500 m erreicht (BARTZ 1976, KÄRCHER 1987). In Richtung der Heidelberger Senke nimmt die Mächtigkeit auf über 640 m zu und beträgt auch weiter nördlich mehrere 100 m (BARTZ 1974).

Im Pliozän lassen sich drei Zyklen unterscheiden, in denen jeweils stärkere Sandschüttungen mit mächtigeren Stillwassersedimenten wechseln, die als Pliozän I, II und III bezeichnet werden (BARTZ 1982). An den Grabenrändern haben sich lokal kleinere Schwemmfächer mit gröberem Material entwickelt, während im Grabeninneren langsam fließende Gewässer, Altwasserarme und Seen das Landschaftsbild prägten.

Im nördlichen Oberrheingraben umfasst das Jungtertiär II nach HOTTENROTT et al. (1995) sowohl miozäne als auch pliozäne Sedimente, während das Jungtertiär I dem unteren Miozän zugerechnet wird.

#### Tertiär- / Quartär-Grenzziehung

Während der Ur-Rhein im Pliozän überwiegend Abtragungsschutt von den Randgebirgen durch den Graben verfrachtete, weist das Auftreten alpiner Komponenten in den Sanden und Kiesen und ein deutlicher Kalkgehalt auf einen Anschluss der Alpenentwässerung an den Rhein hin. Hinzu kommt ein meist deutlicher Farbwechsel von bunten Pastelltönen zu grauen und graublauen, schmutzigen Farben. Das Auftreten alpinen Materials in den Ablagerungen des Grabens markiert zwar nicht exakt den Übergang Tertiär/Quartär, wird aber meist vereinfacht zur Grenzziehung herangezogen (BARTZ 1982).

Genauer betrachtet ist diese vereinfachte Grenzziehung zwischen Tertiär und Quartär problematisch. Denn die in alpin geprägten Sedimenten gefundenen, warmzeitlichen Pollenspektren des "Altquartärs" sind auch innerhalb der kalkfreien Schüttungszyklen nachgewiesen (BROST & ELLWANGER 1991, BLUDAU 1995), während umgekehrt aus der bereits alpin geprägten, kalkhaltigen Serie pliozäne Schneckenfaunen stammen (MÜNZING 1981, ENGESSER & MÜNZING 1991). Somit hat die alpine Schüttung noch im obersten Pliozän begonnen, und die Grenze zwischen kalkfreiem und kalkigem Sediment ist eine - vermutlich diachrone - Faziesgrenze (ELLWANGER et al. 1995). Der Eindruck, dass die Ausweitung des Rhein-Einzugsgebietes erst an der Wende Pliozän/Pleistozän erfolgt, wird dadurch verstärkt, dass aufgrund der Belebung der Tektonik zu dieser Zeit an vielen Stellen Erosion erfolgte und das jüngste Pliozän und auch das älteste Pleistozän meistens nicht überliefert sind.

#### Quartär

Die quartäre Sedimentabfolge hat BARTZ (1959, 1982) nach lithologischen Kriterien in "Altquartär" und "Jungquartär" unterteilt, wobei die "jungquartären" Sedimente deutlich grobkörniger sind als die "altquartären".

Das "Altquartär" umfasst die Untere, sandig-schluffige Folge des Quartärs (s. Tab. 1) und baut sich aus einer Ton-Schluff-Feinsand-Wechselfolge mit gelegentlichen Einschaltungen von gröberem Sand, Kies, Braunkohlen und Holzresten auf. Sowohl die Holzreste als auch die Pollenbefunde sprechen für warmzeitliches bis gemäßigtes Klima (VON DER BRELIE in BARTZ 1982). MÜNZING (1981), ENGESSER & MÜNZING (1991) und GEISSERT (1996) ordnen Teile dieser lithologisch als tiefstes Quartär angesprochenen Sedimente aufgrund paläontologischer Befunde in das oberste Pliozän.

Das "**Jungquartär"** besteht aus einer 40 bis 150 m mächtigen Schichtenfolge, die sich aus fluviatilen und limnischen Sedimenten zusammensetzt. Im Gegensatz zum "Altquartär" sind hier mächtigere grobklastische Einschaltungen zu finden, denen Feinkornhorizonte zwischengeschaltet sind.

Diese Abfolge wird von BARTZ (1982) in drei Kieslager, das Untere, Mittlere und Obere Kieslager (UKL, MKL, OKL), und zwei trennende feinkörnige Zwischenhorizonte (Unterer = UZH und Oberer Zwischenhorizont = OZH) untergliedert (s. Tab. 1). Er nimmt die Kiesschüttungen unter glazialen Bedingungen und die Ablagerung von feinkörnigeren Sedimenten in den Warmzeiten an. Demnach stellt er die feinkörnigen Zwischenhorizonte ins Eem und Holstein, die Kieslager ordnet er der Weichsel-, Saale- und Elster-Kaltzeit zu.

Die BARTZ'sche Gliederung ist nur dort möglich, wo ausreichend feinkörnige Sedimenteinschaltungen erhalten geblieben sind, wie z. B. nördlich von Lahr (WERNER et al. 1997). Südlich davon stößt diese Gliederung auf praktische Schwierigkeiten, da hier die feinkörnigen, pollenführenden Sedimente entweder primär fehlen oder später wieder abgetragen wurden.

BARTZ (1976, 1982) weist darauf hin, dass die palynologische Einstufung der Sedimente im Oberrheingraben mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Ein Großteil der Sedimente (Sande und Kiese) ist denkbar ungeeignet für die Pollenanalyse. Folglich sind in der lückenhaften Profilabfolge vollständige Vegetationsentwicklungen kaum oder nur bedingt zu erkennen. In vielen Fällen ist es daher unmöglich, lokal bedingte Pollenassoziationen von solchen stratigraphischen Wertes zu unterscheiden. Da absolute Datierungsmethoden bisher fehlen, spricht man den biostratigraphischen Untersuchungsmethoden dennoch eine wichtige Bedeutung zu.

Neuere Pollendatierungen belegen, dass nicht nur zwei, sondern mindestens fünf warmzeitliche Sedimentationsereignisse innerhalb der Kiesablagerungen unterschieden werden können. BLUDAU (1995) hat Pollen aus dem Unteren und dem Oberen Zwischenhorizont analysiert und mit dem Pleistozän des Alpenvorlands verglichen. Der Untere Zwischenhorizont enthält seiner Meinung nach Pollenvergesellschaftungen aus drei verschiedenen Warmzeiten des Tegelen-Komplexes bis zum Uhlenberg-Interglazial; daher scheint eine Untergliederung in UZH1 bis UZH3 sinnvoll. Die Pollen aus dem Oberen Zwischenhorizont lassen eine Altersstellung vom Cromer-Komplex bis zum Würm-Spätglazial zu. ENGESSER & MÜNZING (1991) datieren die von ihnen untersuchte Molluskenfauna im Oberen Zwischenhorizont bei Mannheim-Philippsburg cromer- bis riss-zeitlich. VON KOENIGSWALD & BEUG (1988) sehen aufgrund von wirbelpaläontologischen Befunden das Eem im basalen Teil des Oberen Kieslagers. Der Nachweis für ein würmzeitliches Alter des größten Teils des Oberen Kieslagers ist durch zahlreiche, typisch kaltzeitliche Faunenreste wie auch durch absolute Datierungen mehrfach erbracht.

Es zeigt sich, dass lithologisch einheitlich erscheinende Profilabschnitte aus einem Komplex warm- und kaltzeitlicher Bildungen bestehen, über deren stratigraphische Beurteilung verschiedene Meinungen herrschen. Die Untersuchungen belegen, dass grobe Sedimente nicht unbedingt Kaltzeiten bzw. feinklastische Ablagerungen Warmzeiten repräsentieren müssen.

Aus den Untersuchungen der letzten Jahre folgt, dass die bisher geltende Stratigraphie des Oberrheingrabens (BARTZ 1982) einer Revision bedarf, bei der nur eine Kombination aus lithologischer Aufnahme von neuen Forschungsbohrungen sowie die konsequente Bearbeitung von paläontologischen und petrographischen Befunden zu einer stratigraphischen Zuordnung der Sedimentabfolgen führen kann.

Die unterschiedliche lithologische Ausbildung der Sedimente - im Südgraben vorwiegend sehr grobkörnig, nach Norden abnehmende Korngrößen, Einschaltungen von Feinkornhorizonten sowie Durchmischung der Sedimente mit Schüttungen aus den Randgebirgen - erschwert eine lithostratigraphische Parallelisierung der Sedimentabfolgen entlang des Grabens. Zudem sorgen Fazieswechsel, die durch die Ablagerungen in einem sich verlagernden fluviatilem System und durch den Einfluss von Klima und Tektonik verursacht werden, sowie Erosionslücken für zusätzliche Unsicherheiten bei der Korrelation.

Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die stratigraphischen Einstufungen der Sedimente im Oberrheingebiet: Tabelle 1: Stratigraphische Untergliederungen im Oberrheingebiet im Vergleich zum Alpenvorland (nach BARTZ

	ordgraben terpretiert HGK 1999)	OGWLo ZH1 OGWLu			HZO	e MGWLo J- ZH2 e MGWLm e ZH3 MGWLu		ΗZN					e,	g- UGWL fige je
	Nc (in nach	OKL			HZO	Mittle sandi kiesig Folge		NZH					Unter	sandi schlut Abfolg
	Südlicher Oberrheingraben (LGRB 2004)	Neuenburg- Formation	(Jüngere Schotter)		Obere Breisgau- c Schichten	ormati. Untere	н	Sreis Schichten	3	lffezheim-	Formation			Fluviatiles Jungtertiär
	ein- nach 82)	ë "tät"	.uenb ຜູ້	δunŗ" o			₽₿∣0∃	9 Çi]î U∣i	l⊃s-6	ibnsz 91	ətnU			
j 2004).	Alte Oberrh Gliederung 1 BARTZ (19	OKL OKL	MKL kiesi		"Altquartär 2"-					"Altquartär 1"				Pliozän III (Reuver)
BERG	and ()	นอดิน	scµeru	en Verglet	olge der groß	e F	ç i o i ı	əjjod	o s u	Decke				
en-Württemi	NW Alpenvork (STD2002, LGRB 2004	Würm-Komplex Eem-Warmzeit	Riss- Komplex	Holstein-Warmzeit Hosskirch- Komplex		Haslach- Mindel- Komplex		Günz- Komplex		Biber- Donau-	Komplex			Jungtertiäre Hochschotter
B BADI						"Klima- morpho- genetische Wende"			Q H	2				<b>-</b> T/Q 2
2002, LGR	Chrono- stratigraphie	Oberpleistozän		Mittelpleistozän			Unterpleistozän				"Eopleistozän"			Pliozän
K 1999, STD	NW-Europa (STD 2002)	Weichselium Eemium	Saalium- Komplex	Holsteinium Elsterium	Cromerium- Komplex	Bavelium- Komplex	Menapium- Komplex	Waalium- Komplex	Eburonium- Komplex	Tiglium- Komplex			Praetiglium- Komplex	Reuverium
1982, HG	Magneto- stratigraphie	Blake B	х⊃	ZIL	ω μ	Jara- milo M	۲	⊢ ⊃	>	Olduvai	Σ	۲		GAUSS
	Ma	0,11			0 2 2 0	0,99				1,77				2,58

### Stratigraphie der jungtertiären und quartären Sedimente im Oberrheingraben

Im Folgenden werden die geologischen Besonderheiten und die momentan gültigen stratigraphischen Schichteinteilungen in den einzelnen Grabenabschnitten vorgestellt.

## 2.1 Südlicher Oberrheingraben

Im südlichen Teil des Oberrheingrabens wird der Untergrund der vorwiegend quartären Kies- und Sandfüllung aus einer zentralen Grabenscholle (Innere Grabenzone) und dem Bruchschollengebiet der Grabenrandschollen (Äussere Grabenzonen) aus mesozoischen Gesteinen gebildet.



Abb. 4: Tektonische Einheiten und halokinetische Strukturen im südlichen Oberrheingraben (nach REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002, LAUBSCHER et al. 1967).

Auf der Ostflanke des Grabens wird das kristalline Grundgebirge durch die Schwarzwald-Störung mit einem Versatz von 1000 bis 1500 m gegen die aus Randschollen bestehende Grabenrandzone

abgegrenzt. Am Westrand dieser Grabenrandzone versetzt die Rheinverwerfung / Innere Grabenrandverwerfung die Randschollen gegen die Innere Grabenzone mit einer Sprunghöhe bis über 2000 m. Der miozäne Vulkankomplex des Kaiserstuhls entstand durch Magmenaufstieg entlang einer Nord-Süd verlaufenden, grabeninternen Verwerfung. Die Innere Grabenzone geht nach Westen - getrennt durch die sogenannte rheinische Störung - wiederum in eine Grabenrandzone über, die aus Randschollen aufgebaut wird. Die Grabenrandschollen werden vom kristallinen Grundgebirge der Vogesen durch die Vogesen-Störung abgegrenzt (s. Abb. 4).

Ein wichtiges tektonisches Element im südlichen Oberrheingraben ist der Horst von Mulhouse-Altkirch, an dem sich der Graben in zwei Teilgräben aufspaltet, dem Graben von Dannemarie im Westen und dem Sierentz-Graben im Osten (ILLIES 1965, s. Abb. 4). Weiter im Osten schließt sich der Isteiner Horst, eine Jura-Scholle mit Tertiärbedeckung, an.

Neben der Grabentektonik haben auf die oligozänen Salzablagerungen zurückgehende, halokinetische Bewegungen einen wesentlichen Einfluss auf die Verbreitung und Mächtigkeit der quartären Sedimente. Eine der bedeutendsten Strukturen im zentralen Bereich des Grabens ist der Weinstetter Diapir, der von Heitersheim/Bremgarten in nordwestlicher Richtung bis nach Fessenheim / Balgau verläuft (s. Abb. 4). Die faltenförmige Aufragung des Untergrundes führt dazu, dass in diesem Bereich die Mächtigkeit der Lockersedimente reduziert ist. Nordöstlich und südwestlich schließen sich an diese Struktur Einsenkungen mit erhöhter Quartärmächtigkeit an, wie z. B. das Becken von Geiswasser, das durch Auslaugung eines Diapirs im frühen Quartär entstanden sein könnte. Nördlich der Fessenheimer Insel wurde durch Bohrsondierungen eine weitere Hochlage der Quartärbasis entdeckt, der Balgauer Dom (ELSASS & WIRSING 1999). Zum Vogesenrand treten im Kalibecken die Hochlage von Meyenheim und der Hettenschlager Dom auf (s. Abb. 4).

Die fluviale Ablagerungsdynamik nimmt innerhalb der alpin geprägten Sequenzen von Süden nach Norden ab. Zwischen Mulhouse und dem Kaiserstuhl sind fast ausschließlich Grobsedimente vorhanden. Für den oberen Teil der Sedimentabfolge sind Zwischenlagen aus Steinen und Blöcken charakteristisch. Im unteren Teil ist das Material häufig verwittert und der Anteil an alpinen Material z. T. sehr gering. Zwischen dem Kaiserstuhl und dem Raum Karlsruhe wurden in einem höheren und einem tieferen Niveau der Schotter jeweils Feinsediment-Einschaltungen identifiziert (OZH, UZH). Südlich von Offenburg handelt es sich meist um geringmächtige, lokale Feinsediment-Linsen ohne große laterale Erstreckung. Erst nördlich von Karlsruhe ist innerhalb der alpinen Serie im OZH-Niveau ein über größere Flächen zusammenhängender Feinsedimenthorizont vorhanden, dazu auf drei weiteren Niveaus Feinkornlagen (ELLWANGER et al. 1995).

Am Rand des Oberrheingrabens wird die Sedimentabfolge an vielen Stellen durch Ablagerungen aus den Seitentälern dominiert. An der Mündung verschiedener Schwarzwaldtäler (Wiese-Tal, Dreisam-Tal, Elz-Tal usw.) findet sich im unteren Teil der Abfolge oftmals stark zersetztes und vergrustes Material. Es könnte sich um ein Äquivalent der ebenfalls verwitterten, unteren Schotter im zentralen Grabengebiet handeln.

WERNER et al. (1997) lehnen ihre Gliederung der Lockersedimentabfolge im südlichen Oberrheingraben an die BARTZ'sche Unterteilung in drei Kieslager, "Altquartär" und "Pliozän" an. Im Oberen Kieslager (OKL), das vorwiegend aus alpinen Kiesen mit einem geringen Sandanteil aufgebaut ist, gliedern sie sowohl einen oberen Zwischenhorizont OZH1 als auch einen Zwischenhorizont OZH2 an der Basis des Kieslagers aus. Das Mittlere Kieslager (MKL) ist durch höhere Sandanteile in den immer noch vorwiegend aus den Alpen stammenden Geröllen charakterisiert. Zudem sind linsenartige Feinsedimenteinschaltungen häufig. Während das UKL südlich vom Kaiserstuhl noch stark steinig und blockig ausgebildet ist, finden sich nördlich von Karlsruhe in diesem Niveau vorwiegend kiesige Sande. Es sind drei Zwischenhorizonte (UZH1-3) eingeschaltet, wobei der UZH1 am weitesten verbreitet ist und als Grenze zum MKL betrachtet wird. Das "Altquartär" wird aus carbonathaltigen, stark sandigen Kiesen bis kiesigen Mittel- und Grobsanden aufgebaut, in denen vereinzelt dünne Lagen aus Ton oder Torfmudde eingeschaltet sind. Das Pliozän lässt sich anhand des Fehlens von Carbonat abgrenzen.

Durch die lithofazieskundliche Aufnahme von zahlreichen Kernbohrungen durch das LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG hat sich in den letzten Jahren eine neue sequenz- und eventstratigraphische Gliederung der jungtertiären und quartären Lockersedimente im südlichen Oberrheingraben etabliert (ELLWANGER et al. 2001, LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2004). Für den nördlichen Grabenabschnitt im Raum Mannheim-Karlsruhe wurde bisher wegen fehlender Korrelationsmöglichkeiten mit dem Südgraben die BARTZ'sche Gliederung beibehalten.

Im Bereich zwischen dem Sundgau und Strasbourg lassen sich im wesentlichen drei unterschiedliche sedimentäre Einheiten anhand ihrer Lithofazies und Sedimentpetrographie voneinander abgrenzen. Sie spiegeln einen Übergang von einer langsamen, aber kontinuierlichen Sedimentation zu einem raschen, diskontinuierlichen Sedimenteintrag in den Graben wider.

Die Schwermineralbefunde belegen, dass zunächst kein alpiner Einfluss in den Graben erfolgte (**Iffezheim-Formation**). Innerhalb der **Breisgau-Formation** ist in den Unteren Breisgau-Schichten geröllpetrographisch zunächst ein geringer alpiner Eintrag zu verzeichnen, der in den Oberen Breisgau-Schichten deutlich zunimmt. Die **Neuenburg-Formation** (Jüngere Schotter) besteht aus fluviatilen Kiesen und Sanden, die durch zwei grobe alpine Ereignislagen in die Unteren und Oberen Neuenburg-Schichten untergliedert werden können.

#### 2.1.1 Iffezheim-Formation

Die Iffezheim-Formation weist mehrere gradierte Sedimentzyklen auf, die jeweils als grusige bis diamiktische rote und weisse Sande beginnen, und nach oben meist in tonig-humose, rotbraune Feinsedimente übergehen. Bei den kalkfreien, dichtgelagerten Sedimenten handelt es sich ausschließlich um Lokalmaterial. Die Gerölle bestehen aus Milch- und Gangquarz, verwittertem, kaolinisierten Grundgebirgsmaterial (Granit, Gneis, Porphyr), gebleichtem bis schwach rötlichem Buntsandstein sowie vereinzelt aus blaugrauem Kieselschiefer, Karneol und Quarzit. Alpine Gerölle fehlen. Auf Hochschollen fehlen die Ablagerungen der Iffezheim-Formation meist.

Die Lithofazies deutet auf eine eher ruhige, oft durch Pedogenese unterbrochene Sedimentation in einer terrestrischen, teilweise flachlimnischen Umgebung hin (ELLWANGER et al. 2002, 2004). Pollenanalytisch zeigt sich eine Abkühlung (BROST & ELLWANGER 1991). Die Mächtigkeit der Iffezheim-Formation beträgt im Südgraben ca. 30 - 40 m.

Im Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2004) ist für die Iffezheim-Formation als Zeiteinstufung Oberpliozän bis Eopleistozän angegeben. Da aber alle petrographischen Befunde der Iffezheim-Formation keinen Hinweis auf einen alpinen Eintrag erbrachten, der nachweislich seit dem obersten Pliozän in den Graben erfolgte, ist mindestens ein oberpliozänes Alter anzunehmen. Ein Sonderfall liegt offenbar in der Bohrung Kehl/Marlen vor, wo BLUDAU (1995) altpleistozäne Pollen in einer Sedimentabfolge bestimmte, die als Iffezheim-Formation angesprochen wurde. Petrographische Vergleichsanalysen fehlen hier.

Südlich einer Linie Sélestat - Lahr geht BARTZ (1976) von einer Abtragung des Pliozäns vor Ablagerung der quartären Schotter aus. Dies widerlegen die nachgewiesenen Vorkommen der Iffezheim-Formation im Bereich südlich des Kaiserstuhls, z. B. in den Bohrungen Bremgarten (s. Kap. 4.2.7), Hartheim (s. Kap. 4.2.8), Nambsheim (s. Kap. 4.2.9) und Heitersheim / Weinstetter Mühle (s. Kap. 4.2.6). In diesem Bereich blieben die pliozänen Sedimente offenbar in erosions-geschützten Positionen erhalten.

Nur wenige Bohrungen haben die Iffezheim-Formation durchteuft. Im Liegenden wurden in Hartheim grünliche Sande und bunte Mergel erbohrt, deren Mineralspektrum mit dem der Elsässer Molasse vergleichbar ist (s. Kap. 4.2.8). In weiten Bereichen des Südgrabens lagert die Iffezheim-Formation jedoch auf grauen Mergeln aus dem Oligozän. Am Rand des Kaiserstuhls besteht der Festgesteinsuntergrund aus Tuffiten und Laven des tertiären Vulkanismus.

### 2.1.2 Breisgau-Formation

Oberhalb der Iffezheim-Formation folgen diamiktische Sedimente lokaler und alpiner Herkunft. Diese kiesreichen Ablagerungen werden nach ihrem typischen Verbreitungsgebiet als BreisgauFormation bezeichnet. Wo die Sedimente der Iffezheim-Formation fehlen, lagern im südlichsten Grabenabschnitt die quartären Sedimente auf oligozänen Tonen und Mergeln, im Bereich der Vorberge und der Freiburger Bucht auf mesozoischen Schichten.

In Rheinnähe sind in der Breisgau-Formation hauptsächlich alpine Gerölle mit geringem Anteil an Schwarzwald- und Vogesen-Material enthalten. In Annäherung an die Grabenränder gehen die alpinen Anteile zugunsten des Lokalanteils stetig zurück. Der alpine Anteil nimmt in der Breisgau-Formation von unten nach oben zu (ELLWANGER et al. 2004).

Aus zahlreichen Bohrungen ist bekannt, dass die stark zersetzten Kiese der Breisgau-Formation auch in der Staufener und Freiburger Bucht und im Zartener Becken vorkommen ("Ältere Schotter" nach SCHREINER 1977). Nach Süden reicht die Verbreitung der Breisgau-Formation bis in den Bereich von Steinenstadt. Südlich davon fehlt auf deutscher Seite die Breisgau-Formation, und das ungegliederte Prä-Pliozän wird von den Kiesen der Neuenburg-Formation überlagert (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2000).

Die Lithofazies der Breisgau-Formation zeigen eine gegenüber der unterlagernden Iffezheim-Formation deutlich erhöhte Ablagerungsdynamik dieser Sedimente als debris flows. Auch wenn die Lokalkomponenten zunächst überwiegen, sind die ersten alpinen Komponenten bereits in den **Unteren Breisgau-Schichten** vorhanden. Der Eintrag von Grobsedimenten aus Schwarzwald und Vogesen sowie den Alpen scheint durch eine Hebung der Mittelgebirge und eine Absenkung im Graben, also morphotektonisch, gesteuert zu sein (ELLWANGER et al. 2002, 2004).

Die Unteren Breisgau-Schichten sind reich an Schluff und zeigen vorwiegend rötlichbraune Farbtöne. Die meist stark verwitterten Schwarzwald- und Vogesen-Komponenten treten stärker in den Vordergrund als der alpine Anteil, der durch Gerölle der Westalpen repräsentiert ist - ohne Ostschweizer und Vorarlberger Gebiete, die zu dieser Zeit noch dem System "Alpen-Donau" angehörten (s. Kap. 1.4).

Vermutlich lag das Lokalmaterial zuvor in Form mächtiger Verwitterungs- und Hangschuttdecken auf dem kristallinen Grundgebirge von Schwarzwald und Vogesen, wurde dort abgetragen und als Schuttstromablagerungen (debris flows) in die tiefen Erosionsrinnen der Schwarzwaldtäler und des südlichen Grabens verfrachtet (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 1999). Durch fortschreitende Zersetzung eines Großteils der verwitterten Lokalgerölle zu Grus, Sand und Schluff entstand die charakteristische diamiktische Ausbildung der Breisgau-Formation. Allgemein nehmen der Zersetzungsgrad und die Lagerungsdichte mit der Tiefe zu. Hydrogeologisch zeigt sich daher in den Unteren Breisgau-Schichten eine deutlich geringere Durchlässigkeit als in den Oberen Breisgau-Schichten und der Neuenburg-Formation.

Die **Oberen Breisgau-Schichten** bestehen aus graugelben bis braunen, komponentenreichen Diamikten. Der Übergang von den Unteren zu den Oberen Breisgau-Schichten wird durch eine deutliche Zunahme von Zahl und Größe der alpinen Geröllkomponenten markiert, wobei nun auch Gesteine der Ostschweizer und Vorarlberger Alpen auftreten, die vormals in Richtung Donau transportiert wurden. In den Oberen Breisgau-Schichten ist somit das endgültige "Alpen-Oberrhein"-Geosystem repräsentiert. Vermutlich gelangten erstmals Ablagerungen eines hochdynamischen glazialen Beckenerosionsereignisses in den Oberrheingraben (Übergang von morphotektonischer zu klimamorphogenetischer Steuerung: "Klimamorphogenetische Wende", s. Tab. 1). Diese Sedimente wurden jedoch anschließend zusammen mit teilweise verwittertem Mittelgebirgsmaterial aus Schwarzwald und Vogesen im Grabengebiet morphotektonisch umgelagert (mass flows) und mehrfach resedimentiert (ELLWANGER et al. 2002, 2004). Daher zeigen sich oftmals auf kurzer Distanz stark schwankende Mächtigkeitsverhältnisse. Die größten Mächtigkeiten der Breisgau-Formation wurden in der Bohrung Hartheim (s. Kap. 4.2.8) mit ca. 140 m angetroffen.

Nach ELLWANGER et al. (2004) entspricht die Breisgau-Formation zeitlich der Entwicklung von Älteren über Jüngere Deckenschotter bis zum Hosskirch-Komplex (MEG) im Alpenvorland (s. Tab. 1). In der Freiburger Bucht (Mauracher Berg) belegen Pollenbefunde aus den Oberen Breisgau-Schichten ein cromer-zeitliches Alter (ELLWANGER et al. 2000).

### 2.1.3 Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter)

Der Begriff "Neuenburg-Formation" wurde erst in jüngster Zeit vom LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG (2004) eingeführt. Bisher wurde diese Sedimentabfolge als "Jüngere Schotter" oder "Frische Kiese" bezeichnet. In den Bohrprofilen, in denen die für die Neuenburg-Formation charakteristische Ausbildung mit zwei Grobsedimentlagen (s. u.) nicht eindeutig nachzuweisen war, wurde in der vorliegenden Arbeit die bisherige Bezeichnung "Jüngere Schotter" verwendet.

Die Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) setzt sich aus fluviatilen Kiesen und Sanden mit groben alpinen Ereignislagen (Komponenten > 50 cm) zusammen. Insgesamt handelt es sich um eine vier- bis fünfteilige Abfolge: Sandreiche Schotter - Groblage - sandreiche Schotter - Groblage - sandreiche Schotter, wobei die untersten sandreichen Schotter oft fehlen. Die beiden Groblagen lassen sich bis nördlich von Strasbourg verfolgen und ermöglichen eine Unterteilung der Neuenburg-Formation in Untere und Obere Neuenburg-Schichten.

ELLWANGER et al. (2004) erklären die Entstehung der beiden Groblagen durch glaziale Erosionsereignisse in den Vorland-Becken während der Riss- und Würm-Eiszeiten. Hier wurde die am Ende der jeweils vorangegangenen Eiszeiten entstandene Sedimentfüllung der Becken durch Gletscher ausgeräumt und als grobe alpine Kiesschüttungen in den Oberrheingraben umgelagert. Die sandreichen Kiesabschnitte deuten ELLWANGER et al. (2002, 2004) teils als distale Schmelzwasser-Ablagerungen, teils als fluviale Resedimentation im Rahmen lokaler Subsysteme. Die Sedimente zeigen graue bis rötlichgraue Farbtöne. Innerhalb der Kiesabfolge sind linsenartig sandige Bereiche eingeschaltet, die lateral nur über kurze Distanzen parallelisiert werden können. Im südlichsten Bereich des Grabens treten im basalen Abschnitt der Neuenburg-Formation nagelfluhartig verkittete Schotter auf.

Die oberen, etwa 10 bis 30 m mächtigen Kiese der Schwemmkegel der Schwarzwaldflüsse werden den Jüngeren Schottern zugerechnet. Die Kiese sind hier oft sehr grob (Dreisam-Tal in Freiburg: 45 cm im Durchmesser). Der Feinanteil der meist schlecht sortierten Sedimente ist vergleichsweise hoch. Im Gegensatz zu dem grauen, feinen Rheinsand, der die Matrix der alpinen Schotter der Neuenburg-Formation im Grabenzentrum bildet, ist der Sandanteil der Schwarzwaldkiese rötlich und glimmerreich, und enthält auch reichlich Mittel- und Grobkorn, meist aus zerfallenem Granit. Zur Grabenmitte schließt sich ein Verzahnungsbereich zwischen dem von Schwarzwald- und Vogesen-Material dominierten Randbereich und dem von alpinem Material geprägten Teil im zentralen Grabenbereich an.

Die Jüngeren Schotter sind im gesamten Niederterrassenbereich verbreitet. Die Basis der Abfolge fällt vom Ostrand des Grabens (Münstertal) von 320 m NN auf ca. 130 m NN im Grabenzentrum ab. Insbesondere in den von Salztektonik betroffenen Gebieten wird die Basis der Schotter durch Störungen versetzt. Die größten Mächtigkeiten wurden bei Hausen a.d. Möhlin mit 70 m erbohrt. Während des Holozäns wurden in der Rheinaue die oberen 5 m der alpinen Kiese fluviatil umgelagert. Oft werden sie von 0,5 bis 2 m feinsandigem Lehm (Hochflutlehm oder Schwemmlöss) überdeckt (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2000).

## 2.2 Mittlerer Oberrheingraben / Karlsruher Schwelle

Im Großraum Karlsruhe ist zwischen südlichem und nördlichem Oberrheingraben eine Schwellenregion ausgebildet, auf der die pliozänen und quartären Ablagerungen nur mit etwa 100 m Mächtigkeit (BARTZ 1959) erhalten sind, während sie im Heidelberger Loch im Norden auf über 1000 m und nach Süden zum Offenburger Raum auf über 200 m zunehmen.

Die Region baut sich aus Schwellen und Senken auf, die quer zur Grabenachse verlaufen. Rheinisch streichende Verwerfungen (Leopoldshafener, Forchheimer Verwerfung) gliedern hier den Graben in eine westliche und östliche Grabenscholle und einen östlichen Randblock. Die westliche Grabenscholle ist tiefer abgesunken als die östliche. Auf der Randscholle sind die pliozänen und quartären Ablagerungen in deutlich reduzierter Mächtigkeit erhalten (BARTZ 1982).

#### 2.2.1 Pliozän

Die fluviatilen Ablagerungen des Pliozäns lagern diskordant auf miozänen und oligozänen Tonmergeln. Die Mächtigkeit des Pliozäns beträgt südlich von Karlsruhe etwa 90 bis 100 m, nimmt bei Karlsruhe auf 60 m ab und nach Norden wieder bis auf 200 m zu. So zeichnet sich schon zu Beginn der pliozänen Sedimentation im Großraum Karlsruhe eine Schwellenregion ab, die der von Süden kommende Ur-Rhein überwinden musste. BARTZ (1982) weist anhand von zahlreichen Bohrbefunden an der Basis des Pliozäns verschiedene Rinnensysteme nach. Im weiteren Verlauf erfolgte eine flächenhafte Sedimentation, wobei die pliozänen Sedimente z. T. den Schwellengebieten angelagert sind.

Die pliozänen Sedimente bauen sich aus Wechsellagerungen von Sanden, Schluffen und Tonen auf. Vereinzelt treten Kieseinschaltungen auf; stärkere Kiesschüttungen werden nur an der Basis der pliozänen Rinnensysteme angetroffen. BARTZ (1982) gliedert die pliozänen Sedimente nördlich von Karlsruhe in drei Zyklen, in denen jeweils stärkere Sandschüttungen mit mächtigeren Stillwassersedimenten wechseln (Pliozän I, II und III). Pollenanalysen aus Torfeinschaltungen (VON DER BRELIE in BARTZ 1982) geben Hinweise auf eine mögliche Alterseinstufung des Pliozäns I in das Suster (heute Obermiozän) bis zum Brunssum, des Pliozäns II in das Brunssum bis zum Reuver, und des Pliozäns III in das Reuver.

BARTZ (1982) definiert an zahlreichen Bohrungen aus dem Raum Karlsruhe das erstmalige Auftreten alpiner Komponenten als Marker zur Grenzziehung zwischen Pliozän und Quartär. Hier liefern die Schwermineralbefunde (MAUS in BARTZ 1982) wichtige Hinweise. Weiterhin setzen mit dem Quartär oft bunte Farben und ein deutlicher Kalkgehalt der Sedimente ein.

### 2.2.2 Quartär

Im Raum Karlsruhe gliedert BARTZ (1982) das Quartär in eine Untere sandig-schluffige Folge und eine Obere kiesige Folge (s. Tab. 1), die er als "Altquartär" bzw. "Jungquartär" bezeichnet.

Die "altquartären" Ablagerungen setzen in der Regel mit Kiesen und kiesigen Sanden ein, die alpine Gerölle führen. Darüber folgen Fein- und Mittelsande, die mit Schluffbänken abschließen. Oftmals folgt darüber ein zweiter Zyklus, der mit Kiesen einsetzt und in Sande und Schluffe übergeht. Daher gliedert BARTZ (1982) in ein unteres "Altquartär 1" (AQ1) und ein oberes "Altquartär 2" (AQ2). Torflagen im AQ1 weisen nach der Pollenvergesellschaftung auf Tegelen hin, im AQ2 auf den Cromer-Komplex (s. Tab. 1).

Das Obere kiesige Folge ("Jungquartär") setzt mit mächtigen Kiesschüttungen ein, die durch feinkörnige Zwischenschichten in drei Kieslager getrennt werden (BARTZ 1982). Diese Trennhorizonte fehlen allerdings oftmals - besonders der Obere Zwischenhorizont - infolge Erosion, was eine Glie-
derung des "Jungquartärs" dann unmöglich macht. WERNER et al. (1995) geben an, dass der Obere Zwischenhorizont weitgehend auf den rheinnahen Bereich der Grabenscholle beschränkt ist. Zudem haben palynologische Untersuchungen ergeben, dass oberhalb des OZH ein weiterer, linsenartig ausgebildeter, jüngerer Feinkornhorizont existiert (BLUDAU 1995). Bei fehlenden Feinsediment-Einschaltungen lassen in bestimmten Niveaus auftretende Groblagen den Einsatz einer neuen Kiesschüttung erkennen (BARTZ 1982). Nördlich von Karlsruhe fehlt das Untere Kieslager, das dort durch vorwiegend sandige Sedimente vertreten ist, die keine klare Abgrenzung zum "Altquartär" ermöglichen (WERNER et al. 1995).

Auf der östlichen Randscholle ist nur die Obere kiesige Folge ("Jungquartär") erhalten, die mit einer Mächtigkeit von ca. 15 m auf oligozänen Tonmergeln lagert. Eine rinnenartige Einsenkung der Kiesbasis im Ostteil der Grabenscholle mit 40 bis 60 m mächtigen Kiesen verbindet über die Rastatt-Karlsruher Schwelle hinweg die beiden südlich und nördlich davon liegenden Kiessenken von Unzhurst und St. Leon-Rot, in denen die grobklastischen Sedimente Mächtigkeiten von 100 m und mehr erreichen (WERNER et al. 1995). Auch auf der Randscholle nimmt die Mächtigkeit der Kiese nach Norden hin von 15 auf 55 m zu (BARTZ 1976). Nördlich von Bruchsal, in der Region der Kraichgau-Senke, gibt es nur eine schmale Randscholle, auf der die jungpleistozänen Sedimente etwa 10 m mächtig sind. Durch eine Nord-Süd verlaufende Störungszone getrennt liegen dort auf der Grabenscholle insgesamt etwa 200 m pleistozäne Sedimente.

Der holozäne Anteil des Oberen Kieslagers besteht im wesentlichen aus umgelagerten pleistozänen Kiessanden; der Anteil von rötlichen Sanden (aus Graniten und Sandsteinen der Trias) und Geröllen aus den Randgebirgen nimmt besonders in den obersten Metern merklich zu (WERNER et al. 1995).

## 2.3 Nördlicher Oberrheingraben

Nördlich der Karlsruher Schwelle sind im nördlichen Oberrheingraben wieder größere Sedimentmächtigkeiten aus Pliozän und Quartär anzutreffen. Hier sind die Sedimente generell feinkörniger, und der Anteil an Lokalmaterial nimmt zu.

Trotz dieses deutlichen Lokaleinflusses im Nordgraben findet sich in der Sandfraktion der Sedimente weiterhin der alpine Einfluss im Schwermineralspektrum. Daher wäre eine Korrelation mit dem Südgraben prinzipiell möglich. Doch die Faziesmuster aus dem Südgraben lassen sich nur schwer in den Nordgraben verfolgen.

Zur Iffezheim-Formation äquivalente Sedimente scheinen weithin vorhanden zu sein. Die diamiktischen Lithofaziesassoziationen der Breisgau-Formation mit vielen mürben Komponenten reichen am Grabenrand, im Einzugsgebiet der Schwarzwaldtäler, noch weit nach Norden. In der Grabenmitte werden sie vermutlich durch fluviatile Assoziationen ersetzt. Die frischen Kiese und Blocksedimente der Neuenburg-Formation / Jüngeren Schotter gehen nach Norden in Kies-Sande und Sande über. ELLWANGER et al. (2001, 2004) erkennen in manchen Bohrprofilen aus dem Nordgraben weiterhin zwei Groblagen, die den beiden Ereignislagen des Südgrabens entsprechen könnten.

In der Vergangenheit wurden im nördlichen Oberrheingraben vorwiegend Spülbohrungen abgeteuft, anhand derer die lithostratigraphische Gliederung und hydrogeologische Einstufung vorgenommen wurde. Hier haben sich für die Ermittlung der ungefähren Plio-Pleistozän-Grenze in den geophysikalischen Bohrlochmessungen der natürlichen Gammastrahlungen die Feinkornlagen des Pliozäns als brauchbare Marker erwiesen. Sie zeichnen sich deutlich im Gamma-Log mit einer hohen Gamma-Eigenstrahlung aus. Petrographische oder mikropaläontologische Analysen wurden aufgrund der beschränkten Verwertbarkeit von Spülproben nur selten durchgeführt.

#### 2.3.1 Tektonische / Morphologische Gliederung

Im Verlauf der Grabenbildung entstand zwischen der Grabenschulter und dem Grabeninneren eine rheinisch streichende Staffelbruchzone mit unterschiedlich aufgebauten Teilschollen: Die Grabenschulter als Randgebirge (Pfälzerwald) im Westen, die vorgelagerte Randscholle mit der Zwischenscholle und die eigentliche Grabenscholle, die aus Westlicher (zentraler) und Östlicher Grabenscholle besteht (KÄRCHER 1987, s. Abb. 5).

Der Pfälzerwald als Randgebirge des Grabens wird über dem kristallinen Grundgebirge hauptsächlich aus Buntsandstein aufgebaut. Die Randscholle grenzt die Vorbergzone von den tiefer abgesunkenen Bereichen der Zwischenscholle ab (s. Abb. 5 und 7). Unter geringmächtigen Ablagerungen des Quartärs (Hangschuttbildungen, Fließerden, Löss, Terrassenablagerungen) und den Sedimenten des Pliozäns stehen auf der Randscholle vorwiegend Abfolgen des Miozäns und Oligozäns an. Die Zwischenscholle ist eine zwischen Rand- und Grabenscholle liegende Bruchschollenstufe, auf der das Miozän von bis zu 100 m mächtigem Pliozän überlagert wird. Während des Quartärs wurden hier geringmächtige fluviatile und limnische Sedimente sowie Löss abgelagert (KÄRCHER 1987).

Die eigentliche Grabenscholle wird durch eine Verwerfung (Innere Grabenschollen-Verwerfung), die im Raum Frankenthal-Ludwigshafen ungefähr mit dem Verlauf des Hochgestades zusammenfällt, in die Westliche und Östliche Grabenscholle aufgegliedert (s. Abb. 5). Weiter südlich quert die Verwerfung auf der Höhe von Schifferstadt-Speyer die Rheinniederung und schwenkt zunehmend nach Osten ab. Südlich des Speyerbach-Schwemmfächers umfasst die Westliche Grabenscholle als zentrale Grabenscholle sowohl die links- wie rechtsrheinischen Grabenschollenbereiche. Sie wird durch eine annähernd parallel zur Inneren Grabenschollen-Verwerfung über Schifferstadt-Speyer-Hockenheim verlaufende Verwerfung (s. Abb. 5) in zwei Teilschollen untergliedert (KÄRCHER 1987).



Abb. 5: Tektonische Übersichtskarte des Nördlichen Oberrheingrabens (nach KÄRCHER 1987) mit Lage der untersuchten Bohrungen (rote Markierungen).

Die Abbildung 6 zeigt die morphologische Gliederung des Gebietes mit folgenden Einheiten: Die etwa 5 bis 10 km breite Rheinniederung (Rheinaue) entstand durch erosive Eintiefung des nacheiszeitlichen Rheins in seine zuvor aufgeschüttete Niederterrassenfläche. Die weit ausschwingenden Mäander wurden durch die Tulla'sche Rheinkorrektur im 19. Jahrhundert größtenteils verkürzt, was zur Bildung zahlreicher verlandeter Altrheinarme führte. Die randliche Begrenzung der Rheinniederung wird durch einen wenige Meter hohen Geländeanstieg markiert (Hochgestade).

Nördlich von Schifferstadt wird die Rheinniederung auf westlicher Seite von einer einheitlichen Verebnungsfläche umrahmt, der Frankenthaler Terrasse (s. Abb. 6). Sie verläuft in einem weiten, nach Westen ausgreifendem halbkreisförmigen Bogen westlich der Neckarmündung bei Mannheim. Diese Terrassenfläche zeigt zu den angrenzenden Riedelflächen (Hochterrasse) einen etwa 2 - 10 m hohen Geländeanstieg (STÄBLEIN 1968, KÄRCHER 1987). Sie wurde während der letzten Eiszeit vom Rhein überflutet und blieb daher weitgehend lössfrei. Derzeit wird eine tektonische Anlage der Frankenthaler Terrasse als eine gegenüber dem westlichen Grabenrand abgesenkten Scholle (Frankenthaler Scholle) diskutiert (mündl. Mitteilung KÄRCHER, WEIDENFELLER). Diese Scholle wird vermutlich von den zwei Störungen begrenzt, die im Osten etwa mit dem Ver-

lauf des Hochgestades (Innere Grabenschollenverwerfung, Störung 2) und dem westlichen Terrassenrand der Frankenthaler Terrasse (Störung 1) übereinstimmen. Somit ist auch eine tektonische Vorprägung des Hochgestades zu vermuten, dessen Verlauf der Rhein nacheiszeitlich durch sich ständig verlagernde Mäander formte. Eine fluviatile Entstehung der Frankenthaler Terrasse durch Erosion eines Rheinmäanders mit einem derart großem Radius erscheint wenig plausibel (mündl. Mitteilung KÄRCHER und WEIDENFELLER).

Südlich der Frankenthaler Terrasse nimmt der Speyerbach-Schwemmfächer fast die gesamte westliche Grabenhälfte ein. Westlich der Frankenthaler Terrasse und südlich des Speyerbach-Schwemmfächers schließt sich der Bereich der Riedelflächen an. Die auch als Hochterrasse bezeichneten Riedel weisen meist eine bis zu 15 m mächtige Lössdecke auf (KÄRCHER 1987).



Abb. 6: Morphologische Übersichtskarte des Nördlichen Oberrheingrabens (nach KÄRCHER 1987) mit Lage der untersuchten Bohrungen (rote Markierungen).

In der östlichen Rheinebene erstreckt sich die Niederterrasse bis zur Grabenschulter, höhere Terrassenstufen fehlen (s. Abb. 6 und 7). Die Ursache hierfür liegt im schnell absinkenden Gebiet um das "Heidelberger Loch" und der leichten Kippung des Grabens nach Osten. Ältere Sedimente wurden daher von den Niederterrassenschottern überdeckt. Da der Punkt maximaler Absenkung weiter nördlich liegt, wurden die Flussmündungen der Seitenzuflüsse in das Rheintal nach Norden verschleppt (KÄRCHER 1987).

Durch die Kippung nach Osten entstand am östlichen Grabenrand eine Randsenke, die "Kinzig-Murg-Rinne" (s. Abb. 7), die sich mit einem bis zu 3 m hohen Steilrand von der Niederterrassenfläche abgrenzt. Sie diente nach THÜRACH (1911) der Entwässerung des Schwarzwalds und des Kraichgaus im Spätglazial. Durch den späteren Durchbruch der Flüsse zum Rhein kam es zur Verlandung (laut BARTZ 1982 spätestens im Atlantikum). Bis heute ist der Bereich der Kinzig-Murg-Senke ein stark vernässter Bereich mit Torfvorkommen. METZGER (1992) bezweifelt aufgrund fehlender Nachweise von entsprechenden Sedimenten die fluviatile Bildung der Randsenke; er sieht ihre Bildung eher durch synsedimentäre Setzungsvorgänge im Postglazial verursacht.



Abb. 7: Schematischer geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt durch den nördlichen Oberrheingraben (HGK 1999).

#### 2.3.2 Pliozän

Bei den pliozänen Sedimenten handelt es sich um meist hellgefärbte Tone, Schluffe und Sande mit z. T. hohen Kaolingehalten mit vereinzelten Kiesbändern. Verbreitet treten Torf- und Holzeinschaltungen auf. Die Kiese an der Pliozänbasis bestehen aus einer feinkiesigen Mittel-Grobsandlage mit Milchquarzen, braunen Quarzitgeröllen und kleinen Muschelkalkhornsteinen (BARTZ 1976). Im Raum Speyer-Germersheim betragen die Mächtigkeiten des Pliozäns 200 bis 250 m; im Raum Ludwigshafen-Mannheim werden wohl mehr als 500 m erreicht (BARTZ 1976, KÄRCHER 1987). In der Heidelberger Thermalwasserbohrung wurde laut BARTZ (1953) 640 m mächtiges Pliozän durchteuft, ohne die Basis zu erreichen. Unter den vermutlich jungpliozänen Sedimenten sind nach BARTZ (1953) Obermiozän und die Hydrobien-Schichten sowie das gesamte ältere Tertiär (Niederröderner Schichten, Graue Schichtenfolge, Lymnäenmergel) zu erwarten. Die Basis des Tertiärs schätzt er im Raum Heidelberg auf unter 2000 m Teufe.

Da es sich bei den pliozänen Sedimenten überwiegend um fluviatile Sedimente handelt, in denen kristalline Gerölle aus dem Schwarzwald vorkommen, geht BARTZ (1953) von der Anlieferung durch einen pliozänen Ur-Rhein aus.

## 2.3.3 Quartär

Das Oberpliozän wird im Grabeninnern meist konkordant vom Quartär überlagert. Zur Ermittlung des für die lithologische Gliederung wichtigen Bezugshorizontes, der Grenze Pliozän/Pleistozän, leisten die tonmineralreichen Feinkornsedimente des Pliozäns mit einer hohen Gamma-Eigenstrahlung, die sich im Gamma-Ray-Log entsprechend abzeichnen, gute Dienste (KÄRCHER 1987). Hinzu kommt ein meist deutlicher Farbwechsel von bunten Pastelltönen im Pliozän zu grauen Farben im Quartär. Weiterhin ist in den quartären Sedimenten ein deutlicher Kalkgehalt sowie das Auftreten alpiner Komponenten festzustellen.

Tabelle 2: Lithostratigraphische und hydrogeologische Gliederung der Lockergesteine im Rhein-Neckar-Raum, Gegenüberstellung der Gliederungen aus der HGK 1987 und der HGK 1999.

HGK Rhein-Neckar-Raum (1987)		HGK R	hein-	Veckar-Raum (1999)			
Lithostratigraphische Gliederung		Lithostratigraphische Gliederung		Hydogeologische Gliederung			
Deckschichten		Deckschichten		Deckschichten			
			oOKL	OGWL-o			
Oberes Kieslager		Oberes Kieslager (OKL)	ZH1	ZH1	Oberer Grundwasserleiter (OGWL)		
			uOKL	OGWL-u			
Oberer Zwischenhorizont	"Jungquartär"	Oberer Zwischenhorizont		OZH	Oberer Zwischenhorizont		
				MGWL-o			
			ZH2	ZH2			
Mittlere sandig-kiesige Abfolge		Mittlere sandig-kiesige Abfolge		MGLW-m	Mittlerer Grundwasserleiter (MGWL)		
Unterer Zwischenton		(Quartär)	ZH3	ZH3			
				MGWL-u			
		Unterer Zwischenhorizont	UZH	UZH	Unterer Zwischenhorizont		
Untere sandig-schluffige Abfolge	"Altquartär"	Untere sandig-schluffige Abfolge			Unterer Grundwasserleiter (UGWL)		
Pliozän	"Tertiär"	(Pliozän)					
Miozän		Miozän		Aquifersohlschicht			

Die Untere sandig-schluffige Folge bildet den Unteren Grundwasserleiter (UGWL). Hierbei handelt es sich vorwiegend um Ton-Schluff-Feinsand-Wechselfolgen mit gelegentlichen Einschaltunsandig-schluffigen Folge von 50 m im Westen bis zu 80 m im Osten. Generell fallen die Schichten nach Nordosten ein (KÄRCHER 1987). Im Bereich der tiefer abgesenkten Östlichen Grabenscholle liegt die Untere sandig-schluffige Folge in Mächtigkeiten bis zu 120 m vor.

Der **Untere Zwischenhorizont** (UZH) trennt in der Rheinniederung den Unteren vom Mittleren Grundwasserleiter (MGWL). Der UZH ist etwa 10 - 30 m mächtig.

Die bis 100 m mächtige **Mittlere sandig-kiesige Abfolge** bildet den Mittleren Grundwasserleiter MGWL, der durch einen schluffig-tonigen, etwa 2 - 10 m mächtigen Zwischenhorizont (ZH3), in einen oberen (MGWL-o) und unteren (MGWL-u) Bereich getrennt sein kann. Der MGWL-o besteht aus einer sandig-kiesigen Abfolge, die lokal durch einen weiteren Zwischenhorizont (ZH2) untergliedert wird (HGK 1999, s. Tabelle 2). Auf hessischem Gebiet ist eine eindeutige Ansprache von ZH2 und ZH3 problematisch, da sich die Horizonte meist in Einzellagen auffächern. Zwischen die Niveaus von ZH2 und ZH3 schieben sich weitere Ton-Schlufflinsen.

Die Sand- und Kieslagen sind meist hellgrau-rötlich, graugrün oder graubraun gefärbt. Die Schluffe und Tone zeigen graue, graubraune oder -grüne, bei hohen Anteilen von Torf, Braunkohlen und Holzresten auch grauschwarze Farben. Häufig sind Schalenreste von Schnecken enthalten. Westlich der Rheinniederung baut sich die gesamte Schichtenfolge bis auf wenige kiesige Einschaltungen aus einer Sand-Schluff-Ton-Wechselfolge auf, die eine Abgrenzung zur Unteren sandig-schluffigen Folge erschwert. Rechtsrheinisch treten bei gleichzeitiger Mächtigkeitszunahme die Ton-Schluff-Einschaltungen deutlich zurück.

Der **Obere Zwischenhorizont** (OZH) stellt den weitverbreitetsten Ton-Schluff-Horizont dar. Er besteht größtenteils aus Ton- und Schlufflagen ("Oberer Ton"), bereichsweise auch aus glimmerreichem Feinsand. Die Schluffe und Tone sind meist kalkhaltig, graugrün, graublau und dunkelgrau bis schwarz. Bei tonig-schluffiger Ausbildung bewirkt der OZH eine hydrogeologische Stockwerksgliederung zwischen dem OGWL und dem MGWL.

Nordwestlich von Frankenthal und südöstlich von Speyer überwiegen im OZH Sande oder eine Sand-Schluff-Ton-Wechsellagerung, die eine klare Abgrenzung dieses Horizontes erschweren. Im Raum Ludwigshafen-Mannheim kann der OZH bereichsweise in zwei Feinkornlagen (OZH1 und OZH2) und eine zwischengelagerte Sandabfolge (OZHGWL) weiter untergliedert werden. Die Mächtigkeit des Oberen Zwischenhorizontes reicht von 10 m im Westen bis zu 40 m im östlichen Bereich der Westlichen Grabenscholle. Weiter nach Osten geht sie infolge der Erosion durch den Rhein auf unter 30 bis 20 m zurück (KÄRCHER 1987).

Nachdem der Rhein einen großen Teil des Oberen Zwischenhorizontes flächenhaft erodiert hatte, schüttete er das **Obere Kieslager** (OKL) auf, das im gesamten rechtsrheinischen Rhein-Neckar-Raum und bereichsweise auch linksrheinisch flächendeckend verbreitet ist, und den Oberen Grundwasserleiter (OGWL) bildet. Es wird hauptsächlich aus sandigen Kiesen aufgebaut. Regional sind auch mächtige Fein- und Mittelsandlagen eingeschaltet. Ein gut kartierbarer, schluffigtoniger Zwischenhorizont (ZH1) ist auf den östlichen Grabenrand im Gebiet um Heidelberg beschränkt. Nach Westen wird der ZH1 zunehmend sandig. Seine Mächtigkeit schwankt zwischen 15 m im Osten und 1 - 2 m im Westen (im Raum Ludwigshafen 1 - 5 m). Der ZH1 trennt den GWL in einen oberen (OGWL-o) und einen unteren Teil (OGWL-u).

Das Sand-Kies-Gemisch des Oberen Kieslagers setzt sich aus Rheinablagerungen (alpines Material, Schüttungen aus den südlichen Randgebirgen) und Abtragungskomponenten der Pfälzerwald-Bäche (hauptsächlich Buntsandstein) sowie östlich von Mannheim aus Neckar-Material zusammen. Im oberen Teil des OKL herrschen bunte Farben vor, im unteren Teil grau-rötliche. Das Obere Kieslager erreicht linksrheinisch Mächtigkeiten von 20-25 m, rechtsrheinisch zwischen 20 m in Rheinnähe und 50 m am Odenwaldrand (HGK 1987).

Im Bereich der Östlichen Grabenscholle schwanken im Raum Ludwigshafen-Mannheim linksrheinisch die Mächtigkeiten der gesamten Quartärabfolge zwischen ca. 190 - 250 m. Nordöstlich davon und vor allem südöstlich von Mannheim in Richtung Heidelberg wachsen rechtsrheinisch die Mächtigkeiten weiter an (BARTZ 1974) und erreichen in der Heidelberger Thermalwasserbohrung (SALOMON 1927) den bislang größten erbohrten Wert mit 382 m (BARTZ 1953). Mit der Zunahme der Mächtigkeit ist eine wesentliche Erhöhung des Feinkornanteils verknüpft. Das Geröllmaterial der Thermalwasserbohrung stammt ausschließlich vom Neckar. Gegen Mannheim und nach Norden verzahnen sich Rhein- und Neckar-Ablagerungen (BARTZ 1953, 1974).

Nach Westen gehen mit abnehmender Mächtigkeit die Kieseinschaltungen stark zurück. Im Raum Frankenthal-Worms liegen die quartären Ablagerungen, von geringen gröberen Einschaltungen der Haardtbäche abgesehen, fast nur noch als Sande und Schluffe vor (BARTZ 1976).

Westlich des Sedimentationsraumes des OKL kommt es im Spätpleistozän und Holozän verbreitet zur Ausbildung von Terrassenablagerungen der zum Rhein hin entwässernden Pfälzerwald-Bäche. Es handelt sich um meist nur wenige Meter mächtige Sande und kiesige Sande sowie Auenlehm und Torfeinlagerungen. Die grobklastischen Komponenten bestehen hauptsächlich aus Buntsandstein-Material, das den Terrassensedimenten eine rötliche Farbe verleiht. Im Bereich der Riedelflächen sind bis zu 15 m mächtige Lösse anzutreffen. Einige größere Flugsandvorkommen finden sich auf der Frankenthaler Terrasse und vor allem im Bereich des Speyerbach-Schwemmfächers im Raum Haßloch, Schifferstadt und Speyer (KÄRCHER 1987).

## 3 Untersuchungsmethoden

## 3.1 Lithofaziesaufnahme der Bohrungen

Bei der Aufnahme der Bohrungen wurde die geotechnische Beschreibung ergänzt durch eine lithofazieskundliche Beschreibung (Aufnahme vorwiegend durch Dr. D. ELLWANGER, LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG).

Als "Lithofazies" wird eine typische Abfolge von Sedimenten bezeichnet, die genetisch zusammengehören. Bei der Lithofaziesaufnahme werden die verschiedenen Ablagerungs- und Erosionsprozesse identifiziert, also die geodynamischen Trends der Sedimentabfolge dargestellt. Die daraus folgenden Lithofaziesprofile ergeben eine gute Grundlage für die weitere Korrelation und Interpretation der Sedimentabfolgen.

Anstelle einer Bezeichnung des Sediments aufgrund seines lokalen Vorkommens werden die raschen vertikalen und lateralen Fazieswechsel in den quartären Sedimenten aufgezeichnet und die Ablagerungsbedingungen rekonstruiert. Die Mächtigkeit der Ablagerungen stellt hierbei eine Funktion der lokalen Absenkung dar, während die Ablagerungsdynamik auf die Bedingungen (Tektonik, Klima) im Liefergebiet schließen lässt (ELLWANGER & FIEBIG 1998, ELLWANGER et al. 2004).

Die systematische Dokumentation von Korngrößen, Schichtung und Sedimentstrukturen ist die Basis der Lithofaziesbeschreibung. Die erfassten Lithofaziestypen (vertikale Lithofaziesabfolgen und laterale Zusammenhänge) dienen der Interpretation der Ablagerungsumgebung und führen zur Aufstellung von Faziesmodellen. Diese Methodik hat sich als wichtiges Werkzeug in der Analyse der vielfältigen klastischen Ablagerungen herausgestellt.

Der erste Schritt in der Analyse einer stratigraphischen Abfolge ist das Erkennen von Lithofaziestypen, aus denen sich das betreffende Profil zusammensetzt. Die Kernprofile werden in Lithofaziescodes und als vertikale Lithofaziessäule aufgenommen. Es hat sich gezeigt, dass für ein bestimmtes Ablagerungsumfeld meist eine begrenzte Anzahl von unterschiedlichen Lithofaziestypen zur Aufnahme einer Sukzession ausreicht. Dies erlaubt die Festlegung von Standard-Lithofaziesschemata, die formal definiert und für den Feldgebrauch kodiert werden. Für fluviatile Sedimente haben z. B. MIALL (1977, 1978) und EYLES et al. (1983) Lithofaziescodes vorgeschlagen und gezeigt, dass für die Beschreibung eines Großteils der fluviatilen Ablagerungen etwa 20 verschiedene Standard-Lithofaziestypen ausreichen.

Im nächsten Schritt folgt eine Faziesanalyse der Sedimente sowie die Identifikation, Dokumentation und Bewertungen von Diskontinuitäten am Sediment-Log. Die anschließende Interpretation erfolgt mit Hilfe von Faziesmodellen. Es werden Ablagerungszyklen verschiedener Ordnung identifiziert und im Hinblick auf steuernde Faktoren (Klima, Tektonik, Eigendynamik) interpretiert. Technische Aufnahmen (Geotechnik, Geophysik) sowie im Labor gewonnene analytische Daten geben Hinweise auf stratigraphische Korrelationen. Letztendlich sollen durch Kombination von Einzelprofilen einer Region die landschaftsprägenden Ereignisse in Zyklen und Zeitscheiben deutlich werden.

Die Lithofaziescodes setzen sich aus mehreren Teilen zusammen. Ein Großbuchstabe kennzeichnet die Hauptkomponente der Korngröße des zu beschreibenden Sediments:

F	Feinsediment
S:	Sand
G:	Kies
X:	Steine (63-200 mm)
Y:	Blöcke (> 200 mm)
D:	Diamikt

Der Begriff "Diamikt" (D) wird in der Lithofaziesbeschreibung für schlecht sortierte Kies-Sand-Feinsediment-Mischungen unabhängig von ihrer Entstehung verwendet, und ist daher als Lithofaziescode für Sedimente in jeglicher Ablagerungsumgebung anwendbar.

Setzt sich das Sediment aus mehreren Komponenten zusammen, sind Kombinationen der Codes möglich, wie z. B. sG für sandigen Kies, sF für sandiges Feinsediment oder auch GS für Kiessand. Hierbei kennzeichnet die Verwendung von zwei Großbuchstaben die Gleichwertigkeit beider Komponentengrößen, während ein vorangestellter Kleinbuchstabe die untergeordnete Korngröße angibt.

Der Code wird um weitere definierte Buchstaben-Codes ergänzt, die die vorherrschenden internen Strukturen der Lithofazies wiedergeben. Neben den Lithofazies sollten bei der Aufnahme zusätzlich die Farbe des Sediments, die Komponentenlithologie, die Komponentenform und -orientierung, die Packung oder Kontakte der Komponenten, der Verwitterungsgrad etc. protokolliert werden.

Im Folgenden sind einige Beispiele häufiger Lithofaziescodes aufgeführt:

Fl	laminiertes Feinsediment
Fh	humoses Feinsediment
Sg	gradierter Sand
Gms	debris flow, matrixgestützter Kies
Dc	komponentengestützter Diamikt
Dm	massiger, ungeschichteter Diamikt
Dm(m)	ungeschichteter matrixgestützter Diamikt
vw(Dm)	massiger Diamikt mit verwitterten Komponenten.

Im Oberrheingebiet konnte eine charakteristische Abfolge der Sedimentsukzession durch Festlegung der wichtigsten Diskontinuitäten erarbeitet und diese mit den Lithofaziesabfolgen der glazial geprägten, randalpinen Beckenlandschaft korreliert werden (ELLWANGER et al. 2004).

In den Glaziallandschaften entstehen die Diskontinuitäten infolge der Ausräumung der übertieften Becken durch vorrückende Gletscher. Insgesamt lassen sich nach ELLWANGER et al. (2004) drei solcher Zyklen erkennen, die mit Beckenerosionen während der Glaziale Würm, Riss und der "größten" Vergletscherung (MEG / Hosskirch-Komplex, erste große Beckenbildung) korrelierbar sind. In diesen Phasen höchster Dynamik erfolgt der Transport des erodierten Materials durch das Hochrheintal in den Oberrheingraben, was sich im südlichen Teil des Grabens jeweils in besonders groben, blockreichen Sedimentlagen abzeichnet. Die beiden Groblagen der Neuenburg-Formation sind vermutlich auf solche Beckenerosionsereignisse zurückzuführen (ELLWANGER et al. 2002, 2004). Die feinkörnigeren Sedimente werden weiter transportiert als das Grobmaterial; ihr Sedimentationsraum umfasst das gesamte Geosystem Rhein bis zur Nordsee.

Die Lithofaziesanalysen der untersuchten Bohrungen haben entscheidend zur stratigraphischen Neugliederung der Sedimente im südlichen Grabengebiet beigetragen (s. Kap. 2.1). Sie erlauben dort trotz fehlender paläontologischer Befunde durch die Korrelation mit dem Alpenvorland zeitliche Einstufungen. Desweiteren lassen die Lithofaziesbefunde die geodynamischen Ablagerungsbedingungen erkennen, die bereits in die Charakterisierung der einzelnen stratigraphischen Einheiten eingeflossen sind (s. Kap. 2.1.1 bis 2.1.3).

Eine Verfolgung der Lithofaziesmuster des Südgrabens in das nördliche Grabengebiet ist aufgrund von fluviatiler Aufarbeitung und Sortierung der Sedimente sowie durch starke Beimischung von Grabenrandmaterial problematisch. Vereinzelt treten dort weiterhin Grobsedimentereignisse auf, deren Korrelation mit denen des Südgrabens aber noch abzusichern ist. Die reduzierten Sedimentprofile auf der Karlsruher Schwelle, die die Akkumulationsbecken des Süd- und Nordgrabens voneinander trennt, erschweren zusätzlich, eine Verbindung zwischen den Abfolgen aus beiden Bereichen herzustellen.

Aufgrund der hohen Sedimentmächtigkeiten im Nordgraben gibt es bisher nur wenige Bohrungen, die das Quartär vollständig erfassen. In diesem Bereich bietet sich aber aufgrund der in den Feinkornhorizonten zu erwartenden paläontologischen Befunde die Möglichkeit, die Sedimentabfolge zeitlich besser einstufen zu können, als das bisher in den groben Kiesen im Südgraben möglich ist, für die es keine ausreichend geeigneten Datierungsverfahren gibt. Die Kombination von schwermineralogischer und lithofazieskundlicher Aufnahme an einer ausreichenden Anzahl von Tiefbohrungen wird die Möglichkeit eines Vergleichs zwischen den Sedimentabfolgen im Nord- und Südgraben verbessern.

## 3.2 Schwermineralanalyse

Als Schwerminerale werden Minerale mit einer Dichte von über 2,9 g/cm<sup>3</sup> eingestuft. Sie werden zusammen mit anderen gesteinsbildenden Mineralen transportiert und abgelagert. Da ihr Anteil am Sediment meist nur Bruchteile von Prozenten beträgt, müssen sie für die Herstellung von Körnerpräparaten zur Schwermineralanalyse angereichert werden.

Das Ziel der Schwermineralanalyse ist sowohl die petrographische Charakterisierung der Sandfraktion eines Sedimentes, als auch die paläogeographische Rekonstruktion von Liefergebiet und Transportweg unter Berücksichtigung von Klima, Tektonik und Diagenese. Dazu ist die Schwermineralführung der in Frage kommenden Liefergebiete zu klären. Für die quartären Sedimente im Oberrheingraben ist eine Anlieferung direkt aus den Alpen, aus den Molassegebieten oder von den Randgebirgen möglich. Durch Änderungen im Schwermineralspektrum können Änderungen des Liefergebietes, zum Beispiel Erweiterungen oder Einengungen von fluviatilen Systemen, erfasst werden. Bei der Schwermineralanalyse an Profilen oder Bohrkernen sind stratigraphische Aussagen durch die Mineralwechsel möglich.

In den Rheinsedimenten lässt sich die flussgeschichtliche Entwicklung dieses Stromsystems anhand der unterschiedlichen Liefer- und Einzugsgebiete nachvollziehen. Hierzu liegen zahlreiche Untersuchungen vor (z. B.: SINDOWSKI 1940, VAN ANDEL 1950, BOENIGK 1976, 1987, 1998, PETIT et al. 1996). So ist der Anschluss des Rheins an das Alpengebiet im ausgehenden Pliozän durch einen markanten Wechsel im Schwermineralspektrum von überwiegend stabilen Mineralen zu einem Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum festzustellen, der die Ausweitung des Rhein-Einzugsgebietes nach Süden über den Kaiserstuhl hinaus und den Anschluss an die Alpenentwässerung dokumentiert (BOENIGK et al. 1974, BOENIGK 1982, 1987, 1990).

In der Niederrheinischen Bucht (BOENIGK 1976, 1978 a, 1978 b, 1998, 2002) wird der Übergang vom Tertiär zum Pleistozän im Abschnitt B des Reuver-Tons (obere Kieseloolith-Formation) gezogen, da sich dort der charakteristische Wechsel in der petrographischen Zusammensetzung der Sedimente zeigt, der auf ein Einsetzen von alpinen Schüttungen über den Rhein in die Niederrheinische Bucht zurückgeführt wird.

Eine eindeutige stratigraphische Interpretation von fluviatilen Sedimenten ist problematisch. Aufschüttung und Abtragung wechseln auf kurzer Distanz, in liegende Schichten sind Rinnen eingetieft, die erst später verfüllt wurden, und durch den Einfluss von Klima und Tektonik auf das Strömungssystem ist das Erhaltungspotential von einmal abgelagerten Sedimenten sehr unterschiedlich. Eine Korrelation einzelner, z. T. weit voneinander entfernt liegender Bohrprofile ist mit vielen Unsicherheiten behaftet oder gar unmöglich. Hier bietet die Sedimentpetrographie Möglichkeiten, einzelne Schichten auszugliedern und in Bohrprofilen wiederzuerkennen. Da die jungtertiäre und quartäre Sedimentfüllung des Oberrheingrabens vorwiegend aus Sanden und Kiesen besteht, bietet die Schwermineralanalyse die Möglichkeit, alle Schichteinheiten gleichartig zu untersuchen und als sedimentpetrographische Einheiten zu charakterisieren. Selbst in den grobkiesigen Ablagerungen im südlichen Oberrheingraben ist meist genügend Sandanteil für die Analyse vorhanden. Weiterhin bieten die bereits vorliegenden sedimentpetrographischen Daten aus dem Rheinsystem, dem Alpenvorland und des Bresse-Grabens Anknüpfungspunkte und Korrelationsmöglichkeiten für weiterführende Untersuchungen.

Das typische "Alpine Spektrum" (ERBERICH 1937: Rhein-Fazies) besteht vorwiegend aus den instabilen Schwermineralen Granat, Epidot und grüner Hornblende sowie den Alteriten. Diese vier Schwermineralarten machen bei den pleistozänen Proben aus dem Oberrheingebiet mengenmäßig den Großteil der Schwermineralfraktion aus.

In einigen Untersuchungsgebieten lassen die im Schwermineralspektrum erkennbaren vulkanischen Einflüsse zeitliche Einstufungen der Sedimente zu, wie z. B. die vulkanischen Schwerminerale in den Rheinterrassen der Niederrheinischen Bucht und des Mittelrheins, die durch den im Mittelpleistozän einsetzenden Eifelvulkanismus eingetragen wurden (RAZI RAD 1976, BRUNNACKER et al. 1978). Hier stellt die Schwermineralanalyse eine wichtige stratigraphische Methode dar. Im Oberrheingraben sind im vorwiegend hochdynamischen Ablagerungsmilieu die leicht verwitterbaren vulkanischen Schwerminerale meist nicht als datierbare vulkanische Lage erhalten.

#### 3.2.1 Probennahme

In der vorliegenden Arbeit wurden überwiegend gekernte Bohrprofile beprobt und analysiert. Bei der Probennahme wurde versucht, jede deutlich abgrenzbare Schichteinheit mindestens dreifach zu beproben. Bei einigen Bohrungen wurde ein größerer Probenabstand gewählt, um zunächst einen groben Überblick über eventuelle Veränderungen der Sedimentzusammensetzung zu erhalten.

In Tagesaufschlüssen waren selten ganze Profilabfolgen zu beproben, hier und aus den beprobten Seitenzuflüssen in den Oberrheingraben liegen einige Einzelproben vor, deren Analysenergebnisse nur mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Die pleistozänen Proben aus dem Oberrheingraben sind meist schwermineralreich, sodass kleine Probenmengen zur Aufbereitung ausreichen. Bei sandigen Sedimenten beträgt die benötigte Probenmenge etwa 300 g. Je nach Korngröße wurde die Probenmenge angepasst. Proben aus tertiären Sedimenten beinhalten nur einen kleinen Schwermineralanteil, daher werden größere Probenmengen für die Aufbereitung notwendig.

#### 3.2.2 Probenaufbereitung

Die Aufbereitung der Proben und die Auszählung der Präparate erfolgt nach Vorgaben von EDELMANN (1933), SINDOWSKI (1938), ZONNEVELD (1947) und VAN ANDEL (1950), die BOENIGK (1983) zusammenstellt.

Im Labor werden die Proben zunächst mit einer Labornummer versehen und bei 50 - 60 °C im Trockenschrank getrocknet. Anschließend wird mit einem Sieb der Maschenweite 0,4 mm der Grobanteil der Probe abgetrennt. Das etwa 20-minütige Aufkochen des verbleibenden Probenmaterials in Salzsäure (30%ig) entfernt mögliche Eisen- und Mangan-Überkrustungen der Körner, was die mikroskopische Bestimmung deutlich erleichtert. Die Behandlung mit Salzsäure löst nicht alle Eisen-Verbindungen; so bleiben Goethit und Hämatit weitgehend erhalten und können den Anteil der opaken Minerale stark erhöhen. Dabei gehen jedoch die Carbonate, Apatite und Teile (ca. 10 %) von Monazit und Olivin verloren (BOENIGK 1983).

Eine schonendere Behandlung der Proben mit Essigsäure (oder Ameisensäure) hätte zwar den Vorteil der Apatit-Erhaltung, aber die Aufbereitungszeit würde sich wesentlich verlängern. Zudem werden Umkrustungen der Mineralkörner nur ungenügend gelöst, was eine Bestimmung der Minerale erschwert.

Nach dem Kochen wird durch wiederholtes Aufschlämmen und vorsichtiges Dekantieren des Probenmaterials nach definierten Wartezeiten (STOKE'sches Gesetz: Sinkgeschwindigkeiten je nach Korngröße) der Feinanteil kleiner als ca. 0,05 mm entfernt sowie Salzsäurerückstände ausgespült.

Nach erneuter Trocknung werden die Proben in der Schwereflüssigkeit Natriumpolywolframat  $(Na_6 (H_2W_{12}O_{40}) * H_2O)$ , Dichte 2,85) in Leicht- und Schwerminerale getrennt. Der Einsatz der Zentrifuge (3 x 5 min bei 2500 Umdrehungen pro Minute) beschleunigt den sonst langwierigen Trennungsprozess durch die Schwerkraft. Die Trennung der Fraktionen erfolgt durch Einfrieren des Schwermineralbodensatzes in flüssigem Stickstoff und Dekantieren der aufschwimmenden Leichtmineralfraktion. Die einzelnen Fraktionen werden durch Spülen mit destilliertem Wasser von der Natriumpolywolframat-Lösung befreit und wiederum getrocknet. Die Natriumpolywolframat-Lösung wird nach Gebrauch aufgefangen und zurückgewonnen.

Die Schwermineralfraktion sollte aus deutlich mehr als den 100 Körnern bestehen, die bei der Analyse ausgezählt werden. Die Schwermineralkörner werden in Meltmount (Lichtbrechung n=1,662) eingebettet. Hierzu muss das Einbettungsmittel auf der Heizplatte im Wasserbad erwärmt werden, um die Viskosität herabzusetzen. Mit einer Pipette wird wenig Meltmount auf den Objektträger aufgebracht und verteilt. Die Körner werden aufgestreut und mit einem Deckplättchen abgedeckt. Das Einbettungsmittel härtet anschließend durch mehrstündige Lagerung auf der etwa 70 °C heissen Heizplatte und anschließendes Abkühlen aus. Nach Säuberung der Streupräparate von Meltmount-Rückständen mit Aceton sind diese zur mikroskopischen Bestimmung bereit.

### 3.2.3 Analyse

Unter dem Polarisationsmikroskop werden im Durchlicht 100 Körner entlang von parallelen Linien auf jedem Streupräparat ausgezählt. Nachdem der Prozentanteil der opaken Körner berechnet und abgezogen ist, werden die Anteile der transparenten Körner bis auf 100 ergänzt und in ihrem gegenseitigen Prozentverhältnis als Summendiagramm dargestellt.

Die Bestimmung der transparenten Mineralkörner erfolgt durch optische Bestimmung der Merkmale: Form (Spaltbarkeit und Bruch), Farbe und Pleochroismus, Lichtbrechung, Doppelbrechung, Auslöschung, Elongation sowie der konoskopischen Achsenbilder nach TRÖGER (1969, 1971), BOENIGK (1983) und MANGE & MAURER (1991). Weiterhin werden das Auftreten von Einschlüssen, Anlösungserscheinungen oder Zonarbau der Minerale sowie die überwiegenden Korngrößen und verschiedenen Mineralvarietäten notiert. Minerale, die nicht direkt auf den Zähllinien liegen, aber in der Probe vorhanden sind, werden in den Zähltabellen und Diagrammen zusätzlich angegeben.

Je kleiner das Mineralkorn, desto eher gehen die typischen Eigenschaften der Minerale wie Farbe, Form oder optische Eigenschaften verloren, die zur Identifizierung des Minerals beitragen. Daher wurden nur eindeutig identifizierte Minerale gezählt und den einzelnen Mineralgruppen zugeteilt.

#### 3.2.3.1 Schwermineralgruppen

VAN ANDEL (1950) und VINKEN (1959) haben die Schwerminerale in folgende Gruppen aufgeteilt:

- Stabile Minerale:	Zirkon, Rutil, Anatas, Brookit und Turmalin
- Metamorphe Minerale:	Staurolith, Andalusit, Sillimanit, Disthen
- Rhein-Gruppe:	Granat, grüne Hornblende, Epidot
- Vulkanische Minerale:	Olivin, Titanit, Braune Hornblende, Pyroxene
- Restgruppe:	z. B. Apatit, Axinit, Baryt, Biotit, Chloritoid, Dumortierit, Korund,
	Monazit, Topas, Zinkblende etc.

Auch in der vorliegenden Arbeit wurden die analysierten Minerale zu Gruppen zusammengefasst, um die Darstellung und Auswertung der Zählungen übersichtlicher zu gestalten. Da die in den Sedimenten vorkommenden Minerale in zahlreichen Arbeiten (TRÖGER 1969, 1971, BOENIGK 1983, MANGE & MAURER 1991) eingehend beschrieben und abgebildet sind, sollen hier einige Hinweise auf Besonderheiten der Ausbildung und der Abgrenzung zu anderen Mineralgruppen genügen.

## 3.2.3.1.1 Granat-Gruppe

Die Granat-Gruppe umfasst verschiedene Varietäten der Granat-Mischkristallreihen (Pyrop, Almandin, Spessartin, Grossular, Andradit, Uwarowit). In den Proben aus dem Oberrheingebiet kommen vorwiegend farblose bis leicht rosafarbene Granatkörner vor, die vereinzelt einen sechsseitigen Querschnitt, meist aber eine abgerundete Form zeigen. Teilweise sind auf den Kornoberflächen Ätzspuren zu erkennen, die auf Verwitterungsprozesse schließen lassen.

#### 3.2.3.1.2 Epidot-Gruppe

Der Begriff "Epidot" beschreibt eine Mineralgruppe, die aus Epidot bis Pistazit, Klinozoisit, Zoisit und selten Pseudozoisit besteht. Die Körner zeigen hellgrüne bis zitronengelbe Farben oder sind farblos. Schwierigkeiten bereitet die exakte Abgrenzung des Epidots, da er in allen Übergängen von durchsichtigen, frischen Körnern bis hin zu zersetzten, trüben Aggregaten vorkommt.

#### 3.2.3.1.3 Hornblende-Gruppe

In den graphischen Darstellungen der Ergebnisse werden die Hornblenden zu einer Gruppe zusammengefasst, die sich aus grünen Hornblenden mit einem Pleochroismus nach blaugrün und oliv, braunen Hornblenden mit einem Pleochroismus nach dunkelbraun sowie farblosen Hornblenden zusammensetzt. Die Glaukophane mit einem Pleochroismus von blau nach blauviolett wurden in der vorliegenden Arbeit zur Gruppe der seltenen Minerale gerechnet.

Die Gruppen von Granat, Epidot und Hornblende werden in der Auswertung auch als "alpine Minerale" zusammengefasst und der Gruppe der stabilen Minerale gegenübergestellt.

#### 3.2.3.1.4 Alterit-Gruppe

Die von VAN ANDEL (1950) eingeführte Bezeichnung "Alterit" umfasst die sehr heterogene Gruppe von Mineralaggregaten und zersetzten Mineralen, die wegen ihrer feinkörnigen Verwachsung unter dem Mikroskop nicht genauer zu bestimmen sind. Quarz-Aggregate zählen nicht zu den Alteriten; sie lassen sich durch ihre niedrigere Lichtbrechung von ihnen unterscheiden. Am häufigsten sind die Epidot-Aggregate, die vereinzelt noch die für Epidot typischen Interferenzfarben zeigen. Die Alterite als Zersetzungsprodukte oder Mineralaggregate sind empfindlich gegen mechanische Beanspruchung. Ihre Häufigkeit spiegelt recht gut den Aufarbeitungsgrad der Sedimente wider. Zudem ist ihr Anteil stark korngrößenabhängig: In groben Sedimenten sind sie deutlich öfter vertreten (BOENIGK 1983).

In der vorliegenden Arbeit wurden diejenigen Kornaggregate als "Alterit" gezählt, deren Lichtbrechung oberhalb von n=1,662 (Meltmount) lag, was auf eine Zusammensetzung aus unterschiedlichen Schwermineralen hindeutet. War an einzelnen klaren Kornanteilen die Mineralart zu bestimmen, wurde das Korn der jeweiligen Mineralgruppe zugerechnet. Kornaggregate mit niedriger Lichtbrechung (<1,662) wurden als "Aggregate" zusätzlich zu den Schwermineralen gezählt; sie bestehen vermutlich hauptsächlich aus Quarzen, die durch Verwachsung mit Erzen in die Schwerefraktion geraten sind. Weiterhin wurden die Anteile an Glimmer (Biotit, Muskovit und Chlorit) während der Analyse notiert.

#### 3.2.3.1.5 Pyroxen-Gruppe

Die Gruppe der Pyroxene setzt sich aus den Orthopyroxenen (Enstatit-Hypersthen-Reihe) und den Klinopyroxenen (Augit-, Titanaugit-, Ägirinaugit-, Diopsid-Reihe) zusammen. In den untersuchten Sedimenten treten vorwiegend rotbraune, grüne bis hellgrüne und farblose Pyroxene auf, die durch ihre randlichen Anlösungsformen ("Hahnenkamm"), ihre Spaltbarkeit und ihre optischen Eigenschaften gut bestimmbar sind. Eine genaue mineralogische Einstufung der sehr ähnlichen Klinopyroxen-Varietäten ist aufgrund der wechselnden Kornlagen und der damit verbundenen, nicht exakt zu bestimmenden Auslöschungsschiefe erschwert. Die rotbraunen bis -violetten Pyroxene sind vermutlich titanaugit-reiche Pyroxene. Bei den grün-gefärbten Pyroxenen könnte es sich um Ägirinaugite oder chrom-haltige Diopside handeln. Als farblose Körner kommen Diopsid und der rhombische Enstatit vor.

#### 3.2.3.1.6 Gruppe der metamorphen Minerale

Die Gruppe der metamorphen Minerale besteht aus Staurolith, Disthen, Andalusit und Sillimanit. Die Minerale werden bei der Zählung einzeln erfasst, treten aber meist in kleinen Prozentanteilen auf und werden daher in der graphischen Darstellung und in der Auswertung als Mineralgruppe zusammengefasst.

#### 3.2.3.1.7 Gruppe der stabilen Minerale

In der Schwermineralfraktion von Rheinsedimenten spielt das Mengenverhältnis von instabilen zu stabilen Mineralen eine große Rolle für die zeitliche Einstufung der Ablagerungen. Zu der Gruppe der "Stabilen Minerale" werden hier die Minerale Turmalin, Zirkon, Rutil und Anatas gerechnet. Sie werden in der graphischen Darstellung der Zählergebnisse zwar einzeln aufgeführt, aber bei der Auswertung wird oft ihr Summenanteil am Spektrum herangezogen. VAN ANDEL (1950) und VINKEN (1959) rechnen auch den Brookit zu dieser Mineralgruppe. In dieser Arbeit wurde der Brookit aufgrund seines seltenen Auftretens - meist zusammen mit Monazit und Xenotim - zu den "Seltenen Mineralen" gezählt.

## 3.2.3.1.8 Gruppe der seltenen Minerale

In diese Gruppe wurden alle Minerale gestellt, die nur sehr selten und in geringen Prozentanteilen auftreten. Hier sind die Minerale Chloritoid, Glaukophan, Brookit, Korund, Spinell, Monazit, Xenotim, Titanit und Baryt zu nennen. Sie werden in den Schwermineraldiagrammen als eine Gruppe dargestellt, in den Zähltabellen im Anhang ist jedoch die genaue Verteilung der einzelnen Minerale angegeben.

Die kleinen, grünlich-gelblichen Monazit-Körner lassen sich auf den ersten Blick oft nur schwer von anderen hoch lichtbrechenden Mineralen wie Zirkon oder Xenotim unterscheiden. Zur Unterscheidung von Monazit und Xenotim ist ein einfach anwendbares, mikrospektroskopisches Diagnose-Verfahren bekannt. Dies beruht auf der Analyse der im sichtbaren Bereich des Lichts auftretenden charakteristischen Absorptionslinien der in diesen Mineralen enthaltenen Elemente der Seltenen Erden und wird mit einem Okularspektroskop durchgeführt (HERING & ZIMMERLE 1963, FREY & SAAGER 1999). Die Absorptionslinien werden in einem in den Mikroskoptubus eingesetzten Okularspektroskop sichtbar.

Mit Hilfe eines Spektroskops vom GEOLOGISCHEN DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN wurden die Bestimmungen von Monazit und Xenotim überprüft. Der optische Charakter des Monazits (2achsig positiv mit kleinem Achsenwinkel) sowie weitere Anhaltspunkte, wie z. B. seine zahlreichen dunklen Einschlüsse und die rauhe Oberfläche des Korns, bieten Abgrenzungsmöglichkeiten gegenüber dem Zirkon. Der Xenotim lässt sich häufig durch dessen wechselnde Lichtbrechung beim Drehen des Mikroskoptisches sowie seine sehr hohe Doppelbrechung (zahlreiche dünne schwarze Ringe am Kornrand) abgrenzen.

#### 3.2.3.1.9 Gruppe der opaken Minerale

Alle Körner, die nicht durchsichtig oder durchscheinend sind, werden als opake Minerale eingestuft. Neben Mineralen wie Magnetit, Hämatit, Ilmenit, Maghemit, Goethit, Limonit, Leukoxen, Chromit, Markasit und Pyrit können auch opak erscheinende Gesteinsbruchstücke in die Schwerefraktion einer Probe gelangen und den opaken Körnern zugerechnet werden. Auf eine detaillierte Bestimmung der opaken Minerale mittels Auflichtmikroskopie wurde wegen des hohen Arbeitsund Zeitaufwandes verzichtet.

#### 3.2.3.1.10 Apatit

Die Mengenanteile des Apatits am Schwermineralspektrum wurden in der vorliegenden Arbeit nicht bestimmt, da die Aufbereitung der Proben mit Essigsäure, die eine Auflösung des Apatits verhindert, sehr zeitaufwendig ist. Der Leitwert des Apatits für paläogeographische Rekonstruktionen ist klein.

#### 3.2.4 Auswertung der Schwermineralanalyse

Die Zählergebnisse der einzelnen Mineralgruppen werden als Summendiagramm in ihren gegenseitigen Prozentverhältnissen graphisch dargestellt, um Veränderungen im Spektrum entlang eines Bohr- oder Aufschlussprofils ablesen zu können. Die detaillierten Zähltabellen sind im Anhang dieser Arbeit aufgeführt.

Veränderungen im Schwermineralspektrum sind durch folgende Faktoren zu erklären (VAN ANDEL 1959, BOENIGK 1983):

- Wechselnde, petrographisch unterschiedliche Liefergebiete.
- Einflüsse während des fluviatilen Sedimenttransports: Sortierung nach Korngröße, Rundung und Abrasion, Mischung mit Material, das vom Flussbett erodiert oder aus Seitenflüssen geliefert wird. Minerale mit guter Spaltbarkeit können während des Transports mechanisch immer weiter zerkleinert werden.
- Verwitterung und Diagenese.

Im Oberrhein stellen die Veränderungen der Flusssysteme infolge der ausklingenden alpinen Tektonik und den damit verbundenen veränderten Liefergebieten sowie das zwischen Kalt- und Warmzeiten wechselnde Klima die wichtigsten Faktoren für veränderte Ablagerungsbedingungen der Sedimente dar. In der Regel spielen die Auflösung von Mineralen oder deren diagenetische Neubildung sowie Sortierungseffekte durch den Transport eher eine untergeordnete Rolle. Meist spiegelt das Schwermineralspektrum eines Sediments die Verhältnisse im Liefergebiet wider (VAN ANDEL 1959).

Mit den neu gewonnenen Schwermineraldaten soll versucht werden, durch Veränderungen in den Sedimentprofilen Rückschlüsse auf die Entwicklung der Sedimentation im Oberrheingraben zu ziehen. Bereits aus anderen Untersuchungsgebieten vorliegende Erkenntnisse helfen bei der Einstufung der Befunde aus dem Oberrheingraben. Da die Schwermineralanalyse keine exakte zeitliche Zuordnung der untersuchten Sedimente liefert, wurden an einigen Bohrprofilen paläontologische und paläomagnetische Bestimmungen durchgeführt, die vereinzelt stratigraphische Zuordnungen ermöglichen.

#### 3.2.4.1 Schwermineralassoziationen der Liefergebiete

Um die analysierten Schwermineralassoziationen auf mögliche Liefergebiete zurückführen zu können, wird auf bisherige Untersuchungen zur Petrographie der einzelnen in Frage kommenden Liefergebiete zurückgegriffen. Das alpine Einzugsgebiet des Rheins, die Schweizer Molasse sowie der Schwarzwald und die Vogesen sind die wichtigsten Sedimentlieferanten für den südlichen Oberrheingraben. Nach Norden vermehrt sich der Eintrag von den Randgebirgen des Grabens, die aus Kristallingesteinen oder mesozoischen Ablagerungen bestehen.

Mit den Gletschersystemen der Alpen und ihrer petrographischen Eigenschaften haben sich u. a. MÜLLER & HAHN (1964), GASSER & NABHOLZ (1969), CONRADIN (1991) und GRAF (1993) beschäftigt. Sie geben folgende Schwermineralspektren für die einzelnen Liefergebiete an:

Bodensee-Rhein:	sehr viel Granat, mäßig Epidot, viel Hornblende, häufig Staurolith, Disthen,						
	mäßig Zirkon, Rutil, Turmalin (im Hegaulappen: braune Hornblende)						
Walensee-Rhein:	mäßig Granat, viel Epidot, mäßig Hornblende, Staurolith, Disthen,						
	Glaukophan, Zirkon, Rutil, Turmalin						
Sihl-Linth:	mäßig Granat, viel Epidot, mäßig Hornblende, wenig Staurolith und Disthen,						
	viel Zirkon, Rutil, Turmalin						
<u>Reuss:</u>	sehr viel Epidot, wenig Granat, viel Hornblende, selten Staurolith und						
	Disthen, mäßig Zirkon, Titanit						
Aare:	sehr viel Epidot, wenig Granat, mäßig Hornblende, selten Staurolith und						
	Disthen, mäßig Zirkon und Turmalin, wenig Titanit						
<u>Rhône:</u>	sehr viel Epidot, wenig Granat und Hornblende, selten Staurolith und						
	Disthen, mäßig Zirkon und Turmalin, selten Glaukophan						

Die Petrographie der Molasse nördlich der Alpen haben HOFMANN (1957) und FÜCHTBAUER (1964) untersucht. Demnach ist Granat das bei weitem häufigste Schwermineral der Molasse. Als Ursprungsgesteine kommen die zentralalpinen Schiefer in Betracht. Die Herkunft der Epidote führt FÜCHTBAUER (1964) als Sprossungen aus Graniten (z. B. Aare-Granit) und auf metamorphe Gesteine zurück. Während in der schweizerischen Molasse auch in der Oberen Meeresmolasse und der Oberen Süßwassermolasse kaum Hornblende auftritt (HOFMANN 1957), nimmt in der bayerischen Ostmolasse der Hornblende-Gehalt nach oben stetig zu. In der Oberen Meeresmolasse und vor allem in der Oberen Süßwassermolasse ist dort die Hornblende eines der Hauptminerale. Die Hornblenden stammen aus Graniten sowie Amphiboliten, die vorwiegend in ostalpinem Alt-kristallin stecken (FÜCHTBAUER 1964).

Die Schwermineralspektren der pleistozänen Sedimente des Schweizer Mittellandes haben GASSER & NABHOLZ (1969) analysiert. Nach ihren Befunden zeichnen sich die Austrittsstellen der Gletscher ins Schweizer Mittelland durch hohe Hornblende-Gehalte aus, die dann in Fließrichtung des Eisstromes sehr rasch abnehmen. Deutlich ausgeprägt ist dieses Phänomen beim Rhône-, Aareund Reussgletscher. Nur im Bereich des Rheingletschers halten die hohen Hornblendewerte bis weit ins Vorland an. Dies führen GASSER & NABHOLZ (1969) darauf zurück, dass nur im Einzugsgebiet des Rheingletschers Silvrettakristallin vorkommt, das umfangreiche Amphibolitkomplexe enthält. Diese Amphibolitkomplexe bedecken im Einzugsgebiet des Rheins eine größere Fläche als die penninischen Ophiolithe oder andere Gesteinskomplexe, die man als potentielle Hornblende-Lieferanten bezeichnen könnte. MÜLLER & HAHN (1964) stellen ebenfalls in der Schwermineralführung des Alpenrheins eine höhere Hornblende-Führung im Vergleich zur Molasse fest. Auch die Schwermineralbefunde von WEYL (1952) zeigen in den risszeitlichen Schottern des Rheingletschergebiets sehr hohe Hornblendewerte.

GRAF & HOFMANN (2000) haben nach Literaturangaben folgende Herkunftsmöglichkeiten der einzelnen Minerale aus den Alpen und deren Verbreitung in der Molasse zusammengestellt:

Mineral(gruppe)	Verbreitung in den Alpen	Verbreitung in der Molasse
Granat	Metamorphe Gesteine höheren Metamorpho- segrades, Massive, Penninische Decken, Flysch	allgemein weit verbreitet, besonders häufig in den Glimmer- und Graupen- sanden der Nordost-Strömung im nord- östlichen-Mittelland
Epidot	Gesteine mittleren Metamorphosegrades, Massive, Penninische Decken	weit verbreitet, besonders häufig in der Napf-Schüttung, aber auch in der Hörnli-Molasse
Staurolith	Gneise und Glimmerschiefer der Massive, selten im Flysch	Molasse der Nordost-Schweiz (Glimmer- und Graupensande, Kronberg-, Gäbris-, Höhronen- und Bodensee-Schüttung)
Disthen	Gneise und Glimmerschiefer der Massive, selten im Flysch	Glimmer- und Graupensande der Nordost-Schweiz
Turmalin	Altkristallin der Massive, Flysch	allgemein in den älteren Molasse- schichten, Glimmer- und Graupensande der Nordost-Schweiz
Zirkon	Altkristallin der Massive, Helvetische Decken, Flysch	Graupensande und Bodenseeschüttung
Rutil	Altkristallin der Massive, Flysch	Glimmersande und Bodenseeschüttung
Hornblende	Höher metamorphe Gesteine der Massive und Penninischen Decken (Vorderrheingebiet mit Amphiboliten und Hornblendedioriten, Err-Julier-Albula- Granite (hoher Hornblende-Anteil), Amphibolite der Silvrettadecke)	in der Molasse allgemein sehr selten
Pyroxen	Metamorphe und magmatische Gesteine der Massive und Penninischen Decken	in der Molasse allgemein sehr selten

Tabelle 3: Herkunft der verschiedenen Schwerminerale (GRAF & HOFMANN 2000).

Im Oberrheingraben zeigen die schwermineralreichen Sedimente alpiner Herkunft ein Schwermineralspektrum, das durch die Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit dominiert wird. Main- und Neckar-Sande weisen nur 1/5 bis 1/10 des Schwermineralgehalts von Rhein und Aare auf. Dasselbe gilt für die Flüsse aus triassischen Gebieten zwischen Strasbourg und Mainz. Demnach haben die Schüttungen aus diesen Seitentälern kaum einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Rheinsande im Graben. Die Gebiete von Schwarzwald und Vogesen, die zum Oberrheingraben entwässern, bestehen im Südteil vorwiegend aus Kristallingesteinen (Graniten, Gneisen, Porphyren, Ganggesteinen) und im Nordteil aus mesozoischen Deckgesteinen (Buntsandstein, stellenweise Muschelkalk und Jura). Waren im Pliozän noch weite Flächen von Schwarzwald und Vogesen mit Buntsandstein-Relikten bedeckt, wurden diese anschließend bis auf wenige Zeugenberge erodiert. Beim Aufstieg der Randgebirge schnitten sich die zum Graben entwässernden Flüsse in tiefe Täler ein, durch die der Abtragungsschutt der mesozoischen Gesteine in den Graben gelangten (LGRB 1999).

Untersuchungen an rezenten Flusssanden aus Schwarzwald und Vogesen (VAN ANDEL 1950, eigene Analysen) haben eine Schwermineralassoziation gezeigt, die sich aus den stabilen Mineralen Zirkon, Turmalin, Rutil und Anatas mit wechselnden Anteilen von Granat und Hornblende und sehr wenig Epidot zusammensetzt (s. Kap. 4.1). Das Auftreten der seltenen Minerale Monazit und Xenotim wird aus dem kristallinen Basement abgeleitet (ZIMMERLE 1969). Der Buntsandstein der Vogesen und des Schwarzwalds liefert die stabilen Minerale Turmalin, Zirkon und Rutil, wobei im Buntsandstein des Schwarzwalds der Zirkon überwiegt, in den Vogesen dagegen der Turmalin (SINDOWSKI 1958). Granate und Hornblenden stammen aus Gneisen, Graniten und Amphiboliten.

Aus dem Pfälzerwald gelangt Abtragungsschutt aus Rotliegend- und Buntsandstein-Gebieten in den nördlichen Oberrheingraben. Hier deutet in einem aus stabilen Mineralen beherrschtem Spektrum eine Dominanz von Turmalin eher auf eine Buntsandstein-Herkunft (SINDOWKSI 1958), während das Rotliegende verstärkt Zirkon liefert (HÄFNER 1976). Die Sedimente, die aus den Buntsandstein-, Muschelkalk und Kristallingebieten des Odenwalds in den Graben gelangen, zeigen nach VAN ANDEL (1950) eine ähnliche Mineralassoziation wie die des Schwarzwaldes. Neben den stabilen Mineralen aus dem Buntsandstein treten Granate aus den Keuper-Sandsteinen, Hornblenden aus Graniten sowie Pyroxen aus den vulkanischen Gesteinen des Einzugsgebiets auf (s. Kap. 4.1.5).

#### 3.2.4.2 Einfluss von Verwitterung auf das Schwermineralspektrum

BOENIGK (1983) gibt die Stabilität der Minerale gegen Verwitterungseinflüsse folgendermaßen an:

extrem stabil:	Zirkon, Turmalin, Rutil, Anatas, Brookit, Topas, Spinell, Zinnstein,
	Korund
sehr stabil:	Disthen, Andalusit, Sillimanit
stabil:	Titanit, Staurolith, Epidot, Monazit
mäßig stabil:	Monazit, Glimmer (Biotit)
instabil:	Pyroxen, Hornblende, Granat, Olivin
sehr instabil:	Fayalith (Olivin), Apatit, Carbonat, Zinkblende

Die Verwitterung bzw. die diagenetische Mineralauflösung kann den Schwermineralbestand eines Sediments nach seiner Ablagerung so weitgehend umprägen, dass eine scheinbar vollkommen andere Assoziation vorliegt. Ein Nachweis der ursprünglichen Mineralzusammensetzung ist nicht mehr möglich. Andererseits bieten diese Verwitterungserscheinungen wertvolle Hinweise auf die Vorgänge, denen das Sediment nach seiner Ablagerung ausgesetzt war (SINDOWSKI 1938, WEYL 1952).

Beginnende Verwitterung macht sich zunächst an den instabilen Mineralen bemerkbar. Granate, Hornblenden und Pyroxene zeigen dann Anlösungs- oder Ätzformen. Bei anhaltender Verwitterung werden sich die instabilen Minerale nach und nach auflösen, folglich reichern sich die stabilen Minerale im Gesamtspektrum relativ an. Nimmt jedoch der Anteil eines instabilen Minerals gemeinsam mit den Stabilen zu, so ist dieser Wechsel auf ein Änderung der Mineralschüttung zurückzuführen (WEYL 1952).

In kalkhaltigen Sedimenten wirkt der Basengehalt schützend gegenüber Verwitterungserscheinungen (WEYL 1952). Dies gilt laut SINDOWSKI (1940) insbesondere für den Granat. Solange der Kalkgehalt in den Sedimenten die CO<sub>2</sub>- und humussäurehaltigen Oberflächenwässer neutralisieren kann, wird der Granat nicht angegriffen. Bei Kalkabwesenheit kommt es zur Anätzung, Anlösung und schließlich zur Auflösung. Die Übergänge lassen sich mikroskopisch gut erkennen. Weiterhin bringt SINDOWSKI (1940, 1949) die Grobkörnigkeit und den Verwitterungszustand des Schwermineralspektrums in Zusammenhang. Bei größerem Porenvolumen können die Oberflächenwässer die Minerale stärker angreifen. Decksedimente wie z. B. Löss schützen das unterlagernde Sediment gegen die Verwitterung.

Besonders starke Verwitterung muss an der Wende vom Miozän zum Pliozän geherrscht haben. Unter erheblich wärmerem Klima wurden die instabilen Minerale aufgelöst, die Feldspäte wurden zu Kaolinit umgewandelt. Das kühl-gemäßigte Klima des Quartärs hat dagegen keine Mineralauflösungen diesen Ausmaßes bewirkt (WEYL 1952).

VAN ANDEL (1959) geht davon aus, dass bei einer Schüttung von Sedimenten aus Regionen mit aktiver Erosion in rasch absinkende Becken der Einfluss von Verwitterung, Abrasion, Sortierung und post-sedimentärer Auflösung keine große Rolle spielt. In Gebieten mit gemäßigtem Klima ist die Verwitterungsrinde der Erdkruste normalerweise sehr dünn. Bei anhaltender Erosion wird demnach vorwiegend frisches Material angeliefert. Nur durch Sedimentationsunterbrechungen und Bodenbildungen können dann Verwitterungsprofile entstehen.

#### 3.2.4.3 Korngrößeneffekt

Die Mineralverteilung von Sedimenten eines Liefergebiets ist abhängig von ihrer Korngrößenzusammensetzung, also von der Sortierung (Korngrößeneffekt, Granularvariation). Die einzelnen Schwerminerale haben aufgrund ihrer durchschnittlichen Kristallgröße ganz unterschiedliche Verteilungskurven. Zirkon und Rutil reichern sich z. B. in den feineren, Augit dagegen in den gröberen Fraktionen an. Hornblenden sind vor allem in mittleren Korngrößen vertreten (VAN ANDEL 1950, 1959). Turmalin wird bei großkörniger Ausbildung besonders in den gröberen Fraktionen angereichert, kann aber auch in fein- bis mittelkörnigen Material bevorzugt auftreten, wenn die Kristallkörner relativ klein ausgebildet sind (HENNINGSEN 1981). Granat tritt vorwiegend in mittleren oder auch größeren Korngrößen auf. Durch die Eingrenzung des analysierten Korngrößenbereichs von 0,05 und 0,4 mm wird der Korngrößeneffekt vermindert. Auf eine fraktionierte Analyse, also einer Untersuchung unterschiedlicher Kornklassen, wurde aufgrund des vermehrten Arbeitsaufwandes in der vorliegenden Arbeit verzichtet. Bei der Auswertung der Schwermineralverteilung wurde jedoch die Korngrößenzusammensetzung der Sedimente berücksichtigt.

# 4 Beschreibung der Bohrungen und Aufschlüsse / Analysenergebnisse

Im Folgenden werden die beprobten Bohrungen und Aufschlüsse beschrieben und die jeweiligen Analysenergebnisse vorgestellt und interpretiert. Die Lage der Bohr- und Aufschlusspunkte ist in der Abbildung 8 ersichtlich. Eine Zusammenfassung und Interpretation der gewonnenen Erkenntnisse erfolgt in Kapitel 5. Eine Auflistung der beprobten Bohrungen und Aufschlüsse sowie sämtliche Zähldaten befinden sich im Anhang.

Die Schwermineralspektren der Bohrprofile werden als Summendiagramme den Lithofaziessäulen maßstäblich (ca. 1 : 286) gegenübergestellt. Spülbohrungen sind im halbierten Maßstab (ca. 1:572) dargestellt. Die Lithofaziesprofile und Schwermineraldiagramme von tieferen Bohrungen befinden sich in der Anlage zu dieser Arbeit. Die Legende für alle Schwermineraldiagramme und die Signaturen der Lithofazieslogs sind in der Abbildung 9 aufgeführt; zusätzlich sind sie in der Anlage 22 abgebildet, die zum direkten Vergleich mit den einzelnen Schwermineraldiagrammen verwendet werden kann. Die Einteilung der Minerale in Gruppen erfolgt wie in Kapitel 3.2.3.1 beschrieben. In wenigen Fällen werden besonders auffällige Veränderungen von Einzelmineralanteilen durch separate Darstellung berücksichtigt. So sind beispielsweise die Monazit-Gehalte in den Bohrungen aus dem Freiburger Stadtgebiet, Teningen und Emmendingen sowie der Interreg II-Bohrungen Hartheim und Nambsheim nicht in der Gruppe der seltenen Minerale enthalten, sondern einzeln aufgeführt. In den Zählungen der Diplomarbeiten wurden Rutil und Anatas zu einer Gruppe zusammengefasst. Hier können durch abweichende Abgrenzungen des Alterit-Begriffes der verschiedenen Bearbeiter höhere Anteile dieser Mineralgruppe auftreten. Bei der Bienwald-Brunnenbohrung wurden von den Bearbeitern (LGB RHEINLAND-PFALZ) die Apatit-Anteile bestimmt sowie der Staurolith als Einzelmineral aufgeführt.

Zu den Aufschlüssen und Bohrungen sind jeweils Hoch- und Rechtswerte in Gauss-Krüger-Koordinaten und die Geländehöhe angegeben, auf französischem Gebiet zusätzlich die Lambert-Koordinaten. In den Karten des Elsass werden im Nordteil die Lambert-1-Koordinaten, im Südteil die Lambert-2-Koordinaten verwendet. Um dies zu vereinheitlichen, werden insgesamt die Lambert-2-Koordinaten angegeben, bei denen 2.000.000 m zu den Lambert-1-Koordinaten addiert werden. Diese erweiterten, 7-stelligen Lambert-Koordinaten werden dann als "Lambert 2 étendu" bezeichnet.

Es wurden vorwiegend Kernbohrungen beprobt, die für die Schwermineralanalyse eine möglichst ungestörte Probennahme bieten. Einige Bohrungen auf französischem Gebiet wurden im Ventilbohrverfahren (d. h. mit einer Kiesbüchse oder Kiespumpe) durchgeführt, ein Verfahren, welches die vollständige Gewinnung des Sediments ohne Verlust des Feinanteils erlaubt. Die Schwermineralanalysen von Proben aus Spülbohrungen werden unter Vorbehalt interpretiert, da es durch die Spülung zur Verschleppung von Mineralen kommen kann.



Abb. 8: Lage der Aufschluss- und Bohrpunkte (Kartengrundlage: nach WALTER 1992).

Granat	Pyroxen	Rutil
Epidot	Metamorphe	Anatas
Alterit	Turmalin	Seltene
Hornblende	Zirkon	

## Sonderfälle:

	Monazit	(Bohrung Hartheim, Bohrung Nambsheim, Bohrungen Freiburger Stadtgebiet, Bohrungen Teningen und Emmendingen)						
	Staurolith	(Bohrung Bienv Bohrung Bad E	valdbrunnen, Bellingen)					
	Apatit	(Bohrung Bienv	valdbrunnen)					
$\begin{array}{c c} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & $	Diamikt (D)			stein-/blockreiche Lage				
$\bigcirc \bigcirc $	steiniger Ki	es (xG)	$\sim$	Erosionsdiskordanz				
$\nabla \circ \nabla \circ \nabla$	sandig-stei	niger Kies (sxG)		Verkittung durch Nagelfluh				
$ \begin{array}{c} \nabla \cdot \nabla \cdot \nabla \\ \nabla \cdot \nabla \cdot \nabla \\ \nabla \cdot \nabla \cdot \nabla \end{array} $	diamiktisch	er Sand (Sd)						
	Kies (G)							
	sandiger Ki	ies (sG)						
	Sand (S)							
	sandiges F	einsediment (sF)						
	Feinsedime	ent (F)						

Abb. 9: Legende für alle Schwermineraldiagramme und Signaturen in den Lithofazieslogs.

## 4.1 Proben aus Zuflüssen und Randgebieten des Oberrheingrabens

VAN ANDEL (1950) hat in seiner Arbeit "Provenance, Transport and Deposition of Rhine Sediments" einige Proben aus den rezenten Zuflüssen in den Oberrheingraben auf ihren Schwermineralgehalt untersucht. Diese Daten wurden durch eigene Zählungen ergänzt und ergeben so ein Bild, welche Schwermineralassoziationen heutzutage durch die Seitentäler in den Graben gelangen. Welchen Anteil die Schüttungen der einzelnen Zuflüsse in der Vergangenheit an der Sedimentfüllung des Grabens hatten, lässt sich nur ungefähr abschätzen.

#### 4.1.1 Sundgau

Der Sundgau ist ein Gebiet mit Geländehöhen zwischen 250 bis 400 m NN, das im Süden von einem zwischen Basel im Osten und Porrentruy im Westen verlaufenden Höhenrücken mit Erhebungen bis 650 m begrenzt wird, der durch die Falten von Leymen, Ferrette und Vendlincourt gebildet wird. Im Norden endet der Sundgau auf Höhe von Mulhouse am Rheingraben, im Westen bei Dannemarie.

In einem etwa 20 km breiten Korridor zwischen Vogesen und den Jura-Erhebungen lagern ca. 20 m mächtige, stellenweise stark verwitterte Schotter auf oligozänen Mergeln. Die Petrographie der Schotter lässt auf eine vorwiegend alpine Herkunft schließen. Zudem ist Geröllmaterial aus Süd-Vogesen und -Schwarzwald enthalten. Die Sundgau-Schotter zeigen im Vergleich zu den geographisch nahen Deckenschottern eine deutlich stärkere Verwitterung, was auf ein höheres Alter schließen lässt. Zudem ist in den Ablagerungen im Sundgau eine Stromrichtung in Ost-West-Richtung festzustellen, im Gegensatz zu der Süd-Nord-Schüttung der Deckenschotter (LINIGER & HOFMANN 1965).

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse (LINIGER & HOFMANN 1965, BONVALOT 1974, BONVALOT et al. 1984, BRGM 1995, PETIT et al. 1996) sprechen für ein Flusssystem, das aus den Alpen kommend zum Doubs und schließlich in Richtung Mittelmeer floss. Da Gerölle aus der Ostschweiz fehlen, wie sie bei einem Zufluss des Alpenrheins zur Aare zu erwarten wären (VILLINGER 1998), muss es sich bei diesem Flusssystem um die Ur-Aare handeln, die vormals in das Donau-System mündete (s. Kap. 1.4).

Faunistische Datierungen in der Bresse-Region führen nach BONVALOT (1974) und BONVALOT et al. (1984) zu einer Einstufung der dortigen sandigen Schotter ins Oberpliozän. Da die Schotter der Bresse, des Forêt de Chaud und des Sundgaus als zu einem Flusssystem gehörig angesehen werden, gilt diese Datierung (3,2 - 2,6 Mio. Jahre) auch für den Sundgau-Schotter.

Neuere Untersuchungen (WINTER et al. 2000) zeigen, dass die Entwicklung des Flussnetzes im

Bereich des Sundgaus auf eine Verfaltung der Basis der Sundgau-Schotter schließen lässt, die jünger als 2,6 Mio. Jahre ist und zu einer Anhebung des Gebiets des südlichen Sundgaus führte. Die Basis der Sundgau-Schotter im südlichsten Bereich liegt gegenüber den nördlichsten Schottern um etwa 250 m höher. Dies und die Absenkungen weiter nördlich im Rheingraben hatten zur Folge, dass der Ur-Aare letztlich der Abfluss nach Western verhindert wurde, was zur Ausbildung des heutigen Rhein-Knies bei Basel führte. Die nord-südliche Einengung, welche zur Alpenfaltung und schließlich zur Jura-Faltung führte, dauert folglich wahrscheinlich bis heute an. Die Deformationsfront hat den Nordrand des eigentlichen Juras (Ferette und Leymen-Ketten) überschritten und ist im Begriff, auch den südlichen Rheingraben zu erfassen.

Östlich von **Heimersdorf** wurden in einer Kiesgrube (x = 969875, y = 2297005, z = ca. 370 m, R 3368807, H 5271479) in verwitterten Sundgau-Schottern zwei Proben im unteren Teil der etwa 12 m hohen Aufschlusswand entnommen. Die Zusammensetzung der Schwermineralfraktion belegt durch das Auftreten der Hauptminerale Epidot, Granat und Hornblende ein alpines Liefergebiet der Sundgau-Schotter. Die Schwermineralwerte der Probe aus einer Sandlinse (Probe 23752) zeigen deutlich höhere Epidot-Gehalte (57 %) als die aus dem Schotter (34 %, Probe 23753), während die Granat- und Hornblende-Gehalte im Sand gegenüber dem Schotter verringert sind (s. Abb. 10). Eine mögliche Ursache für diese Unterschiede könnte in Korngröße des Sandes liegen. Hierfür spricht der gleichfalls erhöhte Zirkon-Gehalt, der infolge des Korngrößeneffektes (s. Kap. 3.2.4.3) im feinkörnigen Sand angereichert sein könnte. Eine stärkere Verwitterung des Sandes gegenüber dem Kies ist aufgrund der vergleichbaren Teufenlage im Aufschlussprofil eher unwahrscheinlich.

Am östlichen Ortsrand von **Riespach** (x = 973075, y = 2293750, y = ca. 400 m NN, R 3371720, H 5267964) sind die anstehenden Sundgau-Schotter aufgeschlossen, aus denen eine Probe entnommen wurde. Das Analysenergebnis (s. Abb. 10) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit den Schwermineralanalysen von BONVALOT (1974), wie die folgende Gegenüberstellung (Tab. 4) zeigt:

	Granat	Epidot	Alterit	Hornbl.	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene
eigene Zählung	3	79	5	1		4	4	1	2		1
BONVALOT 1974	1,9	81,8		1,3	0,7	4	4,5	2,8	2,4	0,1	0,6

Tabelle 4: Schwermineralzählungen Riespach im Vergleich mit Daten von BONVALOT (1974).

Das Schwermineralspektrum wird durch Epidot mit einem Anteil von etwa 80 % dominiert. Die sehr geringen Granat- und Hornblende-Gehalte von nur wenigen Prozent weisen auf einen starken Verwitterungszustand des Schotters hin. Stabile und metamorphe Minerale ergänzen das Spektrum um ca. 12 bis 14 %.



Abb. 10: Schwermineraldiagramm der Sundgau-Proben aus den Aufschlüssen Heimersdorf, Riespach und Feldbach.

Im Ort **Feldbach** (x = 971075, y = 2293105, z = ca. 415 m NN, R 3369672, H 5267491) treten zementierte Schotter auf, aus denen eine Probe geschlagen wurde. Wiederum dominiert der Epidot das Spektrum, gefolgt von Granat bei geringem Hornblende-Anteil (s. Abb. 10). Vermutlich hat der kalkige Zement der Schotter den Granat vor einem Angriff der Verwitterung besser bewahrt (s. Kap. 3.2.4.2) als in den anderen Aufschlüssen, wo die Granat-Werte deutlich niedriger ausfallen.

LINIGER & HOFMANN (1965) geben für den Sundgau-Schotter bei Knöringen (östlicher Teil der Sundgau-Schotter) eine Schwermineralassoziation an, die fast ausschließlich aus Epidot (80 %) und Zirkon (13 %) besteht. Vermutlich sind Verwitterungsauflösungen die Ursache für das Fehlen von Hornblende und den geringen Granat-Gehalt (3 %). Metamorphe Minerale ergänzen das Spektrum um 3 %, daneben tritt Rutil (1 %) auf. Das Hangende der alpinen Sundgau-Schotter wird überall durch einen recht mächtigen, braunen Lehm gebildet, der als Verwitterungsrelikt der Sundgau-Schotter aufgefasst wird.

Einen deutlichen Hinweis dafür, dass in den Sundgau-Schottern ursprünglich das charakteristische alpine Spektrum aus Granat, Epidot und grüner Hornblende vorhanden war und dieses anschließend durch intensiv einwirkende Verwitterung verändert wurde, belegen die Analysen von BOENIGK (1982, 1987) im Aufschluss Seppois-le-Bas. Das Schwermineralprofil (s. Abb. 11) zeigt, dass die Proben aus dem unteren Teil des Aufschlusses deutlich mehr Granat (maximal 48 %) und Hornblende (maximal 37 %) führen, als im hangenden Abschnitt, wo der Epidot-Anteil und die Gehalte der stabilen Minerale am Spektrum deutlich ansteigen. Ähnliche Verwitterungsprofile sind auch in den Hauptterrassensedimenten der Niederrheinischen Bucht bekannt, wo ebenfalls Epidot das Schwermineralspektrum beherrscht (BOENIGK 1978 c).

Es ist also nachweisbar, dass die Sundgau-Schotter in frisch erhaltenen Bereichen das typische alpine Spektrum Granat, Epidot und Hornblende aufweisen, während in den stark zersetzten und z. T. entkalkten Schottern Epidot große Teile des Schwermineralspektrums einnimmt. Die Bestimmung von bis zu 37 % Hornblende in Seppois-le-Bas (BOENIGK 1982, 1987) und 26 % Hornblende in Heimersdorf belegen, dass die hier von der Aare (mit Zufluss der Reuss) abgelager-

ten Schüttungen auch ohne Anschluss des Alpenrheins relativ hohe Gehalte an Hornblende aufweisen können.



Abb. 11: Schwermineraldiagramm des Profils Seppois-le-Bas (nach BOENIGK 1987).

## 4.1.1.1 III

Die Ill entspringt im Sundgau südlich von Ferrette am Nordrand des Juras. Südlich von Mulhouse bis zur Mündung in Strasbourg fließt die Ill parallel zum Rhein auf pleistozänen und holozänen Ablagerungen dieses Flusses. Ein kurzer Oberlauf und einige kleine Nebenflüsse liefern kleinere Materialmengen aus den Vogesen. Ihr Einfluss auf die Mineralogie der Ill-Sedimente ist zu vernachlässigen (VAN ANDEL 1950). Die Ill transportiert ein Alterit-Granat-Epidot-Spektrum (s. Abb. 12), welches keine neuen Elemente in die Rheinsedimente einträgt. Die Ill mündet zusammen mit der Breusch bei Strasbourg in den Rhein.



Abb. 12: Schwermineraldiagramm der Ill-Analysen (nach VAN ANDEL 1950).

#### 4.1.2 Zuflüsse aus dem Schwarzwald

Aufgrund unterschiedlicher mineralogischer Zusammensetzung der Gesteine des Schwarzwaldes führen die Nebenflüsse des Rheins verschiedene Schwermineralassoziationen. VAN ANDEL (1950) beschreibt das Auftreten von Baryt (aus Baryt-Adern) in fast allen Proben aus den Schwarzwaldbächen. Der Baryt wird während des fluviatilen Transports jedoch schnell zersetzt (Abrasion und Lösung), sodass nur wenige Körner den Rhein erreichen. Seine Bedeutung ist daher nur lokal begrenzt. Hornblende und Granat sind dagegen sehr wichtige Bestandteile des Spektrums. Sie stammen aus granathaltigen Gneisen, Graniten und Hornblende-Syeniten. Die Hornblenden zeigen einen braun-grünen Pleochroismus, der eine eindeutige Einstufung als braune oder grünen Hornblende oft erschwert (VAN ANDEL 1950). Ebenfalls aus den Kristallingesteinen kommen Biotit und Zirkon, untergeordnet Rutil, Turmalin, Sillimanit, Staurolith, wenig Epidot, Monazit, Xenotim, Titanit, Brookit und vereinzelt Korund (ZIMMERLE 1969). Aus Buntsandstein-Regionen stammen die stabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil-Anatas (SINDOWSKI 1958).

#### 4.1.2.1 Wiese

Die Wiese entspringt südlich vom Feldberg (1493 m NN) im Schwarzwald und fließt in Richtung Südwesten über Todtnau, Utzenfeld, Schönau, Zell im Wiesental, Schopfheim, Steinen und Lörrach, wo sie bei Weil am Rhein in den Rhein mündet. Sie entwässert somit einen großen Teil des kristallinen Schwarzwalds und liefert nach VAN ANDEL (1950) und eigenen Untersuchungen ein Schwermineralspektrum, das von Hornblende dominiert wird.



Abb. 13: Schwermineraldiagramm der Proben aus der Wiese (VA = VAN ANDEL 1950).

Es zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung der Zähldaten von VAN ANDEL (1950), der zwei Proben aus dem Oberlauf (bei Utzenfeld) und Unterlauf (bei Lörrach) untersucht hat, und den aktuellen Zählungen von Proben aus den Schwemmsedimenten der Wiese bei Steinen (stromaufwärts von Lörrach) (s. Abb. 13).

Während VAN ANDEL (1950) einen Großteil der Hornblenden als braune Hornblenden einstuft, sind in den aktuellen Untersuchungen vorwiegend grüne Hornblenden bestimmt worden, die einen

Pleochroismus von grün nach blaugrün zeigen und nicht von den grünen Hornblenden im Oberrheingraben zu unterscheiden sind. In geringen Prozentanteilen treten auch braune und olivgrüne Hornblenden auf (s. Zähldaten im Anhang B). Die Werte der grünen Hornblenden erreichen maximal 72 und 78 % in den Proben aus der Wiese bei Steinen.

Zweithäufigstes Mineral ist der Granat (maximal 26 % bei Utzenfeld, sonst 5 bis 10 %). Stabile und metamorphe Minerale sowie die Epidot-Gruppe sind nur mit geringen Anteilen am Spektrum vertreten, ebenso die Pyroxen-Gruppe. In der VAN-ANDEL'schen Zählung der Probe aus Utzenfeld treten 5 % Baryt und 8 % Korund auf, die in den Proben aus Steinen und Lörrach fehlen.

Die deutliche Talbreite des unteren Wiese-Tals spricht dafür, dass die Wiese in der Vergangenheit eine wichtige Rolle bei der Entwässerung des Südschwarzwaldes gespielt hat. Beim Abschmelzen der Schwarzwaldgletscher sind vermutlich umfangreiche Sedimentschüttungen zum Rhein transportiert worden.

## 4.1.2.2 Kander

Die Kander entspringt nahe der Ortschaft Marzell am Südosthang des Blauen (1165 m NN) und fließt in Richtung Südsüdwest über Kandern und Rümmingen, wo sie nach Westen umbiegt und bei Eimeldingen in den Rhein mündet. Sie entwässert sowohl Kristallingesteine im Oberlauf, als auch Juragesteine und Ablagerungen des Tertiärs.



Abb. 14: Schwermineraldiagramm der Proben aus der Kander (VA = VAN ANDEL 1950).

VAN ANDEL (1950) hat eine Probe aus der Kander bei Binzen (stromabwärts von Rümmingen) untersucht, in der neben 36 % Granat auch hohe Anteile von Zirkon (21 %) auftraten, gefolgt von Epidot (10 %). Eigene Untersuchungen von Proben aus Rümmingen und Eimeldingen ergaben wesentlich höhere Anteile von Zirkon am Spektrum (45 - 51 %), wobei der Granat-Anteil nur 3 - 10 % beträgt (s. Abb. 14). Die stabilen Minerale Turmalin, Zirkon und Rutil-Anatas machen durchschnittlich 60 % des Gesamtspektrums aus. Im Vergleich mit den rezenten Sedimenten der Wiese (s. Kap. 4.1.2.1) zeigen sich deutlich geringere Hornblende-Gehalte, etwas mehr Anteil von Epidot und wesentlich höhere Werte an stabilen Mineralen.

Die hohen Zirkon-Anteile in den Proben aus Rümmingen und Eimeldingen könnten aus den

Tertiärgesteinen im Unterlauf der Kander stammen, die nach Analysen von MAUS (GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1996) im Tertiär der Vorbergzone sehr viel Zirkon neben Rutil-Anatas und etwas Turmalin führen.

VAN ANDEL deutet die Schwermineralassoziation in der Probe aus Binzen als Vermischung der Schwarzwaldsedimente mit alten Rheinablagerungen, wie es nach seinen Angaben im unteren Abschnitt der Seitenflüsse oft vorkommen kann. Die titanaugit-reichen Pyroxene in den Proben von Kander und Neumagen führt er auf eine Herkunft aus dem Kaiserstuhl zurück.

#### 4.1.2.3 Neumagen

Die Quelle des Neumagen liegt im oberen Münstertal, das der Neumagen in Richtung Westen in den Rheingraben entwässert, wo er südlich des Tuniberges mit der Möhlin zusammenfließt. Die Mündung in den Rhein liegt weiter nordwestlich bei Breisach. In den Sedimenten des Neumagens treten nach Angaben von VAN ANDEL (1950) durchschnittlich 90 % Baryt auf, die vermutlich aus Baryt-Gängen des Schwarzwalds stammen. Im Einzugsgebiet des Neumagen stehen weiterhin Granite, Quarzporphyre und Gneise an.

#### 4.1.2.4 Dreisam / Bohrungen im Freiburger Stadtgebiet

Die Dreisam entsteht im Zartener Becken durch den Zusammenfluss einiger Bäche. Sie entwässert Gneis- und Granitgebiete und liefert ein ähnliches Schwermineralspektrum wie die Wiese, das vorwiegend aus Granat und Hornblende besteht. Dies zeigen die Untersuchungen von Bohrungen aus dem Freiburger Stadtgebiet, das auf dem Mündungskegel der Dreisam in den Oberrheingraben liegt.

Morphologisch ist die **Freiburger Bucht** eine Schwemmlandebene, in die sich die Schwemmfächer der Schwarzwaldflüsse Dreisam, Glotter und Elz erstrecken. Hier liegen bis zu 100 m mächtige pleistozäne Kiese (s. Abb. 15) mit Deckschichten aus Löss und Auelehm.

Die Freiburger Bucht wurde ehemals durch die Ur-Elz in südwestlicher Richtung entwässert. Die Umkehr der Entwässerung nach Norden zur Riegeler Pforte erfolgte vermutlich im Verlauf der ersten kräftigen Aufschüttungen im Mündungsschwemmkegel der Dreisam während des Mittelpleistozäns, wo es zu verstärkter Geröllanlieferung durch die Gletscherschmelzwässer aus dem Schwarzwald kam. Die Dreisam schotterte durch sich verlagernde Flussläufe die gesamte Freiburger Bucht auf. Der Schwemmkegel der Dreisam stellt nach dem des Neckars bei Heidelberg den zweitgrößten im gesamten Oberrheingraben dar (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 1999).



Abb. 15: Vereinfachter geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt durch die Freiburger Bucht zwischen Dreisam-Tal und Kaiserstuhl (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2002).

Im Würmhochglazial überflutete der Rhein die flache Wasserscheide zwischen Kaiserstuhl und Tuniberg und drang als sogenannter "Ostrhein" in die Freiburger Bucht, wo er gemeinsam mit den Wässern von Dreisam, Glotter und Elz durch die Riegeler Pforte floss. Diesen Rheinverlauf belegen alpine Niederterrassenschotter am Ostrand des Kaiserstuhls. Bei Hochwasser floss der Rhein in dieser Ostrheinrinne möglicherweise noch bis ins Mittelalter (SCHREINER 1977).

In der Freiburger und Staufener Bucht, d. h. in den gebirgsnahen Randbereichen des Oberrheingrabens, herrschen schlecht sortierte Ablagerungen aus den Schwarzwaldtälern Elz, Glotter, Dreisam und Neumagen vor. Der obere Teil dieser Schüttungskörper, den SCHREINER (1977) als "Jüngere Schotter" bezeichnet, besteht aus frischen, locker gelagerten, jungpleistozänen und holozänen Kiesen und Sanden. Sie sind etwa 10 bis 30 m mächtig (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 1999). Zu den Jüngeren Schottern zählen auch die Kiese der Ostrheinrinne (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2002, s. Abb. 15). Der untere Teil der Schwarzwaldschotter ("Ältere Schotter") enthält vorwiegend stark vergruste und zersetzte Gesteine aus dem Schwarzwald mit einem hohen Anteil von braunem, sandig-grusigem Schluff. Die Älteren Schotter sind einige Zehner Meter mächtig und ähneln in ihrer Ausbildung der Breisgau-Formation im Grabenbereich.

Die Festgesteine, die unter den Kiesen folgen, sind aufgrund der intensiven tektonischen Beanspruchung im Zusammenhang mit der Einsenkung des Oberrheingrabens in zahlreiche Schollen zerbrochen. Im Westteil der Freiburger Bucht handelt es sich vorwiegend um tertiäre, im mittleren und östlichen Teil um mesozoische Gesteine. Diese treten in den Bruchschollen der randlichen Vorbergzone (Emmendinger Vorbergzone, Mauracher Berg, Lorettoberg, Schönberg) sowie in isolierten Hochschollen zutage, die aus der Kiesfüllung der Freibuger Bucht herausragen (Nimberg, Lehender Berg, Tuniberg) (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2002).

#### 4.1.2.4.1 Bohrung Dreisam-Tal

Bohrung B31/M34 Dreisam-Tal, R 3415535, H 5317094, 290 m NN, Endteufe: 41,5 m

Am alten Messplatz in Freiburg, im Schulhof der ehemaligen französischen Schule, wurde eine etwa 45 m tiefe Bohrung in die Sedimente des Dreisam-Tals abgeteuft. Die Bohrlokalität liegt im Übergang des Zartener Beckens in die Freiburger Bucht.

In etwa 41,5 m Teufe wurde der anstehende Gneis erbohrt. Das darüber folgende Bohrprofil (s. Lithofaziesprofil in Abb. 16) lässt sich grob in untere, deutlich verwitterte Schotter (Ältere Schotter oder Breisgau-Formation) und obere frischere Schotter (Jüngere Schotter) gliedern. Der verwitterte Abschnitt der Schotter reicht vom Top der Gneise (41,5 m) bis ca. 20 m. Dabei sind die Sedimente zwischen 41,5 und ca. 34 m gelb bis gelbbraun gefärbt, zwischen 34 und ca. 20 m herrschen rötlich-graue Farbtöne vor. Das Sediment zeigt eine diamiktische Ausprägung mit vereinzelt eingeschalteten Sandlagen. Am Übergang der verwitterten Älteren Schotter (Breisgau-Formation) zu den frischen Kiesen (Jüngere Schotter) im oberen Teil der Bohrung deuten Tonstege auf eine Bodenbildung, also auf eine längere Sedimentationsunterbrechung. Die frischen Schotter oberhalb von etwa 20 m zeigen eine rotbraune Färbung. Bis auf wenige Sandeinschaltungen ist das Sediment durchweg grobkiesig ausgebildet, wobei die Korngröße zum Top der Bohrung nochmals zunimmt (Steine und Blöcke).

Über das Kernprofil verteilt wurden neun Schwermineralproben entnommen und analysiert (s. Abb. 16). Es zeigt sich eine Granat-Hornblende-Assoziation, die durch stabile und seltene Minerale ergänzt wird. Epidot tritt nur vereinzelt auf. Durchweg ist in den Proben das Vorkommen von Monazit zu verzeichnen; in einigen Proben kommen Titanit und Xenotim vor. Diese seltenen Minerale stammen aus dem kristallinen Basement des Schwarzwalds (VAN ANDEL 1950, ZIMMERLE 1969). In fast allen Proben lässt sich Biotit feststellen, der trotz der teilweisen Auflösung bei der Probenaufbereitung mit bis zu 61 gezählten Körnern (zusätzlich zu den 100 Kornprozent) auftritt, und vermutlich aus den Graniten des Schwarzwalds stammt.

Im Bereich der verwitterten Schotter (Breisgau-Formation) im unteren Teil der Bohrung nehmen die Anteile von Granat und Hornblende tendenziell zugunsten der stabilen Minerale ab, was vermutlich durch Verwitterungsauflösung dieser beiden instabilen Minerale zu erklären ist. Am deutlichsten nehmen die Anteile an Zirkon im unteren Bohrabschnitt zu (bis auf max. 30 %), aber auch Monazit und Xenotim treten angereichert auf. Eine weitere Ursache für einen höheren Anteil der stabilen Minerale am Spektrum könnte eine vermehrte Schüttung von Buntsandstein-Material zu früheren Zeiten sein, als der Schwarzwald noch Reste von Buntsandstein-Bedeckung über dem
# kristallinen Grundgebirge aufwies.



Abb. 16: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Dreisam-Tal.

Das Schwermineralspektrum dieser Dreisam-Ablagerungen ähnelt dem der Wiese-Sedimente, die aus vergleichbaren Liefergebieten (vorwiegend Kristallingesteine) stammen. Die Sedimente der Wiese weisen jedoch deutlich höhere Hornblende-Gehalte als die der Dreisam auf.

# 4.1.2.4.2 Bohrung Freiburg Hauptbahnhof B1

### R 3413610, H 5318340, ca. 260 m NN, Endteufe: 15,3 m

Die Bohrung B1 in Nähe des Freiburger Hauptbahnhofs erreichte eine Teufe von 15,3 m (s. Lithofaziesprofil in Abb. 17). Die verwitterten Älteren Schotter (Breisgau-Formation) wurden nicht erreicht. Im Bohrabschnitt von 15,3 bis 5,6 m zeigt sich zum Hangenden eine Entwicklung von einer fluviatilen Sedimentation hin zu debris flows. Es sind mehrere diamiktische Ereignislagen mit z. T. mit sehr groben Blöcken eingeschaltet. Darüber folgen bis 3,2 m fluviatile Sande und Kiese, die Komponenten bis in Stein- und Blockgröße enthalten. Die Sandfraktion zeigt rosa Farbtöne. Am Top wurden 3,2 m mächtige künstliche Aufschüttungen erfasst.

Das Schwermineralspektrum der zwei untersuchten Proben (7,5 und 14,5 m u. GOK) zeigt eine Dominanz von Granat und Hornblende (s. Abb. 17). Dieses Spektrum lässt sich gut mit dem der oben beschriebenen Bohrung aus dem Dreisam-Tal (s. Kap. 4.1.2.4.1) vergleichen. Die stabilen und seltenen Minerale machen in der oberen Probe 12 % des Gesamtspektrums aus, in der unteren Probe liegt dieser Wert etwas höher bei 22 %. Metamorphe Minerale fehlen, und auch Epidot ist mit nur 4 % in der oberen Probe vertreten. Wie schon in den Sedimenten der Bohrung aus dem Dreisam-Tal ist das Auftreten der seltenen Minerale Monazit und untergeordnet Xenotim, Titanit und Brookit charakteristisch. Bei den Hornblenden handelt es sich fast vollständig um eine grün gefärbte Varietät.



Abb. 17: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Freiburg Hauptbahnhof B1.

#### 4.1.2.4.3 Bohrung DB Unterwerkstraße B2

### R 3412650, H 5316700, ca. 260 m NN, Endteufe: 15,2 m

Die Bohrung B3 in Nähe des Bahnhofs Unterwerkstraße wurde auf ca. 15,2 m u. GOK niedergebracht. Zwischen 15,2 und 13 m treten diamiktische Sedimente auf, die im Gegensatz zu den hangenden rotbraunen Schottern eher gelbe Farbtöne zeigen. Darüber folgen fluviatile Kiese und Sande, in denen die Geröllkomponenten Stein- bis Blockgröße erreichen. Bei den Geröllen handelt es sich vorwiegend um sehr grobe Gneise und Granite. Etwa 5 m mächtige, künstliche Aufschüttungen schließen das Profil (s. Lithofaziesprofil in Abb. 18) ab.

Die Zählungen der Schwermineralfraktion von zwei Proben (5,5 und 15,5 m u. GOK) stellen ein Spektrum dar, das zu über 90 % aus Granat und Hornblende besteht, jedoch in der oberen Probe aus viel Granat (65 %) und in der unteren aus viel Hornblende (90 %) (s. Abb. 18). Ergänzt wird

das Spektrum durch sehr geringe Anteile an Turmalin, Zirkon, Rutil-Anatas, Andalusit, Pyroxen und Monazit.



Abb. 18: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung DB Unterwerkstraße B2.

### 4.1.2.4.4 Bohrung DB Unterwerkstraße B3

### R 3412650, H 5316710, ca. 260 m NN, Endteufe: 20 m

Die in direkter Nachbarschaft zur Bohrung B2 liegende Bohrung B3 erreichte eine Endteufe von 20 m u. GOK (s. Lithofaziesprofil in Abb. 19). In den untersten zwei Bohrmetern wurde verwittertes Material erbohrt, das den Älteren Schottern (Breisgau-Formation) entsprechen könnte. Bis 13 m deutet die diamiktische Ausprägung der Sedimente auf eine Anlieferung als mass flows, während oberhalb davon fluviatile Schüttungen einsetzen, die sehr grob sind und eine rotbraune bis intensiv rote Farbe zeigen.

Es wurden vier Proben (7,5, 11,5, 16,5, 18,5 m Teufe) schwermineralanalytisch untersucht (s. Schwermineraldiagramm in Abb. 19). Wieder zeigt sich ein von Granat und Hornblende dominiertes Spektrum, das durch stabile und seltene Minerale (ca. 20 %) ergänzt wird, wobei der Zirkon die wichtigste Rolle spielt. Während der Granat-Anteil von 15 % bei 18,5 m auf 44 % in 7,5 m Teufe zunimmt, verhalten sich die Hornblende-Werte umgekehrt proportional. Sie nehmen von 68 % in der untersten auf 33 % in der obersten Probe ab. Monazit ist in jeder Probe mit wenigen Prozentanteilen vertreten.

In den Bohrungen Unterwerkstraße B2 und B3 sowie der Bohrung vom Freiburger Hauptbahnhof zeigen sich zum Hangenden zunehmende Granat-Anteile bei gleichzeitiger Abnahme der Hornblenden. Die Abfolge der Bohrung im Dreisam-Tal (s. Kap. 4.1.2.4.1) zeigt dieses Phänomen nicht. Aufgrund der geringen Probenanzahl lässt sich diese Tendenz nicht weiter untermauern. Die Zusammensetzung der Schwermineralspektren dieser drei Bohrungen lassen sich jedoch sehr gut miteinander vergleichen, was auf eine gleichartige Anlieferung der Sedimente durch die Dreisam schließen lässt.



Abb. 19: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung DB Unterwerkstraße B3.

## 4.1.2.4.5 Bohrung Lorettobad

#### R 3411210, H 5316720, 275 m NN, Endteufe: 14 m

Zwischen 14 und 10,3 m treten verwitterte, diamiktische Sedimente der Älteren Schotter (Breisgau-Formation) auf (s. Abb. 20). Darüber folgen bis 4,3 m u. GOK fluviatile Sande und Kiese mit diamiktischen Einschaltungen bei 9 und 7 m. Die obersten ca. 4,3 m sind künstliche Aufschüttungen. Während in den verwitterten Schottern graue Sedimentfarben vorherrschen, zeigen die fluviatilen Kiese rötliche bis gelbbraue Farbtöne. Die Größe der vorhandenen Blöcke ist deutlich kleiner als in der Bohrung vom Hauptbahnhof.

Es wurden drei Proben aus 3,5, 8,5 und 12,5 m Teufe untersucht. Die beiden oberen Proben zeigen wieder ein Schwerminalspektrum aus Granat, Hornblende und stabilen und seltenen Mineralen (s. Abb. 20). Im Vergleich mit den Proben der Bohrungen B1, B2 und B3 liegen die Anteile der stabilen und seltenen Minerale am Spektrum jedoch deutlich höher und machen ca. 30 - 40 % in Summe aus. Weiterhin ist der relativ hohe Monazit-Gehalt von 12 % in der Probe 8,5 m erwähnenswert.

Die unterste Probe aus 12,5 m, also aus den verwitterten Älteren Schottern, enthält mit 83 % sehr viel Zirkon. Der Summenanteil aus stabilen und seltenen Mineralen am Spektrum steigt auf 90 % an. Mögliche Ursache für die geringen Anteile der instabilen Minerale könnten Verwitterungserscheinungen sein, wie sie schon makroskopisch in diesem Bohrkernabschnitt an den Geröllkomponenten ablesbar sind. Da aber vor allem die Zirkon-Gehalte zunehmen, ist auch eine Veränderung im Liefergebiet denkbar. Eventuell ist auch der graue Farbton der Sedimente im unteren Bohrabschnitt ein Hinweis auf ein anderes Liefergebiet als im oberen, rötlich gefärbten Kernbereich. Die Bohrung am Lorettoberg liegt deutlich weiter vom Gebirgsrand und dem Eintrittsbereich der Dreisam in die Freiburger Bucht entfernt als die oben beschriebenen Bohrungen. Daher ist ein Einfluss von anderen Schüttungen als von der Dreisam denkbar. Die Elz, die vormals durch die Freiburger Bucht nach Süden entwässerte, weist heutzutage in ihren Sedimenten nicht derart hohe Zirkon-Gehalte auf, wie sie im unteren Bohrabschnitt der Lorettobad-Bohrung auftreten. Zu früheren Zeiten könnten jedoch größere Anteile von - ehemals den Schwarzwald bedeckenden - Buntsandstein in den Schüttungen zu einem vermehrten Auftreten von stabilen Mineralen geführt haben.



Abb. 20: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Freiburg Lorettobad.

# 4.1.2.5 Elz

Die Elzquelle liegt auf etwa 1090 m NN westlich von Schönwald im Schwarzwald. Die Elz fließt über Oberprechtal, Elzach, Gutach, Waldkirch, Denzlingen, Emmendingen und Teningen nach Riegel, wo Glotter und Dreisam in die Elz münden. Der weitere Flusslauf führt Richtung Norden nach Kenzingen, Rust und Kappel am Rhein und mündet bei Nonnenweier in den Rhein. Von Riegel führt der Leopoldskanal einen Teil der Elzwässer nach Nordwesten zum Rhein. Die Elz entwässert hauptsächlich Kristallingebiete des Schwarzwalds. Aus den Trias-Gesteinen nördlich von Emmendingen entwässern kleine Zuflüsse zur Elz. Bis etwa zum Mittelpleistozän floss die Ur-Elz über die Freiburger Bucht Richtung Süden (s. Kap. 4.1.2.4).

Aus dem Elz-Tal wurden insgesamt vier Proben auf ihren Schwermineralinhalt untersucht (s. Abb. 21). Zwei Proben stammen aus einer Wasserbohrung aus dem Elz-Tal in Emmendingen (Elzbrücke EM Wasser B2a, R 3414619, H 5330686, 203,5 m NN) aus 20,5 und 21,5 m Teufe. Bei dieser Bohrung wurde das Sediment bis 17 m gespült, darunter bis 40 m gekernt. Unterhalb von 36,5 m Teufe wurde der im Untergrund anstehende Muschelkalk erbohrt. Darüber folgt bis ca. 26,5 m eine tonig-schluffige Sequenz, die hellbraune, rotbraune bis schwarzgraue Farbtöne zeigt. Oberhalb von ca. 26,5 m treten diamiktische und fluviatile sandige Kiese auf. Das Kernprofil endet bei ca. 19 bis

17 m mit einem tonig-humosen Feinsediment.

Die Proben aus der Elz-Tal-Bohrung B2a aus 20,5 und 21,5 m Teufe zeigen ein Schwermineralspektrum, das von Granat (40 und 45 %) und Hornblende (29 und 30 %) dominiert und durch stabile und seltene Minerale (21 und 29 %) ergänzt wird. Der Epidot-Gehalt ist - wie bei fast allen untersuchten Schwarzwald-Schüttungen - sehr gering (2 und 4 %). Neben grünen Hornblenden treten in allen Elz-Proben auch olivfarbene bis braune und vereinzelt auch farblose Hornblenden auf.

Zwei weitere Proben stammen ca. 4 km flussaufwärts in südöstlicher Richtung aus rezenten Schwemmsedimenten der Elz bei Denzlingen. Diese Proben zeigen hohe Hornblende-Prozentwerte von 55 und 46 %. Zweithäufigstes Mineral ist der Granat mit 28 und 16 %. Anlösungserscheinungen an den Granatkörnern der zweiten Probe mit 16 % Granat deuten an, dass ursprünglich vermutlich mehr Granat vorhanden war, der eventuell durch saure Verwitterungslösungen angegriffen und teilweise aufgelöst wurde. Epidot ist nur in einer der beiden Proben mit 7 % vorhanden. Bei den stabilen Mineralen erreicht nur der Anatas nennenswerte Anteile von 5 und 11 %. In einer der beiden Proben (Denzlingen 2) wurden 8 % Baryt bestimmt.



Abb. 21: Schwermineralanalysen von Proben aus dem Elz-Tal.

Die Elz-Proben zeigen demnach ein zu den Proben aus der Freiburger Bucht vergleichbares Schwermineralspektrum aus Granat, Hornblende und stabilen und seltenen Mineralen. Die Anteile der stabilen Minerale, insbesondere des Zirkons, sind in den Denzlinger Proben deutlich geringer als in den aus größerer Tiefe (20 m u. GOK) stammenden Sedimenten aus der Elz-Tal-Bohrung B2a.

### 4.1.2.5.1 Bohrung Teningen

Bohrung Teningen, R 3411037, H 5330006, 194 m NN, Endteufe: 100 m

Die Bohrungen Teningen und Emmendingen (s. Kap. 4.1.2.5.2) liegen ca. 430 m voneinander entfernt südlich von Teningen und westsüdwestlich von Emmendingen im Waldgebiet "Teninger Allmend", das von den Flusstälern der Elz im Osten und der Glotter im Süden und Westen umrahmt wird.

Im Untergrund befinden sich quartäre Sande und Kiese mit einer Mächtigkeit von 60 - 70 m, die von Elz und Glotter hier abgelagert wurden (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2001). Die kristallinen Gerölle im Bohrkern belegen die Herkunft der Sedimente aus dem Schwarzwald. Alpine Komponenten fehlen. Ein Einfluss des Ostrheins ist hier kaum anzunehmen, da die Erhebung des Nimberges im Westen eine Barriere gegen die alpinen Schüttungen darstellt. Da die Elz in früheren Zeiten nach Süden in Richtung der Freiburger Bucht entwässerte, sind in den älteren Sedimenten eher Elz- als Glotter-Schüttungen anzunehmen. In der Region ist meist in 21 bis rund 24 m Tiefe ein etwa 3 m mächtiger Ton-Schluff-Horizont in die Kiese eingeschaltet, der als Riegeler Horizont bezeichnet wird (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2001, s. Abb. 15). Er wird anhand von Pollenbefunden in die Cromer-Zeit datiert.

Das Lithofaziesprofil der Bohrung Teningen ist in der Abbildung 22 ersichtlich. Unterhalb von etwa 65 m Teufe treten Tonmergel, Kalke und Dolomite des Muschelkalks auf. Darüber folgen bis ca. 12 m verwitterte diamiktische Kiese vom Typ der Breisgau-Formation (Ältere Schotter), in die vereinzelt fluviatile Lagen eingeschaltet sind. Die Geröllkomponenten in diesem Bohrabschnitt sind zum größten Teil vergrust. Die Sedimente zeigen rotbraune bis fahle Farben. Oberhalb von 12 m treten im Bohrkern frische grobe Kiese auf, die vermutlich den Jüngeren Schottern entsprechen. Der Riegeler Horizont fehlt in der Bohrung Teningen. Eine ältere Bohrung Teningen (Grundwassermessstelle B8 1993, WVV Mauracher Berg, GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1996) zeigt eine ähnliche Abfolge von ca. 7 m frischen Kiesen und 60 m verwitterten Kiesen auf Oberem Muschelkalk.



Abb. 22: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Teningen.

Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 22) lässt eine ungefähre Dreiteilung des Bohrprofils Teningen zu. Die untersten vier Proben zwischen 64,2 und 50 m zeigen ein Spektrum, das von stabilen und seltenen Mineralen (in Summe durchschnittlich ca. 58 %, davon 31,5 % Zirkon) sowie sehr unterschiedlich hohen Granat-Werten (im Mittel ca. 32 %) dominiert wird. Hornblende kommt in geringen Prozentanteilen (7 % im Durchschnitt) vor; Epidot ist selten vorhanden (2 %). Diese Zusammensetzung gleicht dem Spektrum im unteren Teil der Iffezheim-Formation der Interreg II-Bohrungen Hartheim und Nambsheim (s. Kap. 4.2.8 und 4.2.9). Auch die Lithofazies dieser Sedimentabschnitte gleichen sich. Ob in der Bohrung Teningen die Sedimente unterhalb von etwa 50 m als Iffezheim-Formation angesprochen werden können, lässt sich aufgrund der schwierigen Abgrenzung zu den kalkfreien Lokalschüttungen des Quartärs nicht beantworten.

Der mittlere Abschnitt im Schwermineraldiagramm zwischen 50 und etwa 28 m zeigt deutlich höhere Anteile an Hornblende (ca. 15 %), metamorphen Mineralen (7,5 %) und Epidot (7 %), wobei die Gehalte von Granat (19 %) und Zirkon (25 %) deutlich zurückgehen. Die Werte der seltenen Minerale (10,5 %, Monazit, Xenotim, Brookit) und von Rutil-Anatas (11,5 %) sind relativ hoch. In diesem Abschnitt des Bohrprofils wurden allerdings nur zwei Proben analysiert. Die Proben aus den benachbarten Bohrung Emmendingen zeigen jedoch ähnliche Mineralverteilungen im vergleichbaren Bohrabschnitt.

Beim Vergleich mit den Proben aus der Wasserbohrung aus dem Elz-Tal (s. Kap. 4.1.2.5) zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung der Schwermineralspektren, wobei die Zirkon-Gehalte im Elz-Tal etwas geringer und die Granat- und Hornblende-Anteile etwas höher sind. Ob die Sedimente in der Bohrung Teningen durch Verwitterung eine Verminderung der instabilen Minerale Granat und Hornblende und dadurch eine relative Anreicherung der stabilen Minerale erfahren haben, oder ob die Elz oder Glotter zu früheren Zeiten höhere Anteile an Buntsandstein angeliefert haben als heute, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Die im Bohrkern unterhalb von 28 m auffällige, starke Verwitterung der Gerölle macht dies als Ursache für die Änderungen in der Schwermineralverteilung wahrscheinlich.

Oberhalb von etwa 28 m sind die erbohrten Sedimente durch sehr hohe Hornblende-Gehalte (ca. 49 % im Mittel, maximal bis 73 %) bei gleichzeitigem Rückgang der stabilen (besonders Zirkon: 7,75 %), metamorphen und seltenen Minerale (zusammen nur noch 21,6 % gegenüber 59 % im mittleren Abschnitt) gekennzeichnet. Die Granat-Gehalte variieren von 2 bis 52 % bei einem Durchschnitt von 25 %. Charakteristisch ist weiterhin das Auftreten von wenigen Prozentanteilen Monazit. Der geringe Epidot-Anteil (4 %) entspricht den bisherigen Befunden aus den Schwarzwald-Schüttungen.

Eine genaue Abgrenzung, wie sie am Bohrkern bei 12 m u. GOK zwischen dem oberen Teil der Breisgau-Formation (Älteren Schotter, 28 - 12 m) und den frischeren Jüngeren Schottern darüber

erkennbar war, lässt sich im Schwermineraldiagramm nicht ablesen. Die Mineralverteilung in diesem obersten Bohrabschnitt (12 - 0 m) stimmt sehr gut mit den analysierten Schüttungen aus dem Schwarzwald (z. B. Elz-Tal) überein.

Obwohl es sich bei den Sedimenten im Bohrkern Teningen vermutlich ausschließlich um Schüttungen aus dem Schwarzwald handelt, sind im unteren Teil der verwitterten Diamikte der Breisgau-Formation (50 - 28 m) deutlich weniger Hornblenden vorhanden als im oberen Teil (28 - 12 m), wie es auch für die Breisgau-Formation im zentralen südlichen Grabengebiet charakteristisch ist (s. Kap. 4.2). Als Ursache hierfür ist sowohl eine Änderung der Petrographie der im Schwarzwald zur Erosion anstehenden Gesteine (zunächst Buntsandstein, anschließend Kristallin) als auch eine stärkere Verwitterungseinwirkung im unteren Teil der Breisgau-Formation denkbar.

# 4.1.2.5.2 Bohrung Emmendingen

Emmendingen B7T, R 3411466, H 5330097, 195 m NN, Endteufe: 88 m

In der Kernbohrung Emmendingen EM B7T (s. Lithofaziesprofil in der Anlage 1) wurden unterhalb von 65 m verkarstete Kalksteine des Muschelkalks erbohrt. In den Karsthohlräumen des grauen Kalksteins sind lehmige Schluffe eingelagert. Zwischen 65 und 60 m treten schwach sandige, braungraue Schluffe und Tone auf, die möglicherweise ein Äquivalent der Iffezheim-Formation darstellen. Darüber folgen im Bohrprofil (s. Anlage 1) die bunten, diamiktischen Kiese der Breisgau-Formation, die bis ca. 16 m u. GOK reichen, und die vereinzelt fluviatile Einschaltungen aufweisen. Ab 16 m setzen frische, braungraue sandige Kiese ein, bei denen es sich vermutlich um fluviatile Elz-Schotter handelt.

Die Schwermineralverteilung der 14 untersuchten Proben ergibt ein ähnliches Bild (s. Anlage 1) wie in der benachbarten Bohrung Teningen. Da die Iffezheim-Formation in der Bohrung Emmendingen aufgrund ihrer feinkörnigen Ausbildung nicht beprobt wurde, fehlt ein Vergleich mit dem untersten Abschnitt der Bohrung Teningen, der dort gröber ausgebildet ist.

Beim Vergleich mit dem Schwermineraldiagramm der Nachbarbohrung Teningen (s. Abb. 22) lassen sich die beiden darüber folgenden Abschnitte im Diagramm von Emmendingen deutlich wiedererkennen. Der untere Teil der Breisgau-Formation zwischen 60 und ca. 34 m, dessen Mineralspektrum aus Granat (ca. 24 % im Mittel), Hornblende (19 %) und wenig Epidot (6 %) sowie einem hohen Anteil an stabilen (etwa 48 %, davon 31 % Zirkon) und seltenen Mineralen besteht, lässt sich gut mit dem mittleren Bohrabschnitt in Teningen (50 - 28 m) korrelieren. Geringfügige Unterschiede, z. B. im unterschiedlichen Anteil der metamorphen Minerale (1,6 % gegenüber 7,5 % in Teningen) und des Rutils (2 % gegenüber 8,5 % in Teningen), ergeben sich vermutlich durch die geringe Probenzahl aus diesem Abschnitt in Teningen (nur zwei Proben, in Emmendingen sieben Proben). Diese Sedimente sind vermutlich ältere Schwarzwald-(Elz-)- Schüttungen, die durch Verwitterung oder mehr Buntsandstein-Einfluss einen höheren Anteil an stabilen Mineralen aufweisen als die jüngeren Schüttungen darüber.

Der obere Teil der Breisgau-Formation (oberhalb von ca. 34 m) sowie die Sedimente der Jüngeren Schotter zeigen im Schwermineraldiagramm einen sprunghaften Anstieg der Hornblende-Gehalte, die von durchschnittlichen 19 % im unteren Teil auf jetzt 48 % im Mittel ansteigen. Vereinzelt werden Werte von maximal 84 % (33 m) erreicht. Der Anteil der stabilen und seltenen Minerale geht ebenso wie in Teningen deutlich zurück, und zwar von knapp 48 auf 21,4 % im Mittel, wobei die Abnahme des Zirkon-Gehalts von 31 auf ca. 13,4 % einen Großteil ausmacht. Die Granat-Werte variieren deutlich bei einem Mittelwert von 21 %. Der Epidot weist in der Probe aus 12,4 m Teufe seinen Maximalanteil von 28 % am Gesamtspektrum auf. Bis auf diese Ausnahme lässt sich das Spektrum dieses oberen Bohrabschnitts gut mit dem aus dem Elz-Tal vergleichen. Eine Anlieferung von Schwarzwald-Schüttungen durch die Elz ist demnach wahrscheinlich. Die klare lithofazielle Abgrenzung der diamiktischen Kiese der Breisgau-Formation von den sandigen frischen Kiesen der Jüngeren Schotter lässt sich anhand der Schwermineralanalysen nicht bestätigen.

# 4.1.2.6 Schutter

Die Schutter entwässert neben Kristallingebieten auch die Trias-Region südöstlich von Lahr. Hier stehen Gesteine des Buntsandsteins und vereinzelt des Muschelkalks an. Die Schutter fließt nach Erreichen des Grabens in Richtung Norden etwa parallel zum Rhein, in den sie erst nördlich von Strasbourg mündet. Die Bohrungen an der Polizeischule in Lahr (s. Kapitel 4.2.14) weisen unterhalb von alpin geprägten Sequenzen Sedimente des Schutterschwemmkegels auf, die ein Schwermineralspektrum aus den Hauptmineralen Granat (57 %), Hornblende (9 %) sowie den stabilen und seltenen Mineralen (31 %) zeigt. Weitere Analysenergebnisse aus den rezenten Sedimenten der Schutter liegen nicht vor.

# 4.1.2.7 Kinzig

Die Kinzig entspringt westlich von Loßburg auf etwa 700 m NN und fließt über Alpirsbach und Schiltach, Wolfach, Hausach, Haslach, Biberach und Gengenbach. Bei Offenburg fließt die Kinzig nach Nordwesten in den Oberrheingraben. Nördlich von Kehl mündet sie in den Rhein. Während im Quellgebiet der Kinzig Buntsandstein ansteht, fließt sie ab Alpirsbach vorwiegend über Kristallingesteine bis zum Schwarzwaldrand.





Abb. 23: Schwermineraldiagramm der Kinzig-Analysen (VA = VAN ANDEL 1950).

Um das Schwermineralspektrum der rezenten Kinzig zu untersuchen, wurden zwei Proben aus den Schwemmsedimenten bei Berghaupten südöstlich von Offenburg entnommen. Neben der bekannten Schwarzwald-Assoziation aus Granat und Hornblende mit stabilen Mineralen (s. Abb. 23) treten hier hohe Anteile von Baryt (30 und 36 %) zur Gruppe der seltenen Minerale, bei der in der Probe Berghaupten 1 zudem Titanit und Monazit vorkommen. Die hohen Baryt-Werte hat bereits VAN ANDEL (1950) in seinen Proben aus Kinzig-Sedimenten bei Haslach, das flussaufwärts von Berghaupten liegt, beschrieben. In seinen Zählungen gibt er 31 bzw. 41 % Baryt an. In der Probe aus Willstätt, die bereits im Bereich des Oberrheingrabens im Kinzig-Schwemmfächer liegt, zählt VAN ANDEL (1950) nur noch 3 % Baryt und führt diese Abnahme auf den schnellen mechanischen Zerfall des Baryts beim Sedimenttransport zurück. Während VAN ANDEL die analysierten Hornblenden zu einem Großteil den braunen Hornblenden zuordnet, wurden die Hornblenden in den Proben aus Berghaupten teils als grün, teils als olivfarben eingestuft.

# 4.1.2.8 Rench

Im Einzugsgebiet der Rench stehen Buntsandstein sowie Kristallin an. Die Rench entspringt als "Wilde Rench" östlich von Oppenau und fließt über Bad Peterstal und Oppenau nach Oberkirch, wo sie mit nordwestlicher Fließrichtung in den Oberrheingraben und westlich von Lichtenau in den Rhein mündet.

Die rezenten Schwemmsedimente der Rench östlich von Erlach (nordwestlich Oberkirch) wurden zweifach beprobt und analysiert.

Beide Proben enthalten viel Baryt (31 und 35 %), der vermutlich aus Baryt-Gängen des Schwarzwalds stammt und aufgrund der Nähe zum Grabenrand (geringer Transportweg) noch in diesen Ablagerungen erhalten ist. In der Probe Erlach 1 zählen zur Gruppe der seltenen Minerale 8 % Monazit.



Abb. 24: Schwermineralverteilung in den Sedimenten der Rench.

Abzüglich des Baryts stellt sich wieder eine Schwermineralzusammensetzung dar, die aus Granat, Hornblende und stabilen Mineralen besteht (s. Abb. 24). Der relativ erhöhte Zirkon-Anteil lässt sich durch die Beimischung von Buntsandstein-Material zu den Kristallinschüttungen erklären. Die Hornblende-Gehalte sind mit 11 und 14 % deutlich niedriger als in den anderen Zuflüssen aus dem Schwarzwald. Es kommen sowohl grüne, braune als auch olivfarbene Hornblenden vor. Die Probe Erlach 1 zeigt vermehrtes Vorkommen von Biotit, der charakteristisch für eine Herkunft aus den Graniten des Schwarzwalds ist. Die Granatkörner in dieser Probe sind stark angelöst, was eine Verwitterungseinwirkung wahrscheinlich macht.

# 4.1.2.9 Murg

Die Murg entspringt westlich von Baiersbronn und fließt bis Gaggenau in nördlicher Richtung, biegt dann nach Nordwesten um und mündet nordwestlich von Rastatt in den Rhein. Im Einzugsgebiet der Murg stehen Gesteine des Buntsandsteins, Kristallins und des Rotliegenden an.

Während in den aktuellen Untersuchungen die rezenten Schwemmsedimente der Murg bei Gaggenau beprobt wurden, stammen die Analysen von VAN ANDEL (1950) aus Kirschbaumwasen, das weiter stromaufwärts in Richtung Süden liegt.



Abb. 25: Schwermineraldiagramm der Analysen von Murg-Sedimenten (VA = VAN ANDEL 1950).

Im Vergleich der beiden Zählungen (s. Abb. 25) zeigt sich, dass VAN ANDEL in der Probe aus Kirschbaumwasen deutlich mehr Baryt (69 %) angibt, als in der Probe aus Gaggenau (17 %) vorkommen. Als Folge sind die Anteile der anderen Schwermineralgruppen relativ vermindert. Die Analyse der Probe aus Gaggenau weist einen hohen Gehalt an stabilen Mineralen (53 %) auf, was für eine Beimischung von Buntsandstein-Material zu den Kristallin-Schüttungen spricht. Zusammengefasst betrachtet ergibt sich für die Sedimentschüttungen aus dem Schwarzwald eine Schwermineralassoziation aus Granat mit Hornblende und stabilen und seltenen Mineralen bei geringem Epidot-Gehalt. Besonders hornblende-reich sind die Sedimente der Wiese und der Dreisam. Bei den Hornblenden handelt es sich größtenteils um blaugrüne Hornblenden, die nicht von den alpin angelieferten Hornblenden im Oberrheingraben zu unterscheiden sind, sowie untergeordnet um braune oder olivfarbene.

Kommen im Einzugsgebiet des Flusses Buntsandstein-Ablagerungen vor, erhöht sich der Anteil an stabilen Mineralen. Ein vergleichbarer Effekt tritt durch Verwitterung der Sedimente ein. In den verwitterten Älteren Schottern (Breisgau-Formation) in der Freiburger Bucht ist oft ein höherer Anteil an stabilen Mineralen, insbesondere des Zirkons, feststellbar. Hier kann demnach sowohl eine Verwitterung der instabilen Minerale als auch ein höherer Anteil an Buntsandstein (der im Altquartär vermutlich noch größere Bereiche des Schwarzwalds bedeckte als heute) die Ursache für die Zusammensetzung des Mineralspektrums sein. Die makroskopisch in den Sedimenten erkennbaren Verwitterungserscheinungen (fahle Farben, zerfallende Geröllkomponenten) machen eine Verringerung der instabilen Minerale infolge Auflösung wahrscheinlicher.

Charakteristisch ist das häufige Auftreten von Monazit und anderen selten Mineralen, die aus dem kristallinen Basement des Schwarzwalds stammen (ZIMMERLE 1969). Dagegen lassen sich lokal auftretende, hohe Baryt-Gehalte im Sediment, wie sie in den Proben aus der Kinzig, Rench und Murg festzustellen sind, auf Anlieferung von Baryt-haltigen Gängen in der näheren Umgebung erklären, da Baryt durch längere Transportwege sehr schnell zerfällt. In den Sedimenten im Oberrheingraben spielt er keine Rolle mehr.

### 4.1.3 Zuflüsse aus den kristallinen Vogesen

Südlich der Breusch werden aus den Vogesen hauptsächlich Kristallingesteine in den Rheingraben sedimentiert (Granit, Gneis, Schiefer, Grauwacke). Die Gerölle können Stein- bis Blockgröße erreichen. Die Kristallingebiete der Vogesen sind geologisch mit denen des Schwarzwaldes vergleichbar. Daher sind ähnliche Schwermineralzusammensetzungen zu erwarten.

In der vorliegenden Arbeit wurden von den Zuflüssen aus den Vogesen nur die Sedimente der Breusch analysiert. Sie werden durch Ergebnisse der Untersuchungen von VAN ANDEL (1950) ergänzt. Der Eintrag aus den Vogesen in den Oberrheingraben scheint ausserhalb der Schwemmfächer keine bedeutende Rolle zu spielen. Die Schotter und Sande im Graben bestehen zu 90 % aus alpinen Komponenten.

### 4.1.3.1 Doller

Die Doller entspringt in einem Granit-Gebiet und überquert danach basische Gesteine. Der Granit enthält neben Biotit oft braune und grüne Hornblende. Die grüne Hornblende ist nicht von Hornblenden aus den Alpen zu unterscheiden. Die basischen Gesteine liefern blassbraunen Augit. Hornblende und Augit bilden also die Hauptminerale des Spektrums (s. Abb. 26). Beide Mineralarten sind stark angelöst und alteriert (VAN ANDEL 1950).



Abb. 26: Schwermineralanalysen von Doller und Giessen (nach VAN ANDEL 1950).

# 4.1.3.2 Giessen

Die Sedimente des Giessen bei Chatenoi (s. Abb. 26) sind nach VAN ANDEL (1950) durch die Minerale Granat, braune Hornblende und Sillimanit gekennzeichnet, die aus Granat- und Sillimanit-haltigen Gneisen und Amphiboliten stammen, die im Becken eines wichtigen Seiten-flusses - der Liepvrette - vorkommen. Die devonischen andesitischen und rhyolithischen Laven im Oberlauf könnten Teile der Hornblende liefern. Die Baryte stammen aus lokalen Baryt-Adern.

# 4.1.3.3 Breusch-Sande bei Holtzheim

x = 993000, y = 2408000, z = ca. 150 m NN, (R 3401290, H 5380108)

In der Sand- und Kiesgrube Holtzheim westlich von Strasbourg stehen oberhalb von grauen Rheinkiesen und -sanden die rötlichbraunen Schwemmsedimente der Breusch an (Lingolsheimer Terrasse). In den sandigen Kiesen, die vermutlich während des Würms hier abgelagert wurden, kommen Gerölle aus Kristallingesteinen (Massif du Champ-du-Feu), Sedimentgesteinen und untergeordnet Buntsandstein vor (BRGM 1971).

Aus der etwa 5 - 6 m mächtigen, sandig-kiesigen Abfolge wurden drei Proben entnommen und schwermineralanalytisch untersucht (s. Abb. 27). Die Minerale Hornblende, Alterit und Epidot dominieren das Spektrum mit ca. 70 % in Summe. Weiterhin treten die stabilen Schwerminerale Turmalin, Zirkon und Anatas auf, die ca. 25 % des Spektrums ausmachen. Untergeordnet kommen die metamorphen Minerale und Pyroxen vor. Granat wurde nur in einer Probe mit 1 % gezählt. BOENIGK (1987) stellt in den Breusch-Schüttungen ebenfalls hohe Hornblende-Anteile neben dem häufigen Vorkommen von Turmalin und Epidot fest.



Abb. 27: Schwermineraldiagramm der Breusch-Sande im Aufschluss Holtzheim.

# 4.1.4 Zuflüsse aus dem triassischen Teil der Vogesen

Nördlich der Breusch werden aus den Vogesen rote Quarzsande angeliefert, die kleine Quarz- oder Quarzitgerölle enthalten können. Es handelt sich um Material aus dem Buntsandstein (BRGM 1995), der im Ostteil der triassischen Gebiete der Vogesen an der Oberfläche ansteht. Hierher stammen alle westlichen Nebenflüsse des Rheins zwischen Strasbourg und Mannheim.

Als Beispiel für die fluviatilen Sedimentschüttungen aus den Buntsandstein-Gebieten der Vogesen sind im Folgenden die Analysen von VAN ANDEL (1950) von Proben aus den Flüssen Zorn (s. Abb. 28) und Moder (s. Abb. 29) aufgeführt. In beiden Fällen ist das Schwermineralspektrum hauptsächlich aus den stabilen Mineralen Turmalin, Zirkon, Rutil und Anatas zusammengesetzt, wobei der Turmalin den Hauptanteil stellt. Dies steht in Einklang mit den Analysen von SINDOWSKI (1958), der für den Buntsandstein der Vogesen eine Turmalin-Dominanz angibt. Die Flusssande beinhalten weiterhin geringe Anteile an Granat, Epidot, Augit und Titanit, die möglicherweise durch Mischung mit Lössmaterial eingetragen wurden. Im Gegensatz zu den Flüssen aus dem Schwarzwald ist der Rhein-Einfluss in den Flussunterläufen von Zorn und Moder vernachlässigbar. Beide Flüsse fließen in ihrem eigenen ausgedehnten Delta, das im Pleistozän oder im Holozän ausgebildet wurde (VAN ANDEL 1950).



Abb. 28: Schwermineralbefunde von Flusssanden aus der Zorn (nach VAN ANDEL 1950).



Abb. 29: Schwermineralverteilung in den Flusssanden der Moder (nach VAN ANDEL 1950).

### 4.1.5 Neckar

Der Neckar entwässerte zu Beginn des Pleistozäns eine Fläche von etwa 2.500 km<sup>2</sup>, vergrößerte aber während des Pleistozäns sein Einzugsgebiet auf heute fast 14.000 km<sup>2</sup>. Aufgrund dieses großen Einzugsgebietes und des relativ steilen Gefälles liefert er mächtige Sedimentschüttungen in den Oberrheingraben (FEZER 1998).

Der Neckar entspringt am Nordostrand der schwäbischen Alb östlich von Villingen-Schwenningen. Bis Plochingen fließt er in nordöstlicher Richtung etwa parallel zum Albrand, um dann nach Nordnordosten über Stuttgart und Heilbronn bis Eberbach im Odenwald zu fließen. Von dort führt der Flusslauf nach Westen über Heidelberg in den Oberrheingraben, wo er in Richtung Nordwesten bei Mannheim in den Rhein mündet.

Im Einzugsgebiet des Neckars stehen vorwiegend Gesteine aus der Trias an. Der obere Neckar schneidet Keuper und Muschelkalk an. Hier erinnert die mineralogische Zusammensetzung der Neckarsande an die der linksrheinischen Nebenflüsse aus den Buntsandstein-Gebieten mit Ausnahme von zwei Merkmalen. In den Keupersanden ist immer ein Anteil von Granat vorhanden, der im Buntsandstein des Odenwaldes und der Pfälzerwaldes fehlt (VAN ANDEL 1950, SINDOWSKI 1958). Weiterhin kommen die Minerale Monazit und Zoisit vor. Der untere Neckar durchschneidet den Buntsandstein-Odenwald in einem 55 km langen Engtal und tritt bei Heidelberg (Granit) in den Oberrheingraben aus.

Insgesamt bildet sich durch die Mischung von Keuper- und Buntsandstein-Schüttungen im Neckar ein Granat-Turmalin-Zirkon-Rutil-Spektrum aus, das durch Hornblende, Anatas, Monazit und Epidot ergänzt wird (s. Abb. 30). Die vulkanischen Einträge im Mittellauf des Flusses - aus Laven und Tuffen südlich des Neckars zwischen Tübingen und Marbach (VAN ANDEL 1950) - erreichen die Mündung nur in geringen Mengen, was durch Lösung der Minerale (Pyroxene) und Verdünnung durch Schüttungen aus Nebenflüssen zu erklären ist.

Der Neckarschwemmkegel dehnt sich halbkreisförmig etwa 10 km in den Oberrheingraben aus. Das Mündungsgebiet des Neckars ist durch zahlreiche Erkundungen auf Kies und Wasser bekannt, so z. B. auch durch die tiefe Bohrung Heidelberger-Sol-Therme (1913-1918, 1022 m tief, Meisseltrockenbohrung), deren Bearbeitung durch SALOMON (1927) erfolgte und später von BARTZ (1951) neu diskutiert wurde. FEZER (1997, 1998) fasste die Untersuchungen an den Bohrungen Entensee (276 und 256 m tief) und Fenneberger (350 m Quartär) im Heidelberger Stadtgebiet zusammen.

Im Neckarschwemmfächer sind die verschiedenen Gesteine um so häufiger im Sediment vertreten und um so gröber, je näher an der Mündung sie anstehen und je besser sie der mechanischen und chemischen Verwitterung standhalten (FEZER 1998). Gegen Zerfall und mechanischen Abrieb halten sich am besten die Gerölle aus quarzreichem Buntsandstein, ferner Muschelkalk, Quarzite aus dem Keuper, Kalke und Hornsteine aus dem Malm; sie sind daher auch nach langem Transport noch im Schotter enthalten. In Heidelberg stammen die meisten der groben Gerölle aus der Nähe: Granit aus dem Heidelberger Stadtgebiet, Buntsandstein aus dem Odenwald und Muschelkalk aus dem Kraichgau (FEZER 1998).



Abb. 30: Schwermineraldiagramm von Proben entlang des Neckarlaufs (nach VAN ANDEL 1950).

Nördlich des Neckarschwemmfächers liegen auf badischem Gebiet einige Mäander des Bergstraßenneckars. Der Neckar floss in diesem Bett späteiszeitlich parallel zum Rhein und Odenwald in der Grabensenke zwischen Bergstraße und den von Dünen aufgebauten Hardtflächen nach Norden. Er mündete erst bei Trebur in den Rhein. Nach dem Durchbruch zum Rhein bei Mannheim am Übergang Spätglazial-Holozän konnten die entstandenen Altarme verlanden und vermooren. Wegen der beträchtlichen Laufverkürzung schnitt sich der Neckar schnell in seinen kaltzeitlichen Schwemmfächer ein und schuf zwei morphologisch mehr oder weniger gut erkennbare Terrassen, die unterhalb von Wieblingen in einem sich nach Nordwesten öffnenden Trichter angelegt sind (LÖSCHER et al. 1983).

# 4.1.5.1 Mauer

Sandgrube am Grafenrain, R 3485600 H 5467900, ca. 160 m NN

Aus den Zeiten, als der Neckar noch in höheren Niveaus floss, sind einige Umlauftäler nachzuweisen, wie z. B. anhand der cromer-zeitlichen Neckarablagerungen in einer ehemaligen Neckarschleife bei Mauer etwa 10 km südöstlich von Heidelberg. Die Abbildung 31 zeigt den Verlauf des früheren Neckars im Vergleich zum heutigen.



Abb. 31: Verlauf des früheren und heutiges Neckars mit der Mauerer Neckarschleife (Internet: www.geocities.com/CollegePark/Field/9267).

Die ehemalige Sandgrube am Grafenrain ist neben mehreren hundert Knochenfunden von verschiedenen Säugetierarten insbesondere durch den Fund des Unterkiefers des *Homo heidelbergensis* (ca. 570.000 - 710.000 Jahre alt, Warmzeit des Cromer-Komplexes) im Jahre 1907 bekannt. Das Lebensumfeld des Menschen von Mauer lässt sich aus den zahlreichen fossilen Tier-knochen aus der Fundschicht erschließen, unter denen sich auch solche von Waldtieren wie Rothirsch, Reh, Wildschwein und Waldelefant, aber auch vom Wildpferd finden. Der Maurer Mensch lebte also in einer offenen Waldlandschaft, wie sie für die warmzeitlichen Klimaphasen der Eiszeit charakteristisch ist.

Die ältesten, bisher bekannten Neckar-Ablagerungen in dieser Schleife sind die Wiesenbacher Schotter (nördlich und südlich Wiesenbach). Sie stammen vermutlich aus dem Altpleistozän (HAMBACH 1996). Die Verbreitung dieser Wiesenbacher Schotter lässt vermuten, dass der Neckar zu dieser Zeit in einer noch relativ engen Schleife um den Südzipfel der Hollmuth floss (Abb. 32a). Durch Erweiterung der Flussschleife entstand bei Mauer ein ca. 3 km weites Becken (Abb. 32b), das im älteren Mittelpleistozän mit etwa 45 m mächtigem Neckarmaterial (LÖSCHER 1997), den sogenannten Mauerer Sanden, aufgefüllt wurde. Diese Auffüllung führte wahrscheinlich dazu, dass der Neckar in der Folgezeit nach Norden abgedrängt wurde und die Schleife um die Hollmuth wieder enger wurde (Abb. 32c). Gegen Ende des Mittelpleistozäns erfolgte im Norden der Durchbruch des Neckars an der Hollmuth, sodass der Neckar heute etwa 6 km nördlich an Mauer vorbei fließt. Die Elsenz, die heute einen Altarm dieser ehemaligen Neckarschlinge durchfließt, räumte die Mauerer Sande im Süden und Südwesten des Mauerer Beckens fast vollständig aus (Abb. 32d).



Abb. 32 a-d: Entstehung der Neckar-Ablagerungen bei Mauer in einer ehemaligen Neckar-Schleife (KRAATZ 1992).

LÖSCHER (1997) gliedert die Sande in Obere und Untere Mauerer Sande. Die Oberen Mauerer Sande sind ca. 7 m mächtig und vorwiegend sandig ausgebildet. An ihrer Basis findet sich eine Lage mit großen, eckig bis kantengerundeten Buntsandsteinblöcken, die als Eisdriftblöcke gedeutet werden und ein kaltzeitliches Klima für diesen Horizont anzeigen (ZÖLLER 1997). Darunter folgt die ca. 2,5 bis 3 m mächtige sogenannte Lettenbank, die im unteren Bereich Würgestrukturen aufweist. Diese tonig-schluffige bis feinsandige Lage durchzog als markanter Horizont den gesamten Grubenbereich.

Die darunter liegenden Unteren Mauerer Sande sind etwa 13 m mächtig. Die obersten 1,4 m mächtigen Sande enthalten verstärkt Tonlinsen. Darunter folgt ein etwa 2,4 m mächtiges Sandpaket, bestehend aus schräggeschichteten Sanden mit Kieslinsen. Es handelt sich hierbei um die Fundschicht des *Homo heidelbergensis* (147,8 m NN) und zahlreicher Säugetierreste. Aufgrund der im Fundniveau angetroffenen Nagergattungen lässt sich eine Zuordnung dieser Schicht zu einem mittleren oder jüngeren Cromer-Interglazial vermuten (VON KOENIGSWALD 1997). Paläomagnetische Untersuchungen (HAMBACH 1996) ergaben normale Polarität, also eine Zuordnung in die Brunhes-Chrone, was auf ein Alter jünger als 783.000 Jahre deutet.

Die Unteren Mauerer Sande setzen sich mit eingeschalteten Ton- und Kieslagen noch etwa 7 bis 8 m in die Tiefe fort. Darunter folgt eine 4,5 m dicke Tonschicht und schließlich der Untere Muschelkalk, wie die Forschungsbohrungen Grafenrain I+II gezeigt haben (LÖSCHER 1997,

### ZÖLLER 1997).

Die Mauerer Sande werden durch Lösse aus mindestens drei Eiszeiten sowie Lösslehme aus dazwischenliegenden Warmzeiten überdeckt. Sie erreichen im Gebiet der Sandgrube eine Mächtigkeit von bis zu 14 m (ZÖLLER 1997).

Aus dem Aufschlussprofil der Mauerer Sande wurden fünf Proben entnommen und schwermineralanalytisch untersucht (s. Abb. 33). SINDOWSKI (1937) gibt für diese Sedimente einen sehr geringen Schwermineralgehalt von 0,05 bis 0,3 % an. Die eigenen Analysenergebnisse stimmen sehr gut mit denen von VAN ANDEL (1950) überein.



Abb. 33: Schwermineraldiagramm der Mauerer Sande.

Die Granatkörner zeigen in den vorliegenden Präparaten durchweg sehr starke Anlösungserscheinungen, was sich in Form von Lösungsgruben und Ätzfiguren bis hin zur Skelettierung des Korns zeigt. Der Granat stammt aus den Keuper-Sandsteinen, die im Oberlauf des Neckars anstehen. Ob das Material auf seinem Transportweg oder anschließend vor Ort dieser Verwitterung unterlag, lässt sich nicht genau klären. Da aber über den Mauerer Sanden lagernde, mächtige Lössdeckschichten die Einwirkung von Verwitterung eingeschränkt haben dürften, ist eine Anlieferung und Ablagerung des Materials im bereits verwitterten Zustand wahrscheinlich. Während VAN ANDEL (1950) das Auftreten von Monazit (aus den Keupergesteinen) feststellt, wurden in den aktuellen Analysen zusätzlich einige Körner Xenotim, Brookit und Spinell gezählt. Die Pyroxene (maximal 2 %) treten als hellgrüne bis grüne und bäunliche Körner mit typischen Anlösungsformen (Hahnenkamm) auf.

Zwischen Unteren und Oberen Mauerer Sanden zeigt sich kein Unterschied im Schwermineralspektrum (s. Abb. 33), was auch die Zählungen von VAN ANDEL (1950) ergeben haben.

# 4.2 Südlicher Oberrheingraben

## 4.2.1 Bohrungen Neuenburg-Steinenstadt

In Neuenburg-Steinenstadt südwestlich von Freiburg wurden im Rahmen eines Brunnenbau-Projekts sieben Rammkernbohrungen im direkten Umfeld dieses Brunnens niedergebracht, die maximal 41,3 m Endteufe erreichten. Durch den engen Bohrabstand war die Möglichkeit gegeben, die Schichtabfolgen in den Bohrkernen miteinander zu korrelieren. Die Untersuchungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit von KOCHENRATH (2000) durchgeführt.

SSO240T:	R 3390722, H 5296063, 219 m NN, Endteufe: 41,3 m
SSO240:	R 3390723, H 5296065, 219 m NN, Endteufe: 26 m
<b>S170</b> :	R 3390554, H 5296080, 220 m NN, Endteufe: 25 m

Die Bohrungen in Neuenburg-Steinenstadt (s. Lithofaziesprofile in Abb. 34, 35 und 36) erfassen zunächst eine als Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) bezeichnete fluviatile Wechselfolge, bestehend aus einer oberen Groblage (oGL, ca. 10 m mächtig), einer mittleren sanddominierten Lage (sL, 8 - 10 m mächtig) und einer unteren Groblage (uGL, 5 - 10 m mächtig). Die Schotter der Neuenburg-Formation setzen sich aus grauen bis rötlichgrauen Kiesen mit wechselnden Sandanteilen und geringen Mengen an Schluff zusammen. Zum Teil sind sehr gut durchlässige, sandfreie Rollkieslagen eingeschaltet, die durch Umlagerungsprozesse entstanden sind.

Die obere Groblage besteht aus locker gelagerten, grauen, sandigen Kiesen und Blöcken (bis zu 20 cm Durchmesser) überwiegend alpiner Herkunft. In der sandreichen Abfolge finden sich graue, sanddominierte Kiese und Blöcke (bis zu 15 cm Durchmesser) aus alpinem und Schwarzwald-Material. Die untere Groblage wird aus sandigen Kiesen und Blöcken (bis zu 35 cm Durchmesser) aus hauptsächlich alpinen Geröllen und untergeordnet aus Schwarzwald-Komponenten gebildet (ELLWANGER et al. 2000).

Unterhalb von ca. 30 m u. GOK treten in den Bohrungen in Neuenburg-Steinenstadt die diamiktischen Kiese der Breisgau-Formation in einer Mächtigkeit von ca. 10 m und schließlich bei ca. 40 m u. GOK dunkle oligozäne Tone auf.

Die Schwermineralanalysen zeigen eine deutliche Dominanz der für die alpin beeinflussten Rheinablagerungen typischen Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit, die im Mittel 90 % des transparenten Schwermineralspektrums ausmachen. Der im Bohrkern auffällige Wechsel von den diamiktischen, stark verwitterten Kiesen der Breisgau-Formation zu der fluviatilen Wechselfolge der Neuenburg-Formation bei 29 m Teufe lässt sich in den Diagrammen der Schwermineralanalysen (s. Abb. 34, 35 und 36) nicht erkennen. Bemerkenswert sind die hohen Hornblende-Anteile in den Sedimenten der Breisgau-Formation (29 - 41,3 m) in der Bohrung SSO240T (s. Abb. 36), die im Mittel bei ca. 48 % liegen und bei 33,5 m u. GOK maximal 82 % erreichen. In der Neuenburg-Formation beträgt der Hornblende-Anteil nur ca. 25 % im Durchschnitt. Die Granat-Gehalte sind hingegen mit 31 % in der Neuenburg-Formation deutlich höher als in der Breisgau-Formation mit 12 %.

Die geröllpetrographischen Untersuchungen der Fraktion 16 - 31,5 mm von KOCHENRATH (2000) belegen eine deutliche Dominanz der alpinen Gerölle gegenüber den Schwarzwald-Geröllen, was mit der rheinnahen Lage der Bohrungen in Einklang zu bringen ist. Die lokalen Schwarzwald-Komponenten sind vorwiegend in größeren Kornfraktionen zu erwarten und werden damit bei der Analyse nur anteilsmäßig erfasst. Die Gruppe der Kalksteine und Quarzite machen den größten Anteil am Geröllspektrum aus (zusammen etwa 70 %). Der geringe Anteil von Kristallingeröllen in der Breisgau-Formation lässt sich durch deren Zerfall infolge von Verwitterung erklären. Lokal kommt es in der Breisgau-Formation und auch in der Neuenburg-Formation zu nagelfluhartig verkitteten Lagen. In der Brunnenbohrung treten bei 15 und 34 m Nagelfluhhorizonte auf.

Die Bohrungen bei Neuenburg und einige auf der Niederterrasse abgeteuften Bohrungen haben durch die Korrelationsmöglichkeit der Grob- und Sandlagen eine sehr junge bis rezente Morphotektonik belegt. Die morphologisch deutlich hervortretende Geländestufe zwischen der Oberfläche der Niederterrasse und der heutigen Flussaue bei Steinenstadt, die im südlichen Oberrheingraben etwa 2 bis 22 m beträgt (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 1999), ist die Folge tektonischer Bewegungen seit dem Spätwürm, d. h. der letzten 16.000 Jahre. Da diese Hinweise auf französischer Seite fehlen, ist eine Scharnierkippung des Grabenzentrums mit Lage des Scharniers am Westrand des Grabens anzunehmen.



Abb. 34: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung S170.



Abb. 35: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung SSO240.



Abb. 36: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung SSO240 T.

# 4.2.2 Bohrung Chalampé

x = 989180, y = 2325820, z = 216 m NN, (R 3390494, H 5298555), Endteufe: 70 m

Die Bohrung Chalampé Rhodia liegt benachbart zu den deutschen Bohrungen von Neuenburg-Steinenstadt auf französischer Seite. Im Kiespumpenverfahren wurden 70 m vorwiegend kiesiges Sediment durchteuft. Das Lithofaziesprofil zeigt Anlage 2. Unterhalb von ca. 40 m sind die Kiese diamiktisch ausgebildet. Da hinauf bis 31,5 m u. GOK aber weiterhin mürbe Gerölle vorkommen, wird die Grenze zwischen Neuenburg-Formation und Breisgau-Formation dort angesetzt.

Oberhalb von 31,5 m folgen sehr grobe fluviatile Kiese, die z. T. sehr viel Lokalmaterial enthalten. Die Neuenburg-Formation zeigt wie bei den benachbarten Bohrungen in Neuenburg eine Abfolge aus einer unteren Groblage (uGL), einer mittleren sanddominierten Lage (sL) und einer oberen Groblage (oGL). Bei 21 und 28 m sind die Kiese nagelfluhartig verkittet.

Die Sedimente wurden sowohl schwermineralanalytisch als auch geröllpetrographisch untersucht (KOCHENRATH 2000). Wieder setzt sich das Schwermineralspektrum hauptsächlich aus den alpinen Komponenten Granat, Epidot, Hornblende und Alterit zusammen. Der im Bohrkern deutlich erkennbare Wechsel von den diamiktischen und verwitterten Breisgau-Schichten zu der frischeren Neuenburg-Formation in 31,5 m Teufe sowie die Untergliederung der Neuenburg-Formation in drei Abschnitte (uGL, sL, oGL) zeichnet sich im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 2) nicht durch Veränderungen ab.

Auffällig sind in Chalampé die niedrigen Hornblendewerte von 11 % (68,5 m) im unteren Teil der Breisgau-Formation an der Basis der Bohrung gegenüber Werten zwischen 23 % und 41 % in den Sedimenten darüber. Der Anteil der stabilen Minerale steigt gleichzeitig mit der Teufe an. Diese Ergebnisse deuten eventuell eine hornblende-arme Ausbildung der Unteren Breisgau-Schichten an, die auch in anderen Bohrungen aus dem südlichen Oberrheingraben festzustellen ist.

In der Geröllanalyse zeigt sich, dass die Kalksteingerölle mit über 50 % den größten Anteil im Schotterspektrum ausmachen. Die zweite große Gruppe nehmen die Quarzite mit 20 % ein. Quarze, Kristalline und Hornsteine sowie vereinzelte Radiolarite ergänzen das Geröllspektrum. Infolge des starken Zerfalls der Kristallingerölle in den Ablagerungen der Breisgau-Formation zeichnet sich eine deutliche Zunahme dieser Geröllgruppe in der Neuenburg-Formation ab. Die statistische Erfassung der Alterationsintensität der einzelnen Gerölle bestätigt den Eindruck der deutlich stärkeren Verwitterungseinwirkung auf die Sedimente der Breisgau-Formation, in der durchschnittlich ca. 50 % der Gerölle Alterationserscheinungen zeigen.

Der Vergleich der sedimentologischen Aufnahmen der Bohrung Chalampé mit denen von Neuenburg-Steinenstadt zeigt Mächtigkeitsunterschiede der einzelnen Schichtpakete zwischen den Bohrungen. Deutlich wird dieser Unterschied beim Vergleich der Mächtigkeit der Breisgau-Formation zwischen Chalampé (ca. 40 m) und Steinenstadt-Neuenburg SSO240T (ca. 10 m), der durch zwei bekannte Störungen, die vermutlich syntektonisch zur Ablagerung der Breisgau-Formation aktiv waren, begründet ist. Die Gesamtmächtigkeit der Neuenburg-Formation unterscheidet sich in den Bohrungen folgendermaßen: Chalampé ca. 30 m, SSO240T 29 m, SSO240 25 m und S170 24 m.

#### 4.2.3 Bohrung Marie-Louise / Kalibecken

x = 969206, y = 2327524, z = ca. 245 m NN, (R 3370735, H 5301951), Endteufe: 30 m

Die Bohrung Marie-Louise 3 L' Aire du Thur stammt aus dem Bereich des elsässischen Kalibeckens. Die Kalimine Marie-Louise liegt ca. 3 km nordöstlich der Ortschaft Wittelsheim am Nordrand der Cité Rosallmend an der Thur. Mit der Kiespumpe (Ventilbohrverfahren) wurde in eine Teufe von ca. 30 m gebohrt.

Eine frühere Bohrung Marie-Louise ergab eine Abfolge aus 22 m Quartär, 53 m Elsässer Molasse (Chatt), 65 m oligozäne Cyrenenmergel und 97 m Meletta-Schichten (Rupel) sowie den evaporitischen Abfolgen des Lattorf (ca. 430 m bis zur Endteufe). Im Bereich Staffelfelden (ca. 1 km westlich von Marie-Louise) wurde in mehreren Bohrungen etwa 33 bis 40 m Quartär erschlossen (BRGM 1976 a).

Die Sedimentabfolge der Bohrung Marie-Louise 3 (s. Abb. 37) besteht von 30 bis ca. 19 m aus diamiktischen Kiesen mit eingeschalteten Feinkornlagen, die als Breisgau-Formation eingestuft werden. In diesem Bohrabschnitt dominieren gelbbraune bis -graue Farbtöne. Darüber folgt bis 10 m eine fluviatil geprägte Sequenz mit z. T. sehr groben Komponenten, die bis zum Top der Bohrung von frischen, rosagetönten Kiesen überlagert wird.



Abb. 37: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Marie-Louise.

Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 37) zeigt einen durchschnittlichen Anteil von ca. 37 % Hornblende, der zum Liegenden leicht auf ca. 26 bis 31 % abnimmt. Neben grünen Hornblenden treten auch grünbraune und farblose Hornblenden auf. Das zweithäufigste Mineral ist der Epidot, der von 45 % bei 26,5 m auf 23 % bei 4 m abnimmt (30 % im Durchschnitt). Alterit und Granat sind nur in geringen Anteilen von durchschnittlich 13 % (Alterit) und 7 % (Granat) vorhanden.

Im Bereich oberhalb von 9 m sind deutlich mehr stabile Minerale (vorwiegend Anatas und Zirkon) vorhanden als darunter. In diesem Bereich tritt auch etwas mehr Pyroxen (max. 5 %) auf, der in den Proben unterhalb von 16 m fehlt. Granat-, Epidot- und Alterit-Gehalte sinken in diesem Abschnitt merklich ab. Da durch den ansteigenden Hornblende-Gehalt zum Hangenden eine von der Oberfläche einwirkende Verwitterung des Sediments (Anteil stabiler Minerale steigt) ausgeschlossen werden kann, muss ein vermehrter Lokaleinfluss in diesen obersten 10 Bohrmetern angenommen werden, der auch schon bei der Lithofaziesaufnahme makroskopisch feststellbar war.

Im unteren Bohrprofil wurde die Sedimentation vermutlich eher durch Schüttungen aus Richtung Süden (durch die III aus dem Sundgau oder durch den Rhein) bestimmt, was sich im Schwermineralspektrum aus Epidot, Hornblende, Granat und Alterit widerspiegelt. In den obersten 10 Bohrmetern scheint der Lokaleinfluss durch Anlieferung von Sedimenten aus den Vogesen durch die Thur an Bedeutung zu gewinnen, was zu einem Anstieg der Gehalte von stabilen Mineralen bei gleichtzeitigem Rückgang der Granat- und Epidot-Anteile führte.

Das Schwermineralspektrum des oberen Bohrabschnitts gleicht in etwa dem der Breusch-Sande bei Holtzheim (s. Kap. 4.1.3.3), nur dass dort der Anteil an Turmalin etwas höher ist. In der Mineralzusammensetzung, die VAN ANDEL (1950) für die Sedimente der benachbarten Doller angibt, fehlt der Epidot. So ist eine Vermischung von Vogesenmaterial mit epidot-reicher Schüttung aus dem Sundgau eine denkbare Ursache für die Zusammensetzung des Schwermineralspektrums der Sedimente im Kalibecken.

# 4.2.4 Bohrung Rumersheim-le-Haut

x = 989920, y = 2329850, z = 209 m NN, (R 3391574, H 5302508), Endteufe: 68 m

Die Bohrung Rumersheim-le-Haut wurde nordöstlich der gleichnamigen Ortschaft im Elsass in einer Kiesgrube am Rhein mit der Kiespumpe auf ca. 68 m niedergebracht. Die Bohrung ist geröllpetrographisch grob in vier Abschnitte zu untergliedern (BRGM 1998):

7 - 30 m frische Rheinkiese, hauptsächlich harte Kalkgerölle ohne Alteration

30 - 44 m auffällig viele verwitterte Geröllkomponenten, deutliche Gelbfärbung

44 - 58 m nur wenig alterierte Gerölle, hauptsächlich Granite und Gneise

unter 58 m wieder deutlich mehr Gerölle mit Verwitterungsaureolen

In der Abbildung 38 ist das Lithofaziesprofil der Bohrung dargestellt. Durch das Auftreten verwitterter Komponenten im Abschnitt 58 bis 30 m sowie durch einen Farb- und Matrixwechsel oberhalb davon lässt sich bei 30 m die Grenze zwischen Breisgau-Formation und Jüngeren Schottern (Neuenburg-Formation) annehmen. Durch die längere Lagerung der Bohrproben bei schlechter Witterung (Auswaschung des Feinkornanteils) war die sonst charakteristische diamiktische Ausbildung der Sedimente der Breisgau-Formation nicht eindeutig erkennbar. Bei der technischen Bohraufnahme wurde während des Bohrvorgangs für den unteren Teil der Bohrung jedoch ein deutlich erhöhter Feinkornanteil notiert (BRGM 1998), der durch den zunehmenden Verfall der Gerölle zu Grus und Schluff resultiert. Oberhalb von 30 m sind die Kiesgerölle in frischem Zustand. Die sandige Matrix enthält deutlich weniger Schluffgehalt. Bei ca. 13 bis 14 m treten verbackene Kiese (Nagelfluh) auf.

Generell zeigt sich in den 23 untersuchten Proben ein Schwermineralspektrum aus Granat, Epidot, Alterit und Hornblende, die zusammen etwa 92 % des Spektrums ausmachen (s. Abb. 38). Ergänzt werden sie durch die Minerale Rutil, Turmalin, Zirkon, Staurolith, Disthen, Sillimanit und Andalusit. Vereinzelt treten Chlorit, Chloritoid, Brookit, Xenotim, Titanit oder Glaukophan auf.

Die Granat-Werte liegen durchschnittlich bei etwa 29 %; als Ausnahme zeigt die Probe aus 53 - 54 m Tiefe einen auffällig hohen Prozentsatz von 49 %. Die Epidote machen etwa 23 % am Spektrum aus, die Alterite ca. 16 %. Der Anteil von Hornblende beträgt etwa 24 % im Durchschnitt und hat ein Maximum bei 62 - 63 m mit 38 %. Eine Abnahme der Hornblende-Gehalte mit zunehmender Teufe wie in den Bohrungen Niederhergheim, Nambsheim und Bremgarten zeigt sich hier nicht. Ursache könnte die höhere stratigraphische Position der Sedimente sein, d. h. die hornblende-armen Unteren Breisgau-Schichten wurden in dieser Bohrung nicht erreicht.

Bis auf minimale Schwankungen lässt sich kein deutlicher Wechsel im Schwermineralspektrum der Bohrung Rumersheim-le-Haut feststellen (HAGEDORN 1999). Die geröllpetrographische Gliederung (s. o.) spiegelt sich nicht im Schwermineralprofil wider.

F

0

10

20

Jüngere Schotter

Breisgau-Formation

50

60

C

0

sxyGmgi (Gms)

С 40



22991 Abb. 38: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Rumersheim-le-Haut.

22988

22989

22990

60

\_ \_ 26

55

39

31

Ru, St, Chlt

St, Ru, Chlt

Chld

Nach geröllpetrographischen Analysen des BRGM (1998) treten neben zahlreichen Kalken auch charakteristische angelöste Quarze auf, wie sie aus den Sundgau-Schottern bekannt sind, wohin sie durch das ehemalige Aare-Doubs-System aus den Schweizer Alpen gelangt sind. Die Quarzite, die oft einen rostigen Überzug haben, stammen aus den alpinen Trias-Gesteinen. Unter den Graniten soll sich ein Teil (helle Granite) dem Aare-Gotthard-Massiv und dem Mont-Blanc-Massiv (Protogine) zuordnen lassen, während die hier selten auftretenden rosa-gefärbten Granite vermutlich aus dem Schwarzwald stammen. Ebenfalls selten sind Gerölle aus Gneis, Rhyolith, Schiefer und Radiolarit.

# 4.2.5 Bohrung Hirtzfelden

x = 981250, y = 2335300, z = 213 m NN, (R 3383398, H 5308676), Endteufe: 79 m



Abb. 39: Schwermineraldiagramm der Spülbohrung Hirtzfelden.

Aus dem Bohrmaterial der 79 m tiefen Spülbohrung Hirtzfelden wurden 15 Proben im ungefähren 5 m-Abstand entnommen und analysiert. Sie zeigen ein Schwermineralspektrum, das sich

vorwiegend aus den instabilen Mineralen Granat (ca. 29 %), Epidot (ca. 30 %), Hornblende (ca. 23 %) und Alterit (ca. 10 %) zusammensetzt (s. Abb. 39). Das Spektrum wird durch Turmalin, Zirkon, Anatas, Rutil, metamorphe Mineralen und Pyroxen ergänzt. Im Schwermineraldiagramm zeigen sich keine deutlichen Veränderungen. Lediglich die leicht erhöhten Hornblende-Werte in den Proben aus 7 - 8 m (33 %), 12 - 13 m (44 %) und 17 - 18 m (34 %) sind erwähnenswert. Ob sich diese relative Hornblende-Zunahme über den gesamten Bereich 7 bis 18 m erstreckt, lässt sich aufgrund zu geringer Probenzahl nicht klären. Da die Qualität der Proben aufgrund der Spültechnik minderwertig ist, wird auf eine weitere Auswertung verzichtet.

#### 4.2.6 Bohrung Heitersheim / Weinstetter Mühle

#### R 3395385, H 5308373, 211 m NN, Endteufe: 132 m

Die Bohrung Heitersheim wurde östlich der Autobahn A5 nahe der Ausfahrt Heitersheim abgeteuft. Die Bohrlokalität liegt ca. 2,3 km südwestlich des Ortes Bremgarten. Das Lithofaziesprofil (s. Anlage 3) zeigt eine Entwicklung aus relativ feinkörnigen, kalkfreien Sedimenten (mud flows) mit rotvioletten bis pastelligen Farbtönen, die von 132 m bis ca. 121,5 m reichen, zu etwas gröberen diamiktischen Ablagerungen bis etwa 109 m u. GOK. Darüber folgen diamiktische Sedimente mit der charakteristischen Ausprägung der Breisgau-Formation, deren Top bei etwa 31,5 m liegt. Die Grenze zwischen den Unteren und Oberen Breisgau-Schichten wurde am Bohrkern bei ca. 88 m Teufe festgelegt. Oberhalb von 31,5 m nimmt der fluviatile Charakter der Sedimente zum Hangenden zu, was für eine Einstufung in die Neuenburg-Formation spricht.

Die Sedimente der Bohrung Heitersheim wurden ausschließlich im vermutlichen Grenzbereich zwischen Unteren Breisgau-Schichten und Iffezheim-Formation beprobt. Hierbei war die Frage zu klären, ob es sich im untersten Bohrabschnitt (132 - 121,5 m) tatsächlich um Sedimente der Iffezheim-Formation oder um eine Randfazies der Breisgau-Formation handelt.

Die fünf untersuchten Proben zeigen unterhalb von etwa 121,5 m Bohrteufe ein dominant stabiles Schwermineralspektrum (s. Anlage 3) mit geringen Anteilen an Granat, Epidot und Hornblende (in Summe ca. 22 %). Unter den stabilen Mineralen macht der Zirkon mit durchschnittlich etwa 46 % den größten Anteil aus, gefolgt von Anatas (17 %), seltenen Mineralen (7 %), Turmalin (4 %) und Rutil (4 %). Dieses Schwermineralspektrum lässt sich sehr gut mit anderen untersuchten Vorkommen der Iffezheim-Formation vergleichen. Oberhalb von 121,5 m treten die alpinen Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit mit ca. 89 % in Summe auf, wovon der Epidot-Anteil 47 % und der Granat-Anteil 30 % beträgt. Der Hornblende-Wert fällt mit 7 % relativ gering aus, was sich mit den niedrigen Hornblende-Gehalten der Unteren Breisgau-Schichten aus anderen Bohrungen aus dem Südgraben korrelieren lässt. Da aus diesem alpin geprägten Bereich nur eine Probe untersucht wurde, lassen sich keine detaillierten Interpretationen vornehmen.

# 4.2.7 Bohrung Bremgarten

#### R 3394151, H 5310591, 203 m NN, Endteufe: 170 m

Die Bohrungen Bremgarten und Nambsheim-Balgau (s. Kap. 4.2.10) wurden im grenzüberschreitenden Projekt "Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität im Oberrheingraben" (ELSASS & WIRSING 1999) niedergebracht und zu Grundwassermessstellen ausgebaut.

Die Bohrung Bremgarten liegt ca. 3 km nordwestlich von der Ortschaft Bremgarten am Ostufer des Rheins. Die Entfernung zur Bohrung Nambsheim-Balgau am westlichen Rheinufer beträgt ca. 1,3 km. Die Bohrung Bremgarten GWM I wurde von 0 bis 100 m u. GOK als Spülbohrung, darunter bis zur Endteufe 170 m u. GOK im Rammkern/Schlagkernverfahren mit PVC-Inliner und anschließendem Überbohren des Kernrohres abgeteuft. Die Bohrung erreichte braune, tonige Schluffe mit sandigen Lagen, die als Iffezheim-Formation angesprochen wurden. Die Bohrung GWM II wurde in 10 m Entfernung bis auf 40 m gespült, darunter bis 105 m u. GOK als Rammkernbohrung abgeteuft (ELSASS & WIRSING 1999).

Der Raum südlich des Kaiserstuhls und südlich von Colmar wurde in der Vergangenheit intensiv von der deutschen und französischen Kaliindustrie zur Gewinnung von Kalisalz aus marinbrackisch-salinaren Sedimentabfolgen des Oligozäns genutzt. Bedeutende Abbaugebiete sind auf französischer Seite das Wittelsheimer Becken und auf deutscher Seite die Region um Heitersheim und Buggingen.

Durch den Niederschlag wurde Salz aus den Abraumhalden ausgelöst und in das Grundwasser eingetragen. Ebenso erfolgte durch Absetzbecken in Rheinnähe ein Eintrag von Salzwasser ins das Grundwasser. Das Grundwasser in den quartären Kiesen und Sanden des Oberrheingrabens südlich des Kaiserstuhls ist daher gebietsweise stark durch geogenen und anthropogenen Chlorid-Eintrag belastet. Diese Salzeinträge können die im Abstrom gelegenen Grundwasserentnahmen, die zur Trinkwasserversorgung genutzt werden, gefährden (ELSASS & WIRSING 1999).

Die Ergebnisse der Grundwassermessungen in der Bohrung Bremgarten zeigen eine starke Zunahme der Chlorid-Konzentrationen mit der Tiefe (von 175 mg/l zwischen 30 - 40 m über 335 mg/l zwischen 50 - 100 m auf 11.630 mg/l zwischen 105 - 158 m). Die Auswertung der Pumpversuche zeigt eine deutliche Abnahme der Durchlässigkeit mit zunehmender Tiefe.

Die Lithofaziesaufnahme des Schlauchkerns zeigt folgende Grobeinteilung der Sedimente:

0 - 41,3 m	Neuenburg-Formation (0-40 m gespült, keine Proben)
41,3 - 58,8 m	Übergangsschichten
58,8 - 157,9 m	Breisgau-Formation
157,9 - 170 m	Iffezheim-Formation

bis 170 m aus dem Kern GWM I entnommen.

Die Proben zur Schwermineralanalyse wurden von 40 bis 100 m aus dem Kern GWM II, darunter

Das Schwermineraldiagramm zeigt wie auch das Lithofaziesprofil (s. Anlage 4) einen deutlichen Wechsel in 157,9 m Teufe (HAGEDORN 2000 a, b, HAGEDORN & BOENIGK 2000). In den darunter folgenden, rostbraunen, feinsandigen bis tonigen Sedimenten der Iffezheim-Formation dominieren die stabilen Minerale Zirkon, Turmalin, Rutil und Anatas das Schwermineralspektrum, wohingegen in den darüber liegenden Sedimenten der Breisgau-Formation die instabilen Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit vorherrschen.

Den Hauptanteil des stabilen Mineralanteils der Iffezheim-Formation stellt mit durchschnittlich etwa 66 % der Zirkon, gefolgt von 12 % Anatas, 5 % Rutil, 5 % seltene Minerale und 4 % Turmalin. Bei den seltenen Mineralen handelt es sich um Xenotim, Brookit, Monazit und Titanit. Der Anteil der instabilen und metamorphen Minerale am Spektrum macht im Mittel nur ca. 8 % aus.

Die Sedimente der Breisgau-Formation zeigen sich im Bohrkern als dicht gepackte, vorwiegend diamiktische Kiese mit Komponenten, die Stein- bis Blockgröße erreichen können. Die Gerölle stammen im unteren Teil der Breisgau-Formation zum überwiegenden Teil aus dem Schwarzwald. Zum Hangenden nimmt der Anteil an alpinen Geröllen zu. Es herrschen hellbraun-gelbliche bis beige Farbtöne vor. Deutliche Verlangsamungen der Ablagerungsdynamik spiegeln sich in mächtigeren Sandlagen wider, die bei 145 m (rotbraune Sande), 129,3 - 131,3 m (grau-beige Sande) und 119,3 - 120 m (ebenfalls grau-beige getönt) auftreten.

Innerhalb der Breisgau-Formation zeigt sich eine Veränderung der Mineralverteilung: Es lässt sich eine deutliche Zunahme des Hornblende-Gehaltes von der Basis zum Top der Breisgau-Formation feststellen. Der Übergang von hornblende-armen Sedimenten (Untere Breisgau-Schichten) zu hornblende-reicheren (Obere Breisgau-Schichten) liegt bei ca. 80 m Bohrteufe. Die Hornblende-Werte der Sedimente der Oberen Breisgau-Schichten und der Neuenburg-Formation (oberhalb von 80 m) zeigen eine große Variationsbreite von ca. 5 bis 69 % bei einem Mittelwert von ca. 31 %. Demgegenüber steht ein Mittelwert von 4 % Hornblende in den Unteren Breisgau-Schichten (80 - 157,9 m). Die höheren Hornblende-Gehalte in den Oberen Breisgau-Schichten führen zu einer relativen Verringerung der anderen Mineralgruppen-Anteile am Spektrum. Am deutlichsten ist die Veränderung am Epidot-Gehalt abzulesen, der von ca. 39 % im Mittel in den Unteren Breisgau-Schichten auf 23 % oberhalb von 80 m absinkt. Der Granat nimmt von 29 auf 19 %, die Summe aus metamorphen, stabilen und seltenen Mineralen von ca. 17 auf 10 % ab.

Ein Erklärungsansatz für die Änderung der Mineralzusammensetzung ist die Annahme, dass die Hornblende im unteren Teil der Breisgau-Formation infolge von Verwitterungseinwirkung nur geringe Werte aufweist. Für eine solche Einwirkung auf die Schwermineralassoziation spricht auch der leicht erhöhte Anteil von stabilen Mineralen, die sich durch die Auflösung von instabilen Mineralen relativ anreichern, sowie der makroskopische Eindruck der verwitterten Unteren Breisgau-Schichten. Die Verwitterungslösungen haben dabei vermutlich den ebenfalls relativ instabilen Granat verschont, was nur unter neutralen bis basischen pH-Werten im Grundwasser oder bei einem Kalkgehalt der Sedimente möglich ist (s. Kap. 3.2.4.2). Als weitere Ursache für die niedrigen Hornblende-Gehalte in den Unteren Breisgau-Schichten kommt eine Liefergebiets-änderung in Betracht: ELLWANGER et al. (2004) nehmen für die Entstehungszeit der Unteren Breisgau-Schichten an, dass die hornblende-reicheren Rheingletscher-Sedimente den Oberrheingraben noch nicht erreichten. Eine eindeutige Klärung des Sachverhalts ist bisher nicht möglich (s. Kap. 5).

Der Übergang von der Breisgau-Formation zur Neuenburg-Formation (hier: Übergangsschichten) lässt sich am Bohrkern in 58,8 m durch einen Farbwechsel von hellbraun-gelblich zu hellgrau und dem Einsetzen von deutlich frischeren Geröllkomponenten festhalten. Die vorwiegend matrixgestützten Kiese zeigen bessere Sortierung und einen deutlich fluviatilen Charakter. Diese Abgrenzung lässt sich anhand der Schwermineralzusammensetzung beider Formationen nicht nachvollziehen. Es ist daher von einem gleichartigen Liefergebiet der Sedimente auszugehen.

# 4.2.8 Interreg II - Bohrung Hartheim

### R 3395374, H 5312578, 200 m NN, Endteufe: 259 m

Die Bohrungen BK1 Hartheim und BK2 Nambsheim (s. Kap. 4.2.9) wurden im Rahmen des Interreg II-Programms zur grenzüberschreitenden Erkundung des tiefen, rheinnahen quartären Grundwasserleiters zwischen Fessenheim und Breisach abgeteuft und anschließend zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Aus den Ergebnissen der hochauflösenden reflexionsseismischen Messungen und den geoelektrischen Tiefensondierungen wurde eine Karte der Aquifermächtigkeit erstellt (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002).

Die Untersuchungen ergaben eine von Störungen begrenzte Tiefscholle zwischen dem Balgauer Dom im Westen und Hartheim im Osten, was dort zu einer Tieflage der Aquiferbasis führt. Die größten Sprunghöhen an den Störungen betragen ca. 30 m westlich von Bremgarten und ca. 25 m westlich von Hartheim. Die Bohrung Hartheim liegt auf dieser Tiefscholle. Es zeichnet sich eine deutliche Kiesrinne an der Basis des Grundwasserleiters ab, die im wesentlichen dem heutigen Rheinverlauf folgt und in das Becken von Geiswasser mündet, wo die größten Mächtigkeiten der kiesigen Sedimente laut den Ergebnissen der Geoelektrik mit bis zu 270 m (westlich von Geiswasser) erreicht werden (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002).

Die Bohrung Hartheim liegt auf deutschem Gebiet ca. 2,3 km nordwestlich von Hartheim am öst-

lichen Rheinufer. Da die Tertiäroberfläche, die das Bohrziel darstellte, wesentlich tiefer als erwartet angetroffen wurde, musste auf eine ursprünglich geplante flache Nachbarbohrung verzichtet werden.

Die etwa 2 km voneinander entfernten Bohrungen BK1 Hartheim und BK2 Nambsheim wurden im Rammkernbohrverfahren mit Verwendung von Kunststoffinlinern für einen ungestörten Kerngewinn mit anschließendem Überbohren des Kernrohres, im tieferen Teil im Seilkernverfahren, abgeteuft.

In der ausgebauten Grundwassermessstelle Hartheim nimmt der Chlorid-Gehalt des Grundwassers ähnlich wie in Bremgarten (s. Kap. 4.2.7) mit der Tiefe deutlich zu, und überschreitet mit ca. 19.300 mg/l (in 198 m u. GOK) den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 250 mg/l um ein Vielfaches. Die Chlorid-Gehalte in der GWM Nambsheim steigen bis auf 747 mg/l an.

Die Lithofazieslogs der beiden Interreg-Bohrungen zeigen eine gut miteinander korrelierbare Gliederung in Ablagerungszyklen mit den charakteristischen Einheiten der Neuenburg-Formation, der Breisgau-Formation sowie der Iffezheim-Formation. Dagegen sind die Abfolgen im Übergang zum Liegenden in beiden Bohrungen unterschiedlich ausgebildet. Die Bohrung Hartheim zeigt folgenden Schichtaufbau:

0 - 54,5 m:	Neuenburg-Formation
54,5 - 193,3 m:	Breisgau-Formation
193,3 - 231,7 m:	Iffezheim-Formation
231,7 - 260 m:	Elsässer Molasse

Die Ergebnisse der Schwermineralanalysen beider Sedimentkerne (s. Anlagen 5 und 6) lassen sich ebenfalls gut miteinander korrelieren und erlauben weitere Untergliederungen (HAGEDORN 2001, 2003 a, b).

# Elsässer Molasse

Die grün- bis beige-hellgrauen Feinsedimente (Tone, Schluffe und Sande) der oligozänen bis untermiozänen Elsässer Molasse lassen sich im Bohrkern von 231,7 - 260 m durch ihren Kalkgehalt von der darüber folgenden kalkfreien Iffezheim-Formation abgrenzen.

Auch im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 5) tritt diese Grenze deutlich hervor. Während die Iffezheim-Formation nur sehr wenig Epidot beinhaltet, liegen die Epidot-Werte in der Elsässer Molasse im Mittel bei ca. 35 %. Weiterhin ist das Auftreten von Staurolith (7,1 %) sowie der blauen Hornblende Glaukophan (ca. 1 %) charakteristisch für das Schwermineralspektrum der Elsässer Molasse.

Das weitere Spektrum besteht aus Granat (32 %), Zirkon (12 %), Turmalin (7 %), Rutil-Anatas
(3 %) und geringen Anteilen an Alterit, Hornblende, metamorphen (Disthen) und seltenen Mineralen (ausser Glaukophan z. B. Spinell). Diese Zählungen stimmen sehr gut mit den Angaben von LINIGER & HOFMANN (1965) zur Elsässer Molasse überein (41 % Epidot, 14 % Staurolith, 2 % Glaukophan, 29 % Granat, 12 % Zirkon, 3 % Turmalin, 6 % Rutil sowie 18 % Apatit und 4 % Disthen).



Abb. 40: Schwermineraldiagramm der Bohrung BK4/26 Bad Bellingen (Elsässer Molasse).

Auffällig sind die hohen Anteile von opaken Mineralen am Spektrum der Elsässer Molasse, die mit ca. 55 % deutlich über denen der anderen stratigraphischen Einheiten liegen (s. Zähltabelle im Anhang B). Ebenso ist der Gesamtschwermineralgehalt dieser Sedimente deutlich höher als in der Iffezheim-Formation.

Bei der Elsässer Molasse handelt es sich um eine spezielle Fazies der süddeutschen und Schweizer Molasse (BOENIGK 1982). Die bisher bekannte maximale Mächtigkeit beträgt 136 m in der Bohrung Sundgau 201 (DOEBL 1970). Zum Vergleich der in der Bohrung Hartheim erbohrten Sedimente werden Analysenergebnisse einer Tunnelbohrung (BK4/26, s. Abb. 40) 1,7 km südöstlich von Bad Bellingen (R 3392300, H 5287580, ca. 360 m NN, Endteufe: 95 m) herangezogen. Die drei Proben aus dieser Bohrung zeigen deutlich geringere Epidot-Anteile (ca. 4 %), höhere Granat-Werte (56 %), weniger Zirkon (8 %) und mehr Turmalin (14 %) sowie mehr Staurolith (11 %) als die Sedimente der Elsässer Molasse in der Bohrung Hartheim.

BOENIGK (1982) gibt als petrographisches Kennzeichen der Elsässer Molasse ein Epidot-Maximum im Schwermineralspektrum an. Neben dieser Assoziation beschreibt er jedoch im Oberrheingraben ein weiteres Spektrum, das durch sehr hohe Granat-Werte charakterisiert ist. Für die Elsässer Molasse im Aufschluss Hartmannswiller gibt BOENIGK (1987) geringe Epidot-Werte (ca. 3 %) bei hohem Granat-Anteil (ca. 50 %) sowie etwa 15 % Zirkon, 5 % Turmalin, 6 % Rutil-Anatas und 7 % Staurolith an. Diese Daten lassen sich gut mit den Ergebnissen der Tunnelbohrung bei Bad Bellingen korrelieren. Bei den Sedimenten in der Bohrung Hartheim scheint es sich dagegen um den Epidot-reichen Typ der Elsässer Molasse zu handeln, den auch LINIGER & HOFMANN (1965) beschreiben.

#### **Iffezheim-Formation**

Die Iffezheim-Formation setzt im Bohrkern der Bohrung BK1 Hartheim mit scharfer Grenze, die sich auch im Gamma-Log deutlich abzeichnet (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002), oberhalb der Elsässer Molasse mit grauvioletten und grauen Diamikten ein (231,7 - 219,5 m), die wie die Unteren Breisgau-Schichten viele mürbe Schwarzwaldgerölle enthalten. Darüber (219,5 - 193,3 m) beginnt eine Abfolge, in der rotbraune Tone mit roten und weissen Sanden wechseln. Es handelt sich um eine stark pedogen überprägte Ausbildung der feinkörnigen Iffezheim-Formation, verzahnt mit Einschaltungen nach Art des "Weissen Pliozäns". Insgesamt zeigt sich also ein eher ruhiges, durch Bodenbildung geprägtes Ablagerungsmilieu.

Die Sedimente der Iffezheim-Formation sind im Vergleich zu den quartären Kiesabfolgen sehr schwermineralarm. Bei der Abtrennung der Schwerminerale werden daher wesentlich größere Mengen an Probenmaterial eingesetzt.

Innerhalb der kalkfreien Iffezheim-Formation zeigt das Schwermineralspektrum eine Dominanz

von stabilen gegenüber den instabilen Mineralen. So lassen sich die Sedimente im Schwermineralprofil klar von der epidot-reicheren Elsässer Molasse im Liegenden und von der Breisgau-Formation im Hangenden, deren Schwermineralspektrum von instabilen Mineralen dominiert wird, abgrenzen (s. Anlage 5).

Bei den stabilen Mineralen macht der Zirkon mit mittleren 39,6 % den größten Anteil aus, gefolgt von 12,4 % Turmalin, 8,3 % Anatas, 5,2 % Monazit und 3 % Rutil. Die seltenen Minerale Titanit, Brookit, Korund und Xenotim betragen in Summe durchschnittlich 2,1 %, die metamorphen Minerale 1,7 %. Der Anteil der instabilen Minerale setzt sich aus Granat (23,5 %), Epidot (2,8 %), Hornblende (1,2 %, meist farblose Hornblende) und Alterit (0,2 %) zusammen.

Die Untergliederung der Iffezheim-Formation in einen unteren (219,5 - 231,7 m) und einen oberen (193,3 - 219,5 m) Teil anhand ihrer unterschiedlichen Ausbildung im Bohrkern lässt sich auch im Schwermineralprofil belegen. Allerdings scheint hier die Grenze zwischen unterem und oberem Teil zwischen den Proben aus 217,8 m und 213,6 m Teufe zu liegen. Vermutlich wurde in den Sedimenten der Probe aus 217,8 m Teufe Material aus dem unteren Bereich der Iffezheim-Formation aufgearbeitet. Für die weitere Auswertung wurde die Untergliederung der Iffezheim-Formation in einen unteren und einen oberen Teil bei ca. 217 m Teufe herangezogen.

Während im unteren Abschnitt hohe Anteile an Granat (ca. 40,3 % im Mittel) auftreten, liegt der Durchschnittswert an Granat im oberen Abschnitt bei nur durchschnittlich 6,7 %. Gegenläufig verhalten sich die mittleren Gehalte an Zirkon. Im unteren Abschnitt liegen diese Werte bei 24,3 %, im oberen dagegen mehr als doppelt so hoch mit 54,8 %. Auch der Anatas-Anteil liegt im oberen Abschnitt mit 12,2 % etwa zweimal so hoch wie im unteren (4,5 %). Ebenso liegt der Epidot-Gehalt im oberen Teil mit 5 % deutlich über den mittleren 0,7 % im unteren Teil.

Die Probe aus 231,3 m aus dem unteren Teil der Iffezheim-Formation zeigt auffällig hohe Anteile an Turmalin, der 84 % des Gesamtspektrums ausmacht. Die Körner liegen in einem relativ frischen Zustand vor.

Kennzeichnend für die Sedimente der Iffezheim-Formation in der Bohrung BK1 Hartheim ist das durchgängige Auftreten von Monazit, der in den anderen durchteuften Schichten fehlt oder sehr selten auftritt, weshalb die Iffezheim-Formation deutlich von diesen abgegrenzt werden kann. Daher wird dieses Mineral im Schwermineraldiagramm separat aufgeführt, obwohl es sonst zur Gruppe der "Seltenen Minerale" gerechnet wird. Durch das Behandeln der Proben mit heisser Salzsäure kann es zu einem Volumenverlust an Monazit von bis zu 10 % kommen. Es ist daher davon auszugehen, dass die tatsächlichen Monazit-Gehalte in den Sedimentproben über den bei der Schwermineralanalyse bestimmten Werten liegen. Ähnlich hohe Monazit-Gehalte wurden bereits in den Sedimenten der Freiburger Bucht (s. Kap. 4.1.2.4) festgestellt. Vermutlich stammen sie aus den Kristallingesteinen des Schwarzwalds. Auch die anderen seltene Minerale Brookit,

Titanit und Xenotim treten in der Iffezheim-Formation häufiger auf als in der Breisgau-Formation und der Neuenburg-Formation.

#### **Breisgau-Formation**, Neuenburg-Formation

Die Unteren Breisgau-Schichten (193,3 - 121 m) bestehen aus Diamikten, in denen das oft stark verwitterte Mittelgebirgsmaterial den alpinen Geröllanteil überwiegt. Die Oberen Breisgau-Schichten (121 - 54,5 m) setzen sich aus graugelben, komponentenreichen Diamikten zusammen. Sie enthalten bereits viele alpine Komponenten, die zusammen mit teilweise verwittertem Mittelgebirgsmaterial aus Schwarzwald und Vogesen als kleinräumige debris flows resedimentiert wurden.

Die Neuenburg-Formation (oberhalb von 54,5 m) wird aus hellgrauen Schottern aufgebaut, deren frische Komponenten vorwiegend aus den Alpen stammen. Innerhalb dieser Sequenz sind in der Bohrung Hartheim die zwei charakteristischen, grobblockigen Ereignislagen (uGL ca. 47 - 37 m, oGL ca. 19,5 - 10,5 m) gut zu erkennen. Auch in der Bohrung Nambsheim sind die beiden Zyklen, wenn auch weniger deutlich, zu erfassen.

Der Wechsel von der Iffezheim-Formation zur Breisgau-Formation zeichnet sich sowohl im Gamma-Log durch deutlich abnehmende Strahlungsintensität (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002) als auch im Schwermineraldiagramm durch eine deutliche Veränderung der Zusammensetzung aus.

Die Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit machen den für die alpin geprägten Oberrheinsedimente typischen Großteil am Gesamtspektrum aus. Für die Kiesabfolgen der Breisgau-Formation und der Neuenburg-Formation in der Bohrung Hartheim beträgt der Mittelwert dieser Gruppe 88 %. Die Minerale Turmalin, Zirkon, Rutil-Anatas, Pyroxen und die metamorphen Minerale Andalusit, Sillimanit, Disthen und Staurolith sowie einige seltene Minerale treten jeweils nur in geringen Anteilen auf.

Der im Bohrkern anhand unterschiedlicher Lithofazies erkennbare Wechsel von der Breisgau-Formation zur Neuenburg-Formation lässt sich im Schwermineralspektrum nicht eindeutig wiedererkennen. Berechnet man jedoch die Mittelwerte der untersuchten Proben, zeigen die Vergleiche zwischen Neuenburg-Formation und Breisgau-Formation einige Unterschiede, die durch die hohe Schwankungsbreite der Einzelwerte im Schwermineraldiagramm nicht klar abzulesen sind.

Der mittlere Granat-Anteil weist in der Breisgau-Formation mit etwa 27 % sowie in der Neuenburg-Formation mit 26 % vergleichbare Werte auf. Die Epidot-Werte zeigen dagegen deutliche Unterschiede: In der Breisgau-Formation liegt der Epidot-Mittelwert bei insgesamt ca. 41 % und damit deutlich erhöht gegenüber der Neuenburg-Formation mit durchschnittlich nur 26 % Epidot. Auch der Summenanteil an stabilen, metamorphen und seltenen Mineralen liegt in der Breisgau-Formation mit ca. 13 % im Durchschnitt höher als in der Neuenburg-Formation mit 8,2 %.

Innerhalb der Breisgau-Formation zeigt sich eine deutliche Veränderung im Anteil der Hornblenden am Gesamtspektrum. Während im unteren Teil (193,3 - 121 m) nur etwa mittlere 4 % Hornblende im Sediment enthalten sind (Schwankungsbreite von 0 bis 8 %), treten die Hornblenden im oberen Teil (121 - 54,5 m) wesentlich häufiger mit durchschnittlich 25 % (Werte von 7 bis 57 %) auf. In der Neuenburg-Formation steigt der Hornblende-Durchschnittswert weiter auf etwa 29 % an.

Die geringen Hornblende-Anteile im unteren Teil der Breisgau-Formation korrelieren mit deutlich höheren Granat-Werten (32 % gegenüber 20 % in den Oberen Breisgau-Schichten) und leicht erhöhten Epidot-Anteilen (im unteren Teil ca. 43 %, im oberen 39 %). Ebenso liegt der Anteil der stabilen, metamorphen und seltenen Minerale im unteren Teil der Breisgau-Formation mit etwa 15,8 % deutlich über den mittleren 8,6 % der Oberen Breisgau-Schichten. Der Alterit-Gehalt bleibt mit 5 % (Untere Breisgau-Schichten) und 8 % (Obere Breisgau-Schichten) vergleichbar.

Im unteren, hornblende-armen Teil der Breisgau-Formation fällt die Probe aus 134,3 m Teufe mit einen Anteil von 19 % Pyroxen auf. Auch in der darüber entnommenen Probe (131,1 m) sind noch vereinzelt Pyroxene vorhanden. Diese Auffälligkeiten zeigt auch eine Probe im Bereich der Neuenburg-Formation aus 49,5 m Teufe. Hier machen farblose bis blassgrüne Pyroxene - vermutlich diopsidische Klinopyroxene (s. Röntgendiagramm der Probe im Anhang C) - und vereinzelte Augite 67 % des Schwermineralspektrums aus. Auch in den Proben darüber (46,4 m) und darunter (54,5 m) kommen noch einzelne, meist farblose Pyroxenkörner vor. Mögliche Liefergesteine der diopsidischen Pyroxene sind ultrabasische Magmatite, Pyroxengranulite oder Gneise. Aufgrund des auf wenige Meter konzentrierten Vorkommens ist ein Einfluss einer vulkanischen Ablagerung auf das Schwermineralspektrum dieses Bohrabschnitts denkbar. Eine technische Verunreinigung des erbohrten Materials konnte weitgehend ausgeschlossen werden (mündl. Mitteilung FECHNER, Fa. Terrasond). Eine Datierung dieser möglicherweise vulkanisch beeinflussten Lage ist in Vorbereitung (mündl. Mitteilung ELLWANGER).

### 4.2.9 Interreg II - Bohrung Nambsheim

x = 991300, y = 2340026, z = 200,6 m NN, (R 3393662, H 5312543), Endteufe: 221,2 m

Die Schlauchkernbohrung Nambsheim BK2 liegt auf französischem Gebiet ca. 1 km nordöstlich von Nambsheim und ca. 1 km vom Grand Canal d'Alsace entfernt. Bei Nambsheim-Balgau liegt eine Hochposition der Aquiferbasis im Bereich des Balgauer Doms vor (s. Kap. 4.2.8, ELSASS & WIRSING 1999).

Nach der lithofaziellen Bohrkernaufnahme lässt sich die Bohrung BK2 Nambsheim in folgende Einheiten gliedern (s. Anlage 6):

0 - 37,5 m:	Neuenburg-Formation
37,5 - 173 m:	Breisgau-Formation
173 - 213 m:	Iffezheim-Formation
213 - 221,2 m:	Tertiäre Tonmergel (Oligozän)

Während in der Bohrung Hartheim unterhalb der Iffezheim-Formation Sedimente der Elsässer Molasse angetroffen wurden, fehlen diese in der Bohrung Nambsheim, wo unter der Iffezheim-Formation dunkelgraue bis hellbeige-graue Tonmergel lagern, die vermutlich aus dem Oligozän stammen. Diese Tone eignen sich aufgrund ihrer Feinkörnigkeit nicht zur Schwermineralanalyse und wurden daher nicht beprobt.

### **Iffezheim-Formation**

Der Wechsel von den unterlagernden Tonmergeln zur Iffezheim-Formation zeichnet sich deutlich im Gamma-Log durch zunehmende Strahlungsintensitäten ab (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002).

Die Sedimente der Iffezheim-Formation setzen im Bohrkern Nambsheim in 213 m Teufe mit dichtgelagerten, kiesigen Diamikten ein, die bunte bis rotbraune Farbtöne zeigen und verwitterte Komponenten beinhalten. Vereinzelt sind Ton- oder Sandlagen eingeschaltet. Diese gröbere Abfolge endet in einem mittelbraunen, tonigen Feinsediment von 195,9 - 192,6 m Teufe. Darüber folgen rötlich- bis gelblichbraune oder auch weisse Sande und Feinsedimente, in die ein kiesiger Diamikt mit bunten bis rotbraunen Farbtönen eingeschaltet ist, der zum Hangenden in Ton übergeht (186,6 - 182,8 m).

Das Schwermineralspektrum (s. Anlage 6) dieser unteren Abfolge der Iffezheim-Formation (213 - 182,8 m) wird durch Zirkon (durchschnittlich 37 %) und Granat (ca. 36 %) bestimmt. Mit jeweils 7 % im Mittel sind Anatas und Turmalin vertreten. Rutil und Hornblende zeigen Durchschnittswerte von etwa 3 %. Weiterhin ergänzen Epidot (2 %), seltene Minerale (2 %), Monazit (1 %) und je 1 % metamorphe Minerale und Alterit das Spektrum. Ausnahme von dieser durchschnittlichen Verteilung zeigt eine Probe aus 191,5 m Teufe mit 9 % Granat und 63 % Zirkon. Sie stammt aus einem weissen Sand, bei dem es sich vermutlich um eine Einschüttung vom Typ des "Weissen Pliozäns" handelt, ein zu Quarzsand verwittertes Material, das ein von stabilen Mineralen dominiertes Spektrum aufweist. Abgesehen von dieser Ausnahme stimmen sowohl die Schwermineralwerte als auch die lithofazielle Ausbildung dieser Sequenz sehr gut mit dem unteren Teil der Iffezheim-Formation der Bohrung Hartheim überein.

Von 182,8 - 173 m zeigt sich im Bohrkern eine Abfolge von Sanden und Tonen, die rotbraune bis

weisse Farbe aufweisen. Im Schwermineralspektrum dieses oberen Teils der Iffezheim-Formation ist eine Assoziation aus vorwiegend stabilen Mineralen anzutreffen (durchschnittlich 54 % Zirkon, 13 % Anatas, 9 % Turmalin, 8 % Monazit, 4 % Rutil, 4 % Granat, 2 % seltene Minerale, 2 % Epidot, 2 % Hornblende, 1 % metamorphe Minerale und 1 % Alterit). Weiterhin charakterisiert das durchgängige Auftreten von Monazit das Schwermineralspektrum. Diese Abfolge lässt sich sehr gut mit den Sedimenten des oberen Teils der Iffezheim-Formation in der Nachbarbohrung Hartheim (193,3 - 219,5 m) vergleichen.

Die Zweiteilung der Iffezheim-Formation in einen oberen Teil mit dominant stabilen Schwermineralen und einen unteren, granat-reicheren Teil (HAGEDORN 2001) lässt sich an verschiedenen Bohrprofilen nachweisen. Da der Granat in den Sedimenten im Oberrheingraben während des Pliozäns vermutlich aus Schwarzwald und Vogesen stammt, scheint diese Lokalschüttung im oberen Teil der Iffezheim-Formation nachzulassen. Möglicherweise setzte eine tektonische Ruhephase ein, während der hauptsächlich Material im Graben resedimentiert wird. Ebenso ist eine länger einwirkende Verwitterung und Bodenbildung an der Oberfläche denkbar, in deren Folge der instabile Granat in den kalkfreien Sedimenten aufgelöst wurde.

### **Breisgau-Formation**, Neuenburg-Formation

Die Breisgau-Formation setzt im Bohrkern oberhalb der Iffezheim-Formation bei 173 m mit deutlichem Farbwechsel von braun nach beige-grau ein. Die feinkörnigeren Sedimente der oberen Iffezheim-Formation werden durch dicht gelagerte diamiktische Kiese mit zahlreichen verwitterten Komponenten abgelöst. Dieser Sedimentwechsel zeichnet sich auch im Gamma-Log durch einen prägnanten Rückgang der Gamma-Strahlung aus (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002).

Durch den Zerfall der verwitterten Gerölle ist der Schluffanteil in diesen Sedimenten deutlich erhöht. Vereinzelt sind sanddominierte Lagen in die Diamikte eingeschaltet. Wiederholt treten Verbraunungshorizonte auf, die auf längere Sedimentationsunterbrechungen während der Ablagerungszeit der Breisgau-Formation deuten. Im unteren Teil zeigen die Kerne durch einen höheren Anteil an Lokalkomponenten teilweise bunte Farbtöne, während der Alpinanteil zu den Oberen Breisgau-Schichten hin zunimmt, und gelbbraune bis gelbgraue Farben überwiegen.

Der Anteil an den instabilen Mineralen Granat, Epidot, Hornblende und Alterit beträgt in den alpin beeinflussten Kiesabfolgen der Breisgau- und Neuenburg-Formation durchschnittlich 89 % (Hartheim: 88 %). So lässt sich die Grenze zu den unterlagernden Sedimenten der Iffezheim-Formation mit ihrem dominant stabilen Schwermineralspektrum in 173 m Teufe auch im Schwermineraldiagramm deutlich ablesen.

Eine Untergliederung der Breisgau-Formation in Untere und Obere Breisgau-Schichten ist wiederum durch die unterschiedlichen Hornblende-Durchschnittswerte im unteren (ca. 5 %) und

oberen Teil (ca. 32 %) möglich. Der Übergang liegt ungefähr bei 90 m Bohrteufe (Hartheim: ca. 120 m). Wie schon in Hartheim spiegeln sich die niedrigen Hornblende-Werte im unteren Teil der Breisgau-Formation in relativ erhöhten Anteilen von Granat (34 % gegenüber 25 % im oberen Teil), Epidot (42 % gegenüber 30 % im oberen Teil) sowie der stabilen, metamorphen und seltenen Minerale (14 % in Summe gegenüber 9 % im oberen Teil) wider. Die Unterschiede im Epidot-Gehalt fallen in Nambsheim deutlich höher aus (12 %) als in der Bohrung Hartheim (4 %).

Im Schwermineraldiagramm lässt sich im unteren Bereich der Unteren Breisgau-Schichten (unterhalb von ca. 137 m) ein deutlich erhöhter Anteil der Gruppe der stabilen, metamorphen und seltenen Mineralen von durchschnittlich etwa 18 % feststellen. Besonders in den Proben 139,2 und 142,8 wurden relativ viele metamorphe Minerale gezählt. Während die stabilen, metamorphen und seltenen Minerale in der Neuenburg-Formation und im oberen Teil der Breisgau-Formation nur etwa 7 bis 9 % des Gesamtspektrums ausmachen, ist in den Unteren Breisgau-Schichten der Summenanteil etwa doppelt so hoch. Ursache hierfür könnten sowohl stärkere Einträge von Lokal-schüttungen als auch Verminderung der instabilen Minerale durch Verwitterung sein.

Im Bohrkern ist die Abgrenzung zwischen den diamiktischen, dicht gelagerten Sedimenten der Breisgau-Formation zu den lockeren, frischen und gröberen Kiesen der Neuenburg-Formation bei 37,5 m deutlich zu erkennen. Wieder lassen sich, wenn auch nicht so deutlich wie in der Bohrung Hartheim, die beiden groben Ereignislagen (uGL bei ca. 35 - 30 m und oGL bei ca. 19 - 14 m) erfassen. Wie schon in Hartheim ist auch in Nambsheim die Breisgau-Formation schwermineral-analytisch nicht eindeutig von der Neuenburg-Formation abzugrenzen.

Beim Vergleich der Mittelwerte der beiden Formationen zeigen sich ähnliche Trends wie in Hartheim: Der Epidot-Anteil erreicht in der Breisgau-Formation im Mittel höhere Werte (ca. 37 %) als in der Neuenburg-Formation (ca. 28 %). Der durchschnittliche Granat-Anteil der Breisgau-Formation liegt mit ca. 30 % über dem der Neuenburg-Formation (26 %). Der Hornblende-Anteil beträgt in der Breisgau-Formation nur 16 % im Gegensatz zu 34 % in der Neuenburg-Formation. Weiterhin beträgt der Anteil an stabilen, metamorphen und seltenen Mineralen in der Breisgau-Formation durchschnittlich 12 % in Summe, in der Neuenburg-Formation dagegen nur knapp 7 %.

Vergleichbare Pyroxen-haltige Sedimente wie in der Bohrung BK1 Hartheim wurden in der Bohrung BK2 Nambsheim nicht angetroffen. Nur in der Probe aus 57,5 m waren 2 % Pyroxen im Schwermineralspektrum vorhanden.

Die Mächtigkeitsunterschiede innerhalb der Neuenburg-Formation zwischen der Bohrung Hartheim (54,5 m) und der Bohrung Nambsheim (37,5 m) lassen sich durch synsedimentäre Bewegungen zwischen der Hoch- (Nambsheim) und Tiefscholle (Hartheim) erklären (s. Kap. 4.2.8). Die Mächtigkeit der Breisgau-Formation ist dagegen mit 138,8 m in Hartheim und 135,5 m in Nambsheim ungefähr vergleichbar.

# 4.2.10 Bohrung Nambsheim-Balgau

#### x = 990491, y = 2337998, z = 204 m NN, (R 3392835, H 5310579), Endteufe: 111 m

Die Bohrung Nambsheim-Balgau wurde am Rand des durch seismische Untersuchungen bekannten Balgauer Doms (ELSASS & WIRSING 1999, REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002, s. Kap. 4.2.8) mit einem Scherrammbohrgerät in Kiespumpen-Verfahren unter Leitung der Région d'Alsace abgeteuft. In 106 m Teufe wurde das Tertiär erreicht, was die nach reflexionsseismischen Messungen erwartete Hochlage der Aquiferbasis bestätigte. Die Bohrung endete in den graublauen, festen Tonmergelsteinen des Oligozäns in 111 m u. GOK.

Wie schon in der Bohrung Bremgarten zeigen die Chlorid-Messungen eine starke Zunahme des Salzgehaltes mit der Tiefe (von 43 mg/l zwischen 5 und 11 m über 369 mg/l zwischen 55 und 59 m bis zu 5.940 mg/l zwischen 85 und 105 m). Diese Belastungen sind wahrscheinlich auf Chlorid-Austräge aus Absetzbecken und Abraumhalden der elsässischen und badischen Kaliindustrie beiderseits des Rheins zurückzuführen (ELSASS & WIRSING 1999).

Die durchteuften Sedimente lassen sich folgendermaßen untergliedern:

- 0 31,5 m Neuenburg-Formation
- 30 106 m Breisgau-Formation
- 106 111 m Oligozäne Tone

Die Sedimente der Bohrung Nambsheim-Balgau wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (GÖHLER 2000) sedimentpetrographisch untersucht. Zudem waren detaillierte Schwermineralanalysen Teil eines Untersuchungsprojekts mehrerer Bohrungen aus dem elsässischen Gebiet (HAGEDORN 1999), die die Grundlage für das abgebildete Schwermineraldiagramm (s. Anlage 7) bilden. Insgesamt wurden 50 Proben aus dem Bohrmaterial von Nambsheim-Balgau analysiert.

Die Tone und Feindiamikte im untersten Abschnitt der Bohrung sind blaugrau bis schwarz gefärbt. Proben aus einem sandig-schluffigen Aufarbeitungshorizont im obersten Teil der oligozänen Schichten bei 106 - 107 m zeigen bereits ein alpin-geprägtes Spektrum, was vermutlich auf Vermischung mit alpin-geprägten Sedimenten zurückzuführen ist. Eine Probe aus 109 m enthält fast nur opake Körner sowie vereinzelt Epidot und Granat. Weitere Proben erwiesen sich aufgrund ihrer Feinkörnigkeit für die Schwermineralanalyse als ungeeignet. Für eine Zählung reicht die Anzahl der Körner nicht aus. BOENIGK (1982) beschreibt für oligozäne Ablagerungen im Oberrheingebiet ein Schwermineralspektrum, das sich hauptsächlich aus den Mineralen Granat und Epidot zusammensetzt. Sedimente der Iffezheim-Formation fehlen in der Bohrung Nambsheim-Balgau. Dies ist vermutlich auf ihre Lage im Randbereich des Balgauer Doms zu erklären, wo diese Sedimente nicht erhalten bzw. primär nicht abgelagert wurden.

Von 106 bis 78 m treten innerhalb der Breisgau-Formation, deren diamiktische Kiese bräunlichgelbliche Verwitterungsfarben zeigen, vermehrt verbackene Kieshorizonte (Nagelfluh) auf, die wiederholt den Bohrfortgang verzögerten. Die Nagelfluh-Horizonte sind im Lithofaziesprofil durch ausgefüllte Rechtecke an der Teufenskala gekennzeichnet (s. Anlage 7). Oberhalb von 78 m wechseln kiesige Sande (78 - 71 m) mit blockreichen Sedimenten (71 - 69 m) und fluviatilen Schottern (69 - 53 m), die rostige Farbtöne und zahlreiche verwitterte Komponenten aufweisen. Während zwischen 58 und 53 m die Ausbildung der Sedimente auf eine fluviatile Sedimentation hindeuten, folgt darüber bis 45 m ein blockreiches Sedimentpaket, das vermutlich als Suspensionsstrom abgelagert wurde. Zum Hangenden setzen erneut fluviatile Schüttungen ein (45 - 42 m), die in Blocksedimente (42 - 31,5 m) übergehen, die eine rostig-gelbe Farbe und viele verwitterte Komponenten zeigen.

Mit einem Grobsediment-Ereignis setzen bei 31,5 m die Schotter der Neuenburg-Formation ein. Vereinzelt enthalten sie noch aufgearbeitete, verwitterte Komponenten. Diese untere Groblage (uGL) wird durch sandreicheres Sediment bei ca. 27 m abgelöst. Bei etwa 17 m folgt ein weiteres Grobsediment-Ereignis, die obere Groblage (oGL). Oberhalb von 13 m sind die vorwiegend alpinen Sedimente wieder feinkörniger und zeigen eine fluviatile Ausprägung mit coarsening-up-Tendenz.

Insgesamt zeigen die untersuchten Proben aus der Breisgau- und Neuenburg-Formation ein recht einheitliches Schwermineralspektrum aus Epidot, Granat, Hornblende, Alterit, Zirkon, Turmalin, Rutil, Staurolith, Disthen, Sillimanit und Andalusit. Vereinzelt tritt Brookit oder Glaukophan auf. Die Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit machen den für die alpin beeinflussten Oberrheinsedimente typischen Großteil (ca. 90 %) am Gesamtspektrum aus.

Innerhalb der Sedimentabfolge ist eine Zunahme des Hornblende-Anteils oberhalb von etwa 60 m festzustellen. Im den Oberen Breisgau-Schichten (60 - 30 m) sind anteilsmäßig neben Granat, Alterit und Epidot deutlich mehr Hornblenden (ca. 30 % im Mittel) vorhanden, während in den Unteren Breisgau-Schichten (106 - 60 m) Granat, Epidot und Alterit das Schwermineralspektrum dominieren (durchschnittlich 29 % Granat, 36 % Epidot, 13 % Alterit bei ca. 8 % Hornblenden). Die Zunahme der Hornblende-Anteile oberhalb von ca. 60 m geht auf Kosten der Anteile der Epidot-Gruppe, die im oberen Teil auf etwa 27 % im Durchschnitt zurückgehen, und der Granat-Anteile, die um durchschnittlich 8 % auf 21 % absinken.

Die in der Nachbarschaft auf deutscher Seite niedergebrachte Bohrung Bremgarten (s. Kap. 4.2.7) zeigt eine vergleichbare Zunahme der Hornblenden im oberen Teil der Breisgau-Formation (ab ca.

70 m Teufe). Hier werden jedoch in einzelnen Proben wesentlich höhere Anteile an Hornblende erreicht (bis zu 60 %).

Das Schwermineraldiagramm der Bohrung Nambsheim-Balgau zeigt weiterhin erhöhte Anteile der Gruppe der stabilen, metamorphen und seltenen Minerale unterhalb von etwa 60 m, die durchschnittlich zusammen 14 % des Gesamtspektrums ausmachen, während im oberen Teil der Bohrung etwa 11 % vorhanden sind.

Eine Abgrenzung von der Breisgau- zur Neuenburg-Formation lassen die Ergebnisse der Schwermineralanalysen nicht zu. Vermutlich stammen beide Schüttungseinheiten aus dem gleichen Liefergebiet.

Die geröllpetrographischen Analysen (GÖHLER 2000) weisen eine Dominanz der Kalk- und Kieselgerölle nach, wie bereits die Untersuchungsergebnisse von Neuenburg-Steinenstadt und Chalampé gezeigt haben (KOCHENRATH 2000). Der Kristallin-Anteil am Geröllspektrum nimmt hier ebenfalls zum Hangenden hin zu. Die gesondert gezählten Amphibolite treten erst oberhalb von 45 m auf, also in einem Bereich, in dem auch das Schwermineralspektrum bereits erhöhte Hornblende-Anteile aufweist. Ein Zusammenhang zwischen beiden Phänomenen ist daher zu vermuten.

## 4.2.11 Bohrung Niederhergheim

### x = 978980, y = 2343815, z = 212 m NN, (R 3383200, H 5317350), Endteufe: 144 m

Die Bohrung Niederhergheim, die mit einem Scherrammbohrgerät in Kiespumpenverfahren unter Leitung der Région d'Alsace abgeteuft wurde, erreichte unterhalb von 137 m oligo-miozäne Schichten, in denen sie bei 144 m endete. Die grau-gelben Tonsteine werden aufgrund von Gipsbildungen als verwitterte tertiäre Tonmergel gedeutet. Ziel der Bohrung war eine Erkundung des tieferen, versalzten Abschnitts des quartären Aquifers (ELSASS & WIRSING 1999).

In einer in der Nähe abgeteuften Bohrung Oberhergheim 1 betrug die Mächtigkeit des Quartärs 148 m. Darunter wurden ca. 60 m gipshaltige Mergel erbohrt, die einen ca. 2000 m mächtigen oligozänen Salzdiapir bedecken (BRGM 1977).

Im Bohrprofil Niederhergheim dominieren zwischen 137 und ca. 70 m diamiktische Kiese. Das Vorkommen von verwittertern und mürben Geröllkomponenten zwischen 137 und 43 m charakterisiert die Breisgau-Formation. In den darüber folgenden, fluviatil geprägten Jüngeren Schottern (Neuenburg-Formation) sind die Komponenten deutlich frischer. Im Bohrprofil (s. Anlage 8) treten zahlreiche verbackene Kiese mit kalkiger Matrix (Nagelfluh) sowie Gerölle mit Drucklösungen auf.

Die 28 untersuchten Proben der Bohrung Niederhergheim zeigen ein alpin-geprägtes Schwermineralspektrum aus den Hauptmineralen Granat, Epidot, Hornblende und Alterit (etwas über 90 % in Summe) sowie Rutil, Turmalin, Zirkon, Staurolith, metamorphen Mineralen (Sillimanit, Andalusit, Disthen) und seltenen Mineralen in geringen Prozentsätzen (HAGEDORN 1999).

Innerhalb der Breisgau-Formation zeigt sich wiederum eine Zunahme der Hornblende-Gehalte zum Hangenden, wobei die Grenze zwischen hornblende-armen Unteren Breisgau-Schichten (durchschnittlich 5 %) und hornblende-reicheren Oberen Breisgau-Schichten (ca. 10 %) bei ca. 75 m Teufe liegt. Am deutlichsten ist der gleichzeitige Rückgang von Epidot von ca. 34 % im Mittel auf 26 %. Der Granat-Anteil nimmt hingegen von den Unteren zu den Oberen Breisgau-Schichten von durchschnittlich 32 auf 39 % zu. Weiterhin ist in den Unteren Breisgau-Schichten ein leicht erhöhter Prozentsatz der Gruppe aus metamorphen, stabilen und seltenen Mineralen von ca. 10,5 % gegenüber 8,4 % in den Oberen Breisgau-Schichten zu beobachten.

In den Jüngeren Schottern (Neuenburg-Formation) nimmt der Anteil an Hornblende von 10 % in den Oberen Breisgau-Schichten weiterhin auf jetzt 17 % zu. Parallel dazu sinken die Epidot-Gehalte um 6 % auf durchschnittlich etwa 20 %. Auch die Anteile an Granat nehmen von 39 auf 33 % im Durchschnitt ab. Als Ausnahme zeigt eine Probe aus 33 m Tiefe aus den Jüngeren Schottern einen Maximalwert von 64 % Granat, wodurch sich die Anteile der anderen Mineralgruppen relativ verringern. Eine Ursache für den hohen Granat-Anteil im Schwermineralspektrum dieses groben, gradierten Kiespaketes ist nicht zu klären.

# 4.2.12 Bohrung Hettenschlag

### x = 981319, y = 2345918, z = 195 m NN, (R 3384308, H 5319300), Endteufe:166 m

Die Ortschaft Hettenschlag liegt im Elsass, südwestlich des Kaiserstuhls und südöstlich von Colmar. Die Bohrung Hettenschlag wurde etwa 400 m westsüdwestlich des Ortes im Landwirtschaftsgebiet "Oberfeld" abgeteuft (s. Abb. 41). Sie wurde mit einer Kiespumpe niedergebracht und erreichte eine Endteufe von 166 m in carbonatisch verkitteten Kiesen des Quartärs. Die ursprünglich geplante Endteufe in oligozänen Evaporit-Folgen wurde wegen des schwierigen Bohrfortschritts in den Nagelfluh-Horizonten nicht erreicht (BRGM 1999).

Westlich der Ortschaft Hettenschlag ist entlang von Störungsbahnen ein oligozäner Salzdiapir (s. Abb. 41) bis fast zur Erdoberfläche aufgestiegen, der aus Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen schon seit den 30er Jahren bekannt ist (ELSASS & WIRSING 1999). Er weist eine ungefähre West-Ost-Erstreckung von 5 km auf (BRGM 1977). Während die quartären Sedimente auf dem Zentrum des Salzdoms nur noch eine Mächtigkeit von 10 m aufweisen, nimmt ihre Mächtigkeit in Entfernung zum Diapir rasch zu bis auf maximal 270 m bei der Ortschaft Geiswasser (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2002). Der Hettenschlager Salzdom ist an seinem Ostrand durch eine Störung begrenzt, die in etwa parallel zum Störungssystem der Meyenheimer Störung im Westen verläuft (ELSASS & WIRSING 1999).



Abb. 41: Lage der Bohrung Hettenschlag (rote Markierung "Künftige Bohrung") am Ostrand des Hettenschlager Doms (ELSASS & WIRSING 1999).

Ziel der Bohrung Hettenschlag war die Erfassung der Aquiferbasis, also die Basis der quartären Kiese, am Ostrand des Salzdoms. Diese ist für geplante Simulationen der Grundwasserströmungen von großer Bedeutung. Durch die Abraumhalden des Kalisalz-Abbaus bei Ensisheim kommt es zu starker Versalzung des Grundwassers. Es hat sich gezeigt, dass der Hettenschlager Diapir als Barriere für diese Salzverunreinigungen fungiert und daher im Abstromgebiet (Kastenwald, nord-nordöstlich von Hettenschlag) Trinkwasserbohrungen möglich sind. Die ausgebaute Messstelle Hettenschlag soll als Warnmessstelle für Versalzung der Trinkwässer im Kastenwalder Fassungsgebiet dienen.

Die Bohrung umfasst die quartären Einheiten der Jüngeren Schotter (Neuenburg-Formation, 0 bis 33,5 m) und der Breisgau-Formation (33,5 bis 168 m) (s. Lithofaziesprofil in der Anlage 9). Bei den Jüngeren Schottern handelt es sich um fluviatile alpine Kiese und Sande, wohingegen die diamiktische Breisgau-Formation aus festgelagerten Kiesen mit größeren Schluffanteilen besteht. Im Bohrprofil treten sechs Nagelfluhbänke in den Tiefen 34 m, 131 m, 145 m, 150 m, 160 m und 167 m auf. Die auf den untersten Metern erbohrten Sedimente werden als Basis der quartären Rheinsedimente angesprochen (ELSASS & WIRSING 1999). Unterhalb der Breisgau-Formation

lagern hier oligozäne Tone, Tonmergelsteine und Mergelsteine.

Aus dem Bohrmaterial wurden 33 Proben zur Schwer- und Leichtmineral-Analyse sowie 16 Proben für die Geröll-Petrographie entnommen. Diese Untersuchungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (BERG 2000) durchgeführt. Die Zähldaten wurden für die vorliegende Arbeit auf 100 Kornprozent umgerechnet sowie der Staurolith in die Gruppe der metamorphen Minerale gestellt.

Das Schwermineralspektrum (s. Anlage 9) belegt die vorwiegend alpine Herkunft der durchteuften Sedimente. Im Vergleich zu anderen Bohrungen im Südgraben (z. B. Bremgarten, Nambsheim, Hartheim) ist die Zunahme der Hornblende innerhalb der Breisgau-Formation etwas schwächer ausgeprägt. Etwa unterhalb von 125 m Teufe sind die Sedimente mit durchschnittlich ca. 11 % hornblende-ärmer als die Breisgau-Formation darüber mit ca. 23 % Hornblende. Gegenläufig verhalten sich die Anteile von Epidot am Spektrum: Im unteren Teil (168 - 125 m) liegt der Mittelwert bei ca. 42 %, im oberen (125 - 33,5 m) nur bei 34 %. Granat- und Alterit-Anteile verändern sich hingegen nicht nennenswert. Die Gruppe der metamorphen, seltenen und stabilen Minerale nimmt im unteren Abschnitt der Breisgau-Formation mit ca. 9,4 % einen etwas größeren Teil des Spektrums ein als im oberen mit ca. 7,2 %.

In den Jüngeren Schottern ist der Gehalt an Hornblende wieder leicht rückläufig (15 %); in diesem Bereich nimmt der Granat-Gehalt deutlich von 24 % in der Breisgau-Formation auf jetzt 36 % zu. Weiterhin zeigt sich in den Jüngeren Schottern eine leichte Zunahme der metamorphen Minerale von 1,8 % in der Breisgau-Formation auf nun ca. 3,9 %.

Im Geröllspektrum dominieren die Kalkgerölle (Kalke und Kalksandsteine) mit über 50 %. Weiterhin ist eine Zunahme der Kristallingerölle zum Hangenden festzustellen, was mit dem Zerfall dieser Gerölle infolge Verwitterung innerhalb der Breisgau-Formation im Einklang steht (BERG 2000).

# 4.2.13 Bohrung Riegel

Riegel Vogelbau BK1, R 3405833, H 5338117, 178 m NN, Endteufe: 78 m

Die Bohrung Vogelbau Riegel BK1 liegt etwa 2,8 km nordöstlich der Ortschaft Riegel am Nordrand des Kaiserstuhls. Der Kaiserstuhl erhebt sich etwa 15 km nordwestlich von Freiburg i. Br. in der hier 40 km breiten Ebene des Oberrheingrabens. Er sitzt auf einer großen, etwa Nord-Süd verlaufenden, grabeninternen Verwerfung mit einer Sprunghöhe von etwa 1000 m auf. An ihr sind im Unter- bis Mittelmiozän vor 18 - 13 Mio. Jahren die Magmen des vulkanischen Zentrums aus Tiefen bis 100 km aufgestiegen. Der wichtigste Vertreter der im Kaiserstuhl vorkommenden magmatischen Gesteine, die durch Differentiation aus olivin-nephelinitischem Stamm-Magma entstanden sind, ist der zur Basaltfamilie gehörende Tephrit. Daneben kommen auch Phonolith, Essexit und Carbonatit vor (WIMMENAUER 1963).

Im Untergrund der Vulkanite sind etwa 1200 m alttertiäre und 600 m mesozoische Schichten durch Bohrungen belegt. Mehr als drei Viertel des Kaiserstuhlgebirges sind mit Löss bedeckt, der bis maximal 60 m Mächtigkeit erreichen kann.

Ein Zufluss aus den vulkanischen Gesteinen des Kaiserstuhls zeichnet sich im Schwermineralspektrum hauptsächlich durch erhöhte Anteile von Pyroxen aus. Meist handelt es sich dabei um einen rotbraunen bis braunvioletten titanaugit-reichen Pyroxen, der beispielsweise als Einsprengling in den Leucit-Tephriten, den Limburgiten oder den Essexiten vorkommt. Die Olivin-Nephelinite zeigen nur wenige Augit-Einsprenglinge. Die Phonolithe enthalten kleinere Anteile von Ägirinaugit, die Carbonatite (Chrom-)Diopsid (WIMMENAUER 1963).

Als weiteres Schwermineral kommt Olivin in Limburgiten, Olivin-Nepheliniten und Olivin-Tephriten vor. Die Olivine sind oft schon in den anstehenden Gesteinen unter Bildung von Hämatit und Carbonat zersetzt. Zudem ist der Olivin sehr instabil und geht beim fluviatilen Transport schnell verloren. Weiterhin treten Titan-Hornblenden, Titanite und Magnetite (Essexit), sowie Apatite (Carbonatit) auf.

In der näheren Umgebung des Kaiserstuhls treten folgende weitere Vulkanite auf, die ebenfalls vulkanische Schwerminerale liefern könnten: Olivin-Nephelinit im Attental (6,5 km öst. Freiburg, Oberkreide), Olivin-Nephelinit Mahlberg (19 km nördl. Emmendingen, Miozän), Melilithankaratrit und Monchiquit bei Buggingen (postoligozäne Eruptivgesteinsgänge, augit-reich) (GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1996). In unmittelbarer Rheinnähe liegen die Vulkanhügel des Limberges und Lützelberges von Breisach.

Im Bohrprofil Riegel (s. Anlage 10) treten zwischen der Endteufe von 78 m und ca. 72 m rotbraune Diamikte mit zahlreichen verwitterten Geröllkomponenten auf. Das Schwermineralspektrum der drei aus dieser kalkfreien Sequenz stammenden Proben weist Ähnlichkeit mit den Schwarzwaldschüttungen im Elz-Tal bzw. im Elz-Glotter-Schwemmfächer (Bohrungen Teningen und Emmendingen, s. Kap. 4.1.2.5) auf. Für eine Korrelation mit den charakteristischen Spektren der Iffezheim-Formation im Südgraben sind zuwenig stabile Minerale (Zirkon) und zuviel Hornblende enthalten. Durch den geringen Epidot-Gehalt (ca. 11 % im Mittel) und den relativ hohen Anteil von stabilen und seltenen Mineralen (ca. 27 %) lässt sich dieser Bohrabschnitt zwischen 78 und 72 m deutlich von der darüber folgenden Sedimentfolge abgrenzen.

Die Sedimente zwischen ca. 72 und 57 m werden als Breisgau-Formation angesprochen. Der feinkörnige Riegeler Horizont, der in dieser Region innerhalb der Breisgau-Formation auftreten kann, wurde nicht angetroffen. Trotz stark variierender Anteile der Mineralgruppen am Gesamtspektrum lässt sich gegenüber dem untersten Bohrabschnitt ein geringerer Durchschnittswert für den Granat-Anteil (20 %) bei gleichzeitigem Anstieg der Epidot- (21 % im Mittel) und Hornblende-Werte (durchschnittlich 35 %, maximal 65 % bei 61,5 m) feststellen. Die Anteile an stabilen und seltenen

Mineralen sind ebenfalls rückläufig (ca. 16 %). In mehreren Proben treten vereinzelt Pyroxene auf, die vermutlich aus dem Kaiserstuhl stammen.

In dieser sandig-kiesigen bis diamiktischen Sedimentabfolge zeichnet sich wahrscheinlich ein Wechsel und eine Vermischung von Lokalsedimenten und Schüttungen aus den Alpen ab. Dies zeigt sich sowohl an den vereinzelt auftretenden Kalkgehalten in den Sedimenten (bei 69,8, 68,7, 67,7 und 63,5 m Teufe) als auch an den höheren Epidot-Anteilen, die untypisch für Schwarzwald-Schüttungen sind und auf eine alpine Anlieferung hinweisen. Dazwischen kommen kalkfreie Sedimente vor (69,2 m, 61,5 m und 58,5 m Teufe), die durch höhere Anteile an stabilen Mineralen und geringe Epidot-Gehalte auf eine Anlieferung aus dem Schwarzwald schließen lassen. Hier treten zudem relativ erhöhte Werte an seltenen Mineralen (Monazit und Xenotim) auf, wie sie bereits in anderen Proben aus der Freiburger Bucht charakteristisch waren. Nur die Proben aus 65,6 und 71,5 m zeigen trotz fehlendem Kalkgehalt ein eher alpin-geprägtes Schwermineralspektrum, was vermutlich auf Vermischungseffekte zurückzuführen ist.

Die deutlichste Veränderung im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 10) zeigt sich beim Übergang der Breisgau-Formation zu den Jüngeren Schottern bei ca. 57 m. Hier setzt offenbar eine durchgängige fluviatile Schüttung von alpinen Sedimenten durch den Ostrhein (s. Kap. 4.1.2.4) ein. Das Spektrum setzt sich hauptsächlich aus den instabilen Mineralen Granat (31 %), Epidot (20 %), Hornblende (24 %) und Alterit (10 %) zusammen, die durch verhältnismäßig hohe Gehalte an Pyroxen (ca. 8,4 % im Mittel, vorwiegend Augit) und sehr wenig metamorphen, stabilen und seltenen Mineralen (ca. 5,7 % in Summe) ergänzt werden. Derart hohe Pyroxen-Gehalte (maximal 23 % in 18,5 m Teufe) treten in anderen Bohrungen im Südgraben nicht auf. Hier scheinen höhere Anteile von Schüttungen aus den vulkanischen Gesteinen des Kaiserstuhls eine Rolle zu spielen, wobei auf dem relativ kurzen Transportweg die instabilen Pyroxene erhalten geblieben sind.

Die Farbtöne der Sandmatrix wechseln innerhalb der Jüngeren Schotter zwischen Grau, was für alpine Schüttungen charakteristisch ist, und Rosatönen, die auf eine Anlieferung aus dem Schwarzwald hinweisen. Der offenbar weiterhin andauernde Lokaleinfluss bildet sich im Schwermineralspektrum nicht ab. Die schwermineralarmen Lokalschüttungen werden durch Beimischung der schwermineralreichen alpinen Schüttungen überdeckt.

Innerhalb der Jüngeren Schotter lässt sich eine tendenzielle Zunahme der Granat-Werte bei gleichzeitiger Abnahme der Hornblende-Werte zum Hangenden festhalten. Im Lithofaziesprofil (s. Anlage 10) zeigen sich zwei grobblockige Eventlagen bei ca. 50 - 43 m und bei ca. 17 - 6 m, die vermutlich mit den Groblagen der Neuenburg-Formation in anderen Bohrungen aus dem Südgraben (uGL und oGL) zu korrelieren sind. Das Bohrprofil schließt mit einem sandigen Löss und lehmigen Boden ab.

#### 4.2.14 Bohrungen Lahr

Lahr B12, R 3413288, H 5355486, 158,9 m NN, Endteufe: ca. 24 m Lahr B13, R 3413404, H 5355660, 158,6 m NN, Endteufe: ca. 25,8 m Lahr B14, R 3413464, H 5355646, 158,9 m NN, Endteufe: ca. 23,8 m

Lahr befindet sich im Bereich der Vorbergzone des Schwarzwalds im Mündungsbereich der Schutter in den Oberrheingraben. Die Bohrungen an der Polizeischule liegen ca. 3 km westsüdwestlich der Innenstadt von Lahr bereits im Grabengebiet mit etwa 700 m Entfernung zum Grabenrand. Östlich von Lahr stehen in der Vorbergzone Gesteine des Buntsandsteins an.

LEIBER (1976) beschreibt in der Tiefbohrung Lahr 44 m mächtiges Quartär, das er in 12 m frische, graue, sandige Kiese aus dem Jungquartär und 32 m rötliche, sandige Kiese (Schutter-Sedimente) aus dem Altquartär untergliedert. Darunter folgen etwa 57 m mächtige, grauweisse, kiesige Sande, die vermutlich ins Pliozän einzuordnen sind, und schließlich oligozäne Sedimente über Jura-Gesteinen. WERNER et al. (1997) beschreiben westlich von Lahr einen markanten Feinsedimentrücken ("Lahrer Schwelle"), auf dem die Kiesmächtigkeiten bis auf 20 bis 30 m zurückgehen. Dagegen wurden bei Lahr-West (BRGM 1986/87) 72 m mächtige, typische Rheinkiese erbohrt. Darunter wurden etwa 8 m kalkfreie pliozäne Feinsande angetroffen. Der Festgesteinsuntergrund wird von Jura-Gesteinen gebildet.

Die 24 m tiefe Bohrung Lahr **B12** liegt etwa 200 m südwestlich der beiden anderen Bohrungen B13 und B14. Im Lithofaziesprofil (s. Abb. 42) zeigt sich bei ca. 23 m ein Wechsel von tonigsandigen Feinsedimenten zu sandigen Kiesen. In der Kiesabfolge deuten rosa Farbtöne auf vermehrte Schwarzwald-Schüttungen (Geröllinhalt: Granite, Gneise, Vulkanite, permische Konglomerate), während grauen Farben eine Anlieferung aus einem alpinen Liefergebiet vermuten lassen. Das Bohrprofil schließt oberhalb von ca. 4,5 m mit sandigen Feinsedimenten ab, bei denen es sich vermutlich um Schwemmlöss handelt.

Aus dieser Bohrung B12 wurden die Schwermineralspektren von drei Proben analysiert (s. Schwermineraldiagramm in Abb. 42). Die unterste Probe aus 23,9 m Tiefe stammt aus den Feinsedimenten an der Basis des Bohrprofils. Das Schwermineralspektrum ähnelt dem des oberen Teils der Iffezheim-Formation, da es vorwiegend stabile Minerale (77 %, davon 50 % Zirkon) aufweist. Der Anteil an instabilen Mineralen beträgt nur 11 %. Wie in anderen Vorkommen der Iffezheim-Formation im südlichen Oberrheingraben treten vermehrt seltene Minerale (8 % Monazit und 4 % Xenotim) auf. Die Proben aus 18,5 und 9,5 m Tiefe beinhalten dagegen ein durch instabile Minerale geprägtes Schwermineralspektrum. Zwischen ca. 20 und 12,5 m Tiefe kennzeichnen im Bohrprofil graue Farbtöne eine vorwiegend alpine Schüttung. Die Probe 18,5 m aus diesem Bereich weist mit 37 % Granat, 25 % Epidot, 28 % Hornblende und 5 % Alterit eine typisch alpine Mineralvergesellschaftung auf. Die Probe 9,5 m stammt aus einem sandigen Kies, dessen rosa

Farbe für eine vermehrte Anlieferung von Material aus dem Schwarzwald spricht. Der Anteil von Granat ist hier deutlich höher (73 %) als in der Probe aus 19,5 m Tiefe; gleichzeitig nehmen Epidot- und Hornblende-Gehalt deutlich ab. Die Probe enthält weiterhin 4 % Pyroxen, der sowohl aus dem Kaiserstuhl als auch von der 5 km in südlicher Richtung entfernten vulkanischen Intrusion des Mahlbergs stammen könnte.



Abb. 42: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lahr B12.

In der Bohrung Lahr **B13** zeigt sich eine vergleichbare Schichtenabfolge wie in B12 (s. Abb. 43). Unterhalb von ca. 24,4 m treten tonige Feinsedimente auf, bei denen es sich wahrscheinlich wieder um Sedimente der Iffezheim-Formation handelt. Darüber folgt eine Wechsellagerung von Schwarzwald-Schüttungen und alpinen Schottern. Eine Probe aus den lokal getönten Kiesen aus 20,5 m Teufe belegt anhand ihrer Schwermineralverteilung ein Liefergebiet im Bereich des Schwarzwalds. Während der Epidot nur in sehr geringem Anteil von 1 % vorkommt, bestimmen Granat (57 %), Hornblende (9 %) und die Gruppe der stabilen und seltenen Minerale (31 %) das Spektrum. Dagegen weist die Probe aus 14,3 m Teufe aus einem graugefärbten, groben Kies deutlich mehr Epidot (22 %) auf, wie es für Sedimente aus alpinen Liefergebieten charakteristisch ist. Ebenso geht der Anteil der stabilen Minerale auf 7 % zurück. Auch die Probe aus 10,5 m Teufe zeigt ein alpines Schwermineralspektrum. Über den Kiesschüttungen folgen sandig-tonigen Feinsedimente, vermutlich Schwemmlöss.



Abb. 43: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lahr B13.

Die Sedimentabfolge der Bohrung Lahr **B14** beginnt an der Basis bis ca. 22,5 m Teufe mit einem dunkelgrüngrauen tonigen Feinsediment, das vermutlich Teil der Iffezheim-Formation ist. Darüber folgt bis ca. 21 m ein rötlicher, grusiger Grobkies, der in der Probe aus 21,5 m Teufe trotz der Lokalfärbung ein alpines Schwermineralspektrum aus Granat, Epidot und grüner Hornblende zeigt (s. Abb. 44). Offenbar liegt hier eine Mischung von alpinem und lokalem Sediment vor, das aufgrund des hohen Schwermineralgehalts der alpinen Sande dieses Spektrum aufweist. Auch die Probe aus 15,5 m Teufe enthält eine vergleichbare Schwermineralassoziation. Beide Proben beinhalten wenige Prozentanteile von Pyroxen, der sowohl aus dem Kaiserstuhl als auch aus in der Nähe vorkommenden Vulkaniten (s. Kap. 4.2.13) stammen kann.

Bei Lahr lässt sich anhand der Schwermineralspektren eine wechselnde Sedimentanlieferung aus dem Schwarzwald und als den Alpen vermuten, wobei eine Vermischung der schwermineralreichen alpinen Schüttungen mit den schwermineralarmen Schwarzwald-Sedimenten meist deren Schwermineralkennzeichen überdeckt. Die Grenze der quartären Kiessedimente zu der unterlagernden Iffezheim-Formation liegt in allen drei Bohrungen bei ca. 22 bis 24 m u. GOK, was den Literaturangaben von WERNER et al. (1997) entspricht (s. o).



Abb. 44: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lahr B14.

# 4.2.15 Bohrung Plobsheim

x = 998977, y = 2396859, z = 148 m NN, (R 3406296, H 5368501), Endteufe: 165 m

Die Bohrung südlich der Ortschaft Plobsheim ca. 15 km südlich von Strasbourg wurde mit der Kiespumpe abgeteuft und erreichte eine Endteufe von 165 m in pliozänen Sedimenten. Bei diesen handelt es sich um vorwiegend kalkfreie, sandige Sedimente mit Ton- und Schieferkohlelagen und Einschaltungen von fein- bis mittelkiesigen Sanden (Iffezheim-Formation). Die Sequenz von ca. 106 bis 88 m wird als "Pliocene-finale"-Fazies (GEISSERT 1972) angesprochen. Von 92 bis 88 m wird diese Abfolge von einer vermutlich endpliozänen Bodenbildung abgeschlossen. Oberhalb von 88 m setzen kalkhaltige, sandige Kiesschüttungen ein, die im unteren Teil neben alpinen Komponenten auch rötlich gefärbte Lokalschüttungen enthalten und oft rostig verfärbt sind. Der mögliche diamiktische Charakter der Sedimente lässt sich aufgrund der durch Regeneinwirkung erfolgten Auswaschung des Feinkornanteils nicht ausreichend erkennen. Ebenso könnten die eventuell im Sediment vorhandenen, verwitterten, mürben Gerölle beim Bohrvorgang zerfallen sein. Die Rostfarben halten bis in die frischen, alpinen Kiese oberhalb von ca. 37 m an, in denen die zwei im Südgraben charakteristischen groben Eventlagen (uGL und oGL) der Neuenburg-Formation (Jüngeren Schotter) zu erkennen sind.

Es wurden 30 Proben zur Schwermineralanalyse aufbereitet. Die Ergebnisse sind als Diagramm dem Lithofaziesprofil gegenübergestellt (s. Anlage 11). Parallel wurde die Bohrung pollenanalytisch untersucht. Unterhalb von 106 m sind pliozäne Pollenspektren bei hoher Pollenkonzentration vorhanden. Auch im unteren Abschnitt spricht das gehäufte Auftreten von *Fagus* für eine Einstufung ins Pliozän. Von 106 bis 88 m weisen die vorhandenen Pollen (Koniferen) auf ein eher kühles Klima hin. Die Pollen aus 82 - 85 und 69 m indizieren interglaziale Verhältnisse, wobei wärmeliebende Elemente nur sehr schwach vertreten sind. Eine konkrete stratigraphische Zuordnung ist nicht möglich. Die Kiese oberhalb von 88 m waren pollenarm bis -frei (KNIPPING 2001).

Die Ergebnisse der Schwermineralanalysen der Proben aus der Iffezheim-Formation (165 bis 88 m) lassen eine Zweiteilung dieses Profilabschnitts zu. Im unteren Teil zwischen 165 und ca. 100 m zeigen die Proben eine recht gleichbleibende Mineralgesellschaft aus durchschnittlich 57 % instabilen Mineralen (davon 41 % Granat, 7 % Epidot, 8 % Hornblende, 1 % Alterit) und ca. 43 % stabilen und seltenen Mineralen (davon ca. 14 % Turmalin, 18 % Zirkon, 3 % Rutil, 4 % Anatas und 4 % seltenen Mineralen). In den Sedimenten der Iffezheim-Formation treten Monazit und Xenotim in geringen Prozentsätzen auf, wie es bereits in den anderen Vorkommen charakteristisch war.

Im Vergleich zu den Schwermineralspektren des unteren Teils der Iffezheim-Formation aus anderen Bohrungen (Hartheim, Nambsheim) zeigt sich, dass die Gehalte an Epidot und Hornblende in Plobsheim etwas höher ausfallen. Mögliche Ursache für die leicht veränderten Mineralanteile könnte eine verstärkte Zufuhr aus den Vogesen (vgl. Breusch-Sande, Kap. 4.1.3.3) oder der Elsässer Molasse sein.

Im oberen Teil der Iffezheim-Formation zwischen ca. 100 und 88 m geht der Anteil der instabilen Minerale (33 %), besonders des Granats (16 %), deutlich zugunsten der stabilen und seltenen Minerale (jetzt ca. 66 %) zurück. Der Zirkon erreicht hierbei den höchsten Zuwachs auf durchschnittlich ca. 38 %. Bereits in den Bohrungen Hartheim und Nambsheim konnte innerhalb der Iffezheim-Formation ein oberer Teil mit einem größeren Anteil an stabilen Mineralen abgeteilt werden. Die Abnahme des Granats in diesem oberen Teil in Plobsheim lässt sich gut mit den anderen Bohrungen vergleichen. Die Anteile von Epidot und Hornblende liegen dagegen höher als bei den Bohrungen aus dem südlichsten Bereich des Oberrheingrabens (s. o.).

Die Bodenbildung zwischen 92 und 88 m mit Tonanreicherung im unteren Teil (92 - 90 m) und Vergleyungserscheinungen im oberen Teil (90 - 88 m) dokumentiert eine längere Sedimentationsunterbrechung, die auf eine Stagnation der Absenkungstendenz des Grabens in dieser Region hindeutet. Die damit verbundene Verwitterung könnte den Anteil der instabilen Minerale im oberen Teil der Iffezheim-Formation vermindert haben, wodurch sich die stabilen Minerale relativ anreicherten. Auch ein Nachlassen der Schüttungen aus Schwarzwald und Vogesen, die u. a. Granat und Hornblende lieferten, und eine Aufarbeitung und Verwitterung der Grabensedimente kann die Ursache für die geringeren Anteile der instabilen Minerale sein.

Oberhalb von 88 m setzen kalkhaltige Kiesschüttungen ein. Während sich in der Probe aus 87,5 m

der höhere Anteil an Lokalsediment, der makroskopisch durch eine Rosafärbung abzulesen ist, auch im Schwermineralspektrum durch einen höheren Anteil an stabilen Mineralen (21 %) abzeichnet, dominieren oberhalb davon die instabilen Minerale alpiner Herkunft das Spektrum zu etwa 90 %.

Auffällig ist in der Abfolge zwischen 88 und ca. 51 m der relativ geringe Hornblende-Anteil von durchschnittlich nur 7 %, der diesen Abschnitt den Unteren Breisgau-Schichten zuordnet. In den Sedimenten oberhalb von 51 bis ca. 37 m zeigen sich ansteigende Hornblende-Werte, die durchschnittlich 16 % erreichen. Granat- und Epidot-Gehalte sind gleichzeitig in diesem Abschnitt (Obere Breisgau-Schichten) etwas rückläufig.

Oberhalb von 37 m werden die Sedimente den Jüngeren Schottern zugeordnet. Bei 37 bis ca. 33 m und zwischen ca. 26 bis 23 m treten Grobschüttungen auf, die den groben Ereignislagen (uGL und oGL) der Neuenburg-Formation entsprechen könnten. Das Spektrum verändert sich gegenüber der Breisgau-Formation nur geringfügig: Die Hornblende-Gehalte steigen auf 22 % im Mittel an, wobei der Epidot-Gehalt leicht zurückgeht (28 %).

Die Sedimente der obersten 15 m weisen im Geröllspektrum vermehrt lokale Gerölle auf. Das Schwermineralspektrum zeigt weiterhin eine alpine Dominanz, bei leichter Zunahme des Granats (38 %) und Rückgang der Hornblende (14 %). Auffällig ist aber in diesem obersten Bohrabschnitt das Auftreten von braunem Pyroxen (Augit, ca. 7 % im Durchschnitt), der aus dem Kaiserstuhl oder den Vogesen stammen könnte. GEISSERT et al. (1976) beschreiben für die Umgebung von Plobsheim das vermehrte Vorkommen von vulkanischen Geröllen aus dem Kaiserstuhl in den Rheinablagerungen, was mit Vorkommen des Augits im Schwermineralspektrum im Einklang steht.

# 4.2.16 Bohrung Offenburg

Offenburg BK34-1 La-Horie 34-1, R 3422984, H 5372142, 163,3 m NN, Endteufe: 52 m

Ca. 1,7 km nordöstlich der Innenstadt von Offenburg wurden vier Kernbohrungen niedergebracht. Die Stadt Offenburg liegt im Mündungsbereich der Kinzig (s. Kap. 4.1.2.7) in den Oberrheingraben. Die Bohrung BK34-1 befindet sich im Gebiet des Oberrheingrabens in direkter Nähe des Übergangs zur Vorbergzone des Schwarzwalds.

Das Lithofaziesprofil der Bohrung Offenburg BK34-1 ist in Abbildung 45 dargestellt. Die Bohrung durchteufte zwischen 52 und 46 m schwarzgraue Feinsedimente. Die Parallelbohrungen zeigen diese Feinsedimente in vergleichbaren Teufenbereichen. Von 46 bis ca. 30,5 m treten in den groben Kiesen vermehrt verwitterte Geröllkomponenten auf, die eine Zuordnung dieser Sequenz zu der Breisgau-Formation wahrscheinlich macht. Besonders der Profilabschnitt 46 - 44 m zeigt zahlreiche verwitterte Gerölle. Zum Teil sind auch frischere Kinzig-Schüttungen eingeschaltet.

Zum Hangenden folgen sandige Kiese in frischer Ausprägung, die dem Typ der Jüngeren Schotter entsprechen. In der Sandmatrix überwiegen rosa und gelbe Farbtöne, die auf einen hohen Zufluss von Lokalmaterial (Kinzig) deuten. Zwischen 26 und 24,5 m Teufe sind feinkörnige Hochflutsedimente eingeschaltet. Die charakteristischen Grobsedimentlagen der Neuenburg-Formation sind nicht nachzuweisen.

Zwischen 18,5 und 18 m kommen hellgelbe Feinsedimente vor, bei denen es sich vermutlich um Schwemmlöss handelt. Oberhalb von 16 m bis ca. 14 m treten sandige Feinsedimente auf, deren Ausbildung auf eine Ablagerung als Hochflutsedimente spricht. Am Top dieser Sequenz zeigt sich eine pedogenetische Überprägung.

Die obersten 14 Bohrmeter erbrachten eine mächtige Lössabfolge, die sich durch eine leichte Verbraunung bei ca. 6,5 m in zwei Abschnitte gliedern lässt. Auch in den Parallelbohrungen wurden vergleichbar mächtige Lösssedimente angetroffen, die ebenfalls durch Bodenhorizonte oder Einschaltungen von Schwemmlöss zu untergliedern waren.

Aus den sandig-kiesigen Partien des Bohrprofils wurden 11 Proben zur Schwermineralanalyse entnommen. Im Schwermineraldiagramm (s. Abb. 45) wird trotz der Nähe zum Grabenrand und der makroskopischen Lokalfärbung der Sedimente eine Dominanz der alpinen Minerale deutlich. Lediglich der etwas erhöhte Durchschnittswert der stabilen und seltenen Mineralen von 16 % (sonst etwa 10 %) lässt auf einen höheren Einfluss von Lokalsedimenten auf die Schwermineralverteilung schließen. Insbesondere die Proben aus 38,9 und 40,8 m weisen mit einem Anteil der stabilen und seltenen Minerale von 48 bzw. 34 % auf einen verstärkten Lokaleinfluss hin. Bei den instabilen Mineralen nimmt in diesen Proben besonders der Gehalt an Epidot ab, was die Annahme eines epidot-armen Eintrags aus dem Schwarzwald stützt. Ebenso ist das Auftreten der seltenen Minerale Monazit und Xenotim charakteristisch für der Herkunft der Sedimente aus dem Kristallin der Randgebirge.

Die klare Abgrenzung der Jüngeren Schotter (30,5 - 18,5 m) von der Breisgau-Formation (46 - 30,5 m) ist anhand des Schwermineraldiagramms nicht möglich. Generell zeigt sich jedoch eine Abnahme der Anteile an stabilen Mineralen von ca. 21 % in der Breisgau-Formation auf 8,8 % in den Jüngeren Schottern, ein Anstieg des Granats (40 %) und der Hornblende (23 %), und das gelegentliche Auftreten von grünen oder braunen Pyroxenen.



Abb. 45: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Offenburg BK 34-1.

# 4.3 Mittlerer Oberrheingraben

# 4.3.1 Bohrung Rheinmünster

#### R 3429700, H 5405850, ca. 120 m NN, Endteufe: 60 m

Die Bohrung Rheinmünster liegt ca. 2,7 km nordwestlich der Ortschaft Rheinmünster in direkter Rheinnähe. Sie wurde in einer mit Wasser verfüllten Kiesgrube (Fa. Krieger) abgeteuft und unterhalb von 35 m gekernt. Aus dem oberen Teil der Bohrung liegen Becherproben vor.



Abb. 46: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Rheinmünster.

Das Bohrprofil der Bohrung Rheinmünster (s. Abb. 46) zeigt zwischen 60 und ca. 51 m beigegraue bis graue alpine Sande. Bis 44 m folgen sandige bis tonige, teilweise humose Feinsedimente. Bei ca. 40 m setzen Kiesschüttungen ein, deren Farbe eine Mischung als Lokal- und Alpin-Komponenten erkennen lässt. Oberhalb von ca. 35 m bis 27 m herrschen wieder Sande bis sandige Fein-

sedimente vor, die vereinzelt Holzstücke enthalten. Der obere Teil der Bohrung enthält vermutlich künstliche Baggersee-Schwemmassen.

Die über das gesamte Bohrprofil entnommenen neun Sedimentproben zeigen durchweg ein alpingeprägtes Schwermineralspektrum mit durchschnittlich etwa 39 % Granat, 24 % Epidot, 21 % Hornblende, 8 % Alterit, 1 % Pyroxen, 3 % metamorphen Mineralen und 4 % stabilen Mineralen. Die makroskopisch anhand bunter Farbtöne erkennbaren Lokaleinflüsse zeichnen sich nicht im Schwermineraldiagramm (s. Abb. 46) ab. Das Pliozän, das in einer Bohrung bei Sessenheim am westlichen Rheinufer (ca. 4 km entfernt) in ca. 60 m Teufe in Form kalkfreier Sande auftrat (mündl. Mitteilung ELLWANGER), wurde nicht erreicht.

# 4.3.2 Bohrung Iffezheim

#### R 3437950, H 5408850, 128 m NN, Endteufe: 84 m

Die Bohrung Iffezheim liegt am südöstlichen Ortsrand von Iffezheim am Rand einer Kiesgrube. Die Entfernung zur südwestlich gelegenen Bohrung Rheinmünster beträgt etwa 8,7 km.

Der Schlauchbohrkern Iffezheim wurde in folgende lithofazielle Einheiten untergliedert (s. Anlage 12):

- 0 5 m Jüngere Schotter, deutlich erhöhter Anteil an Lokalkomponenten
- 5 20 m Jüngere Schotter, fluviatile Schotter
- 20 41 m Breisgau-Formation
- 41 84 m Iffezheim-Formation

Die Schwermineralspektren in den 83 untersuchten Proben spiegeln deutlich den Wechsel der pliozänen Iffezheim-Formation mit vorwiegend stabilen Mineralen zu den alpin geprägten Sedimenten der Breisgau-Formation wider. Eine Abgrenzung zwischen der Breisgau-Formation und den Jüngeren Schottern zeichnet sich im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 12) nicht ab (HAGEDORN 2000 a, b, HAGEDORN & BOENIGK 2000).

#### **Iffezheim-Formation**

Bei den kalkfreien Sedimenten zwischen 84 und 41 m Teufe handelt es sich um vorwiegend hellgefärbte, glimmerhaltige Sande, denen Fein- bis Mittelkiese sowie weissgraue und grünlichgraue Schluff- und Tonbänke mit Torflagen und Holzresten eingeschaltet sind. Nach ihrer Ausbildung in dieser Region wurden sie als Iffezheimer Schichten und schließlich als Iffezheim-Formation (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2004) bezeichnet. Die Sedimentabfolge lässt sich im Lithofaziesprofil (s. Anlage 12) in insgesamt sieben (A - G) Teilabschnitte untergliedern, die sich vorwiegend als fining-upward-Sequenzen darstellen. Die Zirkone liegen zum größten Teil als idiomorphe bis kantengerundete Kristallkörner vor. Vereinzelt treten bei den Zirkon-Kristallen Zonierungen auf. Häufig enthalten die farblosen Zirkone Einschlüsse, z. B. kleine Rutilnadeln. Der mittlere Prozentanteil an Zirkonen beträgt in den pliozänen Sedimenten ca. 44 %. Die Turmaline treten meist gut abgerundet und nur selten als prismatische Säulen auf. Sie sind von rotbräunlicher bis olivbrauner Farbe und zeigen einen deutlichen Pleochroismus. Der durchschnittliche Turmalin-Gehalt der Proben aus der Iffezheim-Formation liegt bei etwa 39 %. Wenige Turmaline, die jedoch in fast jeder Probe in geringem Prozentanteil vorkommen, zeigen eine auffallend tintenblaue Farbe.

Die Rutilkörner machen nur etwa 0 bis 4 % der Schwermineralfraktion aus. Sie treten in typischer Ausbildung als leuchtend braunrote, stengelige Kristalle - vereinzelt mit diagonaler Zwillingsstreifung - oder als Bruchstücke auf. Der Anatas (durchschnittlich ca. 10,5 %) ist meist tafelförmig auf anderen Körnern aufgewachsen. Seine optische Bestimmung ist oft problematisch, da er durch Einschlüsse fast opak ist oder zu klein, um eine sichere konoskopische Bestimmung durchführen zu können. Als seltene Minerale kommen Monazit, Xenotim, Brookit und Titanit in geringen Anteilen vor. Metamorphe Minerale sind in der Iffezheim-Formation sehr selten; nur in zwei Proben trat Sillimanit auf, Staurolith und Andalusit kamen vereinzelt außerhalb der Zähllinien vor.

In wenigen Proben aus der Iffezheim-Formation treten die instabilen Minerale Granat (bis max. 12 Prozent), Epidot (bis 12 %), Alterit (bis 5 %) und Hornblende (bis 3 %) auf. Dies beschränkt sich vorwiegend auf den Teufenbereich zwischen 75 und 55 m. Auf alle Proben der Iffezheim-Formation verteilt machen sie zusammen nur etwa 3 % des Spektrums aus. Vergleicht man dieses Schwermineralspektrum mit dem anderer untersuchter Vorkommen der Iffezheim-Formation, so lässt sich eine Korrelation mit dem oberen Teil dieser Formation, der im allgemeinen mehr stabile Minerale aufweist, vornehmen. Der geringe Anteil an instabilen Mineralen bei gleichzeitigem Vorkommen der seltenen Minerale Monazit und Xenotim, die aus dem kristallinen Basement des Schwarzwaldes stammen, deutet auf eine tiefgreifende Verwitterung und der damit verbundenen, fast vollständigen Auflösung der ehemals vorhandenen instabilen Minerale hin.

Ob unterhalb der erteuften Abfolge noch die Sedimente der unteren Iffezheim-Formation mit einem gemischten Schwermineralspektrum vorhanden sind, ist nicht bekannt. In den Rastatter Erdölbohrungen erreicht das Pliozän Mächtigkeiten von 85 m (BARTZ 1982), d. h. in Iffezheim sind unterhalb der Endteufe der Bohrung wahrscheinlich noch ca. 40 m pliozäne Sedimente zu erwarten. Vergleiche mit den Bohrungen Sessenheim und Soufflenheim (s. Kap. 4.3.3) lassen die Existenz der unteren Iffezheim-Formation in dieser Region vermuten.

#### **Breisgau-Formation, Jüngere Schotter**

Im Raum Iffezheim ist laut WERNER et al. (1995) die Kiesbasis der Grabenscholle rinnenartig eingemuldet; es handelt sich vermutlich um einen Ausläufer der südlich anschließenden Unzhurster Kiessenke (s. Kap. 2.2.2). Im tiefsten Teil der Rinne östlich des Rheins erreicht der Kiessandkörper rund 60 m Mächtigkeit, auf der östlich anschließenden Grabenrandscholle nur rund 27 m. Bei Iffezheim dagegen liegt eine Hochlage der Kiesbasis mit nur 35 bis 44 m Mächtigkeit u. GOK vor. Dies bestätigt die Lage der Kiesbasis in der Bohrung Iffezheim von ca. 41 m u. GOK.

Im Bohrprofil ist eine scharfe Grenze zwischen den kalkfreien, weisslichgrauen Sanden mit wenig Fein-Mittelkieseinschaltungen zu den deutlich gröberen, kalkhaltigen Kiesen der alpin-geprägten Schüttungen zu erkennen (s. Anlage 12). Die sandigen Kiese enthalten grobe Gerölle von Grundgebirgsmaterial, Buntsandstein und alpinen Geröllen. Die Sande liegen als Fein-, Mittel- und Grobsande vor. Sie sind von gelblichgrauer, grauer oder rötlichgrauer Farbe.

Mit Einsetzen der alpinen Sedimente bei 41 m Teufe gehen im Schwermineralspektrum die Anteile der stabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Anatas schlagartig zurück: Zirkon von durchschnittlich 44 % auf 6 %, Turmalin von 39 % auf 3,4 % im Mittel und Anatas von 10 % auf beinahe Null. Die seltenen Minerale sind in den quartären Sedimenten mit durchschnittlich 0,3 % ebenfalls deutlich seltener als in der Iffezheim-Formation (2,1 %). Die Minerale Granat, Epidot, Alterit und Hornblende machen oberhalb von 41 m mit durchschnittlich 86 % den für die alpin-geprägten Oberrheinsedimente typischen Großteil am Gesamtspektrum aus.

Der im Bohrkern erkenntliche Wechsel von der Breisgau-Formation zu den Jüngeren Schottern bei ca. 20 m u. GOK lässt sich im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 12) nicht feststellen. Insgesamt zeigen die Proben aus den oberen 41 m des Bohrkerns trotz einer großen Schwankungsbreite der einzelnen Werte ein recht einheitliches Schwermineralspektrum.

Die Granat-Gruppe setzt sich aus farblosen und rosafarbenen Granatkörnern zusammen, wobei die farblosen Körner überwiegen. Die Granate machen im Mittel 34 % am transparenten Schwermineralgehalt aus. Der Mittelwert der Granate im Abschnitt der Breisgau-Formation liegt mit 36 % leicht höher als in den Jüngeren Schottern mit 32 %. Den höchsten Granat-Wert weist die Probe 1,7 m aus den lokal dominierten Sedimenten der obersten 5 m der Bohrung mit 68 % auf.

Die Epidot-Gruppe wird von den farblosen bis leicht hellgrünen Epidoten dominiert. Grüne bis pistazienfarbene Varietäten treten nur vereinzelt auf. Die Gehalte an Epidot schwanken in den pleistozänen Sedimenten um einen Mittelwert von 19 %. Breisgau-Formation und Jüngere Schotter zeigen keine nennenswerten Unterschiede in ihren Epidot-Gehalten.

In der Gruppe der Hornblenden überwiegt der Anteil der grünen Hornblenden deutlich den der braunen und farblosen. Während in der Iffezheim-Formation kaum Hornblenden anzutreffen waren, beträgt der durchschnittliche Gehalt in der pleistozänen Abfolge ca. 22 %. Der Mittelwert des Hornblende-Anteils in der Breisgau-Formation liegt mit 20 % etwas niedriger als der Mittelwert in den Jüngeren Schottern, der bei 26 % liegt.

Im unteren Bereich der Breisgau-Formation ist eine leichte Zunahme der Hornblenden von der Basis (7 bis 8 %) bis etwa 35 m (19 %) festzustellen. Diese Tendenz ist jedoch nicht so deutlich ausgeprägt, wie in Bohrungen aus dem Südgraben, und durch zu wenige Proben belegt, um hier eine Abgrenzung von Unteren Breisgau-Schichten vorzunehmen.

Die Alterite erreichen durchschnittlich einen Anteil von 10 % am Schwermineralspektrum. Der Mittelwert in der Breisgau-Formation liegt mit 11 % etwas höher als in den Jüngeren Schottern (9 %).

In den Sedimenten der Breisgau-Formation oberhalb von ca. 30 m treten vereinzelt Pyroxene auf, deren Vorkommen in den Jüngeren Schottern mit durchschnittlich 1 % etwas konstanter wird.

Die durchschnittliche Summe der stabilen und seltenen Minerale innerhalb der Breisgau-Formation und der Jüngeren Schotter von ca. 13,5 % ist gegenüber anderen untersuchten Bohrungen (meist 10 %) aus dem Oberrheingraben leicht erhöht. Dies deutet auf einen vermehrten Zufluss von Lokalmaterial durch die Schwarzwaldflüsse Rench (s. Kap. 4.1.2.8), Achern und Murg (s. Kap. 4.1.2.9).

Die metamorphen Minerale Staurolith, Disthen, Andalusit und Sillimanit erreichen im Mittel nur etwa 2 %. Während die metamorphen Minerale in der Iffezheim-Formation fast vollständig fehlen, treten sie in den quartären Sedimenten mit etwa gleicher Häufigkeit in fast allen Proben auf.

## **Pollenanalyse**

Die Proben aus dem unteren, sandig-kiesigen Abschnitt der Breisgau-Formation (37,95 bis 40,88 m) waren pollenarm bis pollenfrei. Die wenigen gefundenen Pollenkörner weisen auf kühle bis gemäßigte Klimabedingungen, wohingegen tertiäre Taxa fehlen. Eine Stellung in das Quartär ist anzunehmen.

Die beiden Proben bei 46,63 und 46,65 m aus dem Bereich der Iffezheim-Formation weisen eine sehr hohe Pollendichte auf, die eine Einstufung in das Pliozän vermuten lässt. Vor allem *Sciadopitys* und *Taxodiaceae* sprechen eher für ein pliozänes als ein altpleistozänes Alter. In der Probe bei 46,63 m ist viel *Pinus*, *Ulmus* und *Picea* vorhanden, was für gemäßigte Klimabedingungen spricht. Bei ca. 55 m deutet sich eine Sumpfwaldvegetation an, bei der das gehäufte Auftreten von *Taxodiaceae* die Einstufung ins Tertiär belegt. Bei 59,9 m lässt sich möglicherweise durch die hohen *Fagus*- und *Pinus*-Anteile eine kühlere Phase ablesen. *Fagus* ist bis 60,25 m regelmäßig vorhanden. (KNIPPING 2001). Die Ergebnisse der Pollenanalyse bestätigen also die petrographische Einstufung der Sedimente unterhalb von 41 m Bohrteufe in das Pliozän.

### 4.3.3 Zum Vergleich: Bohrungen Soufflenheim / Sessenheim / Lauterbourg

Aus der Hagenauer Umgebung liegen die Schwermineralprofile der Bohrung Soufflenheim und der Bohrung Sessenheim in der Kiesgrube Ex-Mary-Kocher von BOENIGK (1987) vor. Sie liegen etwa 14 km westlich der Bohrung Iffezheim auf der gegenüberliegenden Rheinseite.

Das linksrheinische Pliozän läßt sich in vier Stufen gliedern (BRGM 1976 b). Der unteren Stufe, dem Brunssum, gehören die Vorkommen bei Soufflenheim, bei Sessenheim und Auenheim sowie das Pliozän in der Bohrung Lauterbourg an. Darüber folgen eine mittlere und obere Stufe mit Reuver-Alter, die in den Kiesgruben Soufflenheim, Sessenheim und Runzenheim erschlossen wurden und von geringer Mächtigkeit sind. Als Stufe 4 werden die plio-pleistozänen Grenzschichten ausgeschieden (BARTZ 1982).

In der Kiesgrube Mary-Kocher wurde mit der **Bohrung Sessenheim** (x = 1013570, y = 2199250, z = 117 m NN, s. Abb. 47) unter alpinen Rheinkiesen roter, kiesiger Sand erbohrt, der aufgrund seiner Molluskenfauna ins Endpliozän eingestuft wird (GEISSERT 1972, 1996). Dieser Sand ist kalkhaltig und enthält bereits das alpine Schwermineralspektrum. Hier zeigt sich, dass im Oberrhein ebenso wie in der Niederrheinischen Bucht der Einsatz von alpinen Sedimenten bereits im obersten Pliozän erfolgte (BOENIGK 1987). Weitere Hinweise hierfür liefert MÜNZING (1981), der in der Bohrung Elchesheim 2 südlich von Karlsruhe in grauen, kalkhaltigen Fein- und Grobsanden mit alpinem Schwermineralspektrum (58,5 - 59,2 m Teufe) auftretende Mollusken dem Oberpliozän zuordnet. Somit ist neben den Vorkommen bei Sessenheim (GEISSERT et al. 1976) auch auf badischem Oberrheingebiet oberpliozäne Molluskenfauna in Sedimenten mit alpinem Habitus belegt.

Zum Liegenden folgen in der Bohrung Sessenheim (Mary-Kocher) kalkfreie, z. T. humusreiche, rote und weisse Sande, die im oberen Teil ein dominant stabiles Schwermineralspektrum aufweisen, das im unteren Teil aber wieder vermehrt instabile Minerale, besonders Granat, beinhaltet. Dieses Spektrum im unteren Abschnitt der Bohrung vergleicht BOENIGK (1987) mit den Dinotheriensanden bei Eppelsheim (Obermiozän). Ähnliche Sedimente in der Niederrheinischen Bucht werden ebenfalls Mittel- bis Obermiozän eingestuft (BOENIGK 1981). Das stabile Spektrum darüber ordnet er der Fazies des "Weissen Pliozäns" zu. Ein vergleichbares Spektrum weisen die Kriegsheimer Sande Rheinhessens auf.

GEISSERT (1972) deutet die kalkfreien Sedimente der Bohrung Sessenheim zunächst aufgrund ihrer Makroflora ("Saugbaggerflora") als Ablagerungen des Reuver und der oberen Brunssum-Stufe. Später stellen GEISSERT et al. (1990, 1996) die Saugbaggerflora sie in den mio-pliozänen Grenzbereich, was BOENIGK's Korrelation mit den Dinotheriensanden entspricht. Die genaue Einstufung ins Brunssum oder ins Suster bleibt hierbei jedoch offen.



Abb. 47: Schwermineraldiagramm der Bohrung Sessenheim (Ex-Mary-Kocher, nach BOENIGK 1987, Einstufung nach GEISSERT 1972).

Die **Bohrung Soufflenheim** (BOENIGK 1987, x = 1012100, y = 2140300, z = 135 m NN) zeigt eine ähnliche Abfolge wie die Bohrung Sessenheim (Mary-Kocher). Auch hier werden die Sedimente, die ein Mischspektrum aus stabilen Mineralen und Granat zeigen (s. Abb. 48), in die Zeit Brunssum bis Reuver gestellt (GEISSERT 1972).



Abb. 48: Schwermineraldiagramm der Bohrung Soufflenheim (nach BOENIGK 1987).

Etwa 25 km weiter nördlich wurde von BOENIGK (1987) die **Bohrung Lauterbourg** (x = 1029110, y = 2157020, z = 110 m NN) untersucht. GEISSERT et al. (1976) beschreiben die Bohrabfolge als pliozäne (Brunssum) und pleistozäne Ablagerungen, wobei die kalkfreien pliozänen Sedimente einen hohen Glimmergehalt aufweisen. Die mittlere und obere Pliozänstufe (Reuver) sind im Bohrprofil offenbar nicht repräsentiert. Das Schwermineralspektrum der pliozänen Sande besteht sowohl aus den stabilen Mineralen Zirkon, Rutil-Anatas und Turmalin als auch aus den instabilen Mineralen Granat und Hornblende (BOENIGK 1987). Diese Zusammensetzung ähnelt dem Spektrum des unteren Teils der Iffezheim-Formation.

GEISSERT et al. (1976) weisen darauf hin, dass das Hagenauer Pliozän, dessen Material vorwiegend aus den Buntsandstein-Gebieten Nordvogesen stammt, glimmerfrei ausgebildet ist, hingegen glimmerführendes Pliozän, wie es in der Bohrung Lauterbourg angetroffen wurde, von weiterher angeliefert sein muss. Es dürfte aus den Kristallingebieten der Vogesen und des Schwarzwaldes stammen. Grundgebirgsmaterial ist auch im Pliozän der Grabenfüllung auf rechtsrheinischem Gebiet wiederholt festgestellt worden, aber stets ohne Hinweise auf alpine Komponenten (BARTZ 1982).

Bei Soufflenheim zeichnet BARTZ (1982) anhand sehr unterschiedlicher Teufen der Pliozän-Basis in Erdölbohrungen eine sich in nördlicher Richtung erstreckende Flussrinne nach, die mit pliozänen Sedimenten aufgefüllt wurde. Diese Rinnenfüllung ist älter (Pliozän I) als die in den Tagesaufschlüssen bei Soufflenheim anstehenden Schichten (Pliozän II). Die Flussrinne setzt sich weiter nach Norden fort.

Die vorliegenden Untersuchungen deuten folglich auf ein pliozänes Flusssystem, das sich im Bereich des mittleren Oberrheingrabens rinnenartig eingetieft hat und in dem Sedimente aus dem südlichen Graben und aus Schwarzwald und Vogesen abgelagert wurden. Da ein ähnliches Flusssystem bereits für die Zeit der Dinotheriensande angenommen wird, ist ein seit dieser Zeit durchgehend bestehender Ur-Rhein wahrscheinlich.

Die Sedimente mit einem gemischten Schwermineralspektrum aus stabilen und instabilen (vorwiegend Granat) Mineralen sind sowohl in den obermiozänen Dinotheriensanden als auch in pliozänen Ablagerungen (vermutlich Brunssum) anzutreffen. Die meisten Pliozänprofile, so auch die von MAUS (in BARTZ 1982) untersuchten Pliozänpegel PP19 und PP20 (s. Kap. 4.3.6) bei Karlsruhe, zeigen eine Abnahme des instabilen Anteils im Schwermineralspektrum zum Hangenden. So konnten bereits die Sedimente der Iffezheim-Formation an mehreren Profilen im Südgraben in einen unteren Teil mit einem Anteil an instabilen Mineralen und einen oberen Teil mit einem dominant stabilem Spektrum untergliedert werden. Als Ursache für die Abnahme der instabilen Minerale zum Hangenden ist eine Auflösung infolge von Verwitterung anzunehmen.

# 4.3.4 Bohrungen Rheinstetten

Rheinstetten KABA SP1 und BK1, R 3450318, 5425794, ca. 115 / 109,6 m NN, Endteufen: 13 m / 55 m

In der Kiesgrube Rheinstetten wurde eine Kernbohrung (BK1) von der Basis der Grube auf ca. 55 m unter der Kiesgrubensohle abgeteuft, eine weitere (SP1) erfasst von der oberen Abbaukante eine Abfolge von 13 m Sediment, die sich vermutlich um mehrere Meter mit der Abfolge der Bohrung BK1 überschneidet. Die Lithofaziesprofile beider Bohrungen sind in Abbildung 49 enthalten.

Die obersten etwa 5 m der Bohrung SP1 bestehen aus einer Lokalserie, die lagenweise kalkarm ist. Darunter folgt eine kalkreiche Sequenz mit zahlreichen alpinen Geröllen bis etwa 10 m, die darunter bis zu Endteufe der Bohrung von 13 m wieder in lokal geprägte kiesige Sande übergeht, die nur schwach kalkig sind.

Diese Lokalserie tritt am Top der Bohrung BK1 bis in 8 m unter GOK der Kiesgrube auf. Die kiesig-sandigen Sedimente darunter enthalten sowohl alpine Komponenten als auch Gerölle lokaler Herkunft. Auch in der Sandmatrix zeigen rosa und graue Farbtöne eine Durchmischung bzw. Wechsellagerung von alpinen und lokalen Schüttungen. Eine lithofazielle Unterscheidung in Breisgau-Formation und Jüngere Schotter wie im Südgraben lässt die Sedimentabfolge im Bohrkern nicht zu. Unterhalb von ca. 13 m treten zwar vereinzelt mürbe Schwarzwaldgerölle auf, aber die kennzeichnende diamiktische Ausbildung der Breisgau-Formation fehlt.

Über beide Bohrprofile verteilt wurden 12 Schwermineralproben entnommen und analysiert. Trotz des durch die Rosafärbung der Sedimente erkennbaren hohen Anteils von Lokalmaterial zeigt sich im Schwermineraldiagramm (s. Abb. 49) eine eindeutige Dominanz von alpinen Schwermineralen. Der hohe Schwermineralgehalt der alpinen Sedimente überdeckt vermutlich den Einfluss der schwermineralarmen Lokalschüttungen. Granat (38 %), Epidot (23 %), Hornblende (22 %) und Alterit (7 %) machen zusammen durchschnittlich 90 % des Spektrums aus. Oberhalb von ca. 27 m treten braune, grüne und vereinzelt farblose Pyroxene in geringen Anteilen (ca. 2,5 % im Mittel bis maximal 10 %) auf. Die metamorphen Minerale machen nur etwa 2 % des Gesamtspektrums aus, die seltenen und stabilen Minerale zusammen etwa 5,5 % im Mittel. Nennenswerte Veränderungen im Hornblende-Gehalt, wie es für die Breisgau-Formation des Südgrabens typisch ist, sind nicht festzustellen. Nur die oberste Probe aus 4 m Tiefe (SP1) zeigt mit 7 % Hornblende einen auffällig niedrigen Wert, der durch 52 % Granat ergänzt wird.



Abb. 49: Lithofaziesprofile und Schwermineraldiagramme der Bohrungen Rheinstetten SP1 und BK1.

Die Erdölbohrung Forchheim 1, die in direkter Nähe der Kiesgrube Rheinstetten auf 178 m Teufe niedergebracht wurde, ergab eine Quartärmächtigkeit von 57 m (+60 m NN) und eine Pliozän-Mächtigkeit von 121 m (Pliozän-Basis bei -61 m NN). Darunter folgen die Hydrobien-Schichten. Ein etwa 2 km südwestlich der KABA-Bohrungen Rheinstetten liegender Tiefpegel erfasste die Quartärbasis nach Schwermineralbefunden bei +55 m NN (ca. 63 m Quartär, BARTZ 1982). Acht Kilometer südöstlich der KABA-Bohrungen liegt die Bohrung Elchesheim 2 (R 3443850, H 5421050), an der in alpin-geprägten Sedimenten pliozäne Mollusken bestimmt wurden (MÜNZING 1981). Der Übergang vom Pliozän zum Quartär lag hier bei ca. 58 m u. GOK. Nach diesen Angaben scheint in der Bohrung BK1 Rheinstetten die Quartärbasis mit 55 m Endteufe unterhalb der Kiesgrubensohle (etwa 63 m Quartärmächtigkeit) beinahe erreicht zu sein. BARTZ (1982) gliedert in den genannten Bohrungen das Quartär in ein kiesarmes "Altquartär", das im Mittel 20 m mächtig ist, und ein 30 m mächtiges "Jungquartär" aus Kiesen, Sanden und Feinhorizonten. Eine derartige Untergliederung lässt sich am Bohrkern von Rheinstetten nicht bestätigen.

## 4.3.5 Bohrungen Eggenstein

Eggenstein BK1a: R 3453840, H 5438374, 101,4 m NN, Endteufe: 32,5 m Eggenstein BK2a: R 3453344, H 5438711, 102,4 m NN, Endteufe: 32 m Eggenstein BK3a: R 3453883, H 5438886, 101,8 m NN, Endteufe: 36 m Eggenstein BK4a: R 3453203, H 5439567, 102,5 m NN, Endteufe: 34 m Eggenstein BK5a: R 3453806, H 5440311, 102,3 m NN, Endteufe: 34 m Eggenstein BK6a: R 3454063, H 5439882, 101,8 m NN, Endteufe: 41 m

Die Bohrungen BK1a, 2a, 3a, 4a, 5a und 6a wurden in einem Kieswerk nordöstlich von Eggenstein abgeteuft und als Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Bohrungen liegen in der Rheinniederung im Bereich eines ehemaligen Rheinmäanders östlich von Eggenstein-Leopoldshafen und sind maximal etwa 2 km voneinander entfernt. Die Kernprofile der Bohrungen BK1a und BK2a wurden durch mehrere Proben schwermineralanalytisch untersucht, an den Bohrkernen BK3a, BK4a und BK6a wurden Einzelanalysen durchgeführt.

Aus der Nachbarschaft der Eggenstein-Bohrungen sind Bohrprofile aus dem Erdölfeld Leopoldshafen bekannt. In der Bohrung Leopoldshafen 1 ist das Pliozän ca. 108 m mächtig, das Quartär 76 m. Unter der Pliozänbasis (ca. -80 m NN) folgen die Oberen Hydrobien-Schichten. Nach Süden scheint die Pliozän-Basis auf etwa -70 m NN anzusteigen. Der Anstieg setzt sich in der Erdölbohrung Eggenstein 1 (-60 m NN) fort. Nach Widerstandmessungen liegt die Quartärbasis dort bei 43 m NN, das Quartär ist demnach 68 m mächtig. Etwas südlich von Eggenstein liegen die Erdölbohrungen Knielingen 1 bis 5 (ca. 45 m Quartär, Quartärbasis bei 60 m NN), Neureut-Karlsruhe-Linkenheim 1 (50 m Quartär, Quartärbasis bei 53 m NN) und Neureut 2H (48 m Quartär). Das
darunter lagernde Pliozän ist in dieser Region etwa 110 m mächtig. Eine Bohrung auf der anderen Rheinseite am Rand des Tongrubengeländes von Jockgrim ergab eine Quartärbasis von 53 m NN bei einer Quartärmächtigkeit von 64 m (BARTZ 1982).

In den Schwermineraldiagrammen der Bohrungen BK1a und BK2a (s. Abb. 50 und 51) zeichnet sich jeweils ein deutlicher Wechsel von einem vorwiegend stabilen Spektrum in kalkfreien Feinsedimenten zu einem dominant instabilen Spektrum in kalkhaltigen, z. T. kiesigen Sanden ab. Der Sedimentwechsel ist in fast allen Bohrungen in vergleichbarer Teufe von etwa 30 m u. GOK ausgebildet.

In bekannten Bohrungen im Umfeld von Eggenstein (s. o.) wurden bisher Quartärmächtigkeiten von etwa 45 bis 80 m angegeben. Bei den Bohrungen Eggenstein zeichnet sich dagegen eine Hochlage der Quartärbasis (30 m Mächtigkeit, Basis bei ca. 70 m NN) ausserhalb der Rinnenstruktur am Ostrand des Grabens ab. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei den kalkfreien, durch stabile Minerale geprägten Sedimenten um eine Lage aus Lokalschüttungen handelt, da die Bohrungen jeweils kurz nach Erreichen dieser kalkfreien Sedimente enden und zu wenige Analysen dieser Sedimente zum Vergleich mit bekannten Spektren von Lokal- und Pliozän-Sedimenten vorliegen.

## BK1a

Die kalkfreien Sedimente im untersten Abschnitt des Bohrkerns von 32,5 bis 29,5 m sind als toniges bis sandiges Feinkornmaterial in grüngrauer bis hellgelber Farbe ausgebildet. Beide entnommenen Proben zeigen ein dominant stabiles Schwermineralspektrum mit durchschnittlich ca. 57 % Turmalin, 18 % Zirkon, 20 % Anatas, 1,5 % Rutil, die durch die instabilen Minerale Granat (2,5 %) und Hornblende (1 %) ergänzt werden (s. Abb. 50).

Oberhalb von 29,5 m Tiefe setzen Kiessande ein, deren graugefärbte Matrix auf alpine Anlieferung schließen lässt. Nur vereinzelt zeigen sich lokale Einschüttungen durch Rosafärbung der Sedimente. Zwischen ca. 18 und 15,5 m und 13,5 bis 10,5 m sind sandige Sedimente eingeschaltet. Oberhalb eines sandigen, beige-gefärbten Kieses mit Steinen folgen wiederum Sande bis zum Top des Bohrprofils. Die sechs untersuchten Proben zeigen ein Spektrum mit etwa 92 % instabilen Mineralen (Granat, Epidot, Alterit, Hornblende), das ein alpines Liefergebiet belegt. Farblose und braune Pyroxene treten mit etwa 1 % auf, mit einem Maximum von 7 % in der Probe aus 7,5 m Tiefe. Die restlichen 7 % des Spektrums werden von metamorphen, stabilen und seltenen (Titanit) Mineralen gestellt.



Abb. 50: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Eggenstein BK1a.

#### BK2a

Auch das Bohrprofil BK2a (s. Abb. 51) beginnt mit kalkfreien, z. T. laminierten sandig-tonigen Feinsedimenten (32,5 bis ca. 30,3 m), die eine dunkelgraue Farbe aufweisen. Aus dem obersten Bereich dieser Sequenz wurde eine Probe (30,4 m) analysiert, die im Schwermineralspektrum hauptsächlich die Minerale Zirkon (37 %), Turmalin (37 %) und Anatas (23 %) aufweist. Instabile Minerale sind nur durch Granat (2 %) und Epidot (1 %) vertreten.

Oberhalb von 30,3 m sind die Sedimente bis etwa 29,5 m feinsandig und dunkelgrau und weisen nun Kalkgehalt und Glimmer auf. Den Einsatz alpiner Schüttungen belegt das Schwermineralspektrum der Probe aus 30,2 m Tiefe, die zu 95 % aus den instabilen Minerale Granat, Epidot, Hornblende und Alterit besteht. In den zum Hangenden folgenden Wechsellagerungen aus Sanden und sandigen Kiesen setzt sich dieses alpin geprägte Spektrum weiter fort. Im Vergleich zur benachbarten Bohrung BK1a liegen die Granat-Gehalte der Proben aus BK2a mit durchschnittlich 34 % etwas niedriger, die Hornblende-Gehalte mit 26 % und die Epidot-Gehalte mit 26 % dafür etwas höher. Die oberste Probe aus 4,5 m Tiefe weicht deutlicher vom Durchschnitt ab, da sie sehr granat-reich (58 %) und hornblende-arm (10 %) ist.



Abb. 51: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Eggenstein BK2a.

Die Lithofaziesprofile von BK1a und BK2a (s. Abb. 50 und 51) zeigen, dass sich die quartären Wechsellagerungen aus sandigen Kiesen und Sanden selbst auf diese geringe Distanzen nur schwer miteinander korrelieren lassen. Während z. B. die obersten 9 m des Bohrprofils von BK1a durch beige Sande aufgebaut wird, finden sich in den Nachbarbohrungen in diesem Bereich entweder rosa bis bunte Kiessande (BK4a), die mit gelben Sanden und humosen Feinsedimenten wechsellagern, oder gelbgraue Kiessande (BK2a). Ursache für diese kleinräumrigen Fazieswechsel ist die sich ständig verändernde, unterschiedliche Sedimentations- und Erosionsposition im mäandrierenden, fluviatilen System des Rheins.

## 4.3.6 Bohrungen Karlsruhe

Karlsruhe B1: R 3458500, H 5441500, 110 m NN, Endteufe: 35 m Karlsruhe B2: R 3458583, H 5441431, 110 m NN, Endteufe: 80 m

Die Bohrungen Karlsruhe B1 und B2 wurden im Bereich der Verglasungsanlage des Kernforschungszentrums nordöstlich von Leopoldshafen als Schlauchkernbohrungen abgeteuft. Die Bohrungen liegen ca. 11 km nordnordwestlich von Karlsruhe und etwa 2 km südöstlich der Ortschaft Linkenheim.

#### **Bohrung B1**

Das Kernprofil der Bohrung Karlsruhe B1 zeigt eine Wechsellagerung aus Sanden, Kiessanden und Kiesen (s. Abb. 52). Die Sandlagen, deren graue Färbung auf überwiegend alpine Anlieferung schließen lässt, enthalten häufig Holzreste und sind vermutlich mit den Zwischenhorizonten von BARTZ (1982) korrelierbar. Die Kiessande und Kiese zeigen durch vermehrte Anteile von Lokalmaterial häufig rosagraue bis rosa Farbtöne. Eine relativ grobe, graugetönte Kieslage zwischen ca. 19 und 15,5 m deutet ein energiereicheres Ablagerungsmilieu an. Diese Lage lässt sich mit einer ähnlichen Groblage in der Parallelbohrung B2 in vergleichbarer Teufe korrelieren.



Abb. 52: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Karlsruhe B1.

Das Schwermineralspektrum (s. Abb. 52) zeigt in allen untersuchten Proben eine Dominanz der instabilen Minerale Granat (33 %), Epidot (26 %), Hornblende (26 %) und Alterit (5 %), die das alpine Rheinspektrum repräsentieren. Die übrigen Minerale machen in Summe nur durchschnittlich 10 % aus. Höhere Anteile von Lokalmaterial (Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper im Hinterland), die sich im Bohrkern durch ein deutliche Rosatönung des Sediments abzeichnen, spiegeln sich aufgrund ihrer Schwermineralarmut nicht im Schwermineraldiagramm wider.

Eine deutliche Veränderung im Spektrum zeigt sich nur oberhalb von etwa 5 m, wo der Hornblende-Gehalt auf durchschnittlich 8 % zurückgeht, während der Granat-Gehalt (ca. 46 %) und Pyroxen-Anteil deutlich ansteigt. Während unterhalb von 5 m die Pyroxene nur etwa 1 % des Spektrums ausmachen, nimmt dieser Anteil in den obersten drei Proben bis 5 m Tiefe auf über 7 % im Mittel zu, wobei hauptsächlich die Probe aus 2,5 m mit 18 % Pyroxen für diesen deutlich erhöhten Mittelwert verantwortlich ist. Die Pyroxene sind vorwiegend graubraun gefärbt. Es handelt sich hierbei vermutlich um Augit. Eine Herkunft aus dem Kaiserstuhl steht zur Diskussion.

#### **Bohrung B2**

Die Sedimente der Schlauchkernbohrung B2 lassen sich grob in einen oberen Abschnitt (0 bis 45 m) mit bunten, z. T. groben Kiesen und Kiesanden mit nur vereinzelten Sandlagen, einen mittleren, deutlich sandreicheren Abschnitt (45 - 75 m) und einen unteren, kalkfreien Teil mit hellen Sanden (75 - 80 m) untergliedern, der vermutlich der Iffezheim-Formation (Pliozän) zuzuordnen ist (s. Lithofaziesprofil in der Anlage 13).

BARTZ (1959) gliedert die Sedimente in der Region um Leopoldshafen nach Auswertung zahlreicher Bohrungen in eine Obere kiesige Abteilung, eine Mittlere sandige Abteilung und eine Untere sandig-tonige Abteilung. Er weist jedoch darauf hin, dass sich selbst in dicht benachbarten Bohrungen einzelne Kies- und Sandbänke kaum horizontbeständig verfolgen lassen. Unter der Unteren sandig-tonigen Abteilung lagern kalkfreie, helle Tone, Schluffe und Sande des Pliozäns. Im Liegenden des Pliozäns folgen graue Tonmergel, die nach Mikrofauna-Untersuchungen den Oberen Hydrobien-Schichten angehören.

Die Obere kiesige Abteilung ist nach BARTZ (1982) auf dem Gelände des Wasserwerks des Kernforschungszentrums nordwestlich von Leopoldshafen (35 Bohrungen, G107) meist 35 bis 45 m mächtig und wird durch zwei feinkörnige Horizonte, die oft Holzreste enthalten, in drei Kieslager geteilt. Die feinkörnigen Zwischenlagen sind nicht in allen Bohrungen anzutreffen, da sie bei den folgenden Kiesschüttungen weitgehend ausgeräumt wurden (BARTZ 1982). Trotzdem führt BARTZ (1959) die Horizontbeständigkeit dieser Feinkornlagen auf eine ehemals flächenhafte Verbreitung zurück. Die etwa 20 - 30 m mächtige Mittlere sandige Abteilung zeigt nur geringmächtige Einschaltungen von Kieslagen oder durchhaltenden Feinkornlagen. Die Untere sandig-tonige Abteilung enthält mehrere Meter mächtige Schluffabfolgen. Nur vereinzelt treten in Sandlagen etwas Fein- und Mittelkies auf. Zu den unterlagernden pliozänen Sedimenten ist keine genaue Abgrenzung möglich; es erfolgt ein allmählicher Übergang.

Vergleicht man die Gliederung von BARTZ (1959) mit dem Bohrprofil der Bohrung B2, lässt sich

die Obere kiesige Abteilung in den obersten 45 m, die größtenteils aus kiesigen Sedimenten bestehen, wiedererkennen. Die Sedimente von 45 bis 75 m könnten der Mittleren sandigen Abteilung nach BARTZ entsprechen. Hier deuten die vorwiegend rosa Sedimentfärbungen auf einen höheren Anteil an Lokalmaterial. In diesem sandreichen Abschnitt war das Ablagerungsmilieu deutlich energieärmer als im oberen, kiesreichen Abschnitt.

Die Untere sandig-tonige Abteilung fehlt offenbar; es folgen in der Bohrung B2 die kalkfreien pliozänen Sedimente. Laut BARTZ (1982) handelt es sich im Gebiet des Kernforschungszentrums um Sedimente aus Pliozän I und II, während das Pliozän III fehlt. Da die Bohrung B2 nur 5 m dieser Sedimente durchteufte, ist eine Korrelation mit diesen Angaben nicht möglich.

Die aus 43 untersuchten Proben vorliegenden Schwermineralanalysen (s. Anlage 13) zeigen eine Untergliederung der Sedimentabfolge in einen durch alpine Schüttung dominierten Bereich oberhalb von 75 m und in einen durch mehr stabile Minerale geprägten Abschnitt unterhalb davon, der vermutlich den Übergang zur Iffezheim-Formation repräsentiert (HAGEDORN 2000 a, b).

In diesem untersten Abschnitt des Bohrprofils (80 - 75 m) deutet der hohe Anteil an stabilen Mineralen (29 % Turmalin, 22 % Zirkon, 3 % Rutil-Anatas) bei gleichzeitig fehlendem Kalkgehalt der Sedimente auf überwiegend lokale oder stark verwitterte Sedimente. Es handelt sich hierbei vermutlich um Sedimente der pliozänen Iffezheim-Formation. Das Auftreten der charakteristischen, seltenen Minerale Monazit, Xenotim und Brookit stützen diese Vermutung. Der Anteil an instabilen Mineralen ist in der Probe aus 75,5 m mit 61 % noch relativ hoch, nimmt aber mit der Teufe auf Werte von 31 % (77,5 m) bzw. 33 % (78,5 m) ab. Granat und Hornblende stellen hiervon die größten durchschnittlichen Anteile (Granat: 20 %, Hornblende: 14 %).

Die Durchschnittswerte der opaken Minerale liegen in den pliozänen Schichten mit 65 % deutlich über den Werten der alpin geprägten Sedimente mit durchschnittlich 39 %.

Oberhalb von 75 m beträgt die Summe der instabilen Minerale durchschnittlich 90 %, was eine alpine Anlieferung belegt. Davon macht der Granat 34 %, der Epidot 25 %, die Hornblende 24 % und der Alterit 7 % aus. Die stabilen und seltenen Minerale ergänzen das Spektrum um ca. 7 %, die metamorphen Minerale um ca. 2 % und Pyroxen um 1 %. Eine Untergliederung der Sedimentabfolge in Breisgau-Formation und Jüngere Schotter ist weder lithofaziell noch anhand der Schwermineralbefunde möglich. KNIPPING (2001) gibt für den Tiefenbereich 60 m in der Bohrung Karlsruhe B2 anhand von Pollenbefunden ein prä-cromerzeitliches / frühpleistozänes Alter bei warmzeitlichem Klima an.

Auch der Vergleich des kiesreichen Teils oberhalb von 45 m und des sandigeren Teils zwischen 45 und 75 m erbringt nur minimale Unterschiede in der Mineralverteilung, was auf gleichartige Liefergebiete schließen lässt. Der Anteil an stabilen und seltenen Mineralen liegt im sandigeren Abschnitt mit durchschnittlichen 7,9 % etwas höher als im oberen kiesigen Abschnitt mit ca. 6,3 %. Weiterhin sind die Granat-Werte im unteren Teil mit ca. 36 % etwas höher als im oberen Teil mit 32 %, ebenso die Epidot-Werte mit 26 % (unten) gegenüber 24 % (oben). Gegenläufig dazu nehmen die Alterit-Werte von unten 5 % auf oben 8 % zu, wie auch die Hornblende-Werte von 22 % auf 26 %. Zudem enthalten die oberen, kiesreicheren Sedimente etwas mehr Pyroxen (1,1 %) als die sandreichen (0,3 %). Die Pyroxene treten in der Bohrung B2 nur vereinzelt mit 1 bis 3 % auf, jedoch im Bereich von 41,5 bis 46,5 m in jeder untersuchten Probe.

Im sandigen Abschnitt (75 - 45 m) sind die Sedimente zwischen 49,5 und 56 m kalkfrei. Dieser Bereich zeichnet sich sowohl durch höhere Anteile an stabilen Mineralen (10 %) als auch durch höhere Granat- (47 %) und niedrigere Hornblende-Werte (11,5 %) aus. Die Probe aus 49,5 m enthält sogar 15 % Turmalin und 9 % Zirkon. Hier sind die Zirkon- und Turmalin-Körner ähnlich wie im untersten Bohrabschnitt (Iffezheim-Formation) deutlich angerundet. Weiterhin treten zwei tintenblaue Turmaline auf, wie sie für pliozäne Sedimente charakteristisch sind. In diesem Bereich scheint demnach ein Eintrag von aufgearbeitetem pliozänen Material stattgefunden zu haben. Nicht auszuschließen ist auch ein stärkerer Eintrag von Lokalmaterial.

In den obersten Bohrmetern (0,5 und 1,5 m) zeichnet sich eine deutliche Abnahme der Anteile an Hornblende (11 %) ab, wie es auch in der Parallel-Bohrung B1 und weiteren Bohrungen der Fall ist. Der Granat-Gehalt nimmt dagegen auf 43 % zu. Im Bohrkern zeigen die Sedimente im diesem Bereich gelbe Farbtöne.

#### Pliozänpegel PP19, Saugbohrung FWR7

Im Umfeld des Kernforschungszentrums sind aus früheren Untersuchungen einige Bohrprofile bekannt, die zum Vergleich herangezogen werden.

1976 wurden im Rahmen der hydrogeologischen Kartierung die als Pliozänpegel 19 und 20 (PP19 und PP20) bezeichneten Bohrungen niedergebracht. Der Pliozänpegel **PP19** (R 3458740, H 5438710, 111 m NN) liegt auf der östliche Grabenscholle ca. 2,8 km südsüdöstlich der Bohrungen B1 und B2. Der unterste Abschnitt der alpinen Sedimente und die pliozänen Sedimente der 147 m tiefen Saugbohrung wurden von MAUS (Archiv LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG) schwermineralanalytisch untersucht.

Im Bohrprofil PP19 ist die Sedimentabfolge folgendermaßen zu gliedern:

0 - 35,2 m	Jungquartär
35,2 - 53 m	Altquartär
53 - 74 m	Pliozän II
74 - 141,5 m	Pliozän I
141,5-147 m	Ob. Hydrobienschichten (blaugrüne Tonmergel)

Das Pliozän I (141,5 bis 74 m) zeigt im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 14) eine allmähliche Abnahme des Granats zum Hangenden, der an der Basis etwa 30 % des Spektrums ausmacht und bis zum Top des Pliozän I auf einen Durchschnitt von etwa 20 % zurückgeht. Epidot tritt mit durchschnittlich 8 % auf, Hornblende mit 4 %. Parallel mit dem Rückgang des Granat-Gehalts nimmt der stabile Anteil des Spektrums zu, wobei der Zirkon mit durchschnittlichen 27 % den Hauptteil ausmacht. Turmalin kommt in Anteilen von etwa 12 %, Anatas mit etwa 13 % und Rutil mit etwa 1 % vor. Seltene Minerale und Alterit wurden von MAUS nicht gezählt. Dafür gibt er Apatit in seinen Zählungen an, der in den Sedimenten des Pliozäns I mit mittleren 10 % deutlich über den Werten von durchschnittlich 4,7 % im Pliozän II liegt.

Das Pliozän II (74 - 53 m) baut sich aus hellgrauen und hellgelblichgrauen Mittel- und Grobsanden auf, denen etwas Feinkies mit Geröllen von Quarz, Grundgebirgsmaterial, Quarzit und Muschelkalkhornstein beigemischt ist. Es fehlen der obere Teil des Pliozän II und das Pliozän III (BARTZ 1982). Das Schwermineralspektrum ist in diesem Bohrabschnitt durch deutlich mehr stabile Minerale (ca. 72 %) als im Pliozän I (ca. 52 %) gekennzeichnet. Der Zirkon-Gehalt liegt durchschnittlich bei 38,5 %, der Turmalin-Gehalt bei 13 %, Anatas bei 18 % und Rutil bei 2,2 %. Der Granat-Gehalt ist auf mittlere 11 % abgesunken, weiterhin treten 7 % Epidot und 5 % Hornblende auf. Da sich in weiteren Untersuchungen von MAUS die Hinweise auf einen höheren Anteil von stabilen Mineralen im Pliozän II mehren, könnten diese Sedimente dem oberen Teil der Iffezheim-Formation im Südgraben entsprechen, wo sich vergleichbare Tendenzen abzeichnen.

Oberhalb von 53 m sind die Sedimente kalkhaltig, enthalten aber noch einzelne, aufgearbeitete Schluffbröckchen aus den pliozänen Sedimenten. Im Schwermineraldiagramm zeichnet sich gleichzeitig eine Dominanz der alpinen Minerale Granat (35 %), Epidot (31 %) und Hornblende (17 %) ab. Das "Altquartär" wird aus grauen bis rosafarbenen Sanden mit vereinzelt eingeschalteten Fein- bis Mittelkiesen aufgebaut und schließt mit einem Torfhorizont (35,2 bis 36 m) ab. Darüber folgen verstärkt Kiesschüttungen mit Sandlagen, die weiterhin rötlichgraue Farbtöne aufweisen.

Im Vergleich zeigt sich in der Bohrung PP19 mit 53 m u. GOK (58 m NN) eine wesentlich höhere Quartär-Basis als mit 75 m u. GOK (35 m NN) in der Bohrung B2.

Die etwa 2,3 km nordnordöstlich der Bohrungen B1 und B2 liegende Saugbohrung **FWR7** (R 3458960, H 5443790, 109 m NN) zeigt mit ca. 85 m quartären Sedimenten eine höhere Quartärmächtigkeit als der Pliozänpegel PP19 (53 m) und die Bohrung B2 (75 m).

Die pliozänen Sedimente reichen in der Bohrung FWR7 bis in 225 m Teufe, darunter folgen grünlichgraue Kalkmergel der Oberen Hydrobienschichten (Miozän). Im Schwermineraldiagramm (s. Anlage 15) fällt wiederum ein oberer Teil des Pliozäns (87 bis ca. 140 m) durch hohe Anteile an stabilen Mineralen (77 %) auf. Der Zirkon macht hierbei mit 44 % den größten Anteil aus. Unterhalb von 140 m nimmt der Gehalt an instabilen Mineralen deutlich zu (ca. 30 %), wobei in diesem Profil nicht nur der Granat- (ca. 10 %), sondern auch der Epidot- (ca. 10 %) und der Hornblende-Gehalt (ca. 10 %) ansteigen. Dieser Bereich könnte dem unteren Teil der Iffezheim-Formation entsprechen.

Die kalkreichen sandigen Kiese oberhalb von 85 m zeigen ein Schwermineralspektrum aus 22 % Granat, 29 % Epidot, 26 % Hornblende, 12 % stabilen Mineralen, 10 % Apatit und 1,7 % metamorphen Mineralen.

# 4.3.7 Bohrung Kronau

Bohrung Kronau BK2, R 3472495, H 5454219, 107,1 m NN, Endteufe: 98 m

Am östlichen Ortsrand von Kronau wurde die Kernbohrung Kronau BK2 mit hydrogeologischen Untersuchungszielen abgeteuft. In direkter Nachbarschaft liegen die Bohrungen BK4 (50 m), GWM1 (37 m) und GWM3 (35 m), wovon die beiden letzten als Grundwassermessstellen ausgebaut wurden.

Nach der HGK (1988) werden die Sedimente in der Umgebung von Kronau in ein Oberes Kieslager, einen Oberen Zwischenhorizont, ein Mittleres Kieslager und das Altquartär 2 und 1 bis zur Grenze zum Pliozän gegliedert. WERNER et al. (1995) geben für die Bohrung Ro6817/B5 südlich von Kronau für das Obere Kieslager eine Mächtigkeit von ca. 38,5 m an, darunter folgt das Mittlere Kieslager bis eine Teufe von 71,5 m. Die tiefere Quartärabfolge wurde nicht erreicht.

In der Spülbohrung 11 der Fernwasserversorgung FWRB 11 Rheintal (R 3471230, H 5455060) ca. 1,5 km nordwestlich der Bohrung Kronau B2 liegt die Quartärbasis nach geophysikalischen Messungen bei 168 m u. GOK. MÜNZING (1981) untersuchte hier Mollusken aus der Teufe 154,5 - 157,5 m, die er ins obere Pliozän stellt, und daher die Quartärbasis darüber einstuft. Weitere Untersuchungsergebnisse liegen zu einem Versuchstiefbrunnen bei Kronau (R 3472020, H 5455000, 150 m tief) ca. 1 km nordwestlich der Bohrung Kronau B2 aus dem Archiv des LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG vor. Hier liegt die Tertiär-Quartär-Grenze nach Schwermineralbefunden bei 143 m.

Da die Bohrung Kronau BK2 (s. Lithofaziesprofil in der Anlage 16) nur eine Tiefe von 98 m erreicht, ist die Quartärbasis nicht im Bohrprofil erfasst. Im Vergleich zu der von WERNER et al. (1995, s. o.) beschriebenen Abfolge durchteuft die Bohrung das Obere und Mittlere Kieslager. Die Sedimente setzten sich aus Wechsellagerungen aus Sanden, Kiesen und Feinsedimenten zusammen. Die kiesigen Partien sind vorwiegend bunt bis rosa gefärbt, was auf eine Anlieferung der Gerölle aus den Grabenrandgebieten (Muschelkalk, Buntsandstein) schließen lässt. Alpine Gerölle sind im Vergleich zu den Südgraben-Sedimenten seltener vorhanden. Dennoch zeigen einige Sandabschnitte anhand grauer Farbtöne eine alpine Herkunft an. Weiterhin zeichnet sich im Kernprofil zwischen ca. 37 und 39 m ein Feinkornhorizont ab, der dem Oberen Zwischenhorizont (HGK 1988) entsprechen könnte. Dies steht in guter Übereinstimmung zu den Untersuchungen von WERNER et al. (1995), die für den OZH der Bohrung Ro6817/B5 eine Teufe von ca. 38,5 m u. GOK angeben. In der Bohrung Kronau BK2 treten im Liegenden weitere Feinkornlagen bei ca. 63,9 bis 66 m, bei 75,8 - 76 m, bei 78 m und bei 82 bis 82,5 m auf. Im Vergleich mit den Parallelbohrungen (BK4, GWM1 und GWM3) zeigt sich der Zwischenhorizont in etwa 30 bis 37 m u. GOK durchgehend. Ein Vergleich der tieferen Feinkornlagen ist aufgrund der zu geringeren Endteufen der Parallelbohrungen nicht möglich.

Pollenführende Feinsedimente aus der Bohrung GMW3 wurden von BLUDAU (2001) zwischen 25 und 26 m sowie zwischen 32 und 35 m untersucht. Die Pollenzone zwischen 25 und 26 m ist durch hohe Werte von wärmeliebenden Bäumen charakterisiert. Im unteren Abschnitt zwischen 32 und 35 m zeichnet sich das Ende einer Warmzeit ab. Die stratigraphische Zuordnung dieser beiden Warmzeiten ist schwierig. Nur Holstein und die folgenden Intra-Riss-Warmzeiten können sicher, Cromer dagegen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Daher ist die wahrscheinlichste Interpretation, den entsprechenden Profilabschnitt als unvollständige Sequenz des Eems / St. Germain anzusehen. Der pollenanalytisch untersuchte Feinkornhorizont in 25 - 26 m Tiefe fehlt in der Bohrung BK2. Ob die sandigen Feinsedimente zwischen 37 und 39 m in BK2 denen in GWM3 in 32 bis 35 m entsprechen, kann nur vermutet werden.

Das Schwermineraldiagramm der Bohrung Kronau BK2 (s. Anlage 16) zeigt über das gesamte Bohrprofil eine alpine Mineraldominanz von über 90 % Granat, Epidot, Hornblende und Alterit in Summe. Im Schwermineralprofil lassen sich nur geringfügige Unterschiede ablesen. So nimmt z. B. der Hornblende-Gehalt vom Liegenden zum Hangenden leicht zu. Während unterhalb von etwa 55 m die Hornblende-Werte durchschnittlich nur ca. 16 % betragen, steigen sie darüber auf einen Mittelwert von etwa 30 % an. Gleichzeitig zeigt sich ein Rückgang des Granats von ca. 41 % im unteren Teil auf 33 % oberhalb von 55 m, der Epidot nimmt von 29 auf 24 % ab. Zudem ist der Anteil an metamorphen, stabilen und seltenen Mineralen im unteren Teil mit 9,2 % etwas höher als im oberen Teil mit 7,3 %. Möglicherweise lässt sich der Bohrabschnitt unterhalb von etwa 55 m mit den Schwermineralspektren der Unteren Breisgau-Schichten korrelieren, die ähnliche Tendenzen aufweisen. Die Korrelation ist aber über die große Distanz zu den Südgraben-Sequenzen ohne entsprechende Zwischenprofile unsicher.

Pyroxene treten in der gesamten Sedimentabfolge meist nur in kleinen Prozentanteilen auf, jedoch zeigt sich - wie bereits in anderen Bohrungen - ein leicht gehäuftes Vorkommen im obersten Profilabschnitt oberhalb von etwa 12 m. Die Pyroxene sind braun, farblos oder grün. Zum Top der Bohrung zeigen die Hornblenden wieder eine leicht rückläufige Tendenz.

# 4.3.8 Bohrungen Bienwald

Im Rahmen von hydrogeologischen Untersuchungen des Trinkwassergewinnungsgebietes Bienwald in der Südpfalz wurden grenzübergreifend auf fränzösischem und deutschem Gebiet zahlreiche Bohrungen niedergebracht und der Untergrund geoelektrisch vermessen (VERBANDS-GEMEINDE BAD BERGZABERN / VILLE DE WISSEMBOURG 2001).



Abb. 53: Lage des pliozänen Randgrabens (gelb) und Lage der Bohrpunkte im Bienwald (VERBANDSGEMEINDE BAD BERGZABERN / VILLE DE WISSEMBOURG 2001).

Die Ergebnisse zeigen einen nordsüd-streichenden pliozänen Randgraben, der im Westen, Osten und Norden von tektonischen Hochschollen begrenzt wird, die ihn von der Zwischenscholle im Westen und der zentralen Grabenscholle im Osten trennen (s. Abb. 53). Die Basisfläche des über 20 km langen Randgrabens ist durch Querstörungen treppenartig nach Süden versetzt. Nach Norden keilt der Graben auf Höhe des Klingbaches aus, im Südwesten mündet er jenseits einer Abschiebung, die parallel zu der westost-streichenden Pechelbronner Störung verläuft, in das Hagenauer Becken. Die maximale Breite des Randgrabens beträgt auf Höhe des Bienwalds ca. 5 km. Das Gebiet des Bienwalds war während des Pliozäns ein Hochgebiet, auf dem nur geringmächtige Sedimente abgelagert wurden, die z. T. später wieder erodiert wurden. Im Graben blieben dagegen ca. 60 bis 110 m mächtige Pliozän-Sedimente erhalten.

Im zentralen Teil des pliozänen Randgrabens steht an der Pliozänbasis eine mehrere Meter (bis 30 m) mächtige Kies-Grobsand-Schicht (Untere Schichtenfolge) an, die dem gering durchlässigen älteren Tertiär (Oligozän und Miozän, Mergel- und Kalksteine mit Evaporitlagen) aufliegt. Sie stellt den wasserwirtschaftlich bedeutenden, tiefen Grundwasserleiter (Unterer Pliozäner Grundwasserleiter) dar. Diese Ablagerungen bestehen vorwiegend aus Quarzen, Feldspäten, kristallinen Gesteinsbruchstücken (mit Quarz, Feldspat, Amphibol, Muskovit, Biotit und Chlorit) sowie groben Sandsteinen, Brekzien und einzelnen Holzstückchen. Ein Großteil der Klastika ist nur kantengerundet, was auf gravitativ beeinflusste Ablagerungen mit hoher Transportenergie (mass flows) schließen lässt (VERBANDSGEMEINDE BAD BERGZABERN / VILLE DE WISSEMBOURG (2001).

Darüber folgt ein markanter, stark organischer bis torfiger Ton/Schluff-Horizont (Untere Zwischenschicht). Er ist innerhalb des Randgrabens flächenhaft vorhanden und bewirkt die hydraulische Absperrung des Unteren Pliozänen Grundwasserleiters, wodurch das Grundwasser stark gespannt ist, auf einer Fläche von ca. 25 km<sup>2</sup> im Bereich des Bienwalds artesische Verhältnisse aufweist und generell von Norden nach Süden auf die Entnahmebrunnen zuströmt.

Ausserhalb der pliozänen Grabenstruktur fehlen die Untere Schichtenfolge und die Untere Zwischenschicht.

Der Mittlere Grundwasserleiter wird großräumig als Mittlere Schichtenfolge zusammengefasst. Sie beinhaltet eine Wechselfolge von grundwasserleitenden, sandigen Horizonten und geringleitenden Ton/Schluff-Einschaltungen. Pleistozäne Sedimente, die aus mehreren Feinkornlagen bestehen, schließen die Schichtenfolge mit einigen Metern Mächtigkeit ab. Je nach Einlagerung von Ton/Schluff-Lagen ergibt sich eine mehr oder minder starke hydraulische Trennung zu dem überlagernden Oberen Grundwasserleiter.

Der oberflächennahe Grundwasserleiter (Obere Schichtenfolge) ist sehr heterogen aufgebaut. Im Bereich der Niederterrasse des Bienwald-Schwemmfächers der Lauter können die geringmächtigen (wenige Meter bis maximal 15 m), sandig bis kiesigen Niederterrassenablagerungen als Oberer Grundwasserleiter angesehen werden. Die Sedimente stammen aus dem Pfälzerwald und den Vogesen und wurden vorwiegend während Riss und Würm abgelagert.

Auf den Riedelflächen mit mächtiger Lössbedeckung wird der obere Bereich bis etwa 20 m Tiefe als Oberer Grundwasserleiter zusammengefasst.

Trotz fazieller Unterschiede und unterschiedlicher Mächtigkeiten der einzelnen Schichtglieder sind sie im Grabenbereich von Nord nach Süd weitgehend durchgängig ausgebildet.

Insgesamt wurden acht Bohrungen (A - H, s. Abb. 53) bis zur Pliozänbasis niedergebracht und nach anschließender geophysikalischer Vermessung zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Bohrungen wurden im Rotary-Verfahren mit beschwerter Bohrspülung abgeteuft. Aus drei Bohrungen wurden Proben zur Schwermineralanalyse entnommen. Da es im Material aus Spülbohrungen zu Verunreinigungen im Schwermineralspektrum kommen kann, und zudem das vorliegende Sedimentmaterial z. T. sandfrei war, erschien eine detailliertere Analyse nicht sinnvoll.

#### 4.3.8.1 Bohrung B Mundatwald

R 3429102, H 5430535, 142 m NN, Endteufe: 114 m

In der Bohrung B Mundatwald wurde auf der nach Südwesten einfallenden Grabenscholle die tiefste erbohrte Pliozänbasis erfasst. Die Bohrung lässt sich folgendermaßen gliedern (s. Lithofaziesprofil in Abb. 54):

0 -	8 m:	Obere Schichtenfolge, Sand und Feinkies, beigebraun
0	74	Mittlere Schichtenfelge: humage condige Ecingedimente heller

- 8 74 m: Mittlere Schichtenfolge: humose sandige Feinsedimente, hellgrau bis schwarzgrau,
  Holzreste
- 74 92 m: Untere Zwischenschicht: humose Feinsedimente bis Sande, beigebraun bis schwarzbraun
- 92 108 m: Untere Schichtenfolge: Feinkies bis Grobsand, grau
- 108 114 m: Ton, graugrün (älteres Tertiär, Oligozän oder Miozän)

Aus dem Bohrmaterial wurden vier Proben untersucht, die aus 2 bis 61 m Tiefe stammen. Darunter waren die Sedimente zu feinkörnig, oder der Sandanteil war durch das Spülverfahren ausgeschwemmt. Im Schwermineraldiagramm (s. Abb. 54) zeigt sich eine sehr einheitliche Mineralzusammensetzung aus Turmalin (68 % im Mittel), Zirkon (25,5 %), Rutil (1 %) und Anatas (5,5 %). Dieses Mineralspektrum deutet durch die hohen Turmalin-Werte auf ein Liefergebiet im Buntsandstein des Pfälzerwaldes (SINDOWSKI 1958). Das Schwermineralspektrum gleicht dem der Riedseltzer Sande (s. Kap. 4.3.9), der Kriegsheimer Sande (s. Kap. 4.4.11.3) und der Freinsheim-Schichten (s. Kap. 4.4.11.4).



Abb. 54: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung B Mundatwald.

# 4.3.8.2 Bohrung C Hippodrome Wissembourg

#### R 3425705, H 5431568, 153 m NN, Endteufe: 83 m

Die Bohrung C Hippodrome Wissembourg befindet sich im westlichen Teil der Grabenstruktur. Es wurde folgende Einstufung der Sedimentabfolge vorgenommen (s. Abb. 55):

|--|

- 22 54 m: Mittlere Schichtenfolge: schluffig-tonige Feinsande, graubraun, Holzstücke
- 54 68 m: Untere Zwischenschicht: humose sandige Feinsedimente, dunkelgraubraun
- 68 77 m: Untere Schichtenfolge: Feinkies an der Basis, grau, Feinsand, graubraun
- 77 83 m: Ton, grünlichgrau (älteres Tertiär)



Abb. 55: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung C Hippodrome Wissembourg.

Von der Bohrung C wurden drei Proben aus den obersten 8 m untersucht. Wiederum zeigt sich im Schwermineralspektrum (s. Abb. 55) eine Dominanz des Turmalins (62 % im Mittel), ergänzt von

Zirkon (30 %), Anatas (3 %) und Rutil (3 %) (s. Abb. 55). Diese Mineralverteilung lässt sich aus dem Buntsandstein des Pfälzerwaldes ableiten. In der obersten Probe (3 m) wurden 6 % Granat und 2 % Hornblende gezählt. Dieser minimale Anteil an instabilen Mineralen könnte durch fluviatile Einflüsse oder äolischen Eintrag in das Sediment gelangt sein. Eine Analyse der unteren Sequenzen des Bohrprofils war aufgrund der schlechten Probenqualität nicht möglich.

# 4.2.8.3 Bohrung G Deutschhof

R 3428888, H 5439098, 164 m NN, Endteufe: 75 m

Die Bohrung G Deutschhof, die im nördlichen Bereich der Grabenstruktur abgeteuft wurde, zeigt folgenden Schichtaufbau (s. Abb. 56):

0 - 8 m:	Feinsediment, gelbgrau-gelbbraun	
8 - 23 m :	Obere Schichtenfolge: Sande und sandige Feinsedimente, gelbbeige-graubeige	
23 - 47 m:	47 m: Mittlere Schichtenfolge: Fein- bis Mittelsand, graubraun, humoses Feinsedim	
	dunkelgraubraun, Holzreste	
47 - 50 m:	Untere Zwischenschicht: humoses Feinsediment, dunkelgraubraun	
50 - 63 m:	Untere Schichtenfolge: Grobsand und Feinkies, fluviatil, kantengerundet, grau-	
	beige	
63 - 75 m:	Ton, grüngrau, mit Sandlagen (Miozän, Oligozän)	

Die Schwermineralproben stammen aus 9 und 53 m Tiefe. Der Turmalin macht mit durchschnittlich 50 % wiederum den Großteil des Spektrum aus. Zirkon tritt mit etwa 37 % im Mittel auf, Rutil mit 4,5 % und Anatas mit 6 %. In der Probe aus 9 m kommen die instabilen Minerale Granat (1 %), Epidot (2 %), Hornblende (1 %) in geringen Anteilen vor, wie bereits in der obersten Probe der Bohrung C. Weiterhin wurden wenige Körner seltener Minerale (Titanit, Xenotim, Brookit) bestimmt (s. Abb. 56).



Abb. 56: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung G Deutschhof.

## 4.2.8.4 Bohrung Bienwaldbrunnen / Kapsweyer

#### Brunnenbohrung Bienwald, R 3428075, H 5432750, 149 m NN, Endteufe: 74 m

Aus einer früheren Untersuchung (1980) der Bohrung Bienwaldbrunnen (ca. 100 m) liegen Schwermineraldaten aus dem Archiv des LANDESAMTES FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ vor, die in der Abbildung 57 als Schwermineraldiagramm dargestellt sind. In den obersten 54 m der Bohrung, die Schüttungen aus dem angrenzenden Buntsandstein-Gebiet (Obere Schichtenfolge) sowie die hellgrauen und gelblichgrauen Sande des Pliozäns umfassen (Mittlere Schichtenfolge und Untere Zwischenschicht), sind ausschließlich die stabilen Schwerminerale Turmalin (22 %), Zirkon (48 %), Rutil (3 %) und Anatas (27 %) vorhanden. Gelegentlich sind weisse, gelbe oder graue Tonlagen sowie dunkle Torflagen und Holzreste eingeschaltet. Unterhalb von 54 m treten im Schwermineralspektrum zusätzlich zu den stabilen Mineralen auch die instabilen Minerale Granat (17 %), Epidot (2 %) und Hornblende (5 %) auf. In diesem Bereich der Bohrung traten die sandigen bis kiesigen, fluviatilen Schüttungen des Pliozäns (Basiskieslage, Untere Schichtenfolge) auf. Unterhalb von 85 m Tiefe handelt es sich nach mikropaläontologischen Untersuchungen um umgelagertes Miozän und Oligozän.

Eine ähnliche Schwermineralabfolge erwähnt BARTZ (1982) in einer Bohrung am Sandbuckel (pfälzische Rheinebene). Oberhalb von 55 m Tiefe (+94 m NN) treten ausschließlich Zirkon, Turmalin, Anatas und Rutil auf, darunter auch Granat, Epidot und grüne Hornblende. Dies weist darauf hin, dass das Material oberhalb von 55 m Tiefe vorwiegend aus den Buntsandstein-Gebieten der Haardt stammt, die tieferen Schichten aber auch Material aus dem Süden bezogen. Auch in der Bohrung W156 (Blatt Wörth, BARTZ 1982) südöstlich von Hagenbach treten in pliozänen Sedimenten neben hohen Zirkon-Gehalten höhere Granat- und Hornblende-Gehalte auf, die aus Gesteinen von Schwarzwald und Vogesen stammen.

Ähnliches muss für die Untere Schichtenfolge in der Bohrung Bienwaldbrunnen und für die anderen Bienwald-Bohrungen angenommen werden. (Aus dem Bereich der Unteren Schichtenfolge liegen aufgrund der schlechten Sedimenterhaltung in den Spülproben keine Analysenergebnisse vor). Es zeichnet sich eine fluviatile Sedimentation der Unteren Schichtenfolge aus Material von den Randschollen vermischt mit Schüttungen aus Schwarzwald und Vogesen in den absinkenden Graben ab, was mit der lithologischen Ausbildung der Sedimente (Gesteinsbruchstücke des Kristallins, s. o.) übereinstimmt. Vermutlich hat zu Beginn der Randgraben-Einsenkung der pliozäne Ur-Rhein aus Süden kommend seine Sedimentfracht in diesem Bereich abgelagert. Anschließend verlagerte sich dieses Flusssystem nach Osten in den Hauptgraben, und es erfolgten ausschließlich lokale Schüttungen aus dem Pfälzerwald in den Randgraben.



Abb. 57: Schwermineraldiagramm der Bohrung Bienwaldbrunnen (nach Archivdaten vom LGB RHEINLAND-PFALZ).

### 4.3.9 Sandgrube Riedseltz

#### x = 1011750, y = 2460000, z = 180 m NN, (R 3424190, H 5429910)

VAN WERVEKE (1892) beschreibt erstmals die "Riedselzer Sande" im Nord-Elsass und gliedert sie in eine Untere sandig-tonige und eine Obere sandig-kiesige Einheit. Die obere Einheit besteht aus kiesigen, glimmerhaltigen Sanden, die weiss bis ockergelb, kalkfrei und wenige Meter mächtig sind. Bei den Geröllen handelt es sich um gebleichten Buntsandstein, Milch- und Gangquarz, Quarzit und Muschelkalkhornstein. Die untere Einheit setzt sich aus weissen, hellockergelben bis blassroten, glimmerfreien Sanden zusammen, denen in mehreren Niveaus hellgrünlichgraue und braune, humose Tone eingeschaltet sind. Untergeordnet finden sich auskeilende Lagen von Feinkies mit Geröllen von Milch- und Gangquarz und gebleichtem Buntsandstein.

Die Abfolge wurde in der Bohrung Riedseltz (BRGM 1976 b) in einer Mächtigkeit von ca. 20 m angetroffen. Laut GEISSERT (1996) sind die Sande fossilfrei. Nur in Ausnahmefällen wurden in den tonig-sandigen Zwischenlagen Blattreste gefunden. Stratigraphisch werden die Riedseltzer Sande als obere Sande des "Weissen Pliozäns" bezeichnet.

In der Sandgrube Riedseltz wurden vier Sedimentproben zur Schwermineralanalyse entnommen. In der Grube sind rotgefärbte Rinnensedimente über hellen bis hellbraungelben Quarzsanden des Pliozäns aufgeschlossen. Am Top der Abfolge sind einige Meter mächtige Lösssedimente erhalten. Eine parallel zur Hauptrandverwerfung des Oberrheingrabens verlaufende Störung versetzt die Sedimente im Grubenbereich um mehrere Meter.



Abb. 58: Schwermineraldiagramm der Proben aus der Sandgrube Riedseltz.

Sowohl die beiden Proben aus den roten Rinnensedimenten als auch die Probe aus dem hellen Sand unter einer Rinne sowie die Probe aus den hellen Sanden an der Basis der Grube zeigen ein stabiles Mineralspektrum aus durchschnittlich 54 % Turmalin, 32 % Zirkon, 13 % Anatas und 1 % Rutil (s. Abb. 58). Die hohen Turmalin-Anteile lassen eine Anlieferung aus dem Buntsandstein des Pfälzerwaldes vermuten (SINDOWSKI 1958). Auch BARTZ (1982) nimmt aufgrund der vergleichbaren Schwermineralanalysen von MAUS Schüttungen aus den westlich gelegenen Buntsandstein-Gebieten an.

# 4.4 Nördlicher Oberrheingraben

# 4.4.1 Bohrungen Schwetzingen

Bohrung Schwetzingen F8/3: R 3468971, H 5469593, 102 m NN, Endteufe: 152 m Bohrung Schwetzingen F10: R 3469634, H 5469432, 101 m NN, Endteufe: 150 m

Die Bohrungen Schwetzingen F8/3 und F10 liegen am Südrand von Schwetzingen-Oftersheim nordöstlich der Hardtwaldsiedung etwa 700 m voneinander entfernt. Sie wurden im Auftrag des Zweckverbandes Wasserversorgung Kurpfalz abgeteuft und zu Grundwassermessstellen ausgebaut.

## **Bohrung F8/3**

An der Basis des Bohrprofils (s. Anlage 17) wurden zwischen 152 und 147 m dunkelgraue, z. T. vergleyte oder humose Feinsedimente durchteuft. Darüber folgen bis 134,4 m sanddominierte Sedimente, die in vier Zyklen jeweils eine Entwicklung von lokal- zu alpin-dominierten Schüttungen zeigen. Zwischen 134,4 und 127 m treten dunkle, humose Tone, Schluffe und Feinsande auf. Bis 103,4 m sind Wechsellagerungen aus grauen Sanden und schwach kiesigen, rosa-getönten Grobsanden anzutreffen. Zwischen 103,4 und 95,5 m ist ein Feinkornhorizont aus dunklen und hellgrauen Tonen und Schluffen eingeschaltet, der von mächtigen Wechsellagerungen aus sandigen, bunten Kiesen und grauen Sanden mit vereinzelten Feinhorizonten überlagert wird. Diese Abfolge wird bei 38,4 bis 35,4 m von dunklen, teils humosen Schluffen ca. 26 m und 20,5 m treten sehr grobe (steinige) Lagen auf, die möglicherweise mit den Groblagen der Neuenburg-Formation im Südgraben zu korrelieren sind. Bis zum Top des Profils wechseln sich wieder rosa gefärbte, etwas gröbere Sedimente mit mehr alpin geprägten, grauen Sanden ab.

Über das Bohrprofil verteilt und bis zu einer Tiefe von 142 m wurden 22 Sedimentproben entnommen und analysiert. Alle Proben zeigen ein alpin geprägtes Schwermineralspektrum aus Granat (durchschnittlich 35 %), Epidot (27 %), Hornblende (23 %) und Alterit (7 %) sowie etwas Pyroxen (1 %), seltenen und stabilen Mineralen (4 %) und metamorphen Mineralen (3 %). Das Schwermineraldiagramm (s. Anlage 17) lässt für die obersten drei Proben (8, 5 und 2 m) eine deutliche Abnahme des Hornblende-Gehalts auf etwa 11 % bei gleichzeitigem Anstieg des Granat-Gehaltes auf ca. 48 % erkennen. Dieser Trend ist auch an anderen Bohrprofilen des mittleren und nördlichen Oberrheingrabens abzulesen. Weiterhin zeigt sich - wie auch in anderen Bohrprofilen eine geringfügige Zunahme des insgesamt niedrigen Pyroxen-Gehaltes oberhalb von ca. 30 m. In diesem oberen Bohrabschnitt wurden im Mittel etwa 3 % meist braungefärbte Pyroxene gezählt.

#### **Bohrung F10**

Wie in der Bohrung F8/3 finden sich auch im Bohrprofil F10 (s. Anlage 18) an der Basis zwischen 150 und 148 m graue Feinsedimente. Der in der Bohrung F8/3 darüber folgende Feinkornhorizont bei ca. 134 bis 127 m fehlt dagegen in der Bohrung F10, obwohl die Bohrungen nur etwa 700 m voneinander entfernt liegen. Die Wechsellagerungen aus vorwiegend lokal getönten, sandigen Kiesen und Sanden wird erst bei 105,5 bis 104 m von Feinsedimenten unterbrochen. Diese sind möglicherweise mit dem Feinkornhorizont in der Bohrung F8/3 zwischen 103,4 und 95,5 korrelierbar. Darüber folgen wieder rosa getönte, kiesige Sande, die von einem humosen Feinsediment in 89,2 bis 88,5 m abgeschlossen werden, das Schneckenreste enthält. Zum Hangenden folgen weitere rosafarbene, sandige Kiese, die bei 76,5 bis 66,5 von grauen, glimmerhaltigen Fein- bis Mittelsanden abgelöst werden. Oberhalb eines geringmächtigen Feinhorizontes (66,5 bis 66 m) zeigt das Profil wieder lokal getönte, sandige Kiese und Kiessande. Bei 40,5 bis 39,5 m treten Feinsedimente auf, die vermutlich denen der Bohrung F8/3 zwischen 38,4 bis 35,4 m entsprechen. Es könnte sich hierbei um den Oberen Zwischenhorizont handeln. Oberhalb von weitgehend rosa getönten Sedimenten treten zwischen 31 und 13 m vermehrt sehr grobe, steinreiche Sande und Kiese auf. In der Parallelbohrung war dies zwischen 26 und 20,5 m der Fall. Der oberste Bohrabschnitt zeigt wieder vorwiegend lokal geprägte Kiesschüttungen, die am Top in gelbe Feinsande übergehen.

Das Schwermineraldiagramm der Ergebnisse aus 28 Schwermineralanalysen der Bohrung F10 (s. Anlage 18) zeigt ein ähnliches Bild wie das der Bohrung F8/3. Nach Angaben von BARTZ (1974) sind im Raum Schwetzingen Quartärmächtigkeiten von 200 bis 250 m zu erwarten, d. h. die Bohrungen F8/3 und F10 haben das Pliozän nicht erreicht. Die Sedimente zeigen das alpine Rheinspektrum aus Granat (40 % im Mittel), Epidot (23 %), Hornblende (22 %) und Alterit (6 %). Auch die durchschnittlichen Anteile der anderen Mineralgruppen (stabile und seltene Minerale: 4,5 %, metamorphe Minerale 3 %, Pyroxen 1,5 %) sind gut mit der Nachbarbohrung F8/3 vergleichbar. In den obersten 30 Bohrmetern lassen sich ebenfalls die leicht ansteigenden Pyroxen-Gehalte erkennen, die hier sogar durchschnittlich 5,5 % erreichen. Die Abnahme der Hornblende-Werte am Top der Bohrung F8/3 wird hier nur durch die oberste Probe (3 m) mit 12 % (bei 52 % Granat) angedeutet, daher bleibt die Bestätigung dieses Trends in diesem Fall offen.

# 4.4.2 Bohrung Speyer-Nord

Bohrung Speyer-Nord TB3: R 3456312, H 5467569, 103,7 m NN, Endteufe: 149,8 m

Im Auftrag der Stadtwerke Speyer wurde die Bohrung Speyer-Nord TB3 im Speyerer Stadtwald ca. 4 km nordwestlich des Stadtzentrums von Speyer bis 60 m als Spülbohrung, darunter als Kernbohrung abgeteuft und als Förderbrunnen zur Wassergewinnung ausgebaut. Morphologisch betrachtet liegt die Bohrung im Bereich des Speyerbach-Schwemmfächers (s. Kap. 2.3.1).

Für diesen Bereich beschreibt KÄRCHER (1987) 20 bis 30 m mächtiges, sandig-kiesiges Quartär, das über 100 m mächtiges Pliozän - graue bis graubraune oder hellbraune Sande - überdeckt.



Abb. 59: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm eines Ausschnitts der Bohrung Speyer-Nord TB3.

Das Bohrprofil Speyer-Nord TB3 (s. Abb. 59) stellt sich als Abfolge von hellgrauen bis graubraunen Schluffen, Tonen und Feinsanden dar. Nur zwischen 128 und 121,3 m, 111,8 bis 108 m und 102,45 bis 90,4 m sind mächtigere Grob- bis Mittelsandlagen eingeschaltet. Oberhalb von 25,3 m werden die Sedimente gröber und zeigen vereinzelt Feinkies-Komponenten. Vermutlich handelt es sich bei diesem obersten Bohrabschnitt um die sandig-kiesigen, quartären Ablagerungen des Speyerbach-Schwemmfächers. Zur Probennahme für die Schwermineralanalyse lagen nur die Kerne von 75 bis 92 m, von 101 bis 103 m und von 108 bis 100 m Tiefe vor. In diesem Bereich zeigten sich wechselnde Kalkgehalte der Sedimente, zu deren Ursache die petrographischen Untersuchungen weitere Hinweise liefern sollten.

Die Feinsedimente unterhalb von 102,45 m Tiefe sind kalkfrei und wurden makroskopisch als Pliozän angesprochen. Zwischen 102,45 und 86,3 m weisen die glimmerhaltigen, grauen Sande und Schluffe einen deutlichen Kalkgehalt auf, was auf eine quartäre Bildung hindeutet, darüber ist die Sedimentabfolge wiederum kalkfrei.

Trotz der größeren Lücken durch die fehlenden Kernmeter zeigt das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 59) eine deutliche Dreiteilung des Bohrprofils zwischen 75 und 110 m. Die untersten drei Proben aus 109,7 m, 108,9 m und 108 m stammen aus der kalkfreien Sequenz, die ins Pliozän gestellt wird. Sie zeigen ein Schwermineralspektrum, das sich größtenteils aus den stabilen Mine-ralen Turmalin (durchschnittlich 35 %), Zirkon (31 %), Anatas (6 %) sowie den seltenen Mineralen (5 %) zusammensetzt, und durch die instabilen Minerale Granat (9 %), Epidot (3 %) und Hornblende (10 %) sowie die metamorphen Minerale (1 %) ergänzt wird. Diese Zusammensetzung ist sehr gut mit anderen untersuchten Pliozänprofilen aus dem Nordgraben zu vergleichen, die ebenfalls ein Mischspektrum aus stabilen und instabilen Mineralen mit einem charakteristischen Anteil der seltenen Minerale Monazit, Xenotim und Brookit aufweisen.

Die Proben, die aus den kalkhaltigen Glimmersanden entnommen wurden (102,45 bis 86,3 m), sind durch eine deutlich andere Mineralverteilung gekennzeichnet. Die Dominanz der instabilen Minerale Granat (im Mittel ca. 35 %), Epidot (31 %), Alterit (6 %) und Hornblende (19 %) zusammen mit dem Kalkgehalt der Sedimente belegen eine Anlieferung durch den Rhein mit alpinem Liefergebiet. Der Anteil der stabilen und seltenen Minerale macht in diesem Bohrabschnitt nur noch durchschnittlich 7,5 %, der metamorphen Minerale etwa 1,5 % aus. Der Gehalt an opaken Mineralen ist von mittleren 32 % in den pliozänen Sedimenten auf jetzt ca. 18 % deutlich zurückgegangen. Da der Einsatz von alpinen Schüttungen in den Oberrheingraben ab dem Oberpliozän erfolgte, muss dieser Teil des Bohrprofils in diese Zeit oder ins Quartär gestellt werden. Damit ist die Sedimentabfolge darüber vermutlich quartärzeitlich, was eine Quartärmächtigkeit von ca. 100 m ergibt, die wesentlich höher als die hier angenommenen 20 bis 30 m (s. o.) ist.

Ein erneuter Wechsel im Schwermineraldiagramm zeichnet sich zwischen den Proben aus 86,7 und 85,8 m Tiefe ab, was mit dem Aussetzen des Kalkgehalts bei ca. 86,3 m Tiefe einhergeht. Das Spektrum wird nun wieder klar durch die stabilen Minerale Turmalin (46 % im Mittel), Zirkon (36 %), Anatas (14,5 %) und Rutil (0,5 %) beherrscht. Die seltenen Minerale betragen im Gegensatz zu den pliozänen Sedimenten (5 %) durchschnittlich nur noch 0,5 %. Die instabilen Minerale Granat, Epidot und Hornblende treten in der Probe aus 84,3 m Tiefe mit 17 % auf, wobei es sich

vermutlich um einen Aufarbeitungshorizont aus den unterlagernden Sedimenten handelt. Der Gehalt an opaken Mineralen ist wieder auf ca. 43 % im Durchschnitt angestiegen.

Vermutlich wird der beschriebene Profilabschnitt zwischen 86,3 und ca. 25 m durch relativ feinkörnige Schüttungen aus dem Pfälzerwald aufgebaut, die in ähnlicher Ausbildung in einigen weiteren Bohrungen im Nordgraben (Schifferstadt, Parkinsel, Osthofen) auftreten. Die Unterscheidung zu dem pliozänen Schwermineralspektrum erfolgt durch das fast völlige Fehlen von instabilen Mineralen sowie die deutlich geringeren Anteile der seltenen Minerale (aus Kristallingesteinen) in den quartären Lokalschüttungen. Eine Anwesenheit des Rheins in der Nähe der Bohrlokalität Speyer-Nord zur Zeit der Ablagerung dieser Sedimente kann ausgeschlossen werden, da sich die schwermineralreichen Rheinsedimente eindeutig im Spektrum abzeichnen würden. Der Rhein muss zu dieser Zeit weiter im Osten geflossen sein.

# 4.4.3 Bohrung Schifferstadt

Bohrung Schifferstadt BK 30c GM: R 3453707, 5474326, 97,3 m NN, Endteufe: 200 m

Die Bohrlokalität Schifferstadt BK 30c GM befindet sich ca. 3 km nordnordwestlich des Ortskerns von Schifferstadt und etwa 7,3 km nordwestlich der Bohrung Speyer-Nord. Sie liegt damit im Bereich der Frankenthaler Terrasse.

Die Frankenthaler Terrasse bildet ein Höhenniveau zwischen der Rheinniederung im Osten und den Hochterrassen bzw. Riedelflächen im Westen. Sie wurde während der letzten Eiszeit - vermutlich infolge tektonischer Absenkung der Frankenthaler Scholle (s. Kap. 2.3.1) - vom Rhein überflutet und blieb weitgehend frei von Lössbedeckung. Erst im Spätglazial suchte der Rhein sich sein Flussbett wieder weiter im Osten.

Der Obere Grundwasserleiter (OGWL) ist im Bereich der Frankenthaler Terrasse geringmächtig, wodurch es hier mit der damit verbundenen geringen Speicherkapazität oft zu Stauwasser bei steigenden Grundwasserständen kommt.

Aus der 200 m tiefen Schlauchkernbohrung Schifferstadt wurden aus den sandreichen Lagen 90 Sedimentproben zur Schwermineralanalyse entnommen (s. Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm in Anlage 19). Größere Lücken im Probenprofil treten nur in mächtigen Feinkornsequenzen auf, die sich aufgrund ihrer Korngröße nicht optimal für die Schwermineraluntersuchung eignen. Damit ist dieses Bohrprofil das am detailliertesten schwermineralanalytisch untersuchte Profil im nördlichen Oberrheingraben, wobei Pollenbefunde einige Hinweise auf die stratigraphische Einstufung liefern (KNIPPING 2002). Aus den Ergebnissen lassen sich Rückschlüsse auf andere Bohrprofile im nördlichen Oberrheingebiet und somit auf die dortige Sedimentationsgeschichte ziehen. Die obersten 6,5 m des Bohrprofils werden von kalkhaltigen, rosa oder grau getönten Sanden bis sandigen Kiesen und einem schluffigen Tonhorizont aufgebaut. Diese Sequenz wird als Oberer Grundwasserleiter (OGWL) oder als Obere sandige Kiese angesprochen. Die vier untersuchten Proben zeigen ein alpines Rheinspektrum aus durchschnittlich 45 % Granat, 14 % Epidot, 15 % Hornblende und 10 % Alterit. Hinzu kommen etwa 2 % Pyroxen und 2 % metamorphe Minerale. Ein vermehrter Einfluss von Buntsandstein-Material zeichnet sich möglicherweise durch den relativ hohen Anteil der stabilen Minerale (ca. 12 %) ab.

Unterhalb von 6,5 m sind die Sedimente bis etwa 77 m kalkfrei (Ausnahme: 72,5 - 75 m laminiertes Feinsediment). Es handelt sich in diesem Bohrabschnitt größtenteils um Sande mit eingeschalteten, teilweise humosen Schluff- und Tonlagen. Diese Abfolge wird als Mittlere kiesige Sande bezeichnet. Die Untersuchungsergebnisse aus diesem Bereich zeigen ein durch stabile Minerale dominiertes Schwermineralspektrum mit etwa 56 % Turmalin, 35 % Zirkon, 1 % Rutil und 5 % Anatas. Instabile Minerale treten nur vereinzelt auf, im Durchschnitt mit etwa 3 %. Bei den Sedimenten in diesem Bohrabschnitt handelt es sich vermutlich um Schüttungen aus dem Pfälzerwald in den Oberrheingraben, wobei ein gleichzeitiger Rheineinfluss aufgrund des Fehlens alpiner Minerale ausgeschlossen werden kann. Der Rhein muss zur Zeit der Sedimentation dieser Lokalschüttungen weiter im Osten geflossen sein. Die Pollenanalysen (s. u.) deuten auf ein quartäres Alter dieser Abfolge hin.

Zwischen 77 und 91,2 m weisen die Sedimente einen deutlichen Kalkgehalt auf. An der Basis setzt diese alpine Schüttung des Rheins mit glimmerhaltigen Feinsanden ein (91,2 - 89,9 m), geht in sandige Kiese und wieder glimmerhaltige Feinsande über (89,9 - 84,6 m) und schließt mit einem laminierten Feinkornhorizont (84,6 - 77 m) ab. Auch das Schwermineralspektrum belegt die alpine Herkunft des Sediments: Es treten im Durchschnitt 35 % Granat, 28 % Epidot, 7 % Alterit und 19 % Hornblende auf. Der Anteil an Pyroxen ist gegenüber den obersten 6,5 m des Bohrprofils mit unter 1 % geringer, ebenso die Summe der stabilen Minerale mit durchschnittlich 9 %. Den Rest des Spektrums machen metamorphe und seltene Minerale (zusammen etwa 1 %) aus. Die Pollenbefunde (s. u.) datieren diesen Bereich in die Zeit zwischen Pliozän (unterhalb von 91,2 m) und dem Altquartär (Prä-Tegelen und Tegelen bei ca. 83 - 81 m). Da der Rhein erst ab dem obersten Pliozän (Reuver) alpines Material durch den Oberrheingraben transportiert, kann die Ablagerungszeit der Sedimente zwischen 77 und 91,2 m auf den Zeitraum Reuver bis Prä-Tegelen eingeschränkt werden.

Unterhalb von 91,2 m sind die Sedimente wieder kalkfrei, meist tonig-schluffig bis feinsandig mit wenigen Grobsand- bzw. Feinkieslagen. Die Feinsedimente weisen vereinzelt Laminationen auf. Es zeichnen sich zahlreiche fining-upward-Sequenzen im 10-m-Bereich ab. Zwischen 168,3 und 200 m dominieren Tone und Schluffe; Sandlagen sind nur vereinzelt eingeschaltet. Folglich nimmt hier die Probendichte für die Schwermineralanalyse deutlich ab. Die Proben zeigen im Durchschnitt ein aus etwa 30 % instabilen und 70 % stabilen Mineralen gemischtes Spektrum, wie es ähnlich aus den pliozänen Sedimenten der Bohrungen Nambsheim, Hartheim und Plobsheim sowie im unteren Teil der Bohrung Bienwaldbrunnen bekannt ist. Vermutlich sind dies Sedimente des pliozänen Ur-Rheins, der neben den stabilen Mineralen aus aufgearbeiteten älteren Tertiär-Ablagerungen durch Zuflüsse aus den Randgebirgen (Schwarzwald / Vogesen) zusätzlich instabile Minerale anlieferte. Die Pollenanalyse bestätigt die Einstufung ins Pliozän (s. u.). Abgesehen vom dem deutlich höheren Anteil an instabilen Mineralen in den pliozänen Sedimenten gegenüber den pleistozänen Schüttungen aus dem Pfälzerwald zwischen 6,5 und 77 m, lassen zusätzlich höhere Werte der seltenen Minerale (Monazit, Xenotim, Brookit und Titanit, zusammen etwa 3 % im Mittel gegenüber 0,6 % in den pleistozänen Lokalschüttungen) und höhere Anatas-Gehalte eine Unterscheidung dieser beiden durch stabile Minerale dominierten Sedimentabfolgen zu.

## **Pollenanalyse**

Aus dem Bohrkern Schifferstadt wurden Proben aus den feinkörnigen Bereichen pollenanalytisch untersucht. Obwohl die vegetationsgeschichtliche Korrelation der Befunde im Oberrheingebiet mit datierten Pollenprofilen benachbarter Regionen aufgrund der Distanz und anderer Vegetationsbedingungen noch schwierig ist, lassen sich in Schifferstadt einige Zuordnungen vermuten.



Abb. 60: Schematisches Pollenprofil der Bohrung Schifferstadt (KNIPPING 2002).

Die Pollendaten (s. Abb. 60) zeigen eine zweigeteilte Warmzeit bei etwa 21,8 - 24,4 m Tiefe, die dem Cromer-Komplex angehören könnte. Die Pollenspektren bei ca. 36 m lassen auf ein präcromerzeitliches Alter schließen. Auch darunter (ab 43 m) deutet das Vorhandensein von *Tsuga* ("Tertiärrelikt") auf ein eher altpleistozänes Alter (nach VON DER BRELIE in BARTZ 1982). Bei ca. 81 m könnten die Pollen (insbesondere das vermehrte Auftreten von *Fagus*) auf Tegelen A hinweisen, etwas darunter auf Prä-Tegelen. Unterhalb von 91 m unter GOK waren eindeutig pliozäne Pollenspektren (Pliozän III oder II) festzustellen. Erhöhte *Fagus*-Werte in etwa 120 m Tiefe deuten auf eine Einstufung ins Pliozän II, während in ca. 150 m Tiefe die Pollenspektren möglicherweise eine Einstufung ins Pliozän I ermöglichen (KNIPPING 2002).

#### Paläomagnetische Untersuchung

Die paläomagnetische Untersuchung brachte keine wesentlichen Ergebnisse (ROLF 2002), da die Kerne durch ihre lange Lagerung seit 1994 zu stark ausgetrocknet waren. Gemessen wurde die Suszeptibilität, die ein hochempfindlicher Indikator für Änderungen der Magnetomineralogie ist, und die oftmals mit klimatischen Änderungen korreliert.

Der Profilabschnitt zwischen 80 und 84 m ist laut Pollenanalyse dem Tegelen und Prä-Tegelen zuzuordnen. Dies bedeutet aus Sicht der Paläomagnetik, dass hier der Übergang vom normal magnetisierten Olduvai zum invers magnetisierten ältestpleistozänen Abschnitt der Matuyama Epoche liegen müsste. Die Polarität der Magnetisierung ist durchweg normal, eine Einstufung ins Olduvai nicht möglich. Laut Pollenanalyse ist ab 90 m das Pliozän erreicht und damit nach der in Deutschland gültigen Stratigraphie die normal magnetisierte Gauss-Epoche. Das Kernmaterial im obersten Bereich des Tertiärs (91 - 96 m) hat relativ stabile Richtungen normaler Polarität gespeichert. Ansonsten streuen die Richtungen sowohl der Inklination als auch der Deklination extrem. Dies ist als Hinweis darauf zu werten, dass das Sediment in diesen Abschnitten nicht in der Lage war, das Paläo-Erdmagnetfeld zu speichern.

In der Bohrung Schifferstadt zeichnet sich nach den petrographischen und pollenanalytischen Befunden zunächst eine Sedimentation durch den pliozänen Ur-Rhein ab, der am Übergang Pliozän-Pleistozän oder im Altquartär (vor Prä-Tegelen) die ersten alpin geprägten Sedimente anlieferte. Ab dem Altquartär verschwand der Einfluss des Rheins, und es kam zu mächtigen Ablagerungen von Lokalschüttungen aus dem Pfälzerwald, die mindestens bis zum Cromer-Komplex andauerten. Erst mit den Oberen kiesigen Sanden, bei denen es sich vermutlich um Niederterrassen-Sedimente des letzten Glazials handelt, gelangten wieder Sedimente des Rheins, der zu dieser Zeit den Bereich der Frankenthaler Terrasse bis zu ihrem Westrand überflutete, nach Schifferstadt.

## 4.4.4 Bohrungen Ludwigshafen-Maudach

Ludwigshafen-Maudach A64/1: R 3455063, H 5480396, 91,03 m NN, Endteufe: 55 m, Ludwigshafen-Maudach A65/1: R 3455326, H 5480806, 92,02 m NN, Endteufe: 52 m,

Im Wasserwerk Ludwigshafen-Maudach im Landschaftsschutzgebiet Maudacher Bruch wurden zwei Schlauchkernbohrungen (A64/1 und A65/1) beprobt, die etwa 500 m voneinander entfernt abgeteuft wurden. Die Bohrungen liegen in einem ehemaligen Rheinmäander nördlich des Ortes Maudach, etwa 5 km südwestlich des Stadtzentrums von Ludwigshafen. Die Entfernung zur südsüdwestlich gelegenen Bohrung Schifferstadt beträgt etwa 6 km. Die Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut.

Mehrere feinkörnige Kernstücke wurden für paläomagnetische Untersuchungen ausgewählt. Weiterhin wurden Proben zur Bestimmung der Mollusken-Schalen und von Kleinsäuger-Resten entnommen. In feinkörnigen Horizonten wurden Pollenproben entnommen. Bisher liegen keine Untersuchungsergebnisse der Paläomagnetik und der paläontologischen Analysen vor.

#### Bohrung A64/1

Die Bohrung A64/1 erreichte eine Endteufe von 55 m und hat das Pliozän nicht erreicht (mündl. Mitteilung KÄRCHER). Die Abbildung 61 zeigt das Lithofaziesprofil der Bohrung sowie die Ergebnisse der Schwermineralanalyse. Der Bohrabschnitt zwischen 55 und 18,5 m Tiefe zeigt einige finig-upward-Sequenzen aus rötlichen oder hellgrauen Sanden zu grauen bis schwarzgrauen Feinsanden, Schluffen und Tonen. Die Ausbildung der Sedimente spricht für eine Ablagerung im geringdynamischen fluviatil-limnischen Milieu. Die Sedimentfolge schließt mit einem schwarzen Torf zwischen 18,8 und 18,5 ab. Darüber setzen graue Feinsande ein, die zum Teil laminiert sind. In einem deutlich höheren Strömungsniveau wurden die grauen bis graubunten, sandigen Kiese zwischen 11,6 und 7 m sedimentiert. Zum Hangenden folgen wieder sandige Feinsedimente und Tone.

Die Schwermineraluntersuchungen der Proben aus 55 bis 18,5 m Teufe zeigen ein vorwiegend stabiles Mineralspektrum aus durchschnittlich 50 % Turmalin, 39 % Zirkon, 1 % Rutil und 8 % Anatas. Die instabilen Minerale Granat, Epidot und Hornblende treten nur vereinzelt mit etwa 2 % im Mittel auf. Dieses Spektrum gleicht dem der Pfälzerwald-Schüttungen in der Bohrung Speyer und Schifferstadt, die vermutlich pleistozänen Alters sind. Die rötlichen Farben der Sande deuten ebenfalls auf eine Herkunft aus den Buntsandstein-Gebieten des Grabenrandes hin. Ein Einfluss des Rheins mit seinen alpinem Mineralspektrum ist nicht vorhanden. Möglicherweise im Untergrund vorhandene Sedimente eines älteren alpinen Rheinverlaufs sowie das Pliozän mit dem aus stabilen und instabilen Mineralen gemischten Spektrum mit Anteilen seltener Minerale wurden in der Bohrung A64/1 nicht erreicht.



Abb. 61: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ludwigshafen-Maudach A64/1.

Die Proben aus 18,5 bis 9,7 m Teufe zeigen dagegen eindeutig eine Ablagerung durch den Rhein an. Die zunächst feinkörnige Sedimentation könnte im Uferbereich, im Bereich des Gleithangs des Flusses oder unter generell schwacheren Strömungsenergien erfolgt sein, während die sandigen Kiese darüber einer Ablagerung im Zentrum des ehemaligen Rheinmäanders entsprechen könnten. Bei stark variierenden Granat- und Hornblende-Werten ergeben sich für diesen oberen Bohrabschnitt Durchschnittswerte von 27 % Granat, 25 % Epidot, 5 % Alterit, 36 % Hornblende, 1 % Pyroxen, 2 % metamorphe und 4 % stabile Minerale.

#### Bohrung A65/1

Die Bohrung A65/1 zeigt auf ihrem 52 m tiefen Bohrprofil eine ähnliche Abfolge (s. Abb. 62) wie die Nachbarbohrung A64/1. Zwischen 52 und etwa 22 m treten finig-upward-Sequenzen aus rötlichen oder hellbeigegrauen Sanden zu grauen bis humos-dunklen Schluffen und Tonen auf, die vermutlich in einem fluviatil-limnischen Sedimentationsraum abgesetzt wurden. Der am Top der vergleichbaren Abfolge aus A64/1 abschließende Torfhorizont ist trotz der geringen Distanz beider Bohrungen in der Bohrung A65/1 nicht vorhanden. Bei etwa 22 m wird eine Wechsellagerung aus hellgrauen Tonen und rötlichen Feinsanden von grauen Mittelsanden abgelöst, die zahlreiche Schalentrümmer aufweisen. Die Sequenz von 22 bis 10 m zeigt wiederum ein deutliches fining-up, das in hellgrauen und humosen Tonen endet. Die Ablagerungsdynamik scheint gegenüber den Sedimenten unterhalb von 22 m nicht wesentlich verändert. Eine deutlich höhere Dynamik setzt jedoch mit den Sedimenten oberhalb von 10 m ein, die von Grobsanden schließlich in sandige, bunte Mittelkiese übergehen, die von Feinsanden und einem gleyfleckigem Hochflutlehm überdeckt sind.

Die Untersuchung von 14 Schwermineralproben aus diesem Profil ergab wiederum einen deutlichen Wechsel im Mineralspektrum von vorwiegend stabilen Mineralen in den Sedimenten unterhalb von 22 m zu einem Spektrum aus instabilen Mineralen oberhalb davon (s. Abb. 62).

Offenbar sind die Sedimente im unteren Teil der Bohrung (55 bis 22 m) größtenteils aus Lokalschüttungen des Pfälzerwaldes aufgebaut. Der Durchschnittsgehalt an Turmalin beträgt in diesem Bereich ca. 57 %, der Zirkon 30 %, der Rutil 1 % und der Anatas 8 %. Durch die in einer Probe aus 43,5 m (rötlicher Sand) leicht erhöhten Werte von Granat, Epidot und Hornblende (25 %) ergibt sich ein Durchschnittswert von ca. 4 % an instabilen Mineralen. Ob diese Probe durch sekundäre Verunreinigungen oder durch eine Aufarbeitung pliozäner Sedimente mehr instabile Minerale (25 %) aufweist, lässt sich nicht eindeutig klären. Die fünf Proben aus dem Bohrabschnitt oberhalb von 22 m zeigen ein alpin-geprägtes Rheinspektrum aus durchschnittlich etwa 43 % Granat, 23 % Epidot, 18 % Hornblende und 6 % Alterit. Weiterhin treten 3 % Pyroxen, 3 % metamorphe und 4 % stabile Minerale auf. Diese Sedimentabfolge wurde demnach durch den Rhein hier abgesetzt.

Eine genaue zeitliche Zuordnung des Wechsels von lokalen Sedimentschüttungen zu Rheinablagerungen ist aufgrund der noch ausstehenden paläontologischen und paläomagnetischen Befunde bisher nicht möglich. Es zeigt sich aber, dass auch der Bereich des Maudacher Bruchs in der Rheinniederung erst in jüngerer Vergangenheit (wieder?) in den Einflussbereich des Rheins gelangt ist. Korreliert man das Wiedereinsetzen alpiner Schüttungen in Schifferstadt (6,5 m Teufe) auf der Frankenthaler Terrasse mit diesem Wechsel in Maudach (18,2 bzw. 22 m u. GOK), müsste es sich hierbei um einen Zeitabschnitt deutlich jünger als Cromer handeln. Es ist aber ebenso möglich, dass diese Schüttungsereignisse zeitlich nicht übereinstimmen.



Abb. 62: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ludwigshafen-Maudach A65/1.

# 4.4.5 Ludwigshafen Parkinsel

Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel P34: R 3460666, H 5481069, 92 m NN, Endteufe: 300 m

Die Schlauchkernbohrung Ludwigshafen-Parkinsel wurde im Auftrag der TWL Ludwigshafen mit dem Ziel der Grundwassererkundung auf dem südlichen Teil der Ludwigshafener Parkinsel abgeteuft. Der Untergrund des Wassergewinnungsgebiets Ludwigshafener Parkinsel ist durch zahlreiche Erkundungs- und Brunnenbohrungen dokumentiert (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2000).

Eine frühere Tiefbohrung auf der Parkinsel (P 71, R 3460300, H, 5481000, 91 m NN) ergab etwa folgendes Bohrprofil (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2000):

- 0 20 m: Oberes Kieslager (OKL = OGWL)
- 20 42 m: Oberer Zwischenhorizont (OZH)
- 42 92 m: Mittlere sandig-kiesige Folge (MGWL)
- 92 203 m: Unterer Zwischenhorizont (UZH) und Untere sandig-schuffige Folge (UGWL)
- 203 330m: Pliozän

Im Oberen Kieslager (OKL / OGWL) sind stellenweise Feinkornlinsen (ZH1) eingeschaltet, die aber nicht durchhalten (Mächtigkeit bis maximal 7 m). Der Obere Zwischenhorizont (OZH) spaltet sich meist in zwei kompakte tonig-schluffige Trennschichten (OZH1 und OZH2) auf, die von durchlässigeren Sandlagen (GWLOZH) getrennt werden. Dieser GWLOZH ist im Mittel- und Nordteil der Parkinsel durchgängig als 4 - 7 m mächtige Sandschicht zwischen 55 und 50 m NN (etwa 37 bis 42 m u. GOK) ausgebildet. In der Bohrung P34 laufen die Teilhorizonte OZH1 und OZH2 zu einem einheitlichen OZH zusammen, wie auch in anderen Bohrungen aus dem Südteil der Parkinsel (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2000, s. Abb. 63).

Vom Mittleren Grundwasserleiter (MGWL : Mittlere sandig-kiesige Folge) lässt sich durch einen trennenden Feinkornhorizont (ZH2) ein oberer Teil (MGWL-o) abgrenzen. Die Mächtigkeiten dieses auf der Parkinsel durchhaltenden Horizonts schwanken zwischen 4 und 8 m im Nordteil und 10 bis 18 m im Südteil. In der Bohrung P34 ist der ZH2 10 m mächtig. Ein im unteren Teil des MGWL liegender Zwischenhorizont (ZH3) wurde nur in Bohrungen auf dem Südteil der Parkinsel angetroffen (Mächtigkeit ca. 6 m); eine durchgängige Untergliederung in MGWL-m und MGWL-u ist also nicht möglich.

Die Teufenlagen der Zwischenhorizonte OZH1, OZH2, ZH2 und ZH3 variieren in den zahlreichen Bohrprofilen im Raum Ludwigshafen. Der UZH wird jedoch auf der Parkinsel durchgängig bei etwa 100 m u. GOK (ca. -5 bis -10 m NN) in einer Mächtigkeit von rund 10 m angetroffen (s. Abb. 63). In der aktuellen Bohrung P34 nimmt die Mächtigkeit auf ca. 22 m zu (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2000).



Abb. 63: Kompilierte Schnittdarstellung im Bereich Ludwigshafen Parkinsel-Süd (nach HGK 1999, LGB RHEINLAND-PFALZ 2000).

Es zeigt sich demnach folgendes Schichtenprofil in der Bohrung Parkinsel P34 (s. Anlage 20, Abb. 64):

0 - 21 m:	Oberes Kieslager (OKL, OGWL)
21 - 40 m:	Oberer Zwischenhorizont (OZH = OZH1 und OZH2 zusammen)
40 - 50,0 m:	MGWL-o
50,0 - 60,0 m:	ZH2
60,0 - 87,1 m:	MGWL-m
87,1 - 91,6 m:	ZH3
91,6 - 100,4 m:	MGWL-u
100,4 - 122,5 m:	UZH
122,5 - 177,0 m:	UGWL (Untere sandig-schuffige Folge)
177,0 - 300 m:	Pliozän



Abb. 64: Bohrprofil und Gamma-Log der Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel P34 (schriftliche Mitteilung KÄRCHER).

Die pliozänen Sedimente zwischen 300 und 177 m setzen sich aus Fein- bis Mittelsanden sowie Schluffen und Tonen zusammen. Nur bei 218 bis 216 m enthalten die Sande Feinkiesgerölle. Vereinzelt sind humose Lagen eingeschaltet. Die Ton- und Schlufflagen spiegeln sich im Gamma-Log durch hohe Strahlungswerte wider (s. Abb. 64). Bis auf vereinzelte Carbonatkonkretionen sind die pliozänen Ablagerungen kalkfrei. Die 10 bis 20 m mächtigen fining-upward-Sequenzen mit meist schwach ausgeprägter Schichtung oder Bänderung repräsentieren ein größtenteils geringdynamisches Ablagerungsmilieu unter fluviatil-limnischen Bedingungen. Es dominieren graue bis gelbbraungraue Farbtöne. Lagenweise treten rötlichgraue Sande auf. Die humosen Einschaltungen zeigen dunkelgraue bis schwarzgraue Farben.

Die in großen Abständen (ca. 10 m) aus den pliozänen Sedimenten entnommen Proben zeigen ein relativ gleichförmiges Schwermineralspektrum aus etwa 30 % instabilen und 70 % stabilen und seltenen Mineralen (s. Anlage 20). Bei den instabilen Mineralen macht der durchschnittliche Granat-Gehalt ca. 17 %, der Epidot-Gehalt 3 %, der Hornblende-Gehalt 9 % und der Alterit-Gehalt ca. 1 % aus. Bei den stabilen Mineralen dominieren Turmalin mit etwa 33 % und Zirkon mit ca. 21 % im Mittel. Sie werden durch 13 % Anatas und ca. 0,5 % Rutil ergänzt. Die seltenen Minerale (Monazit, Xenotim und Brookit) treten mit 2,5 % am Gesamtspektrum auf, wie es für die pliozänen Sedimente kennzeichnend ist. Auch die übrige Zusammensetzung des Mineralspektrums der pliozänen Sedimente lässt sich gut mit den Ergebnissen aus anderen Bohrungen korrelieren. Die instabilen Minerale (mit niedrigem Epidot-Anteil) stammen vermutlich aus den Randgebirgen und wurden vom pliozänen Rheinsystem hier zusammen mit Buntsandstein-Schüttungen oder aufgearbeiteten älteren Tertiär-Ablagerungen, die beide durch stabile Minerale gekennzeichnet sind, sedimentiert.

Oberhalb eines die pliozäne Schichtenfolge abschließenden Tonhorizontes, der von 186 bis 177 m reicht, setzen noch carbonatfreie Fein- und Mittelsande ein, die oberhalb von 176,2 m schließlich in kalkhaltige Grobsande mit Fein- bis Mittelkiesen übergehen. Die grauen bis rötlich-grauen, kiesigen Sandschüttungen reichen bis 161,8 m, wo sie von olivgrauen Tonen mit humosen Einschaltungen (bis 158,4) sowie Wechsellagerungen aus grauen, glimmerreichen Feinsanden und olivgrauen bis schwarzgrauen, tonigen Schluffen (bis 143,8 m) überlagert werden.

Aus diesem Abschnitt des Bohrprofils (177 bis 143,8 m) wurden fünf Sedimentproben auf ihre Schwermineralzusammensetzung überprüft. Es zeigt sich, dass auch schon im kalkfreien Sediment in 176,8 m Teufe ein alpin beeinflusstes Spektrum (Granat, Epidot und Hornblende), jedoch noch mit relativ hohen Anteilen an stabilen Mineralen (27 %), auftritt. Die Probe aus kalkhaltigen Sanden aus 172 m zeigt ein vergleichbares Spektrum, darüber nehmen die Anteile der stabilen Minerale zugunsten von Epidot und Hornblende ab. Es ergeben sich Mittelwerte von 32 % Granat, 30 % Epidot, 5 % Alterit, 17 % Hornblende, 2 % metamorphe Minerale, 6 % Turmalin, 7 % Zirkon sowie 1 % seltener Minerale.
Die Sedimente aus dem Bohrabschnitt 143,8 bis 127,2 m sind wieder kalkfrei. Es handelt sich um rötliche, graue und hellgelbe Sande und rotbraune Tone mit schwarzbraunen humosen Lagen, die auf ein geringdynamisches Ablagerungsmilieu mit Resedimentation schließen lassen. Wie schon die pastellartigen Farbtöne und die Kalkfreiheit der Sedimente andeuten, stammen die Sedimente dieses Bohrabschnittes vermutlich vorwiegend aus den Buntsandstein-Gebieten des Pfälzerwaldes. Dies belegen auch die Ergebnisse der zwei aus diesem Bereich analysierten Schwermineralproben (135,4 und 127,4 m). Die stabilen Minerale Turmalin (ca. 76 %), Zirkon (ca. 10 %) und Anatas (12 %) beherrschen das Spektrum, das durch nur etwa 3 % instabile Minerale ergänzt wird. Die hohen Turmalin-Gehalte sind kennzeichnend für den Buntsandstein des Pfälzerwaldes (SINDOWSKI 1958). Durch das fast vollständige Fehlen der instabilen und der seltenen Minerale zeigen sich deutliche Unterschiede zu der Zusammensetzung pliozäner Sedimente. Da die alpin-geprägten Rheinsedimente im Gegensatz zu den Buntsandsteinschüttungen sehr schwermineral- und kalk-reich sind und sich eindeutig im petrographischen Befund abzeichnen würden, kann zur Zeit der Ablagerung dieser kalkfreien, durch stabile Minerale gekennzeichneten Sequenz kein Material durch den Rhein angeliefert worden sein.

Oberhalb von 127,2 m setzen wieder kalkhaltige Rheinschüttungen ein, die bis etwa 108,3 m hinaufreichen. Die grauen, glimmerreichen Feinsande wechsellagern mit rosa getönten Grobsanden und dunkelgrauen bis olivgrauen Feinkornlagen, die oberhalb von ca. 120,6 m dem Unteren Zwischenhorizont (UZH) zugerechnet werden. Drei Sedimentproben stammen aus den Teufen 122,2 m, 118,4 m und 112,5 m. Sie weisen ein charakteristisches alpines Spektrum aus durchschnittlich etwa 43 % Granat, 19 % Epidot, 8 % Alterit, 21 % Hornblende, 3 % metamorphen sowie 6 % stabilen Minerale auf. Vereinzelt kommen Pyroxene vor.

Diese kalkhaltige, alpin-geprägte Rheinschüttung wird bei 108,3 m wieder durch kalkfreie Lokalschüttungen aus rötlichen bis weissbeigen Feinsanden abgelöst, die bei 106,5 bis 105,8 m von Schluffen und Tonen überlagert werden, die zahlreiche Carbonatkonkretionen aufweisen. Zum Hangenden setzen sich kalkfreie Feinsande mit rötlichen, rötlichbraunen und hellbraun-weisslichgrauen Farbtönen fort, die mit Tonen und Schluffen mit unterschiedlich hohen Anteilen an organischem Material wechsellagern. Diese Abfolge (108,3 - 94,7 m) umfasst sowohl den oberen Teil des UZH, als auch den unteren Teil des MGWL-u.

Die Sedimentproben aus 106,6 m, 102,8 m, 99,2 m und 96,8 m zeigen ein dominant stabiles Schwermineralspektrum (61 % Turmalin, 24 % Zirkon, 9 % Anatas im Mittel). Die im Durchschnitt errechneten 5,5 % instabilen Minerale treten zum größten Teil in der untersten Probe aus 106,6 m auf, was durch Aufarbeitung aus dem Liegenden verursacht sein könnte. Die Schwermineralbefunde bestätigen, dass es sich bei den Sedimenten von 108,3 bis 94,7 m um Lokalschüttungen (Pfälzerwald) handelt, während der Rhein zur Zeit ihrer Ablagerung in einiger Entfernung geflossen sein muss. Zwischen 94,7 und 91,7 m deutet der hohe Carbonatgehalt der Sedimente wiederum auf einen Einfluss des Rheins hin, auch wenn die rötlichen bis rötlichgrauen Farbtöne der Fein- bis Mittelsande für eine Anlieferung aus den Buntsandstein-Gebieten des Grabenrandes sprechen. Es reicht jedoch ein kleiner Anteil der sehr schwermineralreichen Rheinsedimente aus, um das Schwermineralspektrum mit den typischen Mineralen zu beeinflussen. Das zeigt die Probe aus 93,2 m mit Werten von 52 % Granat, 18 % Epidot, 4 % Alterit, 10 % Hornblende, 6 % metamorphe Minerale (Staurolith) sowie 10 % stabilen und seltenen Mineralen.

Die darüber folgende, kalkfreie Sequenz (91,7 bis 86,5) entspricht ungefähr dem Zwischenhorizont ZH3, der das MGWL (Mittlere sandig-kiesige Folge) untergliedert. In diesem Bereich treten vorwiegend Tone und Schluffe mit hohen organischen Anteilen sowie graue Feinsande auf. Die Sedimentprobe aus 89,2 m enthält 98 % stabile Minerale (50 % Turmalin, 38 % Zirkon, 10 % Anatas), was auf ein Buntsandstein-Liefergebiet hindeutet.

Zum Hangenden folgen wieder kalkhaltige Sedimente (86,5 bis 56,4 m), wobei sich fining-upward-Sequenzen aus rosafarbenen Grobsanden zu grauen glimmerreichen Feinsanden und teilweise humosen Tonen oder Schluffen abzeichnen. Sowohl die rötlichen als auch die grauen Sande zeigen ein alpin-geprägtes Schwermineralspektrum, wie die fünf Analysen aus diesem Bohrabschnitt belegen. Hier überdecken die schwermineralreichen Beimischungen des Rheins die makroskopisch erkennbaren Lokalschüttungen. Das Spektrum setzt sich durchschnittlich aus 40 % Granat, 27 % Epidot, 9 % Alterit, 14 % Hornblende, 2 % Pyroxen, 2 % metamorphen und 6 % stabilen und seltenen Mineralen zusammen. Auffällig und für den relativ hohen Pyroxen-Mittelwert verantwortlich ist die Probe aus 70,5 m, die 9 % Pyroxen aufweist.

Bei 56,4 m setzt der Kalkgehalt der Tone und Schluffe aus; die Sedimente gehen bis ca. 53 m in rötliche Feinsande über. Dieser Abschnitt des Bohrprofils wurde als Teil des ZH2 angesprochen. Eine Probe aus rosafarbenen Feinsanden (53,8 m) belegt durch das ausschließlich stabile Schwermineralspektrum (63 % Turmalin, 24 % Zirkon, 13 % Anatas) ein lokales Liefergebiet dieses Sedimentabschnittes.

Oberhalb von ca. 53 m bis zum Top der Bohrung treten vorwiegend kalkhaltige Sedimente auf (Ausnahme: Ton zwischen 37,5 und 36,8 m), die dem oberen Teil des MGWL, dem Oberen Zwischenhorizont (OZH) und dem Oberen Kieslager (OKL = OGWL) entsprechen. Rötlichgraue Sande wechsellagern mit grauen Feinsanden und dunkelgrauen, z. T. stark humosen Tonen, die besonders zwischen 40 und 21 m im Bereich des OZH dominieren. Bei ca. 21 m setzen gröbere, kiesige Sandschüttungen (OKL) mit rötlichen Farbtönen ein, die lagenweise von grauen Feinsanden und dunklen Schluffen unterbrochen werden. Zwischen 12,8 und 3 m treten schließlich rosafarbene, sandige Kiese auf. Sie repräsentieren ein deutlich höherdynamisches, fluviatiles Ablagerungsmilieu. Die obersten 3 m des Profils bestehen aus Sanden und Schluffen, die z. T.

### laminiert sind.

Die 13 Schwermineralanalysen aus diesem Bohrabschnitt zeigen wiederum ein deutlich alpingeprägtes Mineralspektrum aus durchschnittlich etwa 32 % Granat, 27 % Epidot, 9 % Alterit, 24 % Hornblende, 1 % Pyroxen, 3 % metamorphen und 4 % stabilen und seltenen Mineralen.

Zusammenfassend betrachtet belegen die Schwermineralbefunde die im Bohrkern durch den wechselnden Kalkgehalt der Sedimente gekennzeichneten Wechsellagerungen aus reinen Lokalschüttungen und den aus Lokal- und Rheinschüttungen gemischten Ablagerungen des Quartärs. Dabei treten im Bohrprofil Parkinsel P34 deutlich mehr Wechsel auf, als in der benachbarten Bohrung Schifferstadt. Die pliozänen Sedimente zeigen das schon aus anderen Bohruntersuchungen bekannte Mischspektrum aus instabilen und stabilen Mineralen, das auf eine Sedimentation durch einen pliozänen Ur-Rhein deutet.

Eine Korrelation mit den Sedimentabfolgen im Südgraben erweist sich weiterhin als schwierig, da die Schwermineralbefunde keinen Hinweis auf die hornblende-arme Sequenz der Unteren Breisgau-Schichten liefern. Die untersten Proben (176,8 - 166,2 m) aus der ersten alpinen Schüttung zeigen zwar niedrige Hornblende-Werte (7 - 12 %), sie steigen zum Hangenden jedoch schnell auf Werte von bis zu 37 % an. Auch in Schifferstadt zeigt die vergleichbare Sedimentfolge keine Auffälligkeiten im Schwermineralspektrum. Entweder fehlt hier ein Äquivalent der Unteren Breisgau-Schichten, oder die Sedimente wurden durch Aufnahme von Grabenrandmaterial auf ihrem Transportweg Richtung Nordgraben in ihrem Schwermineralspektrum entsprechend verändert.

Die gröberen Sedimente des Oberen Kieslagers ähneln in ihrer Ausbildung den Jüngeren Schottern des Südgrabens. Die Schwermineralanalysen können aber hier eine mögliche Korrelation nicht belegen, da beide Einheiten keine eindeutig abgrenzbare Schwermineralkennzeichnung aufweisen.

Die hydrogeologische Gliederung der Sedimentabfolge in Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter ist für die stratigraphische Gliederung nur zum Teil verwendbar, da sie nicht der Entstehungsgeschichte der Sedimente entspricht. Die Abgrenzung des pliozänen Grundwasserleiters von der quartären Schichtenfolge ist durch den Einsatz alpiner Schüttungen ab dem Oberpliozän zu belegen. Während der Sedimentation des UGWL kam es jedoch im Bereich der Parkinsel zu einer Veränderung des Liefergebietes der Schüttungen in den Graben, was durch eine Verlagerung des Rheinverlaufes und dem damit verbundenen Aussetzen der alpinen Schüttungen erklärt werden kann. Zur Zeit der Bildung des UZH, der aufgrund seiner Feinkörnigkeit ein eher ruhiges Ablagerungsmilieu widerspiegelt, scheint der Rhein zunächst wieder in Nähe der Parkinsel geflossen zu sein. Seine Schüttungen setzen aber bald darauf wieder aus, um erst im oberen Teil des MGWL-u wieder aufzutreten. In den Abschnitten ZH3 und ZH2 wurden die Rheinschüttungen abermals unterbrochen, während in vergleichbaren Teufen weiter östlich in Schwetzingen durchgängig Rheinsedimente nachzuweisen sind. Erst oberhalb des ZH2 halten die Rheinschüttungen im Bereich der Ludwigshafener Parkinsel bis heute dauerhaft an.

Auch bei der Einteilung der quartären Schichtenfolge in eine Untere schluffig-sandige Folge, eine Mittlere sandig-kiesige Folge und das Obere Kieslager scheint nur die Bezeichnung Oberes Kieslager durch seine deutlich gröbere Ausbildung im Bohrprofil der Parkinsel-Bohrung sinnvoll. Die Unterteilung nach BARTZ (1982) in drei jungquartäre Kieslager und ein sandig-schluffiges Altquartär lässt sich am Profil Parkinsel nicht nachvollziehen. Eine stratigraphische Neugliederung der quartären Sedimente, die mit den Sequenzen im Südgraben in Einklang zu bringen ist, steht in diesem Bereich noch aus.

Während in Speyer die ersten alpinen Schüttungen bei ca. 102,5 m und in Schifferstadt bei etwa 91,2 m u. GOK einsetzen, erfolgt dieser Wechsel im Schwermineralspektrum in der Bohrung Parkinsel bei ca. 177 m in deutlich größerer Tiefe. Falls es sich um ein zeitgleiches Ereignis handelt, könnte eine Erklärung für die Teufenunterschiede der Versatz der Schichten durch Störungen sein. Frühere Untersuchungen (KÄRCHER 1987) zeigen in dieser Region eine ungefähr Nordwest-Südost-verlaufende Störung, die den Grabenbereich in eine westlich und östliche Teilscholle gliedern (s. Kap. 2.3.1). Auf der westlichen Scholle (Frankenthaler Scholle) liegen die Bohrungen Speyer, Schifferstadt und Maudach, während sich auf der östlichen Scholle die Bohrlokalitäten Ludwigshafen-Parkinsel und sämtlicher Mannheimer Bohrungen befinden. Nach aktuellen River-seismic-Befunden (mündl. Mitteilung HAIMBERGER) werden weitere Störungen, die den Rhein bei Ludwigshafen queren, vermutet.

Durch die Lage auf der zeitweilig höher liegenden Frankenthaler Scholle ließe sich das Aussetzen von Rheinsedimenten in den Bohrungen Speyer, Schifferstadt, Maudach und Osthofen gut erklären, während auf der östlichen Tiefscholle die Rheinsedimentation länger andauerte. Der Rheineinfluss hätte demnach im Pliozän bis ins älteste Pleistozän die westlichen Grabenscholle erreicht. Anschließend kann es möglicherweise durch eine Anhebung dieser westlichen Scholle zu einem Ausweichen des Rheinverlaufs nach Osten gekommen sein. Zudem könnte das verstärkt während des Pleistozäns absinkende Heidelberger Loch am Ostrand des Grabens den Rheinverlauf über große Zeiträume angezogen haben (HAGEDORN 2003 a, b). Im letzten Glazial hat dann vermutlich eine Belebung der Schollentektonik eine erneute Überflutung der Frankenthaler Scholle durch den Rhein ermöglicht.

#### Paläomagnetische Untersuchungen

Für die paläomagnetischen Untersuchungen (ROLF 2004) konnten aus feinkörnigen Abschnitten der azimutal nicht orientierten Kerne einige Proben für Polaritätsbestimmungen entnommen werden. Nach der Präparation wurde zunächst die natürliche remanente Magnetisierung (NRM) und die Suszeptibilität gemessen. Einige Bohrkernbereiche konnten im Wechselfeld demagnetisiert

werden, um die im Paläofeld erzeugte charakteristische Remanenz zu bestimmen. Es wurden acht Bohrkernabschnitte untersucht (50 - 52 m, 56 - 58 m, 138 - 140 m, 160 - 162 m, 176 - 182 m, 210 -218 m, 238 - 240 m, 260 - 266 m).

Es zeigt sich, dass die Kerne aus 50 - 52 m sowie aus 56 - 58 m eine normale Magnetisierung aufweisen, was eine Einstufung in die Brunhes-Epoche (bis 0,78 Ma) wahrscheinlich macht. Bei 140 m tritt gemischte Polarität auf, wie sie in einer Übergangszone (z. B. Brunhes-Matuyama, Jaramillo, Olduvai etc.) zu erwarten wäre. Der Teufenbereich 160 - 162 m ist eindeutig invers magnetisiert, was eine Zuordnung zur Matuyama-Epoche (0,78 - 2,581 Ma) denkbar macht. Der Abschnitt 176 bis 182 m ist oben und unten eindeutig normal polarisiert, dazwischen (179 - 180 m) zeigt die natürliche remanente Magnetisierung zwar negative Inklinationswerte, die jedoch eher auf ein ungenügend aufgezeichnetes Magnetfeld zurückzuführen sind und keine primäre Polarität ableiten lassen. Ein solches Verhalten könnte mit dem Erreichen der Matuyama-Gauss-Grenze (2,581 Ma) erklärt werden, kann aber auch andere Ursachen haben. Die Teufenbereiche 210 -218 m und 260 - 266 m sind eindeutig normal polarisiert, während bei 238 bis 240 m keine primäre Polarität bestimmbar ist. Die starken Schwankungen der Bohrkernmessungen spiegeln vermutlich ein ungenügend aufgezeichnetes Magnetfeld wider, und keine inversen Bereiche. Der gesamte Abschnitt unterhalb von 175 m ist somit normal polarisiert, was auf einen Remanenzerwerb in der Gauss-Epoche (2,581 - 3,58 Ma) deutet. Die Gilbert-Epoche (3,58 - 5,894 Ma) scheint in der Bohrung nicht erreicht zu sein (ROLF 2004).

Die magnetische Polaritätsfolge lässt sich zwar wie beschrieben erklären, dies ist jedoch nur eine von mehreren möglichen Interpretationen, wenn auch die wahrscheinlichste. Da im dynamischen fluviatilen Ablagerungsraum keine kontinuierliche Sedimentation angenommen werden kann, sind keine charakteristischen magnetostratigraphischen Abfolgen zu erwarten. Es kann lediglich zwischen "normaler" und "inverser" Magnetisierung unterschieden werden, wodurch die magnetostratigraphische Einstufung mit weiteren, unabhängig abgeleiteten Indizien verglichen werden muss (ROLF 2004).

Die paläomagnetischen Zuordnungen wurden in der graphischen Darstellung des Lithofaziesprofils mit den Schwermineralanalysendaten eingetragen (s. Anlage 20). Ist diese Einstufung zutreffend, setzte in der Bohrung Parkinsel P34 die erste alpine Schüttung im Grenzbereich Gauss-Matuyama (Reuver) ein, was den Ergebnissen vergleichbarer Untersuchungen in der Niederrheinischen Bucht entspricht. Liegt die Grenze Brunhes-Matuyama (0,78 Ma) bei 138 bis 140 m, wäre der relativ lange Zeitraum der Matuyama-Epoche (2,581 - 0,78 Ma) im Bohrprofil Parkinsel durch alpine Sedimente in einer Mächtigkeit von nur etwa 40 m dokumentiert. Da die Grenze Brunhes-Matuyama zeitlich im Cromer-Komplex liegt, und aus dem Oberen Zwischenhorizont (OZH, 21 - 40 m u. GOK) des Nordgrabens ebenfalls zahlreiche paläontologische Befunde auf die Zeit des Cromer-Komplexes deuten, wären in diesem relativ kurzen Zeitraum vergleichsweise sehr mäch-

tige Sedimente (ca. 120 m) im Bereich der Parkinsel sedimentiert worden. Der lange Zeitraum des Mittel- und Oberpleistozäns wäre dagegen wieder nur durch geringmächtige Ablagerungen (ca. 20 m) repräsentiert. Wahrscheinlicher ist, dass es sich bei den gemischten Paläomagnetik-Befunden in 138 - 140 m Teufe um den Olduvai-Event (1,77 - 1,95 Ma, Tegelen), den Jaramillo-Event (0,99 - 1,07 Ma) oder Reunion 1 oder 2 handelt. Für den Olduvai-Event oder Reunion 2 sprechen zusätzlich die Pollenbefunde aus Schifferstadt, die für den oberen Teil der ersten, alpin-geprägten Sedimentfolge Hinweise auf Prä-Tegelen und Tegelen ergaben. Ob die beiden Horizonte allerdings miteinander korrelierbar sind, kann nicht eindeutig geklärt werden. Hierzu stehen noch die Ergebnisse der Pollenanalyse der Parkinsel-Bohrung aus.

Gemeinsam mit den Pollenbefunden aus anderen Bohrungen (Plobsheim, Schifferstadt) unterstützt die normale Magnetisierung unterhalb von 177 m die pliozäne Einstufung der Sedimente mit dem gemischten Schwermineralspektrum. Da die Gilbert-Epoche nicht erreicht wurde, sind die Sedimente vermutlich dem Reuver zuzuordnen.

## 4.4.6 Bohrung Mannheim-Lindenhof

Mannheim-Lindenhof A55Z, R 3461336, H 5481931, 95,5 m NN, Endteufe: 45 m Mannheim-Lindenhof A56Zu, R 3461433, H 5481537, 95,5 m NN, Endteufe: 52 m

Die Kernbohrungen Mannheim-Lindenhof A55Z und A56Zu wurden im Rahmen der Bauvorhaben "Rheinvillenstraße" und "Waldparkdamm" in Mannheim-Lindenhof südlich der Mannheimer Innenstadt in Nähe des östlichen Rheinufers abgeteuft und als Grundwasserpegel ausgebaut. Die Entfernung zur südöstlich gelegenen Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel P34 (s. Kap. 4.4.5) beträgt etwa 1 km. Die Ergo-Bohrungen am Mannheimer Hauptbahnhof (s. Kap. 4.4.7) liegen etwa 600 m entfernt.

Die Bohrung A55Z erreicht eine Teufe von 45 m. Das Lithofaziesprofil ist in Abbildung 65 ersichtlich. Unterhalb von künstlichen Aufschüttungen von ca. 2 m Mächtigkeit folgen bis 23 m unter GOK Mittel- bis Grobsand-dominierte, kieshaltige Sedimente. Besonders grobe Gerölle treten zwischen 8 und 10 m auf. Zwischen vorwiegend grauen Farbtönen lassen vereinzelte rosagraue Sande sowie Buntsandstein-Gerölle den Eintrag von Grabenrandmaterial erkennen. Von 23 bis 28 m treten graue Sande auf, die stellenweise Molluskenschill enthalten. Unterhalb von 28 m herrschen schluffig-tonige und zum Teil humose Sequenzen vor, die zwischen 39 - 44,1 m durch glimmerhaltige, graue Feinsande unterbrochen werden.

In einer ca. 170 m südöstlich benachbarten Bohrung (Notbrunnen 68, Rhein-Neckar AG, R 3461480, H 5481840, 94 m NN, 70 m Teufe) wurde folgendes Profil erbohrt (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2000):

0 - 27 m:	OKL
27 <b>-</b> 47 m:	OZH, darin OZH1 und OZH2
47 - 70 m:	MKL

Diese Abfolge lässt folgende Einstufung des Bohrprofils von A55Z vermuten (s. Abb. 65):

0 - 23 m:	OKL
23 - 28 m:	Sande (zum OKL?)
28 - 39 m:	OZH1
39 <b>-</b> 44 m:	GWLOZH (glimmerhaltige Sande)
44 - 46 m:	OZH2

Das MKL wurde demnach in der Bohrung A55Z nicht erreicht. Der Obere Zwischenhorizont (OZH) spaltet sich in der Bohrung A55Z offenbar wie im Notbrunnen 68 in zwei feinkörnige Horizonte (OZH1 und OZH2) auf, denen Sande (GWLOZH) zwischengeschaltet sind. Dieser grundwasserleitende GWLOZH tritt auch im Mittel- und Nordteil der auf dem westlichen Rheinufer benachbarten Parkinsel als 4 - 7 m mächtige durchgängige Sandschicht auf (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2000).

Die Grenze Plio-Pleistozän ist nach THÜRACH (1905) bei der Spielfabrik Waldhof in Mannheim bei 146,70 m u. GOK anzunehmen, während SIDKI (1979) sie im Mannheimer Stadtgebiet bei über 200 m Teufe erwartet.

Die etwa 400 m in Richtung Südosten entfernte Bohrung A56Zu zeigt eine vergleichbare Sedimentabfolge. Die sanddominierten Kiese reichen hier bis 27,6 m unter GOK. Darunter folgen ähnlich wie in der Bohrung A55Z - schluffig-tonige und z. T. torfhaltige Sedimente (OZH1). Unterhalb von 36,6 m wurden wiederum glimmerhaltige Feinsande erbohrt (GWLOZH). Die Bohrung endet bei 43,5 m unter GOK.

Aus dem Bohrkern Mannheim-Lindenhof A55Z wurden 11 Proben schwermineralanalytisch bearbeitet. Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 65) zeigt, dass die instabilen Minerale Granat, Epidot, Alterit und Hornblende über den gesamten Teufenbereich durchschnittlich etwa 92 % in Summe ausmachen. Die Sedimente der Bohrung A55Z sind demnach durch rheinische Ablagerungen alpiner Herkunft geprägt. Neben durchschnittlich 2 % stabilen und 1 % seltenen Mineralen ergänzen etwa 4 % metamorphe Minerale sowie 1 % Pyroxen das Spektrum. Oberhalb von 20,4 m tritt Pyroxen etwas durchgängiger auf als darunter. Die makroskopisch erkennbaren lokalen Einträge zeichnen sich aufgrund ihres geringen Schwermineralgehalts kaum in der Zusammensetzung des Spektrums ab. Eine Unterscheidung zwischen Oberen Zwischenhorizont und Oberen Kieslager ist aus schwermineralanalytischer Sicht nicht möglich.



Abb. 65: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lindenhof A55Z.

## **Pollenanalyse**

Die Pollenanalysen aus 8,2 bis 9,7 m haben eine warmzeitliche Pollenflora ergeben, die wahrscheinlich ins Holozän einzustufen ist, da hohe *Fagus*-Anteile gegen eemzeitliches Alter sprechen. In der Bohrung A56Zu treten vergleichbare Pollenspektren zwischen 9,3 und 12,5 m auf (KNIPPING 2001).

## 4.4.7 Bohrungen Mannheim Ergo-Hochhaus

Ergo BK1 Hauptbahnhof, R 3461515, H 5482525, 95,3 m NN, Endteufe: 60 m Ergo BKEX1, R ca. 3461550, H ca. 5482500, 89 m NN, Endteufe: 52 m Ergo BKEX2, R ca. 3461550, H ca. 5482550, 95 m NN, Endteufe: 55,4 m

Der Victoria-Turm (Ergo-Hochhaus) wurde von der Ergo-Versicherungsgruppe von 1999 bis 2001 in Mannheim-Lindenhof auf einem 4600 m<sup>2</sup> großen Grundstück an der Joseph-Keller-Straße (heute: Am Victoria-Turm) mit einer Höhe von 97 m (27 Etagen) erbaut. Zur Vorbereitung dieses Bauprojektes wurden im Jahr 1999 mehrere Schlauchkernbohrungen niedergebracht, die 40 bis 60 m Teufe erreichten. Aus drei dieser Bohrungen (BK1, BKEX1 und BKEX2) wurden Proben zur Schwermineralanalyse entnommen.

Die Sedimente werden interdisziplinär untersucht. Nach der geologischen Aufnahme des Bohrkerns wurden einige Kernstücke zur paläomagnetischen Bestimmung ausgewählt. Schneckenreiche Partien sollen paläontologisch analysiert werden. Beim Schlämmen wurden auch Kleinsäuger-Reste entdeckt, deren Bestimmung noch aussteht. Ergebnisse liegen bisher nur von den pollenanalytischen Untersuchungen der benachbarten Bohrung Ergo BK3 vor, die ein vergleichbares Profil zu den schwermineralanalytisch untersuchen Bohrungen zeigt (s. u.).

## **Bohrung BK1 Hauptbahnhof**

Die Bohrung BK1 wurde in Nähe des Mannheimer Hauptbahnhofes an der Joseph-Keller-Straße auf 60 m u. GOK abgeteuft. In Abbildung 66 ist das Lithofaziesprofil der Bohrung ersichtlich. Im Bereich zwischen 60 und 41,3 m treten mehrere fining-upward-Zyklen auf, in denen dunkelgraue Sande in graue bis braungraue Feinkornlagen übergehen. Zwischen 41,3 und 37 m ist eine besonders mächtige Feinsedimentabfolge aus laminierten Schluffen und Tonen eingeschaltet, die durch hohe organische Anteile lagenweise schwarzgrau gefärbt sind. Auf den Schichtflächen finden sich vermehrt Pflanzenhäcksel. Darüber folgen wieder graue Fein- bis Mittelsande bis ca. 31,5 m. Dieser Abschnitt (60 - 31,5 m) repräsentiert ein geringdynamisches Ablagerungsmilieu in fluviatil-limnischer Fazies. Vermutlich lassen sich die Sedimente dem Oberen Zwischenhorizont (OZH) zuordnen, der in den benachbarten Bohrungen in Mannheim-Lindenhof (s. Kap. 4.4.6) ähnlich ausgebildet ist. Möglicherweise lässt sich der OZH wiederum in OZH1 und OZH2 mit einem zwischengeschalteten, sandigen GWLOZH untergliedern.

Die Pollenbefunde aus der benachbarten Bohrung BK3 (s. u.) geben für den unteren Bereich der Abfolge (56,9 - 56,5 m) Hinweise auf ein cromer-zeitliches Alter, wie es bereits aus mehrfachen Untersuchungen des OZH aus der Region (ENGESSER & MÜNZING 1991, KNIPPING 2001) belegt ist. Für die Feinkornsedimente zwischen 37 bis 42 m in der Bohrung BK3 hält BLUDAU (2001) ein risszeitliches Alter für möglich.

Bei 31,5 m setzen sandige Kiese ein, deren Rosafärbung auf vermehrten Einfluss aus den Buntsandstein-Gebieten des Grabenrandes deutet. Zum Hangenden wechsellagern diese rosagrauen bis bunten Kiese mit grauen, z. T. glimmerhaltigen Fein- bis Mittelsanden. Diese Sequenz, die als Oberes Kieslager (OKL) angesprochen wird, schließt mit einem fining-up zu grauen, feinsandigen, glimmerreichen, laminierten Schluffen bei 9,2 m ab. Darüber folgen deutlich gelbbraun gefärbte, sandige Kiese, in die mehrfach graue, tonige Schluffhorizonte (Altarmsedimente?) eingeschaltet sind. Die Pollenanalysen der Nachbarbohrung BK3 deuten auf holozänes Alter dieser Sedimente, für das auch die enthaltenen Ziegelreste sprechen. Bei den obersten 2 m handelt es sich vermutlich um zerbohrten Bauschutt.

Die 60 m-tiefe Bohrung wurde in kleinen Abständen 58 mal für die Schwermineralanalyse beprobt. Lücken im Probenprofil treten nur in den feinkörnigen Bereichen auf. Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 66) lässt eine Untergliederung in drei Abschnitte mit leicht veränderten Mineralverteilungen erkennen. Generell zeigt sich jedoch ein durch den alpinen Rhein geprägtes Schwermineralspektrum aus 32 % Granat, 27 % Epidot, 6 % Alterit und 25 % Hornblende, das von ca. 1 % Pyroxen, 2 % metamorphen und 7 % stabilen und seltenen Mineralen ergänzt wird.

Von diesen Durchschnittswerten weicht die Mineralverteilung im Abschnitt 60 bis 55 m deutlich ab, obwohl im Bohrkern makroskopisch kein Unterschied im Sediment festzustellen war. Die fünf Proben aus diesem Bereich zeigen mit 54 % Granat einen wesentlich höheren Wert als die Sedimente im Mittelteil der Bohrung (55 bis 9,5 m) mit durchschnittlich 26 %. Gleichzeitig ist ein deutlich verminderter Hornblende-Gehalt von nur 8 % gegenüber 30 % im mittleren Bohrabschnitt festzustellen. Auch der Epidot-Anteil (25 %) sowie die Anteile der anderen Mineralgruppen sind geringer als in den darüber folgenden Sedimenten.

Zwischen 55 und 9,5 m zeigen die untersuchten Proben trotz einiger Schwankungen ein relativ einheitliches Mineralspektrum, das durchschnittlich aus 26 % Granat, 28 % Epidot, 6 % Alterit und 30 % Hornblende besteht. Innerhalb der Gruppe der stabilen Minerale zeigt der Zirkon-Gehalt deutlich wechselnde Anteile: In drei Proben aus 44,5 m, 43,5 m und 34,5 m steigen die Gehalte auf überdurchschnittlich hohe 10 bzw. 13 % an. Neben höherem Einfluss von Lokalmaterial könnte die Ursache für die höheren Zirkon-Gehalte auch die Feinkörnigkeit der beprobten Sedimente sein. Oberhalb von etwa 26 m ist das Spektrum durch vermehrtes Auftreten von Pyroxen (ca. 1,4 % im Mittel) gekennzeichnet.



Abb. 66: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung BK1 Hauptbahnhof.

Der Bohrabschnitt oberhalb von 9,5 m, der bereits makroskopisch durch einen Farbwechsel zu gelbbraun auffiel, lässt sich auch im Schwermineraldiagramm durch eine Veränderung der Mineralzusammensetzung abgrenzen. Die Granat-Werte steigen auf 46 % an, während gleichzeitig der Epidot auf 24 % im Durchschnitt, und die Hornblende noch deutlicher auf 11 % im Durchschnitt zurückgeht. Der Anteil an stabilen und seltenen Mineralen liegt in diesem Bereich mit ca. 10 % etwas höher als in den unteren beiden Abschnitten (6 bzw. 5 % im Mittel). Möglicherweise ist während des Holozäns (Pollenbefunde) ein deutlich stärkerer Einfluss von Lokalmaterial bei gleichzeitiger Verminderung der Sedimentation von alpinen Sedimenten Ursache für das veränderte Mineralspektrum. Hierbei könnte die Unterbrechung der alpinen Sedimentanlieferung durch das Bodenseebecken im Holozän eine Rolle spielen.

### **Bohrung BKEX2**

Die Bohrung Mannheim Ergo BKEX2 erreichte eine Endteufe von 55,4 m. Es zeigt sich ein sehr ähnliches Bohrprofil (s. Abb. 67) wie in der Bohrung BK1 (s. Abb. 66). Die Abfolge beginnt an der Basis der Bohrung mit grauen Sanden, in die zwischen 54,5 bis 54 m und 51,3 bis 49,7 m hellgraue bis humose Schluffe eingeschaltet sind. Darüber folgt ein mächtiges, gelblichgraues Sandpaket bis 45,9 m, das vermutlich den Sanden in der Bohrung BK1 zwischen 49,8 und 46 m entspricht. Zum Hangenden setzen Wechsellagerungen aus Feinsanden und Schluffen die Abfolge bis 37,9 m fort. Auch die nun folgende Sand-Schicht von 37,9 bis ca. 33 m lässt sich gut mit einer Sandpartie in vergleichbarer Teufe in der Bohrung BK1 korrelieren. Oberhalb von 33 m setzen Kiessandschüttungen ein, die das Obere Kieslager (OKL) bilden. Während die Sande vorwiegend graue Farben zeigen, sind die Kiesgerölle grau-bunt. Zwischen 17,4 und 16 m sind die Geröllkomponenten deutlich gröber ausgebildet. Die Kies-Sand-Sequenz (33 - 11,8 m) wird von feinsandigen, grauen Schluffen bedeckt, die bis 8,8 m hinaufreichen. In der Bohrung BK1 findet sich in vergleichbarer Teufe ebenfalls ein Feinkornhorizont. Oberhalb von 8,8 m setzen rosafarbene kiesige Sande ein, die bei 7,5 m von diamiktischen Sedimenten mit humoser Matrix und bei 7 bis 6 m von einem dunkelgraubraunen Schluff mit Schneckenschill überlagert werden. Bis ca. 2 m u. GOK folgen zunächst gelbe, dann gelbrosa-farbene, sandige Kiese. Die obersten 2 m bestehen aus zerbohrtem Bauschutt.

Aus dem Bohrprofil wurden 53 Proben schwermineralanalytisch untersucht. Die gute Vergleichbarkeit der makroskopischen Profilaufnahme zwischen den Bohrungen BK1 und BKEX2 spiegelt sich auch in den Ergebnisse der Schwermineralanalyse wider (s. Abb. 66 und 67).

Im Durchschnitt setzt sich in der Bohrung BKEX2 das Spektrum aus 32 % Granat, 26 % Epidot, 8 % Alterit und 27 % Hornblende sowie 1 % Pyroxen, 2 % metamorphen und 4 % stabilen und seltenen Mineralen zusammen. Dies spricht für eine überwiegende Anlieferung der Sedimente durch den alpin geprägten Rhein.

Wie bereits im Schwermineraldiagramm der Nachbarbohrung BK1 (s. Abb. 66) lassen sich ein unterer und ein oberer Bohrabschnitt mit erhöhten Granat-Werten und niedrigen Hornblende-Werten von einem Mittelteil abgrenzen (s. Abb. 67). So liegt der Granat-Anteil in den Proben unterhalb von 52,5 m (BK1: unterhalb 55 m) bei durchschnittlich 46 %, bei einem leicht erhöhten Epidot-Mittelwert von 33 % und nur 8 % Hornblende.

Der mittlere Abschnitt der Bohrung (52,5 - 8 m) zeigt trotz einiger Schwankungen recht einheitliche Hauptmineral-Anteile (27 % Granat, 26 % Epidot, 31 % Hornblende, 8 % Alterit). Kleinere Veränderungen im Spektrum lassen sich bei etwa 30 m feststellen. Darunter tritt etwas mehr Zirkon (4 %) auf als darüber (unter 1 %). Oberhalb von 30 m kommt Pyroxen vor (2 %), der darunter weitestgehend fehlt. Weiterhin ist ein leichter Rückgang der Hornblende- (29 % gegenüber 32 % im unteren Teil) und Epidot-Werte (24 % gegenüber 28 % im unteren Teil) bei leicht ansteigenden Granat-Anteilen (29 % gegenüber 26 % im unteren Teil) festzustellen. Das vermehrte Vorkommen von Zirkon unterhalb von 30 m könnte durch die feinere Körnung der Sedimente im diesem Bereich bedingt sein, da sich die kleinen Zirkon-Kristalle in Feinsedimenten relativ anreichern können (s. Kap. 3.2.4.3). Auch ein zunehmender Einfluss von Lokalmaterial in diesem Sedimentabschnitt ist denkbar. Die Pyroxen-Körner sind hingegen relativ groß und kommen eher in gröberen Sedimenten vor. Das Auftreten der Pyroxene oberhalb von 30 m könnte eine Folge vermehrtem Eintrag von Pyroxen (Eifelvulkanismus) in die Grabensedimente sein.

Im obersten Teil der Bohrung BKEX2 (oberhalb ca. 8 m) zeigen sich wieder ansteigende Granat-Werte bei einem Mittelwert von 52 %. Einen Rückgang der durchschnittlichen Anteile am Spektrum zeigen sowohl die Hornblenden (11 %) als auch die Epidote (22 %). Die Gruppe der stabilen Minerale ist im Gegensatz zu den Befunden aus der Bohrung BK1 nicht wesentlich erhöht (4 %). Dennoch deutet die veränderte Sedimentfärbung (gelb und rosa) auf eine vermehrte Lokalherkunft der Sedimente bei eventuell gleichzeitig nachlassendem alpinen Eintrag, was die Ursache für die Veränderungen der Mineralzusammensetzung sein könnte.



Abb. 67: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ergo BKEX2.

#### **Bohrung BKEX1**

Auch das Bohrprofil BKEX1 (s. Abb. 68) lässt sich sehr gut mit denen der Nachbarbohrungen BKEX2 und BK1 korrelieren. Hierbei ist zu beachten, dass die Bohrung BKEX1 in der etwa 6 m tiefen Baugrube des Ergo-Hochhauses niedergebracht wurde, wodurch sich die Teufenangaben u. GOK um diesen Betrag unterscheiden. Die Wechselfolge aus grauen Feinsanden und z. T. laminierten oder humosen Schluff-Ton-Lagen (OZH) reicht von der Basis der Bohrung (52,5 m) bis ca. 32,5 m. Dies entspricht in etwa der Lage von etwa 38 m u. GOK in der Bohrung BKEX2. Darüber wechseln sich wiederum graue, z. T. glimmerhaltige Sande und etwas buntere sandige Kiese des Oberen Kieslagers ab, wobei die Größe der Geröllkomponenten zum Hangenden zunimmt. Oberhalb von 8 m treten zerbohrte Betonstücke und sandige Kiese auf. Der oberste Teil der anderen beiden Bohrungen aus gelben und rosa Sedimenten fehlt hier.

Aus dem Sedimentprofil der Bohrung BKEX1 wurden 24 Proben schwermineralanalytisch untersucht. Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 68) gibt etwas undeutlicher die in den Nachbarbohrungen festgestellten Mineralveränderungen wider. Die Durchschnittswerte betragen 34 % Granat, 25 % Epidot, 7 % Alterit, 27 % Hornblende sowie 1 % Pyroxen, 2 % metamorphe und 4 % stabile und seltene Minerale.

Es lässt sich wiederum im unteren Teil der Bohrung (52,5 - 32,5 m) eine Zunahme der Granat-Werte auf ca. 50 % bei abnehmenden Hornblende-Werten (11 %) feststellen. Da der oberste Abschnitt der Sedimentfolge fehlt, der sich in den anderen Bohrungen ebenfalls durch hohe Granat- und niedrige Hornblende-Werte auszeichnete, verbleibt der recht einheitliche Mittelteil (32,5 - 8 m) mit den Hauptmineralanteilen von 31 % Granat, 24 % Epidot, 7 % Alterit und 29 % Hornblende. Hierbei ist eine minimale Zunahme der Pyroxen-Gehalte zum Hangenden bei gleichzeitigem Rückgang der Zirkon-Werte abzulesen.

Die drei untersuchten Bohrung aus dem Ergo-Bauprojekt lassen eine sehr gute Übereinstimmung der Sedimentabfolgen und ihrer Schwermineralspektren erkennen. Als Tendenz muss ein leicht verändertes Spektrum unterhalb von etwa 55 m Tiefe (Zunahme Granat, Abnahme Hornblende) im unteren Bereich des OZH festgehalten werden. Ebenso weisen die obersten ca. 10 m u. GOK durch vermehrte Lokalschüttungen eine veränderte Färbung und ein granat-reicheres und hornblendeärmeres Mineralspektrum auf. Für beide Bereiche kann eine verstärkte Anlieferung von Lokalsedimenten bei möglicherweise nachlassendem alpinen Sedimenteintrag angenommen werden. Wie schon in anderen Bohrungen des Nordgrabens zeigt sich ein vermehrtes Auftreten von Pyroxen oberhalb von ca. 30 m u. GOK. Weiterhin lassen sich bei den Ergo-Bohrungen tendenziell erhöhte Zirkon-Gehalte unterhalb von 30 m Tiefe ablesen.



Abb. 68: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ergo BKEX1.

## Pollenanalyse der Bohrung Ergo BK3

Die Untersuchungen (BLUDAU 2001) wurden an Sedimenten der Ergo-Bohrung BK3 (R 3461515, H 5482525, 95 m NN) durchgeführt, die nur wenige 10er Meter entfernt von den andern Ergo-Bohrungen abgeteuft wurde. Zwischen 56,9 - 56,5 m treten pliozäne Reliktformen auf, die älter als Holstein-Interglazial sein müssen; eine Einstufung in den Cromer-Komplex wird diskutiert. Die Pollen aus dem Abschnitt 51,9 - 46,6 m repräsentieren eine beginnende Warmzeit mit anschließender Erkaltung des Klimas. Die biostratigraphische Einordnung ist schwierig, weil keine typischen Pollenvergesellschaftungen vorkommen. Eem und süddeutsches Holstein können ausgeschlossen werden (weil *Fagus* und *Pterocarya* sowie *Carpinus* fehlen), ebenso Intra-Riss Warmzeiten. Es kann ein prä-Riss-Alter (Cromer?) angenommen werden, was das seltene Auftreten von *Tsuga* unterstreicht.

In der Sequenz 41,9 - 36,7 m deuten die Pollenbefunde eine Veränderung von einer anfänglichen Steppenphase bis hin zu warmzeitlichen Formen an. Der obere Abschnitt zeigt eine lange Abkühlungsphase. BLUDAU (2001) schlägt vor, diesen Abschnitt des Bohrprofils als eines der Intra-Riss-Interglaziale nach dem Holstein einzustufen. Im Bereich 10 bis 5,1 m treten Pollen auf, die wahrscheinlich aus dem Holozän stammen (Subboreal und jünger).

# 4.4.8 Bohrung Mannheim-Friesenheimer Insel

Friesenheimer Insel T1.3, R 3460510, H 5487350, 91 m NN, Endteufe: 110 m

Auf der Friesenheimer Insel etwa 4 km nördlich der Mannheimer Innenstadt wurde eine Bohrung bis 110 m u. GOK abgeteuft, wobei bis etwa 50 m im Greifer- und darunter im Lufthebeverfahren das Sediment zutage gefördert wurde. Die Tiefenlage der Zwischenhorizonte entspricht relativ gut der für den Raum Mannheim-Ludwigshafen bekannten Werte. Das Sedimentprofil (s. Abb. 69) lässt sich demnach folgendermaßen gliedern:

0 - 26 m:	Oberes Kieslager (OKL)
26 - 44,5 m:	Oberer Zwischenhorizont (OZH, zweigeteilt in OZH1 und OZH2)
44,5 <b>-</b> 96 m:	Mittleres Kieslager (MKL)
96 - 102 m:	Unterer Zwischenhorizont (UZH)
102 - 116 m:	Unteres Kieslager (UKL)

Während die Feinkornlagen häufig humose Anteile enthalten und daher graubraun bis schwärzlich gefärbt sind, weisen die gröberen, kiesigen Sande meist rosa bis rosagraue Farben auf. Vereinzelt sind graue, glimmerreiche Sandlagen eingeschaltet. Das Profil schließt mit gelben Sanden ab, die bereits in anderen Bohrungen aus dem Nordgraben auftraten.



Abb. 69: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Mannheim-Friesenheimer Insel.

Von 10 bis 96 m wurden in großen Abständen insgesamt 16 Proben für die Schwermineralanalyse entnommen. Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 69) zeigt eine Dominanz der alpinen Schwerminerale Granat (32 % im Mittel), Epidot (27 %), Alterit (9 %) und Hornblende (25 %), was eine vorwiegende Sedimentation durch den alpinen Rhein im Quartär belegt. Hinzu kommen etwa 1 %

Pyroxen, 2 % metamorphe und 4 % stabile und seltene Minerale. Erwähnenswert sind die verminderten Hornblende-Gehalte in den Proben aus 80 und 75 m Teufe mit nur 9 bzw. 8 % Hornblende. In der Probe aus 80 m sind zudem die Anteile an stabilen Mineralen mit 11 % überdurchschnittlich hoch, wobei der Zirkon mit 8 % den Hauptteil stellt. Ein erhöhter Anteil an Schüttungen aus Buntsandstein-Gebieten des Odenwalds (zirkon-reich) könnte die Ursache hierfür sein. In den beiden Proben aus 18 und 10 m Teufe zeigt sich ein Rückgang der Granat-Werte auf 12 bzw. 15 % bei gleichzeitigem Anstieg der Hornblende-Anteile auf 36 bzw. 53 %. Eine Interpretation dieser Befunde ist aufgrund der zu geringen Datengrundlage nicht möglich. Eine Probe aus den obersten gelben Sanden lag nicht zum Vergleich mit den Daten anderer Bohrungen vor.

## **Pollenanalyse**

Die feinkörnigen und z. T. humosen Horizonte wurden zur Pollenanalyse beprobt. Bei 26 m deuten die Pollenspektren auf die Existenz eines borealen Nadelwaldes, während sich bei 29 m ein wärmeres Klima widerspiegelt. In den Proben aus dem Oberen Zwischenhorizont aus 42 - 44 m Teufe handelt es sich wahrscheinlich um Pollenspektren aus der Cromer-Zeit. Insgesamt treten keine oder nur sehr schlecht erhaltene Pliozän-Formen auf, daher ist das gesamte Profil wahrscheinlich jünger als das Altquartär einzustufen (KNIPPING 2001), was im Einklang mit den Schwermineralbefunden steht.

## 4.4.9 Bohrungen Mannheim-Käfertal

UVB1 R 3466600, H 5486900, 100,46 m NN, Endteufe: 45 m UVB3 R 3467200, H 5486700, 100 m NN, Endteufe: 43,5 m

Die Bohrungen Mannheim-Käfertal UVB1 und UVB3 wurden etwa 6 km nordöstlich der Mannheimer Innenstadt im Ortsteil Käfertal in etwa 640 m Entfernung voneinander abgeteuft.

## **Bohrung UVB1**

Die Sedimente der Kernbohrung Mannheim-Käfertal (UVB1) wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (CICEK 1999) sedimentpetrographisch analysiert. Dazu wurden die Schwermineralfraktionen von insgesamt 57 Proben untersucht. Zusätzlich wurde die Farbe der Quarzkörner bestimmt.

Die Bohrung Mannheim-Käfertal (UVB 1, s. Abb. 70) durchteuft das Obere Kieslager (OKL) des Oberrheingrabens im Bereich des Neckarschwemmfächers und erreicht mit ihrer Endteufe von ca. 45 m den Oberen Zwischenhorizont (OZH). Sowohl das makroskopische Erscheinungsbild des Bohrprofils als auch die Ergebnisse der sedimentpetrographischen Analysen lassen eine Dreigliederung des Sedimentprofils zu.

Die sandigen bis schluffigen Sedimente von 45 bis 37 m zeigen eine graue Färbung und enthalten

stellenweise hohe Glimmeranteile. Sie wurden vom alpinen Rhein abgelagert, wofür die für diese Sedimente typische graue Farbe und die hohen Glimmergehalte sprechen. Bei etwa 37 m setzt eine Schüttung des Neckars ein, die durch grobe Buntsandsteingerölle, bunte Kiese und eine Rosafärbung der Sandmatrix gekennzeichnet ist. Darüber wechseln graue, z. T. laminierte Sande und rosa getönte kiesige Sande, was auf eine Wechsellagerung bzw. Durchmischung von Rhein- und Neckar-Sedimenten deutet. Ab 11 m aufwärts sind die Sande und Kiese durchweg rosa und gelb getönt; hier scheint der Lokaleinfluss zugenommen zu haben.

Bei der Auswertung der Schwermineralanalyse zeigt sich eine Dominanz der Minerale Granat (durchschnittlich 24 %), Epidot (24 %), Hornblende (25 %) und Alterit (16 %), was ein vorwiegend alpines Liefergebiet der Sedimente belegt. Ergänzt wird das Spektrum von etwa 6 % metamorphen und ca. 5 % stabilen und seltenen Mineralen. Vereinzelt tritt Pyroxen auf (s. Abb. 70).

Veränderungen in der Schwermineralverteilung zeichnen sich bei etwa 37 m, 11 und 8 m Teufe ab. Unterhalb von 37 m ist der Gehalt an metamorphen Mineralen, hauptsächlich Sillimanit (12 %), deutlich erhöht. Im mittleren Teil der Bohrung (37 bis 11 m) zeigt sich eine recht gleichmäßige Verteilung der Minerale mit durchschnittlich etwa 25 % Granat, 24 % Epidot, 14 % Alterit und 29 % Hornblende. Die stabilen und metamorphen Minerale betragen ca. 8 % im Durchschnitt. Der makroskopisch erkennbare Einfluss von Lokalmaterial in den rosa-gefärbten Sedimentpartien lässt sich im Schwermineralspektrum nicht erkennen. Das beruht vermutlich darauf, dass die Rheinsedimente bis zu zehnmal mehr Schwerminerale beinhalten als die Lokalschüttungen. Somit überdeckt das Rheinspektrum die Lokalschüttungen.

Oberhalb von etwa 11 m Teufe ist eine weitere Veränderung im Schwermineralspektrum festzustellen. Von 11 bis 8 m ist der Anteil an stabilen Mineralen (18 %) deutlich gegenüber dem restlichen Bohrprofil erhöht. Dies spricht für eine verstärkte Schüttung des Neckars, dessen Schwermineralspektrum vorwiegend stabile Minerale aus dem Buntsandstein beinhaltet. Gleichzeitig mit dem Anstieg des Anteils an stabilen Mineralen zeigt sich ein Rückgang der Epidot-Gehalte (19 %) und der Hornblende-Gehalte (11 %) bei ansteigenden Alterit-Werten (20 %). Der Anstieg der Alterit-Werte setzt sich oberhalb von etwa 8 m weiter fort (30 %), ebenso der Rückgang der Hornblende-Gehalte (8 %). Der Gehalt an stabilen Mineralen reduziert sich oberhalb von 8 m wieder auf ca. 5 %; der Epidot erreicht wieder höhere Mittelwerte von ca. 26 %.

Es lässt sich demnach sowohl durch die rosa und gelbbraune Farbe der Sedimente oberhalb von 11 m, als auch durch Veränderungen im Schwermineralspektrum ein möglicherweise stärkerer Eintrag von Grabenrandschüttungen festhalten.

Die Ergebnisse der Quarzkornfarben-Analyse (CICEK 1999) untermauern die Gliederung des Profils. Hier ist besonders die höhere Helligkeit der Quarze im Bereich von 11 m aufwärts zu erwähnen. Sättigung und Wellenlänge zeigen die Unterschiede etwas undeutlicher. Die Quarze aus diesem Bereich stammen vermutlich aus einem anderen Liefergebiet und sind daher deutlich heller gefärbt als die Quarze im unteren Teil der Bohrung. Da auch im mittleren Teil der Bohrung (37 bis 11 m) einige erhöhte Helligkeitswerte festzustellen sind, die größtenteils mit rosa gefärbten Schüttungen des Neckars zu korrelieren sind, ist eine Herkunft der Quarze aus dem Einzugsgebiet des Neckars zu vermuten.



Abb. 70: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Mannheim-Käfertal UVB1.

#### Pollenanalyse UVB1

Gut erhaltene Pflanzenreste, die in einzelnen Lagen in die Sande eingeschaltet sind, deuten auf eine rasche Sedimentation in einer Rinnensituation. Zwischen 29,25 und 27,95 m zeigt sich eine interstadiale Pioniervegetation, die jedoch keine stratigraphische Zuordnung ermöglicht. Zwischen

41,7 bis 44,91 m (Oberer Zwischenhorizont) tritt eine warmzeitliche Pollenflora auf, deren Zusammensetzung für eine cromer-zeitliche Zuordnung spricht. Der Beginn und das Ende dieser Warmzeit sind nicht im Profil überliefert (KNIPPING 2001).

### **Bohrung UVB3**

Im Rahmen einer Diplomarbeit (SCHISTEK 2001) wurden schwermineralanalytische Untersuchungen an der Bohrung Mannheim-Käfertal UVB 3 durchgeführt. Hierzu wurden auf einer Gesamtteufe von 43,5 m 49 Proben entnommen.

Das Bohrprofil Mannheim-Käfertal UVB 3 aus dem Gebiet des Neckarschwemmfächers erschließt eine der Bohrung UVB1 vergleichbare Sedimentabfolge des Oberen Kieslagers bis zum Oberen Zwischenhorizont.

Während in der Parallelbohrung UVB 1 im unteren Bereich der Bohrung (45 bis 37 m) eine einheitlich graue, glimmerreiche Sandschüttung eine Ablagerung durch den Rhein annehmen lässt, zeigt die Bohrabfolge UVB 3 im vergleichbaren Teufenbereich eine Wechsellagerung aus grauen Rheinsanden und rosa-getönten Neckar-Schüttungen mit deutlich mehr Grobschüttungen aus dem Neckarraum (s. Lithofaziesprofil in Abb. 71). Buntsandstein-Blöcke treten bei etwa 39,7 bis 39,5 m, 37,2 bis 36,4 m, 13,9 bis 13,2 m und 10 bis 8,7 m auf. Die Größe der Blöcke lässt auf eine hohe Strömungsdynamik schließen. Durch die Nähe des Liefergebietes (Odenwald) und das höhere Gefälle des Neckars gegenüber dem Rhein lässt sich das Auftreten von Geröllen dieser Größe erklären. Wie im Bohrprofil UVB 1 zeigt sich oberhalb von etwa 10,5 m eine vergleichbare Zunahme der Rosa- und Gelbfärbung der Sedimente.

Die Verteilung der Schwerminerale (s. Abb. 71) zeigt in zwei Teufenbereichen Veränderungen, die eine Dreigliederung des Bohrprofils ermöglichen. Im unteren Bohrabschnitt von 41,6 bis 10,5 m summieren sich die instabilen Minerale Granat (20 %), Epidot (25 %), Alterit (22 %) und Hornblende (25 %) auf etwa 92 % im Durchschnitt, wie es für die alpinen Rheinsedimente charakteristisch ist. Das Spektrum wird durch die metamorphen (3 %), stabilen und seltenen Minerale (5 %) sowie durch vereinzelte Pyroxene vervollständigt.

Zwischen 10,5 und 7 m verändert sich das Spektrum zugunsten der stabilen Minerale Rutil, Turmalin und Zirkon, wobei der Zirkon den größten Anteil ausmacht. Die Summe der stabilen Minerale beträgt hier durchschnittlich etwa 23,5 %, mit einem Maximalwert von 36 % (9,1 m). Während die instabilen Minerale Epidot (15 %), Alterit (15 %) und Hornblende (19 %) in diesem Bereich rückläufig sind, nehmen die Granat-Anteile (22 %) leicht zu. Die stabilen Minerale stammen vermutlich aus dem Buntsandstein im Neckar-Einzugsgebiet. Da die Sedimente aus diesem Bereich im Gegensatz den Rheinsedimenten eher schwermineralarm sind, müssen große Sedimentmengen - vermutlich bei gleichzeitiger Verminderung der Rhein-Sedimentation - angeliefert worden sein, damit sich ihr Einfluss im Schwermineralspektrum niederschlägt. In anderen Teufenbereichen der Bohrung UVB 3, in denen ebenfalls im Bohrkern auffällige Buntsandstein-Schüttungen hervortreten, lässt sich keine Zunahme der stabilen Minerale feststellen. Vermutlich bewirkte eine gleichzeitige Anlieferung von den bis zu zehnfach schwermineralreicheren Rheinsedimenten eine entsprechende Verdünnung der Lokal-Einflüsse.



Abb. 71: Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Mannheim-Käfertal UVB3.

Oberhalb von 7 m gehen die stabilen Minerale auf durchschnittlich 8,6 % zurück. Hingegen sind bei Granat (34 %), Epidot (23 %) und Alterit (21 %) wachsende Anteile zu verzeichnen. Nur die Hornblende-Werte (9 %) sinken weiter ab. Während im untersten Bohrabschnitt noch 25 % Hornblende und im mittleren Bereich 19 % auftreten, geht dieser Wert im obersten Abschnitt weiter auf 9 % zurück. Dieser oberste Bohrabschnitt (11 - 0 m) weist demnach eine deutlich ver-

Ein Vergleich mit der Nachbarbohrung UVB 1 (s. Abb. 70) zeigt eine gute Übereinstimmung der Schwermineraldaten beider Bohrungen. Auch hier wurde in vergleichbarer Teufe ein durch stabile Minerale beeinflusster Bereich ausgegliedert. Ebenso zeigte sich eine Abnahme der Hornblende im oberen Teil der Bohrung. Letzteres ist ebenfalls in den Ergo-Bohrungen BKEX2 und BK1 festzustellen, wobei dort nicht gleichzeitig die Alterit-Gehalte, sondern die Granat-Anteile am Spektrum ansteigen. Im Bereich von Mannheim scheint folglich in den obersten Metern eine verstärke Lokalschüttung aufzutreten, die möglicherweise bei gleichzeitig vermindertem Nachschub an alpinen Sedimenten zur Ablagerung kam, was die Veränderungen im Mineralspektrum erklären könnte.

## **Pollenanalyse UVB3**

Im unteren Bereich des Profils zwischen 43,6 und 42,52 m (OZH) ist im Pollenspektrum trotz starker lokaler Prägung eine Zugehörigkeit zur selben Warmzeit (Cromer-Komplex) wie in UVB1 erkennbar. Es deutet sich eine frühere Phase der Warmzeit an als in UVB1, Beginn und Ende der Warmzeit fehlen aber wiederum. Bei 34,9 m tritt eine kräuterreiche Pioniervegetation mit einem lichten Gehölzbestand auf, ähnlich auch bei 35,95 m Tiefe. In einer Einzelprobe bei 34,1 m wurde ein Pollenspektrum angetroffen, das entweder einem kühleren Abschnitt einer Warmzeit oder einem ausgeprägtem Interstadial entspricht. Eine stratigraphische Zuordnung ins Eem ist unwahrscheinlich, weil *Fagus* auftritt. Möglich ist eine Zuordnung in eines der Frühwürm-Interstadiale oder zu ausgeprägten Interstadialen oder Warmzeiten, die älter als Eem sind (KNIPPING 2001).

## 4.4.10 Bohrung Osthofen

Bohrung Wasserwerk Osthofen, R 3452580, H 5507590, 90,5 m NN, Endteufe: 120 m

Die Bohrung am Wasserwerk Osthofen, das zwischen den Ortschaften Osthofen im Westen und Rheindürkheim im Osten liegt (s. Abb. 72), wurde als Brunnenbohrung zu Grundwassererkundungszwecken bis auf ca. 120 m u. GOK abgeteuft. Die Entfernung zum Rhein beträgt etwa 1,5 km.

Westlich von Osthofen verläuft die westliche Rheingraben-Hauptstörung, an der die miozänen Festgesteine des östlichen Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes (Mainzer Becken) um mehr als 500 m in die Tiefe versetzt werden. Östlich von Osthofen wird die Herrnsheimer Hochscholle durch eine Störung von der Grabenscholle im Osten trennt. Für die Herrnsheimer Hochscholle westlich von Worms wird eine geringmächtige Quartärüberdeckung über pliozänen Sedimenten

#### angenommen (HOTTENROTT et al. 1995).

Im Jahr 1999 wurde die Forschungsbohrung Osthofen am nordwestlichen Rand der Ortschaft Osthofen auf 50 m u. GOK abgeteuft (LGB RHEINLAND-PFALZ 2001). Unter ca. 16 m mächtigen Freinsheim-Schichten (Pleistozän) wurden ca. 4 m helle Sande des Weissen Pliozäns und darunter weitere pliozäne Sande angetroffen.

Die in der vorliegenden Arbeit analysierte Bohrung Wasserwerk Osthofen aus dem Jahr 2002 liegt vermutlich im Bereich der Grabenscholle. Innerhalb der Grabenscholle zeigt sich durch weitere Störungsversätze generell eine Mächtigkeitszunahme des Quartärs in östliche Richtung. Nach BARTZ (1974) beträgt die Mächtigkeit des Quartärs im Gebiet des Eicher Rheinbogens nordöstlich von Osthofen zwischen 50 m im Westen und 150 m am östlichen Grabenrand. HOTTENROTT et al. (1995) geben für die Spülbohrung 2209 bei Eich (R 3456120, H 5511590, 87,9 m NN), die ca. 5,5 km nordöstlich der Bohrung Osthofen liegt, aufgrund von Pollen- und Fossilienbefunden eine Teufe von 75,5 m für die Plio-/Pleistozän-Grenze an. Die Pliozän-Mächtigkeit wird auf etwa 400 - 600 m geschätzt. Im Liegenden folgen die Hydrobienschichten des älteren Miozäns (HOTTENROTT et al. 1995).

Aus den sandigen Abschnitten des Bohrprofils Osthofen wurden vom LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ 49 Proben zur Schwermineralanalyse bereitgestellt, von denen 15 Proben ausgezählt, die übrigen ohne exakte Auszählung bewertet wurden. Die Tertiär/Quartär-Grenze wird nach einem makroskopisch auffälligem Fazieswechsel bei 11,55 m Teufe angenommen.

An der Basis der Bohrung in ca. 120 m Teufe bis hinauf zu etwa 85,45 m Teufe besteht die Sedimentabfolge aus hell- bis grünlichgrauen oder schwarzgrauen Schluffen und Tonen sowie hellgrauen, gelblichbraunen bis hellrötlichen Feinsanden, die carbonatfrei sind.

Bei 85,45 m setzt ein glimmerhaltiger, carbonatreicher grauer Grobsand ein. Zum Hangenden folgen mehrere fining-upward-Sequenzen von Grob- zu Feinsand und Schluffen und Tonen. Im Gegensatz zu den meist carbonatreichen Sanden und Schluffen sind torfige und tonige Abschnitte vereinzelt kalkfrei (79 - 77,6 m und 73,5 - 71 m).

Oberhalb von 60 m sind die Sedimente wieder carbonatfrei. Es handelt sich um Wechsellagerungen aus hellrötlichen, gelbbraunen bis gelbgrauen, hellbeige- bis dunkelgrauen Fein- bis Mittelsanden und braunroten, dunkelgrau bis schwarzen Schluffen und Tonen.

Bei 22,8 m beginnt eine Wechselfolge aus kalkhaltigen und kalkfreien Sanden, Schluffen und Tonen mit hellgelblichgrauen bis ockergelben Farben. In 11,55 m Tiefe zeigt sich ein auffälliger Wechsel zu carbonatreichen grauen Mittelkiesen, die ein deutlich erhöhtes Strömungsniveau anzeigen. Bis zum Top der Bohrung wechseln sandige Kiese mit Sanden und Schluffen in hellrötlichgrauen bis gelblichgrauen Farbtönen.

Das Diagramm der Schwermineralanalysen (s. Anlage 21) zeigt mehrere deutliche Wechsel in der Mineralzusammensetzung der Sedimente. Die vier Proben aus dem untersten Bohrabschnitt (120 -85,45 m) zeigen ein gemischtes Schwermineralspektrum aus etwa 29 % instabilen (ca. 13 % Granat, 4 % Epidot, 12 % Hornblende), etwa 2 % metamorphen, 66 % stabilen (32 % Turmalin, 19 % Zirkon, 14 % Anatas, 1 % Rutil), sowie 3 % seltenen Mineralen (Monazit und Xenotim). Dieses Schwermineralspektrum lässt sich sehr gut mit dem der pliozänen Sedimente aus den Bohrungen Plobsheim, Schifferstadt und Ludwigshafen-Parkinsel korrelieren. Der Bohrabschnitt 120 bis 85,45 m ist demnach wahrscheinlich dem Pliozän zuzuordnen.

Die vier gezählten Proben aus dem Abschnitt 85,45 bis etwa 63,5 m zeigen ein deutlich verändertes Schwermineralspektrum, das auf einen alpinen Rheineinfluss hindeutet. Es dominieren die instabilen Minerale Granat (34 %), Epidot (22 %), Alterit (8 %) und Hornblende (12 %), während der Anteil der stabilen Minerale auf ca. 20 % im Durchschnitt abgesunken ist. Dieser für alpine Rheinsedimente relativ hohe Anteil der stabilen Gruppe (sonst ca. 10 %) errechnet sich hauptsächlich durch die Probe aus 65,8 m, deren Spektrum etwa zur Hälfte aus stabilen und zur Hälfte aus instabilen Mineralen besteht. Hier scheint der Anteil an Lokalschüttungen wieder deutlich zuzunehmen, während der Einfluss der Rheinsedimente - trotz anhaltendem Kalkgehalt der Sedimente bis etwa 60 m - nachlässt bzw. aussetzt.

Das eher durch instabile Minerale geprägte Spektrum der Probe aus 63,9 m Tiefe und das vorwiegend stabile Spektrum der Probe aus 68,9 m Tiefe (ohne Zählung) deutet auf eine Wechsellagerung aus lokalen und alpinen Schüttungen, wie sie ähnlich aus dem Sedimentprofil Lufwigshafen-Parkinsel bekannt ist.

Die untersten, alpin geprägten Sedimente in der Bohrung Schifferstadt lieferten Pollenbefunde, die ins Tegelen eingestuft wurden. Möglicherweise handelt es sich bei den Sedimenten zwischen 85,45 und 63,5 m in der Bohrung Osthofen um zeitgleiche Ablagerungen.

Die Probe aus 63,2 m Teufe zeigt ein stabiles Schwermineralspektrum, das sich in den Proben bis 20,8 m Teufe fortsetzt. Es besteht aus durchschnittlich 65 % Turmalin, 18 % Zirkon, 13 % Anatas, 1 % Rutil sowie 2 % Granat und 1 % Epidot. Seltene Minerale, wie sie für die pliozänen Sedimente charakteristisch wären, treten nicht auf. Dieses Spektrum deutet auf eine Lokalschüttung aus den Buntsandstein-Gebieten des Grabenrandes (Pfälzerwald) hin, wie sie auch in anderen Bohrungen aus dem linksrheinischen nördlichen Oberrheingraben (Speyer, Schifferstadt, Maudach, Ludwigshafen-Parkinsel) auftreten. Aus dem Bereich 20,8 bis 11,55 m liegen keine Sedimentproben vor. Die kalkfreie Ausbildung der Sedimente spricht jedoch für eine Fortdauer der Lokalschüttungen.

Die drei Proben aus dem kalkreichen Abschnitt oberhalb von 11,55 m weisen wiederum ein durch instabile Minerale geprägtes Schwermineralspektrum auf (28 % Granat, 27 Epidot, 14 % Alterit, 23 % Hornblende, 2 % Pyroxen, 4 % metamorphe und 2 % stabile Minerale). Diese Sedimentabfolge ist vermutlich vorwiegend durch den Rhein hier abgelagert worden.

In Korrelation mit anderen Bohrungen aus Rheinland-Pfalz (Schifferstadt, Speyer, Ludwigshafen-Parkinsel, Ludwigshafen-Maudach) zeichnet sich ab, dass zu Beginn des Quartärs der Rhein kurzzeitig am Westrand des Grabens sedimentierte, danach für eine lange Zeit während des Quartärs bei weitgehender Abwesenheit des Rheins Lokalschüttungen aus dem Pfälzerwald zur Ablagerungen kamen, und schließlich durch einen wieder weiter nach Westen verlegten Rheinverlauf alpin geprägte Sedimente abgesetzt wurden. Die Pollenanalysen der Bohrung Parkinsel werden vermutlich weitere zeitliche Einstufungen der Sedimentabfolge erbringen.

### Mikrofaunistische Untersuchungen

In den Sedimenten der Bohrung Osthofen treten in 62,44 bis 60 m Tiefe zahlreiche Foraminiferen auf, die von SCHÄFER (LGB RHEINLAND-PFALZ, schriftl. Mitteilung) untersucht wurden. Die Foraminiferen sind zum Großteil vermutlich alpinen Ursprungs und besitzen oberkretazisches bis alttertiäres Alter. Soweit bekannt, sind solche Formen im Oligozän aus dem alpinen Raum in den Oberrheingraben und das Mainzer Becken umgelagert worden. Funde solcher Mikrofaunenelemente in der Bohrung Osthofen haben die Frage aufgeworfen, ob sie auch noch im Quartär aus dem Alpenbereich durch den Rhein hierhin gelangt sein könnten oder ob sie aus oligozänen Sedimenten des Mainzer Beckens hierhin gelangten. Für letztere Annahme spricht, dass sie zu Tausenden in manchen Mikroproben aus dem Oligozän des Mainzer Beckens nachgewiesen werden können, vor allem aus Proben, die einen höheren Schluff- und Feinsandgehalt aufweisen. Den Schwermineraluntersuchungen zufolge ist für den betreffenden Abschnitt der Bohrung Osthofen (63 - 60 m) von einer Schüttung von Lokalsedimenten des Grabenrandes in den Oberrheingraben bei fehlender Sedimentation durch den Rhein auszugehen. Hierbei könnten ebenfalls die oligozänen Sedimente des Mainzer Beckens erodiert worden sein, wodurch die oberkretazischen bis alttertiären Foraminiferen ein zweites Mal umgelagert wurden. Vereinzelt treten unter den Foraminiferen auch Exemplare auf, die als autochthone Faunenelemente der unteroligozänen Ablagerungen des Schleichsandes bis Cyrenenmergels anzusehen sind.

# 4.4.11 Aufschlüsse im Mainzer Becken

Als Mainzer Becken wird das tertiäre Senkungsgebiet an der nordwestlichen Grabenschulter des Oberrheingrabens bezeichnet, das gegenüber dem Oberrheingraben eine randliche Hochscholle darstellt. Im Norden grenzt das Mainzer Becken an das Rheinische Schiefergebirge, die Ostbegrenzung entspricht der westlichen Hauptrandverwerfung des Oberrheingrabens, die über Rüsselsheim Richtung Bad Dürkheim verläuft. Die westliche Grenze zum Pfälzer Bergland zeigt den Verlauf der ursprünglichen Einsenkung des Grabens an. Das Mainzer Becken ist also eine zwischen dem eigentlichen Graben und dem Nahebergland "hängengebliebene" Randscholle (ROTHAUSEN & SONNE 1984).



Abb. 72: Das Mainzer Becken (nach STAPF 1988), Lage der Aufschlusspunkte und der Bohrung Osthofen.

Die Gesamtmächtigkeit des Tertiärs beträgt in Rheinhessen ca. 450 m, im nördlichen Oberrheingraben etwa 2400 m. Mit Ende der Hydrobien-Zeit (Miozän) begann sich das Gebiet des heutigen Mainzer Beckens zu heben und landfest zu werden. Es wurden Sedimente der alten Flüsse Nahe, Rhein und Main abgelagert. Die letzte entscheidende Anhebung fand im Pleistozän statt, nach der Bildung der Hauptterrasse des Rheins (FALKE & SONNE 1967).

Die Gliederung des Mainzer Beckens in einen nördlichen und südlichen Teil, die durch den Alzey-Niersteiner Horst getrennt werden, geht auf die variscisch geformten Strukturelemente (Nahemulde, Pfälzer Sattel, Vorhaardtmulde) zurück.

Die Entwicklung der heutigen Landschaftsformen im Mainzer Becken wurde von den Klimawechseln im Pleistozän sowie einer Hebung im Norden und Westen des Beckens bei andauerndem Absinken des Oberrheingrabens beeinflusst (ROTHAUSEN & SONNE 1984).

# 4.4.11.1 Unterer Meeressand am Steigerberg bei Eckelsheim

Sand- und Kiesgrube am Steigerberg, R 3427200, H 5517150, ca. 200 m NN

Die große Sand- und Kiesgrube südlich Eckelsheim liegt auf der Westseite des Steigerbergs.

Am Steigerberg bei Eckelsheim im westlichen Mainzer Becken ist ein etwa 30 Millionen Jahre altes Brandungskliff aus dem Oligozän aufgeschlossen. Das Rhyolith-Gestein des Brandungskliffs ist Teil eines ausgedehntes Rhyolith-Gebiets südlich und südöstlich von Bad Kreuznach, das während des Rotliegenden entstand. Erst zu Beginn des Rupel ermöglichten die tektonischen Rift-Bewegungen im Oberrheingraben das Eindringen des Nordmeeres in das Mainzer Becken. Der Steigerberg wurde Teil einer Insellandschaft. Durch die Brandung wurden große Brandungsplattformen, Kolke und Brandungshohlkehlen herausgearbeitet, die Meeresstände in verschiedenen Niveaus anzeigen.

Aus dieser Zeit sind im Mainzer Becken die Unteren Meeressande (früher auch Alzeyer Meeressand) überliefert, die die grobklastische Küstenfazies des Rupeltons darstellen. Das Material des Meeressandes entstammt vorwiegend den in unmittelbarer Nähe anstehenden Gesteinen (Buntsandstein, Rotliegend, Melaphyre oder Porphyre, Devon und Prädevon, WEYL 1939, SONNE 1958). Der Meeressand liegt diskordant auf den Schichten des Oligozäns, Mesozoikums oder Paläozoikums auf. Die Mächtigkeit schwankt sehr stark von einigen Zehner-Metern bis zu wenigen Dezimetern.

Die Unteren Meeressande am Steigerberg bestehen nach ROTHAUSEN & SONNE (1984) nur aus Rhyolith-Bestandteilen, die von der Steigerberg-Insel geschüttet wurden. Örtlich ist der Fossilinhalt sehr reich, vielfach in Form von Sturmschillen. WEYL (1939) beschreibt ein stabiles Schwermineralspektrum, das durch das Vorherrschen von Biotit gekennzeichnet sein soll. Daneben treten langprismatische, zonar gebaute Zirkonkristalle auf.



Abb. 73: Schwermineraldiagramm des Unteren Meeressandes am Steigerberg.

Die beiden Proben des Unteren Meeressandes am Steigerberg zeigen ein dominant stabiles Schwermineralspektrum (s. Abb. 73) aus Turmalin (44,5 % im Mittel), Zirkon (44,5 %) und RutilAnatas (6 %) mit nur wenigen Prozenten von Granat (3,5 %), Epidot (1 %) und Alterit (0,5 %). Biotit, wie er von WEYL (1939) beschrieben wurde, tritt nur sehr selten auf.

# 4.4.11.2 Dinotheriensande / Forschungsgrabung Eppelsheim

Forschungsgrabung Eppelsheim R 3439550, H 5508575, ca. 235 m NN

Die Forschungsgrabung Eppelsheim lag etwa 1 km nördlich Eppelsheim. In einer Grube waren Dinotheriensande in Hangposition aufgeschlossen.

Bei Eppelsheim kamen im Obermiozän (ca. 11 - 10 Mio. Jahre) fossilführende Kiese und Sande zur Ablagerung. Diese Dinotheriensande sind Ablagerungen eines großen, gefällsarmen und daher mäandrierenden Flusses, des Ur-Rheins (BARTZ 1936, WAGNER 1973), der das Mainzer Becken in nordwestlicher Richtung (Westhofen - Alzey - Bingen) durchquerte. Die Verbreitung der Dinotheriensande zeigt Abbildung 74. Das Quellgebiet dieses Ur-Rheins lag vermutlich in Bereich Nordschwarzwald / Nordvogesen (BARTZ 1961), was Gerölle aus diesen Gebieten belegen. Neckar-oder Mainmaterial lässt sich nicht nachweisen (BARTZ 1950).

Die Dinotheriensande sind durch ihren reichhaltigen Fossilinhalt bekannt. Im späten 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden in Sandgruben, die zur Gewinnung von Bausand angelegt wurden, die ersten bedeutenden Funde gemacht. Darunter befinden sich u. a. Exemplare des dreizehigen Urpferdes *Hippotherium primigenium (Hipparion)*. Bekannt wurde Eppelsheim 1835 durch den Fund eines vollständigen Schädels von *Dinotherium giganteum*. Das *Dinotherium* gehörte zu den Rüsseltieren. Anders als der heutige Elefant besaß es aber zwei Stoßzähne im Unterkiefer, die noch dazu nach hinten, also zum Körper des Tieres hin gekrümmt waren.

Darüber hinaus wurde 1820 in Eppelsheim weltweit zum ersten Mal der fossile Überrest eines gibbonähnlichen Menschenaffen gefunden. Weiterhin traten Fossilien-Reste von Mastodon, Hirsch, Biber, Tapir, Hunde, Füchse, kleine Bären, Marder, Otter, Dachs, Nager, Nashorn, Schwein, Antilope und Sumpfschildkröte auf (WAGNER 1973).

Im Jahr 1996 begannen wissenschaftliche Grabungen ("Ur-Rhein-Ablagerungen bei Eppelsheim") unter der Leitung des Frankfurter FORSCHUNGSINSTITUTES SENCKENBERG (FRANZEN 2000). Seit 2001 werden diese Grabungsaktivitäten von der LANDESSAMMLUNG FÜR NATURKUNDE RHEINLAND-PFALZ fortgesetzt. Langfristige Ziele des Forschungsvorhabens sind die umfassende Rekonstruktion der obermiozänen Flora und Fauna Rheinhessens sowie deren Umwelt.

Die Dinotheriensande sind gelb- bis rostbraune, feinkörnige Sande, die häufig mit grüngrauen, sandigen Tonlagen wechsellagern (BARTZ 1936). Sie lagern auf Mergeln und Kalken der Corbicula-Schichten. Die tieferen Lagen sind rein sandig ausgebildet und gehen schließlich in grobe Kiese über, in denen die Säugetierreste liegen (WAGNER 1973). Die Sedimente sind kalkfrei.

Das Geröllspektrum besteht vorwiegend aus Quarz, Quarzit, Buntsandstein, Hornstein, Rhyolith und Kieselschiefer. Die kiesigen Sande liegen in Höhen zwischen 240 und 263 m NN. Die Mächtigkeit der Sande schwankt zwischen 5 und 15 m.

Im Pliozän hat der Ur-Rhein infolge der unterschiedlichen Hebung im nördlichen Mainzer Becken und des Absinkens des Oberrheingrabens seinen Lauf näher zum Graben hin verlegt; die oberpliozänen Arvernensis-Schotter im nördlichen Rheinhessen (s. Abb. 74) belegen dies.



Abb. 74: Verbreitung der Dinotheriensande und Arvernensis-Schotter im Mainzer Becken (nach ROTHAUSEN & SONNE 1984).

Zum Zeitpunkt der Beprobung für die Schwermineralanalyse zeigte sich in der Forschungsgrabung folgende Sedimentabfolge:

Über der Basis der Dinotheriensande, die aus Tonen und Mergeln der Corbicula-Schichten besteht, treten feine, braunrote Sande auf (Probe 23199). In den darüber folgenden, groben, braunrosa Sanden sind vereinzelt Kiesschnüre eingeschaltet (Probe 23200). Bei den Geröllen handelt es sich um Quarzite, Lydite, Hornsteine und Kieseloolithe. Zum Hangenden folgt ein bunter Sand, der aufgrund von Eisen-Mangan-Verfärbungshorizonten eine tektonischen Versatz erkennen lässt (Probe 23201). Darüber setzen mehrere Meter mächtige, rosa Sande ein, die an der Basis eine leichte Schichtung zeigen (Probe 23202, ca. 70 cm darüber Probe 23203, etwa 2,2 m darüber Probe 23204).

Das Schwermineraldiagramm (s. Abb. 75) zeigt ein recht einheitliches Mineralspektrum der oberen fünf Proben, von der sich nur die Probe aus den feinen, braunroten Sanden (23199) an der

Basis der Dinotheriensande durch geringere Granat- (14 %) und höhere Zirkon-Gehalte (58 %) unterscheidet. Ursache könnte die feinkörnigere Ausbildung des beprobten Sediments sein. Im Mittel setzt sich das Schwermineralspektrum aus 35 % Granat, 27 % Turmalin, 20 % Zirkon, 4 % Rutil-Anatas, 4 % Epidot, 1 % Alterit, 3 % Hornblende sowie 3 % metamorphen und 3 % seltenen Mineralen zusammen. Der Anteil an den instabilen Mineralen lässt sich durch die Anlieferung aus Schwarzwald und Vogesen erklären. Die stabilen Minerale können sowohl aus Buntsandstein-oder Rotliegend-Gebieten des Grabenrandes als auch aus aufgearbeiteten älteren Sedimenten stammen.



Abb. 75: Schwermineraldiagramm der Dinotheriensande in der Forschungsgrabung Eppelsheim.

Die Zählungen von BOENIGK (1987) von Proben aus den Dinotheriensanden am Wissberg ergaben etwas geringere Granat- (8 %) und Epidot-Gehalte (1 %) und deutlich höhere Rutil-Anatas-Werte (21 %). Hornblenden traten in diesen Analysen nicht auf.

# 4.4.11.3 Pliozäne Kaolinsande / Monsheim - Kriegsheim

Sandgrube Monsheim / Kriegsheim R 3443587, H 5500837, ca. 160 m NN

Die Sandgrube der Heidelberger Zement AG (große Sandgrube Schiffer & Kircher) liegt etwa 375 m nordwestlich des Ortszentrums von Kriegsheim nördlich der Ortschaft Monsheim.

Die weissen, kalkfreien Kaolinsande des Pliozäns, früher auch als Klebsande oder "Weisses Pliozän" bezeichnet, werden als fluviolakustrine Schüttungen aus Verwitterungsprodukten des Pfälzer Rotliegend- und Buntsandstein-Gebietes gedeutet. Vorkommen des Weissen Pliozäns finden sich im südlichen Rheinhessen und am Ostabfall der Haardt. Die hier etwa 10 m mächtigen Sande werden aufgrund ihres hohen Kaolingehaltes (5 - 12 %) als Form- und Bausand für die kera-

mische Industrie abgebaut (ROTHAUSEN & SONNE 1984).

Es handelt sich um schmutzig-weisse bis bräunlich-gelbe, kalkfreie tonige Quarzsande mit wechselndem Kaolinanteil und eingestreutem Feinkies. Vereinzelt sind graue bis grünlichgraue Schuff- und Tonlinsen eingeschaltet. Die Sande besitzen ein breites Kornspektrum mit einem Maximum im Fein- bis Mittelsandbereich (0,1 - 0,3 mm). Zum Hangenden ist eine deutlichere Schrägschichtung zu erkennen, die auf fluviatilen Transport schließen lässt. Als Gerölle treten kleine eckige Quarze auf. Schuttstromartige Sedimentlagen enthalten gelegentlich auch kubikmeter-große Blöcke (Sandsteine des Buntsandstein, Süßwasserquarzite). Im westlichen Randgebiet des Mainzer Beckens werden bis zu 30 m Mächtigkeit erreicht (ROTHAUSEN & SONNE 1984). Aus den Kaolinsanden wurden von der Basis der Grube bis zum Hangenden fünf Proben entnommen (23188 - 23192). Sie zeigen ein durchweg von stabilen Mineralen dominiertes Schwermineralspektrum (s. Abb. 76) aus durchschnittlich 55 % Turmalin, 30 % Zirkon, 11 % Anatas, 4 % Rutil und wenigen seltenen Mineralen. Die Mineralverteilung lässt auf ein Liefergebiet im Buntsandstein des Pfälzerwaldes schließen.

Über den Kaolinsanden lagern ca. 8 m mächtige, rostbraun gefärbte sandige Kiese. Es handelt sich dabei um zwei Lokalterrassen (Pfrimm-Terrasse, Kriegsheimer Terrasse), die durch einen Hoch-flutlehm getrennt sind. Das Geröllspektrum enthält viel Lokalmaterial wie z. B. Rhyolithe vom Donnersberg und Gerölle aus dem Kalktertiär. Weiterhin kommen grobe, wenig gerundete Gerölle aus Rotliegend-Gesteinen, Buntsandstein sowie Gangquarze vor. Die in der unteren Terrasse zahl-reich enthaltenen Fossilien stufen die Abfolge ins Mittlere Mosbach. Die Mosbacher Sande wurden vom Cromer I bis ins Mindel / Elster abgesetzt. Sie sind um Mainz und Wiesbaden als Sande mit Schotterlagen weit verbreitet und haben eine sehr reiche Wirbeltierfauna geliefert (ROTHAUSEN & SONNE 1984). Über der altpleistozänen Terrasse liegen mehrere Meter rotbrauner Hochflutlehm, in den sich rinnenartig jüngeres Pleistozän einschaltet. Darüber sind etwa 2 m verschwemmter Löss aufgeschlossen.

Aus dem Sediment der unteren Terrasse wurden zwei Proben schwermineralanalytisch untersucht (s. Abb. 76). Es zeigt sich ein höherer Anteil von instabilen Mineralen: Neben 26 % Turmalin, 22 % Zirkon, 2 % Rutil und 3 % seltenen Mineralen treten 25 % Granat, 2 % Epidot, und 16 % Hornblende sowie 4 % metamorphe Minerale auf. Die Ergebnisse stimmen sehr gut mit den Untersuchungen von BOENIGK (1987) überein. In seinen Untersuchungen der Lokalterrasse trat zudem Pyroxen in geringen Mengen auf.

Das Spektrum ähnelt dem der pliozänen Ur-Rhein-Ablagerungen. Ob die Pfrimm während der pleistozänen Bildung dieser Terrasse neben Buntsandstein-Abtragungsmaterial auch Sedimente des Ur-Rheins umgelagert hat, kann nicht beantwortet werden. Ein Einfluss des pleistozänen Rheins müsste wesentlich mehr Schwerminerale, und darunter deutlich mehr Epidot geliefert haben.



Abb. 76: Schwermineraldiagramm der Sedimentabfolge bei Monsheim - Kriegsheim.

# 4.4.11.4 Freinsheim-Schichten am Palmberg bei Großkarlbach

Sandgrube am Palmberg R 3445450, H 5489750, ca. 125 m NN

Der Aufschluss Palmberg liegt ca. 5 km nordöstlich von Freinsheim und ca. 1,5 km östlich der Ortschaft Großkarlbach.

Östlich der Verbreitung der limnischen Schneckenmergel (Cromer) schließt sich eine jüngere Sedimentfolge an: Die pleistozänen Freinsheim-Schichten. Sie sind zwischen Worms-Heppenheim -Worms-Pfeddersheim - Worms-Abenheim und Osthofen verbreitet. Die gut geschichteten Sande sind weissgrau, gelblich und rötlich, z. T. orange gebändert, mit einzelnen roten Tonlinsen oder -bändern. Zum Hangenden folgen gröbere Sandabschnitte und Feinkies. Die bis 50 m mächtige Abfolge wurde von einem Gewässer mit zeitweise kräftiger Strömung abgesetzt. Es wurde vermutlich Material aus dem Pfälzer Bergland angeliefert, das sich langsam und unregelmäßig heraushob, während die Schollen zum Oberrheingraben hin zunehmend absanken (ROTHAUSEN & SONNE 1984). Das Schwermineralspektrum zeigt eine ähnliche Vergesellschaftung wie die Gesteine des Buntsandsteins und des Rotliegenden. SINDOWSKI (1937) gibt als Unterscheidungskriterium zwischen Weissem Oberpliozän und den Freinsheim-Sanden die bessere Sortierung der Freinsheim-Sande an.

Im Aufschluss Palmberg sind die Sande der Freinsheim-Schichten deutlich geschichtet und zeigen eine gelbliche bis rötliche Färbung. Die Proben 23193 und 23194 stammen aus hellen, geschichteten Sanden, die Probe 23195 aus etwas bräunlich-rötlicheren Partien. Am Top der Sandabfolge wurde die Probe 23196 entnommen. Darüber folgen Kies-Sand-Wechsellagerungen, die von Kiesen überlagert werden (Probe 23198).



Abb. 77: Schwermineraldiagramm der Freinsheim-Schichten bei Großkarlbach.

Das Schwermineralspektrum der untersuchten Proben (s. Abb. 77) wird aus den stabilen Mineralen Turmalin (durchschnittlich 46 %), Zirkon (37 %), Rutil (3 %) und Anatas (14 %) zusammengesetzt. Dies bestätigt ein mögliches Liefergebiet in Buntsandstein- oder Rotliegend-Gebieten.

Die Zählungen stimmen sehr gut mit den Untersuchungen VON BOENIGK (1987) von den Freinsheim-Schichten bei Worms-Pfeddersheim überein. SINDOWSKI (1937) gibt einen erhöhten Biotit-Gehalt als charakteristisch für das Schwermineralspektrum der Freinsheim-Sande bei Freinsheim an, was sich weder an den aktuellen Zählungen noch in denen von BOENIGK (1987) bestätigen ließ.

# 4.4.11.5 Mainz-Weisenau

Kalksteinbruch der Heidelberger Zement AG südlich von Mainz-Weisenau R 3450450, H 5537500, ca. 125 m NN

Im unteren Teil des Kalksteinbruchs Mainz-Weisenau südlich der Autobahn A60 sind die tonigen Unteren Cerithien-Schichten sowie fast die gesamten Oberen Cerithien-Schichten (Oligozän), die Corbicula-Schichten (Miozän) und der tiefere Teil der Hydrobienschichten (Miozän) aufgeschlossen.

Die Oberfläche der miozänen Kalke ist stark verkarstet. In den Dolinen liegen graue, grobe Sande im Wechsel mit dunklen Tonen und nur wenige Zentimeter mächtige Lagen von rotem Sand, der als Aufarbeitungsrest von Bohnerzen zu deuten ist. Die wenigen gröberen Gerölle bestehen aus Quarz und Quarzit. Wahrscheinlich sind diese Sedimente den jungpliozänen Arvernensis-Schottern zuzuordnen.

Die Arvernensis-Schotter sind meist weisse, fein- bis grobkörnige, tonige Sande, auch grobe, quarzreiche Kiese (Quarzanteil > 90 Prozent). Wegen des Geröllspektrums und aufgrund von Fossilfunden von *Anancus arvernensis* (Mastodontid) werden sie einem pliozänen Main zugesprochen (BARTZ 1950, 1961). Sie kommen im östlichen und nördlichen Teil Rheinhessens vor, können bis zu 4 m mächtig sein und gelten als zeitliches Äquivalent der Kieseloolith-Schotter des Mittelrheins. In Südrheinhessen finden sich entsprechende sandige, ockerfarbige Ablagerungen, die dort vom pliozänen Ur-Rhein abgelagert wurden.

Die hellen Sande sind kalkfrei und enthalten fast nur stabile Minerale. Eine Ausnahme bildet eine aus einer Doline stammende Probe mit 21 % Granat (SEMMEL 2001). Eine zum Vergleich entnommene Probe ergab folgendes Schwermineralspektrum (s. Abb. 78): 26 % Granat, 3 % Epidot, 1 % Hornblende, 13 % Staurolith, 18 % Turmalin, 28 % Zirkon, 9 % Rutil-Anatas, 2 % Xenotim. Dieses Spektrum ähnelt sehr dem der Dinotheriensande aus Eppelsheim sowie dem Spektrum der pliozänen Rheinsedimente.

Die Dolinenfüllungen werden von ca. 10 m mächtigen, grauen, kreuzgeschichteten Sanden diskordant überlagert. Die pliozänen Sande (Reuver) sind kalkhaltig und partienweise zu Kalksandstein verbacken. An seiner Basis kommen als Gerölle neben Quarz und Quarzit rote Buntsandsteine mit Durchmessern bis 20 cm sowie schwarze Hornsteine vor, die vermutlich aus dem Keuper stammen. Die Sande zeigen ein buntes Schwermineralspektrum aus Granat (52 %) und Epidot (31 %) und untergeordnet grüne Hornblende (4 %) sowie wenigen stabilen und metamorphen Mineralen (SEMMEL 2001). Eine Vergleichsprobe (s. Abb. 78) ergab mit 49 % Granat, 25 % Epidot, 2 % Alterit, 11 % Hornblende, 1 % Staurolith, 5 % Turmalin, 3 % Zirkon, 3 % Rutil, 1 % Chloritoid eine gute Übereinstimmung. Das Spektrum gleicht den alpin-geprägten Rheinsedimenten, die seit dem obersten Pliozän in den Oberrheingraben gelangten, jedoch ist der Gehalt an Hornblende (4 %) vergleichsweise gering.

Darüber folgt eine Wechselserie durchgehend kalkhaltiger Sande und Schluffe, die bis 30 m mächtig wird. In ihrem basalen Teil liegt ein kohliger Ton, der jüngstpleistozänen Alters ist (SEMMEL 1983). In seinem Liegenden und Hangenden sind entsprechend alte Mollusken zu finden (GEISSERT 1983). Diese Serie und der darunter folgende Komplex werden als "Ältere Weisenauer Sande" bezeichnet (SEMMEL 1983). Eine Probe aus den Älteren Weisenauer Sanden zeigt eine Mineralvergesellschaftung aus 28 % Granat, 46 % Epidot, 7 % Alterit, 8 % Hornblende, 3 % Staurolith, 3 % Turmalin, 2 % Zirkon, 1 % Rutil und 2 % seltenen Mineralen (Titanit, Chloritoid) (s. Abb. 78). Dies deutet auf eine alpine Prägung des Mineralspektrums, wobei der Hornblende-
Gehalt mit 8 % gering ausfällt.

Meist findet sich im oberen Bereich der Älteren Weisenauer Sande eine kräftige Bodenbildung, in deren oberen Teil reverse Magnetisierung zu beobachten ist. Die liegenden Sedimente müssten demnach in die Gauss-Epoche oder ein älteres Event (Olduvai?) der Matuyama-Epoche gehören. Löss schließt das Profil ab (SEMMEL 2001).



Abb. 78: Schwermineraldiagramm der Proben aus dem Steinbruch Mainz-Weisenau.

# **5** Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse

Aus zahlreichen Bohrungen (56) und einigen Tagesaufschlüssen aus dem Oberrheingebiet wurden insgesamt 1340 Sedimentproben schwermineralanalytisch untersucht. In den jungtertiären und quartären Sedimentabfolgen lassen sich jetzt über die bisher bekannte petrographische Abgrenzung des tertiären (stabilen) vom quartären (instabilen) Schwermineralspektrum hinaus die in Tabelle 5 aufgezeigten Differenzierungen vornehmen.

Tabelle 5: Übersicht der verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten und deren Schwermineralspektrum (Fettdruck: Hauptminerale, Kursivdruck: kennzeichnende Merkmale).

#### Südgraben:

Lithostratigraphische Einheit	Schwermineralspektrum im Grabenzentrum (Rheinsedimente)	Schwermineralspektrum der Grabenrandfazies
Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter)	Granat, Epidot, grüne Hornblende, Alterit, wenig metamorphe und stabile Minerale	<b>Granat, Hornblende</b> , Zirkon, Anatas, Turmalin, <i>seltene Minerale (Monazit</i> ),
Obere Breisgau-Schichten		Rutil, wenig Epidot, metamorphe Minerale
Untere Breisgau- Schichten	Granat, Epidot, Alterit, stabile und metamorphe Minerale, <i>wenig Hornblende</i>	<b>Zirkon, Granat</b> , <i>wenig Hornblende</i> , <i>seltene</i> <i>Minerale (Monazit)</i> , Rutil, Anatas, Turmalin, <i>wenig Epidot</i> , metamorphe Minerale
Iffezheim-Formation, oberer Teil	<b>Zirkon, Anatas, Turmalin</b> , seltene Minerale (Monazit), Rutil, sehr wenig Granat, Hornblende und Epidot	
Iffezheim-Formation, unterer Teil	<b>Granat, Zirkon,</b> Turmalin, Anatas, <i>seltene</i> <i>Minerale (Monazit)</i> , Rutil, wenig Hornblende und Epidot	
Elsässer Molasse	<b>Epidot, Granat</b> , <b>Zirkon,</b> <i>Staurolith,</i> Turmalin, Rutil, Anatas, <i>Glaukophan</i>	

#### Mittlerer Graben:

Lithostratigraphische Einheit	Schwermineralspektrum im Grabenzentrum	Schwermineralspektrum der Grabenrandfazies
Quartär	Granat, Epidot, grüne Hornblende, Alterit, wenig metamorphe und stabile Minerale	
Pliozän, oberer Teil	<b>Zirkon, Turmalin, Anatas</b> , wenig Granat, Epidot und Hornblende, Rutil, <i>seltene</i> <i>Minerale</i>	Zirkon, Turmalin, Anatas, Rutil
Pliozän, unterer Teil	Zirkon, Turmalin, Anatas, Granat, Hornblende, wenig Epidot, Rutil, <i>seltene</i> <i>Minerale</i>	

#### Nordgraben:

Lithostratigraphische Einheit	Schwermineralspektrum im Grabenzentrum	Schwermineralspektrum der Grabenrandfazies
Holozän (?)	viel <b>Granat, Epidot</b> , Alterit, <i>wenig</i> <i>Hornblende</i> , <i>etwas Pyroxen</i> , wenig metamorphe und stabile Minerale	
Quartär	<b>Granat, Epidot, grüne Hornblende</b> , Alterit, <i>etwas Pyroxen</i> , wenig metamorphe und stabile Minerale	Turmalin, Zirkon, Anatas, Rutil
Pliozän	Turmalin, Zirkon, Anatas, Granat, Hornblende, Epidot, Rutil, seltene Minerale	
Miozän	(in keiner untersuchten Bohrung erteuft)	Dinotheriensande:
		Granat, Turmalin, Zirkon, wenig metamorphe Minerale, Rutil, Anatas, seltene Minerale, Epidot und Hornblende

Auf Basis der unterschiedlichen Schwermineralspektren kann in Korrelation mit den Lithofaziesmerkmalen der stratigraphischen Einheiten die Entwicklungsgeschichte der jungtertiären und quartären Sedimente im Oberrheingebiet rekonstruiert werden.

In den **pliozänen Sedimenten** (Kap. 5.1) belegt das Schwermineralspektrum, dass ausschließlich Erosionsmaterial von den Grabenrändern in den Oberrheingraben gelangte. Die petrographischen Analysen haben eine laterale Unterscheidungsmöglichkeit in eine Grabenrandfazies und eine fluviatile Fazies im Grabenzentrum ergeben (s. Kap. 5.1.1). Durch die Verbreitung der fluviatilen Fazies, die durch Schwerminerale aus dem Schwarzwald und den Vogesen gekennzeichnet ist, lässt sich der Verlauf des pliozänen Ur-Rheins verfolgen (s. Kap. 5.1.2), der vermutlich schon seit dem oberen Miozän ähnlich zusammengesetzte Sedimente (Dinotheriensande) ablagerte. Weiterhin zeigt sich in den Pliozänprofilen eine petrographische Untergliederung in einen unteren und oberen Abschnitt der Iffezheim-Formation (s. Kap. 5.1.3). Die Veränderungen im Schwermineralspektrum im oberen Teil der Iffezheim-Formation sind vermutlich Folge von intensiver Verwitterungseinwirkung und damit verbundener Verminderung der instabilen Minerale.

Im obersten Pliozän setzt durch den Anschluss der Alpenentwässerung (Aare) an den Ur-Rhein im Oberrheingraben die Dominanz alpiner Minerale im Schwermineralspektrum der Rheinsedimente ein. In den **quartären Sedimentabfolgen** (s. Kap. 5.2) haben die Schwermineraluntersuchungen an Bohrprofilen aus dem südlichen Oberrheingraben eine stratigraphische Abgrenzung der hornblende-armen Unteren Breisgau-Schichten von den jüngeren Ablagerungen (Obere Breisgau-Schichten, Neuenburg-Formation) mit dem typischen alpinen Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum ermöglicht (s. Kap. 5.2.1). Ob das gegenüber den anderen pleistozänen Sedimenten veränderte Mineralspektrum der Unteren Breisgau-Schichten durch eine Änderung der alpinen Liefergebiete (Sedimenteintrag aus dem hornblende-reichen Rheingletscher-Gebiet, s. Kap. 5.2.1.1) oder durch Verwitterungseinflüsse (Auflösung der instabilen Hornblende, s. Kap. 5.2.1.2) entstanden ist, lässt sich bislang nicht eindeutig klären.

Ein Vergleich mit den zuvor aus gleichen Liefergebieten stammenden Sundgau-Schottern zeigt aber, dass die dortigen Sedimente auch ohne Zufluss der als hornblende-reich geltenden Gebiete des Alpenrheins bereits das typisch alpine Mineralspektrum aus Granat, Epidot und grüner Hornblende führten (s. Kap. 5.2.3). Die anschließende Verwitterung der Schotter hatte eine Entkalkung und eine Auflösung der instabilen Minerale Hornblende und Granat zur Folge, wodurch es zu einer relativen Anreicherung des verwitterungsresistenteren Epidots kam.

Ein weiteres Argument gegen eine Veränderung der Liefergebiete ist, dass im nördlichen Oberrheingraben und in der Niederrheinischen Bucht bereits die ersten alpinen Schüttungen (ohne Eintrag aus dem Rheingletscher-Gebiet) das alpine Spektrum aus Granat, Epidot und grüner Hornblende zeigen. Zudem spricht die Tatsache, dass der untere Teil der fluviatilen Schotter in der Freiburger Bucht (Äquivalent zu den Unteren Breisgau-Schichten) unabhängig von alpinem Eintrag ähnliche veränderte Mineralspektren (Verminderung der instabilen Minerale) aufweist, für einen Einfluss von Verwitterung auf das Mineralspektrum.

Die Korrelation der quartären Sedimentabfolgen aus dem südlichen und nördlichen Oberrheingraben (s. Kap. 5.2.2) ist aufgrund der unterschiedlichen Sedimentfazies - im Südgraben grobe, alpine Schüttungen, im Nordgraben sandige Kiese mit Feinkornlagen mit deutlich mehr Anteil von Lokalmaterial - problematisch. Da eine ausreichende Anzahl von Tiefbohrungen im Nordgraben mit vollständigen Quartärprofilen und entsprechenden Zeitmarken bisher fehlt, ist derzeit eine detaillierte Korrelation mit den Südgraben-Sedimenten noch nicht möglich. Für den Nordgraben bleibt daher vorerst die hydrogeologische Gliederung der quartären Schichtenfolge mit den entsprechenden paläontologischen Einstufungen maßgeblich.

Im nördlichen Oberrheingraben lassen sich in einigen Bohrprofilen wechselnde Flussverläufe des Rheins nachweisen (s. Kap. 5.2.4). Während im Pliozän und zu Beginn des Quartärs der Rhein am Westrand des Nordgrabens floss, muss er in der Folgezeit weiter östlich verlaufen sein, da am Westrand vorwiegend Schüttungen aus dem Pfälzerwald nachzuweisen sind, im Osten dagegen Rheinsedimente mit dem alpinen Schwermineralspektrum. Möglicherweise führte die starke Absenkung am Ostrand des Grabens im Bereich von Heidelberg zu einer Verlagerung des Rheinverlaufs in diese Region. Erst im letzten Glazial kam es zu einer erneuten Sedimentation des Rheins auf der Frankenthaler Terrasse am Westrand des Grabens, was vermutlich durch tektonische Schollenbewegungen zu erklären ist.

Die quartären Lokalsedimente am Westrand des nördlichen Oberrheingrabens, die als Schwemmfächer von umgelagertem Buntsandstein-Material des Pfälzerwaldes in den Graben interpretiert werden müssen, wurden in der Vergangenheit aufgrund ihrer petrographischen Zusammensetzung stellenweise als pliozäne Ablagerungen eingestuft, wodurch in einigen Fällen die ausgewiesene Quartärmächtigkeit deutlich von der tatsächlichen abweicht.

Der petrographische Vergleich von Schüttungen der Randgebirge (s. Kap. 5.2.3) mit den Grabensedimenten hat gezeigt, dass bei gleichzeitiger Anlieferung von den Grabenrändern **und** von alpinen Sedimenten die Einflüsse von den Grabenrändern zu stark verdünnt werden und daher im Schwermineralspektrum kaum nachweisbar sind. Setzt dagegen die alpine Schüttung aus oder lässt deutlich nach, zeichnen sich die Lokalschüttungen klarer im Schwermineralspektrum ab (s. Kap. 5.2.4).

In Kapitel 5.3 werden Korrelationsmöglichkeiten zwischen den Abfolgen im Oberrhein mit den Sundgau-Schottern (s. Kap. 5.3.1) und den Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht vorgestellt (s. Kap. 5.3.2).

### 5.1 Pliozän

Zu Beginn des Pliozäns erfolgte eine Sedimentakkumulation in Rinnensystemen, die an der Basis häufig Kieseinschaltungen aufweisen (BARTZ 1982). Im weiteren Verlauf kam es zu einer flächenhaften Sedimentation, wobei die pliozänen Sedimente z. T. den Schwellengebieten angelagert sind. Die Kieseinschaltungen an der Basis der Rinnen lässt dabei auf ein höherdynamisches Ablagerungsmilieu schließen, während in der Folgezeit fluviatile Sande und Feinsedimente ein langsam fließendes Flusssystem andeuten. Die petrographischen Analysen belegen, dass ausschließlich Material von den Randgebirgen im Oberrheingraben akkumuliert wurde.

Pliozäne Sedimente wurden in folgenden Bohrungen angetroffen: Hartheim, Nambsheim, Plobsheim, Iffezheim, Bienwald, Eggenstein, Karlsruhe, Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Parkinsel und Osthofen. Zum Vergleich wurden Proben aus Tagesaufschlüssen (Sundgau, Riedseltz, Kriegsheim / Monsheim) untersucht.

Die Interreg-II-Bohrungen Hartheim und Nambsheim sowie die Bohrung Weinstetten belegen das Vorkommen von pliozänen Sedimenten südlich des Kaiserstuhls. Die als Iffezheim-Formation angesprochenen Ablagerungen sind in dieser Region in erosionsgeschützten Senken stellenweise erhalten geblieben. BARTZ (1982) geht dagegen von einer vollständigen Erosion der pliozänen Sedimente im Südgraben südlich der Linie Sélestat-Lahr aus.

## 5.1.1 Unterscheidung in eine zentrale fluviatile Fazies und eine Grabenrandfazies

Die Analysenergebnisse der pliozänen Sedimente zeigen im wesentlichen zwei unterschiedliche Schwermineralspektren. Zum einen handelt es sich um eine vorwiegend aus stabilen Mineralen (Turmalin, Zirkon und Rutil-Anatas) zusammengesetzte Mineralassoziation. Zum anderen wurde ein Mineralspektrum analysiert, das zusätzlich zu den stabilen Mineralen auch die instabilen Minerale Granat und Hornblende mit wenig Epidot aufweist ("gemischtes Schwermineralspektrum").

Pliozäne Sedimente mit ausschließlich stabilem Schwermineralspektrum (Turmalin, Zirkon, Rutil-Anatas) kommen als "Weisses Pliozän" in Nähe der durch Buntsandstein und Rotliegend-Gesteine gebildeten Grabenrandgebirge vor (z. B. Aufschlüsse Riedseltz, Kriegsheim / Monsheim, Bienwald). Sie können als Randfazies aus Lokalschüttungen vom Grabenrand ohne fluviatilen Einfluss aus Süden aufgefasst werden. Die weisse Farbe der Quarzsande sowie ihr Kaolingehalt lassen auf die Einwirkung intensiver Verwitterung schließen.

Zum Grabenzentrum hin und in Nähe der kristallinen Randgebirge von Schwarzwald und Vogesen ist in den fluviatilen pliozänen Sedimenten das oben beschriebene, aus instabilen und stabilen

Mineralen gemischte Schwermineralspektrum festzustellen (Weinstetten, Nambsheim, Hartheim, Plobsheim, Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Parkinsel, Osthofen). Als charakteristisch für diese Ablagerungen hat sich das Auftreten der seltenen Minerale Monazit und Xenotim (untergeordnet auch Brookit und Titanit) herausgestellt. Diese Minerale stammen aus dem kristallinen Basement von Schwarzwald und Vogesen und konnten auch in den Kristallin-Schüttungen des Schwarzwalds nachgewiesen werden (Bohrungen Freiburger Bucht).

Bereits die Schwermineralbefunde von MAUS (in BARTZ 1982) zeigen Anteile der instabilen Minerale Granat und Hornblende in dem ansonsten durch stabile Minerale gekennzeichneten pliozänen Mineralspektrum. Die durch dieses Misch-Spektrum gekennzeichneten Pliozän-Sedimente kommen beispielsweise im Aufschluss von Kaltenhouse südöstlich von Hagenau und in den Bohrprofilen aus dem Raum Karlsruhe (FWR10, FWR9, FWR7, FWR2, PP19 und PP20, Tiefbrunnen der Brauerei Sinner) vor.

BARTZ (1982) führt das Vorhandensein der Granate und Hornblenden auf Schüttungen aus den Schwarzwald und Vogesen zurück, was auch Gerölle dieser Herkunft im Sediment belegen. Das Fehlen von Epidot schließt eine alpine Anlieferung aus (BOENIGK 1987). Die Schüttungen aus den Kristallingebieten der südlichen Randgebirge wurden durch den pliozänen Ur-Rhein aufgenommen und nach Norden verteilt (s. Abb. 79). Der geringere Anteil der instabilen Minerale Granat und Hornblende in den Grabensedimenten im Vergleich zu rezenten Schüttungen des Schwarzwalds (s. Kap. 5.2.3) deutet eine Verdünnung und Durchmischung mit Sedimenten mit stabilem Schwermineralinhalt sowie eine Verwitterung bei der Aufarbeitung und dem Transport der Sedimente an.

Demnach lassen sich die pliozänen Ablagerungen im Oberrheingraben anhand ihrer petrographischen Signale in eine Grabenrandfazies und eine fluviatile Fazies im Grabenzentrum mit Eintrag von Material aus Schwarzwald und Vogesen unterschieden.

#### 5.1.2 Verlauf des pliozänen Ur-Rheins

Die petrographische Unterscheidung der Pliozän-Sedimente in eine Grabenrandfazies, die ausschließlich aus Schüttungen des Grabenrandes besteht, und eine durch Materialeintrag aus Schwarzwald und Vogesen geprägte, fluviatile Fazies im Grabenzentrum ergibt die Frage nach dem Verlauf des pliozänen Ur-Rheins, der - ähnlich wie schon in den obermiozänen Dinotheriensanden - Material aus den südlichen Randgebirgen durch den Graben transportierte.

Die bis zum Oberpliozän existierende Wasserscheide im Bereich des Kaiserstuhls (BARTZ 1961, LINIGER 1964) trennte zwei verschiedene pliozäne Flusssysteme südlich und nördlich dieser Wasserscheide (ILLIES 1965, s. Abb. 79). Aufgrund ähnlicher Gesteine in den Einzugsgebieten beider Entwässerungssysteme lagerten südlich der Kaiserstuhl-Wasserscheide die Flüsse aus Süd-Schwarzwald und -Vogesen (Ur-Elz, Ur-Dreisam, Ur-Wiese, Ur-Thur u. a.) auf ihrem Weg nach Süden vermutlich eine ähnliche Schwermineralassoziation ab, wie die nördlich davon in den Ur-Rhein mündenden Flüsse (Ur-Fecht, Ur-Kinzig). Schwermineralanalytisch lassen sich daher die pliozänen Sedimente südlich der Wasserscheide (Bohrungen Nambsheim, Hartheim, Heitersheim) nicht von denen nördlich davon unterscheiden.

LINIGER & HOFMANN (1965) bestätigen die Existenz des Ur-Rheins, der nach SINDOWSKI (1940) seit dem Unterpliozän Material aus dem Nordschwarzwald Richtung Norden verfrachtete. Aber schon die obermiozänen Dinotheriensande lassen durch Gerölle aus Nord-Schwarzwald und -Vogesen auf ein ähnlich verlaufendes, fluviatiles System schließen. Während sich dieses obermiozäne Flusssystem anhand der Vorkommen der Dinotheriensande von Worms über Alzey nach Bingen verfolgen lässt, erfolgte im Pliozän durch die Hebung des Mainzer Beckens die Ablenkung des Ur-Rheins nach Osten in das absinkende Grabengebiet (s. Abb. 79).

ROLL (1979) beschreibt die Form der pliozänen Ablagerungen im mittleren Grabenabschnitt als langgestreckte Rinne, die den Verlauf des pliozänen Ur-Rheins in diesem Bereich nachzeichnet (s. Abb. 79). Die relativ feinkörnigen Sedimente repräsentieren ein geringdynamisches, fluviatiles Ablagerungsmilieu. Nur vereinzelte Kieseinschaltungen, meist an der Rinnenbasis, lassen auf höhere Sedimentationsdynamik schließen. Im nördlichen Oberrheingraben sind die pliozänen Ablagerungen weit verbreitet und überlagern meist konkordant das ältere Tertiär.

Fluviatile pliozäne Ur-Rhein-Sedimente, deren gemischtes Schwermineralspektrum ein Liefergebiet aus den südlichen Randgebirgen Schwarzwald und Vogesen belegt, wurden nördlich der Kaiserstuhl-Wasserscheide in den Bohrungen Plobsheim, Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Parkinsel und Osthofen nachgewiesen. Unter Hinzunahme der früheren Analysenbefunde der Bohrungen Soufflenheim, Sessenheim und Lauterbourg (BOENIGK 1987) sowie der von MAUS (in BARTZ 1982) untersuchten Bohrprofile aus dem Raum Karlsruhe (z. B. FWR7, PP19) lässt sich die Verbreitung der pliozänen Rheinsedimente weiter verfolgen (s. Abb. 79).

Im Nordgraben ist die petrographische Datengrundlage bisher nicht ausreichend, um abschätzen zu können, ob der pliozäne Rhein über die gesamte Grabenbreite sedimentierte. Für den westlichen Abschnitt sind Ablagerungen des aus Süden kommenden Ur-Rheins in einigen Bohrungen durch das charakteristische Schwermineralspektrum aus instabilen und stabilen Mineralen belegt (Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Parkinsel, Osthofen). Durch die starke Absenkungstendenz am östlichen Grabenrand (über 500 m mächtige Pliozän-Ablagerungen zwischen Heidelberg und Darmstadt) nahm der Ur-Rhein vermutlich auch Einfluss bis in die Gegend von Heidelberg. BARTZ (1953) beschreibt in den überwiegend fluviatil geprägten pliozänen Sedimenten in der Heidelberger Tiefbohrung Gerölle aus dem Schwarzwald, die er vom pliozänen Ur-Rhein ableitet.



Abb. 79: Verbreitung des Pliozäns (nach ROLL 1979), Verlauf des Ur-Rheins (nach ILLIES 1965), Verbreitung der Dinotheriensande (nach ROTHAUSEN & SONNE 1984), untersuchte Vorkommen der pliozänen Grabenrandfazies sowie der fluviatilen Fazies im Grabenzentrum.

In einem pliozänen Randgrabens im Bereich des Bienwalds zeigen Analysen der Bohrung Bienwaldbrunnen, dass die kiesigen Sedimente an der Basis des Randgrabens vermutlich noch durch den Ur-Rhein (gemischtes Schwermineralspektrum) abgesetzt wurden. Anschließend kehrte das Flusssystem wahrscheinlich in den östlich gelegenen Hauptgraben zurück, und im Randgraben kamen ausschließlich Schüttungen vom Grabenrand mit stabilem Schwermineralspektrum (Grabenrandfazies) zur Ablagerung.

#### 5.1.3 Vertikale Untergliederung der pliozänen Sedimente

In einigen Bohrprofilen aus dem südlichen und mittleren Grabenbereich (Nambsheim, Hartheim, Plobsheim, Bohrungen im Karlsruher Raum nach Analysen von MAUS (in BARTZ 1982)) lassen sich innerhalb der pliozänen Sedimentabfolgen (Iffezheim-Formation) Veränderungen im Schwermineralspektrum nachweisen, die eine vertikale Untergliederung zulassen.

Die pliozänen Sedimente lassen sich in den genannten Profilen in einen unteren Abschnitt mit einem Anteil von instabilen Mineralen am Schwermineralspektrum (Misch-Spektrum) und einen oberen Teil mit vorherrschend stabilen Schwermineralen untergliedern.

Da die Lage der erbohrten Sedimentprofile einen Wechsel von Ablagerungen durch den Ur-Rhein (gemischtes Spektrum) zu Lokalschüttungen aus Buntsandstein-Gebieten (stabiles Spektrum) unwahrscheinlich macht, muss eine teilweise Auflösung der instabilen Minerale durch Verwitterung angenommen werden. Das Auftreten der seltenen Minerale Monazit und Xenotim (z. B. in der Bohrung Iffezheim), die aus den Kristallingesteinen von Schwarzwald und Vogesen stammen, unterstützt die Annahme, dass diese Sedimente ursprünglich vom pliozänen Rhein hier abgelagert wurden, und sich anschließend infolge von Verwitterungsauflösung ihr Gehalt an instabilen Mineralen reduzierte.

Dies deutet tektonische Ruhephasen an, in denen die Grabeneinsenkung im Südgraben weitgehend zum Stillstand kam. Die Grabensedimente wurden aufgearbeitet, stellenweise erodiert oder in vor Erosion geschützten Positionen von einer Bodenbildung überprägt. Eine solche Bodenbildung auf pliozänen Ablagerungen zeigt besonders deutlich das Bohrprofil von Plobsheim.

In den untersuchten Pliozänprofilen aus dem Nordgraben ist die Untergliederung der Iffezheim-Formation in einen unteren und oberen Teil anhand verschiedener Schwermineralspektren nicht nachweisbar. Hier zeigen die Pliozän-Ablagerungen das aus stabilen und instabilen Mineralen gemischte Spektrum, das dem der fluviatilen Fazies der Ur-Rhein-Ablagerungen entspricht. Eine Anlieferung dieser Sedimente aus dem Neckarraum, die ein vergleichbares Schwermineralspektrum führen, ist unwahrscheinlich, da der Neckar im Pliozän ein wesentlich kleineres Einzugsgebiet als im Quartär aufwies und vermutlich nur wenig Material in den Graben sedimentierte. Eine mögliche Erklärung für das gleichbleibende Schwermineralspektrum der Iffezheim-Formation im Nordgraben könnte die andauernde Absenkung und Akkumulation in diesem Teil des Grabens sein, während es im Südgraben durch das Anhalten der Einsenkungstendenzen zu einer Verwitterungsüberprägung der pliozänen Sedimente kam.

Die Schwermineralprofile der Bohrungen Soufflenheim und Sessenheim (Mary-Kocher) (BOENIGK 1987) stellen ebenfalls eine Abfolge von Sedimenten mit einem gemischten Schwermineralspektrum im unteren Teil und einem stabilen Spektrum im oberen Teil dar. BOENIGK (1987) vergleicht das Misch-Spektrum mit dem der obermiozänen Dinotheriensande in Rheinhessen und ähnlicher Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht, das stabile Schwermineralspektrum mit dem Weissen Pliozän. In der Bohrung Lauterbourg stufen GEISSERT et al. (1976) Sedimente mit dem gemischten Schwermineralspektrum jedoch aufgrund ihrer Flora ins Pliozän (Brunssum). Zusammen mit den neuen Schwermineralbefunden pliozäner Sedimente lässt sich möglicherweise auch in den Bohrungen Soufflenheim und Sessenheim ein pliozänes Alter der Sedimente im unteren Bohrabschnitt annehmen. Damit würden zwei weitere Sedimentprofile, die eine Unterscheidung in unteren und oberen Teil der Iffezheim-Formation zulassen, die Sedimentation durch den pliozänen Ur-Rhein und eine spätere tektonische Ruhe- und Verwitterungsphase im südlichen und mittleren Oberrheingraben stützen.

Sind die Sedimente im unteren Bohrabschnitt von Soufflenheim und Sessenheim doch obermiozänen Alters, sind vermutlich fluviatile Ablagerungen eines obermiozänen Ur-Rheins repräsentiert, der ein vergleichbares Liefergebiet wie der spätere pliozäne Ur-Rhein hatte. Möglicherweise setzt sich dieses obermiozäne Flusssystem ohne Unterbrechung im Pliozän fort. Damit wäre eine Unterscheidung zwischen obermiozänen und pliozänen Rheinsedimenten aufgrund ihrer petrographischen Zusammensetzung nicht möglich.

### 5.2 Quartär

Seit dem obersten Pliozän erreichen durch den Anschluss der Aare an den Rhein alpine Sedimentschüttungen das Oberrheingebiet. Im Schwermineralspektrum zeichnet sich dieser Eintrag durch die Vorherrschaft der Minerale Granat, Epidot und grüner Hornblende im Schwermineralspektrum ab. Dieser Wechsel in der Sedimentzusammensetzung lässt sich bis in die Niederrheinische Bucht verfolgen. Die Ablagerungsdynamik nimmt durch die erhöhte Wassermenge des vergrößerten Einzugsgebiets des Rheins sowie durch den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten gegenüber den Sedimentationsbedingungen im Pliozän deutlich zu.

Im südlichen Oberrheingraben lassen sich die quartären Sedimentabfolgen anhand ihrer lithofaziellen und petrographischen Merkmale in die Breisgau-Formation und die NeuenburgFormation (Jüngere Schotter) untergliedern. Die Breisgau-Formation zeichnet sich durch diamiktische Sedimente mit zahlreichen verwitterten Geröllkomponenten aus den Randgebirgen aus, wobei der alpine Anteil der Gerölle zum Hangenden zunimmt. In der Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) kamen anschließend fluviatile sandige Kiese mit frischen alpinen Geröllen zur Ablagerung. Über zwei groben Ereignislagen sind Korrelationen mit den Glazialabfolgen im Alpenvorland während Riss und Würm möglich.

Im mittleren und nördlichen Oberrheingraben verlieren sich diese lithofaziellen Merkmale. Hier werden die Sedimentsukzessionen vorerst weiterhin lithologisch in Kieslager und feinkörnige Zwischenhorizonte bzw. hydrogeologisch in Grundwasserstockwerke aufgegliedert.

#### 5.2.1 Stratigraphische Untergliederung der Sedimente im Südgraben

Die Breisgau-Formation lässt sich in einigen Bohrprofilen des südlichen Oberrheingrabens (Hartheim, Bremgarten, Nambsheim, Nambsheim-Balgau, Niederhergheim, Plobsheim) petrographisch in einen unteren Teil mit einem Schwermineralspektrum aus vorwiegend Granat und Epidot bei wenig Hornblende und einen oberen Teil mit dem typischen alpinen Spektrum aus Granat, Epdiot und Hornblende untergliedern. Dabei treten in den hornblende-armen Sedimenten meist relativ erhöhte Anteile der Gruppe der stabilen Minerale am Spektrum auf.

Die unteren, hornblende-armen Sedimente werden als Untere Breisgau-Schichten bezeichnet. Durch den Zerfall der stark verwitterten Lokalgerölle zu Grus, Sand und Schluff ist der Feinkornanteil gegenüber den jüngeren Sedimenten deutlich erhöht, was eine dichte Lagerung und eine damit verbundene, geringere Durchlässigkeit zur Folge hat. In den Oberen Breisgau-Schichten nimmt der Anteil an alpinen Geröllen sowie der Hornblende-Anteil am Schwermineralspektrum deutlich zu. Verwitterte Komponenten von den Grabenrändern sind weiterhin im Sediment vorhanden. Die Sedimente der Neuenburg-Formation (Jüngere Schotter) zeichnen sich dagegen durch frische, überwiegend aus den Alpen stammenden Gerölle aus. Diese lithofazielle Abgrenzung der Neuenburg-Formation von den Oberen Breisgau-Schichten spiegelt sich nicht im Schwermineralinhalt der Sedimente wider; das Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum setzt sich hier unverändert fort.

Als Ursache für die Unterschiede in der Mineralzusammensetzung zwischen den Unteren und Oberen Breisgau-Schichten sowie der Neuenburg-Formation stehen sowohl Änderungen im Liefergebiet als auch eine Mineralauflösung infolge von Verwitterung zur Diskussion.

#### 5.2.1.1 Veränderung im Mineralspektrum durch Liefergebietsänderungen

Da die Minerale Granat und Epidot in der gesamten pleistozänen Sedimentabfolge in großen Anteilen vorhanden sind, und sich nur an den Anteilen der Hornblenden eine deutliche Veränderung abzeichnet, stellt sich die Frage nach dem Liefergebiet der Hornblenden.

Durch manche Zuflüsse aus Schwarzwald und Vogesen gelangen hornblende-reiche Sedimente in den Oberrheingraben (Wiese, Dreisam, Breusch, s. Kap. 4.1). Es ist aber unwahrscheinlich, dass der Großteil der in den Rheinsedimenten enthaltenen Hornblenden aus diesen mengenmäßig relativ unwichtigen Liefergebieten stammt.

Die meisten Hornblenden müssen demnach aus den Alpen in den Oberrheingraben gelangt sein. Als besonders hornblende-reich gelten hierbei die Gesteine südlich und südöstlich des Bodensees. Diese Gesteine im Einzugsbereich des Rheingletschers sind nachweislich deutlich hornblendereicher als die der Westalpen (s. Kap. 3.2.4.1).

Die Ausbreitung des Rheingletschers mit seinen hornblende-reichen Sedimentschüttungen erfolgte während der Kaltzeiten zunächst Richtung Norden. Erst durch die Ausräumung des Bodenseebeckens war schließlich eine Anlieferung von Material der Ostschweiz durch den Rheingletscher nach Westen zum Oberrheingraben möglich (ELLWANGER et al. 2004).

Demnach könnten die Unteren Breisgau-Schichten eine zunächst hornblende-arme alpine Schüttung repräsentieren, die durch den Umschwung des Rheingletschers nach Westen von einer hornblende-reicheren Schüttung aus den östlichen Alpen zusätzlichen Input erhält (Obere Breisgau-Schichten).

Der höhere Anteil von stabilen Mineralen in den Unteren Breisgau-Schichten könnte durch einen höheren Eintrag von Lokalschüttungen entstanden sein, der sich auch im Geröllspektrum durch zahlreiche verwitterte Gerölle aus Schwarzwald und Vogesen abzeichnet. Die diamiktische Ausbildung der Breisgau-Formation spricht für einen Massentransport von vorverwittertem Material aus Schwarzwald und Vogesen in den Südgraben. Gleichzeitig erfolgte zwar eine Anlieferung von alpinem Material in den Oberrheingraben, sie scheint aber in den Unteren Breisgau-Schichten im Vergleich zu den Oberen Breisgau-Schichten mengenmäßig geringer gewesen zu sein.

Im Nordgraben lassen sich keine hornblende-armen, und somit den Unteren Breisgau-Schichten vergleichbaren Sedimente nachweisen. Mögliche Erklärungsansätze hierfür könnten sein, dass die Sedimente der Unteren Breisgau-Formation entweder nicht in den Nordgraben und in die Niederrheinische Bucht weiter transportiert, oder auf ihrem Weg nach Norden durch Eintrag von den Grabenrändern mit hornblende-reichem Material vermischt wurden, sodass dieser Unterschied im Schwermineralspektrum ausgeglichen wurde. Eine mikroskopische Unterscheidung im Rahmen einer Schwermineralanalyse zwischen Hornblenden aus den Alpen und aus den Randgebirgen ist

nicht möglich. Eine Datierung der Hornblenden (variscisch, alpin) könnte zur Klärung der Herkunftsfrage beitragen.

Gegen eine Veränderung des Einzugsgebietes der Oberrheinsedimente von Unteren zu Oberen Breisgau-Schichten spricht, dass aus dem oberpliozänen Sundgau-Schotter relativ hohe Hornblende-Gehalte (bis ca. 30 %) bekannt sind - zu einer Zeit der alpinen Sedimentanlieferung durch die Aare (mit Zufluss der Reuss), also aus den Westalpen. In Aufschlüssen der entkalkten Schotter zeigt sich zwar meist infolge starker Verwitterung ein durch Epidot dominiertes Schwermineralspektrum, aber in frischeren Vorkommen weisen die Sedimente deutlich höhere Granatund Hornblende-Werte auf, die darauf hindeuten, dass bereits die Aare-Schüttung ohne Alpenrhein-Einfluss ein Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum lieferte, das nicht von dem Spektrum der alpinen Schüttung nach dem Eintrag von Sedimenten aus den östlichen Alpen zu unterscheiden ist.

Zudem spricht die Tatsache, dass sowohl im mittleren und nördlichen Oberrheingraben als auch in der Niederrheinischen Bucht die ersten alpinen Schüttungen im Reuver direkt mit einem Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum einsetzen, gegen ein zunächst hornblende-armes Liefergebiet.

#### 5.2.1.2 Veränderung des Mineralspektrums infolge Verwitterung

Neben einer Veränderung im Liefergebiet kann die Einwirkung von Verwitterung das Schwermineralspektrum deutlich verändern, wie es in den Sedimenten im Sundgau sowie in der Niederrheinischen Bucht nachweisbar ist.

Durch Verwitterungslösungen und mechanische Beanspruchung auf dem fluviatilen Transportweg werden zunächst die instabilen Minerale angegriffen, im alpinen Schwermineralspektrum also die Hornblende und der Granat. Frühere Untersuchungen (s. Kap. 3.2.4.2, SINDOWSKI 1940) haben gezeigt, dass der Granat erst nach der Entkalkung des Sedimentkörpers durch die sauren Grundwässer angelöst wird. Somit wäre eine Verminderung des Hornblende-Anteils bei Erhaltung des Granats und des Epidots im ursprünglich alpinen Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum der kalkhaltigen Unteren Breisgau-Schichten möglich.

Weiterhin spricht für den Einfluss von Verwitterung, dass der Anteil der stabilen Minerale, die in den pleistozänen Rheinsedimenten durchschnittlich etwa 10 % des Schwermineralspektrums ausmachen, in den Unteren Breisgau-Schichten relativ erhöht ist, wie es als Folge von Auflösung der instabilen Anteile am Spektrum erklärbar ist.

Auch die makroskopische Betrachtung der Sedimente der Unteren Breisgau-Schichten zeigt deutliche Hinweise auf Verwitterungseinwirkung durch das Auftreten von mürben bis zerfallenden Lokalgeröllen sowie charakteristischen ocker- bis pastellfarbenen Verwitterungsfarben. Vergleichbare Verwitterungsmerkmale zeigen auch die Sedimente im unteren Teil Älteren Schotter in den Schwarzwaldtälern und in der Freiburger Bucht, die ein Äquivalent der Unteren Breisgau-Schichten darstellen. Die Analysen dieser Sedimente ergeben ebenfalls verminderte Anteile der instabilen Schwerminerale bei gleichzeitiger Anreicherung der verwitterungsresistenteren Minerale. Die darüber folgenden Oberen Breisgau-Schichten und Jüngeren Schotter zeigen frischere Gerölle und deutlich mehr instabile Schwerminerale. In diesen Regionen treten die Veränderungen im Mineralspektrum unabhängig vom Eintrag alpiner Schüttungen auf.

Insgesamt ist also die Beeinflussung des Schwermineralspektrums der Unteren Breisgau-Schichten und im unteren Teil der Älteren Schotter durch Einwirkung von Verwitterung als wahrscheinlicher anzusehen als eine Änderung in den alpinen Liefergebieten.

Während des Ablagerungszeitraums der Unteren Breisgau-Schichten muss es folglich mehrfach zu Sedimentationsunterbrechungen und damit verbundener Verwitterungsüberprägung der Sedimente gekommen sein. Im nördlichen Oberrheingraben fehlen vergleichbare hornblende-arme Ablagerungen, da in diesen Region die Absenkung und kontinuierliche Akkumulation eine langfristige Einwirkung von Verwitterung verhinderte.

#### 5.2.2 Korrelation Süd- / Nordgraben

Im südlichen Oberrheingraben kamen während des Pleistozäns vorwiegend grobe alpine Schüttungen zur Ablagerung. Die für diese Region aufgrund der lithofaziellen und petrographischen Ausbildung der Sedimente definierte Stratigraphie (Iffezheim-, Breisgau-, Neuenburg-Formation) kann bislang nicht auf die Sedimentabfolgen im mittleren und nördlichen Oberrheingraben übertragen werden, da sich durch die zunehmende fluviatiler Aufarbeitung und Sortierung des Materials und Vermischung mit Schüttungen von den Grabenrändern der Charakter der Grabensedimente in Richtung Norden deutlich verändert. Die reduzierten Sedimentprofile auf der Karlsruher Schwelle, die die quartären Akkumulationsbecken des Süd- und Nordgrabens voneinander trennt, erschweren zusätzlich den Vergleich der Sedimentabfolgen aus beiden Bereichen.

Die durch geringe Hornblende-Gehalte gekennzeichneten Unteren Breisgau-Schichten des Südgrabens sind in den Sedimentabfolgen des Nordgrabens nicht nachzuweisen (s. o.). Die Schwermineralzusammensetzung der Oberen Breisgau-Schichten und der Neuenburg-Formation entspricht der Mineralassoziation in den quartären Rheinsedimenten im nördlichen Graben. In den jüngeren Sedimentabschnitten des Nordgrabens lassen sich vereinzelt Grobsedimentereignisse erkennen, die möglicherweise mit den Groblagen der Neuenburg-Formation im Südgraben zu korrelieren sind. Hier sind weitere lithofazielle Untersuchungsergebnisse von Bohrungen aus dem Nordgraben zur Klärung notwendig. In beiden Grabenabschnitten sind die Datierungen bisher unzureichend, um die lithofaziell unterschiedlich ausgebildeten Sedimentabfolgen zeitlich miteinander zu korrelieren. Im Südgraben fehlen größtenteils Feinsedimente, in denen paläontologische oder paläomagnetische Befunde zu erwarten sind. Physikalische Datierungen für fluviatile Ablagerungen des Pleistozäns sind nur vereinzelt möglich und decken auch dann nur den jüngsten Zeitabschnitt des Quartärs ab. Erste Versuche von OSL-Datierungen sind jedoch in Arbeit. Die bisherigen paläontologischen Einstufungen lassen bislang nur die Oberen Breisgau-Schichten aus dem Südgraben in etwa zeitlich mit den Sedimenten des Oberen Zwischenhorizontes aus dem Nordgraben korrelieren, da aus beiden Einheiten pollenanalytische Hinweise aus dem Cromer-Komplex vorliegen.

Im Nordgraben gibt es aufgrund der hohen Sedimentmächtigkeiten bisher nur wenige Bohrungen, die das Quartär vollständig erfassen. In diesem Bereich sind zahlreiche Feinkornhorizonte bekannt, die paläontologische Zeiteinstufungen möglich machen. Hierbei stellt sich jedoch für die Pollenanalyse das Problem, dass vollständige Vegetationsentwicklungen fehlen, wie sie für eine sichere Zeiteinstufung notwendig wären. Die Korrelation einzelner Pollenspektren mit Vergleichsprofilen ausserhalb des Oberrheingebietes ist zudem mit großen Unsicherheiten behaftet. Ähnliche Probleme stellen sich bei der paläomagnetischen Einstufung von Einzelbefunden.

Die Kombination von schwermineralogischer und lithofazieskundlicher Aufnahme mit möglichst vielfältigen paläontologischen Analysen an einer ausreichenden Anzahl von Tiefbohrungen wird die Möglichkeit eines Vergleichs zwischen den Sedimentabfolgen im Nord- und Südgraben verbessern.

#### 5.2.3 Petrographische Zusammensetzung der Grabenrand-Schüttungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Proben aus den rezenten Sedimenten einiger Zuflüsse in den Oberrheingraben sowie aus Bohrungen und Aufschlüssen in Schwemmfächern auf ihre petrographische Zusammensetzung analysiert. Ergänzt werden diese Ergebnisse von den früheren Befunden von VAN ANDEL (1950). Mithilfe der bekannten Mineralspektren kann der Einfluss der Schüttungen von den Grabenrändern auf die Zusammensetzung der Grabensedimente untersucht werden.

Die oberpliozänen **Sundgau-Schotter** zeigen ein von Epidot dominiertes Schwermineralspektrum. Die Sedimente alpiner Herkunft haben vermutlich ursprünglich ein Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum besessen, wie es in nicht verwitterten Bereichen des Schotters nachweisbar ist. Infolge intensiver Verwitterungseinwirkung und damit verbundener Entkalkung der Schotter wurden die instabilen Minerale Granat und Hornblende größtenteils aufgelöst. Dadurch kam es zu einer relativen Anreicherung des etwas verwitterungsresistenteren Epidots. Die Ill, die aus dem Sundgau in den südlichen Oberrhein mündet, bringt also im wesentlichen alpine Minerale mit sich, die in den pleistozänen alpinen Sedimenten im Graben keine Veränderung der Zusammensetzung bewirken.

Die Proben aus Schüttungen des **Schwarzwalds** zeigen eine Schwermineralassoziation aus den stabilen Mineralen Zirkon, Turmalin, Rutil und Anatas mit wechselnden Anteilen von Granat und Hornblende sowie den seltenen Mineralen Monazit und Xenotim und sehr wenig Epidot. Die Mineralverteilung dieser Gruppen variiert je nach Zusammensetzung der Gesteine im jeweiligen Liefergebiet. Überwiegen dort kristalline Gesteine, steigt der Anteil der Minerale Granat und Hornblende an. Kommt im Einzugsbereich Buntsandstein vor, erhöht sich der Anteil der stabilen Minerale.

Besonders hornblende-reich sind die Sedimente der Wiese und der Dreisam, die vorwiegend Kristallingesteine im Liefergebiet aufweisen. In den Proben aus Kinzig, Rench und Murg überdecken teilweise hohe Anteile an Baryt das restliche Mineralspektrum. Da der Baryt mechanisch sehr instabil ist, zerfällt er auf dem Transportweg der Sedimente in den Oberrheingraben sehr schnell und lässt sich dort kaum noch nachweisen. In der Freiburger Bucht erweist sich das Vorkommen von Monazit und anderen seltenen Mineralen als kennzeichnend. Diese Minerale sind aus dem kristallinen Basement abzuleiten. Aufgrund ihrer Stabilität sind sie auch nach langen Transportwegen im Sediment nachzuweisen.

In den Bohrprofilen des Dreisam-Schwemmkegels in der Freiburger Bucht sowie im Glotter- und Elz-Schwemmfächer zeigt sich ein vermehrtes Auftreten der stabilen Minerale im tieferen Sedimentabschnitt (Bohrungen Dreisam-Tal, Teningen und Emmendingen) der Älteren Schotter. Diese als Äquivalent der Unteren Breisgau-Schichten angesehen Ablagerungen weisen deutliche Verwitterungserscheinungen auf. Es ist von einer Verminderung der instabilen Minerale (Granat, Hornblende) aufgrund von Verwitterungsauflösung und einer relativen Anreicherung der stabilen Minerale auszugehen. Denkbar wäre ebenso ein stärkerer Eintrag von Buntsandstein-Schüttungen zur Ablagerungszeit dieser Älteren Schotter.

Die Vogesen zeigen einen ähnlichen Gesteinsaufbau wie der Schwarzwald. Die Zuflüsse in den Rheingraben können anhand ihrer Herkunft aus dem Kristallin der Südvogesen oder dem Buntsandstein der Nordvogesen untergliedert werden.

Der Neckar liefert ein Schwermineralspektrum in den Oberrheingraben, das sich vorwiegend aus Granat aus den Keuper-Sandsteinen und den stabilen Mineralen aus dem Buntsandstein zusammensetzt. Hornblende und Epidot kommen in geringen Anteilen vor. Die Pyroxene aus den vulkanischen Gesteinen im Einzugsbereich sind relativ instabil und zerfallen zum Großteil auf ihrem Transportweg.

Die petrographische Zusammensetzung der Schüttungen aus dem Buntsandstein des **Pfälzer**waldes sowie den Rotliegend-Gebieten des Nordpfälzer Berglandes zeigt meist hohe Anteile von Turmalin, der kennzeichnend für eine Herkunft aus dem Pfälzer Buntsandstein ist, sowie Zirkon,

#### Rutil und Anatas.

In der Schwermineralfraktion der Grabensedimente tritt häufig ein bräunlicher Pyroxen mit einigen Prozentanteilen auf. Vermutlich stammen diese titanaugit-reichen Pyroxene aus dem **Kaiserstuhl**, an dessen Nordrand diese Varietät in der Bohrung Riegel auftritt. Nach Norden lassen sich bis Strasbourg (Bohrung Plobsheim) noch erhöhte Gehalte dieser braunen Pyroxene nachweisen.

Im Gebiet des nördlichen Oberrheingrabens lässt sich in den obersten etwa 30 m ein stetiges Vorkommen von wenigen Prozent Pyroxen im Mineralspektrum feststellen. Es handelt sich bei diesen Pyroxenen vorwiegend um grüne, untergeordnet um braune und farblose Varietäten. Ein Einfluss des quartären Eifelvulkanismus in diesen jungen Ablagerungen im Oberrheingebiet ist denkbar.

## 5.2.4 Einfluss von Lokalschüttungen auf die Zusammensetzung der Grabensedimente

Die pliozänen Grabensedimente setzen sich ausschließlich aus Schüttungen von den Grabenrändern zusammen. Hier lässt sich der Einfluss und der Transportweg der Schwarzwald- und Vogesen-Schüttungen nach Norden aufgrund ihres von anderen Grabenrand-Schüttungen unterschiedlichen Schwermineralspektrums gut verfolgen. Auch der Zufluss von Buntsandstein-Material spiegelt sich in der Zusammensetzung der Sedimente eindeutig wider.

Im Quartär stellt sich diese Situation völlig anders dar. Ein Großteil der im Oberrhein abgelagerten Sedimente stammt aus den Alpen. Der Schwermineralgehalt der alpinen Sedimente ist etwa um das Fünf- bis Zehnfache höher als in den Lokalschüttungen der Grabenränder. Durch die hohe Ablagerungsdynamik während des Wechsels zwischen Kalt- und Warmzeiten kam es zur schnellen Durchmischung des schwermineralreichen Alpinmaterials mit den schwermineralarmen Schüttungen der Grabenränder. Daher sind besonders im Südgraben, wo ein Großteil der alpinen Sedimente zur Ablagerung kam, die Einflüsse der Seitentäler in den Grabenbereich im Schwermineralspektrum nur selten nachweisbar. Es müssten gleichzeitig etwa fünf- bis zehnmal stärkere Lokalschüttungen als alpiner Eintrag in den Graben gelangen, damit sich ihr Einfluss im Schwermineralspektrum niederschlägt. Lässt aber die Zufuhr von alpinem Input nach oder setzt vollkommen aus, sind die Sedimentschüttungen von den Grabenrändern wieder petrographisch nachweisen.

Im südlichen Oberrheingraben ist in den pleistozänen Unteren Breisgau-Schichten makroskopisch deutlich die Zufuhr von Geröllen aus Schwarzwald und Vogesen abzulesen. Im Schwermineralspektrum der Sandfraktion überdecken jedoch weitgehend die alpinen Minerale diesen Lokaleinfluss, was sich in den Oberen Breisgau-Schichten und der Neuenburg-Formation durch den erhöhten Eintrag von alpinem Material noch verstärkt. Ebenso sind die Sedimentabfolgen im Neckar-Schwemmfächer makroskopisch deutlich durch Lokalschüttungen geprägt. Aber auch hier dominieren in der Sandfraktion die alpinen Schwerminerale das Spektrum. Nur in einzelnen Lagen bei vermutlich verminderter Anlieferung alpiner Sedimente sind im petrographischen Befund geringfügige Veränderungen durch die Lokalschüttungen festzustellen (Bohrungen Mannheim-Käfertal).

Im westlichen Teil des Nordgrabens sind in einigen Bohrprofilen (Speyer, Schifferstadt, Ludwigshafen-Maudach, Osthofen) anhand ihrer Mineralassoziationen Lokalschüttungen aus dem Pfälzerwald nachzuweisen, deren Ablagerungszeitraum durch unterlagernde alpine Rheinsedimente und nach ersten Pollenbefunden ins Quartär zu stellen ist. Ihr Schwermineralspektrum entspricht dem der Freinsheim-Schichten, bei denen es sich ebenfalls um quartäre Pfälzerwald-Sedimente handelt. Eine gleichzeitige Anlieferung und Durchmischung mit Sedimenten alpiner Herkunft kann durch das Fehlen der entsprechenden Minerale ausgeschlossen werden.

Die Schwermineralprofile aus diesem Bereich zeichnen folgende Entwicklung der Sedimentation nach: Im Pliozän lässt sich eine Sedimentation durch den Ur-Rhein annehmen. Im obersten Pliozän oder im frühen Quartär (Pollen Schifferstadt: Tegelen) wurden erstmals alpine Schüttungen auf der westlichen Grabenscholle sedimentiert. Anschließend verließ der Rhein diesen Bereich und floss vermutlich weiter im Osten. In der Folgezeit gelangten Lokalschüttungen des Pfälzerwaldes in den westlichen Teil des Nordgrabens. Im Grabenzentrum lässt sich im Bohrprofil auf der Ludwigshafener Parkinsel ein mehrfacher Wechsel von alpiner und lokaler Sedimentation nachweisen. Demnach ist der Rhein zeitweilig deutlich weiter östlich geflossen als im Pliozän oder heute; möglicherweise ist er der Einsenkung im Heidelberger Bereich gefolgt. Da ausreichend tiefe Sedimentprofile aus dieser Region fehlen, lässt sich der Rheineinfluss am Ostrand des Grabens bislang nur vermuten.

Erst im letzten Glazial gelangte der Rhein mit seinen alpin-geprägten Sedimentablagerungen wieder in den Bereich der westlichen Grabenscholle (Schifferstadt, Ludwigshafen-Maudach, Osthofen), vermutlich infolge tektonischer Schollenbewegungen.

Die Abbildung 80 zeigt einen schematischen Querschnitt des nördlichen Oberrheingrabens im Bereich der Frankenthaler Terrasse mit den aufgrund der Schwermineralanalysen untergliederten Sedimenteinheiten, in denen sich die oben beschriebene Entwicklung ablesen lässt.



Abb. 80: Schematischer geologischer Profilschnitt durch den nördlichen Oberrheingraben im Bereich der Frankenthaler Terrasse. Darstellung der durch unterschiedliche Schwermineralspektren gekennzeichneten Sedimentabfolgen, die in den Bohrungen Schifferstadt, Ludwigshafen-Maudach, Ludwigshafen-Parkinsel und Mannheim-Friesenheimer Insel angetroffen wurden.

In den Sedimentprofilen im Nordgraben ist in den obersten Metern eine Veränderung im Schwermineralspektrum mit einer Abnahme der Hornblende-Werte zugunsten der Granat-Anteile festzustellen. WERNER et al. (1995) beschreiben im Raum Karlsruhe ebenfalls eine merkliche Zunahme an lokal-gefärbten Sanden und Geröllen aus den Randgebirgen in den obersten Metern der Sedimentabfolgen. Mögliche Ursache könnte das Nachlassen alpiner Schüttungen sein, deren Sedimente nacheiszeitlich im Bodensee-Becken aufgefangen werden, bei gleichzeitig verstärkter Lokalschüttung aus den Randgebirgen.

# 5.3 Korrelation mit dem Sundgau und der Niederrheinischen Bucht

#### 5.3.1 Sundgau - Oberrheingraben

Die Sundgau-Schotter wurden als alpine Schüttungen von einem älteren Flusssystem der Aare (Aare-Doubs-Mittelmeer) abgelagert. Sie werden gemeinsam mit den Schottern der Bresse und des Forêt de Chaud mit einem Alter von 3,2 bis 2,6 Mio. Jahren in das Oberpliozän datiert (s. Kap. 4.1.1). Anschließend setzt in dieser Region die alpine Schüttung wieder aus, was lokal-geprägte Sedimentabfolgen im Bresse-Graben belegen (BONVALOT 1974, BONVALOT et al. 1984).

Etwa zeitgleich lässt sich im Oberrheingraben und in der Niederrheinischen Bucht im obersten Pliozän (Reuver) der petrographische Wechsel von Lokalschüttungen zu den ersten alpingeprägten Sedimenten nachweisen, der den Anschluss der Aare an den pliozänen Ur-Rhein belegt.

#### 5.3.2 Oberrheingraben - Niederrheinische Bucht

Die pliozänen Sedimente der Niederrheinischen Bucht sind vorwiegend durch stabile Schwerminerale gekennzeichnet. Aus Bohrungen auf der Rur-Scholle (KEHRBERG 1987, SODERMANNS 1987, WAGNER 1987) sind vereinzelt pliozäne Sedimente bekannt, die neben stabilen und metamorphen Mineralen auch Anteile von Granat, Epidot und wenig Hornblende aufweisen. Diese Schwermineralassoziation ähnelt dem aus instabilen und stabilen Mineralen zusammengesetzten Spektrum der fluviatilen Fazies der pliozänen Ur-Rhein-Sedimente im Oberrheingebiet. Eine Fortsetzung der pliozänen Ur-Rhein-Sedimentation vom Oberrheingraben nach Norden in die Niederrheinische Bucht erscheint plausibel. Wie im südlichen und mittleren Oberrheingebiet zeigt sich in den oben genannten Bohrprofilen in der Niederrheinischen Bucht eine Abnahme der Anteile dieser instabilen Minerale zum Hangenden, vermutlich infolge von Verwitterungsauflösung, was schließlich zum in der Niederrheinischen Bucht weit verbreiteten Schwermineralspektrum aus stabilen Mineralen führte. Offenbar ist das gemischte Schwermineralspektrum in den pliozänen Sedimenten nur in vor Verwitterung geschützten Positionen erhalten geblieben.

Der Einsatz der ersten alpinen Schüttungen im obersten Pliozän (Reuver) erfolgt sowohl im Oberrheingraben als auch in der Niederrheinischen Bucht durchgängig und nahezu zeitgleich, was die Annahme eines schon vorher bestehenden Flusssystems aus dem Oberrheingraben über das Mittelrheingebiet in die Niederrheinische Bucht unterstützt. Im Schwermineralspektrum lässt sich in allen drei Regionen die typische alpine Mineralassoziation aus Granat, Epidot und grüner Hornblende nachweisen. Während die alpin-geprägten Rheinsedimente ab dem oberen Pliozän (Reuver) bis zum Tegelen in der ganzen Niederrheinischen Bucht nachzuweisen sind, wurde vom Tegelen bis zur Cromer-Zeit im zentralen Teil der Bucht die Sedimentation durch die Maas (Holzweiler-Formation), die bis dahin in den Rur-Graben sedimentierte, bestimmt. Der Rhein scheint in dieser Zeit am Ostrand der Bucht geflossen zu sein. Ab der Cromer-Zeit beherrscht der Rhein wieder den zentralen Teil der Niederrheinischen Bucht.

Hierzu zeichnet sich eine mögliche Verbindung mit den Abfolgen im westlichen Teil des nördlichen Oberrheingrabens ab. Die Ergebnisse der Pollenanalyse der Bohrung Schifferstadt belegen in Kombination mit den petrographischen Analysen der Bohrungen Schifferstadt, Speyer und Osthofen eine Sedimentation durch den alpin-geprägten Rhein etwa im Zeitraum Reuver bis Tegelen. Anschließend werden in diesem Bereich ausschließlich Lokalsedimente aus dem Pfälzerwald sedimentiert, während ein Rheinverlauf im östlichen Graben anzunehmen ist. Erst während der letzten Eiszeit überflutete der Rhein - vermutlich infolge tektonischer Schollenabsenkung - wieder das Gebiet der Frankenthaler Terrasse am Westrand des Nordgrabens.

Möglicherweise haben in beiden Regionen tektonische Schollenbewegung, die in überregionalem Zusammenhang stehen könnten, oder auch eine nachlassende Wasserfracht des Rheins den verstärken Einfluss von Lokalschüttungen bzw. eine Umlenkung der Maas nach Nordosten und eine Verlagerung des Rheinverlaufs an die jeweils östlichen Grabenränder verursacht.

Eine weitere Verbindungsmöglichkeit der quartären Sedimentabfolgen der Niederrheinischen Bucht und des nördlichen Oberrheingrabens ergibt sich aus dem Auftreten vulkanischer Schwerminerale (Pyroxene) durch den quartären Eifelvulkanismus. In der Niederrheinischen Bucht und im Mittelrheingebiet lässt sich der vulkanische Einfluss in den Mittel- und Niederterrassen des Rheins nachweisen. Im nördlichen Oberrheingebiet treten in den obersten ca. 30 m der quartären Sedimente durchgängig geringe Anteile von Pyroxen auf. Eine Herkunft der Pyroxene aus der Eifel kann bislang nur vermutet werden.

## 6 Dank

Meinem Doktorvater und Lehrer, Herrn Professor Dr. Wolfgang Boenigk, gilt mein besonderer Dank für die Themenstellung und Betreuung dieser Arbeit. Die zahlreichen Diskussionen, seine Ratschläge und Unterstützung haben sehr bei der Durchführung geholfen. Herrn Professor Dr. Klaus Krumsiek danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Bei den Geländearbeiten wurde ich sehr von den Kollegen der Geologischen Landesämter unterstützt. Durch ihre Informationen zu den neuen Bohrungen im Oberrheingebiet ist die vorliegende Dissertation erst möglich geworden. Herrn Dr. Dietrich Ellwanger (LGRB Baden-Württemberg) danke ich herzlich für seine Unterstützung und sein Interesse am Fortgang der Untersuchungen. Ihm verdanke ich die Überlassung der Skizzen der Lithofaziesaufnahmen. Herrn Dr. Michael Weidenfeller, Herrn Dr. Thomas Kärcher (LGB Rheinland-Pfalz) und Herrn Dr. Gunter Wirsing (LGRB Baden-Württemberg) sei für ihre fachliche Unterstützung, die Übermittlung von Informationen und ihre Betreuung im Gelände gedankt. Zu den Untersuchungen auf französischen Gebiet war mir Herr Dr. Philippe Elsass (BRGM Orléans) eine große Hilfe bei der Zusammenstellung von Hintergrundinformationen. Frau Inge Neeb (LGRB Baden-Württemberg) danke ich für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Komplettierung der Bohrdaten. Für weitere Fachdiskussionen danke ich den Kollegen vom HLUG, Herrn Dr. Christian Hoselmann, Herrn Dr. Martin Hottenrott und Herrn Roman Haimberger.

Frau Dr. Maria Knipping und Herrn Dr. Wolfgang Bludau danke ich für die Diskussion der parallel zu den Schwermineraluntersuchungen durchgeführten Pollenanalysen und ihrer Ergebnisse. Herr Dr. Peter Schäfer (LGB Rheinland-Pfalz) stellte seine Mikrofauna-Untersuchungen der Bohrung Osthofen zur Verfügung. Herr Dr. Christian Rolf (GGA-Institut Hannover) erläuterte mir die Ergebnisse der paläomagnetischen Untersuchungen. Frau Ulrike Wefels (GD Nordrhein-Westfalen) gebührt mein Dank für ihre Hilfe bei Fragestellungen zur Schwermineralanalyse. So konnte ich im Landesamt Krefeld mit dem Spektroskop und dem Röntgendiffraktometer offene Fragen zur Schwermineralbestimmung klären.

Herr Michael Otto half bei der zeitaufwendigen Digitalisierung der Lithofaziesprofile und bei Computerfragen. Bei Herrn Michael Simon bedanke ich mich herzlich für die gute Zusammenarbeit bei der Erstellung des Programms ProfilPlot zur tiefengenauen Darstellung von Schwermineralprofilen.

Teile der vorliegenden Untersuchungen wurden finanziell durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft ("Die Tertiär/Quartär-Grenzschichten und das Unterpleistozän im Oberrheingraben anhand von Kernbohrungen" BO 413/13-1) gefördert; weiterhin halfen Drittmittelprojekte mit dem BRGM Orléans ("Schwermineralanalyse der Bohrungen Nambsheim-Balgau, Rumersheim-le-Haut und Niederhergheim"), dem LGRB Baden-Württemberg ("Schwermineralanalyse der Bohrungen Iffezheim, Karlsruhe-Verglasungsanlage (B1 und B2) und Bremgarten-Hartheim") und der Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein ("Schwermineralanalyse der Interreg II-Bohrungen BK1 Hartheim und BK2 Nambsheim") bei der Finanzierung der Arbeiten.

Bei Frau Michaela Berg, Herrn Hasan Cicek, Frau Ulrike Göhler, Frau Heike Kochenrath und Frau Andrea Richts (geb. Schistek) bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit im Rahmen ihrer Diplomarbeiten in diesem Projekt. Frau Heike Kochenrath, Frau Andrea Richts und Frau Karin Wüst haben mir als studentische Hilfskräfte bei der Probennahme und -aufbereitung sehr geholfen. Hier gebührt weiterhin Frau Marlies Schwedler-Schleicher und Frau Christina Wilms ein großes Dankeschön für die Unterstützung bei den Laborarbeiten.

Bei Herrn Arne Link bedanke ich mich für seine kritische Durchsicht des Textes. Frau Susanne Aarburg half bei der Korrektur der englischen Zusammenfassung. Allen anderen Mitarbeitern der Abteilung Quartärgeologie des Geologischen Instituts der Universität zu Köln möchte ich an dieser Stelle für ihre Hilfs- und Diskussionsbereitschaft danken.

Ohne die Unterstützung meiner Familie, insbesondere meines Mannes Herrn Michael Otto und meiner Eltern Frau Adelheid Hagedorn und Herrn Dr. Ferdinand Hagedorn, wäre die Durchführung dieser Arbeit und des vorangegangenen Studiums nicht möglich gewesen. Ihnen danke ich von ganzem Herzen. Michael hat mich lieberweise oft ins Gelände oder zu Tagungen begleitet und mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden. Bei ihm möchte ich mich mit dieser Arbeit dafür bedanken.

## 7 Literaturverzeichnis

- AHORNER, L (1970): Seismo-tectonic Relation between the Graben Zones of the Upper and Lower Rhine Valley. - In: ILLIES, H. & MÜLLER, S. [Hrsg.] (1970): Graben Problems. Proceedings of an International Rift Symposium held in Karlsruhe October, 10-12; 1968. -Int. Upper Mantle Project Sci. Rep. 27: I-VII + 155-166; Stuttgart (Schweizerbart).
- ANDEL, T. H. VAN (1950): Provenance, Transport and Deposition of Rhine Sediments. 129 S.; Wageningen (Veenman & Zonen).
- ANDEL, T. H. VAN (1959): Reflection on the interpretation of heavy mineral analyses. J. Sedim. Petrol., **29:** 153-163; Tulsa/USA.
- ANDERLE, H.-J. (1968): Die M\u00e4chtigkeiten der sandig-kiesigen Sedimente des Quart\u00e4rs im n\u00f6rdlichen Oberrheingraben und der \u00f6stlichen Untermain-Ebene. - Notizbl. Hess. Landesamt Bodenforsch., 96: 185-196; Wiesbaden.
- ANDRES, J. & SCHAD, A. (1959): Seismische Kartierung von Bruchzonen im mittleren und nördlichen Teil des Oberrheingrabens und deren Bedeutung für die Ölansammlung. - Erdöl und Kohle, 12: 323-334; Hamburg, Berlin.
- BARTZ, J. (1936): Das Unterpliocän in Rheinhessen. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., NF, 25: 121-228; Stuttgart.
- BARTZ, J. (1950): Das Jungpliozän im nördlichen Rheinhessen. Notizbl. Hess. Landesamt Bodenforsch., VI, 1: 201-243, Wiesbaden.
- BARTZ, J. (1953): Revision des Bohrprofils der Heidelberger Radium-Sol-Therme. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **33:** 101-125; Freiburg i. Br.
- BARTZ, J. (1959): Zur Gliederung des Pleistozäns im Oberrheingebiet. Zeitschr. deutsch. geol. Ges., **111:** 653-661; Hannover.
- BARTZ, J. (1961): Die Entwicklung des Flussnetzes in Südwestdeutschland. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **4:** 127-135; Freiburg i. Br.
- BARTZ, J. (1967): Recent Movements in the Upper Rhinegraben, between Rastatt and Mannheim. -In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.]: The Rhinegraben Progress Report 1967. Abh.Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6: 1-2; Freiburg i. Br.
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. In: ILLIES, J. H. & FUCHS,
  K. [Hrsg.]: Approaches to Taphrogenesis. Inter-Union-Comm. Geodynamics Sci. Rep. 8: 78-87; Stuttgart (Schweitzerbart).

- BARTZ, J., mit Beiträgen von BRELIE, G. & MAUS, H. (1976): Quartär und Jungtertiär im Raum Rastatt. - Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **18:** 121-178; Freiburg i. Br.
- BARTZ, J., mit Beiträgen von BRELIE, G & MAUS, H. (1982): Quartär und Jungtertiär II im Oberrheingraben im Großraum Karlsruhe. Geol. Jb., A 63: 3-237; Hannover.
- BENECKE, E. W. (1877): Über die Trias in Elsass-Lothringen und Luxemburg. Abh. geol. Spez.-Kt. Elsass-Lothr., 1: 489-829; Straßburg.
- BERG, M. (2000): Sedimentpetrographie der Bohrung Hettenschlag. Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität zu Köln, 95 S.; Köln.
- BLUDAU, W. (1995): Biostratigraphische Untersuchungen an Sedimenten aus dem mittleren Oberrheingraben Vorläufige Ergebnisse. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 35 (1993): 395-406; Freiburg i. Br.
- BLUDAU W. (2001): Preliminary results of pollenanalytical investigations in the northern part of the Upper Rhine Valley. Interner Bericht, 2 S.; Denzlingen.
- BOENIGK, W. (1976): Schwermineraluntersuchungen zur Entwicklung des Rheinsystems. Eiszeitalter u. Gegenwart, 27: 202; Öhringen / Württ.
- BOENIGK, W. (1978 a): Schwermineralassoziationen im Grenzbereich Tertiär/Quartär der Erftscholle (Niederrheinische Bucht). - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 28: 123-133; Krefeld.
- BOENIGK, W. (1978 b): Die flussgeschichtliche Entwicklung der Niederrheinischen Bucht im Jungtertiär und Altquartär. Eiszeitalter u. Gegenwart, **28:** 1-9; Öhringen / Württ.
- BOENIGK, W. (1978 c): Gliederung des altquartären Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht.
  Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 28: 135-212; Krefeld.
- BOENIGK, W. (1981): Die Gliederung der tertiären Braunkohlendeckschichten in der Ville (Niederrheinische Bucht). Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **29:** 193-263; Krefeld.
- BOENIGK, W. (1982): Der Einfluß des Rheingraben-Systems auf die Flußgeschichte des Rheins. -Z. Geomorph., N.F., 42: 167-175; Berlin Stuttgart.
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. 152 S.; Stuttgart (Enke).
- BOENIGK, W. (1987): Petrographische Untersuchungen jungtertiärer und quartärer Sedimente am linken Oberrhein. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **69:** 357-394; Stuttgart.
- BOENIGK, W. (1990): Die pleistozänen Rheinterrassen und deren Bedeutung für die Gliederung des Eiszeitalters in Mitteleuropa. In: LIEDTKE, H. [Hrsg.]: Eiszeitforschung, 130-140; Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft).

- BOENIGK, W. (1998): Die Tertiär-/Quartärgrenze am Niederrhein. GeoArchaeoRhein, **2:** 25-34; Münster.
- BOENIGK, W. (2002): The Pleistocene drainage pattern in the Lower Rhine Basin. Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw **81(2):** 201-209; Utrecht.
- BOENIGK, W., BRELIE VON DER, G., BRUNNACKER, K., KOCI, A, SCHLICKUM, W. R. & STRAUCH,
  F. (1974): Zur Pliozän-Pleistozän-Grenze im Bereich der Ville (Niederrheinische Bucht). Newsl. Stratigr., 3: 219-241; Leiden.
- BONVALOT, J. (1974): Les Cailloutis de la Forêt de Chaux (Jura); leurs rapports avec les matériaux détritiques du Sundgau et du nord de la Bresse. Thèse 3e cycle, 134 S.; Dijon.
- BONVALOT, J., COUREL, L. & SÉNAC, PH. (1984): Ètude sédimentologique du remplissage pliopléistocène de la Bresse. - Géologie de la France, **3:** 197-220; Orléans.
- BRELIE, G. VON DER (1974): Mikrofloristische Untersuchungen zur Altersstellung der jungtertiären Ablagerungen im mittleren und nördlichen Oberrheingraben. In: ILLIES, J. H. & FUCHS, K. [Hrsg.]: Approaches to Taphrogenesis. Inter-Union Comm. On Geodyn., sci. Rep., 8: 72-78; Stuttgart (Schweitzerbart).
- BRILL, R. (1933): Die Tektonik an der Hauptrheintalverwerfung am Lorettoberg bei Freiburg i. Br.
  Geol. Rundsch., 23a: 38-51; Berlin.
- BRGM (1971): Carte Géologique de la France à 1/50 000 Strasbourg XXXVIII 16, avec Notice explicative, 37 S.; Orléans.
- BRGM (1976 a): Carte Géologique de la France à 1/50 000 Mulhouse-Mulheim XXXVII XXXVIII 20, avec Notice explicative, 27 S.; Orléans.
- BRGM (1976 b): Carte Géologique de la France à 1/50 000 Seltz-Wissembourg XXXIX 13-14, avec Notice explicative, 59 S.; Orleans.
- BRGM (1977): Carte Géologique de la France à 1/50 000 Neuf-Brisach Obersaasheim XXXVII -XXXVIII - 19, avec Notice explicative, 43 S.; Orléans.
- BRGM (1986/87): Carte Géologique de la France à 1/50 000 Benfeld XXXVIII 17, avec Notice explicative, 74 S.; Orléans.
- BRGM (1995): Les formations superficielles des Vosges et de l'Alsace. Idetification, potentialités, contraintes. Interner Bericht Nr. R 38640 BRGM Elsass; 27 S.; Colmar.
- BRGM (1998): Etude géologique du gisement alluvionnaire de Rumersheim-le-Haut (68). -Interner Bericht Nr. A 12498 BRGM Elsass; 18 S.; Colmar.

- BRGM (1999): Ville de Colmar Projet de champ captant du Kastenwald Etude hydrogéologique préliminaire. Interner Bericht Nr. A 17611 BRGM Elsass; 41 S.; Colmar.
- BROST, E. & ELLWANGER, D., mit Beiträgen von BLUDAU, W. & ROLF, C. (1991): Einige Ergebnisse neuerer geoelektrischer und stratigraphischer Untersuchungen im Gebiet zwischen Kaiserstuhl und Kehl. - Geol. Jb, E 48: 71-81; Hannover.
- BRUNNACKER, K., BOENIGK, W., DOLEZALEK, B., KEMPF, E. K., KOCI, A., MENTZEN, H., RAZI RAD, M. & WINTER, K.-P. (1978): Die Mittelterrassen am Niederrhein zwischen Köln und Mönchengladbach. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 28: 277-324; Krefeld.
- CICEK, H. (1999): Sedimentpetrographie der Bohrung Mannheim-Käfertal (UVB1). Unveröff. Diplomarbeit Geologisches Institut, Universität zu Köln, 75 S.; Köln.
- CLOOS, H. (1939): Hebung Spaltung Vulkanismus. Elemente einer geometrischen Analyse irdischer Großformen. - Geol. Rundsch., 30: 401-527; Stuttgart.
- CLOOS, H. (1947): Gespräch mit der Erde. Geologische Welt- und Lebensfahrt. 389 S.; München (Piper & Co).
- CLOSS, H. (1967): The Upper Rhine Valley, the Graben Fill. In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.]: The Rhinegraben Progress Report 1967. Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6: 37-38; Freiburg i. Br.
- CONRADIN, H. (1991): Pedologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Quartär der Nordschweiz. Die mineralogischen Beziehungen Molasse-Quartär, Materialherkunft, Transportweg, Verwitterung und Chronologie. - Diss. ETH Zürich; Zürich.
- DOEBL, F. (1967): The Tertiary and Pleistocene sediments of the northern and central part of the Upper Rhinegraben. - In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.]: The Rhinegraben Progress Report 1967. - Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6: 48-54; Freiburg i. Br.
- DOEBL, F. (1970): Die tertiären und quartären Sedimente des südlichen Rheingrabens. In: ILLIES,
  H. & MÜLLER, S. [Hrsg.] (1970): Graben Problems. Proceedings of an International Rift
  Symposium held in Karlsruhe October, 10-12; 1968. Int. Upper Mantle Project Sci. Rep.
  27: I-VII + 56-66; Stuttgart (Schweizerbart).
- DOEBL, F. & OLBRECHT, W. (1974): An Isobath Map of the Tertiary Base in the Rhinegraben. In: ILLIES, H. & FUCHS, K. [Hrsg.] (1974): Approaches to Taphrogenesis. Proceedings of an International Rift Symposium held in Karlsruhe April, 13-15, 1972. Inter-Union Comm. Geodynamics Sci. Rep. 8: I-X + 71-72; Stuttgart (Schweizerbart).
- DOEBL, F. & TEICHMÜLLER, R. (1979): Geologie und heutige Geothermik im mittleren Oberrheingraben. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27:** 1-17; Krefeld.

- EDELMANN, C. H. (1933): Petrologische Provincies in het Nederlandsche Kwartair. Thesis, Amsterdam: Centen Uitg. Mij, 104 pp; Amsterdam.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1841): Les Vosges. In: ÉLIE DE BEAUMONT, L. & DUFRÉNOY, P. A.: Explication de la Carte géologique de la France, 1: 267-437; Paris.
- ELLWANGER, D., BIBUS, E, BLUDAU, W., KÖSEL, M. & MERKT, J. (1995): Baden-Württemberg. In: BENDA, L. [Hrsg.]: Das Quartär Deutschlands. 255-295; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- ELLWANGER, D., BIBUS, E., BLUDAU, W., FIEBIG, M., KNIPPING, M., HAGEDORN, E., MÜLLER-DICK, B. SZENKLER, C. & STORCH, H. (2000): Paläoklimatisch-sedimentologische Untersuchungen an Lockergesteins-Forschungsbohrungen des Alpenvorlandes (Rheingletschergebiet / Oberrheingraben) Vorläufige Ergebnisse und Folgerungen. Extended Abstract, ICDP/KTB-Kolloquium; Ruhr-Universität Bochum, 15./16. Juni 2000; Bochum.
- ELLWANGER, D., BIBUS, E., BLUDAU, W., HAGEDORN, E. & STORCH, H. (2001): Ansätze zu einer Sequenz- bzw. Klima-Eventstratigraphie der Lockergesteine des südwestdeutschen Alpenvorlandes (Oberschwaben und Oberrhein). - Extended Abstract, ICDP/KTB-Kolloquium; Ruhr-Universität Bochum, 7./8. Juni 2001; Bochum.
- ELLWANGER, D. & FIEBIG, M. (1998): Sequenzstratigraphische Studien im südwestdeutschen Quartär. - DEUQUA-Tagung in Hannover, 13.-20. September 1998; Kurzfassungen der Vorträge und Poster, 16; Hannover.
- ELLWANGER, D., HINDERER, M., LÄMMERMANN-BARTHEL, J., NEEB, I., BIBUS, E., HAGEDORN, E.
  & VILLINGER, E. (2002): Sedimentbilanzierungen in quartären und pliozänen Lockergesteinen (Rheingletscher, Mittellandgletscher, Oberrheingraben). - ICDP/ODP-Kolloquium; Universität Potsdam, 6.-8. Juni 2002; Potsdam.
- ELLWANGER, D., LÄMMERMANN-BARTHEL, J. & NEEB, I. (2004): Eine "landschaftsübergreifende Lockergesteinsgliederung" vom Alpenrand bis zum Oberrhein. - GeoArchaeoRhein, 4; Münster (im Druck).
- ELSASS, P. & WIRSING, G. (1999): Interreg II. Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur / couches profondes de l'aquifer. (Bestandsaufnahme der Grundwasser-Qualität im Oberrheingraben / tiefe Grundwasserbereiche). Etudes géophysiques et piézomètres profonds. Rapport / Interner Bericht BRGM R 40585, 20 S.; Colmar.

- ENGESSER, W. & MÜNZING, K. (1991): Molluskenfaunen aus Bohrungen im Raum Philippsburg-Mannheim und ihre Bedeutung für die Quartärstratigraphie des Oberrheingrabens. - Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 33: 97-117; Freiburg i. Br.
- ERBERICH, G. (1937): Sedimentpetrographische Untersuchungen an rezenten Rheinsanden vom Mainzer Becken bis an die Holländische Grenze. Decheniana, **95:** 1-40; Bonn.
- EYLES, N., EYLES, C. H. & MIALL, A. D. (1983): Lithofacies types and vertical profile models: an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. - Sedimentology, **30**: 393-410; Amsterdam.
- FALKE, G. & SONNE, V. (1967): The Mainzer Becken. In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.]: The Rhinegraben Progress Report 1967. - Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6: 56-58; Freiburg i. Br.
- FEZER, F. (1974): Randfluss und Neckarschwemmfächer. Heidelberger Geographische Arbeiten,40: 167-183; Heidelberg.
- FEZER, F. (1991): Weitere Argumente f
  ür die Aare-Donau. Jh. geol. Landesamt Baden-W
  ürttemberg, 33: 187-198; Freiburg i. Br.
- FEZER, F. (1998): Mittel- und Jungpleistozän im "Heidelberger Loch", Bohrprofil Entensee von 285 bis 6 m Teufe. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 80: 297-360; Stuttgart.
- FRANZEN, J. L. (1999): Die große Flut der Rheinhessensee. Natur u. Museum, **129 (7):** 201-212; Frankfurt a. M.
- FRANZEN, J. L. (2000): Auf dem Grunde des Urrheins Ausgrabungen bei Eppelsheim. Natur u. Museum, 130 (6): 169-180; Frankfurt a. M.
- FRANZEN, J. L. (2001): Der Rheinhessensee neue Erkenntnisse, neue Fragen. Natur u. Museum,131 (4): 126-128; Frankfurt a. M.
- FREY, M. & SAAGER, R. (1999): Die mikroskopische Unterscheidung von Monazit, Xenotim und Zirkon in der Auflichtpolarisationsmikroskopie. In: BECKER-HAUMANN, R. & FRECHEN, M. [Hrsg.]: Terrestrische Quartärgeologie 328-336; Köln (Logabook).
- FÜCHTBAUER, H. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. - Eclogae geol. Helv., 57/1: 157-298; Basel.
- GASSER, U. & NABHOLZ, W. (1969): zur Sedimentologie der Sandfraktion im Pleistozän des Schweizerischen Mittellandes. Eclogae geol. Helv., **62/2:** 467-516; Basel.
- GEISSERT, F. (1972): Neue Untersuchungen im Pliozän der Hagenauer Umgebung (Nördliches Elsaß). Mainzer naturwiss. Archiv, **11:** 191-221; Mainz.

- GEISSERT, F. (1983): Die Molluskenführung der plio-pleistozänen Deckschichten im Steinbruch Weisenau. - Geol. Jb. Hessen, **111:** 75-92; Wiesbaden.
- GEISSERT, F. (1996): Paläontologie des Pliozäns und Quartärs im Unterelsaß (Département Bas-Rhin). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **78:** 209-219; Stuttgart.
- GEISSERT, F., GREGOR, H. J., MAI, D. H., BOENIGK, W. & GÜNTHER, Th. (1990): Die "Saugbaggerflora" - Frucht- und Samenflora aus dem Grenzbereich Miozän-Pliozän von Sessenheim im Elsaß (Frankreich). - Documenta naturae, 57: 207 S.; München.
- GEISSERT, F., MÉNILLET, F. & FARJANEL, G. (1976): Les alluvions Rhénane Plio-Quaternaires dans le départemeint du Bas-Rhin. Sci. géol. Bull, **29:** 121-170; Straßburg.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (1996): (R. GROSCHOPF, G. KESSLER, J. LEIBER, H. MAUS, W. OHMERT, A. SCHREINER und W. WIMMENAUER)
  Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50.000, Erläuterung zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung. 3., ergänzte Aufl., 364 S.; Freiburg i. Br.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (2000): Hydrogeologisches Strukturmodell Stadtgebiet Ludwigshafen-Mannheim (Dr. T. Kärcher). - Interner Bericht, 22 S.; Mainz.
- GIAMBONI, M. & SCHMID, S. (1999): EUCOR-URGENT Forschung grenzüberschreitend: Junge tektonische Bewegungen im Bereich des Rheingrabens. 2 S., Internet-Publ.: www.zuv.unibas.ch/jb/1999/008\_lehren\_3.pdf; Basel.
- GÖHLER, U. (2000): Schwermineralanalyse und Schotterpetrographie der Bohrung Nambsheim-Balgau (Elsass) in Frankreich. - Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität zu Köln, 78 S.; Köln.
- GRAF, H. (1993): Die Deckenschotter der zentralen Nordschweiz Diss. ETH Zürich Nr. 10205, 151 S.; Zürich.
- GRAF, H. & HOFMANN, B. U. (2000): Zur Eiszeitgeologie des oberen Klettgau (Kt. Schaffhausen, Schweiz) - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 82: 279-315; Stuttgart.
- HÄFNER, F. (1976): Untersuchungen an transparenten Schwermineralen im Rotliegenden bei Odernheim/Glan (Saar-Nahe-Gebiet). Mainzer geowiss. Mitt., **5:** 111-127; Mainz.
- HAGEDORN, E.-M. (1999): Schwermineralanalyse der Bohrungen Nambsheim / Balgau,
  Rumersheim-le-Haut und Niederhergheim Geologisches Institut Universität zu Köln,
  Abteilung Quartärgeologie (unveröff. Bericht), 23 S.; Köln.
- HAGEDORN, E.-M. (2000 a): Schwermineralanalyse der Bohrungen Iffezheim, Karlsruhe / Verglasungsanlage (B1 und B2) und Bremgarten / Hartheim Geologisches Institut Universität zu Köln, Abteilung Quartärgeologie (unveröff. Bericht), 32 S.; Köln.

- HAGEDORN, E.-M. (2000 b): Heavy Minerals in the Late Tertiary and Quaternary Sediments of the Upper Rhine Graben. - Poster/Abstract - First annual meeting of EUCOR URGENT, Freiburg July 2000; Freiburg i. Br.
- HAGEDORN, E.-M. (2001): Schwermineralanalyse der Interreg II-Bohrungen BK1 Hartheim und BK2 Nambsheim. - Geologisches Institut Universität zu Köln, Abteilung Quartärgeologie (unveröff. Bericht), 15 S.; Köln.
- HAGEDORN, E.-M. (2003 a): Heavy Mineral Pattern in the Upper Tertiary and Quaternary Sediments of the Southern an Northern Upper Rhine Graben. - Poster/Abstract - Gemeinsames Schwerpunktkolloquium IODP – ICDP Mainz, 26-28.3.2003; Mainz.
- HAGEDORN, E.-M. (2003 b): Heavy Mineral Pattern in the Upper Tertiary and Quaternary Sediments of the Southern an Northern Upper Rhine Graben. Poster/Abstract EUCOR-URGENT International Symposium on: Assessing Natural Hazards in a Densely Populated Area. 29, 30 September and 1 October 2003, Basel, Switzerland; Basel.
- HAGEDORN, E.-M. & BOENIGK, W. (2000): Schwermineraluntersuchungen an jungtertiären und quartären Sedimenten aus dem Oberrheingebiet. Poster/Abstract Deuqua 2000; Bern.
- HAMBACH, U. (1996): Paläo- und gesteinsmagnetische Untersuchungen im Quartär der Grube Grafenrain: Fundplatz des *H.e.h.*, Mannheimer Geschichtsblätter (Neue Folge), Beiheft 1: 41-46; Mannheim.
- HENNINGSEN, D. (1981): Darf man Schwermineral-Gehalte von Kiesen und Sanden miteinander vergleichen? N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1981 (3):** 157-164; Stuttgart.
- HERING, O. H. & ZIMMERLE, W. (1963): A simple method of distinguishing zircon, monazite und xenotime. - J. Sedim. Petrol., 33: 472-473; Tulsa/USA.
- HGK (1980): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. - Analyse des Ist-Zustandes. - 71 S., Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg; Der Hessische Minister für Landesentwicklung, Landwirtschaft und Forsten; Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.
- HGK (1987): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. - Situation heute; Möglichkeiten und Grenzen zukünftiger Entwicklungen. - 107 S., Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Der Hessische Minister für Umwelt und Reaktorsicherheit, Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland-Pfalz; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.

- HGK (1988): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe-Speyer; Analyse des Ist-Zustandes, Aufbau eines mathematischen Grundwasser-Modells. 111 S., Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Wasserwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg.
- HGK (1999): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. - Fortschreibung 1983-1998. - 155 S., Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.
- HOFMANN, F. (1957): Untersuchungen der subalpinen mittelländischen Molasse der Ostschweiz. -Eclogae geol. Helv. **50/2:** 289-322; Basel.
- HOTTENROTT, M., KÄRCHER, T. & SCHILL, I. (1995): Zur Pliozän/Pleistozän-Grenze im nördlichen Oberrheingraben bei Eich (Bl. 6216 Gernsheim) anhand neuer Bohrergebnisse.
  Jb. Nass. Ver. Naturk., 116: 41-64; Wiesbaden.
- HÜTTNER, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens Ein Überblick mit historischer Rückschau. - Geol. Jb., **E48:** 17-42; Hannover.
- ILLIES, H. (1962): Prinzipien der Entwicklung des Rheingrabens, dargestellt am Grabenabschnitt von Karlsruhe. - Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, **31:** 58-121; Hamburg.
- ILLIES, H. (1965): Bauplan und Baugeschichte des Oberrheingrabens. Ein Beitrag zum "Upper Mantle Project". Oberrhein. geol. Abh., 14: 1-54; Karlsruhe.
- ILLIES, H. (1967): Development and Tectonic Pattern of the Rhinegraben. In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.]: The Rhinegraben Progress Report 1967. - Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6: 7-9; Freiburg i. Br.
- ILLIES, H. (1974 a): Taphrogenesis and Plate Tectonics. In: ILLIES, H. & FUCHS, K. [Hrsg.] (1974): Approaches to Taphrogenesis. Proceedings of an International Rift Symposium held in Karlsruhe April, 13-15, 1972. - Inter-Union Comm. Geodynamics Sci. Rep. 8: I-X + 433-460; Stuttgart (Schweizerbart).
- ILLIES, H. (1974 b): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und der Rheingraben. Oberrhein. geol. Abh., 23: 1-24; Karlsruhe.
- ILLIES, H. [Hrsg.] (1981): Mechanism of Graben Formation. Inter-Union Comm. Geodynamics Sci. Rep. 63. - Tectonophysics, 73: 1-266; Amsterdam.
- ILLIES, H. & FUCHS, K. [Hrsg.] (1974): Approaches to Taphrogenesis. Proceedings of an International Rift Symposium held in Karlsruhe April, 13-15, 1972. - Inter-Union Comm. Geodynamics Sci. Rep. 8: I-X + 460 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

- ILLIES, H. & MÜLLER, S. [Hrsg.] (1970): Graben Problems. Proceedings of an International Rift Symposium held in Karlsruhe October, 10-12; 1968. - Int. Upper Mantle Project Sci. Rep. 27: I-VII + 316 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- KÄRCHER, T. (1987): Beiträge zur Lithologie und Hydrogeologie der Lockergesteinsablagerungen (Pliozän, Quartär) im Raum Frankenthal, Ludwigshafen-Mannheim, Speyer. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 69: 279-320; Stuttgart.
- KEHRBERG, S. (1987): Schwermineralgesellschaften im Pliozän und Pleistozän er Rur-Scholle (Niederrheinische Bucht). - Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität zu Köln, 104 S.; Köln.
- KOCHENRATH, H. (2000): Sedimentpetrographie der Bohrungen Steinenstadt-Neuenburg und Chalampé. Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität Köln, 95 S.; Köln.
- KOENIGSWALD, W. VON (1997): Die fossilen Säugetiere aus den Sanden von Mauer. In:
  WAGNER, G. A. & BEINHAUER, K. W. [Hrsg.]: *Homo heidelbergensis* von Mauer. Das Auftreten des Menschen in Europa. 215-240; Heidelberg (Unversitätsverlag Winter).
- KOENIGSWALD, W. VON & BEUG, H. J. (1988): Schlussbertrachtungen. In: KOENIGSWALD, W.
   VON [Hrsg.]: Zur Paläoklimatologie des letztes Interglazials im Nordteil der Oberrheinebene, Paläoklimaforschung 4: 321-327; Stuttgart (Fischer).
- KNIPPING, M. (2001): Arbeitsbericht über Pollenanalytische Untersuchungen im Rahmen des ICDP/KTB-Projektes "Paläoklimatisch-sedimentologische Untersuchungen an Forschungsbohrungen im Alpenvorland. Unveröff. Bericht, 11 S.; Weissach.
- KNIPPING, M. (2002): Pollenanalytische Untersuchungen am Profil "Schifferstadt BK 30c GM". -Unveröff. Bericht, 11 S.; Weissach.
- KRAATZ, R. (1992): Der Mensch von Mauer *Homo erectus heidelbergensis*. In: BEINHAUER, K.
  W. & WAGNER, G. A. [Hrsg]: Schichten von Mauer 85 Jahre *Homo erectus heidelbergensis*, 22-35, Reiss-Museum Mannheim; Heidelberg (Edition Braus).
- LAUBSCHER, H. P., THEOBALD, N. & WITTMANN, O. (1967): Le Prolongement S du Fossé
  Rhénan. In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.]: The Rhinegraben Progress Report 1967. Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6: 59-65; Freiburg i. Br.
- LEIBER, J. (1976): Die Schichtenfolge der Tiefbohrung Lahr. Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg; **18:** 105-112; Freiburg i. Br.
- LGB RHEINLAND-PFALZ (2001): Geologische Karte 1 : 25.000 mit Erläuterungen, Blatt 6215 Gau-Odernheim, 85 S.; Mainz.

- LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (1999): Freiburg im Breisgau Geologie und Stadtgeschichte (E. VILLINGER). - Informationen 12: 60 S.; Freiburg.
- LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2000): Geologisch-hydrogeologischer Bau im badenwürttembergischen Teil des Oberrheingrabens südlich des Kaiserstuhls. - Interner Bericht Az: 0527.01/00-4763, 30 S.; Freiburg i. Br.
- LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2001): Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser. Informationen **10:** 64 S.; Freiburg i. Br.
- LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2002): Ein dreidimensionales Bild vom Untergrund der Freiburger Bucht (G. Wirsing). LGRB-Nachrichten, Nr. 5/2002: 2 S.; Freiburg i. Br.
- LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2004): Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg. Verzeichnis Geologischer Einheiten. - Aktual. Ausg. Jan. 2004, Internet-Publ.: www.lgrb.uni-freiburg.de; Freiburg i. Br.
- LINIGER, H. (1964): Beziehungen zwischen Pliozän und Jurafaltung in der Ajoie. Eclogae geol. Helv., **57:** 75-90; Basel.
- LINIGER, H. & HOFMANN, F. (1965): Das Alter der Sundgauschotter westlich Basel. Eclogae geol. Helv., **58**: 215-229; Basel.
- LÖSCHER, M. (1997): Die ehemalige Neckarschlinge von Mauer und ihre Ablagerungen. In: WAGNER, G. A. & BEINHAUER, K. W. [Hrsg.]: *Homo heidelbergensis* von Mauer. Das Auftreten des Menschen in Europa. - 93-107; Heidelberg (Universitätsverlag Winter).
- LÖSCHER, M., CORDES-HIERONYMUS, U. & SCHLOSS, S. (1983): Holozäne und jungpleistozäne Sedimente im Oberrheingraben bei Heidelberg. Geol. Jb., A 71: 61-72; Hannover.
- MANGE, M. A. & MAURER, H. F. W. (1991): Schwerminerale in Farbe 148 S.; Stuttgart (Enke).
- METZGER, K. (1992): Topogenes Niedermoor in der Randrinne des Oberrheingrabens zwischen Bruchsal und Ubstadt als Hinweis auf synsedimentäre Setzungen im Postglazial. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 74: 127-138; Stuttgart.
- MIALL, A. D. (1977): A review of the braided river depositional environment. Earth Sci. Rev., **13:** 1-62; Amsterdam.
- MIALL, A. D. (1978): Lithofacies types and vertical profile models in braided rivers: a summary. -Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., 5: 597-604; Calgary.
- MÜLLER, G. & HAHN, C. (1964): Schwermineral- und Karbonatführung der Fluss-Sande im Einzugsgebiet des Alpenrheins. - N. Jb. Miner. Mh., **12:** 371-375.

- MÜNZING, K. (1981): Pliozäne Mollusken aus der Umgebung von Rastatt und Philippsburg (Oberrheingraben, Baden-Württemberg). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **63**: 151-156; Stuttgart.
- OEYNHAUSEN, C. V., DECHEN, H. V. & LA ROCHE, H. V. (1825): Geognostische Umrisse der Rheinländer zwischen Basel und Mainz mit besonderer Rücksicht auf das Vorkommen des Steinsalzes. - 2. Bde: VIII + 323 S., u. VIII + 443 S.; Essen (Bädeker).
- PETIT, C., CAMPY, M., CHALINE, J. & BONVALOT, J. (1996): Major palaeohydrographic changes in Alpine foreland during the Pliocene-Pleistocene. - Boreas, **25**: 131-143; Oslo.
- PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Erträge der Forschung, 184: I-X, 145 S.; Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft).
- QUITZOW, H. W. (1976): Die erdgeschichtliche Entwicklung des Rheintals (Teil 1). Natur u. Museum, **106**: 339-342; Frankfurt a. M.
- QUITZOW, H. W. (1977): Die erdgeschichtliche Entwicklung des Rheintals (Teil 2). Natur u. Museum, **107:** 6-12, 33-40; Frankfurt a. M.
- RAZI RAD, M. (1976): Schwermineraluntersuchungen zur Quartär-Stratigraphie am Mittelrhein. -Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, 28: 164 S.; Köln.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG [Hrsg.] (2002): Grenzüberschreitende Erkundung des tiefen rheinnahen Grundwasserleiters zwischen Fessenheim und Breisach (Endbericht) Reconnaissance transfrontalière de l'aquifère profond dans la bande rhénane entre Fessenheim et Breisach (Rapport final). 172 S. Gemeinschaftsinitiative / Initiative communautaire Interreg II, Regierungspräsidium Freiburg, Landesanstalt für Umweltschutz, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein, Bereich Waldshut-Tiengen, Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Région Alsace, Agence de l'eau Rhin-Meuse, BRGM; Freiburg i. Br.
- ROLF, C. (2002): Paläomagnetische Untersuchungen der Bohrung Schifferstadt. Unveröff. Bericht GGA-Institut Hannover; Hannover.
- ROLF, C. (2004): Magnetostratigraphie und Gesteinsmagnetik an Bohrkernen der Bohrung Ludwigshafen/Parkinsel. - Unveröff. Bericht GGA-Institut Hannover; Hannover.
- ROLL, A. (1979): Versuch einer Volumenbilanz des Oberrheintalgrabens und seiner Schultern. -Geol. Jb., A 52: 3-82; Hannover.
- ROTHAUSEN, K. & SONNE, V. (1984): Mainzer Becken. Sammlung Geologischer Führer, Band 79: 203 S.; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).

- ROTHE, J. P. & SAUER, K. [Hrsg.] (1967): The Rhinegraben Progress Report 1967. Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **6**: 1-145; Freiburg i. Br.
- SALOMON, W. (1927): Die Erbohrung der Heidelberger Radium-Sol-Therme und ihre geologischen Verhältnisse. - Abh. Heidelberger Akad. Wiss. Math.-Nat. Kl., 14: 1-105; Heidelberg.
- SCHISTEK, A. (2001): Sedimentpetrographie der Bohrung Mannheim-Käfertal (UVB3). Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität zu Köln, 80 S.; Köln.
- SCHREINER, A. (1977): Quartär In: GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.]
  (R. GROSCHOPF, G. KESSLER, J. LEIBER, H. MAUS, W. OHMERT, A. SCHREINER und W. WIMMENAUER) (1996): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50.000, Erläuterung zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung. 3., ergänzte Aufl., 174-199; Freiburg i. Br.
- SEMMEL, A. (1983): Die plio-pleistozänen Deckschichten im Steinbruch Mainz-Weisenau. Geol. Jb. Hessen, 111: 219-233; Wiesbaden.
- SEMMEL, A. (2001): Das Quartär am Nordrand des Oberrheingrabens (Exkursion E am 19. April 2001). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 83: 113-130; Stuttgart.
- SIDKI, K. (1979): Bemerkungen zum Tertiär und Quartär im Rhein-Neckar-Gebiet. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **61:** 157-168; Stuttgart.
- SINDOWSKI, K.-H. (1937): Zur Sedimentpetrographie des Oberpliozäns und Altdiluviums der mittleren Oberrheinebene. - Zeitschr. deutsch. geol. Ges., **89:** 409-418; Berlin.
- SINDOWSKI, K. H. (1938): Über die Verwitterbarkeit der Schwermineralien. Zeitschr. deutsch. geol. Ges., **90:** 626-634, Berlin.
- SINDOWSKI, K. H. (1940): Grundsätzliches zur Schwermineralanalyse der diluvialen Rheinterrassen und Lösse des Mittel- und Niederrheingebietes. - Zeitschr. deutsch. geol. Ges., 92: 477-499, Berlin.
- SINDOWSKI, K. H. (1949): Results and Problems of heavy mineral analysis in Germany; a review of sedimentary-petrological papers, 1936-1948. J. Sedim. Petrol., **19:** 3-25; Tulsa/USA.
- SINDOWKSI, K. H. (1958): Schüttungsrichtungen und Mineralprovinzen im westdeutschen Buntsandstein. - Geol. Jb., **73:** 277-294; Hannover.
- SODERMANNS, W. (1987): Zur Stratigraphie der pliozänen und pleistozänen Schichten der Rur-Scholle (Niederrheinische Bucht). - Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität zu Köln, 140 S.; Köln.
- SONNE, V. (1958): Obermitteloligozäne Ablagerungen im Küstenraum des nordwestlichen Mainzer Beckens. - Notizbl. Hess. Landesamt Bodenforsch., 91: 281-315; Wiesbaden.
- STÄBLEIN, G. (1968): Reliefgenerationen in der Vorderpfalz. Geomorphologische Untersuchungen im Oberrheingraben zwischen Rhein und Pfälzerwald. Würzburger geogr. Arb., 23: 192
  S.; Würzburg.
- STAPF, K. R. G. (1988): Zur Tektonik des westlichen Rheingrabenrandes zwischen Nierstein am Rhein und Wissembourg (Elsass). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 70: 399-410; Stuttgart.
- STD (2002): Deutsche Stratigraphische Kommission [Hrsg.]: Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002; Potsdam.
- SUESS, E. (1885): Das Antlitz der Erde. Bd. 1: IV + 778 S.; Prag (Tempsky) u. Leipzig (Freytag).
- THÜRACH, H. (1905): Erläuterung zur Blatt Mannheim (Nr. 21), 2. Aufl. Geol. Spezialkt. (1:25.000) des Großherzgt. Baden, 24 S.; Heidelberg.
- THÜRACH, H. (1911): Erläuterungen zu den Blättern Karlsruhe und Daxlanden (Nr. 50 und 51) -Geol. Spezialkt. (1:25.000) des Großherzgt. Baden; Heidelberg.
- TRÖGER, W. E. (1969): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2: Textband,2. Aufl., 822 S.; Stuttgart (Schweitzerbart).
- TRÖGER, W. E. (1971): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1: Bestimmungstabellen, 4. Aufl., 188 S., Stuttgart (Schweitzerbart).
- VERBANDSGEMEINDE BAD BERGZABERN / VILLE DE WISSEMBOURG (2001): Grenzüberschreitende
   Verbundwasserversorgung / Projet transfrontalier d'alimentation en eau potable: Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Untersuchungen des tieferen Grundwasservorkommens im Bienwald / Etudes hydrogéologiques qualitatives et quantitatives des ressources en eaux profondes de la forêt du Bienwald. (1999 - 2001), 114 S.; Wissembourg / Bad Bergzabern.
- VILLINGER, E. (1986): Untersuchungen zur Flussgeschichte von Aare-Donau/Alpenrhein und zur Entwicklung des Malm-Karstes in Südwestdeutschland. - Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 28: 297-365; Freiburg i. Br.
- VILLINGER, E. (1998): Zur Flussgeschichte von Rhein und Donau in Südwestdeutschland. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 80: 361-398; Stuttgart.
- VINKEN, R. (1959): Sedimentpetrographische Untersuchungen der Rheinterrassen im östlichen Teil der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 4: 127-170; Krefeld.
- WAGNER, S. (1987): Vergleichende Lithostratigraphie anhand von Bohrungen auf der Rur- und Erft-Scholle (Niederrheinische Bucht). - Unveröff. Diplomarbeit, Geologisches Institut, Universität zu Köln, 100 S.; Köln.

- WAGNER, W. (1973): Die unterpliozänen Dinotheriensande und ihre Fauna im Gebiet des Blattes 6114 Wörrstadt (Mainzer Becken). - Mainzer geowiss. Mitt., 2: 149-160; Mainz.
- WALTER, R. (1992): Geologie von Mitteleuropa. 5. Aufl., 561 S.; Stuttgart (Schweitzerbart).
- WERNER, W., GIEB, J. & LEIBER, J (1995): Zum Aufbau pleistozäner Kies- und Sandablagerungen des Oberrheingrabens. Ergebnisse rohstoffgeologischer Untersuchungen im Raum Lichtenau-Karlsruhe-Waghäusel. - Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 35 (1993): 361-394; Freiburg i. Br.
- WERNER, W., LEIBER, J. & BOCK, H. (1997): Die grobklastische pleistozäne Sedimentserie im südlichen Oberrheingraben: geologischer und lithologischer Aufbau, Lagerstättenpotential.
  Zbl. Geol. Paläont. Teil 1 1996, H. 9/10: 1059-1084; Stuttgart.
- WERVEKE, L. VAN (1892): Über das Pliozän des Unter-Elsaß. Mitt. geol. Landesanst. Elsaß-Lothr., III: 139-157; Straßburg.
- WEYL, R. (1939): Sedimentpetrographische Studien zur Paläogeographie des Oligocäns im nordwestlichen Rheintalgraben. - Neues Jb. Min. Geol. Paläont., Beil Bd. 80, Abt. B: 31-62; Stuttgart.
- WEYL, R. (1952): Schwermineraluntersuchungen an eiszeitlichen Ablagerungen der Riß-Lechplatte. - Geologica Bavarica, 14: 107-123; München.
- WIMMENAUER, W. (1952): Petrographische Untersuchungen an einigen basischen Eruptivgesteinen des Oberrheingebietes. - Neues Jb. Min. Abh., 83: 375-432; Stuttgart.
- WIMMENAUER, W. (1963): Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Teil VI: Die Karbonatite, Teil VII: Zur Petrogenese des Kaiserstuhls. - Neues Jb. Min. Abh., 99: 231-276; Stuttgart.
- WINTER, T., NIVIÈRE, B. & GIAMBONI, M. (2000): Active tectonics and Seismic Hazard in Sundgau Area. - EUCOR-URGENT Annual Report 2000, 1.5; Internet-Publ.: http://comp1.geol.unibas.ch/~pip/eucor\_site/report2000/report\_1\_5.htm; Basel.
- ZIMMERLE, W. (1969): Transparente Schwerminerale aus granitischen Gesteinen und aus Flüssen des Blauen-Massivs (Südwest-Schwarzwald). - Zeitschr. deutsch. geol. Ges., 121: 67-73; Berlin.
- ZÖLLER, L. (1997): Die Schichtenfolge der Fundstelle "Grafenrain" in Mauer. In: WAGNER,
  G. A. & BEINHAUER, K. W. [Hrsg.]: *Homo heidelbergensis* von Mauer. Das Auftreten des Menschen in Europa. 108-123; Heidelberg.
- ZONNEVELD, J. I. S. (1947): Het Kwartair van het Peel-Gebied en de naaste Omgeving (Een Sediment-petrologische Studie). - Mededeelingen van de geologische Stichting, Serie C - VI -No. 3: 223 S.; Maastricht.

#### ERKLÄRUNG

"Ich versichere, daß ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe; daß diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; daß sie - abgesehen von unten angegebenen Teilpublikationen - noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, daß ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluß des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen dieser Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Professor Dr. Wolfgang Boenigk betreut worden."

#### Tagungsbeiträge:

- HAGEDORN, E.-M. (2000): Heavy Minerals in the Late Tertiary and Quaternary Sediments of the Upper Rhine Graben. - Poster/Abstract - First annual meeting of EUCOR URGENT, Freiburg July 2000; Freiburg.
- HAGEDORN, E.-M. & BOENIGK, W. (2000): Schwermineral-Untersuchungen an jungtertiären und quartären Sedimenten aus dem Oberrheingebiet. Poster/Abstract Deuqua 2000; Bern.
- HAGEDORN, E.-M. (2003): Heavy Mineral Pattern in the Upper Tertiary and Quaternary Sediments of the Southern an Northern Upper Rhine Graben. - Poster/Abstract - Gemeinsames Schwerpunktkolloquium IODP – ICDP Mainz, 26-28.3.2003; Mainz.
- HAGEDORN, E.-M. (2003): Heavy Mineral Pattern in the Upper Tertiary and Quaternary Sediments of the Southern an Northern Upper Rhine Graben. Poster/Abstract EUCOR-URGENT International Symposium on: Assessing Natural Hazards in a Densely Populated Area. 29, 30 September and 1 October 2003, Basel, Switzerland.
- ELLWANGER, D., BIBUS, E., BLUDAU, W., FIEBIG, M., KNIPPING, M., HAGEDORN, E., MÜLLER-DICK, B.
  SZENKLER, C. & STORCH, H. (2000): Paläoklimatisch-sedimentologische Untersuchungen an Lockergesteins-Forschungsbohrungen des Alpenvorlandes (Rheingletschergebiet / Oberrheingraben)
  Vorläufige Ergebnisse und Folgerungen. ICDP/KTB-Kolloquium, Wissenschaftliches Programm und Abstracts; Ruhr-Universität Bochum, 15./16. Juni 2000; Bochum.
- ELLWANGER, D., BIBUS, E., BLUDAU, W., HAGEDORN, E. & STORCH, H. (2001): Ansätze zu einer Sequenzbzw. Klima-Eventstratigraphie der Lockergesteine des südwestdeutschen Alpenvorlandes (Oberschwaben und Oberrhein). - ICDP/KTB-Kolloquium, Wissenschaftliches Programm und Abstracts; Ruhr-Universität Bochum, 7./8. Juni 2001; Bochum.
- ELLWANGER, D., HINDERER, M., LÄMMERMANN-BARTHEL, J., NEEB, I., BIBUS, E., HAGEDORN, E. & VILLINGER, E. (2002): Sedimentbilanzierungen in quartären und pliozänen Lockergesteinen (Rheingletscher, Mittellandgletscher, Oberrheingraben). - ICDP/ODP Kolloquium, 6.-8. Juni 2002, Potsdam.

### LEBENSLAUF

Name	Eva-Marie Hagedorn
Geburtsdatum	24.11.1967
Geburtsort	Köln
Familienstand	verheiratet seit dem 26.07.2000 mit Michael Otto
Schulausbildung	
1973 - 1977	Gemeinschafts-Grundschule Bergisch-Neukirchen
1977 - 1986	Gymnasium Marienschule Opladen, Abitur
Berufsausbildung	
09/1986 - 02/1989	Mathematisch-technische Assistentin (IHK)
Firma	Informatik der Bayer AG Leverkusen
Berufstätigkeit	
03/1989 - 09/1990	Mathematisch-technische Assistentin
Firma	Informatik der Bayer AG Leverkusen, Bereich Verkehrswesen und Pflanzenschutz
Hochschulausbildung	
1990 - 1997	Studium der Geologie / Paläontologie an der Universität zu Köln
02/1993	Diplomvorprüfung im Fach Geologie / Paläontologie an der Universität zu Köln
1994	Diplomkartierung: Geologische Karte mit Erläuterungen, Blatt Lüdenhausen- Krubberg, Ostwestfalen-Lippe, 1:5000
1996	Diplomarbeit: Holozäne Sedimente im Elsbachtal (Tagebau Garzweiler) und ihre Schwermetallgehalte
02/1997	Diplom in Geologie / Paläontologie an der Universität zu Köln
1999 - 2004	Promotionsstudium an der Universität zu Köln Thema: "Sedimentpetrographie und Lithofazies jungtertiärer und quartärer Sedimente im Oberrheingebiet"
Berufstätigkeit	
03/1993 - 02/1997	Studentische Hilfskraft bei der Gothaer Gesellschaft für Umwelttechnik
05/1997 - 09/1998	Freie Mitarbeit als Geologin bei der Gothaer Gesellschaft für Umwelttechnik
06/1997 - 01/1999	Wissenschaftliche Hilfskraft an der Universität zu Köln
02/1999 - 01/2001 10/2001 - 01/2002	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
04/2002 - 10/2002	Wissenschaftliche Hilfskraft

### Anhang

### Anhang

- A Übersicht der beprobten Bohrungen und Aufschlüsse
- B Zähltabellen der Schwermineralanalysen
- C Röntgendiagramm der Probe 49,5 m aus der Bohrung Hartheim
- D Verzeichnis der Abbildungen im Text
- E Verzeichnis der Tabellen im Text
- F Verwendete Abkürzungen

### Übersicht der beprobten Bohrungen und Aufschlüsse Anhang A

Bohrung / Aufschluss	R-Wert	H-Wert	GOK (m NN)	Lambert x	Lambert y	Teufe (m)	Probenart	Proben
Proben aus dem Sundgau							Aufschlüsse	4
Proben aus den Zuflüssen							Aufschlüsse	12
Bohrung Elzbrücke EM Wasser B2a	3414619	5330686	203,5			40	Kern	2
Aufschluss Holtzheim (Breusch-Sande)	3401290	5380108	ca. 150	993000	2408000		Aufschluss	3
Sandgrube Mauer	3485600	5467900	ca. 160				Aufschluss	5
Bohrung B31 Dreisam-Tal	3415535	5317094	290			41,5	Kern	9
Bohrung Freiburg Hauptbahnhof B1	3413610	5318340	ca. 260			15,3	Kern	2
Bohrung Freiburg DB Unterwerkstr. B2	3412650	5316700	ca. 260			15,2	Kern	2
Bohrung Freiburg DB Unterwerkstr. B3	3412650	5316710	ca. 260			20	Kern	4
Bohrung Freiburg Lorettobad	3411210	5316720	275			14	Kern	3
Bohrung Teningen	3411037	5330006	194			100	Kern	14
Bohrung Emmendingen EM B7T	3411466	5330097	195			88	Kern	14
Bohrung Neuenburg-Steinenstadt S170	3390554	5296080	220			25	Kern	11
Bohrung Neuenburg-Steinenstadt SSO240	3390723	5296065	219			26	Kern	10
Bohrung Neuenburg-Steinenstadt SSO240T	3390722	5296063	219			41,3	Kern	10
Bohrung Chalampé	3390494	5298555	216	989180	2325820	70	Kiesgreifer	15
Bohrung Marie-Louise / Kalibecken	3370735	5301951	245	969206	2327524	30	Kiesgreifer	7
Bohrung Rumersheim-le-Haut	3391574	5302508	209	989920	2329850	68	Kiesareifer	23
Bohrung Hirtzfelden	3383398	5308676	213	981250	2335300	79	Spülbohrung	15
Bohrung Heitersheim / Weinstetter Mühle	3395385	5308373	211			132	Kern	5
Bohrung Bremgarten	3394151	5310591	203			170	Kern	65
Interreg II-Bohrung Hartheim	3395374	5312578	200			259	Schlauchkern	81
Bohrung BK4/26 Elsässer Molasse	3392300	5287580	ca 360			95	Kern	3
Interreg II-Bohrung Nambsheim	3393662	5312543	200.6	991300	2340026	221.2	Schlauchkern	74
Bobrung Nambsheim-Balgau	3392835	5310579	200,0	990491	2337998	111	Kiesgreifer	50
Bohrung Niederbergheim	3383200	5317350	204	978980	2343815	144	Kiesgreifer	28
Bohrung Hettenschlag	3384308	5310300	105	081310	2345019	144	Kiesgreifer	20
Bohrung Diegol	3405833	5339117	193	901319	2343910	79	Korp	25
Bohrung Lahr B12	3/13288	5355486	170			24	Korn	20
Bohrung Lahr B12	2412404	5355460	150,9			24	Kern	2
Dolifung Lahr D14	3413404	5355000	150,0			20,0	Kern	3
Bohrung Lahi B14	3413404	5355040	156,9	000077	0000050	23,0	Kem	2
Bohrung Piopsneim	3406296	5368501	148	998977	2396859	165	Klesgreifer	30
Bonrung Offenburg BK34-1 La Horie	3422984	5372142	163,3			52	Kern	11
Bohrung Rheinmunster	3429700	5405850	ca. 120			60	Kern	9
	3437950	5408850	128			84	Schlauchkern	83
Bonrungen Rheinstetten KABA SP1 und BK1	3450318	5425794	115 / 109,6			13/55	Kern	12
Bohrung Eggenstein BK1a	3453840	5438374	101,4			32,5	Kern	6
Bohrung Eggenstein BK2a	3453344	5438/11	102,4			32	Kern	8
Bohrung Karlsruhe B1	3458500	5441500	110			35	Schlauchkern	16
Bohrung Karlsruhe B2	3458583	5441431	110			80	Schlauchkern	43
Bohrung Kronau BK2	3472495	5454219	107,1			98	Schlauchkern	31
Bienwald Bohrung B Mundatwald	3429102	5430535	141			114	Spülbohrung	4
Bienwald Bohrung C Hippodrome	3425705	5431568	153			83	Spülbohrung	3
Bienwald Bohrung G Deutschhof	3428888	5439098	164			75	Spülbohrung	2
Bienwaldbrunnen / Kapsweyer	3428075	5432750	149			74	Brunnenbohrung	
Sandgrube Riedseltz	3424190	5429910	180	1011750	2460000		Aufschluss	4
Bohrung Schwetzingen F8/3	3468971	5469593	102			152	Brunnenbohrung	22
Bohrung Schwetzingen F10	3469634	5469432	101			150	Brunnenbohrung	28
Bohrung Speyer-Nord TB3	3456312	5467569	103,7			149,8	Schlauchkern	19
Bohrung Schifferstadt BK30c GM	3453707	5474326	97,3			200	Schlauchkern	90
Bohrung Ludwigshafen-Maudach A64/1	3455063	5480396	91,03			55	Schlauchkern	14
Bohrung Ludwigshafen-Maudach A65/1	3455326	5480806	92,02			52	Schlauchkern	17
Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel P34	3460666	5481069	92			300	Schlauchkern	46
Bohrung Mannheim-Lindenhof A55Z	3461336	5481931	95,5			45	Schlauchkern	11
Bohrung Mannheim Ergo BK1 Hauptbahnhof	3461515	5482525	95,3			60	Schlauchkern	58
Bohrung Mannheim Ergo BKEX1	3461550	5482500	89			52	Schlauchkern	24
Bohrung Mannheim Ergo BKEX2	3461550	5482550	95			55,4	Schlauchkern	53
Bohrung Mannheim Friesenheimer Insel	3460510	5487350	91			110	Brunnenbohrung	16
Bohrung Mannheim Käfertal UVB1	3466600	5486900	100,46			45	Kern	57
Bohrung Mannheim Käfertal UVB3	3467200	5486700	100			43.5	Kern	49
Bohrung Wasserwerk Osthofen	3452580	5507590	90.5			120	Brunnenbohrung	15
Aufschluss Steigerberg bei Eckelsheim	3427200	5517150	200			120	Aufschluss	2
Forschungsgrabung Eppelsheim	3439550	5508575	ca 235				Aufschluss	6
Sandgrube Monsheim / Kriegsheim	3443587	5500837	ca 160				Aufschluss	7
Aufschluss Palmberg bei Großkarlbach	3445450	5489750	ca 125				Aufschluss	5
Aufschluss Mainz-Weisenau	3450450	5537500	00. 120				Aufschluss	3
	2.20.00	2221000		1				

Gesamtanzahl untersuchter Proben: 1340

### Anhang B

#### Proben aus dem Sundgau

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Xenotim	Monazit	Brookit	Spinell	Chloritoid	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Riespach	23755	3	79	5	1		4	4	1	2		1	25	Di	100	3			1			1					1		15		3
Feldbach	23756	22	62	3	5		1	4	1	2		0	20	Si	100	1										4		1	54		37
Heimersdorf / Sandlinse	23752	13	57	6	11		2	3	7			1	17	Ru	100	1			1						1	9		2	27		4
Heimersdorf / Schotter	23753	22	34	8	26		2	5	1	1		1	22	Si, And, Ti	100	2									1	14	12		56	1	

#### Proben aus den Zuflüssen

					e		Je																								
	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblend	Pyroxen	Metamorph	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Xenotim	Monazit	Brookit	spinell Barvt		gr. Hbl	br. Hbl	ol. Hbl	f. Hbl	Quarz	Glimmer
Wiese bei Steinen	24542	10	3	1	75	1	2	6			2		12		100		1		1							72		2	1		
Wiese bei Steinen	24543	5	1	3	83		1		3		3	1	7	Si, Bi	100		1			1						78	2	3			
Kander bei Rümmingen	24539	10	11	2	7		3	3	51	3	9	1	18		100	1	1	1		1						7					
Kander bei Rümmingen	24540	7	19	2	10		1	5	45	2	7	2	21	Px	100	1				1				1		9	1				
Kander bei Eimeldingen	24541	3	10		16		4	10	48	1	8		16		100	2	1		1							14	2				
Elz bei Denzlingen	24537	28		3	55		5	1	1	1	5	1	25		100			1	4					1		36		14	5		
Elz bei Denzlingen	24538	16	7	8	46		1	1	1		11	9	31		100				1		1				8	27		16	3		
Elztal B2a/20-5	22894	45	4		30		0	10	9		2		49	An, Mo	100											21	8		1		
Elztal B2a/21-5	22895	40	2		29		0	8	16		2	3	57	An, Di	100							3				17	9	3			
Kinzig bei Berghaupten	24527	13	2		35		2	6	5	2	3	32	11		100	1	1			1		1		3	0	18		11	6		
Kinzig bei Berghaupten	24528	22	2		28		1	6	3	1	1	36	18	Ko, Ti	100	1								3	6	16	3	8	1		
Rench E Erlach	24525	19	5	1	11	1	1	3	15		5	39	25	viel Bi	100				1			8		3	1	3	2	1	5		
Rench E Erlach	24526	28	2	1	14		0	3	6		11	35	16		100									3	5	4	4	6			
Murg bei Gaggenau	24524	14	7		7		2	19	10		24	17	28	Si, Ko	100			2						1	7	7					
Breusch bei Holtzheim	23749	0	17	15	43		4	11			10		25		100	1			3							43					
Breusch bei Holtzheim	23750	0	16	20	36	4	3	12	3		6		18		100				3							36					
Breusch bei Holtzheim	23751	1	17	28	22		0	28	4				37		100											22					

#### Proben aus den Mauerer Sanden (Sandgrube am Grafenrain)

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	l itanit Yanofim	Monazit	Brookit	Spinell	Baryt	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Grobblocklage	23430	20			2	2	1	40	30	4	1	0	29		100	1									2			19	5	
OMS grob	23432	14	2		9	1	1	33	28	5	6	1	37	Br, Sp, Mo	100	1					1				9			27	10	
OMS oben	23435	7			7	1	0	25	45	7	5	3	43	Xe	100						3	3			7			29	9	
OMS unten	23434	14			5		2	42	24	7	3	3	44		100	1	1				2 1				5			20	8	
UMS	23433	10			5	2	0	54	21	4	3	1	33	Xe, Mo	100							1			4	1		19	5	

#### Т Т

Bohr	ung	Dre	eis	am	-Ta	al	T	1	ſ		ſ				T						1			1	1						
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Monazit	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Xenotim	Brookit	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23758 23759	1,3 2,5	46 30	2		31 34		0	3	10 23	2	2	4	0	32	Br	100 100					1	1		13		27 28	4	1	19 11	1	
23760	5,5	35	2		40		0	2	11	3	2	5	0	25	<b>D</b>	100										35	4	1	15		
23761 23762	9,8 15,5	46 48	2		37		0	2	9	2	3	2	1	38	Ru, Xe viel Bi !	100 100				1	1	1		61	1	33	3	1	25 22	3	
23763	20,5	38			46		1	2	4	2	2	4	1	27	viel Bi !	100		1				1		31		41	3	2	18	4	
23764	32,4	12	1	1	30		0	1	30	1	1	4	1	35	Ru	100					2	1 5		14		30	3		6 9	5	1
23766	39,5	31	1	0	22		1	0	27	2	3	6	7	44	Tu, Dis	100				1	3	4		3	0	14	8		30	23	4
Bohr	ung	Fre	eibu	urg	j Ha	aup	otb	ahı	nho	of E	31																				
					le		he								ō																
<b>eqord</b> 23897	<b>Jente</b> 7,5	5 Granat	4 Epidot	→ Alterit	88 Hornblend	Pyroxen	O Metamorp	2 Turmalin	2 Zirkon	Rutil	Anatas	<sub>ω</sub> Monazit	2 Seltene	<b>Opak</b>	Ru, Di, Si, Bi	emme S	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	1 Titanit	Venotim	Brookit	Biotit	Chlorit	Br. Hpl 37	pr. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23898	14,5	27			51		0	4	13		1	3	1	14	Ru	100							1			47	3	1	28		
Bohr	ung	DB	Fr	eik	our	gι	Jnt	erv	ver	kst	r. E	32																			
	Ū				le	Ī	he								p																
e	e	nat	lot	rit	plenc	nexe	amorp	nalin	E.	_	tas	azit	ene	×	erkun	me	Irolith	hen	alusit	nanit	nit	otim	okit	Ħ	ŗ	Iq.	q	-	regat	2	mer
Prot	Teut	Grai	Epic	Alte	Hori	Pyro	Meta	Tur	Zirk	Ruti	Ana	Mon	Selt	Ора	Ber	Sur	Stau	Dist	And	Silli	Tita	Xen	Bro	Biot	chi	gr. F	br.	f. Ht	Agg	Qua	Glir
23903	5,5	65	1		22	1	1	5	2	2	1	1	0		Ru Di	100			1							21	1		37	3	-
23904	15,5	0			30		0		5				0			100										00		I	23	5	
Bohr	ung	DB	Fr	eit	our	gι	Jnt	erv	/er	kst	r. E	33			1										1		_		_		
robe	eufe	iranat	pidot	lterit	ornblende	yroxen	letamorphe	urmalin	irkon	util	natas	lonazit	eltene	pak	emerkung	umme	taurolith	isthen	ndalusit	illimanit	itanit	enotim	rookit	iotit	hlorit	r. Hbl	r. Hbl	Ι٩Η	ggregat	uarz	limmer
23899	⊢ 7,5	44	ш 1	<b>∢</b> 1	<b>エ</b> 33	•	2	⊢ 1	<b>N</b> 11	<b>1</b>	<b>∢</b> 3	≥ 5	<b>s</b> 0	11	Xe	00 100	S		Ā	s	F	×	•		0	<b>6</b> 32	<u>م</u> 1	÷	<b>∢</b> 35	1	0
23900	11,5	21	6	2	49		0	1	11	2	7	3	0	8	Ant	100										45	1	3	45	1	1
23902	18,5	15			68		0	1	11	2		4	1	12		100						1				65	3	2	31	1	
Bohr	ung	Fre	eibu	urg	j Lo	ore	tto	bad	b																						
robe	eufe	iranat	pidot	lterit	lornblende	yroxen	letamorphe	urmalin	irkon	tutil	natas	lonazit	eltene	)pak	emerkung	umme	taurolith	isthen	ndalusit	illimanit	itanit	enotim	trookit	liotit	hlorit	r. Hbl	r. Hbl	HbI	ggregat	luarz	limmer
23905	3,5	24	ш 4	<b>م</b> 1	33	•	2	8	<b>N</b> 17	1	<b>4</b> 3	<b>2</b> 5	4	14	ш	<b>0</b> 100	0		٩	00	⊢ 1	× 3	ш	ш	0	32	1	-	35	0	
23906 23907	8,5 12,5	38 4	1	1	31		2	1	7		8	12	0	16	Ru Bu Br	100		1		1	1	1				25	5	1	2		2
	12,0	_			Ū		Ū	-	00		Ŭ	-				100											L				
Bohr	ung	Te	nin	ge	n		۵																								
<b>Brobe</b>	Teufe	<b>Granat</b>	Epidot	Alterit	Aprinblende	Pyroxen	Metamorphe	ہ Turmalin	ہ Zirkon	L Rutil	」 Anatas	Monazit	Seltene	0 Opak	Bemerkung	emme 100	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Xenotim	Brookit	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	8 Aggregat	Quarz	Glimmer
23768	5,5	52	5	3	15		1	6	6	4	1	6	1	54	Di	100				1		1		8		12	2	1	54		
23769 23770	6,5 8,5	13 21	2	0	67 53		1	0	2	11	3	0	1	22	g. Hbl	100 100			1			1	1	38	-	56 51	7	4	13 26	2	
23771	10,5	11	0	2	73		0	4	9	0	0	0	1	41	Ru, b. Hbl	100						1				16	56	1	24	1	
23772 23773	13,5 16.5	2 18	8 3	1	72 41	<u> </u>	0	0	10 12	3	0	3 6	1	20 49	Di, Ant, Tu Di	100 100	1		1	1	1	1	-	1	-	67 30	5 8	1	41 46	3	
23774	25,5	29	3	1	37		3	13	7	3	1	3	0	44	Si	100	1	2								23	14		43	3	[
23775 23776	30,5 46.5	29 9	3 10	0	16 14	-	7	4	20 30	9 8	1 5	9 7	2	73 55	Chit	100 100		3	1	3 4		1	1	1	-	12 12	1	3	84 56	8 4	1
23777	50,0	8	6	1	0		3	2	43	3	10	12	12	48		100		1	1	1	1	9	2			_	E.		29		
23778 23779	55,5 60,5	63 6	1	0	5	-	0	10 18	15 50	1	0 8	3	2	47	Ant, Si	100 100						2	-		-	2	1	2	19 30	1	
23780	64,2	50	0	0	16		1	6	18	3	2	1	3	40		100		1				3				12	2	2	40	1	

### Anhang B

### Zähltabellen der Schwermineralanalysen

### Bohrung Emmendingen

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Monazit	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Xenotim	Brookit	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23506	2,5	41	2	0	39		1	2	11	1	0	3	0	17	Br, Xe, Px, Ti, Ant	100	1									25	8	6	34		
23508	12,4	24	28	5	34		0	1	6	1	0	1	0	28	Si, Ant, Di	100										24	8	2	45	1	1
23509	15,2	26	7	0	23		0	6	25	2	3	7	1	53	Ti, Di, Ko, St	100						1		1		13	7	3	61	1	
23510	19,3	9	10	0	55		2	5	13	1	3	2	0	43	Si, Xe	100		2						5		50	З	2	77		
23511	22,5	34	5	1	47		1	0	8	1	0	3	0	16	Ant, Br	100			1							44	3		18	1	
23512	25,5	11	3	1	52		1	4	21	0	0	5	2	31	Ant, An, Br	100				1		2				39	11	2	40	1	
23513	33,0	0	3	0	84		1	0	10	0	2	0	0	13	Gr, Mo, Xe, An	100				1						83		1	27		
23514	34,5	26	8	2	19		0	3	31	1	6	1	3	35	An	100						1	2			11	4	4	37		
23515	37,2	12	9	2	32		2	4	31	0	6	1	1	40		100		1	1				1			16	12	4	39		
23516	41,5	27	4	0	20		1	6	32	1	4	2	3	41	Br, Di, Si, Ko?	100			1			3				15	1	4	39	3	
23517	43,3	41	5	0	11		2	15	17	2	3	2	2	51	An	100		1		1		2				6	4	1	38	2	
23518	48,3	19	15	2	13		1	4	29	2	5	6	4	48	St, An	100				1	1	3		4		6	1	6	30		
23519	54,2	21	2	1	20		5	3	41	1	2	2	2	40		100			4	1		1	1			19		1	31		
23520	57,9	22	1	1	21		0	1	36	7	6	3	2	48		100						1	1			18	3		49	2	4

#### Neuenburg-Steinenstadt Bohrung S170

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Giaukopnan Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23808	2,3	48	23	7	7		4	2	7	2		0	11	Si	100	4										5	2			1	
23809	3,5	39	19	9	23		2	2	4	2		0	10	An, Si	100	1	1									19	4				
23810	4,5	28	32	4	25		5	4	2			0	15	GI	100	2		1	2							15	5	5			
23811	6,5	21	24	20	23		4	2	2	3		1	7		100	4					1				1	17	6			2	
23812	7,8	32	29		29	1	2	1	4	2		0	7	Di, An, Si, Gl	100	2										19	9	2			
23813	9,5	32	19	13	25		5	1	2	3		0	4		100	3			2							23	1	1			
23814	10,7	19	24		47		2	1	5	1		1	20		100	1	1			1						28	12	7			
23815	12,6	35	15	5	29		7	3	4	1		1	14	Chlt, Gl	100	6		1		1						26	3				
23816	15,6	24	28	4	27		4	3	8	2		0	17		100	1			3							20	2	5			
23817	19,6	23	30	14	19		6	0	4	3		1	13	An	100	5	1	T				1	T			15	2	2			
23818	22.7	25	33	3	31		3	1	3	1		0	20	An Si Chlt	100	3										24	5	1			

#### Neuenburg-Steinenstadt Bohrung S240

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23895	1,5	20	32	7	26		2	2	7	1		3	8	Chlt	100	2				2	1						15	8	3	1		
23820	3,3	5	22	12	42		3	2	4	2		8	11	GI	100	1		1	1						8	5	33	3	6	5	3	
23822	5,5	19	36	8	34		1	1		1		0	3	Zi	100	1											32	1	1			
23824	8,5	15	34	15	28		1		5	2		0	8	Tu	100				1								15	6	7	1	1	
23825	9,5	26	22	15	33		3			1		0	10	Chlt, An, Di, Si, Zi, Br	100	3											30	2	1			
23827	12,5	22	23	8	39		2		2			4	2		100	1			1	2	1	1					37	2				
23829	15,5	23	31	8	30		3	1	1			3	5		100	2	1				1	1	1				22	6	3			
23831	18,5	18	26	11	33		6	2	1	2		1	10	GI	100	4	2			1							26	2	5		1	
23833	21,4	23	25	13	25		5	1	3	3		2	8		100	5				1				1			20	4	1		2	
23835	24,5	12	28	13	40		0		4	3		0	4	St	100												29	7	4			

#### Neuenburg-Steinenstadt Bohrung S240T

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit Glaukophan	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23819	1,5	33	32	11	17		1	2	2	2		0	5	Di, Si, Chlt	100	1										11	6				3
23821	4,4	35	32	4	23		1	2	2	1		0	8	An	100				1							16	6	1			
23823	6,5	28	25	13	23		6	1	3	1		0	12		100	3	2		1					1		15	7	1			
23826	11,5	26	25	1	40		1		4	2		1	6		100		1			1						26	10	5			
23828	14,5	37	16	12	23		5		2	4		1	7	Tur, Di, Gl	100	4			1		1					17	4	2			
23830	17,5	27	27	15	16		8	1	3	2		1	11	GI	100	4	3		1	1					1	12	3	1			
23832	20,5	36	22	6	23		5	1	4	2		1	12		100	3	1	1					1			15	7	1			1
23834	23,5	19	30	6	38		4		1	1		1	8	Tu, Di	100	4						1				30	5	3			
23836	26,5	40	24	8	18		5	1	2	2		0	4		100	2	2	1								11	7				3
23837	29,4	17	24	17	37		1	1	1	2		0	8		100	1										29	5	3			
23838	32,5	9	40	5	34		0	2	8	2		0	19	St	100											17	12	5			2
23839	33,5	3	11	4	82		0					0	0	Tu	100											79	0	3			
23840	35,6	11	29	12	36		2	3	4	1		2	10		100		2			1			1			24	3	9			
23841	39,5	13	19	6	53		4		3	2		0	4	GI	100	2	1		1							50	3			2	2
23842	40.5	16	21	4	46		1	2	5	4		1	9		100			1					1			31	10	4		15	6

#### Bohrung Chalampé

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24046	9,5	10	21	22	39		8					0	17	Di, Zi	100	5			3							1	32	6	1			
24047	14,4	15	20	8	39		5	2	9	1		1	20		100	3		1	1					1			25	9	5		2	6
24048	19,5	14	30	7	33		3	2	9	2		0	6	An, Di, Si, St, Px, Gl	100	3										3	27	6			3	3
24050	29,5	29	32		22		6		7	3		1	20	Chld	100	1	1	2	2					1			16	5	1			1
24051	34,5	23	36	11	24		2		3	1		0	8	Ant	100		1		1								15	7	2		1	3
24052	36,5	18	33		29		6	4	6	4		0	17	GI, Di	100	2			4								26	2	1		1	2
24053	40,5	19	25	14	32		5	2	2	1		0	5		100	2	1		2								25	5	2			1
24054	43,3	22	46		19		4	3	4	2		0	15		100	2	1	1									11	7	1			
24055	44,9	23	32	10	23		2	1	6	3		0	5		100	1	1										18	3	2			
24056	48,5	26	27		37	1	2	1	3	2		1	1	St, Si	100		1	1						1			28	5	4			
24057	49,5	29	13	18	36		1	1	1	1		0	14	Chlt, Di	100	1											30	6				
24058	55,5	11	33		41	2	0		8	5		0	27	St, Si, Tu	100												28	11	2			
24059	57,5	27	25	3	29		3	2	9	2		0	5		100	1	1		1								21	8				
24060	59,5	12	36	1	39		3		6	2		1	19		100		1	1	1					1	5	5	24	11	4		2	2
24061	65,5	17	38	10	17		2	3	8	5		0	7	Chlt	100	1	1										12	4	1			
24062	68,5	23	29	16	11		2	1	13	5		0	19	Tu, Chlt	100	1	1						Т	Τ	Τ	Т	7	3	1		1	

### Anhang B

### Anhang B

	g			_																											
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Spinell	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23869	4,0	5	23	12	39	5	4	2	4		6	0	22	Ti, Sp	100				4							39			1	1	
23877	7,0	6	21	4	42	4	0	2	12		7	2	30		100					1			1			12	16	14			1
23878	9,0	6	21	7	43	4	1		9		7	2	37	Br	100				1				2			14	22	7	3		
23870	13,0	13	31	9	41	1	0	1	3		1	0	41	Br	100											23	7	11		1	1
23872	16,0	10	29	14	35	1	1	2	2		4	2			100				1				2			22	9	4	1		
23873	24,5	8	37	20	31		1	1	2			0	55	Px	100				1							13	12	6	4	2	
23874	26,5	4	45	23	26		0		2			0	73	Tu	100											11	13	2	3	6	

#### Bohrung Marie-Louise / Kalibecken

#### **Bohrung Rumersheim-le-Haut**

robe	eufe	iranat	pidot	lterit	ornblende	yroxen	letamorphe	urmalin	irkon	util	natas	eltene	pak	emerkung	umme	taurolith	isthen	ndalusit	illimanit	itanit	lonazit	enoum rookit	hloritoid	iotit	hlorit	r. Hbl	r. Hbl	НЫ	ggregat	uarz	limmer
₽.	<b>F</b>	0	ш	A	Т	٩.	2	H-	N	œ	◄	S	0	•	S	S		◄	S	F	2 >	< 0	0	m	0	g	q	÷.	Ā	0	C
22967	3,5	24	19	19	30		3	3	1	1		0	40		100	2	1									23	3	4		<b>—</b>	1
22968	6,5	20	21	18	31		3	2	4	1		0	34	Di	100	3										26	4	1		3	3
22969	9,5	27	22	17	23		5	3	2	1		0	31		100	2	2		1						2	22		2			4
22970	12,5	35	25	12	20		3	1	1	2		1	30	GI, Di	100	3						1				18		2		4	4
22971	15,5	37	17	17	21		4	1	2	1		0	36		100	3	1									12	8	1			
22972	18,5	33	17	15	29		3	2	1			0	39		100	1	1	1							2	22	6	1		1	7
22974	24,5	39	21	8	22		2	2	4	2		0	32		100	2										17	4	1		1	2
22975	26,5	34	21	18	20		4	2	1			0	60	viel Bi	100	2	2								3	13	З	4		5	6
22976	28,5	41	21	8	18		2	2	7			1	43	Ru, Si	100	2							1			16	1	1			4
22977	30,5	29	18	19	25		0	3	3	2		1	34	St, An, Di, Biotit	100							1			2	18	5	2		3	5
22978	31,5	31	23	19	21		2	1	2	1		0	39	Di	100	2										12	8	1		3	3
22979	33,5	24	24	19	27		1	1	4			0	30	Chlt, Di, Ru, St	100	1										22	3	1		1	3
22980	36,5	30	20	18	25		1	1	3	1		1	40		100		1					1				15	6	4		2	4
22981	39,5	27	26	17	23		1	1	4			1	34	Ru, Di, Chlt, Gl	100	1						1				13	10			2	5
22982	42,5	31	24	19	21		1	2	1			1	43	Ru, Chlt	100	1							1			17	3			2	5
22983	45,5	31	19	17	24		2	3	3			1	38	Ru, An	100	1	1					1		1	1	19	1	4		1	5
22984	48,5	18	36	18	22		1	2	1	1		1	58		100	1							1		5	17	3	2		3	6
22986	53,5	49	20	13	8		5	1	3	1		0	31	An	100	5										5	1	2		2	4
22987	56,5	27	28	10	29		1	2	2	1		0	35		100	1										27		2		3	2
22988	59,5	24	23	13	23		2	3	5	3		4	26		100	1			1	1		3	3			19	3	1		1	5
22989	62,5	14	26	17	38		0	1	4			0	55	Ru, St, Chlt	100											34	1	2		3	2
22990	65,5	19	20	18	37		2	1	2			1	39	St, Ru, Chlt	100			1	1			1				30	3	3		1	
22991	69,5	29	34	16	10		4	1	3	3		0	31	Chld	100	1			3				1			7	3			2	

#### Bohrung Hirtzfelden

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23793	2,5	33	31	12	18		3	1	2			0	24	Sp, Gl	100	2		1								17	1		13	1	5
23794	7,5	26	22	8	33	3	7	1				0	35		100			5	2							33			8	5	1
23795	12,5	18	18	6	44		3	3				8	25	Bi	100	3					3		4	5	1	41	2	1	86		11
23796	17,5	23	24	13	34		4		2			0	28	And	100	3			1							33	1		5	2	6
23797	22,5	22	31	15	22		6	1	1	1	1	0	37	GI	100	3			3							18			10	5	3
23798	27,5	34	19	10	29		3	2	1			2	35		100	1		1	1		1			1	1	26	3		60	4	2
23799	32,5	41	27	9	14		1	5		2		1	41	Zr, And, Di	100	1					1					14			62	1	1
23800	37,5	33	40	7	14		2	2	1	1		0	20		100	1		1								3			5	4	1
23801	42,5	24	29	15	27		2	1	2			0	10	St, Gli	100				2							21	1		9	3	
23802	47,5	27	33	10	19	1	4	2	1	1	1	1	13	And	100	2			2	1						10			7	3	2
23803	52,5	33	35	11	18		3					0	17	br. Hbl, St	100		1		2							13			7		3
23804	57,5	23	26	15	21		13	1			1	0	9		100	1			12							21			11	6	5
23805	68,5	44	28	7	12	2	3		2	1		1	22	Di, Si, Gl	100	2		1						1	1	11	1		41		1
23806	74,5	33	34	7	20	1	2	1	1			1	21	Ru, And, Chlt, Si	100	2					1				1	19	1		34		10
23807	78,5	21	51	5	14		0	5	3		1	0	22	Ru, St, Chld, Chlt, Si	100											14			50		15

### Bohrung Heitersheim / Weinstetter Mühle

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24747	115,7	30	46	5	7		4	3	4			1	24	Di, An	100	3			1					1			7			51	1	13
24748	121,9	5	7	3	3		0	3	48	1	23	7	41		100							7					3			60		24
24749	123,5	12	5	1	12		1	7	32	4	18	8	63		100				1	2		4	1	1		1	11		1	52	1	18
24750	125,1	13	4		7		0	4	52	4	10	6	49		100					1		4	1				4		З	41	2	2
24751	129,9	8	2		6		2	3	51	4	16	8	46		100			1	1			4	4				3		3	33		12

#### Bohrung Bremgarten

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit		l itanit	Yenofim	Brookit	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
22356	41,5	3	24	3	66		0		4			0	5		100	4						-				63	1	2	44		1
22358	43,5	24	38	15	20		1	2	8	1	1	1	33	Ru St	100	1			-			1				19	2	1	46		2
22363	48,5	18	11	18	52		0		1			0	23	Ru, Tu, St, viel br. Hbl	100											6	39	7	-10		3
22364	49,5	18	20	22	33		1	1	3	2		0	25		100	1										15	8	10		2	10
22365	50,5	8	8	15	69		0					0	12	Du Ot	100											45	23	1		<u> </u>	26
22368	53,5	26	20	25	26		1	4	1	1		0	28	Ru, St St viel Gli	100		1		_	_			_			18	4	4	$\square$	2	13
22303	57,5	11	17	20	46		2	1	2	1		0	22		100	2										32	12	2			5
22371	58,5	3	34	23	34		0	2	3			1	12	Ru, St	100							1				24	7	3		1	2
22372	60,5	27	20	26	14		3	4	4	1		1	36		100	2	1					1				12		2		10	6
22265	61,5	28	25	21	20		0	1	1	4		0	32	St	100	1			_			_				14	3	3		2	5
22374	65,5	32	26	20	10		1		10	1		0	25		100				1							9	1	2		4	4
22267	66,5	18	15	30	30		2		4	1		0	23		100	1		1								24	5	1		9	1
22268	67,5	7	9	22	58		1	1	2			0	35		100		1									57	1			8	
22269	68,5	20	23	25	57		1	2	2			0	26	St Ru Chid Di	100	1			1			1	1			56	1	2		4	0
22270	70.5	13	25	27	23		2	3	3	2		4	23	Si, Ru, Chiu, Di	100	2						4	•			20	4	2		0	9 5
22273	72,5	18	22	26	13		2	7	12	-		0	22	St, Ru	100	-			2							11	-	2		6	3
22275	74,5	31	43	8	10		0	1	6	1		0	11	St, Di	100											8	2		58		3
22276	76,5	37	37	7	5	1	2	6	4	1		0	13	Si	100	2										3	1	1	31		12
22377	79,5	34	20	9	40		3	2	2	2		1	25	Ru, Di Chid	100	1	1		_			1				40 4	1		64		0
22317	84,5	28	21	23	15		2	3	5	2		1	28	Onid	100	2						1				9	5	1		23	9
22313	87,5	33	33	18	4		5	1	3	3		0	26		100	2	1		2							2	1	1		2	3
22308	90,5	13	45	18	11		2	3	4	1		3	26	GI	100	2				1		2	2			10		1		1	4
22321	91,5	17	61	8	6		1	5	1			1	31	Chlt, Gl, Di	100	1			_		-	1				5	1		$\square$	8	8
22310	92,5	29	45	11	15		1	4	2	2		0	30 43	Ru, DI, SI, T. HDI., Chit, A	100	1	2		_			1			1	13	1	1		4	2
22312	96,5	33	32	15	5		1	2	9	3		0	22	Di	100	1	-									4	1		13	2	8
22311	98,5	28	49	8	4		2	1	6	2		0	17		100	2										3	1		42	3	4
22326	101,5	39	33	10	3		1	3	9	2		0	27	Di	100	1										3			76	2	19
22328	102,5	28	42	17	15		1	1	1	3		0	34	St CL Di	100		1		2			1			1	7	5			10	6
22314	103,5	34	33	17	5		2	1	7	1		0	33	5t, 6i, Di	100	2			2						1	3	1	1		2	1
22307	106,5	22	51	9	4		1	4	6	3		0	23		100	1										2	1	1	19	6	4
22333	108,5	36	47	6			1	6	1	3		0	30	Si, gr. Hbl	100	1													31	5	4
22336	111,5	21	38	23	2		2	6	4	4		0	25	Chit	100	1			1			_				2			22	1	9
22339	114,5	33 40	23	0 8	3		2	3	17	2		0	30	Chit	100	2			3						1	2	1		45	54	11
22344	120,5	36	28	19	5		1	1	7	3		0	28		100				1						-	1	1	3		8	12
22347	123,5	40	30	11	5		2	3	5	4		0	26		100		2								1	3	1	1	12	4	
22283	124,5	31	53	6	2		0	2	5			1	24	Ru, St, Si, Chld, Chlt	100	4						1		6			2		1		5
22350	126,5	23	48	8	1		1	3	12	4		0	10	Tu Chid Chit	100	1			_							1			39		10
22353	130,5	36	32	20	4		1	2	3	2		0	36	. u, oniu, oniu	100	1	$\vdash$	$\vdash$	+	+	+	+	-	$\vdash$		3	1			1	5
22592	132,5	25	46	11	3		3	2	8	1		1	37	Si, Di	100	3							1			3			85	4	3
22594	134,5	33	45	4	4		2	6	3	3		0	37	Chld, Si, Di	100	2										2	1	1	9	8	1
22596	136,5	35	33	12			2	3	12	3		0	17	Chid, Si, Sp	100	2			_	1		_							60	12	2
22598	130,5	35	37	19	1		3	2	15	2		0	48		100	3				1						1			09	12	7
22603	143,5	23	48	11	4		2	4	6	2		0	15	Si	100	2										1	1	2	57	2	4
22605	145,5	26	41	10	1		1	10	6	1	2	2	27		100	1						1 1				1			40		12
22608	148,5	30	29	22			2	5	5	6		1	33	ar Hbl	100	2	<u> </u>	$\vdash$	1	+	+	1		<u> </u>	-				26	0	3
22614	151,5	29	44	0 7			ა 5	2	9	3		1	19	ar. Hbl	100	2	2	$\vdash$	1	+	-	1	-	$\vdash$	-				17	0 1	∠ 6
22617	157,5	27	30	19	1		3	4	9	6		1	29	J	100	2	+-	$\vdash$	1	+	+	1		$\vdash$				1		3	1
22900	158,5	1	5				0	1	64	14	12	3	33		100							1 2	2								
22902	160,0	1	3	1-			0	6	80	1	7	2	11		100		$\square$		1	_		2	2	$\square$					n.g.		$\square$
22903	163,0	1	1	15	1		1	5	56	3	14	4	54	St	100	1	-	$\vdash$	+	1	+	2 2	-	-	-		1		$\vdash$	2	
22620	165.0	1	2	10			1	1	59	2	16	8	55		100	1	$\vdash$	$\vdash$	+	╧	+	7 1		$\vdash$	-				$\left  - \right $	4	$\vdash$
22472	165,9	1	1				1	2	74	8	.9	4	39	An, Gl, Di	100	1		$\square$	$\uparrow$	+	1.	4	1							3	
22621	166,1	2	3				2	6	67	4	9	7	17		100	2					2	4 1			1						

### Anhang B

#### Interreg II Bohrung Hartheim

					•		e								D									_									
90	e	nat	lot	rit	nblend	nexc	amorpł	nalin	u	_	tas	ıazit	ene	¥	Jerkung	ame	urolith	hen	alusit	manit	otim	okit	llər	ukphan	nuq pun	ij	orit	Р	Ibl	-	regat	Z	mer
Prot	Teut	Graı	Epid	Alte	Hor	Pyro	Meta	Turr	Zirk	Ruti	Ana	Mon	Selte	Ора	Ben	Sum	Stau	Dist	And		Xen	Broo	Spin	Glau	E S	Biot	chic	gr. F	br. F	f. H	Agg	Qua	Glin
24549	5,5	29	39	4	20		0	4	2	1	1		0	31	St Ti Di And	100	2											18	1	2	23	4	2
24551	11,5	51	21	7	11		3	2	2	2			1	27	n, Di, And	100	2	1							1			9	2		18	1	2
24552	14,5	31	26	5	27		3	3	5	3			0	26	Ru	100	2	1	1			_					2	21	4	2	19 30	1	1
24554	22,5	30	21	5	36		2	2	3	1			0	44	i tu	100	1	1									2	32	3	1	40	2	10
24555	24,3	24	20	3	46		2		3	2			0	41		100	1	1	1	2							1	41	5		43	5	
24557	34,5	24	25	7	32		5	3	4				0	30		100	3	1	1	2							1	30	2		52	4	
24558	37,7	28	23	6	34		3	1	3	2			0	29	Di Si Ant	100	2	1	1									28	5	1	25	1	5
24550	44,5	16	32	4	41		4	2	2	1			1	28	Ru, Tu	100	2	2	2		1							41	5	2	30	1	5
24561	46,4	19	33	8	33	1	0	3	2	1			0	22	St, Ti	100				1								29	4	$\vdash$	20	1	9
24563	54,5	27	28	8	21	3	7	3	1	2			0	35	Di, Si, Chlt, Chld, Sp	100	6		1									19	2		27	3	1
24564	58,3	5	36	3	53		0	1	2	1			0	19	Ru, St	100		1							1		4	37	14	2	9	1	1
24566	64,8	23	34	6	28		0	2	7	1			0	28	St, Di	100											4	24	2	2	29	3	4
24567	68,0	28	43	8	11		5	1	4	1			0	45	f. Hbl, Tu, Chld	100	2	1	1	1	1							10	1		21	2	3
24569	73,5	9	34	4	50		1	1	2				0	20	Ru, DI, An Ru	100	1				1							48	2		35	1	2
24570	76,4	4	71	3	19		0	2	1	2			0	15	Tu, Si, Di	100	2	1	4		4							16	2	1	18	2	X
24571	79,4 82,7	26	41	9	40		5	2	12	2			0	20	Ti, An, Di, Si	100	2				1						1	47			29	2	9
24573	85,4	16	39	10	22		4	3	2	4			0	26		100	1			3								20	2		36	-	56
24574	88,0 90.0	9 30	40 42	23	26		0	1	1	2			0	30	Ko?, St, Ru Chlt	100						1			-			10		┝──┤	47	2	5
24576	93,0	21	48	5	13		2	7	1	2			1	18	St, Chlt, Gl	100		1		1					1			12		1	33	1	7
24577 24578	97,0 101.9	29 19	43 23	13	8 48		4	2	1				0	35 25	Ru Ru, Ti, Di	100		1	1	1	_						2	8 46	2	⊢┤	33	2	27
24579	105,0	40	33	5	15		2	2	3				0	39	Ru, Di, Chlt, Chld	100	2											14		1	25	4	6
24580	109,0	20	50 44	8	13		2	3	3	1			0	29	Di, Br Di Si Gl	100				1							1	12	1	$\vdash$	36	6	9
24582	114,0	25	53	9	8		0	1	2	2			0	18	St, Si, Gl	100												8			47	3	6
24583	117,9	29	43	10 0	7		2	4	3	1			1	29	Si, Di, An St. Ti	100	2				1	-			1		1	17		1	36	3	22
24585	122,5	31	48	4	2		2	5	3	3			2	30	Di, Gl	100	1			1		1			1			2			27	7	3
24586	127,0	25	44	6	7		1	4	7	4			2	30	St, Di	100	2			1	2				_		1	6	1	1	27	2	9
24726	131,1	36	40	6	5		6	2	4	1			0	20	Ko, Chit, Px	100	2	1	2	1	1						1	4		1	28		2
24727	134,3	21	29	6	8	19	4	5	4	2			2	34	St, Ko	100	1	1		2	1				1			6		2	42	2	6
24728	130,7	22	51	6	7		0	5	3	4			2	23	Di, Chlt	100					1				1			6		1	49	1	13
24730	143,5	49	31	8	2		1	4	2	2			1	20	St, Di, Gl, Chlt	100	2			1	_				1			2			18	4	2
24731	140,4	25	30 56	6	7		3	2	1	2		1	3 1	23	Ru, St, Si	100		1			2				1			5	1	1	25	4	4
24733	152,5	25	44	9	4		4	7	3	3			1	53	Chld	100	1	2	2	1	1						7	3	1		82	1	5
24734	155,5	32	39	8	6		3	4	1 2	1			1	30	br. Hbl, Ru, Si, Chld, Chlt	100	2				1	-						5		1	28		2
24736	161,5	34	50	6	1		1	3	2	3			0	15	St, Di, Chld	100	1	1		_								1			31	1	4
24737	164,5 166,1	30	51 45	7 8	4		2	4	5	1			2	33	Ru, St, Di, Chit, Chid, Gi Di, Chit, Chid	100	1			2	1 <sup>·</sup> 2	1						4	1	1	46	2	8
24739	171,2	36	42	6	4		1	2	5	3			1	36	Di, St	100			1						1		4	3	1		80		11
24740	173,6	41 41	25 36	5	4		1	3	12	2			3	23	Di Di. An	100	1				1	-			2 1			3	1	1	21	1	4
24742	178,7	29	35	7	2		0	8	14	3			2	35	St, Di, Si, Ant, Chld	100	1				1 '	1						1		1	71	1	2
24743	180,5 183.5	43 33	35 50	3	8		1	3	4	2			1	27	Di, Si, Chld An, Ti, Chld, br,+f, Hbl	100		1		1	1						1	8		⊢┤	25	1	5
24745	185,2	31	48	3	3		5	3	4	2			1	26	f. Hbl, Di, Ant, Si, An	100	5	Ľ							1			3			31		3
24746 24804	187,6 189.5	45 22	41 51	2	1	-	1	3	6 13		-	-	1	20 38	Di, Ru, An, Si Ru, Si	100 100	2	-	+	+	1	+	-	_	+	-	1	1		1	19 38		12
24805	192,9	24	60	3			3	3	5	2			0	27	gr. Hbl, An, Si, Chld, Gl	100	3														50		4
24806	193,7 194 5	12	16	1	1		4	5	43 65	2	10	5	1	45	gr. Hbl, Xe, Di, Sp, Ko, An, Gl Xe, Si	100	3			1	1	2						<u> </u>		1	31	1	4
24808	197,3	10	2				2	2	59	4	14	5	2	49	Xe, Di, An	100	1			1	1	1									17	3	2
24810	199,7	5 0	6	1	3		1	8	57 41	2	12	4	4	35	Br, St, Di, Si Ti An St	100			1	1	1 3	3								3	34	3	14
24814	213,6	2	4				4	2	64	4	12	6	2	34	Br, Ko	100	3	1		-	12	2									7	2	1
24815	217,8	37	1		4		0	6	39	3	6	2	2	50	Ti, An, gr. Hbl	100		1	H	4	2	2	F			F		$\vdash$		4	26	4	2
24817	223,7	28	2	_	3	L	_2	9	39	0	7	7	∠ 3	40	Ru, Ko, St, Di	100	Ŀ	Ľ	2	-	1	-	L			L	L	L		3	15	3	3
24818	226,8	43			1		1	7	32	7	7	7	2	60	Ru, Br, Sp, Ko Sp, Br, Di, Ap, gr, Hbl	100			1	7	2	2		-	-	7				1	28	-	1
24820	231,3	12			2		0	84	1	/	3	1	2	+3	Ti, Di, Ru, Ant, Si	100		+	+	+	1	-	-	+	+	-		$\vdash$		2	6		
24821	231,8	24	58	2	1		7	3	4				1	65	Si Ant Sn Ti	100	6	1	$\square$					1						1	69		2
24823	235,7	22	45 48	4	2	-	9	5	8 8		-	-	1	03 70	Si, Sp	100	8	4	+	+	+	+	-	2	+	-		$\vdash$		2	38		
24824	237,4	27	48	2	1		12	4	6	F			0	71	Glau, Ti	100	11			1			4	2				$\square$		1	69	1	3
24825 24826	∠45,3 252,6	31	26 16	1		-	6	13	30 17	5 5	4	-	6	55	yı. التات Chlt, Br	100	6	$\vdash$	+	+	+	+	4 5	2 1		-	-	$\vdash$		$\vdash$	э4 26	3	25 4
24827	254,9	48	20	4	-	-	11	4	11	1			1	39	GI, Chlt, Xe, Si, Mo	100	9	2	:				1			-					34		
25283 25284	∠55,8 257.2	52 35	19 32		-	-	7	8	10 16	2	1	1	0	45 41	ы, ы Sp	100	6	1	+	+	+	+	-	-	-	6		<u>                                     </u>		$\vdash$	34 40	3	8
25285	258,5	39	33	1		1	6	8	10	1	1		1	50	Di, Bi	100	5	t	1		+	+	1	1	-	3	1	1			46		

#### Interreg II Bohrung Nambsheim

	- 5		-	-					-			1						1			Т	T	1		1	1	1					<u> </u>	
bbe	ıfe	anat	idot	erit	rnblende	roxen	tamorphe	rmalin	kon	Ξ	atas	nazit	tene	ak	merkung	nme	urolith	then	dalusit imanit	anit	notim	okit	inell	lukphan	rund	tit	lorit	НЫ	НЫ	lbl	gregat	arz	mmer
Pro	Tet	5	Ē	Alte	Ŗ	Ρ	Mei	1 <sup>2</sup>	Zirl	Rut	Anä	۴	Sel	g	Be	Sur	Sta	Dis	And	i i	Xer	B	Spi	Gla Cha	5 V	Bio	망	gr.	br.	f. H	Agi	ő	ē
24588	0,8	21	24	8	37		1	3	4	1			1	35	St, Di, Br	100			1		1							35	2		42	4	
24589	2,5	30	34	4	28		1	2	1	4			0	35	Ru, Di, Chld, Gl	100	1								4		1	24	3	1	46	1	1
24590	5,1	23	28	4	35 62		0	6 4	2	T			1	19	St, Di, Chit, Gi Ru	100	1								1			59	4	1	45	2	2
24592	11,9	17	21	4	49		3	2	4				0	22	Si	100	3											45	3	1	53	- 1	3
24593	13,6	20	25	3	44		6	1		1			0	30	Zr, Di, Sp	100	5			1								44			40		3
24594	16,3	41	21	3	30		0	2	3				0	35	Ru, St, Di	100												25	4	1	41	3	4
24595	19,7	25	29	6	37		1	1	1	1			0	30	Ru, Di, Si, Chid, Gi	100	1											32	5	2	59	1	64
24590	22,0	34	29	5	28		6	4	1	1			1	35	וט	100	3	2	1			1						26	1	2	41	1	2
24598	27,6	21	40	2	31		2		2	2			0	25	Tu, Chlt, Si	100	2	-										29	. 1	1	38	1	8
24599	28,6	11	32	8	47		1		1				0	25	Ru, Tu, Ti, An, Di	100	1											45	2		46		10
24600	32,8	38	36	5	14		4	2	1				0	36	Ru, An	100	3	1										12		2	26	3	6
24685	36,2	40	38	4	13		1	1	1	2			1	23	Zr, f. Hbl, Gl, Si	100	1			_					1			12	1		37		1
24080	38.5	21	23	6	38		2	2	1	- 1			0	30	Bu Chlt	100	4			1					'			36	2		41	2	9
24688	39,5	37	21	9	27		3	1	2				0	31	Chit, Chid	100	2			1								25	1	1	49		2
24689	42,2	21	26	7	38		4		1	2			1	23	Tu, Di	100	1		2	1					1			38			47		3
24690	45,5	29	26	6	31		2	1	3	2			0	45	_	100	2											26	4	1	68	3	6
24691	48,5	18	42	6	26		3	1	2	2			2	26	Ru	100	1	1	1		1				1			21	4	1	33	4	8
24692	54.5	23	34 29	3	30		2	3	3	2			0	20	Di, Chit Si Chid	100	1			1								29		-	30	1	25
24694	57,5	33	29	6	25		0	1	3	3			0	23	Di, An, Chld, 2 Px?	100												19	5	1	39	2	20
24695	60,5	49	15		32		2		1	1			0	23	Tu, Ko, Chlt	100	1			1								32			36		5
24696	64,5	16	24	2	52		2	2	1				1	32	f. Hbl, St, Sp, Ko	100		1	1	1								52			35	1	29
24697	68,5	27	30	5	31		1	1	3	2			0	25	Di hr Lihi Ka	100	1	1	4									31		1	21	1	7
24698	71,5	25	24 44	0	29		0	3	2	3			0	25	Ru Di Gl Chld An Chlt	100	4	1		1								20 12	1	-	25	4	35
24700	73,5	26	32	5	17		6	1	8	2			3	30	Di, Ko, Gl, Chlt	100	3		1 :	2 2					1			12	2	3	45	2	15
24701	77,5	5	13	4	71		0	3	2	1			1	25	St	100									1			71			21	1	3
24702	80,4	30	25	5	24		3	3	6	3			1	36	Di, An	100	3								1			23		1	41	1	8
24703	84,5	32	57	2	28		2	1	1	1	1		0	25	GI, Chid	100	1		1	1								23	3	2	20		6 11
24704	91.5	31	49	4	20		2	3	3	1			3	29	Di	100	3			2					1			3		5	31	1	14
24706	94,4	37	47	5	2		3	1	3	1			1	26	GI, Chld, Chlt	100	2	1		1								2			25	1	5
24707	98,5	33	37	10	11		3	3	1	1			1	24	Chlt	100	1	2		1								10	1		30	2	5
24708	102,5	28	53	7	1		1	4	1	5			0	37	St, Ko	100		1											1		20	2	5
24709	106,5	24	55	3	2		0	4	8	4			0	29	St, Di, An, Si	100	3			1								2			21	1	12
24710	114.5	35	46	5	2		5	1	4	5			0	41		100	4			1								1		1	30	10	2
24712	117,7	27	50	5	4		3	2	5	3			1	42	Di	100	2		1	1								3		1	23	1	1
24713	120,5	54	29	6			2	2	4	3			0	28	gr. Hbl, St, Chld, Chlt, Si	100		2													11		1
24714	124,5	28	47	9	4		4	4	2	2			0	35	Di, An	100	2			2							1	3	1		34	4	2
24715	128,3	24	20 41	6	37		5	3	2	2			1	45 24	St	100	3	1		1 1 1			_				1	30	1		78	3	0
24717	132,5	22	60	5	5		2	3	2				1	40	61	100	1	<u> </u>		1 1							1	5			40		4
24718	136,8	42	36	9	5		0	3	4				1	31	Sp, Di	100				1								5			27	2	1
24719	139,2	51	21	5	2		10	5	5	1			0	51		100	5	2	1	1							4	1		1	38	2	4
24720	142,8	30	35	5	2		13	5	7	2	1		0	41	Chit	100	10	1		2					1 0			2	4		24	2	3
24721	140,5	27	48	5	4		2	4	4	2	1		1	33	וט	100	1			1 1	·				1 2	-		5	1	1	22	2	8
24723	152,5	24	56	8	1		2	4	5				0	36	Ru, Di, Si	100	2										3	1			38	8	6
24724	156,5	36	40	1	3		2	4	12	2			0	40	Sp, Di, An	100	2											2	1		24		7
24725	161,1	52	29	6	3		3		4				3	26	Tu, Ru, Di, Chlt, Si	100	3	_							1 2	2		1		2	19		2
24783	167.5	40	29 40	8	1		8	1	11	2			0	24	SI, CRID, T. HDI Ru, viel Chlt	100	5	3		1	_					45	10	1	1	1	32	4	3 15
24785	170,5	28	45	2	6		2	7	7	1	2		0	32	Di, Si, An, Mo	100	2										10	3	2	1	27	2	3
24786	172,8	43	25	8	3		0	5	13	3			0	23	St, Chld, M	100											1	3			38		8
24787	173,1	2	4		1		1	14	50	3	13	10	2	43	Br, St	100			1	1	1							1			50		3
24788	174,9	8	2		2		0	9	58	2	15	4	0	40	An, Xe, Br, St, Ko?	100		-	$\left  \cdot \right $	_	-	-		+	+		-	2		2	28	4	$ \parallel$
24790 24791	177.3	1	1	1	2 5		0	9 13	53	4	10	9	2	23 49	Si, Di, Ae, Ali, St Si, An, St. Di, Ti	100	-	-	$\vdash$	+	2	-		+	+	1	-	5	-	2	0 45	4	$\square$
24792	179,7	1	2	-			1	3	65	3	16	7	2	40	Xe	100	1	ŀ	$\vdash$	+	1	1		1		+ '	1				23	2	$ \dashv$
24793	180,3	9	2		3		3	5	55	6	10	6	1	51	Br, An	100	2			1	1							2		1	92	10	10
24794	182,6	10	1		4.5		5	9	39	8	9	12	7	56	f. Hbl, An	100		3		2	7			_		Ļ	<u> </u>			_	3	3	1
24795	184,5	19	2	2	10		1	10	42	2	4	7	1	35	KO? br. Hbl. Di	100	1	-	$\parallel$	1	1	-	$\square$	+	-	6	-	7	1	2	37	4	2
24797	191.5	9	∠ 5	2	5		0	7	63	0	11	4	2	49	Ru, Si, St, An, Xe. Mo	100		-	⊢†'	-	1	1		+	+	-	-	3		2	57	1	1
24798	196,5	35	2		6	L	0	4	36	6	7	3	1	48	Br, Sp, Si, Ti	100	L	L			1	Ľ		_†		L	L	4		2	39	8	6
24799	199,2	45	4	3			3	5	23	4	11		2	34	Br, Di, Mo	100			1	2 1	1				T						56	34	1
24800	202,2	69	_	1	4		0	14	13	2	-		1	15	gr. Hbl, An, Xe, Ant, Ti, Mo	100		-	$\vdash$	_		1	$\square$	_	+	00		-			9	6	
24801 24802	∠09,5 212 1	28	2		1		1	3	46	4	6	-	4	30	п. пю, ы, Ап, П, St, DI, MO Br Ti	100	-	-	++	-	4		$\square$	+	+	22	-	1		2	31 0	ð	1
24803	212.8	39	-	1	3		0	6	40	2	9	-	2	33	Ru Mo	100	-	┢	++	+	2	╞			+	+	+	1		2	10	2	· ·

### Anhang B

#### Bohrung Nambsheim-Balgau

					ende	E	orphe	Ē						6un,		ith	_	sit	nit		Ŀ	E		phan	oid						at		er.
robe	eufe	ranat	pidot	lterit	ornble	yroxei	letamo	urmali	irkon	util	natas	eltene	pak	emerk	nmme	taurol	isthen	ndalu	illimaı	itanit	lonazi	enotin	rookit	lauko	hlorite	iotit	hlorit	r. Hbl	r. Hbl	IqH	ggreg	uarz	limme
22021	<b>ب</b>	25	<u>ш</u>	<b>▼</b>	<b>I</b>	₽.	2	⊢ ^	N	2	٩	S	0		100	s S		◄	S	-	2	×	m	G	0	m	o	<b>5</b>	<u>م</u>	f.	•	Ø	0
23021	5.0	10	32	19	28		2	2	4	2		0	30		100	2	1		1						_			21	3	4		14	1
23023	7.0	26	31	9	17		3	5	5	2		2	38	An	100	3						1	1					13	4	-		2	4
23024	10.0	19	17	20	33		4	5	2	-		0	24		100	4												24	6	3		1	2
23025	12,0	35	19	5	28		2	2	3	4		2	31		100	1	1						2					23	1	4			2
23026	15,0	17	26	19	30		4	1	2			1	39	An	100	3	1						1					27	1	2		3	6
23027	17,0	30	23	11	31		1	1	1	1		1	34		100	1							1					26	2	3		2	1
23028	20,0	11	23	18	38		1	1	5	1		2	15		100	1						1	1			1		27	5	6		3	6
23029	22,0	17	30	8	35		2	1	6	1		0	37	Di	100	2												28	2	5		1	12
23030	23,0	28	30	12	22		3	1	2			2	38	Ru, Chlt	100	2		1							2			11	3	8		1	4
23031	25,0	18	16	20	32		4	5	3	2		0	32		100	4												27	3	2		3	8
23032	27,0	21	25	15	34		1		2	2		0	21	br. Hbl, St, An	100		1											26	0	8			
23033	30,0	23	22	10	38		1	3	4	1		2	30	DI	100	1		4	4			1			1			34	4	F		3	9
23034	31,0	22	19	13	30		2	3	2	1		1	20		100	1		1	1				1					29	4	C 4		2	12
23035	35,0	20 17	20	10	32		2	2	2	1		1	28		100	2							I					20	2	4		3	13
23030	38.0	8	32	16	42		2		0	2		0	16	br Hbl St Zr Tu	100	2									-			42	4	2		-	17
23038	40.0	22	21	18	31		1	2	4	1		0	19	bi. Hbi, bi, 2i, 1u	100	1									-			22	7	2		3	8
23039	42.0	12	24	6	49		0	1	5	2		1	24	St	100								1		-		1	41	3	5		Ē	6
23040	45.0	12	35	18	30		0	2	2	1		0	16	Di	100													22	1	7			, T
23041	47.0	15	35	17	30		0		3	-		0	16	Di. St. Ru. Tu	100													21	3	6			
23280	48,0	23	25	12	34		2	1	2	1		0	37	St	100				2									30	4	-		1	1
23042	50,0	24	26	17	24		2	2	4	1		0	19		100	1	1											16	6	2		1	13
23043	52,0	18	34	14	18		3	4	7	2		0	21		100	2			1									13	1	4			1
23044	55,0	20	26	20	16		3	2	9	3		1	20		100	2			1						1			12	3	1		1	14
23045	57,0	24	46	7	14		4		3	1		1	23		100		3		1						1			13		1			
23046	60,0	31	32	13	17		1	2	2	2		0	16		100		1											12	4	1			12
23047	62,0	23	46	13	7		0		9	2		0	27	f. Hbl	100													5	2				
23048	65,0	39	39	11	4		1	3	2	1		0	30	St, Chlt, f. Hbl	100		1											4				3	11
23049	67,0	27	44	14	6		2	1	5	1		0	15	gr. Hbl, Si	100	1	1										_	5	_	1			
23050	70,0	25	40	15	10		1	4	3	2		0	25	St Di Du	100	2	1	2					4				1	1	1	2		3	8
23051	72,0	24	20	10	10		4	3	0	1		1	20	DI, RU	100	2		2					1					3	4	с С			2
23052	75,0	20	29	19	12		0	0	0	1		0	20	St An	100		1	1										2	3	2			3
23054	76.0	36	33	13	6		1	2	4	2		1	31	St, All	100	1							1		-			5	1	4		2	1
23055	78.0	18	50	8	9		4	1	8	2		0	23	GL Si	100	2	2								-			4	1	4			<u> </u>
23071	80.0	31	24	18	11		1	1	7	4		3	25		100	1	-						2		1			6	4	1		2	1
23056	82.0	16	32	19	18		1	7	3	4		0	41	Di. St	100				1				-					10	4	4		-	<u> </u>
23057	85,0	25	27	12	16		5	2	10	2		1	65	viel Biotit	100	5							1			29	1	16				4	2
23059	88.0	22	37	10	16		1	4	8	2		0	41		100	1										-		11	3	2		1	20
23060	90,0	29	33	9	7		5	4	8	5		0	20	St, GI	100		2		3									5	1	1			1
23061	92,0	27	28	18	3		3	7	11	2		1	27		100	1	1		1				1					2	1			1	3
23062	95,0	32	40	14	3		3	1	3	3		1	18	Chld	100	1	1		1				1						1	2			
23063	97,0	42	33	12	4		1	2	3	3		0	33	Dis	100	1												4		_		2	3
23064	98,0	27	44	9	8		3	2	4	3	_	0	26		100	2			1									3	2	3		1	8
23065	100,0	29	27	18	8		4	5	4	4		1	26		100	2	2						1					6	1	1		1	8
23066	102,0	25	35	15	12		2	1	5	3		2	20	Di	100	1			1				1	1				8		4			
23067	105,0	32	43	7	3	-	4	1	7	2		1	30	T. HDI	100	3	1						1					3	_			2	6
23068	106,0	38	39	8	1		2	3	6	2		1	40	gr. HØl	100	1			1				1			_			1			3	3
23069	107,0	41	31	13	1	1	4	2	6	Т		1	50	ומח .וט	100	4	1					1				1		- 1				1	5

#### **Bohrung Niederhergheim**

robe	eufe	ranat	pidot	lterit	ornblende	yroxen	etamorphe	urmalin	irkon	util	natas	eltene	pak	emerkung	amme	taurolith	isthen	ndalusit	illimanit	itanıt onazit	enotim	rookit	laukophan hloritoid	iotit	hlorit	r. Hbl	r. Hbl	ЧРI	ggregat	uarz	limmer
	Ĕ	G	ш	A	I	Ū.	Σ	Ē	N	R	۲	Š	0	<u>n</u>	S	Ś	Δ	◄	ωi	Ξ Σ	×	B	υ	B	ပ	5	ā	÷	۲	a	G
23249	3	35	20	27	15		1	1	0	1		0	40	Zr, An	100	1										11	3	1		1	2
23250	8	21	21	22	28		1	3	2	1		1	37	<b>D</b> •	100	1					_	1				23	2	3		2	3
23252	16	24	18	25	20		5	2	6	0		0	41	Ru, An	100	5										15	1	4		2	7
23254	21	23	27	21	21		2	4	2	0		0	38	Ru, An	100	2					_					15	2	4		4	10
23255	25	27	26	19	22		2	0	2	2		0	26	Tu, An	100	2					_					16	1	5		2	24
23256	30	34	18	21	18		1	2	3	3		0	50	<b>D</b>	100		1									15	2	1		4	15
23257	33	64	8	13	6		2	1	4	2		0	32	Di, An	100	2					_					4	1	1		3	2
23258	37	30	23	22	18		3	1	3	0		0	30	Ru, Di, An	100	2			1		_					14	2	2		1	5
23259	40	35	22	21	18		1	2	1	0		0	40	St OLIVER CLIVE	100		1				_					13	4	1		2	6
23260	43	41	19	22	8		3	5	2	0		0	38	Ru, An, Chit, Br, f. Hol	100	3					_					/	1	$\square$		4	4
23261	48	45	15	17	11		5	1	4	2		0	32		100	4			1		_					10	1	Ļ		2	2
23262	55	37	28	19	7		4	4	1	0		0	33	Ru, Di	100	1		3			_					6		1		2	1
23279	61	39	23	19	14		2	0	2	0		1	30	Ru, Iu	100	1	1				_	1				10	1	3		4	2
23263	66	46	20	23	5		1	2	1	2		0	30	An, Di	100	1					_					4	1	Ļ		5	4
23264	73	27	43	5	15		1	2	3	3		1	32		100	1	~					1				11	3	1			11
23265	//	26	38	22	2		4	2	1	3		2	28	0	100	2	2				1	1				2				2	5
23266	82	34	39	15	3		0	2	3	3		1	35	St	100						_	1				2	1	$\square$		1	/
23267	86	29	41	19	3		2	1	3	1		1	38	<b>D</b>	100	2					_	1				3		$\square$		3	1
23268	91	39	31	17	5		1	4	2	0		1	40	Ru, Ant	100	1						1				2	3	$\square$		6	3
23269	94	33	31	23	3		1	2	1	0		6	36	Chit, Di	100	1					1	5		1		3		ĻЦ			3
23270	98	21	42	21	4		4	3	3	0		2	47	An	100	3		1			2					3		1		6	13
23273	108	31	31	27	3		3	2	2	0		1	51	DI, RU	100	3						1				2		1		2	11
23274	113	34	24	24	3		4	3	3	3		2	42		100	3	1				1	1				3		ĻЦ			1
23271	116	28	36	19	6		1	3	4	2		1	40	Ant	100	1					_	1				5		1		5	17
23272	121	32	32	18	6	L	2	4	5	1		0	52	T. HDI, St	100		1		1		-			1	$\square$	5		ĻД		3	4
23275	122	32	35	10	11	L	2	4	4	2		0	48	GI, DI	100	2					-				$\square$	7	3				5
23276	127	42	37	10	2		2	3	1	3		0	39	Dr. HDI, Br, SI	100	1	1							1		1		1		3	4
23277	132	31	31	19	8		1	7	2	0		1	36	Ru	100	1						1		1		5	3	1		3	7

### Anhang B

#### Bohrung Hettenschlag

		-				<u> </u>																						r				
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23436	3	33	28	16	11		3	4	0	0		5	98	Zr, Si, Ru, Di	100	3								4	5							
23437	7	26	47	9	14		1	1	0	0		2	133	St	100				1						2							
23438	12	29	34	5	20		9	1	2	0		0	36	Ru	100	5	1	1	2													
23439	16	36	26	13	20		4	0	0	1		0	97	Tu	100	1		1	2													
23440	21	39	24	7	19		7	1	1	0		2	96	Ru	100	4			3					1	2							
23441	25	49	22	7	16		2	3	0	1		0	83	Si, St, Di	100			2														
23442	31	44	27	13	8		1	2	2	1		2	46	Si, Di	100	1								1	2							
23443	36	21	31	11	30		3	3	0	1		0	93	Si, Chld, Di	100	3																
23444	43	46	31	17	4		0	1	0	1		0	101	Tu, Si, Chld, St, Di	100																	
23445	46	31	21	12	31		4	0	1	0		0	82	St, Ru	100		2	1	1													
23446	51	26	29	10	23		5	1	4	1		1	43		100	1	2	1	1				1									
23447	56	27	39	5	24		0	1	2	2		0	72	Si, St, Di	100																	
23448	62	20	35	17	23		0	2	0	3		0	141	Zr, Si, Ru, Di	100																	
23449	67	19	32	21	20		3	0	3	0		2	64	Tu, St, Ru	100				3						2							
23450	71	14	35	11	31		1	0	4	1		3	21	Tu	100	1							2		1							
23451	77	15	28	5	43		3	2	1	1		2	77	Di	100	1			2						2							
23452	82	26	31	15	22		3	1	0	1		1	86	Zr, Si, An, Di	100	3									1							
23453	87	23	36	11	27		0	0	1	2		0	55	Tu, St	100																	
23454	95	26	40	12	13		2	2	3	1		1	24	St	100		1		1						1							
23455	99	22	41	9	13		3	4	6	0		2	66	Ru	100	1	1		1				1		1							
23456	104	16	37	13	27		1	2	2	2		0	30	Si	100		1															
23457	110	14	50	13	13		3	3	3	0		1	71	Ru	100	1			2				1									
23458	116	24	24	15	34		0	1	0	2		0	48	Zr, St	100																	
23459	119	26	43	10	11		2	2	2	2		2	75	Tu, Si, An	100	1	1							1	2							
23460	125	27	33	17	19		2	1	1	0		0	67	Zr	100	2																
23462	136	25	42	10	10		1	6	4	1		1	60	St, Di	100				1						1							
23463	141	20	45	23	9		0	0	1	2		0	36	St, Si, Tu	100																	
23464	145	22	44	9	16		1	3	1	3		1	53	St	100		1								1							
23465	150	21	46	12	12		1	2	4	1		1	38	An, Di	100	1									1							
23466	156	28	41	10	13		3	3	1	0		1	51	Ru, Chld	100	2			1				1									
23467	161	26	44	15	7		0	3	2	3		0	64		100																	
23468	166	23	35	19	7		4	3	6	2		1	80		100	2			2						1	1						
														•	•																	

#### **Bohrung Riegel**

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Clerkenhen	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
25069	0,6	24	39	16	12	2	0	4	2	1		0	16		100											12	11		1	100		2
25073	5,5	59	12	9	7	4	5	1	2			1	17	Bi	100	5									1	4 1	7			80		3
25076	8,5	48	25	9	11	1	1		4	1		0	23	Bi, GI	100	1										5 11	9	2		106	1	1
25078	12,7	39	14	10	24	8	4	1	0			0	22	Bi	100	3	1									2 6	24			81	1	2
25082	18,5	44	11	8	12	23	2		0			0	20	Zr, An	100	2										5	10	2		62		
25084	22,5	24	16	9	29	17	3		2			0	8	Tu, An	100	2	1										27	1	1	74	1	
25087	25,3	18	21	16	33	8	3		1			0	6	Tu	100	3											31	2		78	1	1
25089	30,8	28	27	9	27	7	1		1			0	16	Ru	100		1										25	2		47		3
25092	35,5	15	25	9	39	2	2	2	4	1		1	7	An	100	1	1								1		30	7	2	92	1	5
25096	40,3	31	19	11	34	1	3	1	0			0	9		100	2	1										32	2		49	1	4
25100	45,8	22	18	13	38	4	1	3	1			0	6		100	1											36	1	1	72	2	10
25102	51,5	26	17	5	31	12	3	2	2	1		1	10	Bi	100	3				1						7	28	3		83		
25108	56,7	29	16	8	21	20	3	2	1			0	12	Bi	100	2	1									3 4	18	3		50		2
25110	58,5	37	1		17		2	4	21	3	3	12	29		100		1		1		10	2					16	1			I	
25113	61,5	8	7	4	65		2	1	8	1	1	3	16		100		1		1		3						64	1		90	1	11
25115	63,5	8	30	9	46	2	1	3	1			0	20		100	1											41	3	2	42	2	2
25117	65,6	15	19	7	45	1	1	2	5	2	2	1	5	Di	100	1					1						43	1	1	47	L	
25119	67,7	15	38	11	30		1	1	2		2	0	8	St, Mo, Si, Bi	100			1								3	23	5	2	50	2	
25120	68,7	34	17	6	28		2	5	3	2	2	1	19	Px	100		2					1					23	5		51	L	2
25121	69,2	18	6	5	40	1	0	1	13		9	7	11		100					2	3		2				35	5		66	2	
25122	69,8	6	42	12	31		3		5	1		0	12	Tu, Di	100	3											29	2		78	L	
25124	71,5	43	31	7	9		3	2	1	1	3	0	15	Di, Xe, Ti	100	3											9			69	3	1
25127	73,5	38	4		14		2	5	21	1	11	4	31	Br	100		1		1		4						13	1		66	1	2
25131	77,3	48	2	4	17		0	6	4	3	12	4	25	Di	100						1	2	1				12		5	81	1	1
25132	78,5	18	28	9	32		3	5	5			0	5	Ru	100	2	1										30	2		54	2	2

### Anhang B

Bohr	unge	en l	Lał	۱r																													
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
B 12																																	
25133	9,5	73	9	5	4	4	2	1	1			1	16		100	2	!					1						4			24	1	1
25134	18,5	37	25	5	28		3	1			1	0	11	Zr, Px, Di, Ti	100	2	!	1										28			74		6
25135	23,9	6	4		1		0	14	50	1	12	12	25	Ti	100						8	4						1			33	1	
B 13																																	
25137	10,5	56	21	8	6	1	2	3	3			0	13		100	1	1											6			57		1
25138	14,3	44	22	1	23	1	2	2	5			0	9		100	2	!											20	3		41		8
25139	20,5	57	1		9		2	5	15	4		7	13	Ant, Bi	100	1		1			4	2	1			5		9			16		
B 14																																	
25140	15,5	28	17	6	34	3	5	3	2			2	12	An	100	2	2	!	1		2							34			85		2
25141	21,5	35	24	3	27	6	1	1	2		1	0	11	Mo	100	1			1				1					24	3		52	. –	15

### Bohrung Plobsheim

bbe	ufe	anat	idot	erit	rnblende	roxen	tamorphe	rmalin	kon	til	atas	Itene	ak	merkung	mme	aurolith	sthen	dalusit	anit	nazit	notim	ookit	inell	loritoid	otit Iorit	Ι٩Н	Ι٩Η	Idi	gregat	arz
Pre	Te	ō	Б	Alt	운	Ą	Me	Τu	Zir	Ru	An	Se	do	Be	Su	St	ö	An A	⊼ È	Ň	Хе	Br	g	ទ	ສັບ	gr.	br.	f. F	Ag	g
2284	0 4,0	42	23	10	9	7	2	1	4	2		0	36	f. Hbl	100	2										8	1		22	5
2284	1 9,0	39	24	9	13	6	2	1	5			1	32	Ru, Chl, An	100	2								1		10		3	26	2
2284	2 13,0	34	24	5	20	7	2	4	4			0	36	Ru, Ko	100	1		1								17	2	1	21	9
2284	3 17,0	36	20	5	35	1	0	1		2		0	39	Zr, St, An, Gl	100											35			34	4
2284	4 20,0	36	29	10	18		2	1	4			0	38	Ru, Px	100	2										17	1		24	5
2284	5 24,0	33	28	4	29		4	1	1			0	32	Ru, An, Chl	100	1			3							27	1	1	21	
2284	7 31,0	21	39	7	27		0	1	2	3		0	26	Chl, An, Gl	100											24	1	2	25	2
2284	8 34,0	25	34	9	27		1	1	3			0	31	Ru, Chl, Si, An, Chld, Px	100	1										23	4		22	1 3
2285	0 42,0	29	30	6	17		1	5	9	3		0	27	GI	100	1										15	1	1	20	2
2285	2 50,0	34	35	5	15		2	1	4	3		1	21	An	100	2						1				13	1	1	23	·
2285	3 54,0	45	34	5	9		1	2	2	2		0	20	An, Di, Chld	100	1										8		1	14	1
2285	4 57,0	47	28	4	9		4	2	5	1		0	35	An, Chlt, Di	100	4										8	1		8	
2285	6 66,0	20	47	14	5		0	5	5	1	1	2	16		100						1		1			3	1	1	63	L
2285	8 75,0	44	31	7	4		0	3	7	3		1	28	St, Si, f. Hbl	100					1						4			15	
2285	9 83,0	31	43	9	8		2	4	3			0	30	Ru, Chld	100	2										7		1	24	
2286	4 87,5	37	26	8	4		3	1	11	8	1	1	24		100	1	1		1			1				4			15	L
2360	4 88,0	4	11		1		0	28	42	9	5	0	42	St, Br	100													1	6	1
2286	5 93,0	26	12	2	19		5	7	22	1	4	2	66	An, Si	100	4	1			1	1					13	4	2	20	-
2286	6 95,0	17	5	1	0		0	5	50	6	7	9	20		100					4	3	2							6	
2286	8 101,0	30	4		13		0	11	22	8	4	8	49	<b>D</b> : 01	100				_	4	3	1				9		4	20	-
2287	0 106,0	38	4		5		1	19	12	10	2	9	45	Di, St	100				1	5	3	1				3	1	1	24	1:
2287	2 112,0	29	9	2	12		1	10	25	5	4	3	50	St	100				1	2		1				6	2	4	14	F.
2287	6 122,0	38	5	2	12		0	12	16	1	10	4	38	St	100				_	2	1	1				5	2	5	27	L
2287	9 132,0	52	8		5		1	17	10	3	2	2	60	St, Sp	100				1	1		1				4	1	_	22	12
2288	2 139,0	42	8	1	1		2	13	15	4	4	4	42	Di, St	100				2	1 2	4	1				4	1	2	8	
2288	6 149,0	42	6		6		1	13	20	3	4	5	58		100				1	1 3	1					2	2	2	20	<u>                                     </u>
2287	7 152,0	41	2	1	11		0	17	16	1		4	27	II, DI	100					3	1				4	1	9	1	29	<del> </del> .
2288	9 158,0	55	5		0			12	17	4	_	0	05	Ct. Du. Di	100	1			_		1	4			1	6			9	
2289	1 160,0	44	14		2		0	14	20		2	4	70	St, KU, DI	100	-				2	1	1	_			2			11	12
2289	31165.0	37	110	1	15	1	1 0	112	1 28	1	4	4	69	51	1100	1	1			1 2	11		1			4	1	1	1 27	1

#### **Bohrung Offenburg**

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukopnan Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23782	18,7	36	19	3	26		1	9	5	1		0	33	And	100	1											19	7		40	7	6
23783	20,5	60	17	7	9	3	1	3				0	44		100	1											9			30		1
23784	23,7	44	30	7	12		4	2		1		0	41	Chld	100	2	1		1								11		1	54	6	1
23785	26,5	12	15	5	52		1	9	5		1	0	27		100	1											41	7	4	30		1
23792	28,5	49	18	4	18	1	2	3	4	1		0	25		100	2											15	3		33	1	2
23786	31,5	28	20	8	29		2	6	3	2	2	0	17	Mo, Px, Di	100	2											27	2		38	4	10
23788	34,5	38	15	5	28		3	8	2	1		0	35	Chld, Sp	100	2		1									25	3		43	4	4
23789	38,9	34	5		13		0	17	24	1	2	4	37		100						3		1		1		9	1	3	25	1	20
23790	40,8	28	16	2	16		4	6	20	4		4	39	Ant, Chld, Br	100	3			1		2	1		1	2		11	4	1	52	2	18
23791	42,5	30	31	6	12		2	8	9		2	0	32	Di, Gl	100	2											10		2	65	3	16
23843	45,5	25	43	3	18		3	1	7			0	26	And, Chld, Ru	100	3											18			43	1	14

### Zähltabellen der Schwermineralanalysen Anhang B

No.         No. <th>Bohr</th> <th>ung</th> <th>Rh</th> <th>ein</th> <th>mi</th> <th>üns</th> <th>ster</th> <th>r</th> <th></th>	Bohr	ung	Rh	ein	mi	üns	ster	r																										
Solve         Solve <th< th=""><th>Probe</th><th>Teufe</th><th>Granat</th><th>Epidot</th><th>Alterit</th><th>Hornblende</th><th>Pyroxen</th><th>Metamorphe</th><th>Turmalin</th><th>Zirkon</th><th>Rutil</th><th>Anatas</th><th>Seltene</th><th>Opak</th><th>Bemerkung</th><th>Summe</th><th>Staurolith</th><th>Disthen</th><th>Andalusit</th><th>Sillimanit</th><th>, Titanit</th><th>Monazit</th><th>Xenotim</th><th>Brookit</th><th>Glaukophan</th><th>Chloritoid</th><th>Biotit</th><th>Chlorit</th><th>gr. Hbl</th><th>br. Hbl</th><th>f. Hbl</th><th>Aggregat</th><th>Quarz</th><th>Glimmer</th></th<>	Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	, Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
21416         563         35         36         6         2         1         0         6         7         0         0         1         0         0         1         0         0         1         0         1	25142 25143	22,5 30,5	43 33	22 25	5 10	23	1	4	1	1			1	12	An, Di Px, Di, Si, An	100	4				1					1			21 22	1	1	56 56	3	4
24148       607       60       24       61       60       2       1 <td< td=""><td>25145</td><td>35,5</td><td>33</td><td>28</td><td>6</td><td>28</td><td></td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td>0</td><td>5</td><td>Ru, Di, Si</td><td>100</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>27</td><td>1</td><td></td><td>58</td><td></td><td>5</td></td<>	25145	35,5	33	28	6	28		2	1	2			0	5	Ru, Di, Si	100	2												27	1		58		5
5:00         4:00         1         3:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:00         2:11         1:00         1:	25148	40,7	40	23	9	25	1	3		2			0	9	Zr, Tu, Chld, Di, Si Di An	100	2		1										23	2		76	1	12
21518         3253         61 24         91 0         2         2         2         1         0         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7         6         7	25150	49,6	13	35	10	33		1	3	5			0	10		100	1												33			100	2	41
213:8       213:8       21       1 <th1< td=""><td>25153</td><td>53,5</td><td>51</td><td>24</td><td>9</td><td>10</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td><td>8</td><td>Zr, St, Ant, Di</td><td>100</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td><td>2</td><td></td><td>27</td><td></td><td>5</td></th1<>	25153	53,5	51	24	9	10	2	2	2				0	8	Zr, St, Ant, Di	100			1	1									8	2		27		5
Bohrung Iffezheim           Bohrung Iffezheim           22200 100 00 11 100 120 11 100 120 11 100 120 11 100 120 12	25155	57,5 59,5	43	21	8	20	1	2	5	3		1	0	4	Di, Si Di, Ti, Si, Chld	100	2		1										12	3		23		3 5
Bohrung Hfiszheim           Bohrung Hfiszheim         Bohrung Hfiszheim         Bohrung Hfiszheim         Bohrung Hige         Bohrung Hi							1					1			, , , , , , , ,		-				1 1						- 1							
a         b<	Bohr	ung	lffe	zh	ein	n	r		1			r	I		П	Т																		
22382       1, 70, 68, 15, 6       4       3       2       1       0       83, CMd       100, 2       1       1       2       2       1       0       1       1       1       2       2       1       1       1       2       1       1       1       2       2       1      <	Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
22284         2229         222         20         0         0         1         0         0         1 <th< td=""><td>22382</td><td>1,70</td><td>68</td><td>15</td><td>5</td><td>4</td><td></td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td>0</td><td>53 48</td><td>Py Chid</td><td>100</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td>10</td><td>1</td></th<>	22382	1,70	68	15	5	4		3	2	2	1		0	53 48	Py Chid	100	2	1											2	2	1		10	1
2238       3.91       29       201       27       1       0       0       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1 <th< td=""><td>22384</td><td>2,92</td><td>27</td><td>20</td><td>10</td><td>29</td><td></td><td>0</td><td>5</td><td>8</td><td>1</td><td></td><td>0</td><td>35</td><td>Bi</td><td>100</td><td>0</td><td></td><td>L</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>27</td><td>2</td><td></td><td></td><td>1</td><td>18</td></th<>	22384	2,92	27	20	10	29		0	5	8	1		0	35	Bi	100	0		L										27	2			1	18
Description         Torigon         Description         Description <thdescription< th=""> <thdescription< th=""> <th< td=""><td>22385</td><td>3,91</td><td>29</td><td>20</td><td>11</td><td>27</td><td>1</td><td>5</td><td>2</td><td>5</td><td>1</td><td></td><td>0</td><td>47</td><td>Zr, Bi</td><td>100</td><td>4</td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td></td><td>-T</td><td>T</td><td></td><td>-</td><td>Ŧ</td><td>-T</td><td>26</td><td>1</td><td></td><td></td><td>10</td><td>2</td></th<></thdescription<></thdescription<>	22385	3,91	29	20	11	27	1	5	2	5	1		0	47	Zr, Bi	100	4		1		1		-T	T		-	Ŧ	-T	26	1			10	2
22388       61.0       11       8       2       1       4       5       100       2       1 <th1< th=""> <th1< td=""><td>22387</td><td>5,10</td><td>27</td><td>17</td><td>10</td><td>27</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>12</td><td>1</td><td>L</td><td>1</td><td>49</td><td>Bi, Si, Ant, Di</td><td>100</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>Ľ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>27</td><td>'</td><td>4</td><td></td><td>4</td><td>2</td></th1<></th1<>	22387	5,10	27	17	10	27	2	2	1	12	1	L	1	49	Bi, Si, Ant, Di	100	2				Ľ					1	1		27	'	4		4	2
22244         2501         20 <t< td=""><td>22388</td><td>6,10</td><td>16</td><td>13</td><td>8</td><td>42</td><td>1</td><td>4</td><td>5</td><td>8</td><td>3</td><td></td><td>0</td><td>38</td><td>Di</td><td>100</td><td>4</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>40</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td>9</td><td>2</td></t<>	22388	6,10	16	13	8	42	1	4	5	8	3		0	38	Di	100	4	1											40	2	1		9	2
22380       9.80       52       16       4       1       5       4       0       37       Di.A.n.in       100       1       1       1       1       1       0       4       3         22301       115.03       21       14       1       38       1       0       18       1       38       1       100       1       1       1       18       18	22232	8,50	30	20	9	32	1	2	2	3	1		0	44	f. Hbl, Bi	100	1	1	1								1		29	- 2	- '		7	4
24390       111       30       1       1       1       30       100       2       1       1       20       1 <t< td=""><td>22389</td><td>9,80</td><td>52</td><td>18</td><td>5</td><td>10</td><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>3</td><td></td><td>0</td><td>37</td><td>Di, An, Ant</td><td>100</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>10</td><td>0</td><td>4</td><td></td><td>4</td><td>0</td></t<>	22389	9,80	52	18	5	10	4	1	3	4	3		0	37	Di, An, Ant	100	1										1		10	0	4		4	0
22382       12.50       26       21       13       8       4       1       36       An       100       1       .       1	22390	11,50	32	14	9	27	3	4	5	4	1		0	30 41	Bi, Sp	100	2	2									1		29	0 5	-		4	4
2438       1430       1       2       1       0       45       100       1       1       1       4       3       2       1       1       1       1       4       3       2       1       1       1       4       3       2       1       1       1       4       3       2       1       1       1       4       3       2       1       1       4       2       1       1       4       4       1       1       4       4       1       1       4       4       1       1       4       4       1       1       4       4       1       1       4       4       1       1       4       1       1       1       4       1       1       4       1	22392	12,50	26	21	13	20	2	1	3	8	4	1	1	36	An	100		1								1			19		1		4	7
22245       16.50       43       15       6       1       1       2       0       42       50, 04       00       1       1       1       0       10       0       1       1       1       0       10       1       1       1       0       10       1	22393	14,50	14	22	8	38 51		1	5	6	2	1	0	35 40	Px, Si	100			1								1		35 49	2	1	-	13	9 12
2223       18.02       41       23       8       10       2       4       4       2       0       42       24       10       1	22245	16,50	43	15	6	19	1	2	5	8	1		0	19	Ti	100	2												16	2	1		11	2
22365       21:50       17       23       10       33       5       8       1       0       40       Px T       100       21       1       28       5       9       13         22387       22.02       32       51       3       1       1       0       050       Si, Px, Px       100       1       1       1       16       3       7       2       2       5       2       2       2       3       1       1       10       05       N       N       N       1       16       4       2       2       2       2       2       1       3       N       1       40       N, Px, N, Dx, SN, Bi       100       1       1       1       16       4       2       2       1 <td>22253</td> <td>18,02</td> <td>41 30</td> <td>23</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>2</td> <td></td> <td>0</td> <td>42</td> <td>Si, Chid Bi</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>10 14</td> <td>2</td> <td>1</td> <td></td> <td>8 5</td> <td>6 5</td>	22253	18,02	41 30	23	8	10	2	3	5	4	2		0	42	Si, Chid Bi	100	1	1	1										10 14	2	1		8 5	6 5
2239       22.60       22       22       2       5       2       2       5       2       2       5       7       2       2       2       5       7       2       2       5       7       2       2       5       7       2       2       5       7       2       2       5       7       7       2       2       5       7       7       7       2       2       7       7       2       2       7       7       7       2       2       5       7       7       1	22395	21,50	17	23	10	33		3	5	8	1		0	40	Px, Ti	100	2	1											28	5			9	13
22392       23.35       37       27       10       20       2       3       1       1       38       Px, 2r, Ru       100       1       1       1       16       4       2       2       3       1       1       40       50       1 <td< td=""><td>22397</td><td>22,20</td><td>32</td><td>25</td><td>12</td><td>18</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>0</td><td>36</td><td>Di, Si, Px, Sp Si</td><td>100</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>21</td><td>2</td><td>2</td><td></td><td>5</td><td>2</td></td<>	22397	22,20	32	25	12	18	1	3	1	1	1		0	36	Di, Si, Px, Sp Si	100	3	1	1										21	2	2		5	2
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22399	23,35	37	27	10	20		2	3				1	38	Px, Zr, Ru	100	1	1								1			16	4			2	4
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22400	24,20	36 27	28	10	19		2	4	3	5		0	20	St, DI, SI, BI	100	1			1						1			19	4	2	-	3	14
22404       26.40       37       21       0       1       3       10       3       0       41       PX, AN, D, Sp       100       1       1       1       3       16       1       3       16       1       3       16       1       3       16       1       1       1       21       1       21       1       21       1       1       10       2       1	22402	25,20	25	16	18	28		1	7	4	1		0	17	St	100	1											1	24	3	1		2	14
22406       27.50       27       1       5       3       5       2       0       41       100       2       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       1       1       1       0       1       <	22403	26,40	37	21	6 8	19 21		1	3	10	3		0	41 36	Px, An, Di, Sp Bi, Di, Chld, Sp	100	1												18		1		3	13
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22405	27,50	27	21	9	27	1	5	3	5	2		0	41		100	2	2		1									24	2	1		0	10
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22406	27,90	48	13	18 9	14		3	2	11	1		0	41	viel Ru!	100	3	1											11 10	2	1		4	5 10
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22408	28,90	38	17	19	13		5	2	6			0	30	Du Du O	100	3			2								1	11	2			1	1
22412       30.90       20       16       8       8       1       1       15       1       0       35       100       1	22409	29,07	45	22	15	29		1	2	6	1		0	23	St	100	1	1			0					0			20	2	6	-	5	7
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22412	30,90	20	16	8	38		1	1	15	1		0	35		100	1												38				12	0
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22413	31,15	35 36	15	13	25 25		2	4	2	1		0	21	Px	100	2												25 25			-	5	2
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22255	31,80	29	13	17	27		2	5	5	2		0	37	Du Di	100	1	1											27		4		40	13
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22250	32,20	29	14	16	18		2	6	11	2		2	32	Di	100	2									2			18		- '		12	15
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22257	32,90	46	8	11	20		3	3	8	1		0	30	Si, Gl	100	3												20				4	2
22246       35,50       41       16       9       1       1       6       1       0       19       5       6         22416       36,90       65       11       6       9       1       1       6       1       0       19       5       6         22417       38,20       32       24       9       19       0       3       33       0       0       25       100       1       1       0       3       2       20       1       1       2       10         22261       39,20       32       24       9       19       0       3       13       0       25       100       1       1       1       2       20       1       1       2       10       4         22418       40,40       45       25       10       8       1       2       6       1       2       8       1       6       1       2       18       1       14       2       2       8       1       16       1       16       14       16       14       16       14       16       14       16       16       16       16       16 </td <td>22258</td> <td>34,40</td> <td>35</td> <td>25</td> <td>8</td> <td>20</td> <td></td> <td>2</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>1</td> <td></td> <td>0</td> <td>17</td> <td></td> <td>100</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>4</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td>	22258	34,40	35	25	8	20		2	4	5	1		0	17		100	1			1								1	10	6	4		1	3
122471       36,20       30       10       0       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       1       10       10       10       1       10       1       1       10       1       1       10       1       1       10       1       1       10       1       1       10       1	22246	35,50	41	16	9	19		4	3	6	2		0	25	Si An Dy	100	1	3											19				5	6
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22410	38,20	30	20	7	22		2	4	10	2		3	30	Si	100	1	1								3	2		20	1	1		2	10
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	22261	39,20	32	24	9	19		0	3	13	1		0	25		100	1									2			19				0	4
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22242	40,40	45	29	12	8		1	4	6	1		2	23		100	1									2	2		8				1	6
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22419	41,10						0	41	46	2	9	2	9	Xe	100						1	2	1								18	1	E
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22420	44,50						0	43	41	2	15	4	20	Br	100						1	2	1								39	1	5
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	22422	47,60		1				0	45	41	2	11	2	27	Ru, Xe	100						1	2	1			1					41	1	10
22425       51,80       0       27       54       3       13       3       29       Br       100       3       23       22       6         22426       52,90       0       36       47       15       2       30       100       1       1       56       6       5         22427       54,55       0       53       31       12       1       27       100       1       1       28       5       3         22428       56,50       10       8       1       0       32       12       0       31       Br       100       1       1       28       5       3         22428       56,50       10       8       1       0       37       12       0       31       Br       100       1       1       5       14       5         22429       57,75       1       0       37       46       4       10       2       36       100       1       1       5       14       5         22431       60,80       1       1       0       28       100       4       2       4       4       1       225	22423	49,90						0	54	32	2	9	2	23	Мо	100	-						∠ 1			+	4					55	31	63
122420       52,90       1       1       1       1       1       1       1       1       56       6       5         22427       54,55       0       53       33       1       12       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       28       5       3         22427       54,55       1       0       32       37       12       0       31       Br       100       1       1       0       28       5       3         22428       57,75       1       0       37       46       4       10       2       36       100       1       1       1       0       14       5         22438       60,80       1       1       0       28       6       29       100       2       4       4       1       14       5         22569       61,60       0       45       42       13       0       45       Ep       100       1       4       62       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2<	22425	51,80						0	27	54	3	13	3	29	Br	100							3	4								22	_	6
22428       56,50       10       8       1       0       32       37       12       0       31       Br       100       1       1       56       11       31         22429       57.75       1       0       37       46       4       10       2       36       100       1       1       1       56       11       31         22429       57.75       1       0       37       46       4       10       2       36       100       1       1       1       14       55         22430       59.30       1       2       0       27       53       3       8       6       29       100       2       4       4       1         22431       60.80       1       1       0       28       56       1       7       6       28       100       4       2       2       2       2       2       2       2       2       3       8       2       257       3       8       6       29       100       4       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       3       8 </td <td>22426</td> <td>52,90 54,55</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td> </td> <td></td> <td>0</td> <td>36 53</td> <td>47</td> <td>1</td> <td>15</td> <td>2</td> <td>30</td> <td></td> <td>100</td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td><math>\vdash</math></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td>+</td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td>_</td> <td>_</td> <td>56 28</td> <td>б 5</td> <td>5</td>	22426	52,90 54,55						0	36 53	47	1	15	2	30		100	-		-		$\vdash$		1	1		+	+			_	_	56 28	б 5	5
1       1       0       37       40       4       10       2       36       100       1       1       1       14       5         22430       59,30       1       2       0       27       53       3       8       6       29       100       2       4       4       1         22431       69,80       1       1       0       28       100       4       2       2       4       1         22569       61,60       0       0       45       42       13       0       45       Ep       100       4       2       62       3       3         22570       62,30       1       0       35       54       1       8       2       4       100       1       1       62       3       3         22570       62,30       1       0       35       54       1       8       2       4       100       1       1       62       3       3         22571       62,40       0       39       44       2       12       3       16       Ep       100       1       2       49       10       2	22428	56,50	10	8		1		0	32	37		12	0	31	Br	100						_							1			56	11	31
22431       60,80       1       1       0       28       56       1       7       6       28       100       4       2       2       2       2       13         22569       61,60       0       45       42       13       0       45       Ep       100       4       2       62       3       38         22570       62,30       1       0       35       54       1       8       1       24       100       1       62       3       38         22570       62,40       0       39       44       2       12       3       16       Ep       100       1       2       49       10       26         22572       63,40       1       0       46       38       12       3       14       Gr, Xe, Ru       100       2       1       38       2       42         22573       64,20       1       1       2       0       57       31       7       1       20       100       1       1       4       2	22429	57,75 59,30		1	1			0	37	46 53	4	10 8	2	36		100	-			-		1	1 4			+	+						14	5
22570     62,30     1     0     45     12     13     0     45     12     100     1     62     3     38       22570     62,30     1     0     35     54     1     8     1     24     100     1     1     16     3       22571     62,40     0     39     44     2     12     3     16     Ep     100     1     2     49     10     26       22573     64,20     1     2     0     57     31     7     1     20     100     1     1     1     42	22431	60,80	1		1			0	28	56	1	7	6	28	<b>F</b> -	100						4	2										2	13
22571         62,40         0         39         44         2         12         3         16         Ep         100         1         2         49         10         26           22572         63,40         1         0         46         38         12         3         14         Gr, Xe, Ru         100         2         1         38         2         42           22573         64,20         1         1         2         0         57         31         7         1         20         100         1         1         0         4         2	22569	62,30	1			-	-	0	45	42 54	1	13	1	45	l⊏h	100	-				$\vdash$		1			+	+					02	3 16	<u>ა</u> კ
22372         03,40         1         0         40         38         12         3         14         Gr, Xe, Ru         100         2         1         38         2         42           22573         64,20         1         1         2         0         57         31         7         1         20         100         1         1         1         4         2	22571	62,40						0	39	44	2	12	3	16	Ep	100						~	1	2								49	10	26
	22572	64,20	1	1	2			0	46 57	38		12	3	20	ט, אפ, אט, אט, אט, אפ, אט	100	-		-		$\vdash$	2		1		+	+			_	_	აგ	4	42

#### Fortsetzung Bohrung Iffezheim

						-																											
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak		Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
22574	64,90	7	2	5			0	31	42	3	10	0	31			10	0															16	51
22575	65,20						0	55	35	1	7	2	16			10	0					1	1									9	1
22576	65,95	1	2	2			0	32	51	1	9	2	26	And, Bi		10	0					1	1									6	38
22578	67,50						0	30	55	1	9	5	17			10	0					2	3										5
22579	68,20	1		3			0	35	53	1	7	0	34			10	0															14	19
22580	69,90		2				0	16	64	3	12	3	24			10	0					3										13	1
22581	70,60	1	1				1	51	32	1	11	2	38			10	0			1			1	1								5	5
22582	2 72,10	5	3	1	2		0	54	22	2	9	2	24	St		10	0						1	1				2			45	11	33
22583	72,90	12	12	3	3		1	28	24	1	15	1	26	Br		10	0			1			1					3			40	5	14
22584	73,50						0	55	25		16	4	23	Br		10	0					1	3								48	6	21
22585	5 74,50						0	9	79	1	10	1	12			10	0					1											
22586	5 75,50	2					0	61	25	1	10	1	22			10	0						1								57	8	49
22587	75,95			1			0	43	41		11	4	29			10	0				1	1	2									4	4
22588	3 77,20						0	28	63		7	2	31			10	0					1		1								3	5
22589	78,10						0	36	52	1	10	1	20			10	0						1										7
22590	82,50						0	44	35	4	14	3	29			10	0					2	1									23	13
22591	83.50			2			0	28	67	2		1	32	Ant		10	0					1	Т	T	T					1 -			1

### Bohrungen Rheinstetten

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbi	Aggregat	Quarz	Glimmer
SP1																																	
22922	4,0	52	20	5	7	8	3	1	3	1	0	0	17		100	1	1	1										6		1	57		3
22924	9,0	31	22	10	30	2	2	3	0	0	0	0	11	Zr, Ru, Di	100	2												27	3		138	5	1
BK1																																	
22904	3,0	42	19	11	19	1	5	2	0	0	0	1	11	Di, Si	100	2		3							1			17	2		67	5	1
22906	9,0	28	20	8	28	10	2	4	0	0	0	0	4	Ru	100	2												25	2	1	85	3	1
22909	15,0	25	30	4	28	1	0	6	5	1	0	0	15		100													28			37		9
22911	21,0	34	25	10	18	7	3	1	0	0	1	1	13		100	1	1	1							1			16	2		86	1	5
22914	27,0	43	23	5	21	1	1	2	3	1	0	0	9	Di, An	100	1												20	1		44		4
22916	34,0	34	26	3	23	0	1	2	9	1	0	1	6	An, Mo	100	1									1			22	1		44	6	18
22917	37,0	55	19	6	12	0	2	3	3	0	0	0	7	Px, An, Chld	100	2												12			36		1
22918	40,0	37	26	12	19	0	2	1	2	1	0	0	10	Chld	100	1			1									19			63		4
22920	47,0	42	20	6	24	1	2	2	3	0	0	0	3	Ru, Di, Chld	100	2												24			38	_	1
22921	53,0	36	23	5	31	0	2	2	0	1	0	0	11	Zr, Px, An	100	2												31			53	1	4

#### Bohrungen Eggenstein

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit C	Glaukopnan	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Bk1a																														· · · ·		
25398	1,5	50	18	10	15	1	3	2	1			0	16		100	1	1		1								14	1		56		
25401	7,5	34	19	14	17	7	3	4			2	0	5	Ru	100	2	1										15	1	1	52		
25402	13,5	56	18	7	12	1	2	4				0	20	And, Si	100	2											11	1		69		
25407	19,5	54	20	9	13	1	1		2			0	18		100			1									12	1		44		
25405	26,5	46	17	8	19		3	3	4			0	14	Px	100	1	1		1								16	3		45		
25397	29,5	51	16	6	20	1	2	1	2		1	0	15	Di	100	2											17	3		61		
24530	30,0						0	47	26	3	24	0	58		100																	
25399	31,5	5			2		0	67	10		16	0	21	St	100												2			60		
Bk2a																																
25364	4,5	58	21	5	10		3	2			1	0	10	Zr, Ru, Px	100	2		1									10			50		
25361	12,5	17	24	16	34	6	2	1				0	15	St	100			2									33	1		76		
25362	24,5	31	23	9	31	1	4	1				0	12	Zr, Si, Chld	100	2		2									30	1		63		
24531	29,4	31	26	3	32	1	0	2	1	1	1	2	31		100					2							20	9	3			
24532	30,2	34	34	3	24		0	2	1		1	1	11		100					1							22	1	1			
24533	30,4	2	1				0	37	37		23	0	60		100																	
Bk3a																																
24534	34,0	1			2		0	33	50	1	13	0	40		100												2					
Bk4a																																
24535	32,5	42	20	4	3		2	17	7	1	4	0	40		100	1			1								3					
Bk6a																																
24536	39,5	7	2	1			0	37	33	1	19	0	57		100																	

### Anhang B

#### Bohrung Karlsruhe B1

			r	-	1	r	1	r		-	1	r r			1	1	1	<u> </u>		- T	T		- T	-	1	1	1					
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Glaukonhan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
22648	0,5	56	21	6	4	1	3	4	2	2		1	43	br. Hbl, Glauk.	100	3							1				3		1			
22650	2,5	31	27	6	10	18	4	3				1	59	Cht, Sp	100	4								1			7	3			2	
22652	4,5	52	24	2	10	3	1	4	1	3		0	42	And, Bi	100	1											7	2	1			1
22654	6,5	21	22	4	38		2	4	7	2		0	47	Px	100	2											33	4	1		3	10
22656	8,5	29	32	3	23	2	2	5	2	1		1	49		100	2								1		1	20	3			1	12
22658	10,5	30	25	8	29		2	4	1	1		0	26	Di, Px, And	100	2											25	3	1		4	2
22660	12,5	23	23	3	43	2	3	1	2			0	38	Br, Chlt	100	1	1	1									39	3	1		1	7
22662	14,5	33	23	4	30	1	6	1	2			0	44	br. Hbl, Bi	100	4	1		1								30				3	13
22664	16,5	32	35	3	20	1	2	3	3	1		0	44	Di, Glauk.	100	1		1									15	3	2		2	3
22666	19,5	39	29	2	24		3	1	1	1		0	37	Px	100	2		1									22	1	1		2	3
22668	21,5	45	21	9	19		2	4				0	26	Zr, Px, Chld	100	2										3	15	4			1	4
22670	24,5	26	25	8	31		1	4	5			0	46	Ru, Px	100	1											23	7	1		2	10
22673	27,5	23	32	5	30	1	1	3	4	1		0	43	Dis	100	1											26	4			2	-
22675	30,5	29	24	5	34	1	2	1	3	1		0	34	Chlt, And	100	2											25	7	2		3	
22677	32,5	39	26	3	28		1	2	1			0	39	Ru, Px, Ds, And, Si	100	1										1	26	1	1		5	5
22679	34,5	19	31	6	40		0	2	2			0	45		100												34	3	3		1	10

#### Bohrung Karlsruhe B2

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
22471	0,5	43	19	8	11	2	2	4	7	4		0	39	Di, Gl	100	1			1							1	9	1	1		9	2
22432	1,5	43	25	7	11	2	3	4	3	2		0	40		100	2			1								8	1	2		3	1
22435	4,5	24	25	5	31	1	3	2	7	1	1	0	37	Di, Si, An	100	3											26	1	4		4	
22438	7,5	39	21	7	17	3	6	3	2	2		0	43		100	3	1	1	1							2	14	2	1		6	2
22440	9,4	12	27	13	42		3	2		1		0	30	Zr, Chlt	100	2			1								35	5	2		8	5
22442	11,5	41	16	3	27	3	2		5	2		1	31	Tu, Di, An	100	2								1			24	1	2		4	1
22445	14,5	34	33	6	22	1	1	1	2			0	34	f. Hbl, Ru, Chlt, Di	100	1											16	6			1	2
22448	18,5	38	23	9	18	1	1	3	5	1	1	0	46	Chlt, An, Bi	100	1											14	2	2		2	3
22450	20,5	41	19	10	20	1	1	1	7			0	45	Di	100	1											14	4	2		4	2
22452	22,5	40	21	5	27	2	0	3	1			1	43	Ru, St, Chlt	100							1					21	4	2		7	3
22455	25,5	28	36	8	23		2		2			1	42	An, Tu, Gl, Br	100	1			1						1		19	3	1		2	8
22456	26,5	37	22	15	16	1	3	5	1			0	55	Di, An	100	3											7	8	1		5	1
22457	27,5	15	33	8	37		3	2	2			0	38	Ru, Px, Di, Bi	100	3										1	30	6	1		2	2
22473	28,5	29	27	6	29		3		6			0	50	Tu, Di, Br, Si	100	3										1	24	2	3		2	2
22459	29,5	17	25	13	36	1	4	4				0	66	Px	100	2	1	1								1	31	3	2			
22460	30,5	27	25	8	33		1	4	1	1		0	45	St, GI	100	1	1									1	30	2	1		4	2
22211	34,5	21	16	8	46		2	2	1	2	1	1	53	Px, An	100	2							1				37	6	3		2	32
22213	37,5	26	29	11	25		3	2	3			1	39		100	1	1		1			1				11	22	3			3	4
22214	39,5	35	22	7	27	1	3	2	3			0	30	GI	100	2			1							2	24	2	1		3	13
22216	41,5	42	19	7	21	2	3	4	2			0	36	Di, Ru, Bi	100	2			1							1	18	1	2		3	
22219	44,5	39	23	5	30	3	0					0	67	f. Hbl, Bi, An	100	1										1 4	23	7			7	19
22220	45,5	34	18	6	36	2	1	3				0	37		100	1											25	7	4		6	14
22221	46,5	38	28	6	18	1	3	1	2	2		1	32	Px, Si, An, Bi	100	3						1				1 2	12	3	3	1	2	3
22461	47,5	37	27	4	24	2	1	1	4			0	42	Br, Di, An, Ru	100	1										1	20	3	1			5
22222	48,2	40	31	5	16		1	4	3			0	30	Ru	100	1											11	4	1			1
22462	49,5	36	20	3	10		3	15	9	2	1	1	43		100	3							1				10				12	2
22223	53,5	59	19	5	8		6	2	1			0	30	f. Hbl., Di	100	5			1								7	1		1	11	1
22224	54,5	45	26	5	17		4	2		1		0	32	Zr	100	4										1	14	1	2	1	23	10
22225	55,5	48	28	6	11		1	2	4			0	23	Ru, St, An, Di	100				1							1	9	2		1	2	12
22464	56,5	32	34	9	19		2	3	1			0	34	An	100	1	1									1	17	1	1		2	15
22226	56,7	43	25	8	20		1		3			0	39		100	1										2	18	2			1	1
22227	57,5	23	30	3	30		2	3	8	1		0	39		100	1		1									26	4			7	7
22228	58,5	20	17	9	47		5	2				0	30	Хе	100	4			1							1	38	8	1		12	6
22229	61,5	35	26	3	21		2	6	7			0	70	An	100	2											16	4	1		1	2
22231	63,5	35	30	7	21		0	3	3	1		0	35	Chlt	100	1											19	2			20	1
22232	65,5	24	39	3	29		0	3	2			0	20	Ru	100	1											25	1	3		2	5
22234	67,5	26	27	4	34		2	2	3	2		0	27	Di, Px	100	2										1	30	2	2		3	5
22235	69,5	42	27	3	12		1	5	7	3		0	44	Px, Chlt, Bi	100	1	1	1	1							1	12				5	17
22236	71,5	37	27	5	17		2	4	7	1		0	30	Chlt	100	2		1	1								14	3			3	1
22237	73,2	34	20	7	29		1	2	5		1	1	30	Ru, Chlt, Chld, Bi	100	1	1	1	1			1					25	3	1		1	5
22238	75,5	26	14	1	20		1	22	14	1	1	0	63	St	100	1	1	1	1								15	2	3		26	
22239	77,5	16	2		13		2	19	40	2	1	5	61	An	100	2		1	1		2	2	1				8	2	3		13	2
22240	78.5	17	5	3	8		1	47	13	-	4	2	70		100	1	1	1	1		1	1					4	4			50	1

### Anhang B

#### **Bohrung Kronau**

	· J			-		1										1			- 1		1	1	1	Т	Т		1					
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24295	2,5	41	22	7	21		1	3	3			2	27	Ru, Di, Si, Sp	100	1					1			1			17	4		35		
24296	3,7	40	23	8	15	4	2	6	2			0	30	Ru, Px, Mo, Chld	100	1		1								1	14	1		43		
24297	7,2	41	25	7	21	2	1	1	1			1	22	Ru, Gl, Di, An, Sp	100	1								1			20		1	33		2
24298	11,7	24	20	5	31	7	10	2		1		0	38		100	4	1	2	3								27	3	1	63		1
24326	13,3	25	28	5	37		3		2			0	19	Di, Px	100	2			1								35	2		67		
24299	15,4	33	17	4	41		1	1	3			0	12	Ru, Di, Sp	100	1											39	2		46		
24300	17,5	31	21	4	32		5	1	4			2	14	Di, Px	100	3			2	1	1						31	1		55		6
24301	21,5	6	32	4	50		3	3	2			0	10	f. Hbl, Ant, Di, Ti, Px	100	3											46	4		76		14
24302	27,5	37	22	2	32		5	1	1			0	23	f. Hbl, Ru, Px, Di, Chld, A	100	4			1								31	1		40		2
24303	32,5	57	27	6	6		2	2				0	13	Zr, Ru, Di, Px	100	2											5		1	22		
24304	35,5	27	29	4	31	1	2	2	1	3		0	22	f. Hbl, Di, Bi, Ti	100	2											29	2		61		8
24305	38,5	25	24	6	35	1	1	4	4			0	12	Ru, An	100		1										31	1	3	58		13
24306	41,5	26	20	3	43	1	2	2	3			0	18	Ru	100	2											38	3	2	37		6
24307	43,5	35	27	5	31		1		1			0	24	St	100		1										27	3	1	61		10
24308	45,5	31	26	5	30		3	2	2	1		0	12	Di, Px, An	100	3											27	1	2	31		4
24309	46,5	37	19	5	29	1	2	1	6			0	17	An, Chld	100	1	1										27	1	1	44		4
24310	49,5	48	21	8	19		1	3	0			0	25	Px, Chld	100	1											17		2	42		3
24311	51,5	27	27	8	30		1	5	2			0	24	Ru, Di, An, Px, Si	100	1											27	3		43		4
24312	55,5	34	31	9	19	1	2	4	0			0	30	An, Di, Bro	100	2											19			56		11
24313	59,5	50	25	4	11		3	2	5			0	27	Chld, Px, Si, Gl	100	2	1										10		1	35		2
24314	63,2	36	34	5	15		1	2	6	1		0	22	Di, An, Chld	100				1								12	1	2	29		2
24315	66,2	25	40	4	17		3	3	6	1		1	15	Px, Sp	100	1	1		1					1			17			50		4
24316	68,5	47	22	3	20	1	3		4			0	24	Tu, Ru, Chld	100	1	1		1								18	2		41		2
24318	72,5	39	32	5	18		2	4				0	19	Zr, Ru, St, Px, Di, Chlt, C	100			2									16	1	1	31		3
24319	76,5	40	32	4	17		2	2	1		2	0	16	An, Chld, Px, Chlt	100	2											16		1	35		17
24320	79,2	50	30	5	10		2	3				0	12	Zr, Ru, Px, Chld, Sp	100	2											10			29	1	5
24321	84,5	40	26	6	17		4	4	3			0	19	Ru, Si, Px, Chlt, Chld	100	3	1										13	1	3	27		2
24322	87,5	53	17	6	13		3	1	5			2	25	Px, Si	100	1	1	1		1				1			12		1	44	1	7
24323	90,5	38	30	5	18		3		3	2		1	20	Di, Si, Px	100	1		2						1		1	17	1		41		6
24324	93,5	32	33	6	18	1	6		3	1		0	20	Chld, Gl, Sp	100	6											16	1	1	59		12
24325	97,5	45	28	4	9		6	3	5			0	21	Ru, Di, Chld, Si, An	100	6											9			20	1	3

#### **Bohrungen Bienwald**

						-																									
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Bohru	ıng B	;																													
24064	2,0							67	29	1	3	0	43		100															41	
24066	30,0							63	30	2	5	0	55		100														2		
24067	47,0							70	23		7	0	50		100														6	13	
24068	61,0							71	20	2	7	0	60		100														11	5	
Bohru	ıng C	;																													
24074	3,0	6			2			50	35	4	3	0	40	Ep, St, Gli	100														20	18	
24075	4,0							68	27	5		0	38		100														7	50	
24077	8,0							67	28	1	4	0	40		100																
Bohru	ıng G	ì																													
24070	9,0	1	2		1			37	46	8	5	0	45	Br	100											1			16	2	
24073	53,0							62	27	2	8	1	53	St, Gr, Xe	100					1									26	7	

## Bohrung Bienwaldbrunnen (Archiv LGB Rheinland-Pfalz)

Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Staurolith	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Apatit	Opak	Bemerkung	Summe
2,1							25	63	3	8				99
6,5							28	52	3	16				99
9,5							15	49	4	32				100
12,5							24	42	4	30				100
15,5							20	43	2	35				100
20,5							27	50	4	19				100
28,5							12	47	1	40				100
40,5							27	34	1	38				100
54,1	3	5					14	48	1	34				105
55,5	20	3		10		1	15	27	1	18	3			98
62,0	30			7			10	40	3	5	2			97
67,0	9	3		1			3	54	2	30	1			103
74,0	22			5			9	38	2	18	3			97

### Anhang B

Sand	grut	be l	Rie	ds	eltz	Z																											
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24079								50	39	1	10		28	Br	100																26		
24080								55	26	2	17		30		100																73		
24081								49	35	1	15		25	Xe, Mo	100																41		
24083								61	26	1	12		23	Мо	100																44		

#### Bohrung Schwetzingen F8/3

robe	eufe	iranat	pidot	lterit	ornblende	yroxen	letamorphe	urmalin	irkon	util	natas	eltene	pak	emerkung	umme	taurolith	isthen	ndalusit	illimanit	itanit	lonazit	enotim	rookit	hioritoid	iotit	hlorit	r. Hbl	r. Hbl	НЫ	ggregat	luarz	limmer
L 24201	F	50	ш 22	•	10	•	2	-	N	œ	◄	S	0	<b>D</b>	<b>S</b>	Ω ₄		◄	S	-	2	×		5 0		0	9	٩	<u>ب</u>	<b>∢</b>	0	U
24201	2	00	22	10	10	3	1	1	1			0	22	DI Du Si Dy Ko2	100	1		1							-		10	1	1	42	1	2
24202	с 0	40	23	10	12	5	5 1	2	1	1		0	29	RU, SI, PX, RU?	100	4		1							-		10	2		09	- 2	3
24203	0	40	21	7	13	0	10	0	1	1		0	20	An, Di, Chiu, Chiu	100	1	2		2								24	3		75	2	1
24204	9	10	30	5	35	2	10	2	1			0	- 11		100	0	2	2	2	4							34	1		02	- 1	-
24205	13	19	20	7	30	1	0	1	1			1	10	D:	100	3		2	1	1							30	4		00	7	0
24207	20	20	25	/	30	3	0	3				0	13		100	1											30	1		93	- 1	5
24206	20	20	29	0	29	0	1	1				0	21	DI, Chid	100	1		2									29	4	4	70		0
24209	39	37	20	0	25	1	2	2				0	12	Zz Chid	100	2	2	2									23	1	1	<i>[]</i>	4	0
24210	40	22	35	1	10	1	5 4	3	0			0	13		100	3	2										12	4		22	- 1	F
24211	54	32	30	11	10	1	1	4	2			1	17		100	1	1									2	17	1		32		5
24212	59	40	15	11	15	1	4	2	4			0	17		100	3	1									2	12	3		03		5
24213	69	36	23	6	29		2	4				0	10	An	100	2									_		25	4		51		2
24214	/1	34	23	6	27	2	2	2	4			0	18		100	2	~								_		24	3		54	2	5
24215	85	27	24	3	36		3	4	3			0	12	Chid, Chit	100		2		1							2	35	1		62		8
24216	91	34	30	8	23		1	2	2			0	12	Di, An, Px	100	1											21	2		53		1
24217	105	38	31	5	16		5	4	1			0	15	Chid	100	2	2		1								16			40	10	2
24218	111	48	19	6	18	1	5	2	1			0	9	Di	100	4		1									18			44	1	2
24219	114	31	33	6	21		4	3	1	1		0	12	Chit	100	1	1	1	1							3	20	1		52	1	11
24221	118	43	23	7	23	1	2		1			0	8	Tu, Di	100	1		1									21	2		42	4	2
24222	129	22	33	7	26		6	3				3	16	Zr, And, Chlt	100	4	2			1				12	2		26			52	3	6
24223	139	36	29	8	23	1	1	1	1			0	13	Chld, Di, Chlt	100	1										1	21	2		46	1	19
24224	142	39	25	7	20		2	6	1			0	9	Chld, Di, Chlt	100	2										2	17	3		40	3	7

### Bohrung Schwetzingen F10

-	· J							-																								
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit Menazit	Xenotim	Korund	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24238	3	52	20	5	12	3	4	3	1			0	17	Ru	100	3		1									12			61		
24239	5	23	25	13	25	6	3	4		1		0	28	An	100	3											24	1		133	1	1
24240	9	20	18	9	38	6	6	2				1	9		100	3	1	2				1					35	3		129	-	1
24242	16	28	20	10	28	9	3	2				0	8	Di	100	2		1									26	2		110	2	1
24243	31	21	32	7	34	3	2					1	8	Tu, An	100	1			1	1							33	1		102	-	3
24244	38	40	20	9	23	2	1	3	2			0	11	Chld, Di	100			1									21	2		68	1	3
24245	44	52	23	7	14		0	3	1			0	16	Px, Di	100												13	1		49	2	4
24246	47	18	21	9	42	4	3	3				0	21		100	1	1	1									41	1		107		3
24247	52	47	23	9	16	2	1	2				0	28		100			1									16			71		
24248	57	62	15	4	7	2	4	3	1			2	23		100	3	1							1			6	1		50	1	1
24249	62	39	20	7	26		5	1	2			0	18	Px, An, Chld	100	4	1										24	1	1	75	1	6
24250	66	23	21	10	39		6	1				0	14		100	5	1								-	14	39			125		4
24251	69	45	26	4	19	1	1	1	3			0	22	Ru, Di, Ti	100			1									18	1		36		2
24253	73	23	29	7	39		1	1				0	12	Px, Di	100	1											39			122		20
24254	76	20	35	6	33		1	2	3			0	7	Px, Si, Di	100	1											33			45		14
24270	82	41	24	9	21		2	1	1			1	20	Px, Ti	100	1		1		1							18	3		51	1	3
24255	92	41	24	3	19		4	4	4	1		0	13	An, Di, Px	100	4											19			34		3
24257	98	53	17	9	13	1	3	4				0	14	Zr, Si	100	2	1									1	11	2		65		1
24258	103	48	17	5	23		4	2	1			0	13	An, Si	100	3	1										21	2		18		5
24259	107	43	21	7	21	1	4	2	1			0	20	Di	100	3		1								6	20	1		58	1	2
24260	109	44	25	4	16		4	3	3	1		0	8	Di	100	4											16			36		1
24261	112	37	23	2	27	1	3	4	2	1		0	11	Di, An	100	2			1								27			48		5
24262	119	49	20	2	21		3	1	2	1		1	16	Di, Bi	100	3										5	21			31	1	4
24263	121	56	18	2	15		1	7				1	8	Zr, Ru, Chld, Di	100			1			1						15			45	4	13
24264	124	40	33	3	17		2	4	1			0	9	An, Si, Chld	100	2											16	1		46		6
24266	132	63	18	1	8		3	4	2			1	12	An	100	3							1				8			28		3
24268	142	47	24	3	17		1	7	1			0	13	Di, Si	100	1										5	15	1	1	54		6
24269	145	45	32	6	11		1	2	3			0	18		100	1										7	10	1		53		5

### Anhang B

#### Bohrung Speyer-Nord

			-																														
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
25173	75,9						0	34	56		10	0	29	Ep, gr. Hbl, Br, Ti, Mo	100																41	4	
25174	79,1						0	74	18	1	6	1	41	Gr, Ep, Mo	100							1									37	3	
25175	80,1						0	64	20		15	1	53	gr. Hbl	100						1										50	11	
25176	81,1						0	39	49		12	0	25		100																23	1	
25177	82,2	1					0	29	62	1	7	0	24		100																31	5	
25178	83,3						0	48	29		23	0	40	Ru, Br	100																60	44	
25179	84,3	5	9		3		0	22	44		17	0	81		100													3			43	5	2
25180	85,8	0	3		1		0	57	10	1	26	2	49	Gr	100								2					1			68	8	1
25181	86,7	32	34	6	15		3	4	5			1	20	br. Hbl, Ant, Gl	100	2	1								1			15			28		20
25182	87,3	33	30	7	15		3	4	8			0	22	Di, Chlt	100	2			1									14	1		40	1	10
25183	88,0	34	36	7	16		0	3	3			1	13	Di, Chlt	100					1							3	15		1	55		1
25184	89,2	38	28	8	15		3	5	3			0	24	Di, Chld	100	2			1									13	1	1	52	3	11
25185	90,0	43	33	4	14		1	2	2			1	15	Di, Chld, Px	100	1						1						13	1		52	2	7
25186	91,2	32	26	6	28		1	5	2			0	29	Ru	100	1												26	1	1	73	2	15
25187	101,9	20	33	3	37		3	2	2			0	6		100	1	2										1	35	2		47		80
25188	102,4	52	25	6	10		0	5	2			0	12	An, Di, Si	100												1	9		1	49	1	8
25189	108,0	8	5		11		1	41	27		2	5	47		100	1					3	1	1					9	2		54	6	
25190	108,9	7	1		10		0	34	39		3	6	30		100						5		1					10			43	5	1
25191	109,7	13	2		10		2	29	27		13	4	20		100		1		1		2	2						8	2		28		

#### Bohrung Schifferstadt

$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	BIOTIT	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23505         2.5         47         18         1         1         0         34         Px, Chid, Di, Sp, 100         2         1 <th1< th="">         1         1         <th1< th=""><th>23469</th><th>1,5</th><th>38</th><th>16</th><th>12</th><th>20</th><th>1</th><th>4</th><th>. 6</th><th>2</th><th>-</th><th></th><th>1</th><th>30</th><th>Ru, Ti</th><th>100</th><th>1</th><th>1</th><th>1</th><th>1</th><th>-</th><th>-</th><th>~</th><th></th><th>1</th><th></th><th>-</th><th>-</th><th>19</th><th>1</th><th>-</th><th>61</th><th>-</th><th><u> </u></th></th1<></th1<>	23469	1,5	38	16	12	20	1	4	. 6	2	-		1	30	Ru, Ti	100	1	1	1	1	-	-	~		1		-	-	19	1	-	61	-	<u> </u>
23470       3.5       50       13       1       1       7       5       10       20       10       10       1       10       66       18       13       1       66       18       14       14       15       20       14       100       12       1       1       12       24       24       24       14       14       12       24       24       24       14       14       12       24       24       24       10       14       14       14       12       24       24       24       10       14       14       14       12       24       30       16       14	23505	2,5	47	18	11	16		2	4	1	1		0	34	Px, Chld, Di, Sp	100	2												14	2		56	1	4
23300       4.6       4.7       9       8       7       2       1       1       0       66       10       10       10       1       12       24         23381       9.7       1       1       0       66       31       2       2       0       100       1       1       24       33         23381       13.5       1       1       0       66       31       4       0       42       0       1       24       33         23381       13.5       1       0       66       23       1       4       0       48       6       0       1       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       24       10       1       25       23       23       10       1       23       24       10       3       10       1       25       2       23       24       10       24       10 <td>23470</td> <td>3,5</td> <td>50</td> <td>13</td> <td>9</td> <td>14</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>26</td> <td>Di</td> <td>100</td> <td>1</td> <td></td> <td>13</td> <td>1</td> <td></td> <td>55</td> <td>1</td> <td>5</td>	23470	3,5	50	13	9	14	1	1	7	5			0	26	Di	100	1												13	1		55	1	5
23471       7.6       1       1       0.6       43       2       0       70       100       1       12473       14       12       24       38       1.7       1       124       38       1.7       1       124       38       1.7       1       124       38       1.7       1.7       1.4       1.7       1.4       1.7       2.4       38       1.7       1.7       1.4       1.7       2.4       38       1.7 </td <td>23380</td> <td>4,8</td> <td>45</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>2</td> <td>20</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>40</td> <td></td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td>56</td> <td>18</td> <td></td>	23380	4,8	45	7	9	8	7	2	20	2			0	40		100			2										8			56	18	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23471	7,8		1		1		0	56	40		2	0	70		100													1			12	24	
23325         11         1         2         0         35         0         36         0         36         0         57         100         1         21         37         10          23387         135         1         2         0         0         62         13         1         40         64         100         1         2         3         1         1         3         3         1         1         3         3         1         1         3         3         1         3         3         1         1         3         3         1         3         3         1         1         3         3         1         1         3         3         1         1         3	23381	9,7	1	1		1		0	64	31	2	2	0	40		100											_		1			24	39	<u> </u>
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23382	10,4	-	- 1		2		0	55	38	1	5	0	40	Gr. En Do	100									_		_		2			21	2	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23383	13.5	1	2				0	69	23	1	4	0	36	ог, ср, во	100																42	10	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23473	14.5	1	8		3		0	62	19	3	4	0	49	Xe	100													3			29	10	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23474	15,7	1	3		1		1	59	31	1	3	0	22		100	1												1			24		2
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23475	16,4				1		0	74	18		7	0	42		100													1			36	18	
23476       18.4       1       0       88       5       1       5       0       63       100       1       53       73       13       11       53       73       11       1       23477       22.3       3       0       32       11       1       2337       72.3       5       17       1       0       43       0       40       100       1       1       28       5       22       0       33       11       1       28       5       28       1       1       0       63       28       1       10       0       43       1       17       28       2338       28       1       1       0       63       27       18       0       37       67       100       1       14       1       14       1       14       1       14       1       14       1       14       14       1       1339       35       1       0       63       40       0       31       100       1       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       14       1	23384	17,5	3	5				0	50	35		7	0	33	Ru	100																30	7	
23388       1946       2       0       73       244       1       0       38       100       100       38       13         23477       21.2       1       0       43       20       41       0       43       11       28         23387       22.3       5       17       1       0       43       20       41       0       43       5       2         23387       22.3       5       1       0       43       5       0       38       12       0       38       11       28       78       29.1       5       1       1       12       15       5       2338       29.1       5       0       39       43       5       0       36       57.7       100       1	23476	18,4	1					0	88	5	1	5	0	53		100																53	26	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23385	19,6	2					0	73	24		1	0	38		100													•			36	13	
	23477	21,2	5	17		3		0	32	61	2	10	0	33		100											_		3			11	5	2
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23386	22,3	1	1/				0	43	38	4	2	0	28	Ru	100									_		_		-			20	28	2
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23387	27.8	2	2		1		0	40	52	2	1	0	38		100													1			21	- 5	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23388	29,1	_	5				0	39	48	3	5	0	35	Gr, gr. Hbl, Xe	100													·			14	1	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23479	30,5		1				0	63	27	1	8	0	37	Gr	100																41	15	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23389	32,3						0	87	11	1	1	0	57	26 Do	100																20	40	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23390	33,5						0	66	30		4	0	33	Ep, 6 Do	100																26	16	1
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	23392	34,5	2					0	46	45	1	6	0	34	Ti	100																40	1	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23391	35,5						0	85	11		4	0	35	Ep, Ru	100																57	26	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23393	37,1						0	70	10		2	0	24	Ru	100																18	20	<b> </b>
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23304	30,0		1				0	50	37		2	0	51		100									_		_					80	20	
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	23481	41.3		2				0	45	42	2	9	0	42		100											_					42	20	
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23483	42,2	1	-				0	66	23	1	9	0	32		100																40	11	
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23482	42,6						0	81	15	1	3	0	33		100																41	46	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23395	44,5						0	48	48	1	2	1	40	2 Do	100								1								5	42	
23485       49.5       0       42       47       2       7       2       25       Gr, Ep. gr. Hbl, Mo       100       1       1       1       411         23396       50.5       0       72       26       1       1       0       32       Gr, Ep.       100       1       1       1       17       1         23486       51.4       1       0       56       34       4       5       0       41       Gr       100       1       1       1       17       1         23397       53.6       5       0       61       31       1       2       0       45       100       100       1       1       3       25       5         23487       56.1       2       1       0       45       3       1       0       15       16         23497       57.3       1       0       75       16       8       0       38       100       1       1       46       1         23400       60.3       0       63       31       6       0       45       Ep. Do       100       1       1       1       1       30	23484	46,4		1				0	52	43	1	3	0	40		100																48	10	
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23485	49,5						0	42	47	2	7	2	25	Gr, Ep, gr. Hbl, Mo	100							1			1						41		
23397       53,6       5       0       61       31       1       2       0       41       61       100       1       2       33       3       2337       53,6       5       0       61       31       1       2       0       45       100       1       2       3       25       5         23398       55,1       6       9       3       1       35       40       2       4       0       38       Di       100       1       3       225       5         23399       57,3       1       0       43       50       3       1       0       41       Br       100       1       100       1       15       16       15       16       15       16       15       16       15       16       15       100       1       14       14       14       14       100       15       15       15       15       100       1       14 <td>23396</td> <td>50,5</td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>72</td> <td>26</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>32</td> <td>Gr, Ep</td> <td>100</td> <td></td> <td>_</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>17</td> <td>1</td> <td><b> </b></td>	23396	50,5		4				0	72	26	1	1	0	32	Gr, Ep	100											_					17	1	<b> </b>
23398       55,1       6       9       3       1       1       2       0       43       100       15       16       100       10	23480	51,4		1				0	50	34	4	5	0	41	Gr	100																30	3	<b> </b>
23487       56,1       2       1       0       43       35       3       1       0       41       Br       100	23398	55 1	6	9		3		1	35	40	2	4	0	38	Di	100	1												3			20	- 2	
23399       57,3       1       0       55       36       2       6       0       25       Gr       100       100       38       38         23488       59,5       1       0       75       16       8       0       38       100       46       1         23400       60,3       0       63       31       6       0       45       Ep, Do       100       48       55         23401       61,4       0       04       50       3       1       6       0       45       Ep, Do       100       48       55         23401       61,4       0       0       51       44       1       4       0       22       100       24       3         23490       64,5       2       5       2       0       38       50       3       0       36       100       1       1       1       19       3         23491       67,1       0       49       44       7       0       42       100       1       1       1       19       3         23402       70,3       0       52       38       10       38	23487	56.1	2	1		Ŭ		0	43	50	3	1	0	41	Br	100																15	16	
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	23399	57,3		1				0	55	36	2	6	0	25	Gr	100																38		
23400       60,3       0       63       31       6       0       45       Ep, Do       100<	23488	59,5	1					0	75	16		8	0	38		100																46	1	
23401       61,4       0       044       50       1       5       0       31       Ep       100       24       3         23489       62,1       0       51       44       1       4       0       22       100       27       1         23490       64,5       2       5       2       0       38       50       3       0       36       100       1       1       19       3         23491       67,1       0       49       44       7       0       42       100       1       1       19       3         23492       68,8       0       50       34       2       4       0       30       1       1       19       3         23402       70,3       0       52       38       10       0       38       Gr, Ep       100       1       1       13       30       1         23403       72,3       1       1       2       0       44       14       3       32       100       1       1       35       8         23403       75,2       2       2       1       0       35       49	23400	60,3						0	63	31		6	0	45	Ep, Do	100																48	55	
23489       62,1       0       0       51       44       1       4       0       22       100       1       27       1         23490       64,5       2       5       2       0       38       50       3       0       36       100       1       1       19       3         23491       67,1       0       49       44       7       0       42       100       1       1       19       3         23492       68.8       0       50       44       2       4       0       30       100       100       1       11       13       30         23402       70.3       0       52       38       10       0       38       Gr, Ep       100       1       41       11       30         23402       70.3       0       54       40       2       9       0       32       100       1       44       1       1         25195       75.2       2       2       1       0       35       49       2       9       0       32       100       1       1       35       8         23494       76.4 <td>23401</td> <td>61,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>44</td> <td>50</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0</td> <td>31</td> <td>Ep</td> <td>100</td> <td></td> <td>24</td> <td>3</td> <td></td>	23401	61,4						0	44	50	1	5	0	31	Ep	100																24	3	
23490       64,5       2       5       2       0       38       50       30       36       100       1       1       19       3         23491       67,1       0       0       44       7       0       42       100       50       3       50       3         23492       67,1       0       0       44       7       0       42       100       50       3       50       3         23492       68,8       0       50       44       2       4       0       30       100       100       30       30         23402       70,3       0       52       38       10       0       38       Gr, Ep       100       2       441       11         25195       75,2       2       1       0       35       49       2       9       0       32       100       1       1       35       8         23404       76,6       2       3       1       0       48       8       27       Di       100       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       1	23489	62,1	0	-				0	51	44	1	4	0	22		100																27	1	
23491       67,1       0       049       44       7       0       42       100       100       100       30       30         23492       68,8       0       50       44       2       4       0       30       100       100       30       30         23402       70,3       0       52       38       10       0       38       Gr, Ep       100       100       11       30       30         23402       70,3       0       52       38       10       0       38       Gr, Ep       100       100       2       44       1         23403       72,3       1       1       2       0       45       40       2       9       0       27       Xe       100       1       1       35       8         23404       75,6       2       3       1       0       48       8       0       27       Di       100       1       36       1       1       35       6       10       1       36       1       1       1       36       1       1       1       36       1       1       1       36       1       1	23490	64,5	2	5		2		0	38	50		3	0	30		100													1		1	19	3	<b>—</b>
23402       70,3       0       52       38       10       0       38       Gr, Ep       100       44       1         23402       72,3       1       1       2       0       45       40       2       9       0       27       Xe       100       44       1         23403       72,3       1       1       2       0       45       40       2       9       0       27       Xe       100       44       1         25195       75,2       2       2       1       0       35       49       2       9       0       32       100       44       1       35       8       36       1       1       35       8       35       1       1       36       1       1       35       8       2       2       14       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1	23491	68.8						0	49	44	2	1		42		100	-	-		-						_	-					30	3	$\vdash$
23403       72,3       1       2       0       1       2       1       1       3       1       1       3       1       1       3       8       1       1       1       3       8       1       1       3       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       3       5       8       1       1       1       3       8       1       1       1       3       8       1       1       1       1       3       8       1       1       1       1       3       1 <th1< th=""> <th1< th=""> <th1< th=""> <th1< th=""></th1<></th1<></th1<></th1<>	23402	70,3				-	-	0	52	38	2	10	0	38	Gr. Ep	100	-	-		-				$\vdash$								41	11	3
25195       75,2       2       2       1       0       35       49       2       9       0       32       100       1       35       8         23404       75,6       2       3       1       0       48       38       0       27       Di       100       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       36       1       1       23494       85,1       34       40       12       1       5       62       10       2       2       3       1       1       1       3       3       3       2       2       1       19       br. Hbl, Si       100       1       1       1       1       3       3       3       9       2       34       9       2       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       3       3       3       4       2       2       1       1	23403	72,3	1	1		2		0	45	40	2	.9	0	27	Xe	100	-	1											2			44		1
23404         75.6         2         3         1         0         48         38         8         0         27         Di         100         1         36         1         36         1         1         36         1         1         36         1         1         36         1         1         36         1         1         36         1         1         36         1         1         23493         76.4         6         7         5         1         59         15         1         6         0         40         Px, GI         100         1         5         62         10         2           23494         85,1         33         40         12         1         1         3         8         2         0         57         Br, Chid, An         100         1         1         1         13         1         0	25195	75,2	2	2		1		0	35	49	2	9	0	32		100	1	1											1			35	8	
23493       76.4       6       7       5       1       59       15       1       6       0       40       Px, GI       100       1       5       62       10       2         23494       85,1       33       40       12       1       1       3       8       2       0       57       Br, Chid, An       100       1       11       1       33       3         23495       86,3       39       28       3       15       3       4       2       2       1       19       br. Hbl, Si       100       2       1       1       15       34       9         25198       88,1       38       24       6       22       1       5       Si       17         23496       894       24       41       12       0       6       2       0       15       Si       100       1       22       50       17         23496       894       24       41       12       0       6       2       0       15       Si       100       1       20       2       1       7       17       21496       20       2       1	23404	75,6	2	3		1		0	48	38		8	0	27	Di	100													1			36	1	1
23494       85,1       33       40       12       1       1       3       8       2       0       57       Br, Chid, An       100       1       1       11       1       33       3         23495       86,3       39       28       3       15       3       4       2       2       1       19       br. Hbl, Si       100       2       1       1       15       34       9         25198       88,1       38       24       6       22       1       5       Si       100       1       1       15       34       9         23496       894       24       34       12       1       5       3       1       0       15       Si       100       1       2       22       50       17         23496       894       24       34       11       23       0       6       2       0       0       15       Si       100       1       2       22       50       17         23496       894       24       34       11       23       0       6       2       0       21       15       17       212       2 <td>23493</td> <td>76,4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td></td> <td>5</td> <td></td> <td>1</td> <td>59</td> <td>15</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>0</td> <td>40</td> <td>Px, Gl</td> <td>100</td> <td>1</td> <td></td> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td>62</td> <td>10</td> <td>2</td>	23493	76,4	6	7		5		1	59	15	1	6	0	40	Px, Gl	100	1												5			62	10	2
23499         86,3         39         28         3         10         2         1         100         2         1         15         34         9           25198         88,1         38         24         6         22         1         5         3         4         2         2         1         1         15         34         9           23496         894         24         34         11         23         0         6         2         0         15         Si         100         1         2         2         50         17           23496         894         24         34         11         23         0         6         2         0         0         15         Si         100         1         2         2         50         17           23496         894         24         34         11         23         0         6         2         0         15         Tr         100         1         2         2         2         17         2         12         17         17         17         17         17         17         17         17         17         17         1	23494	85,1	33	40	_	12	1	1	3	8	2		0	57	Br, Chld, An	100	1												11		1	33		3
23496 90,1 30 24 0 22 1 3 3 1 0 13 51 100 1 22 22 30 17 23496 894 24 34 11 23 0 6 2 0 21 15 tp Ti Chid 100 1 20 21 4 47 2 12	23495	86,3	39	28	3	15	3	3	4	2	2		1	19	Dr. HDI, SI	100	2	1								1		2	15			34		9
	23496	89.4	24	34	11	23			с А	2			0	21	St Px Ti Chld	100	+ 1	-						$\vdash$		_	-	2	20	2	1	47	2	12

### Anhang B

#### Fortsetzung Bohrung Schifferstadt

		- 3				3 -		1			-				1	r	-	<del>, ,</del>							- 1	T	1					
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
25199	90,1	40	20	8	22		1	2	5	1		1	12	GI	100	1									1		20	2		51		25
23405	90,5	35	26	10	20		1	4	4			0	29	Px, Ru, Si	100	1											18	2	х	21	1	2
23406	91,1	36	27	8	16		5	5	2		1	0	14	GI, Chld	100	1	1		3							1	16			54	1	12
25200	94,7	7	2		3		0	20	49	3	13	3	32		100						2		1				3			21	1	ĺ
23407	95,3	15	2		11		1	31	30	1	8	1	39	St, Si	100		1					1					9	1	1	19	5	ĺ
25201	96,2	8	2		7		3	24	42	1	10	3	23	Xe, Br	100	1	2					3					5		2	23	3	3
23497	97,3	11	7		17		0	26	24	4	6	5	37	St	100						2	2	1				12	1	4	28	3	4
23408	98,2	16	6	1	27		0	22	24	2	2	0	32	Bi, Xe	100												26	1		57		2
23409	99,5	13	2	1	19		1	20	32	1	7	4	26	Ti, Di	100	1					3	1					17	1	1	16		1
23410	110,9	13	3		12		2	27	27	3	8	5	43		100	1	1				3	2					10	1	1	45	16	1
23411	114,4	19	3	1	26		1	29	19	1	1	0	56	Di	100			1									21	1	4	22	20	2
23412	115,6	8	3	1	13		0	16	50	3	6	0	35	St, Di, Mo, Xe	100												12		1	20		4
23498	117,6	8	7	1	16		2	21	33	3	7	2	19	St	100			2			1	1					12		4	30	1	6
23413	120,7	12	6		11		3	19	31	4	8	6	49	Br	100		1		2	1	2	3					8	1	2	31		1
23414	122,6	12	13		18		0	28	27	2		0	46	An, Ant	100												13	3	2	28	7	7
23499	129,1	4	1		1		0	21	56	1	15	1	26	St, gr. + br. Hbl	100							1							1	43		1
23416	135,6	18	4	1	10		0	25	29	2	7	4	37	St, Sp	100						2	2					7	1	2	27	2	1
23500	136,7	9	2		10		1	31	30	6	7	4	37	Sp, Si, St	100		1				3	1					8	1	1	65	1	1
23417	139,5	5	3		14		1	37	30	1	6	3	48	Br, Xe	100	1				1	2						11	1	2	45	17	
23418	141,5	1			2		1	29	51	1	8	7	27	Ep, St, An	100				1		5	2					2			25	2	3
23502	143,5	19	1		16		0	31	25	1	7	0	35	Si	100												8	2	6	69	6	4
23503	145,5	2	1		6		0	56	24	1	10	0	36		100												5		1	48	8	8
23419	147,6	9			3		0	10	65	2	1	10	15	Xe, Bi	100						9		1				3			11	1	
23501	151,8	30	3	6			0	44	9	2	6	0	39	Di, St, Br	100															26	2	1
23420	154,7	17	3		3		1	33	26	3	9	5	41	St, Chld?	100	1					4	1					2	1		30	1	1
23421	156,1	19	1	1	23		1	21	23	4	4	3	30	Di, Bi	100				1		2	1					22	1		27		l
23422	161,5	29	6	3	12		1	29	13	1	4	2	40	Mo, St, Ti, Di	100			1				1	1				9		3	60	5	3
23423	164	11	1		3		1	21	51	1	7	4	21	Si, St	100			1			3	1					3			26		1
23424	166,1	13	2		12		0	24	38		10	1	35	Mo, St	100							1					10		2	34	9	1
23425	168,1	21	2		18		3	25	19	2	7	3	35	Di	100	1			2	1	1		1				12	3	3	38	6	1
23426	174,6	29	1	1	2		2	42	20	1	1	1	38	Хе	100	1	1						1				2			47	1	
23504	183,3	16	3		9		0	23	31	3	12	3	32		100						2	1					7	1	1	56		
23427	187,8	18	6		7		1	25	31	1	9	2	35	Br	100	1					2						5	1	1	29	1	
23428	197,5	12	3	2	2		0	17	54	3	5	2	25	Br	100	1	1	ΙĪ		1		1	Τ	Τ			1		1	43	, 7	1

#### Bohrung Ludwigshafen-Maudach A64/1

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Cnlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24104	9,7	45	19	6	19		4	5	1	1		0	27	Px, Mo	100	2		1	1								18	1		76		2
24105	13,3	15	32	2	44		1	2	4			0	6	Di, Sp	100	1											41	2	1	53		21
24106	14,6	4	28	6	53	3	1	2	2			1	7	,	100			1		1						3	47	3	3	155	1	13
24107	16,5	44	24	2	21	2	4	2	0			1	11	Di	100	3			1	1							21			55		4
24108	16,6	36	24	8	26	1	1	4	0			0	17	Di	100	1											23	3		81		1
24109	18,2	18	21	4	51		2	3	1			0	12	2	100	2										2	46	2	3	84	1	8
24110	21,5	1			1		0	32	53	3	9	1	35	Ep	100							1					1			36	9	
24111	25,1	2	6		4		0	48	34	1	5	0	35	St	100												4			50	3	
24112	28,5						0	69	22		9	0	39		100															59	3	
24113	30,5						0	56	29	1	14	0	27	Br	100															31	2	
24114	32,2						0	53	38		9	0	25	i gr. Hbl	100															31	2	
24116	38,5	1	1				0	47	39	2	10	0	21	gr. Hbl, Br	100															22	10	
24117	41,5	2	2		1		0	56	33	1	4	1	76	Px	100							1					1			13		
24118	43,5						0	70	19	1	10	0	34	Gr	100															33	3	
24120	47,3				1		0	34	63		2	0	26	i	100														1	22	5	
24121	51,5		1				0	54	38	2	5	0	17	gr. Hbl, Mo	100									T	Τ					29	17	
24122	53,4						1	33	57		9	0	35	Gr. Ep. Xe	100	1														33	2	

#### Bohrung Ludwigshafen-Maudach A65/1

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukopnan	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24087	4,5	53	15	11	9	4	5	3				0	19	Zr, Di	100	4			1								9			48	1	
24088	7,5	50	22	6	15	3	4					0	17	Tu	100	1		2	1							1	15			48		1
24089	9,5	38	21	6	18	6	4	6	1			0	27		100	3		1									16	2		89	1	I
24090	13,5	14	36	1	42		0	6	1			0	10		100												40	1	1	85	1	20
24092	17,5	62	18	7	7	1	4		1			0	12		100	3		1									7			50	1	I
24093	22,5	1	1				0	52	40		6	0	30	gr. Hbl	100															22		I
24094	25,5						0	64	26	2	8	0	32	gr. Hbl, Gr, Ep	100															39		
24095	30,2	1	1		1		0	62	26	2	7	0	30		100												1			35		
24096	34,5		1				0	43	43	1	12	0	40		100															30		1
24097	38,5						0	63	24		13	0	29	Xe	100															39	1	2
24099	43,5	11	8		6		1	26	39	1	7	1	34		100	1					1						6			26	2	
24100	45,7				1		0	57	35		7	0	21		100												1			30		
24101	47,6						0	61	32	1	6	0	30	gr. Hbl	100															30	7	
24102	49,5						0	89	4		6	1	44		100								1							44	28	1

### Anhang B

#### Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel

no.         no. <th>Boin</th> <th>ang</th> <th>Ea.</th> <th></th> <th>.90</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>r</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>- 1</th> <th>T</th> <th></th> <th>- r</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>-</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th>	Boin	ang	Ea.		.90								r					- 1	T		- r							-							
25443       4.5       51       9       13       3       2       -       0       10       2,       1       -       1       -       1       -       1       -       1       -       1 <td< th=""><th>Probe</th><th>Teufe</th><th>Granat</th><th>Epidot</th><th>Alterit</th><th>Hornblende</th><th>Pyroxen</th><th>Metamorphe</th><th>Turmalin</th><th>Zirkon</th><th>Rutil</th><th>Anatas</th><th>Seltene</th><th>Opak</th><th>Bemerkung</th><th>Summe</th><th>Staurolith</th><th>Disthen</th><th>Andalusit</th><th>Sillimanit</th><th>Titanit</th><th>Monazit</th><th>Xenotim Brookit</th><th>Glaukonhan</th><th>Chloritoid</th><th>Spinell</th><th>Korund</th><th>Biotit</th><th>Chlorit</th><th>gr. Hbl</th><th>br. Hbl</th><th>f. Hbl</th><th>Aggregat</th><th>Quarz</th><th>Glimmer</th></td<>	Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim Brookit	Glaukonhan	Chloritoid	Spinell	Korund	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
25443       4,5       53       17       9       13       2       1       1       1       10       10       1       1       10       1       1       10       1	25442	2,9	36	25	11	23		3	2				0	10	Zr, Px	100	2		1											23			74	1	1
25444         9.7         35         28         6         23         1         2         1         0         15         100         3         1         2         5         1         21         21         21         21         21         21         21         31         31         3	25443	4,5	53	17	9	13	3	2	1	1			1	11		100	2								1					13			56	3	2
25446       15.5       10       3       1       0       1       1       1       1       0       1       1       1       0       1       1       1       0       0       1       1       1       0       0       0       1       1       1       1       0       0       0       1	25444	9,7	35	28	6	23	1	4	2	1			0	15	Di	100	3		1											21	2		58	2	6
25447       20.3       11       33       3       6       1       20       7,81       100       2       1       2       1       28       4       11       28       4       11       28       4       11       28       4       15.5       18       21       1       1       1       1       0       0       18       100       1       2       1       1       9       0       0       1       1       1       2       2       1       1       9       0       0       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1	25445	12,5	36	17	4	25	3	4	9	1			1	55		100	3		1								1			21	3	1	20	1	9
25447       20.3       37       23       8       27       4       1       0       11       Px       100       3       1       1       45       5       3       2       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1       5       1	25446	15,5	18	21	11	33	3	6	8				0	20	Zr, Bi	100	2	1	3									1		28	4	1	120	1	38
2544       28.6       24       58.6       7       31       1       1       0       8       Ru, Di, Ko       100       1       2       2       4       26.6       23.6       1       23.4       1       0       6       Di       100       1       2       2       2       2       3       1       57.7       15         25450       36.5       28       2       1       4       0       1       9       Di, Ti       100       1       2       1       4       2       2       3       1       57       15       15         25450       36.2       25       10       2       1       1       9       Di, Di, No, Chid       100       1	25447	20,3	37	23	8	27		4	1				0	11	Px	100	3			1										26	1		45		5
25449       35.8       8       35       1       3       4       1       0       5       Din       100       1       2       2       2       2       2       2       2       2       3       2       2       2       2       3       2       2       2       2       3       2       4       3       3       2       2       2       3       2       4       3       9       Din       100       1       2       1       1       4	25448	25,8	24	35	7	31		1	1	1			0	8	Ru, Di, Ko	100	1													29	2		66		16
25450       33.5       32       6       2.9       3       2       1       0       0       P       100       3       2       1       2       2       3       1       7       157      157	25449	28,6	13	35	8	35	1	3	4	1			0	5	Di	100	1			2									2	34	1		97		25
25451       36,6       28       28       24       4       4       1       9       0,7       100       1	25450	33,5	33	26	6	29		3	2	1			0	6	Px	100	3													25	3	1	57		15
28482       42.6       28       32       14       9       2       1 <td< td=""><td>25451</td><td>36,5</td><td>36</td><td>28</td><td>8</td><td>22</td><td></td><td>1</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>Di, Ti</td><td>100</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td> </td><td></td><td></td><td></td><td>22</td><td></td><td></td><td>81</td><td></td><td>4</td></td<>	25451	36,5	36	28	8	22		1	4				1	9	Di, Ti	100	1								1					22			81		4
28483       48.9       49       30       11       6       1       2       2       1 <th< td=""><td>25452</td><td>42,6</td><td>28</td><td>32</td><td>14</td><td>19</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td><td>19</td><td>Di, An, Mo, Chld</td><td>100</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>17</td><td>2</td><td></td><td>92</td><td></td><td>5</td></th<>	25452	42,6	28	32	14	19	2	1	4				0	19	Di, An, Mo, Chld	100				1										17	2		92		5
25454       49.8       25       30       10       2       100       2       1       100       2       1       100       2       1       100       2       1       100       2       1       100       2       1       100       1       100       1	25453	45,9	49	30	11	6		1	1	1			1	9	Px, Di, Mo	100				1					1					5	1		56		
25456         63.2         4         3         0         6         2         4         3         0         5         2         4         3         0         5         2         4         3         0         5         2         4         3         0         5         2         4         3         0         5         2         4         3         0         5         0         6         1         3         1<	25454	49,8	25	35	10	25		3	2				0	15		100	2		1											24	1		88		2
25456       60.2       44       33       10       5       2       4       2       0       15       Ko, An       10       1	25455	53,8						0	63	24		13	0	19		100																	35		
25457       65.5       41       38       6       6       4       2       2       1       16       Px       100       1	25456	60,2	44	33	10	5		2	4	2			0	15	Ko, An	100	1			1										5			68		1
25458       70.5       47       14       10       13       2       1       1       2       1 <t< td=""><td>25457</td><td>65,5</td><td>41</td><td>38</td><td>6</td><td>6</td><td></td><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td><td>1</td><td>16</td><td>Px</td><td>100</td><td>3</td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>6</td><td></td><td></td><td>62</td><td>1</td><td>3</td></t<>	25457	65,5	41	38	6	6		4	2	2			1	16	Px	100	3	1			1									6			62	1	3
25459       77.2       24       29       8       28       1       3       5       2       2       2       12       2,7,8       100       1       2       2       5       70       70       5         25461       89.2       1       1       0       0       3       8       10       0       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1       1       2       1	25458	70,5	47	14	10	13	9	1	5				1	22	Chld	100	1				1									12	1		86		7
25460       83.7       44       21       10       17       1       1       2       2       15       An, Ru, Si       100       1       1       0       2       17       37       5         25460       93.2       52       18       10       0       24       100       5       1       1       0       0       1       2       18       2       4       0       6       7       1       2       18       Px, Si, Ko, Di       100       5       1       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       0       1       0       1       0       0       1       0 </td <td>25459</td> <td>77,2</td> <td>24</td> <td>29</td> <td>8</td> <td>28</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>12</td> <td>Zr, Si</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>  1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>23</td> <td>5</td> <td></td> <td>70</td> <td></td> <td>19</td>	25459	77,2	24	29	8	28	1	3	5				2	12	Zr, Si	100	1	2							1	1				23	5		70		19
25461       99.2       1       1       1       0       50       38       10       0       24       100       1       1       1       0       1       0       36       12       2         25462       93.2       52       18       4       10       6       7       1       2       18       Px, Si, Ko, Di       100       5       1       1       1       0       7       1       91       6       1 <td< td=""><td>25460</td><td>83,7</td><td>44</td><td>21</td><td>10</td><td>17</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td><td>2</td><td>15</td><td>An, Ru, Si</td><td>100</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td> </td><td></td><td></td><td>2</td><td>17</td><td></td><td></td><td>37</td><td></td><td>5</td></td<>	25460	83,7	44	21	10	17	1	1	2	2			2	15	An, Ru, Si	100		1			1				1				2	17			37		5
25462       93.2       52       18       4       10       6       7       1       2       18       Px, Si, Ko, Di       100       5       1	25461	89,2	1	1				0	50	38		10	0	24		100																	36	12	
25463       96.8       96.8       96.8       96.8       96.8       96.8       96.8       96.8       97.7       10       12       0       22       100       2       2       1       2       91.6       6         25464       99.2       2       0       70       19       70       19       70       20       67       100       2       1       2       1       2       2       2       1       1       2       2       2       1       1       2       2       1       3       1       1       2       2       1       3       3       2       1       1       1       2       2       1       3       3       3       3       2       1       1       1       1       1       2       2       1       3       2       2       1       1       1       2       2       1       1 </td <td>25462</td> <td>93,2</td> <td>52</td> <td>18</td> <td>4</td> <td>10</td> <td></td> <td>6</td> <td>7</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>18</td> <td>Px, Si, Ko, Di</td> <td>100</td> <td>5</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td> </td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td>2</td> <td></td> <td>42</td> <td>-</td> <td>7</td>	25462	93,2	52	18	4	10		6	7	1			2	18	Px, Si, Ko, Di	100	5		1		1				1					8	2		42	-	7
25464       99.2       2       2       5       0       76       16       6       0       34       100       2       1       3       5       76       43       2         25465       102.6       1       3       1       1       22       3       9       0       55. Br       100       1       2       6       1       3       4       2       2       0       16       7       0       20       Gr       100       2       1       3       4       2       2       0       16       7       0       2       10       1       2       2       1       1       2       2       1       1       2       2       1       3       3       4       2       2       0       16       7       0       2       1       1       1       1       2       1       3       3       3       3       3       3       3       3       3       4       3       1       1       1       1       1       3       4       2       1       3       1       1       1       3       4       2       1       3       2 </td <td>25463</td> <td>96,8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>0</td> <td>77</td> <td>10</td> <td></td> <td>12</td> <td>0</td> <td>22</td> <td></td> <td>100</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>91</td> <td>6</td> <td></td>	25463	96,8				1		0	77	10		12	0	22		100														1			91	6	
25465       10.8       1       3       5       0       70       19       7       0       20       Gr       100       1       1       1       1       2       53       9       0       St, Br       100       1       1       1       2       53       9       0       St, Br       100       1       1       1       2       2       9       0       1       100       1       1       1       2       2       9       0       3       2       0       1       100       1       1       1       1       2       2       1       3       2       0       0       4       11       1       0       1       1       1       1       1       1       2       2       5       2       1       1       1       1       1       1       1       2       1       1       2       2       1       2       2       1       3       2       2       1       3       2       2       3       2       2       3       1       1       1       2       1       1       1       1       1       1       1       1	25464	99,2	2					0	76	16		6	0	34		100																	76	43	
25466       10.6,6       10       3       1       1       1       2       53       9       0       St, Br       100       1       0       0       0       1       0       1       0       0       0       0       St, Br       100       1       0       0       0       0       1       0       0       0       0       1       0       0       0       0       1       0       0       0       0       1       0       0       0       0       1       0       0       0       0       0       1       0	25465	102,8		1	3			0	70	19		7	0	20	Gr	100																	51	25	
25467       112,5       40       15       5       28       1       3       4       2       2       0       16       100       2       1       1       1       1       2       5       1       3         25468       118,4       57       14       10       14       0       2       5       1       1       1       1       1       1       1       0       2       5       1       1       1       1       1       1       0       1       Px, ChId       100       1       1       1       1       5       103       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       2       3       2       2       3       2       2       3       4       1 </td <td>25466</td> <td>106,6</td> <td>10</td> <td>3</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>22</td> <td>53</td> <td></td> <td>9</td> <td>0</td> <td></td> <td>St, Br</td> <td>100</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>26</td> <td>2</td> <td></td>	25466	106,6	10	3		1	1	1	22	53		9	0		St, Br	100		1												1			26	2	
25468       118,4       57       14       10       14       3       2       0       4       Si, An, Child       100       2       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       1       1       1       0       1       Px, Child       100       1	25467	112,5	40	15	5	28	1	3	4	2		2	0	16		100	2	1												28			96	1	3
25469       122,2       34       27       9       20       2       5       2       1       0       11       Px, Chid       100       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       0       72       13       9       0       23       Xe       100       1       1       1       1       1       5       103       2       23         25472       147.1       19       28       3       0       34       0       34       0       34       0       1 <t< td=""><td>25468</td><td>118,4</td><td>57</td><td>14</td><td>10</td><td>14</td><td></td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td><td>4</td><td>Si, An, Chld</td><td>100</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>12</td><td>2</td><td></td><td>51</td><td></td><td>3</td></t<>	25468	118,4	57	14	10	14		3	2				0	4	Si, An, Chld	100	2	1												12	2		51		3
25470       127,4       3       1       1       1       0       72       13       9       0       23       Xe       100       1       1       1       1       0       59       6         25471       135.4       0       80       6       14       0       34       100       1       1       1       1       1       34       2       1       10       63         25473       158.1       26       42       6       18       2       4       1       1       12       Si       100       1       1       1       2       1       12       4       1       12       2       1       1       12       1       1       2       1       12       2       1       1       12       2       1       1       12       2       1       1       12       2       1 </td <td>25469</td> <td>122,2</td> <td>34</td> <td>27</td> <td>9</td> <td>20</td> <td></td> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> <td></td> <td>1</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>Px, Chld</td> <td>100</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>15</td> <td>5</td> <td></td> <td>103</td> <td>2</td> <td>23</td>	25469	122,2	34	27	9	20		2	5	2		1	0	11	Px, Chld	100	1		1											15	5		103	2	23
25471       135,4       v       v       0       80       6       14       0       34       100       v	25470	127,4	3	1	1	1		0	72	13		9	0	23	Xe	100														1			59		
25472       147,1       19       28       8       37       0       3       2       3       10       Si       100       1       1       1       1       34       2       1       120       63         25473       158.1       26       42       6       18       2       4       1       12       Si       100       1       1       2       1       1       1       9       4       1       12       Si       100       1       1       2       1       1       9       2       15         25476       166.2       4       12       2       9       1       0       68       St, Chid, Ru, Br       100       1       1       1       0       0       0       1       1       1       0       0       0       1	25471	135,4						0	80	6		14	0	34		100																	59	6	
25473       158,1       26       42       6       18       2       4       1 <t< td=""><td>25472</td><td>147,1</td><td>19</td><td>28</td><td>8</td><td>37</td><td></td><td>0</td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td><td>3</td><td>10</td><td>Si</td><td>100</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>34</td><td>2</td><td>1</td><td>120</td><td>-</td><td>63</td></t<>	25472	147,1	19	28	8	37		0	3	2			3	10	Si	100					1				1		1			34	2	1	120	-	63
25474       166.2       40       35       6       9       4       3       2       1       137       Ko       100       3       1	25473	158,1	26	42	6	18		2	4	1			1	12	Si	100	1	1							1					16	1	1	92	2	15
25475       172,2       34       25       4       12       2       9       14       0       68       St, Chid, Ru, Br       100       1	25474	166,2	40	35	6	9		4	3	2			1	37	Ko	100	3			1	1									9			44	1	12
25476       176,8       41       23       1       7       1       9       17       1       0       78       100       1       0       1       0       78       100       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1       1       0       1	25475	172,2	34	25	4	12		2	9	14			0	68	St, Chld, Ru, Br	100		1		1										11		1	24		5
25477       186.2       32       2       1       9       1       22       16       15       2       43       Mo       100       1	25476	176,8	41	23	1	7		1	9	17		1	0	78		100	1													7			17		
25478       194,2       10       3       2       9       1       38       26       10       1       40       100       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       0       1       1       1       1       0       0       1       1       1       1       1       1       1       1       0       Xet       100       1       1       1       1       0       Xet       100       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       10       1<	25477	186,2	32	2	1	9		1	22	16		15	2	43	Мо	100	1						1	1						9			39	1	13
25479       205,5       20       3       9       0       41       14       1       1       1       50       Xee       100       1       1       1       1       3       48       5         25480       220,8       14       2       16       0       28       21       17       2       79       Ti, An       100       1       1       1       1       3       1       30       1       30       1       3       1       30       1       3       1       30       1       3       1       30       1       3       1       30       1       3       1       30       1       3       1       30       1       3       1       3       1       3       1       3       1       3       1       3       1       3       1       1       1       1       1       1       1       1       3       3       3       1       1       1       3       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1       1	25478	194,2	10	3	2	9		1	38	26		10	1	40		100		1				1								9			31	5	1
25480       220,8       14       2       16       0       28       21       17       2       79       Ti, An       100       1 <td>25479</td> <td>205,5</td> <td>20</td> <td>3</td> <td></td> <td>9</td> <td></td> <td>0</td> <td>41</td> <td>14</td> <td>1</td> <td>11</td> <td>1</td> <td>50</td> <td>Xe</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6</td> <td>3</td> <td></td> <td>48</td> <td></td> <td>5</td>	25479	205,5	20	3		9		0	41	14	1	11	1	50	Xe	100						1								6	3		48		5
25481       230,5       10       3       22       1       1       8       4       72       100       1       2       2       1       4       5       3       28       1       2         25482       242,7       16       3       1       10       1       26       2       18       3       43       Di, Ti, Sp, Br       100       1       3       3       5       5       36       2         25482       251,5       16       1       2       0       41       2       16       3       38       Ti, Si, Si, Ti, Si, T	25480	220,8	14	2		16		0	28	21		17	2	79	Ti, An	100						1	1							12	3	1	30	1	3
25482       242,7       16       3       1       10       1       26       22       18       3       43       Di, Ti, Sp, Br       100       1       3       3       5       5       5       36       2         25482       251,5       16       1       2       0       41       21       16       3       38       Ti, Si, Sp, Br       100       1       3       4       3       1       10       2       5       5       36       2       14       3         25483       251,6       14       2       3       0       39       26       11       5       5       5       5       7       14       3         25484       257,6       14       2       3       0       39       26       11       5       5       5       5       7       1         25486       263,4       19       9       13       2       25       15       2       13       6       5       100       2       2       2       11       2       7       5       1       2       1       49       7       1         25486       283,4	25481	230,5	10	3		22	1	1	28	22	1	8	4	72		100		1				2	1	1			1			14	5	3	28	1	21
25483       251,5       16       1       2       0       41       21       16       3       38       Ti, Si       100       1       3       1       2       2       14       3         25483       257,6       14       2       3       0       39       26       11       5       57       St, Di, Ti, Si       100       4       4       1       4       1       2       2       1       25       2         25485       273,3       20       1       1       0       25       37       1       12       3       69       St, Xee       100       2       3       2       1       25       2         25486       283,4       19       9       13       2       25       13       2       3       100       2       2       2       1       49       7       1         25486       283,4       19       9       13       2       25       13       2       63       Si       100       2       2       2       11       2       2       7       1         25486       287,1       21       4       9       0 <td>25482</td> <td>242,7</td> <td>16</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>10</td> <td></td> <td>1</td> <td>26</td> <td>22</td> <td></td> <td>18</td> <td>3</td> <td>43</td> <td>Di, Ti, Sp, Br</td> <td>100</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>5</td> <td></td> <td>36</td> <td></td> <td></td>	25482	242,7	16	3	1	10		1	26	22		18	3	43	Di, Ti, Sp, Br	100	1					3				1	1			5	5		36		
25484       257.6       14       2       3       0       39       26       11       5       57       St, Di, Ti, Si       100       4       1       6       2       2       1       25       2       2         25484       273,3       20       1       1       0       25       37       1       12       3       69       St, Xe       100       2       3       2       1       49       7       1         25486       283,4       19       9       13       2       25       15       2       13       2       63       Si       100       2       2       2       1       2       2       7       5         25486       283,4       19       9       13       2       25       13       2       63       Si       100       2       2       2       11       2       2       7       5         25487       295,1       21       4       9       0       48       8       2       78       100       1       1       1       9       2       1       2       2       1       2       2       1       2	25483	251,5	16	1		2		0	41	21		16	3	38	Ti, Si	100						3					1			2			14	3	
25485       273,3       20       1       1       0       25       37       1       12       3       69       St, Xe       100       2       3       2       2       1       49       7       1         25486       283,4       19       9       13       2       25       15       2       13       2       63       Si       100       2       2       2       11       2       27       5         25487       295,1       21       4       9       0       48       8       2       78       100       2       2       2       0       0       11       2       27       5	25484	257,6	14	2		3		0	39	26		11	5	57	St, Di, Ti, Si	100						4	1					1		2	1		25	2	
25486       283,4       19       9       13       2       25       15       2       13       2       63       Si       100       2       2       2       1       1       2       27       5         25487       295,1       21       4       9       0       48       8       2       78       100       2       1       1       1       9       21       2       1	25485	273,3	20	1		1		0	25	37	1	12	3	69	St, Xe	100				t		3				T		1			1		49	7	1
25487     295,1     21     4     9     0     48     8     2     78     100     1     1     1     9     21     2     1	25486	283,4	19	9		13		2	25	15	2	13	2	63	Si	100			2		T		2			T		1		11		2	27	-	5
	25487	295,1	21	4		9		0	48	8		8	2	78	_	100						1		1						9			21	2	1

### Anhang B

Bohr	ung	Ма	nn	hei	im-	Lir	nde	nh	of	A5	5Z																					
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23720	10,0	37	19	6	31		5	1			1	0	20		100	2	1	1	1								28	3		1	2	6
23722	11,6	55	17	4	12	3	7	1			1	0	37		100	2	1	2	2								10	2		3	1	
23723	12,5	13	24	17	34	1	8	3				0	34		100	2		3	3								29	5		3	4	2
23724	13,5	29	21	9	33	1	5				2	0	33		100	2			3								28	4	1	2	3	3
23725	14,8	34	31	5	24	1	1				2	2	21		100	1				2							21		3	2	2	5
23728	17,9	44	24	3	22	1	6					0	31		100	2	1	1	2								18	4		3	2	8
23730	20,4	30	30	5	22	3	5	4				1	39		100	4		1		1							21	1		2	5	7
23737	26,5	15	33	8	39		2	1			1	1	18		100	1			1	1							31	4	4	6	3	7
23740	34,0	28	28	5	36		2					1	30		100	1		1		1							29	4	3		5	4
23742	39,5	16	33	6	37		1	2	2		1	2	10		100	1				2							32	5		2	4	23
23746	42,5	31	20	4	35	1	3	1	1		1	3	32	Di	100	2		1		3							31	3	1	2	2	2

#### Bohrung Mannheim Ergo BK1 Hauptbahnhof

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Chloritoid	Korund		Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
23523	1,5	48	21	6	15	1	1	7				1	20	Si, Di, Chld	100	1				1								14	1		85		1
23524	2,5	45	27	6	13		0	3	6			0	13	St, Si, Di	100													13			40		
23525	3,5	38	27	9	10	1	1	3	9	2		0	17	Si	100	1												9		1	31		
23526	4,3	39	26	7	16		1	4	7			0	20	Di, Sp, An, Px	100	1					4							16			45		1
23528	4,5	30	24 41	6	13		2	2	2	2		1	10	ZI, RU, GI, PX, DI	100	3	1				1					_		13			45	2	3
23530	6.2	59	19	6	5	1	2	5	2	2		1	23	Ru	100	1	1							1				5			51		
23533	7,4	46	20	9	14	3	0	3	4	1		0	16	St, Di	100	<u> </u>								·				13	1		65	1	
23535	7,8	40	20	4	12	2	3	6	11	1	1	0	13	An, Br, Si, Di	100	3												12			47	2	
23536	8,2	56	17	6	4		8	2	5	1		1	13	Px	100	5	2	1				1						4			41	1	1
23538	10,5	15	37	3	35		2	4	4			0	10	Sp	100	1	1											34		1	47	6	23
23540	11,8	17	36	4	36		0	4	2		1	0	10	Px	100													32	2	2	54		10
23541	12,4	21	32	4	35		1	2	4	1		1	10		100	1								1		_		33	1	1	28		22
23543	14.4	29	23	9	20	1	3	2	2	1		0	9	Di, Chiù	100	3												20	2		36		4
23544	14.7	35	22	8	26	1	3	5				0	13		100	2		1										25		1	84	1	4
23545	15,4	37	27	5	22	2	3	1	3			0	14	Chld	100	3	1											22			48	1	7
23546	15,7	32	24	14	23	4	1	2				0	17	Di	100	1												23			71		13
23547	16,5	40	24	8	23	3	1	1				0	9	Di, Gl, Chld, An	100	1												22	1		59	3	2
23548	17,5	32	21	11	24	1	8	1	2			0	20		100	5	2		1									22	2		63		3
23549	18,5	31	25	6	23	4	5	6			4	0	22	D:	100	2		3										20	3		68		5
23550	19,5	49	23	10	20	1	1	1	4	1	1	1	59	Di An	100	1						1		1		_		10	1		37		9
23552	20,1	27	30	7	20	4	5	2	4			0	43	Ti Si Chld	100	4	1							-				24	1		79	1	
23553	21,4	35	25	7	23	3	1	2	3			1	16	Si, Di	100	1									1			21	2		44	-	
23554	22,5	30	26	5	26	2	3	1	5			2	22	Si	100	2		1		1				1				25	1		55		2
23555	23,5	17	24	9	38	2	7	1	2			0	12		100	3	2	1	1									36	2		93		9
23556	24,5	28	24	6	31	1	4	3	3			0	14	Chld	100	3	1											30	1		36	2	6
23557	25,5	21	22	8	43	2	3		1			0	25	Tu	100	2		1										42	1		69	1	6
23558	26,5	22	25	4	42		1	4	2			0	12	PX Du St	100	1										_		38	3	1	79	3	19
235560	27,5	23	28	5	35		2	2	2			0	9	Ru, Si Py Chid	100	2										_		30	2	- 1	34 41	1	10
23561	29.5	14	27	4	50		3	2	~			0	11	Zr. Di	100	3												48	-	2	67	-	30
23562	30,3	31	18	4	39		1	1	6			0	10	Ru, Di	100	1												38		1	35		15
23563	30,8	24	31	6	26	1	3	1	7			1	22	An	100	3	i							1		1		25	1		28		7
23564	31,2	19	30	3	38		1	3	4	1		1	21	Si, Chld, Px	100	1					1							37		1	52		10
23565	31,7	26	31	6	27		3	3	3	1		0	22	An, Px, Chld	100	2	1											26	1		36		2
23566	32,5	22	26	4	40	1	1	3	1	1		1	15	Di T:	100	1	4		4	1								36	4		40		1
23568	33,5	16	23	1	6U 31		5	1	13			0	10	II Pu	100	1	1		1							_		31	1		101		34
23569	35.5	29	23	5	34		3	2	4			0	18	Ru Px	100	2	1											31	2	1	33		3
23570	36,5	22	32	9	33		3	1				0	12	Zr, Di, Chlt, An	100	3												33			43		5
23571	37,1	19	30	7	34		4	4	1			1	16	An, Di	100	4								1				34			58		3
23578	41,5	20	37	4	29		1	4	5			0	12	Sp	100	1											10	29			80	5	25
23580	43,5	26	29	4	25		2	3	10	1		0	15	Ti	100	2											11	24	1		75	2	9
23581	44,5	22	30	7	26		1	4	10			0	15	Chld	100	1											4	22	1	3	43	1	9
23585	46,7	37	22	7	30		1	2	1			0	15	Si, Px, Ti, Xe	100	1											2	30	1		42		10
23587	47,5	23	28	9 4	25		1	2	2			1	24	SI, PX St Si	100		+-	$\vdash$	<u> </u>	1	-				$\vdash$	+	$\rightarrow$	10	1		0∠ ⊿2		13
23588	49.5	25	23	7	33	1	2	7	2			0	27		100	2		-		-			$\vdash$		$\vdash$	+	+	32	1		75		8
23591	51,5	14	43	4	33		0	2	2	2		0	11	St, Ant, Chld	100	F	1	t	1	F	-	-				+	3	32	1		37		10
23593	53,3	24	40	6	23		3	1	3			0	16	Chld	100	1	1	1		1						+		23			63	2	3
23595	54,8	25	38	5	26	1	1	1	2			1	11		100	1								1				26			42	2	10
23596	55,3	55	20	5	9		5	1	4			1	15	Sp, Chld	100	4	1			1			$\square$					8	1		30		1
23599	56,2	57	32	3	4		2	_	1	1		0	7	Iu, Px	100	2	-	-	<u> </u>		-				$\square$	_		4			50	1	1
23602	59.5	54	25	( 6	9		1	3	1				24	rx, Sp Chid	100	1	1	$\vdash$	-	-						_	1	9			53	1	6
23603	59.8	44	27	2	16	1	1	2	7			0	19		100	1	1	$\vdash$	-	-		-			$\vdash$	+		15		1	39	1	3

### Anhang B

#### Bohrung Mannheim Ergo BKEX2

		ıt	Ţ		olende	en	norphe	alin	-		s	Je		rkung	e	olith	u	usit	anit	t	zit	in	cit	ophan	itoid		-	-	-		gat		ner
Probe	Teufe	Grana	Epido	Alterit	Hornb	Pyrox	Metan	Turma	Zirkor	Rutil	Anata	Selter	Opak	Beme	Sumr	Stauro	Disthe	Andal	Sillim	Titani	Mona:	Xenot	Brook	Glauk	Chlor			gr. Hb	br. Hb	f. Hbl	Aggre	Quarz	Glimn
23919	1,7	60	16	5	9	3	2	2	3			0	19	Ru, Si, Di	100	2												9			36	2	1
23920	2,5	59	13	5	11	2	7	2				1	16	Zr, Ru, An	100	5	1		1						1			11			36	1	1
23921	3,4	58	14	9	12	3	1	3				0	19		100	1												12			54	1	1
23922	4,5	50	35	5	5	2	2	2	1	2		0	20	br. Hbi, Px, Chia, Ti	100	2			1							_		4	2	1	23	2	
23923	5,6 7.8	40	20	5 10	21	2	4	4	2	2		0	29	br Hbl Bi	100	3			1								5	20	2	1	49	3	
23924	7,0	28	20	10	21	2	9	2	2			0	22	ы. пы, ы	100	6	1	2									5	20	1	-	85		
23926	9.8	16	31	4	43		0	1	3	2		0	12		100	Ŭ	<u> </u>	-							-			39	1	3	44	2	15
23929	11,9	23	26	9	35	1	5			_		1	12	Tu, Ru, An, Di, Chld	100	4			1	1								34	1	-	57		8
23930	12,5	31	27	7	29	2	1	1	1			1	19	Di, An	100	1				1								27	2		43		6
23931	13,5	36	23	13	22	3	1	2				0	17	St	100			1									1	21	1		81		6
23932	14,5	41	21	7	26		3		2			0	8	Tu, An, Px, Di, Chld	100	2			1									23	2	1	43		2
23933	15,5	41	28	10	14	1	3	2	1			0	18	Chld, An	100	1	1		1									13	1		39		1
23934	16,5	45	23	6	18	1	2	5				0	20	Di, Si, Chld	100	2												18			40	2	2
23935	17,5	34	29	8	16	4	6	1	2			0	21	Chld, Si, An	100	5	1											15	1		69		5
23936	18,5	42	16	11	15	7	6	3				0	18	Chld	100	3	1	1	1									14	1		56		5
23937	19,5	40	21	8	22	4	1	4				0	16	An	100	1	4	4										20	2		51	1	2
23930	20,5	25	20	15	10	0	6	3	2	1		0	20		100	5	1	1										27	2		57	2	1
23939	21,2	10	20	13	40	2	6	1	3	1		1	10	Zr An	100	5	1			1								31 11	2		40	1	2
23940	21,0	32	24	13	30	2	2	2				0	13	Δn	100	1	1	-		'				_				20	2		54		5
23942	23.5	44	20	11	20	2	2	1				0	19	Ti	100	1	1											19	1		51		1
23943	24.5	25	24	10	27	4	5	4	1			0	17		100	4	ŀ		1									25	2		56		
23944	25,5	22	23	11	36	3	4	1				0	22	An	100	3	1	1					Ī					34	2		70	2	2
23945	26,5	24	20	8	44	2	1		1			0	11	Ru, Di, Chld, Sp	100	1											1	41	3		76		14
23946	27,5	23	28	7	38		3		1			0	10	Px	100	2			1									35	3		54		28
23947	28,5	11	31	10	43	2	2			1		0	7	Tu	100	1	1										1	35	5	3	53	2	5
23948	29,8	18	30	6	40	1	4	1				0	4	Zr, Chld	100	3	1										5	38	2		59	1	25
23949	30,5	23	27	11	33		3	1	1			1	13	Di, Px, An	100	3				1							1	30	2	1	74	1	34
23950	31,1	27	28	6	35		0		4			0	18	St, Chld	100													34	1		47		13
23951	31,7	34	24	5	27		1	1	8			0	15	Chld, An	100	1									_			26	~	1	36	1	7
23952	32,4	35	20	1	31		2	2	2	4		1	21	Di, An, Br	100	2		-							1			29	2		/3		16
23953	32,9	19	27	0	30		2	2	5	1		0	13		100	2		-										34	4		42		4
23954	34.5	26	32	5	25		2	1	/ 8			0	17	Ru, Di, Ciliu Ru, Chid, Sp	100	2											2	25	- 1		30		2 0
23955	35.8	15	31	8	37		2	3	4			0	11	Sn	100	2											2	36	1		56		17
23957	36.6	23	33	4	31		1	3	4			1	16	Di Ti	100	1									1		<u> </u>	29	2		46	1	3
23958	37.8	27	24	5	37		2	1	4			0	10	An	100	2											1	36	1		53		8
23959	39,2	7	32	8	45		0	3	5			0	10	Ru, St	100		1	1					Ī					43	2		55		13
23960	39,8	11	33	5	49		0	1	1			0	9		100												5	46	1	2	57	6	19
23961	41,8	18	31	3	40		2	4	2			0	9	Ru, An, Ti, Chlt, Chld	100	1			1									38	2		29	1	7
23962	43,5	29	26	8	32		2	1		1		1	15	Di	100	2									1		1	31	1		58		9
23963	44,8	19	33	9	29		1	4	5			0	12	Ru, Di, Chlt	100	1												28		1	43		7
23964	45,9	16	36	4	35		1	2	5			1	10	GI	100	1	_			1							2	34	1		1		8
23965	46,5	38	18	13	22		3	4	2			0	15	Di, Si, Px	100	1		1	1									19	3		63		
23966	47,5	44	19	6	19		0	3	9			0	4	Ru, Di, An, Sp	100		_	<u> </u>									_	16	3		42		1
23967	48,5	43	25	8	22		0		^			1	11	St, DI, Sp, Px	100	1	-	-							1		_	22	~		49		
23060	49,5	28	3Z	0	21	1	2	1	3	1		0	17		100	1	-	-	1						$\vdash$	_	+	20	2		00	2	1
23909	52.5	41	20	3	15		1	2	2			0	20	Chit Py An	100	1	-	-	-		_			_	$\vdash$		+	15	-		36		1
23970	53.5	42	28	2	10		2	4	2			1	20	Zr St Py	100	-	1	1	-		_			_	1		+	9		1	46		1
23972	54 7	47	38	7	1		1	4	1			1	31	Di, An, Px	100	1	Ľ	Ľ			_	$\vdash$		_	1	+	+	1			54		1
23973	55,4	48	29	7	6		2	5	1			2	20	Si, Px	100	2	1	1							2		+	5	1		60		2

#### Bohrung Mannheim Ergo BKEX1

Probe	Feufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	yroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Dpak	3emerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	(enotim	Brookit	3laukophan	Chloritoid Siotit	Chlorit	gr. Hbl	or. Hbl	Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
24175	85	46	17	7	26	-	2	- 2			1	0	10	By Di Chit	100	2	-	`	•,	-	-					0	25	1	-	58	1	5
24176	10.5	40	14	6	20	2	4	4		1		0	18	Si Di Chlt	100	2		1						_		6	18	1	1	76		11
24177	11.0	40	22	10	10	2	- 2			<u> </u>		0	21	7r	100	2							-	_			10		<u> </u>	60	2	2
24178	12.5	40	20	6	25	3	2	- 1	1			0	6		100	1		1	1					_			24		1	60		2
24170	13.2	30	20	13	26	1	4	2				0	8	Zr	100	4			-				-	_			25	1	<u> </u>	51		- 3
24180	14.9	54	19	5	16	3	1	2				0	19	Zr Di Si Chlt	100	1							-	_		2	15	1		51	1	2
24181	15.5	35	26	6	27	1	1	- 3				1	16	An Chlt	100	1									1	1	24	2	1	42	1	12
24199	17.4	36	22	6	24	6	2	4				0	12	Zr. Ant. Chld	100	1			1								24	-		49	1	4
24182	18.5	15	22	13	33	4	5	7				1	18		100	3		2	-	1						1	33			102		5
24183	20.5	22	23	4	42	1	5	-	2	1		0	9	Di	100	4		1									37	5		63		2
24184	21.5	28	24	7	34	1	4	1	1			0	10	Chid	100	3			1								33	1		64		1
24185	23,5	24	29	6	37	2	0		2			0	26	Tu, St	100												35	2		43		3
24186	24,5	22	28	6	36		1	3	3	1		0	7	Ti, Di, An, Px, Chlt	100	1											33	3		45	1	5
24187	26,2	19	28	8	39	1	1	3				1	14	St	100		1								1	1	35	3	1	113		38
24188	26,7	13	29	10	37	2	2	6	1			0	18	Chld, Chlt	100	2											34	2	1	74	3	15
24189	27,5	31	28	7	27	2	2	1	1			1	14	Si, Di, Chlt	100	2							1				26		1	57	1	13
24190	29,5	28	23	8	30	1	2	3	4	1		0	13	Chld	100	2											30			45		10
24191	31,5	26	25	6	36	1	2	1	3			0	14	Ru, Chlt, Chld, Si	100	2										2	35	1		58		7
24193	37,7	18	29	5	41		2	4	1			0	7	Ru	100	2										1	40	1		65		5
24194	42,7	38	35	4	16		0	3	4			0	18	Di	100											1	16			53		14
24195	44,5	36	24	6	28	1	3	1	1			0	11	Di	100	3											27	1		65		4
24196	48,5	54	25	4	11		3	2	1			0	22	An, Px	100	1	1		1								10	1		34		
24197	50,5	42	30	6	16		3	3				0	21	Zr, Si, Px, Chlt	100	3											13	3		55		6
24198	52,5	55	23	12	6	1	0	2				1	29	Ru, Chlt	100										1		6			65	1	2

### Anhang B

#### Bohrung Mannheim Friesenheimer Insel

Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	yroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Dpak	3emerkung	summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	litanit	Monazit	(enotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	jr. Hbl	or. Hbl	. Hbl	Aggregat	Quarz	Slimmer
23879	10	15	18	9	53	1	3	1		-	-	0	19	Di, An, Chlt	100	1	-		2	-	-	^	_	•	•	1	-	50	3	1	79	•	12
23880	18	12	27	12	36	3	2	7	1			0	12	St, Di	100			1	1									33	2	1	75		4
23881	25	27	33	8	26	2	3				1	0	19	Tu, An, Zr, Ru, Di	100	3												24	2		59		5
23882	35	40	19	10	25	1	2	1	2			0	20		100	1		1										22	2	1	50		2
23883	40	31	20	4	39	1	2	1	1		1	0	9	An, Di	100	2												33	6		63		9
23884	45	28	36	11	22	1	0	2				0	29	Si, St, Chlt	100													21	1		92		8
23885	51	34	35	9	16	2	1	2	1			0	22	Di, Si, Ru	100	1												12	2	2	49		5
23886	55	37	22	9	22		2	3	5			0	22	Di, Si, Px, An, Chlt	100	2												21	1		31		2
23887	60	32	23	14	23	1	4	1	2			0	18	An	100	3	1											19	4		71		1
23888	65	22	28	9	31		6	3		1		0	9	Si, Di, Chlt	100	6												29	2		75	1	5
23889	70	39	30	6	17		5	2	1			0	15	Ru, Px, Chlt	100	3	2											16	1		40		2
23890	75	42	35	9	8	2	1	2	1			0	12	Ru, St, Si, An, Chld	100		1											6	2		46		2
23891	80	41	29	9	9		1	1	8	2		0	15	Chlt, Di	100	1												9			48		1
23892	85	22	33	13	30		1	1				0	5	Px, Chlt	100		1											26	4		89		12
23893	91	47	15	8	23		0	3	2		1	1	9	Ru, Di, An, St, Px, Si, Chlo	100					1								22	1		48		
23894	96	38	23	8	25		2	2	2		0	0	4		100	1			1									23		2	70		4

#### Bohrung Mannheim Käfertal UVB1

obe	ufe	anat	oidot	terit	ornblende	roxen	etamorphe	rmalin	rkon	ıtil	latas	Itene	oak	merkung	imme	aurolith	sthen	ıdalusit	llimanit	tanit	onazit	notim	ookit	aukophan	inell	otit	ilorit	. HbI	. HbI	НЫ	<b>Igregat</b>	larz	immer
P.	Te	ō	щ	Ā	Ŧ	5	ž	2	Ż	R	Ar	Š	ŏ	ŭ	Su	5	ā	¥	Si	Ē	ž	×	B	G	ŝ	ö	ò	gr	br	f. I	Ř	ð	G
22783	0,85	28	15	47	5		1	1	1	2		0	20	St, Si	100		1		•												<u> </u>	$\square$	
22784	2,3	22	28	29	/		3	3	8			0	19	RU St Pu	100		1		2												'		1
22786	3,3	18	31	30	9		4	4	2	1		0	19	SI, RU	100	1		2	1												<u> </u>	-	1
22787	4,5	32	27	25	6		3		3	4		0	22	Tu, Di, Px	100	1		1	1												<sup> </sup>		
22788	5,2	30	19	31	15		1	1	2	1		0	20	St	100				1														
22789	5,6	31	31	27	6		1	2	1	1		0	21	St, Si	100		1																3
22790	6,2	28	31	29	8		0	1	2	1		0	21	St, Di, Si	100																		1
22791	7,5	39	29	15	9	2	4	2	_	_		0	23	Ru, Di	100	1			3												'		3
22792	8,1	35	12	16	11	2	3	11	5	5		0	22		100	2		1	1												<sup> </sup>	<u> </u>	2
22793	9,5	10	20	23	25	1	4	10	2	2		0	20	Di	100	2		1	2												<u> </u>	<u> </u>	0
22795	11.2	17	25	19	30		5	1	1	2		0	20		100	4			1												<sup> </sup>	-	2
22796	11,8	32	20	20	22	1	3	1	1	-		0	23	Di	100	2			1												<sup> </sup>		3
22797	12,3	17	23	20	35	1	0	2	1	1		0	25	St, Di, Si	100																		
22798	13,4	24	23	15	32	1	3	1	1			0	20	Ru, Di	100	2			1												[		1
22799	14,4	14	16	22	42		4	1	1			0	35		100	1	1		2														
22800	15,1	19	22	18	30		3	5	2	1		0	15	Di, Px	100	2			1												'		1
22801	15,8	21	26	14	30		4	3	1	1		0	22		100		1		3												'	<u> </u>	1
22802	10,5	21	30	17	28		0	3	3			0	17	St, Ru, DI, SI	100																<sup> </sup>	$\vdash$	1
22804	18.2	35	20	15	20		3	2	5			0	33	St Zr Di	100				3												<u> </u>	$\vdash$	1
22805	18.7	21	22	17	35	1	3	1				0	21	Ru. Zr	100	1	1		1														2
22806	19,2	20	40	9	29		2					0	18	Ru, Zr, Tu, Di, Px	100	1	-		1														5
22807	20,1	18	29	10	38		3		2			0	20	St, Tu	100				3														3
22808	20,8	30	29	15	21		1	2	1	1		0	24	St, Di	100				1														4
22809	21,4	25	30	10	30		2		2	1		0	11	Tu, Di, Si	100	2															ļ'		5
22810	22,5	32	29	8	18		5	4	4			0	15	St, Ru	100		2		3												'	<u> </u>	4
22811	23,5	29	25	13	26		3	2	1	1		0	13	St, DI	100		1		3												⊢′	<u> </u>	4
22012	24,5	22	20	17	18		7	2	1	1		0	14	St, Ru, ZI, Tu St	100		1		5												<sup> </sup>	$\vdash$	3
22814	25,1	15	23	14	43		2	1	1	1		0	19	St Di Px	100				2												<sup> </sup>	-	3
22815	26,5	19	20	14	40		4	1	1	1		0	23	St, Di, Px	100			1	3												<sup> </sup>		5
22816	27,8	24	21	15	35		4	1				0	18	Zr, Di	100	2			2														4
22817	29,3	31	31	10	18		5	2	3			0	28	St, Ru, Di	100				5														
22818	29,7	31	20	10	33		4	2				0	12	St, Zr	100				4												ļ'		1
22819	30,8	24	26	6	32		8	2		2		0	18	Zr Zr Di	100				8												'	<u> </u>	5
22820	31,5	21	17	12	38		9	3	2			0	19	Zr, Di	100	1	1		8												⊢′	<u> </u>	4
22822	32,5	22	17	12	42	1	6	2	2			0	16	Ru Di	100	1			5												H		0
22823	33.5	15	28	12	34	1	5	1	2	2		0	29		100	1	1		3												<sup> </sup>		<b>—</b>
22824	34,1	29	19	14	26		4	3	4	1		0	33	St	100		1		3														1
22825	34,7	42	22	9	15		8	3	1			0	17	St	100				8														2
22826	35,5	33	26	10	18		8	2	2	1		0	33	St	100		1		7														
22827	36,1	32	26	14	12		12	3		1		0	26	St, Zr, Px	100		1		11												ļ'		1
22828	36,8	40	20	12	19		7	2				0	17	St, Ru, Zr	100				7												'		
22829	37,5	16	27	16	17		22	0	1	1		0	16	St, Tu, Di, Px	100	4	4		22												<sup> </sup>	<u> </u>	2
22830	39.5	19	12	9	42		12	0	1	1		0	10	ZI Ru Tu	100	1	1		12												<sup> </sup>	$\vdash$	8
22832	40.5	19	19	9	37	-	14	2	·			0	16	St, Zr, Di	100	Ľ	1		14			$\vdash$										$\square$	6
22833	41,3	24	20	11	33		11	_	1			0	17	Ru	100	1			10														2
22834	41,7	17	37	5	22		15	1	3			0	16	St, Ru, Di	100		1		15														25
22835	42,3	9	36	14	24		6	7	1	1		2	18		100				6	2													
22836	42,7	26	24	8	17		17	3	3	2		0	12		100	1	1	1	14												'		9
22837	43,3	16	26	13	23		8	3	3		1	7	16	Of Du Di	100	4	-	1	3	5					2						'	$\vdash$	3
22838	43,6	20	27	5	24		21	2	1	1	1	0	14	SI, KU, DI	100	1	-	$\vdash$	21	1		-									<sup> </sup>	<u>                                     </u>	6
22039	44,0	<b>∠</b> 1	~1	14	24	1	L 4	<b>∠</b>	5			1 1	+ I	1	1100	1 1	1	1	1 .		1	1	1		1		1		1	1	1 1	1 1	U

#### Bohrung Mannheim Käfertal UVB3

					ende	Ę	orphe	in				6		ßung	a	lith	-	Isit	nit		it	Е.	-	oid			НЫ		jat		er
robe	eufe	èranat	pidot	Nterit	lornbl	yroxe	letam	urmal	irkon	Rutil	Vnatas	seltene	Dak	Semerl	mme	staurol	listher	Vndalu	sillima	itanit	lonazi	(enotir		slauko	Biotit	hlorit	г. + f.	r. Hbl	Vggreg	Quarz	Blimme
22683	0.65	26	26	26	- 6	1	<u>م</u>	<b>۲</b>	2	۳ ۲	~	0	23	ш	100	2		2	0	-	-	~ "				0	6	-	~	0	0
22684	0.95	36	22	18	7		7	10	2	0		0	53	Zr St	100	0	1	2	4								5	2			
22686	2.80	40	23	23	2		5	4	1	2		0	38	21, 01	100	1	0	2	2								1	1			1
22687	3.90	36	23	19	13	2	2	4		1		0	31	Px. St	100	0	0	1	1								13	-			-
22688	4,20	33	28	23	5		1	8	2			0	28		100	1	0	0	0						1		3	2			
22689	4,90	38	23	22	11		3	3				0	37		100	1	0	0	2						1		8	3			
22690	5,50	34	20	20	10		2	2	10	2		0	28	St	100	0	0	2	0								8	2			
22691	6,25	37	26	18	9		5	1	4			0	42		100	1	1	1	2								9				
22692	6,70	21	26	21	22		2	6		2		0	43	Zr	100	2	0	0	0								20	2		-	
22693	6,95	40	14	19	8		6	8	4	1		0	24		100	1	0	2	3								7	1			
22694	7,20	25	14	14	17		4	9	15	2		0	31		100	1	0	0	3						1		16	1		-	
22695	7,95	31	15	16	17		3	6	9	3		0	30		100	0	0	3	0								16	1		-	1
22696	8,50	26	19	18	16		3	2	14	2		0	17		100	1	1	1	0								14	2		-	1
22697	9,10	13	14	14	12		11	10	20	6		0	24		100	0	0	5	6								12				3
22698	9,80	15	19	11	21	4	3	13	6	7		1	37		100	0	1	2	0				1				21				15
22699	10,30	21	11	18	29		4	8	7	2		0	17		100	0	0	1	3								28	1			3
22700	10,95	17	29	16	34		1	2	1			0	43		100	1	0	0	0							1	32	2			
22701	11,50	17	24	31	18		3	3	4			0	31		100	1	0	2	0								17	1			
22702	12,90	28	25	16	24	1	3	2				1	42	Di	100	2	0	1	0					1			22	2			
22703	13,30	27	28	15	22		2	2	3	1		0	49		100	1	1	0	0								20	2			
22704	14,10	7	21	38	27		3	3	1			0	30		100	1	0	1	1								22	5			2
22705	15,85	14	27	15	37		3	3	1			0	55		100	1	0	0	2								35	2			1
22706	16,50	10	26	22	34		2	6				0	40	St	100	0	0	0	2								33	1			2
22707	17,20	13	32	17	29		2	7				0	51		100	1	0	0	1								27	2			2
22708	18,50	19	20	35	20		4	2				0	28	Zr	100	0	1	0	3								18	2			1
22709	19,10	20	19	26	32		2	1				0	16		100	2	0	0	0								30	2			4
22710	20,50	28	18	29	22	1	2	0				0	35		100	0	2	0	0								18	4			
22712	22,10	11	33	16	34		2	4				0	30		100	0	1	0	1								32	2			2
22713	23,10	8	35	30	20		2	4	1			0	35		100	1	0	1	0								17	3			4
22714	23,50	29	28	21	16		2	4				0	48		100	2	0	0	0								14	2			4
22715	24,10	12	26	40	16		2	4				0	38		100	0	1	1	0								16				4
22716	25,50	30	22	16	22		3	4	2	1		0	44		100	1	1	0	1								17	5			
22717	26,30	13	29	39	13	1	1	2	1	1		0	38		100	0	0	0	1								11	2			2
22718	27,50	8	25	26	30		3	8				0	54		100	2	0	0	1								27	3			3
22719	28,20	10	24	41	22		1	2				0	43		100	0	0	1	0								17	5			2
22720	29,40	27	21	16	26		4	6				0	48		100	2	2	0	0								24	2			5
22721	30,90	23	35	23	18		0	0		1		0	54		100	0	0	0	0								17	1			
22722	31,70	16	28	16	32		2	6				0	40		100	0	2	0	0								28	4			6
22723	32,90	27	21	12	26		2	11	1			0	39		100	0	2	0	0								24	2			4
22724	33,80	11	14	25	32		17	1				0	33		100	5	5	7	0								28	4			8
22725	34,80	13	32	19	14	1	6	10	4	1		0	16		100	0	1	5	0								14				5
22726	35,05	24	28	17	26		1	4				0	51		100	1	0	0	0			1				1	24	2			7
22727	35,60	26	22	19	21		2	9		1		0	40		100	0	0	2	0						1		18	3		-	
22728	36,20	31	22	10	25		2	9	1			0	57		100	1	0	1	0						1		22	3		-	7
22729	37,70	48	16	12	20		0	3	1			0	49		100	0	0	0	0						1		18	2		-	
22730	38,50	9	28	18	38		2	3		2		0	22		100	1	0	1	0			1					36	2			2
22731	39,50	6	23	38	25		3	5				0	54		100	0	0	3	0								22	3			7
22732	40,30	39	18	12	16		4	9	2			0	44		100	1	0	0	3			1					13	3			2
22733	41,60	51	14	10	19		1	2	3			0	45		100	0	0	0	1								16	3			2

#### **Bohrung Osthofen**

	-																															
Probe	Teufe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit Glaukonhan	Chloritoid	Biotit	Chlorit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
25302	1,3	28	24	12	27	2	3	2	2			0	16	Ru, Ant, Chld, Di, Bi	100	3									1		25	2		53		1
25307	4,7	28	26	12	25	3	6					0	16	Tu, Ru, Di, Si	100	5		1									22	3		40		
25318	11,3	29	30	17	18		3	2	1			0	17	Si, Px, Gl	100	2	1									1	14	3	1	79		
25298	20,8	3	4				0	30	39	6	18	0	30	Si	100															16		
25303	37,2	2					0	73	13		12	0	18		100															25		
25312	48,6						0	72	11	1	16	0	15	Gr, Ti	100															30		
25341	58,7	4	4				0	81	4		7	0	14	gr. Hbl	100															33		
25336	63,2	0	0				0	67	21		12	0	32		100															24		
25345	65,8	16	16	7	7		0	36	14		4	0	34	Ru	100												5		2	33		2
25335	75,1	43	22	10	18	1	2	1	2		1	0	18	Ru, Di, Ti	100	1		1									17	1		47		
25339	84,7	44	28	8	12		4	1	1		1	1	8	An, Chld, Si	100	2	2			1							12			49		
25334	86,4	14	3		12		1	27	17	2	17	7	25	Bi	100	1					6	1					8	4		52		
25327	97,2	8			20		0	19	33		17	3	29	Ep, Ru	100						2	1					20			17		
25314	107,3	11	6		11		1	35	18	1	15	2	40	Di, Xe	100			1			2						8	3		24		
25323	116.1	18	6	1	7		4	49	6		9	0	45		100	2	1	1									6	1		49		3

#### **Unterer Meeressand / Eckelsheim**

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Probe 1	23205	3	2				0	48	38	8	1	0	56		100											1				34	54	1
Probe 2 (kalkfrei)	23206	4		1			0	41	51	3		0	68		100															15	1	1

#### Dinotheriensande / Eppelsheim

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit Xenotim	Brookit	Glaukophan	Spinell	Biotit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Sande 6	23204	33	6	2	6		1	32	15	2	2	1	51		100	1				1						6			20	2	1
Sande 5	23203	38	2	2	4		4	39	6	2	2	1	54	St, Si	100	3		1				1	1			3		1	26	5	1
Sande 4	23202	34	4		5		1	26	21	3	2	4	46		100			1		3			1			4		1	16	9	
Sande 3	23201	45	2	3	2		13	21	4	2		8	55	St	100	12			1					8		2			14	2	
grobe Sande 2	23200	41	5		1		2	28	17	2		4	49		100		1	1		1				3		1			8	7	
Basis-Sande 1	23199	14	4		2		1	13	58	3	3	2	35		100	1						2	2			2			5	5	

#### Kaolinsande Monsheim / Kriegsheim

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Spinell	Biotit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
u. Terrasse 1	23186	23	1	1	22	1	4	22	21	2		3	40		100	3			1	2			1				3	19		11	3	
u. Terrasse 2	23187	26	3		11	1	3	30	22	2		2	55		100	2			1	2							2	9		18	5	
Kaolinsande 5	23192						0	59	28	4	9	0	34		100															10	2	
Kaolinsande 4	23191						0	53	27	4	15	1	59		100							1								10	5	
Kaolinsande 3	23190						0	60	21	6	13	0	62		100															6	54	
Kaolinsande 2	23189						0	67	21	3	9	0	52		100															6	19	
Kaolinsande 1 (unten)	23188						0	34	55	3	8	0	48		100															12		

#### Freinsheim-Schichten / Großkarlbach

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Monazit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Spinell	Biotit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Kies über Freinsheim-Schichten	23198						0	55	34	3	8	0	40	Xe	100														8	12	
Sande unter Kies	23196						0	38	39	5	18	0	50		100														9	13	
Sande 3	23195						0	44	43	2	11	0	35		100														16	7	
Sande 2	23194						0	48	34	2	15	1	41		100							1							5	5	
Sande 1	23193						0	47	35	3	15	0	45		100														17	10	

#### Mainz-Weisenau

	Probe	Granat	Epidot	Alterit	Hornblende	Pyroxen	Metamorphe	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Seltene	Opak	Bemerkung	Summe	Staurolith	Disthen	Andalusit	Sillimanit	Titanit	Xenotim	Brookit	Glaukophan	Chloritoid	Biotit	gr. Hbl	br. Hbl	f. Hbl	Aggregat	Quarz	Glimmer
Ältere Weisenauer Sande	24604	28	46	7	8		3	3	2	1		2	12	Di	100	3				1				1		7		1	34		4
kalkhaltiger Reuver-Sand	24603	49	25	2	11		1	5	3	3		1	17	Di	100	1								1		10	1		42		
Arvernensis-Schotter	24602	26	3		1		13	18	28	2	7	2	30	Di	100	13					2	2				1			19	6	2

# eg II-Bohrung Hartheim



Röntgendiagramm Probe 49,5 m, Interreg II-Bohrung Hartheim

### Anhang C

### VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IM TEXT

Abb. 1:	Übersichtskarte des Oberrheingrabens und seiner Randgebirge (verändert nach WALTER 1992).	7
Abb. 2:	Mächtigkeit des Quartärs (nach BARTZ 1974)	12
Abb. 3 a-c:	Entwicklung der Flusssysteme von Rhein und Donau (nach VILLINGER 1998, GIAMBONI & SCHMID 1999).	14
Abb. 4:	Tektonische Einheiten und halokinetische Strukturen im südlichen Oberrheingraben (nach Regierungspräsidium Freiburg 2002, Laubscher et al. 1967).	23
Abb. 5:	Tektonische Übersichtskarte des Nördlichen Oberrheingrabens (nach Kärcher 1987) mit Lage der untersuchten Bohrungen (rote Markierungen)	33
Abb. 6:	Morphologische Übersichtskarte des Nördlichen Oberrheingrabens (nach KÄRCHER 1987) mit Lage der untersuchten Bohrungen (rote Markierungen).	34
Abb. 7:	Schematischer geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt durch den nördlichen Oberrheingraben (HGK 1999).	35
Abb. 8:	Lage der Aufschluss- und Bohrpunkte (Kartengrundlage: nach WALTER 1992).	56
Abb. 9:	Legende für alle Schwermineraldiagramme und Signaturen in den Lithofazieslogs.	57
Abb. 10:	Schwermineraldiagramm der Sundgau-Proben aus den Aufschlüssen Heimersdorf, Riespach und Feldbach.	60
Abb. 11:	Schwermineraldiagramm des Profils Seppois-le-Bas (nach BOENIGK 1987).	61
Abb. 12:	Schwermineraldiagramm der III-Analysen (nach VAN ANDEL 1950).	61
Abb. 13:	Schwermineraldiagramm der Proben aus der Wiese (VA = VAN ANDEL 1950).	62
Abb. 14:	Schwermineraldiagramm der Proben aus der Kander (VA = VAN ANDEL 1950).	63
Abb. 15:	Vereinfachter geologisch-hydrogeologischer Profilschnitt durch die Freiburger Bucht zwischen Dreisam-Tal und Kaiserstuhl (LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2002).	65
Abb. 16:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Dreisam-Tal.	67
Abb. 17:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Freiburg Hauptbahnhof B1	68
Abb. 18:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung DB Unterwerkstraße B2.	69
Abb. 19:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung DB Unterwerkstraße B3.	70
Abb. 20:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Freiburg Lorettobad.	71
Abb. 21:	Schwermineralanalysen von Proben aus dem Elz-Tal.	72
Abb. 22:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Teningen.	74
Abb. 23:	Schwermineraldiagramm der Kinzig-Analysen (VA = VAN ANDEL 1950).	78
Abb. 24:	Schwermineralbefunde der Proben der Rench	79
Abb. 25:	Schwermineraldiagramm der Analysen von Murg-Sedimenten (VA = VAN ANDEL 1950).	79
Abb. 26:	Schwermineralanalysen von Doller und Giessen (nach VAN ANDEL 1950).	81
Abb. 27:	Schwermineraldiagramm der Breusch-Sande im Aufschluss Holtzheim.	82
Abb. 28:	Schwermineralbefunde von Flusssanden aus der Zorn (nach VAN ANDEL 1950).	82
Abb. 29:	Schwermineralbefunde von Flusssanden aus der Moder (nach VAN ANDEL 1950).	83
Abb. 30:	Schwermineraldiagramm von Proben entlang des Neckarlaufs (nach VAN ANDEL 1950).	84
Abb. 31:	Verlauf des früheren und heutiges Neckars mit der Mauerer Neckarschleife (Internet: www.geocities.com/CollegePark/Field/9267).	85
Abb. 32 a-d:	Entstehung der Neckar-Ablagerungen bei Mauer in einer ehemaligen Neckar-Schleife (KRAATZ 1992).	86
Abb. 33:	Schwermineraldiagramm der Mauerer Sande.	87
Abb. 34:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung S170.	90
Abb. 35:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung SSO240.	90
Abb. 36:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung SSO240 T	91
Abb. 37:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Marie-Louise.	93
Abb. 38:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Rumersheim-le-Haut.	96
Abb. 39:	Schwermineraldiagramm der Spülbohrung Hirtzfelden.	97
Abb. 40:	Schwermineraldiagramm der Bohrung BK4/26 Bad Bellingen (Elsässer Molasse).	_103
Abb. 41:	Lage der Bohrung Hettenschlag (rote Markierung "Künftige Bohrung") am Ostrand des Hettenschlager Doms (ELSASS & WIRSING 1999).	_115
Abb. 42:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lahr B12.	_120
Abb. 43:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lahr B13.	_121

### Anhang D

Abb. 44:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lahr B14.	122
Abb. 45:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Offenburg BK 34-1.	126
Abb. 46:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Rheinmünster.	127
Abb. 47:	Schwermineraldiagramm der Bohrung Sessenheim (Ex-Mary-Kocher, nach BOENIGK 1987, Einstufung nach GEISSERT 1972).	133
Abb. 48:	Schwermineraldiagramm der Bohrung Soufflenheim (nach BOENIGK 1987)	134
Abb. 49:	Lithofaziesprofile und Schwermineraldiagramme der Bohrungen Rheinstetten SP1 und BK1.	137
Abb. 50:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Eggenstein BK1a.	140
Abb. 51:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Eggenstein BK2a.	141
Abb. 52:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Karlsruhe B1	142
Abb. 53:	Lage des pliozänen Randgrabens (gelb) und Lage der Bohrpunkte im Bienwald (VERBANDSGEMEINDE BAD BERGZABERN / VILLE DE WISSEMBOURG 2001).	149
Abb. 54:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung B Mundatwald.	152
Abb. 55:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung C Hippodrome Wissembourg.	153
Abb. 56:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung G Deutschhof.	155
Abb. 57:	Schwermineraldiagramm der Bohrung Bienwaldbrunnen (nach Archivdaten vom LGB RHEINLAND-PFALZ).	157
Abb. 58:	Schwermineraldiagramm der Proben aus der Sandgrube Riedseltz.	158
Abb. 59:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm eines Ausschnitts der Bohrung Speyer- Nord TB3.	161
Abb. 60:	Schematisches Pollenprofil der Bohrung Schifferstadt (KNIPPING 2002).	165
Abb. 61:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ludwigshafen-Maudach A64/1.	168
Abb. 62:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ludwigshafen-Maudach A65/1.	170
Abb. 63:	Kompilierte Schnittdarstellung im Bereich Ludwigshafen Parkinsel-Süd (nach HGK 1999, LGB RHEINLAND-PFALZ 2000).	172
Abb. 64:	Bohrprofil und Gamma-Log der Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel P34 (schriftliche Mitteilung Kärcher).	173
Abb. 65:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Lindenhof A55Z.	182
Abb. 66:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung BK1 Hauptbahnhof.	185
Abb. 67:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ergo BKEX2.	188
Abb. 68:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Ergo BKEX1.	190
Abb. 69:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Mannheim-Friesenheimer Insel.	192
Abb. 70:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Mannheim-Käfertal UVB1	195
Abb. 71:	Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm der Bohrung Mannheim-Käfertal UVB3.	197
Abb. 72:	Das Mainzer Becken (nach STAPF 1988), Lage der Aufschlusspunkte und der Bohrung Osthofen.	202
Abb. 73:	Schwermineraldiagramm des Unteren Meeressandes am Steigerberg.	203
Abb. 74:	Verbreitung der Dinotheriensande und Arvernensis-Schotter im Mainzer Becken (nach ROTHAUSEN & SONNE 1984).	205
Abb. 75:	Schwermineraldiagramm der Dinotheriensande in der Forschungsgrabung Eppelsheim.	206
Abb. 76:	Schwermineraldiagramm der Sedimentabfolge bei Monsheim - Kriegsheim.	208
Abb. 77:	Schwermineraldiagramm der Freinsheim-Schichten bei Großkarlbach.	209
Abb. 78:	Schwermineraldiagramm der Proben aus dem Steinbruch Mainz-Weisenau.	211
Abb. 79:	Verbreitung des Pliozäns (nach ROLL 1979), Verlauf des Ur-Rheins (nach ILLIES 1965), Verbreitung der Dinotheriensande (nach ROTHAUSEN & SONNE 1984), untersuchte Vorkommen der pliozänen Grabenrandfazies sowie der fluviatilen Fazies im	
	Grabenzentrum.	218
Abb. 80:	Schematischer geologischer Profilschnitt durch den nördlichen Oberrheingraben im Bereich der Frankenthaler Terrasse. Darstellung der durch unterschiedliche Schwermineralspektren gekennzeichneten Sedimentabfolgen, die in den Bohrungen Schifferstadt Ludwigshafen-Maudach Ludwigshafen-Parkinsel und Mannheim-	
	Friesenheimer Insel angetroffen wurden.	229

### VERZEICHNIS DER TABELLEN IM TEXT

Tabelle 1:	Stratigraphische Untergliederungen im Oberrheingebiet im Vergleich zur Stratigraphie im Alpenvorland (nach Bartz 1982, HGK 1999, STD 2002, LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2004).	22
Tabelle 2:	Lithostratigraphische und hydrogeologische Gliederung der Lockergesteine im Rhein- Neckar-Raum, Gegenüberstellung der Gliederungen aus der HGK 1987 und der HGK 1999.	36
Tabelle 3:	Herkunft der verschiedenen Schwerminerale (GRAF & HOFMANN 2000).	51
Tabelle 4:	Schwermineralzählungen Riespach im Vergleich mit Daten von BONVALOT (1974).	59
Tabelle 5:	Übersicht der verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten und deren Schwermineralspektrum (Fettdruck: Hauptminerale, Kursivdruck: kennzeichnende Merkmale).	_212

## VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

Mineral-Abkürzungen:

Al	Alterit
An	Andalusit
Ant	Anatas
Ba	Baryt
Bi	Biotit
Br	Brookit
br. Hbl	braune Hornblende
Chld	Chloritoid
Chlt	Chlorit
Di	Disthen
Ep	Epidot
f. Hbl.	farblose Hornblende
Gl	Glaukophan
Gli	(Hell-)Glimmer
Gr	Granat
gr. Hbl	grüne Hornblende
Ко	Korund
Mo	Monazit
Px	Pyroxen
Ru	Rutil
Si	Sillimanit
Sp	Spinell
St	Staurolith
Ti	Titanit
Tu	Turmalin
Xe	Xenotim
Zr	Zirkon

Sonstige Abkürzungen:

Abb.	Abbildung
AQ	Altquartär
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
etc.	et cetera
GOK	Geländeoberkante
GWLOZH	Grundwasserleiter im Oberen Zwischenhorizont
Н	Hochwert
JQ	Jungquartär
ka	Kilo Jahre (1000 Jahre)
LGB	Landesamt für Geologie und Bergbau
LGM	Last Glacial Maximum
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
m	Meter
MEG	Most Extensive Glaciation (Grösste Vergletscherung)
MGWL	Mittlerer Grundwasserleiter
Mio	Million
MKL	Mittleres Kieslager
MSF	Mittlere Schichtenfolge
NN	Normalnull

### Anhang F

obere Groblage
Oberer Grundwasserleiter
Oberes Kieslager
Obere Schichtenfolge
Optisch Stimulierte Lumineszenz
Oberer Zwischenhorizont
Rechtswert
sandige Lage
Tabelle
unter anderem
unter Geländeoberkante
untere Groblage
Unterer Grundwasserleiter
Unteres Kieslager
Untere Schichtenfolge
Unterer Zwischenhorizont
Untere Zwischenschicht
van Andel
zum Beispiel
zum Teil


Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Emmendingen EM7BT (R 3411466, H 5330097, 195 m NN) Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Chalampé (x=989180, y=2325820, z=216 m NN, R 3390494, H 5298555)



Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Heitersheim / Weinstetter Mühle (R 3395385, H 5308373, 211 m NN)













Iffezheim-Formation

Anlage 5

# Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Interreg II-Bohrung Hartheim (R 3395374, H 5312578, 200 m NN)



		$\nabla \overline{A}$	gravitativ resou.			_			
				24570				Tu, Si, Di	15
			vw Dm mit rosa u. grünen Geröllen						_
hten	80 -	$\nabla$	sDm - Dm bn sDm - Dm bn	24571	80 -				28
chic				24572		-			21
s-ne			Dm eDm vDe hn	24372				п, Ап, Ы, Зі	5.
Breisga		$\nabla \nabla$	Dm, sDm, xDc bn	24573					26
			xDc	24574				Ko?, St, Ru	22
oere	90 -		xDc	24575	90 -	_		Chit	3(
ō	50			24070	00			on the	00
		$\nabla \circ \nabla$	xDm, viele vw Komp.	24576		-		St, Chit, Gl	18
			Dm - Dc, viele graue Kalke			_			
			Dm bunt	24577		_		Ru	35
	$\sim$ .		mit Dm-Zwischenlagen		100 -	-			
			xDm, viele vw Komp.	24578				Ru, Ti, Di	25
			xG	24570					20
			sxDc br	24070					0.
			Dm, xDm überwiegende frische Komp.			-			
	110 -		wenig verwitterte	24580	110 -	-		Di, Br	29
			xDm bunt, viele vw Komp.	24581		-		Di, Si, Gl	24
				24582		_		St, Si, Gl	18
			Dm ol						
			gS fluvial Gms	24583				Si, Di, An	29
	120 -		Gm  xGm, Matrix gebn	24584	120 -	_		St, Ti	34
-									
			xDm - Dm	24585				Di, Gl	30
		$\nabla^{\vee} \nabla^{\vee} q$	xDc, viele vw Komp. ol + bn						
			afa (sE hellaelh)	24586				St, Di	30
	400	$ \nabla^{\nabla} \nabla^{\nabla} \nabla $		24587	400 -	-			26
	130 -		xDc	24726	130	-		Ko, Chit, Px	22
	$\sim$					_			
				24727		_		St, Ko	34
			Dcg br-gebn	24728		_		Chit, Ko	30
				24729				Di. Chlt	23
	140 -		Dc br Dc schwärzlich		140 -	-			
			Dc ge + bn	24730				St, Di, Gl, Chlt	20
			xDm Dm.br	24731				br. Hbl, Di, Gl, Ko, Si	2'
	150 -								
				24732	150 -		Í	Ru, St, Si	23
				24733				Chld	53
iten			gestörter Bereich			-			
chich		$[\circ \bigtriangledown ] \circ \bigtriangledown [\circ \bigtriangledown ]$		24734				Di, Si	30
ıu-So				24735				br. Hbl. Ru. Si. Chid. Chit.	21
eisge	160 -	$\nabla \circ \nabla$		21100	160 -	_			0
Bre		$\nabla \circ \nabla \circ d$		24736				St, Di, Chld	15
ere		$\overrightarrow{\nabla}$							





260

# Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Interreg II-Bohrung Nambsheim (x=991300, y=2340026, z=200,6 m NN,



R 3393662, H 5312543)



lffezheim-Formation



stFl

220





Neuenburg-Formation

Breisgau-Formation

Oligozän

Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Niederhergheim (x=978980, y=2343815, z=212 m NN, R 3383200, H 5317350)



Jüngere Schotter

Breisgau-Formation

rtiär

Tertiär

Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Hettenschlag (x=981319, y=2345918, z=195 m NN,



R 3384308, H 5319300)



23468



80

170 —

### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Riegel (R 3405833, H 5338117, 178 m NN)



80 —

#### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm

Bohrung Plobsheim (x=998977, y=2396859, z=148 m NN,



R 3406296, H 5368501)





### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Iffezheim (R 3437950, H 5408850, 128 m NN)











Schwermineraldiagramm Bohrung Pliozänpegel PP19 (nach MAUS (in BARTZ 1982), R 3458740, H 5438710, 111 m NN)



Schwermineraldiagramm Saugbohrung FWR7 Karlsruhe (nach MAUS (in BARTZ 1982), R 3458960, H 5443790, 109 m NN)



### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Kronau B2 (R 3472495, H 5454219, 107,1 m NN)



100 -

#### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm

Bohrung Schwetzingen F 8/3 (R 3468971, H 5469593, 102 m NN)



F - hF, dgngr

#### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm

Bohrung Schwetzingen F 10 (R 3469634, H 5469432, 101 m NN)



150

## Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm Bohrung Schifferstadt BK30C GM (R 3453707, H 5474326, 97,3 m NN)



#### Lithofaziesprofil und Schwermineraldiagramm

Bohrung Ludwigshafen-Parkinsel P34 (R 3460666, H 5481069, 92 m NN)





#### Bohrung Osthofen (R 3452580, H 5507590, 90,5 m ü NN)

Schwermineraldiagramm

Legende zu den Schwermineraldiagrammen und Signaturen der Lithofaziesprofile

