

## 3 Tektonischer Bau

### 3.1 Bruchstrukturen

Wie schon in den vorangegangenen Kapiteln deutlich wurde, gibt es im Freiburger Raum spätestens seit dem Tertiär enge Beziehungen zwischen der jüngeren erdgeschichtlichen und der tektonischen Entwicklung<sup>5</sup>. Der in der Oberkreide vor 100 Millionen Jahren zögernd einsetzende und schließlich im Miozän kulminierende Vulkanismus in diesem Raum (ebenso im Hegau und auf der mittleren Schwäbischen Alb) hängt einerseits mit der im Kap. 2.4.1 angesprochenen Entwicklung der Bruchstrukturen des Oberrheingrabens und andererseits mit einer ebenso spektakulären Aufwölbung des Erdmantels zusammen. Deren Scheitel befindet sich bemerkenswerterweise nicht in der Mitte des erwähnten Rheinischen Schilfs (Raum Frankfurt a. M.–Mainz), sondern im Raum Freiburg–Colmar, mit dem Kaiserstuhl im Zentrum und mit der höchsten Heraushebung der beiderseitigen Grabenschultern. Wie geophysikalische Forschungen in den letzten Jahrzehnten ergeben haben, liegt hier die Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel in weniger als 24 km Tiefe, gegenüber mehr als 30 km in den Gebieten außerhalb des Oberrheingrabens (Abb. 10).

Offenbar spielt dabei eine Rolle, daß gerade im Freiburger Raum eine weitere große tektonische Struktur, der vom Gebiet der Hegauvulkane her kommende und den Schwarzwald durchquerende Bonndorfer Graben (Abb. 11), von Südosten her auf den Oberrheingraben trifft. Im Vergitterungsbereich beider Strukturen muß die Erdkruste, besonders im Tertiär, stark gedehnt worden sein, so daß basaltische Magmen aus dem sich damals schon aufwölbenden Erdmantel leichter als anderswo zur Erdoberfläche aufsteigen konnten. Verursacher der Krusten dehnungen sind vermutlich Konvektionsströmungen im Erdmantel (FRISCH & LOESCHKE 1993: 44, vgl. ILLIES 1981), die auch zu einem erhöhten Erdwärmestrom im Oberrheingraben beitragen. Zum Riftsystem des Oberrheingrabens ist eine Fülle von Literatur erschienen, für die u. a. auf HÜTTNER (1991: Kap. 9) verwiesen wird.

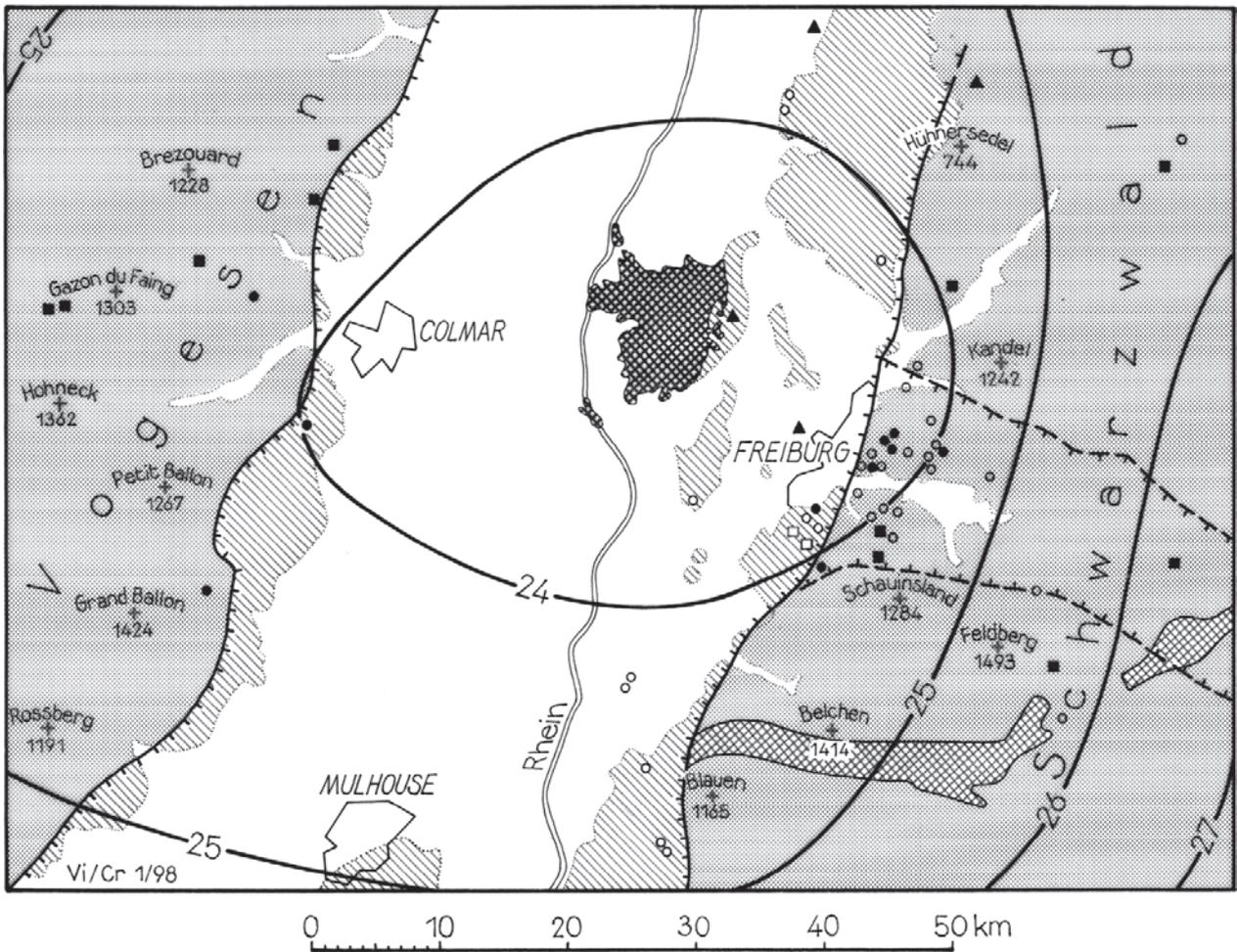
Als Ergebnis der in den letzten 50 Millionen Jahren abgelaufenen tektonischen Bewegungen weist der Freiburger Raum einen außerordentlich komplizierten tektonischen Bau auf. Aufgrund neuerer Untersuchungen, vor allem von HOMILIUS & SCHREINER (1991), außerdem von GROSCHOPF (1988), GROSCHOPF & SCHREINER (1996) und WIMMENAUER &

SCHREINER (1999), ist er in seinen wesentlichen Elementen heute zwar bekannt. Doch sind nach wie vor viele Einzelheiten unklar, weil die Bruchstrukturen und Schollen der präquartären Festgesteine im Grabenbereich weithin von mächtigen quartären Lockergesteinen verhüllt werden (Kap. 2.4.3). Die in solchen Fällen für Untersuchungen eingesetzten geophysikalischen Meßmethoden sind überdies mit Unsicherheiten behaftet. Im Kristallinen Grundgebirge des Schwarzwalds ist die Identifizierung tektonischer Störungen zudem von vorne herein schwierig. Der heutige Kenntnisstand über die tektonische Situation ist in Abb. 11 als Strukturkarte wiedergegeben, wobei die Verhältnisse in der Realität noch weitaus komplizierter sind. Das räumliche Bild verdeutlichen vier geologisch-tektonische Schnitte (Abb. 12).

Die beherrschende tektonische Großstruktur des Freiburger Raums ist der tief eingesunkene und zerstückelte Oberrheingraben, dessen Ostrand gegen den hoch herausgehobenen Schwarzwaldblock durch die am Gebirgsfuß verlaufende und morphologisch wirksame Hauptverwerfung markiert wird (auch als Äußere Grabenrand- oder Schwarzwaldrandverwerfung bezeichnet, Sprunghöhe 1000 bis 1500 m). Das Ausmaß der Versatzbeträge der einzelnen Schollen wird in Abb. 11 und 12 (Schnitte 1–4) durch die Höhen- bzw. Tiefenlage der Grenze Muschelkalk/Keuper verdeutlicht. Die unter den quartären Sedimenten verborgene Innere Grabenrandverwerfung (auch als Rheinverwerfung bezeichnet) trennt mit einer Sprunghöhe bis über 2000 m die besonders tief abgesunkene Innere Grabenzone im Westen (an der das Stadtgebiet von Freiburg südwestlich von Munzingen noch Anteil hat, Abb. 12: Schnitt 4) von einem unübersichtlichen „Haufwerk“ aus zahlreichen, unterschiedlich tief abgesenkten Schollen im Osten.

Diese Schollen wurden bisher zu drei Untereinheiten zusammengefaßt. Von Westen nach Osten sind das Grabenrandscholle, Äußere Grabenzone und Randliche Vorbergzone (vgl. SCHREINER in GROSCHOPF et al. 1996: Abb. 23, S. 229–232), wobei offensichtlich alle drei Untereinheiten zusammen auch als „Vorbergzone“ verstanden werden, ein Begriff, der in der Literatur recht unterschiedlich verwendet wird (zu seiner Entstehung s. SAUER 1953). Auf der neuen Strukturkarte (Abb. 11) ist diese Untergliederung nicht mehr ohne weiteres nachzuvollziehen. Es wird daher vorgeschlagen, die drei genannten Un-

<sup>5</sup> Tektonik ist die Lehre vom Bau der Erdkruste sowie den Bewegungen und Kräften, die diesen erzeugt haben.



—25— Linie gleicher Tiefe der Grenze Erdkruste / Erdmantel (= Moho - Fläche) in km u. G.

Magmatite des Kaiserstuhls (Miozän)

Vulkanische Schloten und Gänge (meist Tuffe und Basalte) :

- ▲ Miozän
- Alttertiär
- Oberkreide
- unbestimmt

Bruchschollen des Grabens (Rotliegend bis Tertiär)

Grundgebirge der Grabenschultern

Badenweiler-Lenzkirch-Zone (Paläozoikum)

Hauptverwerfungen des Oberrheingrabens

Randverwerfungen des Bonndorfer Grabens

Berggipfel mit Höhe (mNN)

Abb. 10: Aufwölbung der Grenze Erdkruste/Erdmantel und Vorkommen junger Vulkanite im Raum Freiburg–Colmar. Im Zentrum liegen die miozänen Kaiserstuhlvulkane, in deren Umgebung zahlreiche vulkanische Schloten und Gänge aus dem Zeitraum Oberkreide–Miozän (im wesentlichen nach ILLIES 1981: Abb. 10, verändert; zum gesamten Oberrheingraben s. ILLIES 1984: Abb. 3 u. SITTLER 1992: Abb. 6 u. 7). Verwerfungen und Badenweiler–Lenzkirch-Zone nach BRUNNER et al. (1998)

tereinheiten zur „Grabenrandzone“ zusammenzufassen und innerhalb dieser außer der Randlichen Vorbergzone (Emmendinger Vorberge, Mauracher Berg, Vorhügel im Gebiet Gundelfingen–Herdern, Lorettoberg, Schönberg/Hohfirst, Batzenberg, Staufener Vorberge usw.) nur noch einzelne diskrete Schollen auszuscheiden und zu benennen.

Die Grabenrandzone ist in einen westlichen, tiefer und einen östlichen, geringer abgesunkenen Teil gegliedert. In letzterem ist im Gebiet Gundelfingen–Zähringen randnah nur der schmale Zähringer Graben stärker eingesenkt (Abb. 12: Schnitte 1 u. 2). Ob er sich nach Süden bis ins zentrale Stadtgebiet fortsetzt (wie in Abb. 11 u. 12: Schnitt 3 gezeichnet), ist nicht gesichert. Im Osten wird er von schmalen Schollen der Randlichen Vorbergzone begleitet, die bei Herdern–Zähringen etwas herausgehoben sind (Abb. 12: Schnitt 2). Nördlich der Freiburger Altstadt wurde in drei Bohrungen unter nur 23,6 bis 37,4 m mächtiger quartärer Bedeckung Unterjura bzw. Keuper einer relativ hochliegenden Scholle angetroffen (Bereich Stadtgarten–Karlstraße–Sautierstraße).

Im westlichen Teil der Grabenrandzone sind der langgestreckte Tuniberg-Ostgraben und – westlich des herausgehobenen, tektonisch und geologisch zweigeteilten Tunibergs – die Gündlinger Scholle durch die große Tunibergverwerfung (Sprunghöhe um 1000 m) stark abgesenkt. Diese zieht nach Norden zum Kaiserstuhlzentrum und dürfte als Aufstiegsstruktur für das Magma im Miozän wirksam gewesen sein. Nimberg und Marchhügel werden durch ein Verwerfungsbündel längs in mehrere Teilschollen zerlegt, deren westliche Randverwerfung offenbar an Uffhausen vorbei bis zum Schönberg bei Merzhausen verläuft.

Im Bereich des Schwarzwaldblocks sind Verwerfungen, wie erwähnt, schwer zu fassen, weshalb nur einige größere, einigermaßen sichere in Abb. 11 eingetragen sind (Sprunghöhen mehrere hundert Meter). Daneben gibt es unzählige kleinere Störungen. Wichtig ist der schon erwähnte Bonndorfer Graben mit dem zentral darin noch tiefer eingesenkten Dreisamgraben. In diesem erstreckt sich auch das morphologisch so auffällige Zartener Becken (mit der magnetischen Anomalie Kirchzarten, Kap. 2.2). Es ist ebenfalls durch tektonische Störungen (darunter wohl auch Horizontalverschiebungen<sup>6</sup>) vorgezeichnet, verdankt seine tiefe Ausräumung aber vor al-

lem der leichten Erodierbarkeit der tektonisch zerrütteten Kristallingesteine durch die Dreisamzuflüsse, vielleicht auch besonders weiten Vorstößen der Schwarzwaldgletscher im älteren Pleistozän (Cromerkomplex, Kap. 2.4.3). Das gleichmäßige Abfallen der Schotteruntergrenze talabwärts auch über Ebnet hinaus (Abb. 7) spricht für eine überwiegende Ausformung des Beckens durch fließendes Wasser. Die südliche Randverwerfung des Dreisamgrabens verläuft vermutlich nahe dem Südrand des Zartener Beckens (Abb. 8 u. 11), ist aber in diesem Abschnitt nicht genau zu fassen. Sie tritt jedoch im Stadtgebiet von Freiburg, das sie vermutlich südlich der Dreisam etwa in West–Ost-Richtung durchquert (Beil. 1, Abb. 20: Schnitte B u. C), als Verwerfung mit einer Sprunghöhe von etwa 400 m in Erscheinung, indem sie den Buntsandstein des Lorettobergs gegen die oben erwähnte quartärbedeckte Unterjura- bzw. Keuperscholle nördlich der Altstadt verwirft. Der im Freiburger Stadtgebiet auf den Oberrheingraben treffende Dreisamgraben ist verantwortlich dafür, daß in diesem Abschnitt keine Randliche Vorbergzone ausgebildet ist.

Der Bau des Tunnels für die Höllentalbahn quer durch den Lorettoberg war ein Glücksfall für die Geologie, denn er erschloß 1928/29 in einmaliger Weise die Zone der Hauptverwerfung, die den Lorettoberg der Länge nach durchschneidet, nordöstlich davon das Dreisamtal quert und am Schwabentor den Schloßbergfuß erreicht (Beil. 1, Abb. 8: Schnitt 4). Abb. 13 zeigt die intensive Zerrüttung der Gesteine in der Zone beiderseits der Hauptverwerfung im Lorettoberg, Abb. 14 die Situation an der im Tunnel beim Ausbau freigehaltenen Hauptverwerfung („Hauptspalte“ nach BRILL 1933: 44). Die starke tektonische Beanspruchung des Buntsandsteins war mit ein Grund dafür, daß man beim Bau des Münsters die Werksteine vom Lorettoberg nur anfänglich verwendete und später andere Gewinnungsstellen suchte (HÜTTNER & WIMMENAUER 1967: 128).

Der Lorettotunnel ermöglichte in der Folgezeit genaue Nivellements zur Klärung der Frage, ob der Oberrheingraben auch heute noch einsinkt. Diese und andere Messungen haben belegt, daß Einsenkung des Grabens und Hebung des Schwarzwaldblocks bis in die Gegenwart weitergehen, wobei sich die einzelnen Schollen innerhalb der Groseinheiten unterschiedlich rasch senken oder heben. Die tektonisch bedingten heutigen Bewegungsraten erreichen im rechtsrheinischen Gebiet 0,1–0,6 mm/Jahr

<sup>6</sup> Horizontalverschiebungen sind Brüche in der Erdkruste, an denen die Bewegungen der beiderseitigen Schollen nicht mehr oder weniger vertikal wie bei Verwerfungen, sondern überwiegend horizontal erfolgen.



(SCHWEIZER 1992: Kap. 4.7, vgl. FECKER et al. 1999: 363) – Werte, die unbedeutend erscheinen, sich jedoch schon nach 10 000 Jahren auf 1–6 m summieren. So ist der zwischen 2 und 22 m betragende Höhenunterschied zwischen den Oberflächen der Niederterrasse und der Aue entlang dem südlichen Oberrhein (ILIES & MÄLZER 1981: 73) das Ergebnis junger tektonischer Bewegungen seit dem Spätwürm, d. h. in den letzten 16 000 Jahren. Im Elsaß erreichen die Höhenänderungen gegenwärtig sogar 0,7–1,8 mm/Jahr, gleichzeitig wird der Graben jährlich um etwa 0,5 mm breiter. Die Vogesen werden außerdem um 0,05 mm/Jahr nach Süden verschoben (SITTLER 1992: 267). Deren Verschiebungsbetrag gegen den Schwarzwald ist bis heute auf 30–40 km angewachsen.

## 3.2 Erdbeben

Mit den anhaltenden tektonischen Bewegungen der Erdkruste hängen auch die im südlichen Oberrhein-Graben gehäuft auftretenden Erdbeben zusammen. Damit sind Beben gemeint, deren Epizentren im Bereich des Grabens liegen. Davon zu unterscheiden sind weiter entfernte Ereignisse, die sich infolge ihrer Heftigkeit bis in den Freiburger Raum auswirkten (nur spürbar oder auch Schäden verursachend). Der Katalog der etwa ab dem Jahr 1000 n. Chr. belegten oder identifizierbaren, weil mit überlieferten Schadensereignissen verbundenen Erdbe-

ben in Deutschland (LEYDECKER 1986 sowie Daten des Erdbebendienstes im Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg i. Br.) weist auch zahlreiche, im weiteren Freiburger Raum lokalisierbare Epizentren auf, in deren Bereich es örtlich zu Schäden gekommen ist (Intensitäten<sup>7</sup> im jeweiligen Epizentralbereich I = ca. 5–8). Das erste und gleichzeitig stärkste Ereignis dieser Art ist vom 3.8.1728 überliefert (I = 7 oder 8), sein Epizentrum wird heute im Gebiet Kenzingen–Lahr angenommen (früher bei Rastatt). Das bisher letzte bedeutendere Beben ereignete sich am 19.9.1965 bei Neustadt/Schwarzwald (I = 6). Dazwischen gab es mindestens 16 weitere Beben dieser Kategorie (die meisten im 19. Jahrhundert), wovon zwölf Epizentren im nördlichen Kaiserstuhl liegen (die beiden stärksten mit I = 7 am 14.2.1899 und 28.6.1926). Das einzige für Freiburg selbst gemeldete nennenswerte Beben (I = 5) ereignete sich am 17.11.1891, wobei sein Epizentrum ungefähr bei Opfingen angenommen wird.

Neben diesen im jeweiligen Epizentralbereich (jedoch nicht im Freiburger Stadtgebiet) Schäden verursachenden Beben gab und gibt es im Freiburger Raum viele schwache Erdbeben, die allerdings meist unter der Fühlbarkeitsschwelle bleiben. Durch Ausbau des seismologischen Meßnetzes in den letzten Jahrzehnten lassen sich aber auch diese Beben heute genauer lokalisieren und auswerten (Abb. 15). Die registrierten Magnituden<sup>8</sup> waren alle kleiner als MI = 4. Erkennbar ist eine Häufung von Epizentren innerhalb des südlichen Oberrheingrabens und sei-

<sup>7</sup> Intensitäten I werden nach einer zwölfteiligen Skala angegeben, welche die Bebenstärke phänomenologisch nach spürbaren Auswirkungen und Schäden klassifiziert. Dabei treten bis I = 4 keine Schäden auf. Die weitere Einteilung lautet (Beschreibung stark verkürzt):  
 I = 5 allgemein sehr deutlich gespürt, Erschütterung des ganzen Hauses, Verputz bröckelt ab  
 I = 6 erschreckend gespürt, Gegenstände fallen von Regalen, leichte Gebäudeschädigungen (Risse im Verputz usw.)  
 I = 7 viele Personen flüchten ins Freie, einige Möbel fallen um, mäßige Gebäudeschäden (teilweise kleine Risse im Mauerwerk, Dachziegel fallen ab usw.)  
 I = 8 allgemein großer Schrecken, beträchtliche Gebäudeschäden, vor allem an Giebeln und Dächern (z. T. tiefe Risse im Mauerwerk, Schornsteine brechen ab usw.), Spalten im Boden  
 I = 9 Panik, schwere bis totale Gebäudeschäden, verbreitet Erdrutsche  
 I = 10 Katastrophe, viele Bauwerke total zerstört, Bergstürze  
 I = 11 nur wenige Bauwerke halten stand, umfangreiche Veränderungen an der Erdoberfläche  
 I = 12 totale Zerstörung aller Bauten, tiefgreifende Veränderungen der Erdoberfläche

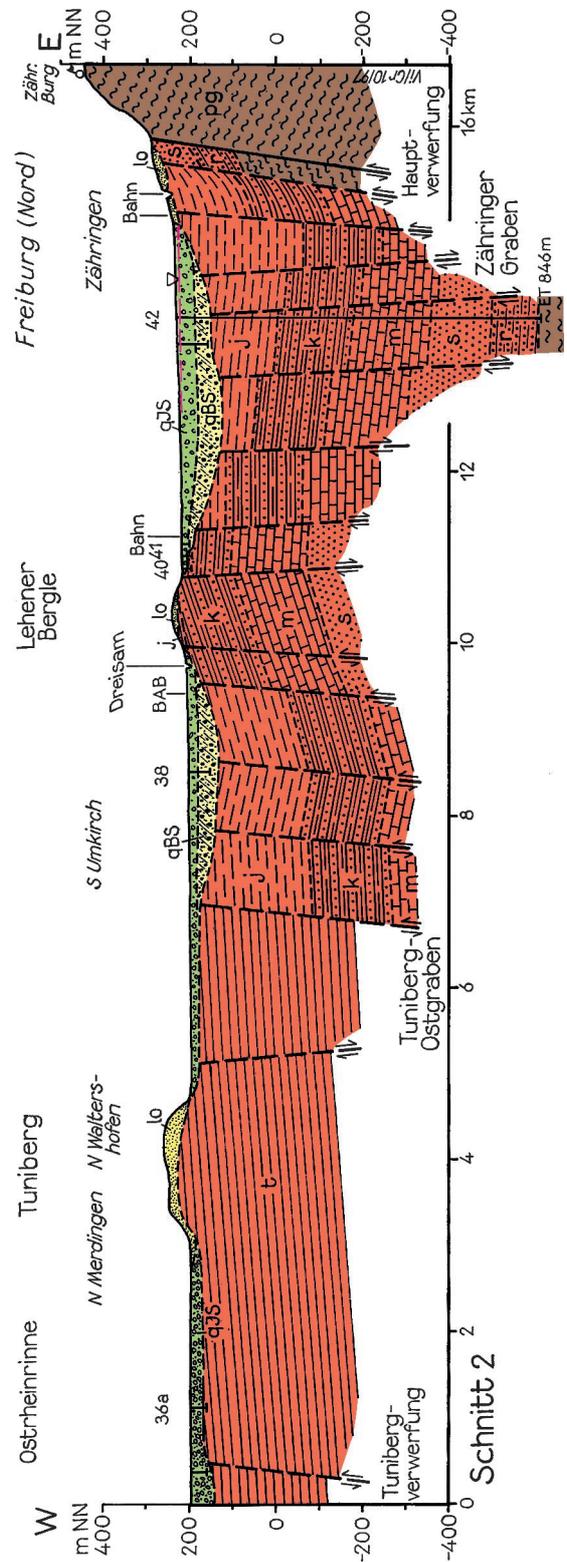
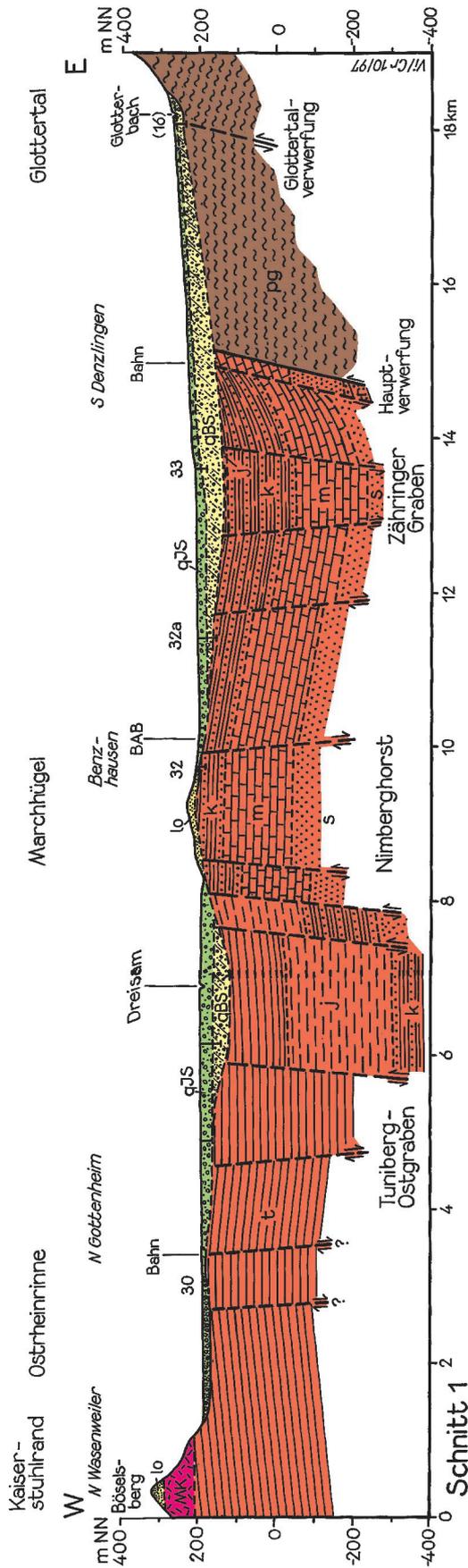
<sup>8</sup> Die heutige Klassifizierung von Erdbeben erfolgt meist nach der sogenannten RICHTER-Skala mit der Magnitude (MI, Ms), die ein logarithmisches Maß für die freigesetzte Energie im Bebenherd ist und mit Messungen (Seismogrammen) recht genau bestimmt werden kann. Die weltweit größten gemessenen Werte liegen bei 9.



Abb. 11: Strukturkarte des Freiburger Raums

Konstruktion im wesentlichen nach HOMILIUS & SCHREINER (1991: Taf. 3–7) sowie HÜTTNER & SCHREINER in GROSCHOPF et al. (1996: 199–241, Beil. 1), unter Einbeziehung von GROSCHOPF & SCHREINER (1996: Beil. 1), GROSCHOPF (1988: Beil. 1) und WIMMENAUER & SCHREINER (1999), im Grabenbereich z. T. etwas abgewandelt aufgrund neuer Bohrergebnisse

Von den Vorkommen vulkanischer Gesteine außerhalb des Kaiserstuhls sind nur die Tuffschlote eingezeichnet, die zahlreichen kleinen Basaltgänge sind weggelassen. Ebenso sind zahlreiche kleine Verwerfungen aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Die Äußere Grabenrandverwerfung oder Hauptverwerfung wird auch als Schwarzwaldrandverwerfung bezeichnet. Abkürzungen: BB – Biengener Berg; H – Hunnenbuck; L – Lehener Bergle; N – Nimberg; M – Marchhügel; MB – Mauracher Berg; ME – Mengener Brücke; S – Schönberg; SB – Schlatter Berg



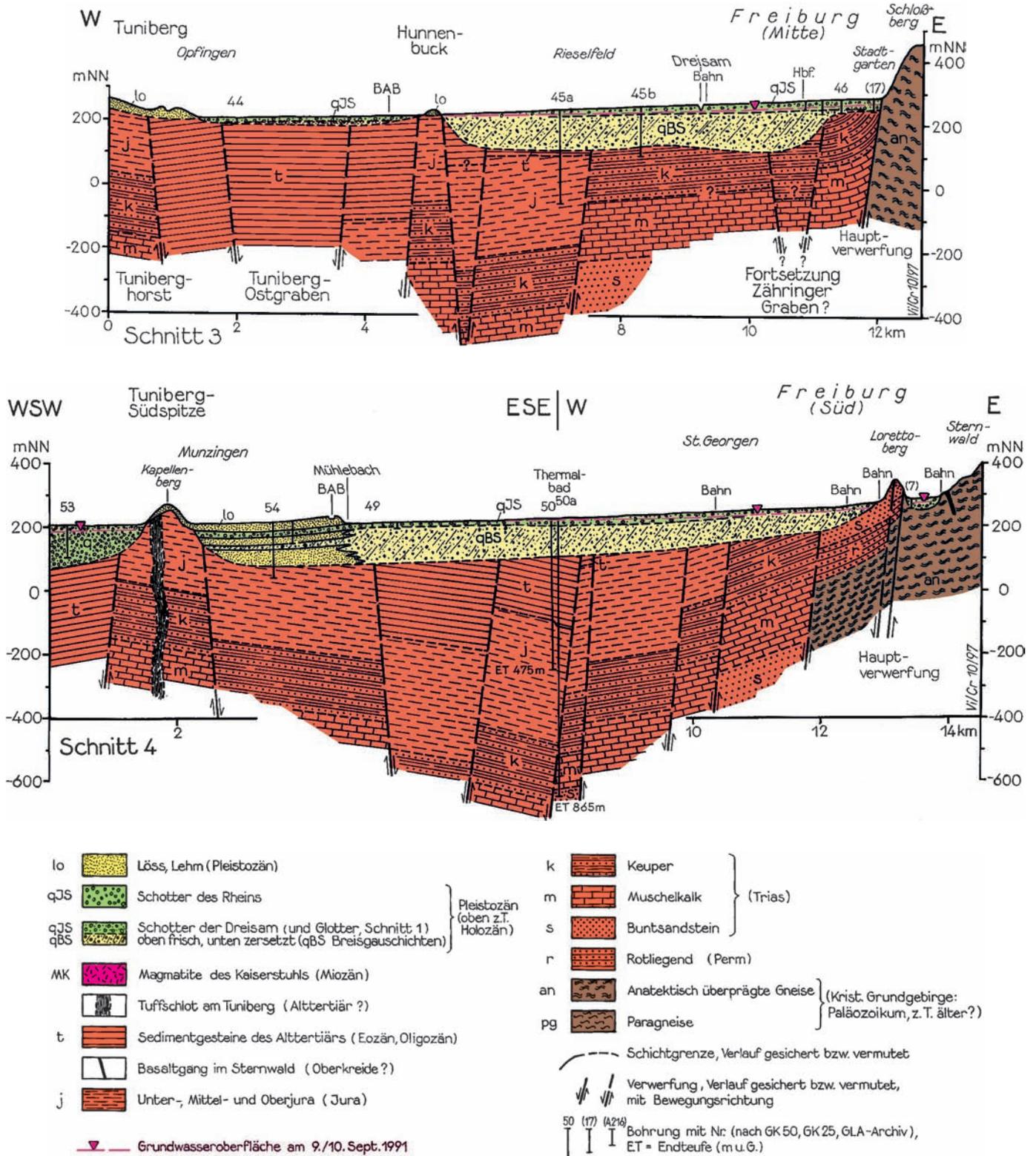


Abb. 12: Geologische West-Ost-Schnitte 1-4 durch die Freiburger Bucht

Konstruktion größtenteils unter Zugrundelegung der geophysikalischen Ergebnisse von HOMILIUS & SCHREINER (1991: Taf. 5 u. 6) und nach neueren Bohrergebnissen. Verlauf der Schnittlinien s. Abb. 11. Die geringmächtigen holozänen und spätwürmzeitlichen Deckschichten sind aus Maßstabsgründen weggelassen. Ebenso ist die Grundwasseroberfläche nur dort eingetragen, wo sie einen Flurabstand von mehr als ca. 5 m hat (Niedrigwassersituation vom 9./10.9.1991, nach HGK Oberrheinebene 1995).



Sicht erstaunlich. Denn von weniger starken und viel weiter entfernten Erdbeben bei Ebingen auf der westlichen Schwäbischen Alb am 16.11.1911 ( $I = 8$ ) und am 20.7.1913 ( $I = 7$ ) sind einige kleinere Schäden aus dem Freiburger Stadtgebiet beschrieben (Freiburger Zeitung, jeweils in den Ausgaben der auf die beiden Beben folgenden Tage, sowie LAIS 1914). Die

aus der Verteilung der beobachteten Intensitäten damals abgeleiteten tektonischen Schlußfolgerungen sind aus heutiger seismologischer Sicht nicht haltbar, besonders hinsichtlich angenommener Verwerfungen im Stadtgebiet (vgl. auch NEUMANN & DEECKE 1912).



Abb. 14: Östliche Hauptverwerfung des Oberrheingrabens im Lorettotunnel der Höllentalbahn

Das "Fenster" in der Tunnelauskleidung zeigt den Ostrand der rd. 20 m breiten Ruschelzone (vgl. Schnitt in Abb. 13). Diese Zone besteht aus zerriebenem und gebleichtem Gneismaterial mit schwarzen, plastischen Lagen und Linsen (links oben). Sie wird durch eine scharfe Störungsfläche (graue mittlere Zone), die sogenannten Hauptspalte BRILLS (1933), von intensiv vererztem und verquarstem Paragneis (rechts unten) getrennt. Mit den eingebauten Meßgeräten werden seit 1995 nach der gleichen Methode wie schon seit 1993 im Wattkopftunnel bei Ettlingen (FECKER et al. 1999) Bewegungen des Gebirges in der Verwerfungszone registriert (Photo: R. SCHWEIZER, 22. Juni 1998).

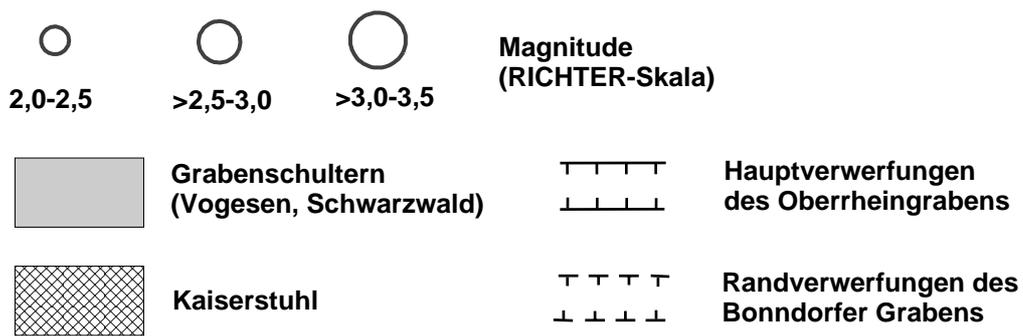
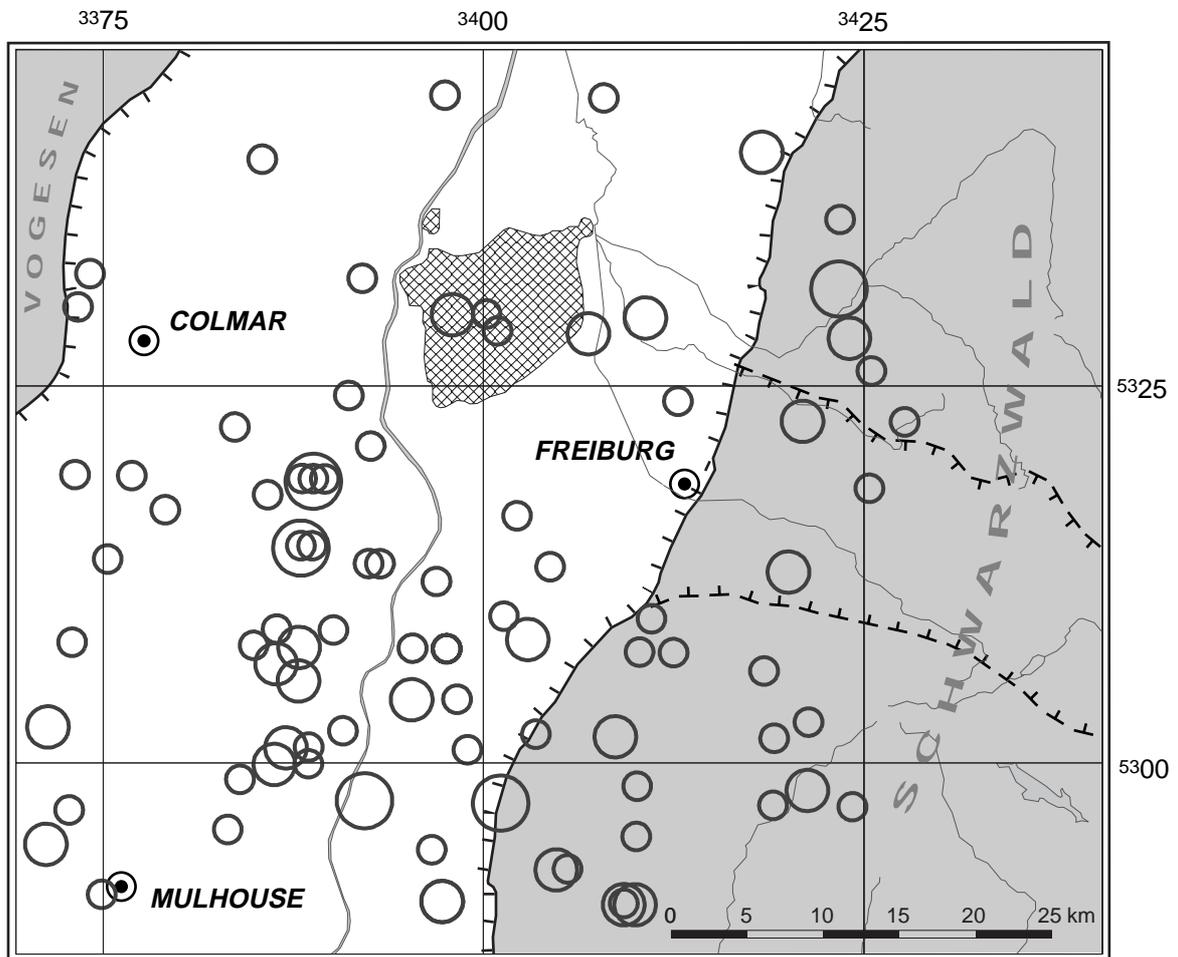


Abb. 15: Epizentren von Erdbeben mit Magnituden von mindestens 2,0 in den Jahren 1973–97 im Raum Freiburg–Colmar

Die Genauigkeit der Lokalisierung beträgt ± 1 km. Die zahlreichen Beben mit Magnituden kleiner als 2,0 sind der Übersichtlichkeit halber weggelassen (nach Erdbebendienst des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).