Ivan Mercolli[1], Alfons Berger[1] und Thomas Burri[2]

Feuer aus dem Erdinneren: Vulkanismus und Fluide am Kaiserstuhl

Bericht zur Exkursion vom 13.–14. April 2013

Die 22 Exkursions-Teilnehmer treffen sich Samstagmorgen vor der Türe des Instituts für Geologie der Universität Bern. Mit drei Minibussen reisen wir von Bern via Basel und Freiburg in den Kaiserstuhl. Nach einem bisher zu kalten und nassen Frühling erwarteten uns die ersten warmen Frühlingstage.

Samstag, den 13. April

Stop 1. Vogelsangpass oberhalb Bötzingen

Dieser Halt am süd-östlichen Hang des Kaiserstuhls wurde zur Aussicht und Besprechung der zwei Hauptthemen der Exkursion genutzt *(Abb. 1)*: (1) Die Entstehung des Oberrheintalgrabens und (2) dessen Verknüpfung mit dem gleichzeitigen Vulkanismus. Trotz des noch eher trüben Wetters und tiefsitzenden Wolken erlaubte der Aussichtspunkt am Vogelsangpass einen guten Blick über die Morphologie des Oberrheintalgrabens. Dieser bildet eine 30–40 km breite flache Ebene zwischen dem Schwarzwald im Osten und den Vogesen im Westen. Beide Gebirge weisen höchste Erhebungen von mehr als 1000 m über Meer auf (Grand Ballon 1424 m.ü.M, Feldberg 1493 m.ü.M).

Diese Morphologie von Graben und flankierenden Gebirgen ist Folge der tertiären Tektonik im Zusammenhang mit der Alpenbildung, welche nördlich des Alpenvorlandes eine Intraplattentektonik initiiert hat. Die hervorgerufen Spannungen in der Erdkruste führen zu grossen Bruchsystemen: Der Oberrheintalgraben gehört zu einem Gürtel von Extensionsgräben, die sich vom Mittelmeer bis an die Nordsee erstrecken *(Abb. 2)*. Diese Extensionsbewegungen umfassen die ganze Lithosphäre (d.h. die kontinentale Kruste (30–40 km mächtig) und den darunterliegenden lithosphärischen Mantel (ca. 150 km mächtig)). Die kontinentale Kruste wird durch diese Bewegung im Oberrheintalgraben bis auf 25 km ausgedünnt und der Mantel fliesst von unten in die entstehende Lücke hinein.

[1] Prof. emer. Dr. Ivan Mercolli; PD Dr. Alfons Berger, Institut für Geologie, Universität Bern
[2] Dr. Thomas Burri, Naturhistorisches Museum Bern

Abbildung 1: Blick vom Vogelsangpass nach Osten mit der Ebene des Oberrheintalgrabens und dem Schwarzwald.

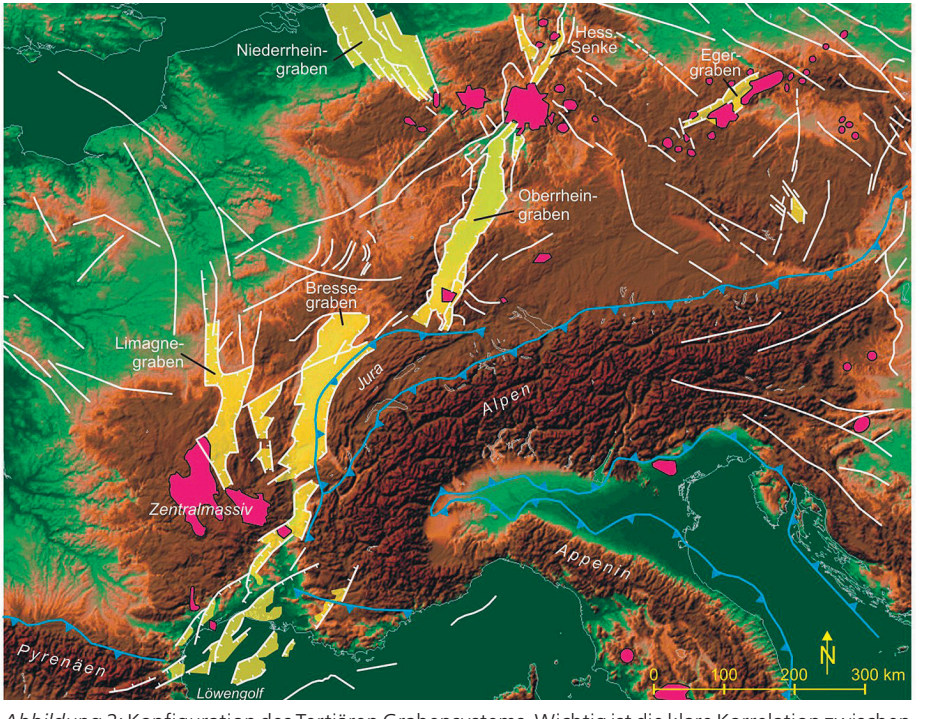


Abbildung 2: Konfiguration des Tertiären Grabensystems. Wichtig ist die klare Korrelation zwischen Grabenbildung (gelb) und Vulkanismus (rosa). (Abbildung aus www.oberrheintalgraben.de)

Die Grabendynamik der Lithosphäre ist verantwortlich für die Entwicklung der vulkanischen Aktivität *(Abb. 2)*. Die Hebung des Mantels unterhalb des Grabens induzierte eine partielle Aufschmelzung der peridotitischen Gesteine, die den Mantel aufbauen (Dekompressionsschmelze). Die Tiefe der Aufschmelzung und die Zusammensetzung der Peridotite bestimmten den chemischen Charakter der neugebildeten silikatischen Schmelzen, der so genannten primären oder primitiven Schmelze. Im Falle des Kaiserstuhl handelt es sich um sehr SiO_2 arme (untersättigte) Schmelzen mit einer Zusammensetzung nahe eines Olivin-Nephelinits. Diese Schmelzen stiegen durch den Mantel und die Kruste auf (hier spielten die erwähnten tiefreichenden Brüche der Grabendynamik eine wichtige Rolle) und nahmen an der Oberfläche in Form von Vulkanen platz. Teile dieser Schmelzen erstarrten auch in der Tiefe als Plutone. Die Hügel des Kaiserstuhls sind die erodierten Überreste eines kleinen vulkanischen Zentrums, das sich im Oberrheintalgraben vor 18 bis 16 Millionen Jahren gebildet hatte (Burdigalian; frühes Miozän; Keller, 1984; Wimmenauer 2003). Diese primitiven Schmelzen wurden aber während ihres Aufstieges zur Erdoberfläche häufig in ihrer Zusammensetzung verändert. Wichtige Prozesse waren dabei das mechanische Abtrennen von früh gebildeten Mineralien (Fraktionierung), aber auch die Mischung unterschiedlicher Schmelzen und die Kontamination mit Nebengestein (Assimilation). Die Fraktionierung (auch Differentiation genannt) ist der Grund warum wir weltweit an der Oberfläche eine sehr grosse Vielfalt an vulkanischen und plutonischen Gesteinen beobachten, obwohl die primitiven Schmelzen aus dem Mantel nur geringe Unterschiede in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Generell haben magmatische Gesteine, die in Zusammenhang mit Extensionstektonik vorkommen, gemeinsame geochemische Merkmale – sie werden der sogenannten Alkali-Serie zugeordnet. Ein typisches Beispiel einer solchen Alkali-Serie bildet der Kaiserstuhl. Neben kleinen Mengen der primitiven Olivin-Nephelinite und Basanite (lokal Limburgite genannt) findet man grössere Mengen fraktionierter Gesteine wie Tephrite und Phonolithe *(Abb. 3)*. Noch vielfältiger sind kleinere Intrusivkörper und die zahlreichen, aber

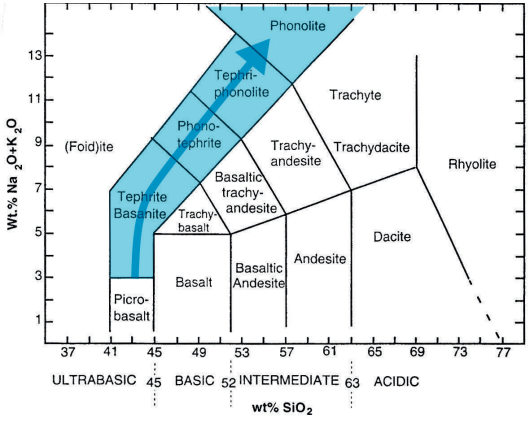


Abbildung 3: Chemische Klassifikation der Vulkanite. In blau sind die am Kaiserstuhl angetroffenen Gesteine hervorgehoben. Der blaue Pfeil zeigt den Trend der Fraktionierung von primitiven Basaniten bis zu stark differentierten Phonoliten.

volumetrisch untergeordneten subvulkanischen Gänge. Typische Gesteine wie Foid-Monzodiorit (= Essexite), Foid-Gabbro (= Theralite), Monzonite und Syenite koexistieren mit sehr seltenen Gesteinstypen mit oft lokalen Namen (z.B.: Mondhaldeit, Tinguait, Ledmorit, Bergalit). Einige davon wurden nur aus dem Kaiserstuhl beschrieben (siehe Wimmenauer 2003).

Der Vielfalt der Gesteine wiederspiegelt auch die Vielfalt der Mineralien, die diese Gesteine aufbauen *(siehe Tab. 1)*.

Mineralgruppe	Mineral	Formel
Foide und Feldspäte	Nephelin	$NaAlSiO_4$
	Leucit	$KAlSi_2O_6$
	Albit	$NaAlSi_3O_8$
	Orthoklas	$KAlSi_3O_8$
	Sodalit	$Na_8\ Al_6Si_6O_{24}\ Cl_2$
	Nosean	$Na_8\ Al_6Si_6O_{24}\ SO_4$
	Haüyn	$(Na,Ca)_{4\text{-}8}\ (Al_6Si_6O_{24})\ (SO_4,S)_{1\text{-}2}$
	Analcim	$Na\ AlSi_2O_6\ H_2O$
Amphibole	Richterit	$(Na,K)\ NaCa\ (Mg,Fe,Ti)_5\ Si_8O_{22}\ (OH,F)_2$
	Katophorit	$(Na,K)NaCa(Mg,Fe,Ti)_4AlAlSi_7O_{22}(OH,F)_2$
Pyroxene	Diopsid	$Ca\ (Mg,Fe)\ Si_2O_6$
	Augit	$(Ca,Na,Mg,Fe,Mn,Al,Ti)\ (Si,Al)_2O_6$
	Aegirin	$Na\ Fe^{3+}\ Si_2O_6$
Karbonate	Calcit	$CaCO_3$
	Siderit	$FeCO_3$
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
Schichtsilikate	Phlogopit	$K_2\ (Mg,Fe,Ti)_6\ Si_6Al_2O_{20}\ (OH,F)_4$
Orthosilicates	Melilith	$(Ca,Na)_2(Mg,Al)(Si_2O_7)$
	Titanit	$CaTi\ SiO_4\ (OH,F);$
	Allanit	$(Ca,Ce)_2\ Fe\ Al_2O\ (Si_2O_7)\ (SiO_4)\ OH$
	Olivin	$(Mg,Fe)_2\ SiO_4$
	Zircon	$ZrSiO_4$
Phosphate	Apatit	$Ca_5\ PO_4\ (OH,F,Cl)$
	Monazit	$(Ca,La,Th)\ PO_4$
Oxide	Pyrochlor	$Ca_2Nb_2O_7$
	Perovskit	$(Ca,Na,Fe,Ce)(Ti,Nb)\ O_3$
	Priderit	$(K,Ba,Cs)_{1\text{-}2}\ (Fe,Cr,Al,V,Ce)_{1\text{-}2}\ (Ti,Nb)\ O_6$

Tabelle 1: Häufige Mineralien in den Gesteinen der Alkali-Serie (meistens auch im Kaiserstuhl vorhanden).

Stop 2. Karbonatit und subvulkanische Breckzie am Ohrberg, Schelingen

Abbildung 4: Auf dem Weg zum Karbonatit-Steinbruch bezauberten Küchenschellen die botanisch interessierten Teilnehmer. Küchenschellen bevorzugen kalkreiche Standorte.

Auf dem Weg zum ersten Aufschluss erwarten uns erst einmal einige seltene Frühlingsboten – violette Küchenschellen in ihrer zartweissen flaumigen Behaarung *(Abb. 4)*. Der erste Gesteinsaufschluss führt uns nicht nur ins geographische Zentrum des Kaiserstuhls, sondern auch in den Kern des Vulkangebäudes. Nach der Eruption der tephritischen Laven und Pyroklastika und dem Aufbau eines Vulkans sind hier Karbonatite intrudiert. Diesen seltenen und speziellen Gesteinen verdankt der Kaiserstuhl seine Berühmtheit. Der Karbonatit ist ein von Calcit dominiertes magmatisches Gestein, das bei der Kristallisation einer CO_2-reichen Schmelze entstanden ist. Das heisst, diese Gesteine haben nichts mit den karbonatischen Sedimenten (Kalke und Dolomite) zu tun, wie sie entlang der Vorbergzone oder auf den Abdachungen des Schwarzwaldes und der Vogesen anstehen. Noch bis in die 1960‘er Jahre war die Genese der Karbonatite Thema anhaltender Diskussionen. Man stritt sich um einen sedimentären versus einen magmatischen Ursprung. Das weisse grobkörnige Gestein erinnert tatsächlich eher an einem Marmor (metamorpher Kalk) als an einen Magmatit *(Abb. 5)*.

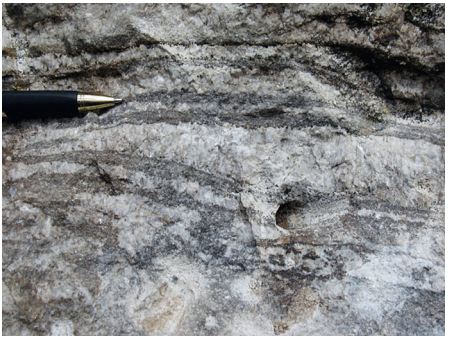


Abbildung 5: Der alte Karbonatit-Steinbruch am Ohrberg. Der weiss-gräuliche Karbonatit zeigt keine sedimentäre Schichtung sondern eine magmatische Fliessbänderung, die durch die Ansammlung von hauptsächlich Magnetit und Silikaten (meistens Pyroxene) gebildet wird.

Der geochemische Charakter und die Beobachtung von aktivem karbonatitischem Vulkanismus (der Vulkan Ol Doinyo Lengai im Ostafrikanischen Graben) haben aber die Karbonatite als magmatische Gesteine etabliert. Experimente haben gezeigt, dass Karbonat-reiche Schmelzen nicht mit silikatischen Schmelzen mischbar sind. Dieser Befund, zusammen mit der sehr engen zeitlichen und räumlichen Verknüpfung der Karbonatite mit den Alkaligesteinen der nephelinitischen Familie, hat zur heutigen gängigen Hypothese geführt: Diese besagt, dass während ihres Aufstiegs aus dem Mantel primitive karbonathaltige, nephelinitische Schmelzen die Mischbarkeitsgrenze (Solvus) des Systems überschreiten und dabei entmischen und zwei getrennte Schmelzen bilden. Diese Gesteine sind so selten, weil die Konzentration von CO_2 in Mantelgesteinen gering ist. Darum ist die potentielle Quelle für die Bildung von karbonatischen Schmelzen im Mantel limitiert. Karbonatite sind selten, aber ökonomisch von Bedeutung. Während des Entmischungsprozesses wandern vielen Spurenelemente präferenziell in die karbonatische Schmelze und werden dort angereichert. Deswegen sind Karbonatite sehr wichtige Träger von Elementen wie seltene Erden und Niobium. Niobium wurde zum Beispiel während des Krieges für die Stahlindustrie in dem Steinbruch am Ohrberg abgebaut.

Der Karbonatit-Körper ist in einen etwas älteren Essexit-Körper intrudiert. Dadurch ist am Rande des Karbonatit-Körpers eine Intrusionsbrekzie entstanden. Der Essexit wurde zerbrochen und die eckigen Bruchstücke mit karbonatitischem Magma zementiert. Solche Brekzien konnten wir in Blockhaufen in der Nähe des Steinbruches ansehen, auf den ersten Blick hätte man sie auch für Magerbetonfundamentsbrocken halten können.

Stop 3. Phonolith Steinbruch bei Endhalden (SWW Eichstätten)

Oberhalb Bötzingen ist ein kleiner alter Steinbruch in einem Phonolith-Stock erhalten geblieben. Ein viel grösserer und immer noch aktiver Steinbruch befindet sich weniger als ein Kilometer weiter südlich.

Die Phonolithe sind hellgraue, sehr feinkörnige, poröse Gesteine mit einzelnen, ± gut sichtbaren Feldspäten. Die Phonolithe stellen das Endglied der Fraktionierung der primitiven basaltischen Magmen dar. Sie sind also sehr stark an Silizium und Alkalien angereichert und in Magnesium abgereichert. In diesem Teil des Kaiserstuhls bilden sie kleine subvulkanische Stöcke. Die starke Anreicherung in Silizium verursachte eine enorme Erhöhung der Viskosität des Magmas. Dieses wird praktisch fliessunfähig und kann damit keine richtigen Lavaströme bilden. Kuppelförmige Stöcke und Dome sind die typischen Erstarrungsformen von solchen stark fraktionierten Magmen. Die sehr hohe Viskosität der phonolithischen Magmen führte aber auch häufig zu explosiver Förderung dieser Magmen. Im westlichen Kaiserstuhl bei Breisach wurden phonolitische Tuffe gefunden, die eine explosive Aktivität während der Platznahme der Phonolithe bezeugen.

Die hohe Porosität der Phonolithe ist verursacht durch die hohe Viskosität der Magmen – entmischende Gase konnten nicht entweichen und haben einen Porenraum geschaffen. Dies hat eine starke hydrothermale Umwandlung der Gesteine begünstigt. Die glasige Matrix und viele Mineralien (hauptsächlich Feldspäte und Foide) wurden zu Zeolithen umgewandelt. Diese Mineralien sind der Grund der Wirtschaftlichkeit der Phonolithe (aktiver Steinbruch bei Bötzingen) weil sie, dank ihrer ganz besonderen Eigenschaften, intensiv genutzt werden.

Stop 4. Löss und Weinbau westlich Ihringen

Der grösste Teil des Kaiserstuhls ist von Löss bedeckt, diesem feinkörnigen, sehr fruchtbaren Flugsediment, welches sein Dasein der letzten Eiszeiten verdankt. Diese Tatsache, in Kombination mit der besseren Bodenbearbeitbarkeit von Löss gegenüber den verwitterten Magmatiten, führte zur Konzentration von Weinbau

Abbildung 6: Typischer Zeilenweinbau mit Drahtanlage.

auf den Lössböden. Dagegen blieben die Magmatite auf den Kuppen oft bewaldet. In den Lössen wurde in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts eine grosse Flurbereinigung durchgeführt, welche die Landschaft des Kaiserstuhls grundlegend veränderte *(Abb. 7)*. Sie führte zur heutigen Terrassenlandschaft mit ihrem Weinbau. Der Weinbau ist, typisch für Deutschland, in einem Zeilenweinbau ausgeführt und der Wein wird mit Hilfe einer Drahtanlage gestützt *(Abb. 6)*. Die Exkursion führte uns in die Zeit nach dem Rebschnitt und dem Biegen der Reben, aber vor der eigentlichen Wachstumsphase. Der typische Rebschnitt und die Bodenbearbeitung konnten deshalb diskutiert werden.

Abbildung 7: Weinberg-Terrassen wurden in die Löss-Bedeckung der Vulkanite eingeschnitten. Die neugestaltete Landschaft wurde auch schon mit einer Bergbau-Terrassenlandschaft verglichen.

Der Kaiserstuhl ist berühmt für seinen Grauen Burgunder und ist allgemein dominiert von Rebsorten der Burgunderfamilie (Spätburgunder, Frühburgunder, Weisser- und Grauer Burgunder). Allerdings wurden und werden auch immer andere Rebsorten angebaut. Dabei werden verschiedene Neuzüchtungen (oft aus dem Anfang des 20. Jahrhundert, z.B. Scheurebe und Müller-Thurgau) sowie andere traditionelle Rebsorten in untergeordneter Menge angebaut.

Stop 5. Besuch der Genossenschaft in Achkarren

Nach den Betrachtungen des Magmatismus und des Weinbaus im Feld, unternahmen wir eine geführte Weinprobe in der Winzergenossenschaft Achkarren. Dieser Ort ist einer der wenigen Orte im Kaiserstuhl mit vorwiegend Weinbau auf den Vulkaniten. Die Weinprobe beinhaltete 8 Weine aus Achkarren:

Abbildung 8: Weindegustation oder Studien in Sachen Stein&Wein in der Winzergenossenschaft Achkarren. Eloquent erläutert unser Führer die Machart und die Geschmacksrichtungen der verschiedenen Weine und studiert selbst eifrig mit.

- 2011er Spätburgunder QbA
- 2011er Rosé QbA
- 2012er Grauer Burgunder Spätlese
- 2011er Scheurebe Kabinett
- 2011er Spätburgunder Kabinett
- 2012er Sauvignon Blanc QbA
- 2012er Ruländer Kabinett
- 2011er Gewürztraminer Auslese

Diese wurden in einem Rundgang von Anlieferungshalle, Kelterhalle, Fassweinkeller und Raritäten Flaschenweinkeller durchgeführt *(Abb. 8)*. Ein Mitarbeiter der Winzergenossenschaft gab kompetent Auskunft zu den Weinen und dem Weinbau. Die Dominanz der verschiedenen Burgundertrauben wurde beschrieben. Die Weine und Anbautechniken wurden an manchen Stationen intensiv diskutiert und degustiert. Alle Weine kamen von einem magmatischen Untergrund (Achkarrer Schlossberg) und der Vergleich zu den Weinen auf dem Löss konnte leider nicht getestet werden. Nach der Weinprobe konnten wir das Abendessen und die Nacht im Achkarrener Hotel «Zur Krone» geniessen.

Sonntag, den 14. April

Der Frühling hat uns erreicht – sonniges Wetter empfing uns an diesem Morgen. Es sollte uns den ganzen Tag begleiten.

Stop 6. Tephritische Lava-Ströme westlich Ihringen

Dieser Aufschluss erlaubte uns die Tephrite zu beobachten; der volumenmässig wichtigste Typ von Vulkaniten im Kaiserstuhl. Es handelt sich um ein dunkelgraues, häufig poröses Gestein mit sichtbaren augitischen Pyroxenen als Einsprenglinge. Manchmal sind auch kleine Leucite, seltener etwas Plagioklas und Magnetit sichtbar.

Tephrite sind in Bezug auf ihre Fraktionierung ein intermediäres Gestein. Grob gesagt werden sie durch die Abtrennung von Olivin aus dem primitiven Olivin-Nephelinit reicher in Silizium und ärmer in Magnesium. Die Fraktionierung findet in verschiedenen Magmen-Reservoirs (Magmakammer) auf dem Weg zwischen der Quelle (ca. 90 bis 150 km Tiefe) und der Oberfläche statt. Die Tiefe, Dynamik und Dauer des Aufenthalts des Magmas im Reservoir sind wichtige Faktoren, die die Art und Intensität der Fraktionierungsprozesse beeinflussen.
Gut sichtbar an diesem Aufschluss war die typische Architektur eines Lava-Stromes. Die Basis des Stromes ist durch eine 30 bis 60 cm mächtige lockere Brekzie definiert, die aus Bruchstücken des überliegenden massigen Teils des Stromes besteht. Die Brekzie bildete damit eine Art Kugellager auf dem sich den Strom einfacher bewegen konnte. Der massige Teil ist in der Regel von Abkühlungsrissen durchgezogen. Falls die Abkühlung regelmässig erfolgen kann (abhängig von der Homogenität des Material und der Dynamik der Platznahme), ordnen sich die Abkühlungsrisse und bilden die typischen Kolonnaden. Der oberste Teil des Stromes ist häufig wiederum brekziiert, weil die spröde abgeschreckte Oberfläche der Lava unter der Spannung der Fliessbewegung zerbrach *(Abb. 9)*.

Abbildung 9: Blockig-brekziöse Oberfläche des Lavastromes. Die weissen Farben weisen auf starke Alteration hin und wohl auch auf das Wachstum von Zeolithen und/oder Tonmineralien als Sekundärmineralien.

Viele Parameter beeinflussen die Morphologie von Lava-Strömen und die meisten sind in einer komplexen Weise miteinander verknüpft. Als Beispiel soll die Viskosität erwähnt werden, welche massgeblich die dynamischen Eigenschaften des Magmas beeinflusst. Sie ist direkt abhängig von der Zusammensetzung und der Temperatur des Magmas. Magmen sind keine reine Flüssigkeiten, sondern ein Gemisch von silikatischer Schmelze und Mineralien. Darum ist die Viskosität auch von der Anzahl, Grösse und Form der Mineralien im Gemisch und von der komplexen polymerartigen Struktur der Schmelze beeinflusst. In einem fliessenden Strom verändert sich aber die Temperatur ständig mit einer sehr heterogenen Geometrie. Damit verändert sich wieder die Anzahl, Grösse, Form und Verteilung der Mineralien was erneut die Viskosität beeinflusst.

Stop 7. Tephritische pyroklastische Ablagerungen am Burgberg westlich Burkheim

Wir befanden uns hier im Westen des eigentlichen Vulkans, wo kleinere vulkanischen Zentren auftreten. Eine direkte Verbindung mit dem zentralen Kaiserstuhl-Vulkan ist nicht aufgeschlossen, aber sowohl genetisch wie auch zeitlich sind diese eng mit dem grossen Vulkangebäude verbunden.

Die Gesteine in unserem Aufschluss im alten Steinbruch zeigten einen enormen Unterschied in der Korngrösse, die von mm grossen (Aschen) über cm grossen (Lapilli) bis zu m grossen (Blöcke) Bruchstücken variierte. Dazu war in der Wand keine präferenzielle Anordnung der Komponenten sichtbar. Das lässt erahnen, dass diese Tuffe sehr nahe am Eruptionszentrum abgelagert wurden, ohne das durch den Transport eine Einregelung der Komponenten einsetzen konnte. Das Fehlen von deutlichen Diskontinuitäten in der Wand deutet daraufhin, dass die gesamte sichtbare Mächtigkeit der Ablagerungen während eines einzigen Ereignisses akkumuliert wurde.

An einer grossen Steilwand konnte man die internen Strukturen von pyroklastischen Ablagerungen sehr gut betrachten. Zusammen mit Lava-Strömen bilden diese Gesteine den Hauptanteil der Magmen, die im Kaiserstuhl gefördert wurden. Sie stellen aber eine Änderung dar, was den Stil der vulkanischen Aktivität anbelangt. Lava-Ströme entstehen während dem ruhigen Ausfliessen der Magmen (effusive Aktivität); pyroklastische Ablagerungen sind hingegen die Produkte einer explosiven Aktivität. Diese beiden Arten der Magmenförderung alternieren gewöhnlich während des Lebens eines Vulkans. Manchmal bilden sie klar getrennte Zyklen, aber manchmal sind diese komplex miteinander verknüpft. Es gibt zwei verschiedene Typen von vulkanischer Explosivität. Die «magmatische Explosivität» bezieht die Energie der Explosion aus den im Magma gelösten Fluiden (hauptsächlich H_2O). Im Gegensatz dazu wird die «phreato-magmatische Explosivität» durch die Expansion von externem phreatischem Wasser ausgelöst, welches durch den Aufstieg des Magmas in die obersten Schichten der Kruste aufgeheizt wird.

Abbildung 10: Die pyroklastische Breckzie im Steinbruch am Burgberg bei Burkheim. Deutlich sind die eckigen und/oder schlecht gerundeten Blöcke unterschiedlicher Grössenordnung in der weissgrauen, wohl stark zeolithisierten Matrix erkennbar. In den grösseren Blöcken sind helle Mineralien, wohl Feldspäte erkennbar. Bildbreite ca. 2.5 m.

Die Produkte einer explosiven Eruption sind die pyroklastischen Gesteine oder Tuffe. Es handelt sich um mehr oder weniger verfestigte Brekzien. Das heisst Gesteine die aus eckigen bis schlecht gerundeten Bruchstücken von vulkanischen Gesteinen (manchmal auch von nicht-vulkanischen Nebengesteinen) in einer feinkörnigen Matrix bestehen *(Abb. 10)*. In der Regel ist auch die Matrix nichts anderes als sehr stark fragmentiertes juveniles vulkanisches Material. Die Analyse der Granulometrie (Korngrössenverteilung) von pyroklastischen Ablagerungen erlaubt häufig die Rekonstruktionen der vulkanischen Aktivität. Sie bildet auch die Grundlage für die Klassifikation der Intensität der explosiven Eruptionen.

Stop 8a. Nephelinitische pyroklastische Ablagerungen am Limberg bei Sasbach

Die Hügel des Limberg an der nordwestlichen Ecke des Kaiserstuhls sind auch ein Relikt eines kleinen isolierten Vulkans. Die Magmen, die hier auftreten sind die primitivsten des ganzen Kaiserstuhls. Es handelt sich um sehr SiO_2-untersättigte und kaum fraktionierte Olivin-Nephelinite. Diese relativ seltenen Gesteine wurden früher

als «Limburgite« bezeichnet und werden als mögliche primäre Schmelze verstanden, aus der die höher fraktionierten Tephrite und Phonolithe entstanden sind.

Im Aufschluss hinter der Burgruine ist wiederum eine Abfolge von Tuffen vorhanden. Im Gegensatz zu Aufschluss 7 erkennt man hier eine gewisse Strukturierung der Ablagerungen. Dies deutet auf die Mehrphasigkeit der Eruptionen hin und möglicherweise auf unterschiedliche Transportmechanismen. Die feinkörnigen homogenen Lagen könnten auf Fallablagerung hinweisen. Das heisst gut gravitativ sortierte Komponenten, die aus Luft abgelagert wurden. Die groben chaotischen Lagen deuten hingegen mehr auf proximale pyroklastische Ströme hin.

Stop 8b. Basanitischer Lava-Strom mit Peridotitknollen am Limberg bei Sasbach

Am südlichsten Ende des Limberg entlang der Hauptstrasse ist ein kleiner Teil eines basanitischen Lavastromes aufgeschlossen. Die Besonderheit dieses Aufschlusses sind die zahlreichen, faustgrossen Peridotitknollen *(Abb. 11).*

Abbildung 11: Basanit Lava-Strom mit Peridotitknollen am Limberg. (a) Übersichtfoto: die gelben Farbtupfer bestehen aus Mantelperidotiten, die als Schollen in den aufsteigenden basanitischen Magmen eingeschlossen wurden. (b) Detail einer solchen Peridotitscholle.

Peridotite sind Gesteine des Erdmantels, die vorwiegend aus Olivin und Pyroxen bestehen. Als Einschlüsse in den basanitischen Vulkaniten bezeugen sie die Mantelherkunft der Magmen und stellen als solche die Reste der Quelle dar. Solche seltenen Funde sind von enormer Bedeutung für die Petrologie, da diese die Mantelzusammensetzung direkt belegen. Ansonsten müssen solche Zusammensetzung indirekt mit geochemischen Methoden modelliert werden. Es ist interessant zu bemerken, dass weltweit solche Peridotitknollen fast ausschliesslich in Basalten der Alkali-Serie in Extensionsgräben zu finden sind. Die Peridotitknollen in diesem Aufschluss sind sehr stark alteriert, wobei die internen Teile noch perfekt die Mantelmineralogie erkennen lassen.

Stop 9. Breisach

Der isolierte Hügel im Zentrum von Breisach ist der südlichste Zeuge der vulkanischen Aktivität im Kaiserstuhl. Wie für die Vulkane des Limbergs und Burgbergs ist eine direkte Verbindung zum grossen Vulkankomplex in der Mitte des Kaiserstuhls nicht aufgeschlossen. Der Charakter der Gesteine lässt sie aber eindeutig dem Kaiserstuhl Ereignis zuordnen.

Das Münster von Breisach erhebt sich zuoberst auf dem Hügel und ist ein Archiv historischer als auch geologischer Daten. Wir haben die Bausteine des Münsters in Augenschein genommen. Die hauptsächlichen Bausteine sind Vulkanite aus dem Kaiserstuhl und Buntsandsteinblöcke (Sedimente der Trias) aus der dem Schwarzwald vorgelagerten Vorbergzone. Dazu finden sich reliktisch Pflastersteinbeläge aus Quarzgeröllen aus dem Rhein. Peter Heitzmann erläutert einige historische Fakten zur Verwendung der Bausteine.

Vom Münsterplatz geniesst man eine wunderschöne Sicht über den Oberrheingraben auf die Berge des Schwarzwaldes, des Kaiserstuhls und die Vogesen. Genau die perfekte Stelle, um auf einige abschliessende Punkte einzugehen: Der Rheingraben ist nicht nur für Geologen und Weinbauern eine spannende Gegend, die geologischen Gegebenheiten haben auch ganz konkrete Auswirkungen auf die Menschen, die heute in diesem Gebiet leben. Jeder tektonische Graben würde eigentlich eine topographische Senke darstellen, doch diese haben in der Regel nicht lange Bestand. Wie generell alle Gelände-Depressionen werden sie meist rasch mit dem Schutt der umgebenden Hochzonen verfüllt. Oftmals halten Absenkung und Auffüllung sich die Waage, so auch im Rheingraben. Wäre dies nicht der Fall, so würde sich heute zwischen Vogesen und Schwarzwald ein riesiger Binnensee erstrecken. Tatsächlich gibt es so etwas wie ein See in dieser Region, allerdings liegt er innerhalb der Lockergesteinsfüllungen des Rheingrabens – es ist ein See aus Grundwasser! Während den Vergletscherungszeiten wurden Kiese und Sande, die teils aus den Alpen und teils aus dem Schwarzwald und den Vogesen selbst stammen, in den Graben geschüttet. Diese Kies- und Sandkörper weisen häufig einen grossen Porenraum auf und sind gut durchlässig, so dass sich im Oberrheingraben einer der grössten Grundwasserkörper Zentraleuropas bilden konnte *(Abb. 12)*. In unverfüllten und aufgelassenen Kiesgruben und in naturnahen Bereichen des Rheines liegt das Grundwasser heute offen zutage. Für die Menschen im Gebiet sind diese Grundwasservorkommen von eminenter Wichtigkeit, denn nicht alle können mit frischem Quellwasser aus den Mittelgebirgen versorgt werden. Auch für die alternative Gewinnung von Energie durch Grundwasserwärmepumpen bietet der Oberrheingraben ideale Voraussetzungen.

Für die Geothermie bietet der Rheingraben ideale Voraussetzungen. Wie bereits oben erläutert, führte die Ausdünnung der Kruste durch die Grabenbildung zu einem Aufstieg des heissen Erdmantels. Zudem führten auch die magmatischen

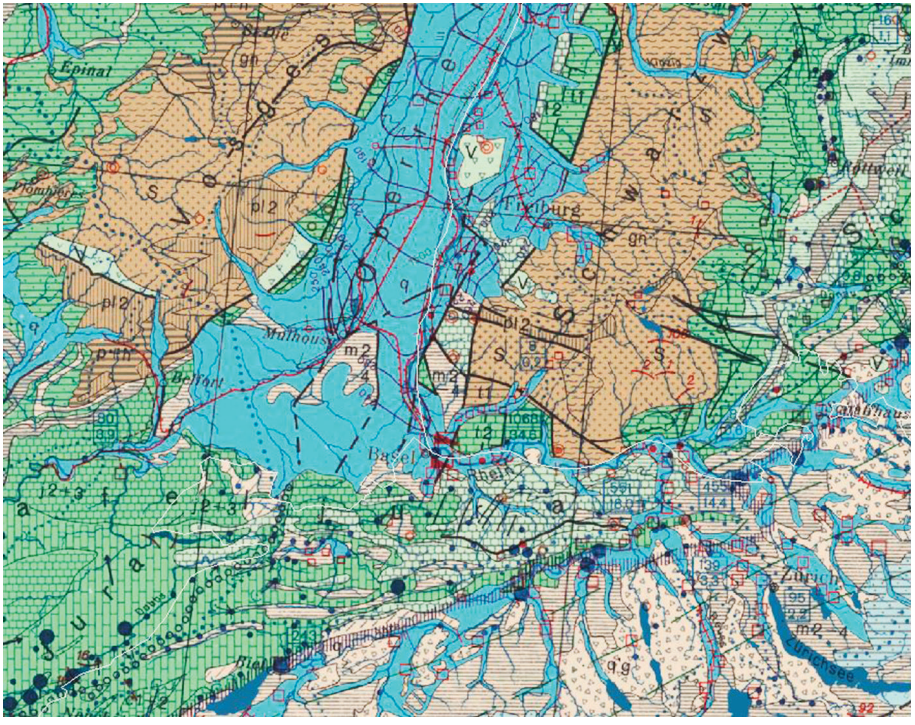


Abbildung 12: Ausschnitt aus der Internationalen Hydrogeologischen Karte von Europa (1:1.500.000; IHME1500). In blau sind gut durchlässige Lockergesteins-Grundwasserkörper eingezeichnet. Deutlich kommen die Grössenverhältnisse zwischen «normalen» schweizerischen Grundwasserkörpern und demjenigen des Oberrheingrabens zur Geltung (Planet Earth – Earth Science for Society).

Tätigkeiten zu Wärmeanomalien. In der Summe bedeutet dies, dass im Oberrheingraben ein erhöhter Wärmefluss besteht – ideale Voraussetzungen für geothermische Projekte *(Abb. 13)*. Es wundert daher auch nicht besonders, dass das momentan wohl spannendste Geothermieprojekt Europas, dasjenige von Soultz-sous-Forêt, mitten in diesem Bereich liegt.

In Soultz-sous-Forêt haben mehrere Bohrungen bereits vor einigen Jahren die angestrebte Endtiefe von 5'000 Metern erreicht. Dort herrschen Temperaturen um die 200°C. Zur Erschliessung wurde die sogenannte «Hot-Dry-Rock-Technologie» angewandt. Dabei wird kaltes Wasser hinuntergepumpt und durch den geologischen Wärmetauscher auf hohe Temperaturen erhitzt. Das mit bis ca. 175°C gefördert Wasser wird in einem Kraftwerk mit spezieller Technologie zur Stromerzeugung genutzt und dann abgekühlt wieder in die Tiefe gepumpt. Der Rheingraben bietet also ein Riesenpotential für geothermische Kraftwerke – ein Versprechen für die Zukunft.

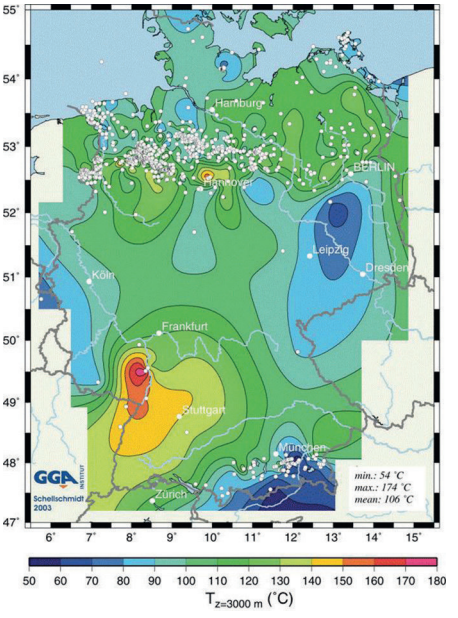


Abbildung 13: Die Wärmeverteilung in Zentraleuropa in 3000 m Tief. Deutlich tritt die Wärmebeule im Bereich des Oberrheingrabens in orange-rot hervor (Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik – LIAG, ehemals GGA-Institut [Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben]).

Noch diesem Überblick bleibt noch Zeit für einen Rundgang durch Breisach und die Heimfahrt nach Bern, welches wir gegen 19 Uhr erreichen.

Teilnehmerliste:

Abrecht, Jürgen
Baars, Günter
Berger, Alfons
Bienz, Rudolf
Burri, Thomas
Fritschi, Jörg
Fritschi, Susanna
Füllemann, Ferdinand
Gaston, Adamek
Hauser, Damaris
Heitzmann, Anni
Heitzmann, Peter
Herwegh, Marco
Huber, Birgit
Hubmann, Max
Kaufmann, Urs
Keese, Reinhart
Leutwyler, Walter
Mätzler, Christian
Mercolli, Ivan
Nyffenegger, Franziska
Stucki, Rudolf

Literatur-Hinweise:

Berger, J.-P. et al., 2005. Paleogeography of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB) from Eocene to Pliocene. Intern. Journal of Earth Sciences, 94(4): 697–731.

Dèzes, P., Schmid, S.M. and Ziegler, P.A., 2004. Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. Tectonophysics, 389(1–2): 1–33.

Europäische Union – INTERREG III A Oberrhein Mitte-Süd und PAMINA; MONIT, Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben, (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2006).

Europäische Union – INTERREG IV Oberrhein; GeORG: Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben (LGRB Informationen Band 28, 2013).

Keller, J., 1984. Early Tertiary Volcanism in Southwestern Germany – Excursions in Kaiserstuhl and Hegau. Fortschritte der Mineralogie, 62(2): 2–35.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB); Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg), 2007.

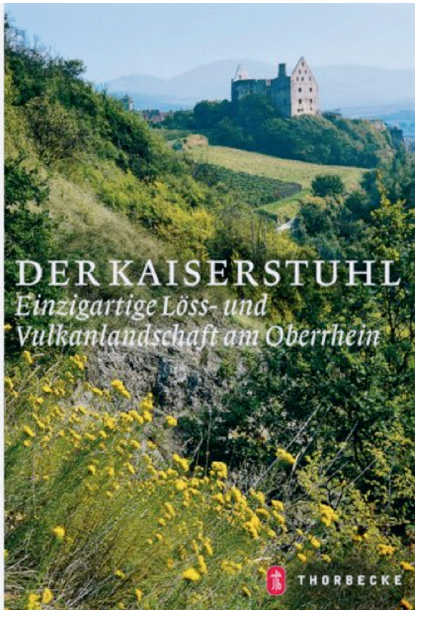
Schumacher, M.E., 2004. Upper Rhine Graben: Role of preexisting structures during rift evolution. Tectonics, 21(1): 1–17.

Wimmenauer W., 2003. Geologische Karte von Baden-Württemberg, Erläuterungen zum Blatt Kaiserstuhl. 280 p., Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg i. Br.

Ziegler, P. and Dèzes, P., 2005. Evolution of the lithosphere in the area of the Rhine Rift System. International Journal of Earth Sciences, 94(4): 594–614.

Buchtipp:

«Der Text ist jedoch m.E. nur für Leser geeignet, die vertiefte Kenntnisse auf den Gebieten der Geologie, Botanik und Zoologie besitzen. Nicht entsprechend vorgebildete Leser werden das Buch wahrscheinlich bald frustriert zur Seite legen.» So die Rezension des Kunden Flyfisher auf Amazon zum Buch «Der Kaiserstuhl: Einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein» von Rainer Groschopf et al.

Was einige Kunden abschrecken könnte, dürfte Mitglieder der Naturforschenden Gesellschaften geradezu magisch anziehen. Wer mehr zur Landschaft Kaiserstuhl, zu deren Entstehung, zur Geologie, Flora und Fauna erfahren möchte, ist mit diesem Buch sehr gut beraten. Hervorragende Bebilderung, spannende Texte, lässt sich auch gut zu einem Glas Kaiserstühler geniessen.

Thorbecke Verlag der Schwabenverlag AG
ISBN-10: 3799508392
Preis ca. 35.– CHF