

Der südliche Rheingraben und seine geothermische Situation

Autor(en): **Hauber, Lukas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **60 (1993)**

Heft 137

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-216879>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der südliche Rheingraben und seine geothermische Situation

von LUKAS HAUBER*

mit 2 Tabellen und 5 Abbildungen

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine kurze Uebersicht über die tertiären Sedimente im südlichen Rheingraben gegeben. Sie lässt erkennen, dass das Einsinken des Grabens schon im oberen Eozän eingesetzt hat und einen ersten Höhepunkt im unteren Oligozän (Sannoisien) erreicht. Zahlreiche Schuttfächer mit groben Komponenten aus der Umrandung des Grabens deuten darauf hin, dass in dieser Zeit erhebliche Reliefunterschiede bestanden haben müssen. Das marine Rupélien greift transgressiv über die Küstenbildungen des Sannoisien hinaus und leitet eine Periode ruhiger Sedimentationsverhältnisse innerhalb des Grabens ein. Das Chattien bringt eine Aussüssung im Graben mit sich. Die Ablagerungen reichen teilweise bis über den heutigen Graben hinaus, was auf geringe Reliefunterschiede hindeutet. Mit dem Chattien enden die heute noch vorhandenen tertiären Ablagerungen. Im Miozän kommt es vor allem zu einer Heraushebung der begleitenden Massive von Schwarzwald und Vogesen. Die Bewegungen halten heute noch an, sind aber nicht mehr durch Subsidenz sondern durch Kompression und Scherkräfte gekennzeichnet. In geothermischer Hinsicht erweist sich auch der Südteil des Rheingrabens von Interesse, wie die Resultate der Bohrungen von Riehen 1 + 2 sowie Reinach zeigen. Der heutige geothermische Gradient beträgt hier etwa $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Abstract

A review of the sedimentary rocks found within the Rhein graben show that rifting began in late Eocene time and accelerated during the early Oligocene (Sannoisien). In the early Oligocene, substantial relief formed along the margins of the graben evidenced by the presence of numerous alluvial fans of coarse gravel. The middle Oligocene (Rupélien) throughout the graben is dominated by marine sedimentary rocks (mostly shale and sandstone). A return to lacustrine environment by the upper Oligocene is indicated by the presence of upper Oligocene (Chattien) marls, sandstone, and minor limestone which in part overflow the graben. The youngest rocks present in the southern part of the graben are of upper Oligocene age; however, Miocene age rocks are found in the north. Uplift of the Black Forest and the Vosges reach a maximum in the south, causing complete removal of the sedimentary cover. Newly drilled wells (Riehen 1 and 2, Reinach 1) show that the present-day geothermal gradient in the southern part is about $4^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ and may be favorable for producing geothermal energy.

1. Einleitung

In den letzten Jahren sind auf dem kleinen Schweizer Anteil des Rheingrabens die drei Geothermiebohrungen Riehen 1 und 2 sowie Reinach 1 abgeteuft worden. Auch im benachbarten Elsass finden sich einige Bohrungen aus jüngerer Zeit (u. a. Neuwiller, Leymen), so dass es angebracht erscheint, die dadurch gewonnenen geologischen Resultate aus einer etwas allgemeineren Sicht zu würdigen und zusammenfassend darzustellen. Hierbei sei zuerst der Sedimentinhalt des Grabens betrachtet, wobei natürlich in erster Linie das Tertiär zu berücksichtigen ist, da es in direktem Zusammenhang mit der Grabentektonik steht. Hieraus lassen sich Rückschlüsse über die Grabenentwicklung ableiten. Schliesslich werden die geothermischen Verhältnisse am Südende des Grabens kurz behandelt.

* Dr. L. HAUBER, Kantonsgeologe Basel-Stadt, Bernoullistrasse 16, CH-4056 Basel

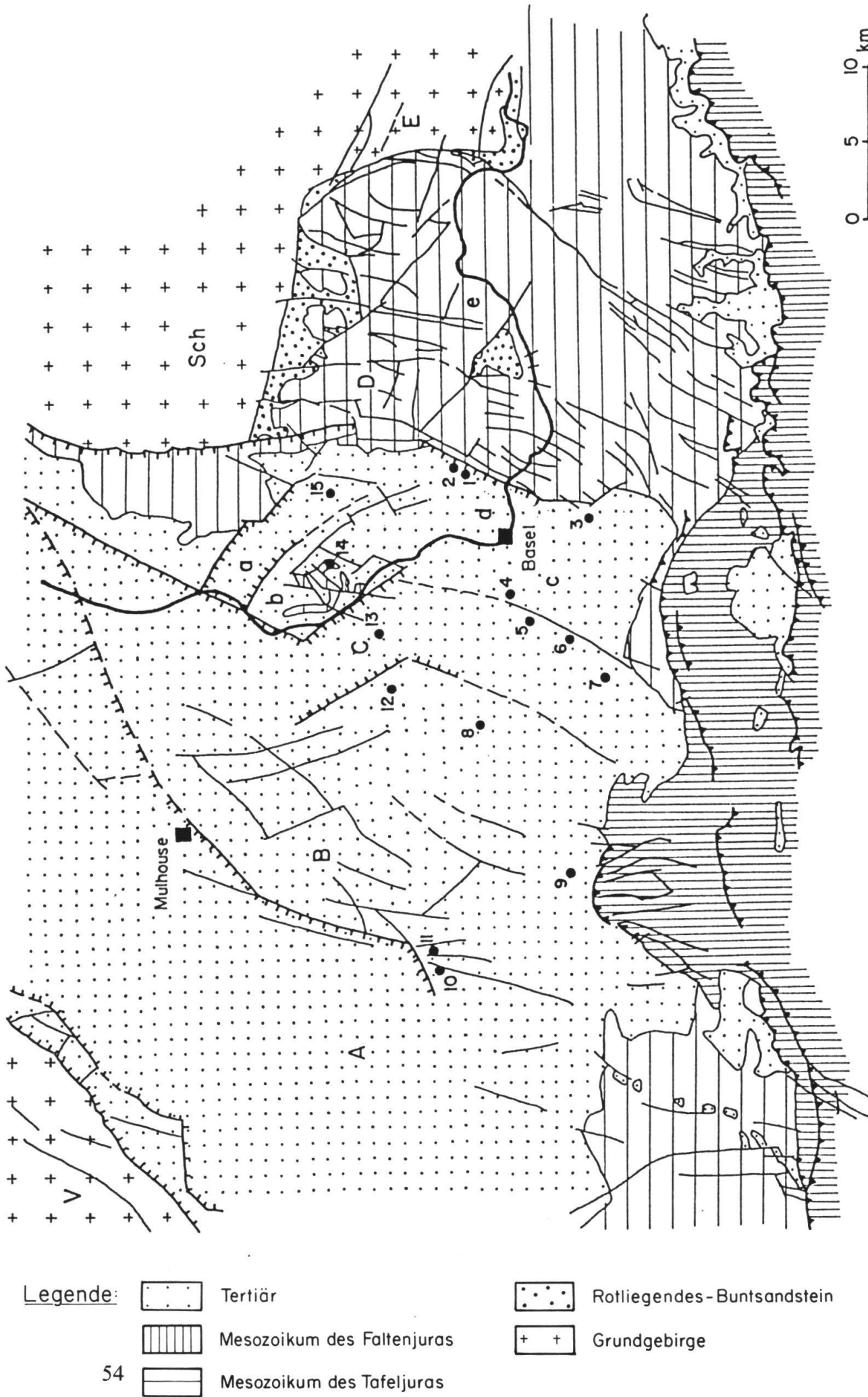


Abb. 1: Uebersichtskarte über den südlichen Rheingraben mit Lage der im Text erwähnten Bohrungen

Bohrungen: 1 = Riehen 1; 2 = Riehen 2; 3 = Reinach 1; 4 = Allschwil 1; 5 = Allschwil 2; 6 = Neuweiler; 7 = Leymen 1; 8 = Knoeringen; 9 = Sundgau 201; 10 = Hirtzbach 10; 11 = Hirtzbach 4; 12 = Magstatt; 13 = Sierentz; 14 = Wasserbohrung Efringen-Kirchen, Engetal (6); 15 = Schliengen 1013 (W Maugenhardt)

Tektonische Elemente: A = Graben von Dannemarie; B = Horst von Mulhouse; C = Graben von Sierentz-Wolschwiller D = Dinkelberg-Plateau a = Bamlacher Graben; b = Isteiner Klotz; c = Rücken von Basel; d = Mulde von Tüllingen-St. Jakob; e = Mittlerer Dinkelberg-Graben

Bei der Zusammenstellung der Daten zeigt es sich, dass die Angaben über die in diesem Gebiet bestehenden Tiefbohrungen von teilweise sehr unterschiedlicher Güte und oft lückenhaft sind. Insbesondere die Angaben über die in den Bohrungen gemessenen Temperaturen lassen oft nicht erkennen, ob es sich um Temperaturen handelt, die während der Bohrarbeiten erhoben wurden, ob es sich um Angaben aus Temperaturlog oder um BHT-Angaben (bottom hole temperature) handelt. Es besteht somit die Wahrscheinlichkeit, dass sich hieraus Unstimmigkeiten ergeben, die auszumerzen nicht ohne weiteres möglich ist.

Die den Rheingraben betreffende Literatur ist ausserordentlich umfangreich. Im Literaturverzeichnis werden nur jene Arbeiten aufgenommen, die in dieser Arbeit zitiert werden. Von dort aus kann aber der Zugang zur weiteren Literatur gefunden werden. Die für diese Arbeit verwendeten Bohrprofile (siehe Abb. 2, Lage der Bohrungen Abb. 1) sind zumeist aus den Erläuterungen der entsprechenden geologischen Karten entnommen worden. Eine Uebersicht über die Tiefbohrungen im mittleren und südlichen Rheingraben geben MUNCK & SAUER (1979).

2. Die Sedimente des Rheingrabens

2.1 Mesozoikum

Wie über den Flanken des Rheingrabens liegen auch die mesozoischen Sedimente im Grabeninnern dem kristallinen Grundgebirge (inkl. Permokarbon-Gräben, die teilweise bis zu 1000 m Sedimentmächtigkeiten erreichen können) auf. Es handelt sich um dieselben Gesteinsfolgen, die auch als Sedimentmantel um Schwarzwald und Vogesen herum verfolgt werden können. Es ergibt sich hieraus, dass es keine Anzeichen für mesozoische Ansätze zur Grabenbildung gibt, wenngleich gewisse tektonische Bewegungen im Mesozoikum nicht auszuschliessen sind (z. B. evaporitische Becken in der Trias, HAUBER 1980, 1993).

Die mesozoische, marine Schichtfolge endet am südlichen Rheingrabenrand (Blauen-Antiklinale, Pfirter Jura) mit den Kalken des Malm (ob. Oxfordien). Sie finden sich im südlichsten Teil auch innerhalb des Grabens und an seinen Flanken (= Vorbergzone, z. B. Isteiner Klotz). Sie wird nach oben durch die Residualbildungen der kretazisch-eozänen Festlandperiode (Boluston, Huppersande, Bohnerz) abgeschlossen. Nun ist von besonderem Interesse, dass die Auflagerung des Tertiärs im Grabeninnern generell von S nach N über immer ältere mesozoische Sedimente erfolgt (siehe SITTLER 1969, MUNCK & SAUER 1979, DURST 1991). Im Abschnitt zwischen Freiburg und Strasbourg tauchen ältere Sedimente bis hinunter zum Aalénien auf, worauf im Raum Strasbourg nochmals Malm unter dem Tertiär ansteht. Diese im Grabeninnern grosswellig verformte Unterlage deutet auf frühtertiären Beginn der Grabenbildung hin, mit Erosion vor der Ablagerung der tertiären Grabenfüllung. Dass gerade im südlichsten Grabenteil die jüngsten mesozoischen Schichten erhalten geblieben sind und nordwärts immer grössere Abschnitte fehlen, könnte dahin gedeutet werden, dass es vor Beginn der Grabenbildung zu einer regionalen Heraushebung des variszischen Unterbaues im Norden des Rheingrabens gekommen sein muss.

2.2. Tertiär

Im allgemeinen kann die auf der Tabelle 1 enthalten Gliederung des Tertiärs für den südlichen Grabenteil angewandt werden. Es ist stets daran zu denken, dass zwischen

Tabelle 1: Stratigraphische Gliederung des Tertiärs im Rheingraben

	Mülhausen und Umgebung	Isteiner Klotz	Basel und Umgebung
Quartär	Rheinschotter	Rheinschotter	Rheinschotter
Pliozän	—	—	—
Miozän	—	—	—
Oligozän:			
Chattien	Calcaire lacustre Marnes bariolées	Tüllinger Süßwasser- schichten	Tüllinger Schichten
	Molasse alsacienne Marnes à Cyrènes	Elsässer Molasse	Elsässer Molasse mit Cyrenenmergel
Rupélien	Marnes à Mélettes Schistes à Poisson	Melettaschichten Fischschiefer	Meletta-Schichten Fischschiefer
	Marnes à Foraminifères	Foraminiferenmergel	Foraminiferenmergel
Sannoisien (Lattorfien)	Calcaires, marnes et grès du Haustein	Zone der Bunten Mergel	Haustein
	Zone salifère supérieure et	Zone der Streifigen Mergel	Obere streifige Mergel (= Verstei- nerungsreiche Zone)
Eozän:	Marnes vertes et bleues à gypse; Calcaire à Mélanies	Zone der Grünen Mergel; Melanienkalk	Untere streifige Mergel
	Calcaires à Planorbina pseudoammonius	Planorbenkalk	Süßwasserkalk
	Sidérolithique	Siderolithikum	Siderolithikum

einer Randfazies und einer Beckenfazies zu unterscheiden ist. Auch die Sannoisien-Schichtfolge auf dem Horst von Mulhouse und in den begleitenden Gräben weisen Unterschiede auf, die zu einer anderen Nomenklatur führen. Allgemein gilt: Die Randfazies weist konglomeratischen Charakter auf, während die Beckenfazies vergleichsweise feinkörnig ist, die Bildungen auf Hochlagen sind im Vergleich zu jenen in Grabenbereichen karbonatischer.

Eine kurze Uebersicht über die Gesteine im südlichen Rheingraben zeigt, dass das Eozän mit *Siderolithikum* (Bolus, Gelberden, Hupper, Bohnerz) und Planorbenkalken sich nicht von vergleichbaren Bildungen ausserhalb des Grabens unterscheidet. Auch innerhalb des Grabens weisen die Malmkalke und der Hauptrogenstein, wo er die Tertiärunterlage bildet (z. B. Tuniberg, Bohrungen Riehen 1 + 2 mit brauner Oxidationsfarbe, während er in der Bohrung Reinach, wo er von Malm überlagert wird, die frische, graue Ausbildung aufweist), eine tiefgründige Verkarstung auf. Die Karsttaschen sind angefüllt mit Bolustonen und Bohnerz etc. Auch die Planorbenkalke finden sich innerhalb und ausserhalb des Grabens, stets über den Karsttaschen.

Die Grenzziehung zwischen Eozän und Oligozän wird je nach Autor unterschiedlich gehandhabt. Mehrheitlich werden heute die Grünen Mergel und die Melanienkalke auf Grund von Säugerfunden in den Unteren Pechelbronner Schichten im mittleren Rheingraben noch dem oberen Eozän zugerechnet (TOBIEN 1949). Damit sind im südlichen Rheingraben die *Grünen Mergel* mit den *Melanienkalken* und die *Unteren Streifigen Mergel* noch dem obersten Eozän zuzurechnen (siehe Tab. 1). Diese Bildungen gehören schon der eigentlichen Grabenfüllung an und sind in dieser Ausbildung auch auf den Graben beschränkt. Sie zeigen somit an, dass die Grabenbildung bereits im oberen Eozän eingesetzt hat. Je nach Lage in Bezug auf den Grabenrand, Horst oder Trog sind bereits unterschiedliche Ausbildungen und Mächtigkeiten auszumachen. Schon in diesem frühen Zeitabschnitt der Sedimentation kommt es zu Salzablagerungen im Grabeninnern.

Zur Illustration dieser Situation sei auf die Bohrungen von Leymen (BRIANZA et al. 1983), Riehen und Reinach (HAUBER 1991) verwiesen: Die Bohrung Leymen, die dem Graben von Sierentz-Wolschwiller zuzuordnen ist, weist eine deutlich dreigeteilte kontinentale Folge ob. Eozän - Sannoisien auf, die von den Autoren einheitlich als Sannoisien bezeichnet worden ist: Die Ablagerungen über dem Siderolithikum setzen mit bunten Mergeln ein, in die häufig Konglomeratlagen mit Komponenten aus Malm und aufgearbeitetem Siderolithikum zwischengeschaltet sind. Sie sind 55 m mächtig und werden mit der Zone der Grünen Mergel parallelisiert, sind also noch ins obere Eozän zu stellen. In der weiter östlich gelegenen Bohrung Reinach lässt sich nur noch eine Zweiteilung dieser kontinentalen Abfolge vornehmen. Der untere Teil von 87 m Mächtigkeit besteht aus einem Konglomerat, das an der Basis sehr grobe Komponenten mit bis über 50 cm enthält, die nach oben allmählich feiner werden und Gradierungen aufweisen. Die Komponenten bestehen vor allem aus Malmkalken, aus eozänen Süsswasserkalken und vereinzelt aus Kreidekomponenten (LOOSLI 1989). Dieses Konglomerat wird als Äquivalent der Unteren Streifigen Mergel betrachtet. Dies bedeutet, dass es in dieser Zeit zu wildbachartige Schüttungen von den Flanken des Grabens her gegeben haben muss, die z. T. murgangartigen Charakter gehabt haben müssen (mergelige Matrix, nur kantengerundete Komponenten, Gradierung).

In der Bohrung Allschwil 2, die wiederum im Graben von Sierentz-Wolschwiller gelegen ist, gibt es vergleichbare Bildungen mit einer Mächtigkeit von 21 m, die in der Bohrung Allschwil 1 auf der Hochscholle (Rücken) von Basel fehlen (Erl. Geol Atlas der Schweiz 1 : 25'000, Atlasblatt 59, Basel).

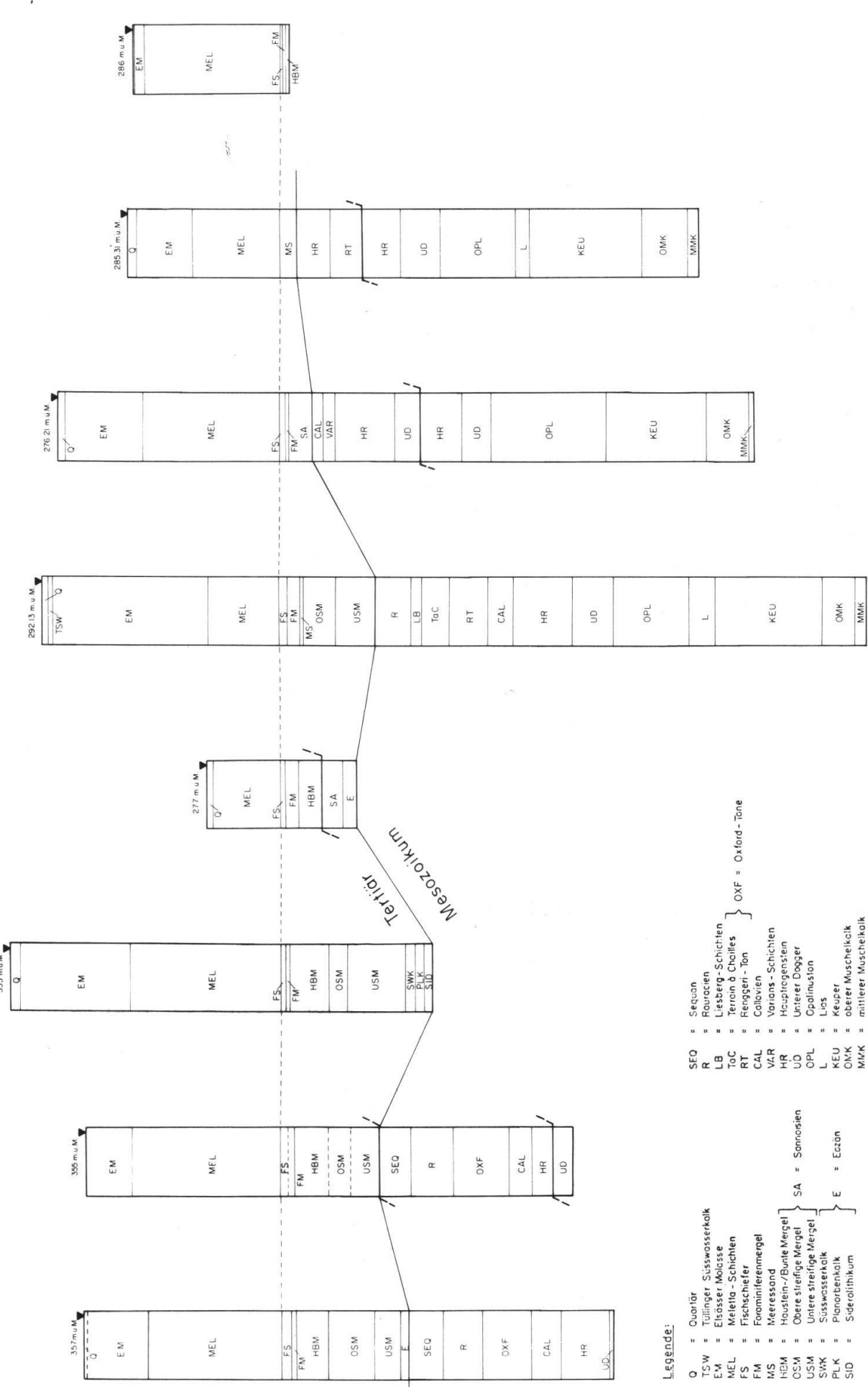


Abb. 2: Schematische Bohrprofile der Tiefbohrungen in der Umgebung von Basel (Situation siehe Abb. 1)

Das untere Oligozän (Sannoisien) besteht ebenfalls aus einer kontinentalen Abfolge von Mergeln, Kalkareniten, Süsswasserkalken mit Algen und Onkoiden. Auch zu den Oberen Streifigen Mergeln gehören im Beckeninnern Salzausfällungen (Kalisalze). Für einen marinen Einschlag auch am südlichen Grabenende sprechen die in den Bohrungen von Leymen und Neuwiller enthaltenen Foraminiferen. Die Situation stellt sich wie folgt dar:

Auf der Hochscholle von Basel (Allschwil 1) fehlen die Oberen Streifigen Mergel, die im Graben von Sierentz-Wolschwiller (Allschwil 2) mit ca. 38 m Mächtigkeit und in der Bohrung Leymen 1 gar mit 103 m vertreten sind (siehe Abb. 2). Da in der Bohrung Neuwiller das Sannoisien möglicherweise nicht in seiner ganzen Mächtigkeit vorhanden ist (Störung zwischen Malm und Tertiär), können aus dieser Bohrung keine Vergleichswerte beigezogen werden. WITTMANN 1966 (Abb. 18) zeigt, dass auch im Gebiet nördlich von Basel (Istein) ähnliche Verhältnisse geherrscht haben: So nimmt die Mächtigkeit der Streifigen Mergel vom Isteiner Klotz weg von wenigen Metern auf mehrere hundert Meter im Graben von Sierentz zu. Die *Bunten Mergel* oder *Haustein* sind in allen Bohrungen in Mächtigkeiten zwischen 40 - 100 m vorhanden. Dies deutet auf relativ flache Verhältnisse hin mit nur lokal differenzierten Bewegungen.

In den sehr grabenrandnahen Bohrungen von Reinach und Riehen stellen sich die Verhältnisse wie folgt dar: In der Bohrung Reinach 1 müssen Obere Streifige Mergel und Haustein zusammengefasst werden und besitzen zusammen 69,5 m Mächtigkeit, also deutlich weniger als in den Bohrungen Leymen oder Allschwil. In Allschwil 1 sind ohnehin nur die Bunten Mergel vorhanden (= 96,5 m). In den beiden Bohrungen von Riehen fehlt das Sannoisien gänzlich. Dies entspricht den Verhältnissen, wie sie in Riehen und Lörrach bekannt sind, wo ebenfalls der «Meeressand» (marines Rupélien) direkt der mesozoischen Unterlage (hier Dogger) aufliegt.

Das mittlere Oligozän (Rupélien) bringt eine marine Ingression in den Rheingraben. Die Ablagerungen des «Meeressandes» stellen die entsprechenden Küstenbildungen dar, die mit den tonig-feinsiltigen oder mergeligen, bituminösen Foraminiferenmergel und feingeschichteten Fischschiefern verzahnt sind (FISCHER 1965). Auch der «Meeressand» stellt eine sandige bis konglomeratische Schüttung aus den Gebieten des Grabenrandes dar und enthält vorwiegend Komponenten aus dem Malm. Er ist somit vergleichbar mit den Konglomeratschüttungen des Sannoisien, wie sie in der Bohrung Reinach angetroffen worden sind und von BITTERLI (1945) am Witterswilerberg beschrieben wurden. Solche Schüttungen sind von DURANGER (1988) aus dem Elsass ausführlich untersucht worden. Auch Wittmann (1971, 1983) hat ähnliche Vorstellungen für den «Meeressand» am Rötteler Schloss entwickelt. Im Vergleich zum Sannoisien fällt auf, dass die Transgression des «Meeressandes» über die Verbreitung des Sannoisien hinaus reicht und dass an den Grabenrändern zwischen Sannoisien und Rupélien eine Winkeldiskordanz besteht (siehe z. B. BITTERLI 1945, Profiltafel).

Als Grabenfazies des unteren Rupélien dürfen die *Foraminiferenmergel* und die *Fischschiefer* bezeichnet werden. Deren Mächtigkeit liegt allgemein zwischen 15-40 m. Die sehr gleichförmige Ausbildung spricht für ruhige marine Verhältnisse, die bituminöse Imprägnation für eine geringe Wasserzirkulation und eine schlechte Durchlüftung (DOEBL et al. 1976). In der Bohrung Reinach sind die Foraminiferenmergel teilweise durch «Meeressand» ersetzt, in Riehen 1 und 2 ist nur «Meeressand» angetroffen worden. Beim aus der Bohrung Leymen (BRIANZA et al., 1983) beschriebenen «Meeressand» handelt es sich wahrscheinlich um konglomeratische Bunte Mergel, da dieser Abschnitt einen kontinentalen Einschlag aufweist (Rotfärbung).

Der Hauptteil des marinen Rupélie besteht aus den grauen, sandig-siltigen und tonigen *Meletta-Schichten* (im südlichen Rheingraben auch «Septarienton» genannt). Sie erreichen Mächtigkeiten von mehr als 300 m (Bohrung Allschwil 2 = 329 m). In Horst-Situation sind es deutlich weniger (Allschwil 1 = 147 m, wobei sich aber die Obergrenze in der Bohrung nicht mehr feststellen lässt, doch kann der durch das Einschneiden des Rheintales fehlende Anteil nach den Oberflächenaufschlüssen nicht erheblich sein). In der Bohrung Reinach 1 beträgt die Mächtigkeit der Meletta-Schichten 153,3 m, in Riehen 1 = 298 m und in Riehen 2 = 191 m. Da in Reinach 1 aus diesem Bereich Kerne gezogen worden sind, die eine flache Lagerung belegen, handelt es sich in Reinach um eine tatsächliche Mächtigkeit, während in Riehen das Tertiär wahrscheinlich stark geschleppt ist und die Mächtigkeiten somit nicht der tatsächlichen Mächtigkeit entsprechen. Es darf aber doch angenommen werden, dass im Bereich der Mulde von Tüllingen-St. Jakob wieder grössere Mächtigkeiten der Meletta-Schichten vorhanden sind als auf dem Rücken von Basel (siehe auch GÜRLER et al. 1987). Dies ist als relativ rasche Absenkung des Grabens zur Zeit der Ablagerung der Meletta-Schichten zu deuten, mit der die Sedimentation Schritt gehalten hat, wobei aber die Grabenränder im Osten kaum weit über den Graben hinaus geragt haben dürften, denn im Raum Basel fehlen Anzeichen eines Sedimenteintrages von den Flanken her.

Im nördlich angrenzenden Abschnitt ist aus der Bohrung Schliengen 1013 (siehe Geologische Karte von Württemberg, 1 : 25'000, Blatt 8311 Lörrach, 2. Aufl.) eine vollständige Meletta-Schichten-Mächtigkeit von 299 m bekannt. Sie liegt im Graben von Bamlach. Für den Flexurbereich von Rötteln wird die Mächtigkeit noch auf 155 m geschätzt, was ungefähr der Position von Riehen entspricht.

Über den Meletta-Schichten geht die Sedimentation allmählich in eine brackische und schliesslich limnische Abfolge über (= oberes Oligozän, Chattien). Es handelt sich um eine sandig-mergelige Gesteinsserie, die je nach Vorherrschen von Sanden als *Elsässer Molasse* oder von Mergeln als *Cyrenenmergel* bezeichnet werden. Heute setzt sich der Begriff *Elsässer Molasse* für den ganzen Abschnitt durch (siehe GÜRLER et al. 1987). Die sandigen Einlagerungen haben fluviatilen bis limnischen Charakter und sind je nach Lokalität in sehr ungleichen Positionen anzutreffen. Die Mergel sind oft recht bunt mit vorherrschend grünlichen bis bräunlichen Farbtönen. Die Sande sind vorwiegend grau bis grünlich und führen reichlich Glimmer. Ihr schwerermineralogisches Inventar ist aus der Bohrung Leymen bekannt (BRIANZA et al. 1983). Die ganze Folge besitzt in der Bohrung Allschwil 2 eine Mächtigkeit von >240 m, in der Bohrung Allschwil 1 fehlt sie (erodiert), in Riehen 1 sind es >168,4 m, in Riehen 2 noch >121,2 m und in Reinach 1, wo allein die tatsächliche Mächtigkeit erfasst werden konnte, weil die hangenden Schichten noch erhalten sind, 339 m.

Die überlagernden *Tüllinger Schichten* sind nur noch in der Mulde von Tüllingen-St. Jakob erhalten. Sie sind durch eine Folge von bunten, teilweise Gips führenden Mergeln mit Zwischenlagen von Süsswasserkalken, die Gastropoden enthalten, charakterisiert. Am Tüllinger Berg wird ihre Gesamtmächtigkeit mit 165 m angegeben (siehe Erläuterungen zu Geol. Karte 1 : 25'000, Blatt Lörrach), ebenso wird dort eine leicht diskordante Auflagerung auf die Elsässer Molasse angedeutet. Die Tüllinger Schichten entsprechen wahrscheinlich den Niederrödener Schichten des mittleren und nördlichen Rheingrabens.

Jüngere tertiäre Ablagerungen, abgesehen von relikartigen Schottern aus dem Abschnitt Mio-/Pliozän, fehlen im südlichen Rheingraben, dies im Gegensatz zum nördlichen Rheingraben. Wie weit solche einst vorhanden gewesen und wieder abgetragen worden sind, kann heute nicht mehr festgestellt werden. Es besteht jedoch die Wahr-

scheinlichkeit, dass mit dem Ende des Oligozäns die Sedimentation im wesentlichen abgeschlossen war. Das Oligozän weist im südlichen Graben deutlich grössere Mächtigkeiten auf als im nördlichen Teil (DURST 1991, PLEIN 1993).

3. Tektonik

Die lithologischen und stratigraphischen Verhältnisse des Tertiärs im Rheingraben sowie die allgemeine geologische Situation in der Umgebung des Grabens lassen folgende Aussagen über die geologische Entwicklung des Grabens - insbesondere seines südlichen Teiles - zu (Abb. 3):

1. Die Grabenbildung ist nicht in allen Teilen des Grabens gleichförmig und gleichzeitig abgelaufen. So hat sie im Süden bereits während des oberen Eozäns eingesetzt, während im nördlichen Teil teilweise noch Abtragung stattgefunden hat. Es lagern unterschiedliche tertiäre Schichten auf einer Unterlage unterschiedlichen Alters auf, wobei generell das Alter der mesozoischen Unterlage gegen N zunimmt.
2. Auch die interne Gliederung in Gräben und Horste findet ihren Ansatz schon gleich zu Beginn der Graben-Entstehung. Dafür sprechen die unterschiedliche Schichtmächtigkeit, aber auch die faziellen Unterschiede zwischen Graben und Horst, wobei diese teilweise auch durch verschiedene Liefergebiete des zur Sedimentation gelangenden Materials verursacht sind. Allgemein kann festgestellt werden, dass es auf Hochzonen eher zu kalkigen Bildungen kommt, während in Grabenzonen Mergel vorherrschen. Auch die Salinarbildungen beschränken sich verständlicherweise auf die Senken.
3. Während allgemein die Sedimentation mit der Eintiefung des Grabens Schritt gehalten haben dürfte, weisen am S-Ende des Grabens zwei Phasen starker Konglomeratbildung im Bereich der Unteren Streifigen Mergel (ob. Eozän) und im «Meeressand» (Rupélien) auf erhebliche Reliefunterschiede hin, die wahrscheinlich mit einer Heraushebung der Flanken verbunden gewesen sind.
4. Die groben Konglomerate, die am Witterswilerberg vor der Blauen-Antiklinale (BITTERLI 1945) und in der Bohrung Reinach 1 direkt über dem Siderolithikum gefunden worden sind, zeigen, dass die Anlage der Flexur auf diese Zeit (ob. Eozän - Sannoisien) zurückgeht. Dies betrifft sowohl die N-S-Richtung (Reinach) wie auch das W-E gerichtete Südende des Rheingrabens auf der Linie Aesch - Flüh (Witterswil), worauf schon LAUBSCHER 1971 hingewiesen ist.
5. Die Konglomerate des «Meeressandes» überlagern an den Grabenrändern - wo sie allein der direkten Beobachtung zugänglich sind - das unterliegende Sannoisien diskordant und reichen über das Verbreitungsgebiet des Sannoisien hinaus. Beispiele hierfür sind Rötteln N Lörrach (WITTMANN 1971, 1983) und die Umgebung von Dornach und Pfeffingen (BITTERLI 1945, HERZOG 1956). Während das ob. Eozän-Sannoisien dem Séquanien (= ob. Oxfordien) oder dem Siderolithikum aufliegt, greift der «Meeressand» teilweise bis auf den Dogger hinunter. Dies muss als Hinweis auf eine Versteilung der Flexur gewertet werden.
6. Das marine Rupélien lässt sich südwärts über das Laufenbecken wenigstens bis ins Delsberger Becken nachweisen (LINIGER 1925). Es überlagert in der Regel Malm oder Siderolithikum, lokal aber auch Sannoisien. Ein direkter Zusammenhang mit der Unteren Meeressmolasse des schweizerischen Molassebeckens ist denkbar, aber noch nicht belegt. Hingegen hat im Chattien eine Verbindung zur Untere Süsswas-

sermolasse des Mittellandes bestanden. Dies lässt sich anhand der Verbreitung der Elsässer Molasse und des Schwermineral-Spektrums in der Bohrung Leimen 1 zeigen (Brianza et al. 1983).

7. Mit dem raschen Einsinken des Grabens im Oligozän ist auch ein Zerbrechen der Schultern des Grabenrandes einhergegangen. Davon betroffen ist vor allem die Dinkelberg-Scholle und der Tafeljura westlich der Wehratal-Zeiningen-Bruchstörung, die ja den Dinkelberg vom Hotzenwald abtrennt. LAUBSCHER 1982 nimmt nun an, dass mit diesem Zerbrechen eine Zerrung der Sedimente in Richtung Rheingraben einhergegangen ist, welche zum Einsinken der Keile im Tafeljura und der dazugehörigen Dinkelberg-Scholle geführt hat, begleitet von einem Abgleiten in Richtung Graben auf den Evaporiten der mittleren Trias. Hierfür spricht das Antreffen überkippter Schollen in Riehen (siehe Abb. 4, Bohrungen Riehen 1 und 2, HAUBER 1991).
8. Jüngere Tertiär-Ablagerungen als Chattien fehlen im Rheingraben. Am Grabenrand sind aber teilweise die gesamten Tertiärbildungen steilgestellt. Dies bedeutet, dass die Bewegung über diese Sedimentation hinaus andauert hat. Hierunter fällt wahrscheinlich die starke Heraushebung der Grundgebirgsmassive von Schwarzwald und Vogesen im Miozän. In der dem Tafeljura aufliegenden Juranagelfluh («Tortonien», Badenien = mittl. Miozän), einer von N nach S ins Becken der Oberen Süßwassermolasse reichenden fluviatilen Schüttung, findet sich der Inhalt des ehemaligen Sedimentmantels, der über diesen Grundgebirgen gelegen hat. Im mittleren Miozän sind also erhebliche Sedimentmächtigkeiten, vor allem von Dogger und Muschelkalk, wegerodiert worden, was auf Hebungen hinweist.
9. Der Charakter des Grabenrandes ist teilweise raschen Wechsels unterworfen. Meist handelt es sich um eine oder mehrere Bruchstörungen (= Hauptverwerfung), die aber in Bruchzonen mit oft listrischem Einschlag übergehen können. Die inkompetenten Schichtpakete ermöglichen ein unterschiedliches Bruchmuster im Deckgebirge gegenüber dem Grundgebirge. In der Südostecke des Grabens wechseln auf kurze Distanz Abschnitte mit steilem, von Brüchen dominiertem Grabenrand mit solchen, in welchen der Flexurcharakter dominiert: So ist im Raum Rötteln-Lörrach eine deutliche Flexur zu sehen, gefolgt von einem Bruchrand (Riehen-Birsfelden-Münchenstein), gefolgt von einer weiteren Flexurzone (Arlesheim-Dornach). Auf diese Unterschiede haben schon GÜRLER et al. 1987 hingewiesen.
10. Der Rheingraben verdankt seine Entstehung einem Zerbrechen der mitteleuropäischen Platte und stellt in seiner Anlage eine echte Riftzone dar. Dieses Zerbrechen setzte im Obereozän ein und dauerte bis zur Wende Oligozän / Miozän. Die Hauptspannung des damaligen Kräftefeldes lag in der Richtung NNE-SSW. Im Miozän erfolgte eine Drehung des Kräftefeldes und weist nun bis heute andauernd eine NW-SE-Richtung auf, so dass nun eine Scherbeanspruchung vorherrscht (ILLIES & GREINER 1976, PLEIN 1993).

4. Geothermie

Die geothermische Situation im Rheingraben ist gekennzeichnet durch hohe geothermische Gradienten im zentralen Rheingraben, etwa zwischen Mannheim und Strassburg (siehe HÄNEL 1980). Es entspricht dies einer Zone aufsteigender warmer Tiefenwässer entlang von zerklüfteten Riedelspalten und offener Scherzonen, die angesichts des heutigen Spannungsfeldes aufbrechen und deshalb eine erhöhte Wasserwegsam-

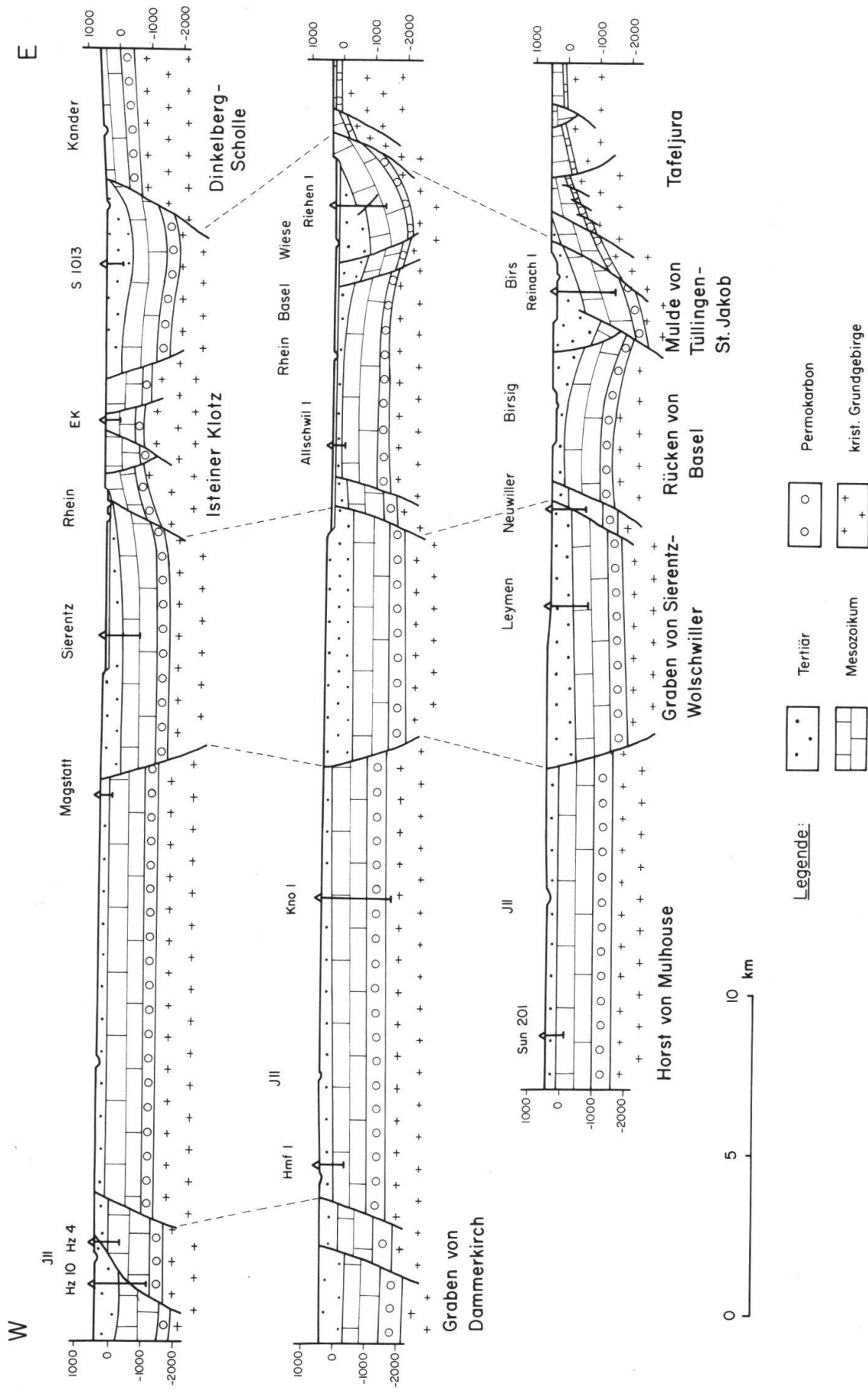


Abb. 3: Drei geologische Uebersichtprofile durch den südlichen Rheingraben

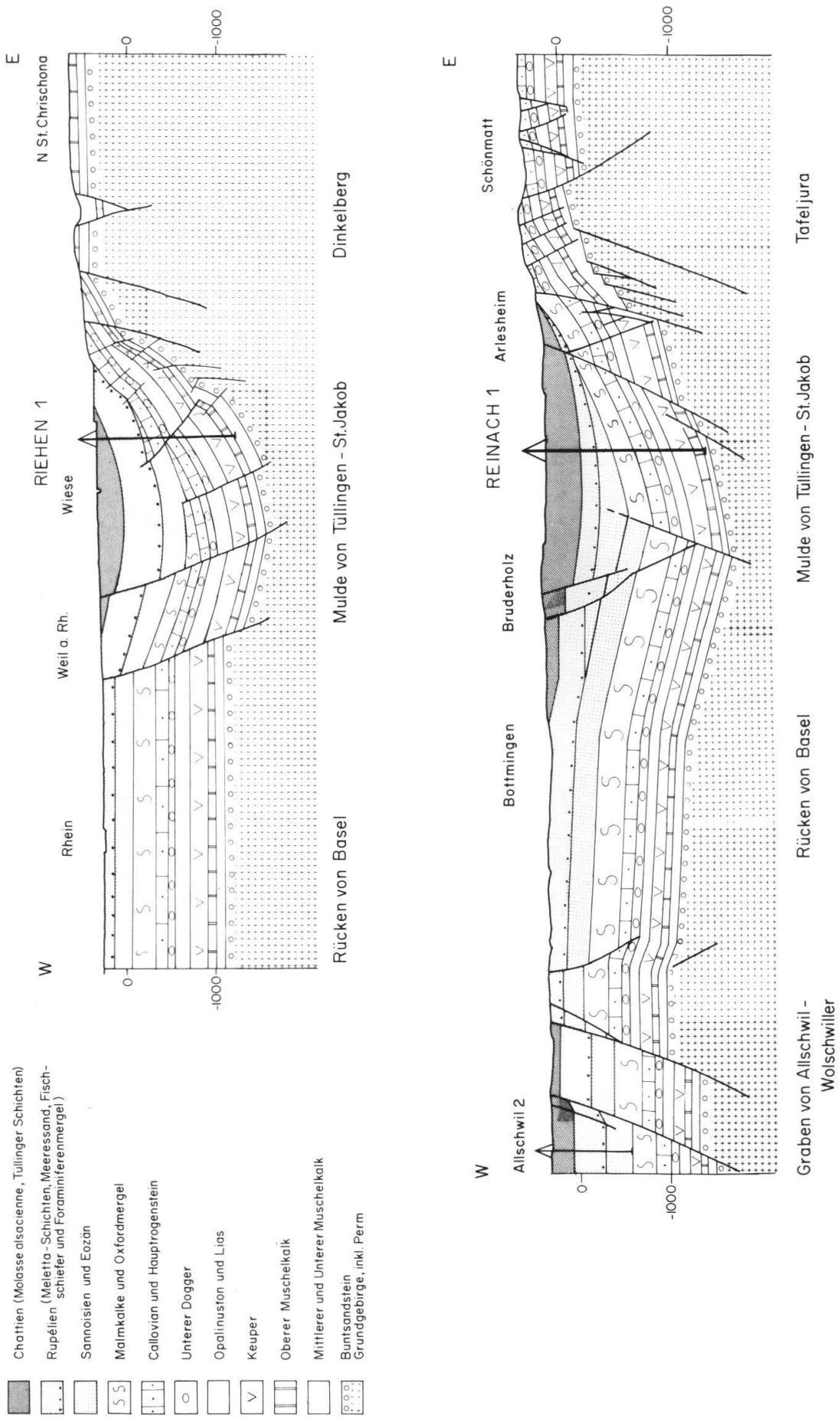


Abb. 4: Geologische Profile durch den Rheingraben-Rand bei Riehen und Reinach

keit besitzen, während der südliche Rheingraben heute unter Kompression steht und daher eher eine behinderte Wasserwegsamkeit aufweist. Hinzu kommt aber die Tatsache, dass die Dicke der Kruste im südlichen Rheingraben stark reduziert ist und teilweise Mächtigkeiten von weniger als 25 km besitzt (MÜLLER und LOWRIE 1980). Hierzu ist auch der Kaiserstuhl-Vulkanismus im Miozän zu rechnen. Dies erlaubt, den südlichen Rheingraben ebenfalls als ein Gebiet mit günstigem geothermischem Potential zu betrachten.

Eine Zusammenstellung der bekannten Daten über die Situation in der SE-Ecke des Rheingrabens gibt Abb. 5. Sie zeigt, dass die 1000 m Tiefe-Isothermen ein relativ uneinheitliches Bild aufweisen. Immerhin fällt auf, dass sie innerhalb des Grabens eine vorwiegend N-S-Ausrichtung besitzen, während sich im umgebenden Jura keine klare Ausrichtung abzeichnet. Generell gilt aber, dass in der Südfortsetzung des Rheingrabens bis in das Schweizerische Mittelland hinein ein erhöhter Temperaturgradient vorhanden ist.

In den Bohrungen von Riehen und Reinach konnten folgende Temperatur- Gradienten bestimmt werden (HAUBER 1991):

Riehen 1:	4.05 °C / 100 m
Riehen 2:	3,65 °C / 100 m
Reinach 1:	3,75 °C / 100 m

Dies sind für eine Nutzung der Erdwärme sicherlich ermutigende Gradienten, wenn sie auch mit der Situation im mittleren Rheingraben nicht vergleichbar sind. Ein Problem, das sich aber einstellt, ist die Frage der Wasserwegsamkeit. Nach der bisherigen Erfahrung erweist sich der Obere Muschelkalk als potentiell bester Aquifer, weil hier sowohl eine Wasserführung auf Kluftzonen wie auch in Karst erwartet werden könnte. Die Ergebnisse der Bohrungen Reinach und Riehen zeigen aber, dass eine Karstzirkulation praktisch ausgeschlossen werden kann. Wohl gibt es Anzeichen von offenen, mit Kalzitkristallen besetzten Hohlräumen, die aber keine Permeabilität aufweisen, also nicht untereinander in Verbindung stehen. Die Wasserführung der beiden Bohrungen von Riehen beruht allein auf einer Kluftzirkulation. Dies wird sowohl durch das Temperatur-Log (HRT) wie auch Flow-Meter-Messungen bestätigt.

Die chemischen Wasseranalysen zeigen, dass es sich um Natrium-Chlorid-Sulfat-Wasser hoher Konzentration handelt (Tabelle 2). Der Gehalt an gelösten Bestandteilen erreicht in der Bohrung Riehen 2 = 14,4 g/l in Riehen 1 = 17,2 g/l und in Reinach 1 gar 43 g/l. Dies deutet darauf hin, dass mit zunehmender Tiefe auch die Dichte zunimmt, dass also eine Einschichtung nach der Dichte vorhanden ist. Dies lässt vermuten, dass in diesen Wässern keine Zirkulation mehr erfolgt. Damit im Einklang steht, dass die Isotopenuntersuchungen anzeigen, dass es sich um alte Wässer handeln muss, deren Alter über jenem liegt, das durch Tritium oder Kohlenstoff (C14) noch bestimmt werden kann. Dies besagt aber, dass bei einer Entnahme des Wassers mit einer Erneuerung nicht oder nur in eingeschränktem Mass gerechnet werden kann. Es ergibt sich daraus, dass bei einer Nutzung eine Reinjektion des abgekühlten Wassers sich nicht nur aus Umweltgründen sondern auch für eine ausgeglichene Wasserbilanz im Oberen Muschelkalk aufdrängt. In allen drei Bohrungen war eine starke CO₂-Förderung zu verzeichnen gewesen, untergeordnet ist auch Schwefelwasserstoff vorhanden. Unter den übrigen Gasen ist lediglich Stickstoff noch in nennenswerten Anteilen zu verzeichnen.

Tabelle 2:

Chemische Wasseranalysen aus den Geothermiebohrungen Riehen und Reinach

		Riehen 1	Riehen 2	Reinach 1
Datum der Probennahmen:		2. 3. 1989	1. 2. 1989	27. 11. 1990
Temperatur	°C	61,4	51,2	23,6
Dichte bei 20°C	g/cm ³	1,01339	1,01144	1,03258
pH (vor Ort)		6,48	6,28	5,61
Redox-Potential	U _G mV	-190	-150	-220
	U _B mV	+180	+190	
	U _H mV	-10	+40	
el. Leitfähigkeit bei 20°C	µs/cm	21'400	17'800	58'200
Ammonium	NH ₄ mg/l	0,98	1,0	8,2
Lithium	Li "	4,8	4,0	6,7
Natrium	Na "	4'900	3'900	14'200
Kalium	K "	190	166	270
Magnesium	Mg "	194	168	580
Kalzium	Ca "	805	762	1'400
Strontium	Sr "	11	9,2	12,1
Eisen	Fe "	8,9	4,0	68
Rubidium	Rb "	0,6	0,5	0,72
Caesium	Cs "	0,55	0,35	
Barium	Ba "	0,5	0,05	0,34
Aluminium	Al "	<0,02	0,04	0,10
Blei	Pb "	0,005	<0,003	0,22
Kupfer	Cu "	0,015	0,005	<0,5
Mangan	Mn "	0,1	0,08	0,76
Nickel	Ni "	<0,01	0,05	<0,01
Zink	Zn "	0,01	0,08	<1
Summe Kationen	"	6114,7	5014,2	16'450
Fluorid	F "	3,2	2,9	11
Chlorid	Cl "	7'270	5'620	23'650
Bromid	Br "	8,0	5,4	19
Iodid	I "	0,2	0,22	7,7
Nitrit	NO ₂ "	<0,01	-	<0,01
Nitrat	NO ₃ "	<0,2	<0,2	<0,1
Hydrogenkarbonat	HCO ₃ "	1'012	1'180	696
Sulfat	SO ₄ "	2'550	2'340	3'100
Hydrogenphosphat	HPO ₄ "	<0,1	0,2	<0,2
Arsen	As "	0,017	0,012	0,0036
Selen	Se "	<0,001	0,001	<0,0005
Summe Anionen	"	10'917,2	9'148,5	27'446
Kieselsäure	H ₂ SiO ₃ mg/l	49	37	97
Borsäure	H ₃ BO ₃ "	23	24,6	73
Hydrogeologische Kenndaten:				
Aquifertemperatur (T) °C		66,4	52,2	80
Durchlässigkeitsbeiwert (K) m/s		8,5 x 10 ⁻⁵	1,1 x 10 ⁻⁴	3,7 x 10 ⁻⁸
Transmissivität (Tv) m ² /s		1,7 x 10 ⁻⁴	1,1 x 10 ⁻³	1,6 x 10 ⁻⁶

Literatur

- BITTERLI, P. (1945): Geologie der Blauen- und Landskronkette südlich von Basel. - Beitr. Geol. Karte Schweiz, 81, 73 S
- BRIANZA, M.; HAUBER, L., HOTTINGER, L. & MAURER, H. (1983): Die geologischen Resultate der Thermalwasserbohrung von Leymen (Haut-Rhin, Frankreich) südlich von Basel, unter besonderer Berücksichtigung der Schwerminerale. - *Eclogae geol. Helv.*, 76/1, p. 253-279
- DOEBL, F. (1970): Die tertiären und quartären Sedimente des südlichen Rheingrabens. - in ILLIES, J. H. & MÜLLER St.: Proceedings of an International Rift Symposium held in Karlsruhe, October 10-12, 1968. - E. Schweizerbart, Stuttgart, p. 56-66
- DOEBL, F.; MÜLLER, C.; SCHULER, M.; SITTLER, C. & WEILER, H. (1976): Les Marnes à Foraminifères et les Schistes à Poisson de Bremmelbach (Bas-Rhin). Etudes sédimentologiques et micropaléontologiques. Reconstitution du milieu au début du Rupélien dans le fossé rhénane. - *Sc. géol., Bull.*, 29/4, p. 285-320
- DURANGER, P. (1988): Les conglomérats des bordures du rift cénozoïque rhénan. Dynamique sédimentaire et contrôle climatique. - Thèse Université Louis Pasteur, Strasbourg, 278 S.
- DURST, H. (1991): Aspects of Exploration History and Structural Style in the Rhine Graben Area, - EAPG Spec. Publ. 1, p. 247-261
- FISCHER, H. (1965): Geologie des Gebietes zwischen Blauen und Pfirter Jura (SW Basel). - Beitr. Geol. Karte Schweiz, 122, 106 S.
- GÜRLER, B.; HAUBER, L. & SCHWANDER, M. (1987): Die Geologie der Umgebung von Basel mit Hinweisen über die Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme. - Beitr. Geol. Karte Schweiz, 160, 33 S.
- HAENEL, R. (1980): Atlas of Subsurface Temperatures in the European Community. - Th. Schäfer GmbH, Hannover
- HAUBER, L. (1991): Ergebnisse der Geothermiebohrungen Riehen 1 und 2 sowie Reinach 2 im Südosten des Rheingrabens. - *Geol. Jb, Hannover, E* 48, p. 167-184
- HERZOG, P. (1956): Rheintalgraben südlich von Basel (Dorneck) und Adlerhofgewölbe bei Egglisgraben (SW Pratteln). - *Eclogae geol. Helv.*, 49/2, p. 524-527
- LAUBSCHER, H. (1982): Die Südostecke des Rheingrabens - ein kinematisches und dynamisches Problem. - *Eclogae geol. Helv.*, 75/1, p. 101-116
- LINIGER, H. (1925): Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier. - Beitr. Geol. Karte Schweiz, 55/IV, 71 S.
- LOOSLI, C. (1989): Die Stratigraphie der Tertiärschichten der Bohrungen Riehen 1, Riehen 2 und Reinach sowie dem Laufenbecken. - Diplomarbeit Geol.-pal. Institut der Univ. Basel (unpubl.)
- MÜLLER, S. & LOWRIE, W. (1980): Die geodynamische Entwicklung des westlichen Mittelmeerraums und der Alpen. - *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 80/12, p. 470-495
- MÜLLER, W. H.; HUBER, M.; ISLER, A. & KLEBOTH, P. (1984): Eräuterungen zur «Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1 : 100'000». - NAGRA tech. Ber. 84-25
- Munck, F. & Sauer, K. (1979): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens. - *Comm. Europ. Communities*, Strasbourg
- PLEIN, E. (1993): Voraussetzungen und Grenzen der Bildung von Kohlenwasserstoff-Lagerstätten im Oberrheingrabens. - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Verein*, NF 75, p. 227-253
- SITTLER, C. (1972): Le Sundgau, aspect géologique et structurale. - *Sci. Géol., Bull.*, 25/2-3, p. 93-118
- TOBIEN, H. (1949): Säugetierpaläontologische Daten zur Altersbestimmung des tieferen Tertiärs im Rheintalgraben. - *Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br.*, 39, p. 17-52
- Vonderschmitt, L. (1942): Die geologischen Ergebnisse der Bohrungen von Hirtzbach bei Altkirch (Ober-Elsass). - *Eclogae geol. Helv.*, 35/1, p. 67-99
- WITTMANN, O. (1966): Geologie, Morphologie und Hydrologie der Umgebung von Istein. - in Schäfer, H. & Wittmann, O.: *Der Isteiner Klotz, zur Naturgeschichte einer Landschaft am Oberrhein*. - Rombach, Freiburg i. Br., p 17-102
- (1971): Eine alttertiäre Riviera in Lörrach. - *Unser Lörrach*, 2, p. 66-77
- (1983): Lörrach, der Naturraum und seine Geschichte. - «Lörrach, Landschaft, Geschichte, Kultur», Verl. Stadt Lörrach, p. 1-29

Geologische Karten

Geologischer Atlas der Schweiz, 1 : 25'000, hg. von der Landeshydrologie und -geologie, 3003 Bern:

- 1947 Basel, Atlasblatt 59, mit Erl. von FISCHER, H.: HAUBER, L. & WITTMANN, O. (1971)
- 1067 Arlesheim, Atlasblatt 80, mit Erl. von BITTERLI, P. & FISCHER, H. (1988)

Service Géologique National, BRGM, Orléans:

- Carte géol. de la France, 1 : 80'000, 115 Ferrette, mit Notice explic. (1970, 2e éd.)
- Carte géol. de la France, 1 : 50'000, 413 Mulhouse, mit notice expl. (1976)

Geologische Karte 1 : 25'000 von Baden-Württemberg:

- 8311 Lörrach, mit Erl. von WITTMANN, O., (1987, 2. Aufl.)



Rheingraben-Exkursion - Sonntag 13. Juni 1993

Photo von J.W.C. Van der Sijp