©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz	N.F. 21	1	49 - 67	2010	Freiburg im Breisgau 15. September 2010

Kalkadern in vulkanischen und Sedimentgesteinen des Kaiserstuhls

VON

WOLFHARD WIMMENAUER*

Kurzfassung: Kalkgänge und -adern sind in den magmatischen Gesteinen des Kaiserstuhls weit verbreitet. Ihr Mineralbestand - Calcit, Tonminerale und gelegentlich Opal - deuten auf Bildung bei niedriger Temperatur hin. Die Isotopie des Strontiums stützt die Annahme ihrer Entstehung durch Verwitterung der Ca-Silikate basischer Magmatite und Neukristallisation karbonatischer Ca-Minerale in einem oberflächennahen Wassersystem. Der Prozess fand vermutlich noch im Jungtertiär und unabhängig von der pleistozänen Lössüberdeckung statt. Als Besonderheit ist eine häufig vorkommende Mikritisierung ursprünglich gröber kristalliner Ablagerungen hervorzuheben, bei der bis heute lockere, kreidartige Gesteine entstehen. In einer jüngsten Kristallisationsphase entstanden nadelige Calcite der Lublinitform, wie sie in der Mondmilch dominieren.

Schlüsselworte: Kalkgänge, Kalkadern, Strontiumisotope, Mikritisierung, Kaiserstuhl (SW-Deutschland).

Calcite dikes in magmatic and sedimentary rocks of the Kaiserstuhl (SW Germany)

Abstract: Calcite dikes and veins are very frequent in the magmatic rocks of the Kaiserstuhl. Their mineral constituents - calcite, clay minerals und rare opal - indicate their formation in a low temperature regime. The isotopic ratios of Sr favour the assumption of their origin by alteration of the Ca silicates of the basic magmatic rocks and re-deposition of carbonatic Ca minerals in a water system near to the surface. This processus occurred most probably in the younger Tertiary and well before the deposition of the loess cover in the Pleistocene. The calcite dikes and veins, originally rather solid rocks, mostly have undergone a superficial micritization, which continues up to the present and produces soft, chalk-like masses. A youngest crystallization phase produced thin calcite needles (lublinite) as those dominating in moonmilk.

Key words: Calcite dikes, calcite veins, strontium isotopes, micritization, Kaiserstuhl (SW Gemany).

* Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. W. Wimmenauer, Rehhagweg 21, D 79100 Freiburg i. Br.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

1. Geschichte der Erforschung

Schon die ersten Erforscher des Kaiserstuhls haben den Kalkadern ihre Aufmerksamkeit gewidmet, waren sie doch Fundorte von Mineralarten, die in vulkanischen Zusammenhängen nicht ohne Weiteres zu erwarten waren. Nachdem schon DE DIETRICH (1783) und DE SAUSSURE (1794) den Calcit dort erkannt hatten, fand SELB (1810) bei Burkheim auch die andere Modifikation des Calciumkarbonats, den Aragonit. ITTNER (1819) bestätigt diesen Fund und weist in diesem Zusammenhang auch auf die strahligen Aragonitkristalle in Hohlräumen des „Mandelsteins“ von der Limburg hin. Kleinkristalliner „Bitterkalk“ kommt in Form in Kugeln oder als traubig-knolliger Überzug in und auf demselben Mandelstein vor. Nach der Analyse von JOHN (1815) handelt es sich dabei hauptsächlich um Dolomit mit 3,33% säureunlöslichen Beimengungen und 4,67% Wasser nebst „Verlust“. EISENLOHR (1829) erwähnt Karbonatadern von einer Vielzahl von Vorkommen, die großenteils auch heute noch sichtbar sind (S. 21, 23, 24, 26, 27, 28, 33, 34, 39, 40, 42, 44, 45, 47, 48, 53, 54, 57, 67-71). Als Hauptmineral wird für mehrere Vorkommen wiederum „Bitterkalk“ genannt. SCHILL (1854) erwähnt „Bitterkalkgänge“ am Rheinufer in Breisach und verzweigte Gänge mit diesem Mineral am „Vormberg“ (dem heutigen Fohrenberg) bei Ihringen. „Bitterkalk“ wird auch als häufiges Mineral in Mandeln und anderen Hohlräumen der Laven des Kaiserstuhls, z.B. am Böhmischberg, genannt. Der Phonolith von Oberschaffhausen enthält auf Klüften „Faserkalk“, der jünger als die dort ebenfalls auftretenden Zeolithe ist.

Ein besonderes, dem ITTNER’schen ähnliches Vorkommen von Karbonatmineralen beschreibt SCHILL im „porphyrartigen Dolerit“ (dem heutigen Limburgit) mit der Ortsbezeichnung „Lützelberg“, die mit der heutigen Benennung des Fundortes allerdings nicht übereinstimmt. Offenbar ist in der Beschreibung auf S. 53 das Südende des Limberges, der damalige Anfang des heutigen Steinbruchs VII, gemeint. Der Lavastrom war unter den Aufschlussverhältnissen von 1854 von einem mächtigen, weißen Karbonatgang durchsetzt, der an seinen Kontakten mit dem Limburgit eine „hornsteinähnliche“ Beschaffenheit hatte. Eine chemische Analyse ergab Ca- und Mg-Karbonat als Hauptbestandteile, denen Kali, Natron und Kieselsäure beigemengt waren. SCHILL hielt das Gestein für eine „metamorphische Bildung, indem der Sandstein (des Tertiärs, Zusatz W. W.) im Contacte verändert wurde“; es blieb allerdings die Frage nach dem Verbleib des dort höheren SiO_2-Gehaltes ein Problem. Sehr wahrscheinlich hat SCHILL damals die ersten Vorkommen von „Hydromagnesit“ bzw. „Magnesit“ vor sich gehabt , die von späteren Autoren noch mehrmals beschrieben und analysiert wurden. In seiner inhaltsreichen geologisch-mineralogischen Monographie des Kaiserstuhls erwähnt KNOP (1892) an mehreren Stellen „Bitterkalk“-Gänge

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

in den Vulkaniten so z. B. am Eichert bei Sasbach (S. 518) und am Achkarrener Schlossberg (S. 516). Strahliger Aragonit bildet nach KNOP (S. 489) Gänge in den vulkanischen Gesteinen des Schlossberges in Burkheim.

Die aufmerksamen Beobachtungen KNOP's zu einer „kreidigen Verwitterung" von Kalkgängen sollen hier wegen ihres besonderen Interesses wörtlich zitiert werden (l. c. S. 486). Sie betreffen Gänge in Tephritagglomerat am Nordende des Humbergs bei Jechtingen, etwa 200 m nördlich des heutigen Gasthauses „Jägerstüble": „Unmittelbar an der Landstraße besteht der angeschnittene Fuß der Berge aus chokoladefarbenem Schlackenagglomerat. Es zeichnet sich dadurch aus, dass seine Mantel-Struktur, vielfach von weißen Adern von stellenweise beträchtlicher Mächtigkeit durchschwärmt wird. Gleich anfangs, wo die Straße an das Gebirge herantritt, ist eine weiße Einlagerung im Niveau der Straße aufgedeckt. Dieselbe hat bis 1 Meter Mächtigkeit und ist bezüglich der Beurteilung dieser geologischen Erscheinung von Interesse. Vor etwa 20 Jahren bestand dieser Gang aus einem festen, zähen Gestein von splittrigem Bruch, von hellgelblich weißer Farbe und kantendurchscheinend. Seit jener Zeit hat sich daran viel verändert. Er ist kreideweiß und locker geworden; zerklüftet, und nur in größeren Absonderungsformen ist die ursprüngliche Substanz noch mit den obigen Eigenschaften stellenweise erhalten geblieben. Dringt man mit dem Hammer tiefer in das Innere des Ganges ein, dann zeigt sich das Gestein wieder von den früheren Eigenschaften. Das weiße Mehl, welches scheinbar ein Zerwitterungsproduct der Gangmasse bedeutet, besteht aus Kalkspathpulver, welches stellenweise wieder fest verwachsen ist und Drusenräume mit rhomboedrischen Krystallen bemerken lässt. Wie im mineralogischen Theile begründet worden, besteht die ursprüngliche Masse aus dichtem *Aragonit*, welcher sich im Laufe der Zeit unter dem Einflusse der Atmosphärilien zu Kalkspath paramorph umgesetzt hat."

Auch STEINMANN & GRAEFF (1890, S. 107) betonen die weite Verbreitung gangförmig auftretenden, gelblichen und feinkristallinen "Kalksteins", der durch "Einsinterung" auf Spalten und Klüften gebildet wurde. Ein Vorkommen am Westhang des Achkarrener Schlossberges bietet hinsichtlich seiner Entstehungsweise noch ein Problem, ist es doch schichtartig-konkordant zwischen Tephrit-Agglomeraten eingelagert.

SOELLNER beschreibt in seinem Aufsatz von 1914, S. 317, im Steinbruch VII am Limberg eine Bank von weißem, kreidigem Kalkstein an der Basis des Tertiärs. Sie lag am damaligen Westende des Steinbruchs und tauchte nochmals am Ostende ganz unten in der Abfolge auf und hatte zu seiner Zeit keinen Kontakt mit dem Lavastrom λ_3. SOELLNER zitiert an dieser Stelle eine chemische Analyse des dort auftretenden "Hydromagnesits" von MEIGEN (1910); das Mineral, später von LORENT (1933) als Magnesit identifiziert, tritt nach diesem Autor allerdings nicht in einer Kalk-

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

bank, sondern in Form von Knollen in größeren Hohlräumen der Limburgitlava λ_2 auf. Auf S. 323 berichtet SOELLNER, von einer im Steinbruch III am Limberg aufgeschlossenen Tertiär eingelagerten Breccie von weißem Kalkstein. Sie besteht, 80 – 100 cm mächtig, aus nuss- bis faustgroßen Brocken von kreidigem Kalkstein, die ihrerseits durch ein weißes, kreidiges Bindemittel verkittet sind. Es handelt sich um eine heute noch sichtbare Untereinheit der Limbergschichten im Sinne von OHMERT in den Erläuterungen zur Geologischen Karte des Kaiserstuhls (2003, S. 44f.) und von GROSCHOPF & VILLINGER (2009, dort Abb. 56).

2. Vorkommen und Verbandsverhältnisse

In den meisten Aufschlüssen vulkanischer und auch vieler subvulkanischer Gesteine des Kaiserstuhls sind weiße Kalkadern und -imprägnationen mit unterschiedlichen Lagebeziehungen und Gestaltungen sehr auffallende Erscheinungen. Die meisten Vorkommen liegen in den basischen Vulkaniten und Subvulkaniten, also Tephritlaven und -pyroklastiten sowie in den chemisch ganz ähnlichen subvulkanischen Intrusivkörpern und Ganggesteinen. Auch Phonolithe und, in dem Vorkommen Mannenschlacht bei Bötzingen, oligozäne Sedimente können gelegentlich das Nebengestein sein. Die als Adern oder, bei größerer Mächtigkeit, auch als Gänge zu bezeichnenden Kalkbildungen sind wenige Zentimeter bis mehrere Dezimeter breit und je nach den Aufschlussverhältnissen über mehrere, manchmal bis 15 m in vertikaler Erstreckung zu verfolgen (Abb. 1 - 3). Schmalere, d. h. nur einige Millimeter dicke Adern sind vor Allem auf Klüften kompakter Laven und Ganggesteine verbreitet und bestimmen als „Kalktapeten“ sehr stark das Bild vieler Aufschlüsse. Sie folgen den tektonisch oder schon bei der Abkühlung der Magmatite angelegten Klüften und Spalten. In der Nähe der verwitterten Oberfläche des umgebenden Gesteins (die in vielen Fällen die Auflagerungsfläche des Lösses ist) verdichten sich die Adern zu Netzwerken und Imprägnationen der obersten Gesteinsbereiche. Nicht selten treten in den obersten Metern verwitterter Gesteine unregelmäßig begrenzte Massen karbonatischen Zementes lagenweise (als „Horizonte“) und etwa parallel der Abtragungsfläche auf. Im Bereich der Oberflächen-Vulkanite begleiten aber auch bis dezimetermächtige Kalkadern die „Schichtflächen“, welche Lavaströme oder Tufflagen voneinander trennen. Im Allgemeinen zeigen in solchen Fällen Verzweigungen oder auch nur schmale Apophysen der Kalkadern an, dass sie essentiell jünger als ihr Hangendes und Liegendes und nicht etwa echte, den Laven oder Tuffen zwischengelagerte Schichten sind. Ein gut aufgeschlossenes Beispiel dafür liegt am Hochbuck auf Gemarkung Ihringen, direkt am südlichen Rand des Waldes (R97430/H25130, Abb. 4). Die Ver-

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

hältnisse hier und in vielen anderen Fällen lassen es nicht zweifelhaft erscheinen, dass die Kalkadern, auch solche in einem "schichtartigen" Verband, an Gesteinsgrenzen des vulkanischen Nebengesteins sekundär in Bezug auf dieses sind. Indessen ist diese Entscheidung doch nicht in allen Fällen von vorn herein ganz klar. So zeigte sich die Kalkader am Westrand des Böhmischberges (R96 460/H25 290) als bis zu 20 cm dicke, nahezu konkordante Einlagerung in Schichten aus Tephrit-Aschentuff (Abb. 3). Der Lösungsrückstand des Kalkes enthält - neben den aus dem unmittelbaren Nebengestein abzuleitenden Mineralen Augit und Magnetit - viel Quarz (zum Teil Rauchquarz), klaren Sanidin, Hornblende, Melanit und Titanit, die dem Nebengestein fremd sind. Es muss auf der jetzt von der Kalkader eingenommenen Spalte außer der Ausscheidung des Kalkes aus zusetzendem Wasser auch ein lateraler Transport fester Minerale von außerhalb stattgefunden haben.

Abb. 1: Verzweigte Kalkadern in Tephrit; Wasenweiler, hinter der Kirche. Höhe des Bildausschnittes etwa 4 m.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Zum weithin überlagernden Löss und auch zu den karbonatischen Lösskindeln bestehen anscheinend keine unmittelbaren Beziehungen. Die oben angesprochenen, durch Verwitterung und Abtragung gebildeten Oberflächen der magmatischen Gesteine, welche Kalkadern und –imprägnationen enthalten, schneiden deren Verbände diskordant ab. Der unmittelbar oder über einem nur zentimeterdicken steinigen Boden folgende Löss ist im Allgemeinen frisch und enthält keine Lösskindel oder ähnlich andere Bildungen, die mit den Kalkadern oder -imprägnationen in Verbindung stehen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Kalke der Adern und Horizonte älter als der jeweils überlagernde Löss sind. Wie später noch weiter auszuführen sein wird, ist vielmehr das Calciumkarbonat der Adern und Imprägnation aus der Verwitterung Ca-haltiger Minerale des Nebengesteins, meist also der Tephrite und verwandter anderer Magmatite abzuleiten - eine Annahme, die neben anderen Argumenten vor Allem durch die Übereinstimmung der Strontium-Isotopenverhältnisse in diesen und dem Karbonat der typischen Kalkadern gestützt wird (s. Abschnitt Geochemie).

Abb. 2: Kalkadern in Tephrit unter Löss; Jechtingen, östlicher Ortseingang. Höhe des Bildausschnittes etwa 1,8 m.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Abb. 3: Konkordante, bis zu 20 cm breite Kalkader in Tephrit-Aschentuff; Böhmischberg bei Achkarren. Zustand 1994.

Abb. 4: Oberflächennahes Netzwerk von Kalkadern in Tephrit; etwa 350 m N Weingut Blankenhornsberg.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Abb. 5: Kalkband unter Lavastrom λ_3, darunter phonolithischer Tuff und Sedimente der Limbergschichten; Limberg Steinbruch VII, Zustand 1970.

Abb. 6: Kalkimprägnation im Lavastrom λ_3; Limberg Steinbruch VII, Zustand 2008.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

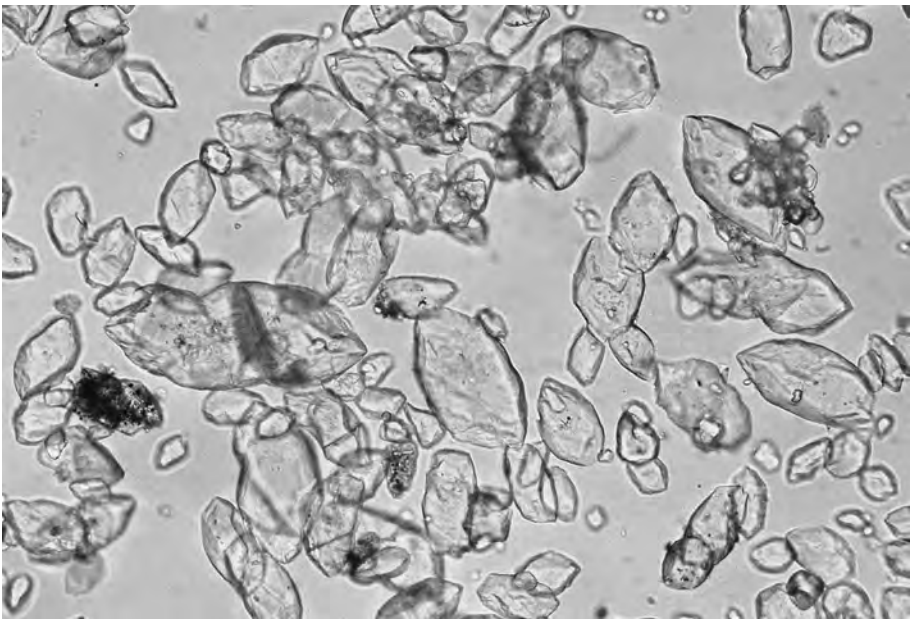

Abb. 7: Kristallformen des Calcits in kreideartigem Kalk; Gang im großen Steinbruch am Humberg. Breite des Bildausschnittes 0,34 mm.

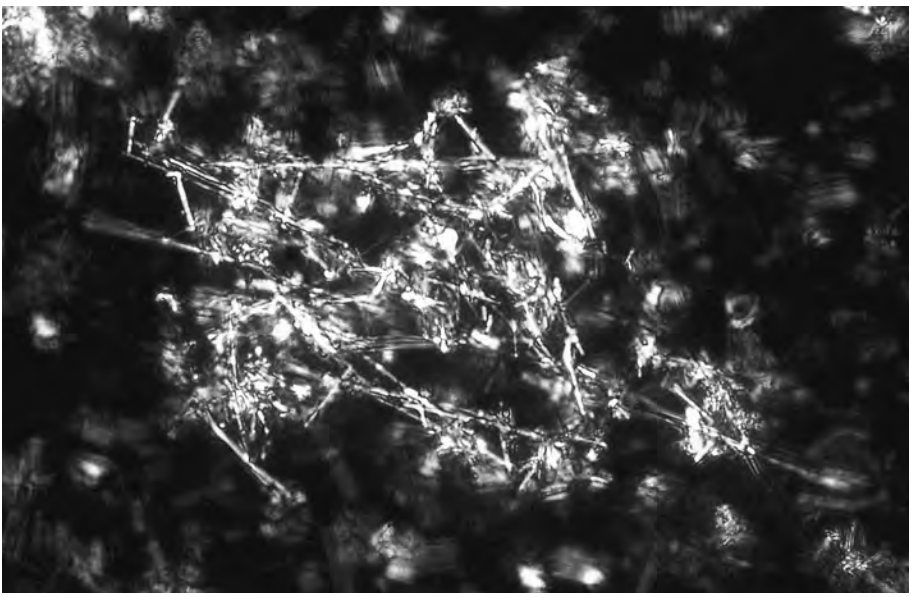

Abb. 8: Calcitnadeln der Lublinitform, aus Kalkkruste auf Phonolith; Ruhsetal bei Eichstetten. Gekreuzte Polarisatoren. Breite des Bildausschnittes 0,1 mm.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Eine besondere Position nehmen die Kalkbildungen an der Basis des Lavastromes λ_3 am Limberg ein (Steinbrüche VI und VII, s. Beilage 1 zur Geologischen Karte des Kaiserstuhls, 2003). Sie bilden stratigraphisch den Abschluss der Sediment- und Tuffabfolge t_3; Kalkadern reichen von dort aus auch in den Lavastrom nach oben und verbreiten sich darin weithin als unregelmäßiges Netzwerk (Abb. 5 und 6). Die sichtbaren Einzelformen und Dimensionen dieser Kalkbildungen haben sich gerade am Limberg im Laufe der Zeit und mit dem Fortschritt bzw. dem Verfall der Steinbruchswände stark verändert. SCHILL (1854) sah seinerzeit einen Kalk*gang* in der Lava, auf KNOP's Foto von 1892 sind die weißen Kalkbildungen hauptsächlich als Netzwerk im oberen Teil des Lavastroms zu sehen. SOELLNER (1914) kennzeichnet ihr Auftreten als *Infiltrationen*, LORENT (1933) als *Schnüre und Adern* kalkigen Materials deszendenter Herkunft. Auch PFANNENSTIEL (1932) kannte diese „Infiltrationen", erwähnt aber nicht die Kalklagen an der Basis des Stromes, die erst in den jüngsten Phasen des Abbaus (bis 1955) in den Steinbrüchen VI und VII zu Tage gekommen sind. Sie sind in WILMANNS, WIMMENAUER & FUCHS (1974), Abb. 26 auf einem Foto von H. & K. Rasbach von 1973, zusammen mit den Imprägnationen des oberen Teils des Lavastroms dokumentiert. Heute ist das Kalkband in Steinbruch VII an der Basis von λ_3 fast verschwunden; in Steinbruch VI ist es noch erhalten. Die Beteiligung von Material aus unterlagernden Sedimenten der Limbergschichten (Einheit t_3 der Geologischen Karte 1:25000) zeigt der Gehalt an Quarz-Feinsand im HCl-Rückstand an.

In den Karbonatiten des Kaiserstuhl-Zentrums kommen ebenfalls Adern aus überwiegendem Calcit vor, an denen die sonst so verbreitete Umwandlung in einen kreideartigen Zustand nicht beobachtet wurde. Ein dauerhaftes Beispiel bietet der Steinbruch V auf dem Ohrberg bei Schelingen. Die Calcitbildungen sind dort auf einer fast senkrecht stehenden Kluft im cm- bis dm-Maßstab netzförmig angeordnet. Die dazu gehörigen Maschen waren ursprünglich von einem lockeren, jetzt fast völlig verschwundenen „Manganmulm" gefüllt, der möglicherweise aus der Verwitterung Fe-Mn-haltiger, dolomitisch-ankeritischer Karbonatitadern des Ohrberges stammt (vgl. WIMMENAUER 2003, S. 110).

Von den in diesem Aufsatz behandelten Kalkadern scheinen die an der Oberfläche gebildeten *Sinterkalke* und andere *Kalkkrusten* im Sinne der Erläuterungen zur Geologischen Karte des Kaiserstuhl 1:25000, S. 131 nicht ohne Weiteres in Beziehung zu stehen. Eine unmittelbare Verbindung unserer Kalkadern zu diesen geologisch ja sehr jungen Bildungen wurde bisher nicht gefunden.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Als einigermaßen dauerhafte und gut zugängliche Aufschlüsse typischer Kalkadern sind zu nennen:

- Felswand hinter der Kirche in Wasenweiler (Abb. 1). Etwa 2 m breites und über 10 m Länge sichtbares Netzwerk von verzweigten, bis zu 20 cm breiten Kalkadern; es verläuft entlang der Grenze zwischen schlackigem und kompaktem Tephrit.
- Hochbuck, Anbruch am Waldrand N des Blankenhornsberges (R 97420/H 25100).
- Böhmischberg, bergseitige Böschung einer Rebterrasse (R 96450/H 25340, Abb. 3).
- Achkarren, Anfang des Lehrpfades hinter den Häusern (R 97980/H 26620). Zwei bis 30 cm mächtige Kalkgänge parallel zur Lagenstruktur der Tephritlaven; mit Verzweigungen.
- Burkheim, Südwesthang des Schlossberges (R 94610/H 30040); Netzwerk aus bis zu Dezimeter mächtigen Kalkadern in Tephrit.
- Scheibenberg (= Burgberg der Topographischen Karte 1:25 000) NW Burkheim (R 94070/H 30350): Steinbruch mit einem etwa 15 m langem und 20 cm breitem, etwa vertikal stehendem Kalkgang mit schmaleren Verzweigungen.
- Der große Steinbruch am Humberg (Gemarkung Jechtingen) erschließt viele, allerdings nicht überall zugängliche Kalkadern und Kalktapeten in Tephrit-Pyroklastit und kompaktem Tephrit.
- Östlich Jechtingen, unter Löss (R 96800/H 31880, Abb. 2).
- Limberg, Steinbrüche VI und VII (Abb. 5 und 6).
- Mannenschlacht bei Bötzingen, in metamorphem tertiären Sedimentgestein (R 02769/H 28720).

3. Alter der Kalkadern

Wie schon oben festgestellt, sind die Kalkadern des Kaiserstuhls älter als die Erosionsfläche, welche sie in vielen Aufschlüssen abschneidet und damit auch älter als die jeweilige Lössformation, die auf dieser Fläche abgelagert wurde. Weil auch relativ junge Vulkanite des Kaiserstuhls, z. B. der Lavastrom $\lambda_{3,}$ von Kalkadern durchsetzt sind, ist ein generell postvulkanisches, aber zugleich auch vorpleistozänes Alter der Kalkadern sehr wahrscheinlich. Die Mobilisierung und Wiederausscheidung beträchtlicher Mengen von Calciumkarbonat ist einem verbreitet wirksamen Prozess zuzuschreiben, der Calcium aus den Primärmineralen der Magmatite freisetzte; solche sind in erster Linie der Plagioklas, Ca-haltige Zeolithe der Grundmassen sowie der Augit. Transport als Bikarbonat und Neukristallisation als Calcit erfolgten in

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

einem Wassersystem, das unter der jeweils gegebenen Oberfläche auf Spalten und Rissen der Gesteine zirkulierte. Klimatische Bedingungen, die solche Vorgänge begünstigten, können in der Zeit unmittelbar nach der vulkanischen Tätigkeit im Unter- bis Mittelmiozän (etwa 16 Ma vor heute) gegeben gewesen sein; nach paläoklimatischen Untersuchungen ist für Mitteleuropa und diesen Zeitraum mit einem feuchten und warmen, beinahe subtropischen Klima zu rechnen. Seine Agentien trafen zunächst auf ein lebhaftes vulkanisches Relief aus relativ leicht verwitterndem Material; der oben angesprochene Prozess der Auflösung und Wiederausscheidung des Calciums rückte mit der Erosionsfläche nach unten vor, bis je nach den Gegebenheiten ein einstweiliger Endzustand erreicht war. Vielfach ist zu erkennen, dass auch schon gebildete Kalkadern und –imprägnationen von der weiter fortschreitenden Erosion erfasst und zum Teil abgetragen wurden. Die schließlich stabilisierte Oberfläche wurde später das Substrat des Lösses.

4. Petrographie

Die *Gefüge* der Kalkadern sind sehr verschiedenartig. Gut erhaltene primäre Gefüge sind vorwiegend klein- bis feinkörnig; mit dem bloßen Auge sichtbare kristalline Gefüge sind weniger häufig; sie kommen besonders als Auskleidungen von Rissen und kleinen, unregelmäßigen Drusen vor. Mächtigere Adern zeigen gelegentlich ein Lagengefüge, das aber nur wenig ausgeprägt ist. Oft kommen lückige oder in anderer Weise inhomogene Gefüge vor, die zum Teil mit der Qualifikation „konkretionär“ gut charakterisiert wären. Nicht selten treten in feinkörnigen Gefügen *Schrumpfungsrisse* auf, die auf die Beteiligung von *Tonmineralen* hinweisen, die dann gelegentlich auch als Beläge oder Nester angereichert vorkommen. Oft sind die Risse mit etwas gröber kristallisiertem Calcit ausgekleidet. Durch die mehr oder weniger reichliche Beteiligung von *Bruchstücken des Nebengesteins* an den Gangfüllungen kommen weitere Modifikationen des Makrogefüges zustande. Die zentralen Partien mächtigerer Adern, aber auch schmale Kalktapeten können in dieser Hinsicht nahezu „rein“ sein; viel verbreiteter sind aber Adern, die solches Fremdmaterial sehr reichlich enthalten. Die Gefüge variieren von locker verteilten, kleinen Gesteins- und Mineralpartikeln in überwiegender Kalkmasse über *brekzienartige Verbände* mit größeren Gesteinseinschlüssen bis zu Netzwerken aus Kalkadern in überwiegendem Nebengestein und mehr oder weniger deutlich abgegrenzten *Kalkimprägnationen* in diesem. Generell ist festzustellen, dass dabei die Bruchstücke des Nebengesteins und auch Einzelminerale desselben durch die eindringenden Kalkbildungen ganz aus ihrem bisherigen Zusammenhang gelöst werden und isoliert in ihrer neuen Matrix liegen.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Regelmäßige Gefüge, die die sukzessive Ausfüllung der Spalten des Nebengesteins mit Karbonaten deutlich erkennen lassen, sind relativ selten. Zwar kommen gelegentlich Gefüge aus parallelstengeligen Calciten, die senkrecht zu den Spaltenwänden angeordnet sind, vor; in den mächtigeren Kalkadern sind aber eher massige, mikritische bis feinspätige Gefüge am weitesten verbreitet. Sehr häufig zeigen solche Kalkadern deutliche Schrumpfungsrisse, die millimeter- bis zentimetergroße Stücke der Spaltenfüllung voneinander trennen. Sie sind entweder leer oder teilweise mit Sekundärcalcit ausgefüllt. Auch zwischen der Kalkfüllung und dem Nebengestein gibt es vielfach Risse, die die Gewinnung ganzer Querprofile durch Adern und deren Umgebung erschweren - ein Umstand, der schon 1815 von SELB erwähnt wurde.

Die Kalkadern und -lagen vieler Vorkommen zeigen eine sehr auffällige, sekundäre Umwandlung der ursprünglich festen Calcitgefüge in ein *kreideartiges, lockeres Pulver.* Das im Allgemeinen ganz weiße Material besteht, von Resten des Nebengesteins abgesehen, aus Calcit-Einzelkriställchen von <0.010 bis 0,1 mm Länge, wobei zwischen den einzelnen Vorkommen deutliche Größenunterschiede festzustellen sind (Abb. 7). Schon ältere Autoren, besonders KNOP (1892: 32-34, 304, 518) haben diese Umwandlung beobachtet und an einem Vorkommen auch ihr Fortschreiten im Lauf der Jahre bemerkt. Kreideartige Verwitterung zeigen auch die Karbonatitasche am Henkenberg bei Niederrotweil (KELLER 1981 und 2001) und Gangkarbonatite im Zentrum des Kaiserstuhls (LEHNERT 1989).

Eine nicht seltene Besonderheit des Gefüges sind röhrenförmige Hohlräume von meist weniger als 1 mm Dicke, die auf die ehemalige Präsenz von Pilzhyphen und/oder sehr dünnen Wurzeln höherer Pflanzen hinweisen. Ein Beispiel solcher Röhrchen in einem festen, feinkörnigem Calcitgefüge bietet die Kalkader, die im Gewann Mannenschlacht in Phonolith aufsetzt; andere Unterbrechungen des Gefüges sind als Schrumpfungsrisse zu deuten. Nur etwa ein Zehntel mm dicke Röhrchen aus Opal erscheinen im Lösungsrückstand einer Kalkader östlich des Böhmischberges.

5. Mineralogie

Hauptmineral der Kalkgänge ist in allen von uns untersuchten Vorkommen *Calcit.* Die Identifikation ist im Allgemeinen optisch zweifelsfrei möglich; zur Kontrolle wurde an zwei feinkörnigen Vorkommen (Vogelsangpass und Scheibenbuck bei Oberbergen) durch Prof. Dr. J. Otto auch Bestimmungen mittels Röntgendiffraktion durchgeführt. Sie gilt demnach sowohl für die festen, als auch für die kreideartig-lockeren Gesteine. Aragonit wurde nur in einem Vorkommen (Schwanenstiege am Breisacher Münsterberg) gefunden;

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Dolomit (der "Bitterkalk" der älteren Autoren) wurde bisher nirgends festgestellt. Spezifische Korn- bzw. Kristallformen des Calcits sind vor Allem in den kreideartigen Gesteinen entwickelt. Die Einzelkörner dieses Materials sind, je nach Vorkommen wechselnd, unregelmäßig-rundliche Einkristalle von 0,1 bis 0,005 mm Durchmesser oder unvollkommen ausgebildete, steile Rhomboeder (Abb. 7). In einem Vorkommen am Humberg sind die Kristallformen als Kombinationen eines weniger steilen Rhomboeders mit dem Prisma zu deuten. Gelegentlich kommen dünne Calcitnadeln mit schiefer Auslöschung vor, wie sie, unter dem Namen „Lublinit“, für die als "Mondmilch" bekannten lockeren Kalkablagerungen in Höhlen charakteristisch sind (Abb. 8). Calcite dieser Ausbildung sind in den Kalkadern des Kaiserstuhls nur Beimengungen in der Hauptmasse aus anders gestalteten Calcitkörnchen. Ein hoher Anteil solcher Kristalle fand sich als jüngste Bildung in einer Kalkkruste auf Phonolith im Ruhsetal bei Eichstetten. In einem Vorkommen am alten Festplatz nahe dem Vogelsangpass sitzen Lublinitnädelchen als sehr junge Bildungen auch auf rezenten Pilzhyphen.

Weitere, mit bis zu einigen Prozenten vertretene Komponenten der festen und lockeren Kalkadern sind Tonminerale, die entweder schon im unbehandelten Gestein als Beläge oder Nester oder auf jeden Fall beim Auflösen in verdünnter Salzsäure als Rückstand in Erscheinung treten. Vorherrschendes Tonmineral scheint in der Mehrzahl der Fälle *Montmorillonit* zu sein. Mikroskopisch ist das Mineral an seiner charakteristischen Licht- und Doppelbrechung und außerdem an seinem Verhalten beim Dispergieren und Trocknen der Gesteinsproben erkennbar. Eine Röntgendiffraktions-Analyse wurde dankenswerterweise von Herrn Professor Dr. J. OTTO am Mineralogisch-Geochemischen Institut der Universität Freiburg i. Br. an der feinsten Fraktion einer Kalkader an der Basis der Lava λ_3 im Steinbruch VII am Limberg ausgeführt. Einzig erkennbares Tonmineral ist hier Montmorillonit. Dasselbe gilt für den Tonanteil des Prä-Löss-Verwitterungsbodens auf Gangtephrit am Vogelsangpass. Auf Grund gleicher optischer Kriterien ist Montmorillonit auch in vielen weiteren Kalkadern zu identifizieren. Der HCl-Rückstand einer Kalkader im großen Steinbruch am Humberg (zwischen Sponeck und Burkheim) enthält viele Bruchstücke des Nebengesteins, die tonig zersetzt sind, sowie Aggregate eines wachsartigen weißen Minerals; beide enthalten bzw. bestehen aus Montmorillonit mit den genannten Eigenschaften. Außer in den Kalkadern ist Montmorillonit in nahezu reiner Form, mit nur untergeordneten Karbonatmineralen assoziiert, auch die Hauptkomponente in den als "Bolus" seit Langem bekannten Spaltenfüllungen im Phonolith am Fohberg und in Tephrit-Pyroklastit am Achkarrener Schlossberg (Abbau 2004). Auch in dem praelössischen Verwitterungsboden auf Tephrit im Straßeneinschnitt des Vogelsangpasses dominiert dieses Mineral. Ein Tonmineral mit den optischen Eigenschaften

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

des *Kaolinits* bildet flockenartige Aggregate in sinterartigem Kalk, der stellenweise in der Bolusspalte im Phonolith des Fohberges auftritt.

- *Hyalit (Glasopal)* kommt in Form kleiner Aggregate auf Calcitrhomboedern einer Kalktapete in dem großen Steinbruch am Humberg vor, der auch schon von Alters her als Fundort dieses Minerals bekannt ist. Die Oberflächen der klaren Calcitkristalle zeigen hier Spuren einer beginnenden Anätzung, bleiben aber dabei glänzend glatt. Trübe Opalaggregate treten im Lösungsrückstand von Kalkadern auf dem Hochbuck (nördlich des Blankenhornsberges) auf. Sie bilden unregelmäßige Flöckchen sowie röhrenartige Aggregate, die vielleicht auf eine Bildung im Zusammenhang mit Pilzhyphen hinweisen. Wie weit die Opale der Kalkadern im Gleichgewicht mit dem Calcit oder unter Verdrängung desselben entstanden sind, ist vorerst noch offen.
- *Zeolithe* sind nirgends essentielle Bestandteile der Kalkadern; dies stützt die Vermutung, dass die Kalkadern nicht bei erhöhten Temperaturen, sondern bei solchen, wie sie in den meteorischen Wässern an der damaligen Erdoberfläche und in geringen Tiefen unter dieser geherrscht haben dürften.

Weit verbreitete Minerale, die aus dem unmittelbaren Nebengestein abgeleitet oder aus als von außerhalb stammende, eingeschwemmte Komponenten gedeutet werden müssen, sind:

- *Augit*: häufig, in frischem bis stark korrodiertem Zustand.
- *Magnetit:* häufig.
- *Quarz*: weit verbreitet in HCl-Lösungsrückständen; die Größen der Körner reichen bis zu 1 mm. Es handelt sich wohl oft um Xenokristalle in Tephrit, die bei dessen Verwitterung freigesetzt wurden. Für diese Herkunft sprechen besonders die häufigen *Rauchquarze*, die mit dieser Qualität ebenfalls in frischen Tephriten und deren Pyroklastiten vorkommen. Wo größere Mengen von Quarz auftreten, wie z. B. in den Kalklagen an der Basis des Lavastroms λ_3 am Limberg, ist die Beteiligung von Substanz aus den unmittelbar unterlagernden tertiären Sedimenten anzunehmen.
- *Sanidin* ist in geringen Mengen ebenfalls weit verbreitet, auch da, wo er nicht aus dem unmittelbaren Nebengestein abgeleitet werden kann. Dasselbe gilt erst recht für Vorkommen von
- *Melanit*, der ja ein Charaktermineral der Kaiserstühler Phonolithe, nicht aber der Tephrite und anderer basischer Gesteine ist. Ein Beispiel ist die Kalkader am Böhmischberg, die als weitere „Fremdminerale“ auch Sanidin und basaltische Hornblende enthält. In den Kalklagen und -adern des Limberges ist Melanit häufig; hier, in nächster Nachbarschaft von phonolithischen Tuffen, muss er nicht als fremdartig angesehen werden.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Millimeterkleine Bruchstücke von *Granit und metamorphen Gesteinen* treten ebenfalls als Einschlüsse in Kalkadern auf, z. B. in Achkarren, dort aus tephritischem Nebengestein stammend, und, aus Phonolithtuff übernommen, am Limberg auf.

6. Geochemie

Analysen zweier charakteristischer Proben von Kalkadern in Tephrit (Böhmischerg) bzw. im Tertiär (Mannenschlacht bei Bötzingen-Oberschaffhausen) sind in Tabelle 1 angegeben. In der Probe vom Böhmischberg dürften die Gehalte an Si, Ti, Al, Fe, der Alkalien und eines Teils von Mg aus den beigemengten Quarzen, Augiten und Feldspäten stammen. In der Probe Mannenschlacht ist nur der beigemengte Quarz von quantitativer Bedeutung. Die Strontiumgehalte mehrerer weiterer Proben wurden von Herrn Prof. Dr. W. Käss bestimmt (frdl. persönliche Mitteilung 2005). Der Gehalt der Probe Böhmischberg liegt mit 257 ppm nahe dem durch das Landesamt für Geologie etc. bestimmten (231 ppm). In einem Probenpaar vom Humberg bei Jechtingen zeigte sich zwischen dem Gehalt einer festen, „kristallinen" Kalkader mit 789 ppm ein erheblicher Unterschied gegenüber dem einer kreidig umgewandelten Probe vom gleichen Fundort mit nur 116 ppm. Dieses Verhältnis erinnert an die Befunde von LEHNERT (1989, S. 163f.) an sekundär veränderten Gangkarbonatiten, die sehr viel weniger Sr enthalten als ihre angenommenen Ausgangsgesteine. Erst recht liegen die Sr-Gehalte aller der von W. Käss analysierten Proben von Kalkadern weit unter denen der frischen Gangkarbonatite, die bis zu mehreren Tausend ppm reichen.

Tab. 1: Chemische Analysen der Kalkadern der Fundorte Böhmischberg (1) und Mannenschlacht (2); Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau 1999. CO2-Werte berechnet.

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	CO_2	Σ
1)	1.08	0.06	0.34	0.26	0.003	0.92	53.77	<0.02	0.025	0.053	42.21	100.71
2)	0.63	0.02	0.12	0.08	0.002	0.29	55.33	<0.02	0.025	0.002	43.43	100.26

Zur Begründung der Annahme, dass das Calciumkarbonat der Kalkadern in den Tephriten und anderen basischen Magmatiten aus der Verwitterung von Ca-Mineralen, besonders Plagioklas, weniger auch Augit, herzuleiten ist, wurden von Frau Delphine Bosch (Géosciences Montpellier) die $^{87}Sr/^{86}Sr$-Verhältnisse verschiedener geeigneter Proben von Kalkadern und von Löss bestimmt (Tabelle 2). Es zeigte sich, dass dort, wo keine Fremdeinflüsse anzunehmen sind (Proben Humberg mit 0,7047 und Wasenweiler mit 0,7056), die Isotopenverhältnisse gut in den Rahmen der von SCHLEICHER &

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

KELLER (1991) für die Tephrite angegebenen Rahmen von 0,703 - 0,705 passen. Abweichungen nach oben, wie sie in unseren Proben vom Limberg und Böhmischberg auftreten, sind durch Beteiligung von Strontium aus anderen Quellen erklärbar. In der Kalkader im Lavastrom λ_3 am Limberg ($^{87}Sr/^{86}Sr$-Verhältnis 0,7064) zeigen sedimentärer Quarz, Tonminerale und Sanidin im HCl-Rückstand die Beteiligung von Komponenten „fremder" Herkunft an, die in diesem Sinne das Sr-Isotopenverhältnis gegenüber dem des unmittelbaren Nebengesteins beeinflussen konnten. In der Kalkader am Böhmischerg sind ebenfalls Quarz, Sanidin, basaltische Hornblende und Melanit die Indikatoren für die Beteiligung von Substanz, die nicht allein aus der Verwitterung von Tephrit herstammt. Wesentlich höher liegen Sr-Isotopenverhältnisse der beiden Lössproben mit Werten um 0,7084. Damit wird, ganz im Sinne der Beobachtungen in vielen Aufschlüssen, die Herkunft der Karbonate der Kalkadern aus Löss auch geochemisch unwahrscheinlich. Auch eine Verwandtschaft mit den Gangkarbonatiten ist nicht anzunehmen; diese haben durchweg viel höhere Sr-Gehalte, aber mit 0,7036 - 0,7039 viel niedrigere Sr-Isotopenverhältnisse (vgl. LEHNERT 1989, S. 172).

Tab. 2: $^{87}Sr/^{86}$-Werte von Kalkadern und Löss des Kaiserstuhls; Analysen von D. Bosch, Géosciences, Montpellier.

Kalkader in Tephrit, Humberg bei Jechtingen	0,704752 ± 0,000010
Kalkader in Tephrit, Humberg bei Jechtingen, Duplikat	0,704666 ± 0,000003
Kalkader in Tephrit, Wasenweiler	0,705609 ± 0,000007
Kalkader in Tephrit, Böhmischberg bei Achkarren	0,707732 ± 0,000004
Kalkader im Limburgit-Lavastrom λ_3, Limberg Steinbruch VI.	0,706458 ± 0,000007
Löss, Wasenweiler	0,708453 ± 0,000018
Löss, Achkarren	0,708422 ± 0,000011
Löss, Achkarren, Duplikat	0,708380 ± 0,000005

Tab. 3: Chemische Analysen von Magnetitkonzentraten aus der Kalkader am Böhmischberg (1) und dem angrenzenden Tephrittuff (2). Hauptelemente in Gew.%; Spurenelemente im ppm. Anal. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau 1999.

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	V	Cr	Ni
1)	0,5	11,87	4,2	75,8	0,57	3,1	Spur	0,1	0,03	0,10	3419	90	73
2)	0,5	12,01	3,7	74,4	0,58	3,1	Spur	0,0	0,03	0,11	3361	70	65

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Von Interesse sind auch zwei Analysen von Magnetit, die an Mineralkonzentraten aus der Kalkader am Böhmischberg und ihrem unmittelbaren Nebengestein, einem Tephrit-Tuff, durchgeführt wurden (Tab. 3). Geringe Gehalte an Si, Ca, Alkalien und Phosphor dürften von Apatit- und Silikat-Einschlüssen im Magnetit herrühren. Bei den Hauptkomponenten der Magnetite besteht nahezu völlige Übereinstimmung; dies bestärkt die Annahme, dass die Magnetite bei der Verwitterung von Tephrit freigesetzt und als Beimengung in der Kalkader festgehalten wurden.

Dank: Der Verfasser dankt dem Badischen Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e. V., der die Mittel für die Strontium-Isotopenanalysen aus dem Friedrich-Kiefer-Fonds zur Verfügung gestellt hat. Sie wurden von Frau Delphine Bosch (Géosciences Montpellier) durchgeführt. Zu danken ist weiter Herrn Professor Dr. J. Otto für Röntgen-Diffraktionsanalysen an Calcit und Montmorillonit, dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau und Herrn Professor Dr. W. Käss für die Durchführung von chemischen Gesteins- und Mineralanalysen sowie Herrn Präparator N. Kindler für die Mitteilung des Fundortes Mannenschlacht.

Literatur

DIETRICH, Ph. Fr. de (1783): Déscription d'un volcan découvert en 1774, près le vieux Brisach.- J. Phys., 23, 161-184, Paris.

EISENLOHR, O. (1829): Geognostische Beschreibung des Kaiserstuhls bei Freiburg im Breisgau.- Diss. Univ. Freiburg i. Br., 124 S., Karlsruhe.

GROSCHOPF, R. & VILLINGER, E. (2009): Geologie und Erdgeschichte des Kaiserstuhls.- In: GROSCHOPF, R. et al.: Der Kaiserstuhl, Hrsg. Regierungspräsidium Freiburg, 41-95, Ostfildern (Thorbecke).

ITTNER, F. v. (1819): Beiträge zur Naturgeschichte des Kaiserstuhls in botanischer und mineralogischer Hinsicht.- Eleutheria, 3, 1-48, Freiburg i. Br.

JOHN, J. F. (1815): Chemische Untersuchungen des Arragonites oder excentrischen Kalkspates aus dem Breisgau.- Journal für Chemie und Physik, 13, 249-253, Halle.

KELLER, J. (1981): Carbonatitic volcanism in the Kaiserstuhl alkaline complex: evidence for highly fluid melts at the Earth´s surface.- J. Volcanol. geothermal Res., 9, 423-431, Amsterdam.

KELLER, J. (2001): ESF Eurocarb Kaiserstuhl Carbonatite Workshop, Breisach 6.-8.4.2001. Excursion guide, 29 S., Freiburg i. Br. (Europ. Sci. Found. Inst. Mineral. Petrol. Geochim).

KNOP, A. (1892): Der Kaiserstuhl im Breisgau. Eine naturwissenschaftliche Studie. VIII + 534 S., Leipzig.

LEHNERT, K. (1989): Petrologie der Gangkarbonatite im Kaiserstuhl.- Diss. Freiburg i. Br., 210 S.

LORENT, G. (1933): Der Limburgit von Sasbach am Kaiserstuhl und seine hydrothermale Mineralführung.- Ber. naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., 32, 2-48, Freiburg i. Br.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

MEIGEN, W. & STECHER, H. G. (1920): Chemische Untersuchungen über die Gesteine der Limburg bei Sasbach am Kaiserstuhl.- Mitt. bad. Geol. Landesanstalt, 8, 163-180, Heidelberg.
OHMERT, W. (2003): Sedimentäres Tertiär.- In: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Kaiserstuhls 1:25 000, 27-46, Freiburg i. Br.
PFANNENSTIEL, M., mit einem Beitrag von R. LAIS (1932): Die Geologie des Kaiserstuhls. In: Der Kaiserstuhl. Eine Naturgeschichte des Vulkangebirges am Oberrhein, 18-127, Freiburg i. Br.
SAUSSURE, H. DE (1794): Observations sur le collines volcaniques de Brisgow,. J. Phys. etc., ed par J. C. Laméthrie, année 2, 325-362.
SCHILL, J. (1853/54): Das Kaiserstuhlgebirge. In: LEONHARD, G.: Beiträge zur mineralogischen und geognostischen Kenntnis des Großherzogtums Baden, 2, 21- 43 und 3, 1-73, Stuttgart.
SCHLEICHER, H. & KELLER , J. (1991): Isotopengeochemie der Alkalivulkanite und Karbonatite des Kaiserstuhls: Aussagen zur Magmengenese und zur isotopischen Zusammensetzung des Erdmantels.- Jh. Geol. Landesamtes Baden-Württemberg, 33, 33-57, Freiburg i. Br.
SELB, K. J. (1810): Mineralogische Notizen.- Taschenbuch für die gesammte Mineralogie (Hrsg. C. C. v. Leonhard), 4, 49-68, Stuttgart.
SOELLNER, J. (1914): Über den geologischen Aufbau des Limberges bei Sasbach am Kaiserstuhl und über das Auftreten tertiärer Sedimente daselbst.- Mitt. Großherzogl. Bad. Geol. Landesanstalt, 7, 311-358, Heidelberg.
STEINMANN, G. & GRAEFF, F. (1890): Geologischer Führer der Umgebung von Freiburg i. Br., VII + 141 S., Freiburg i. Br.
WILMANNS, O., WIMMENAUER, W. & FUCHS, G., Photographie RASBACH, H. & K. (1974): Der Kaiserstuhl. Gesteine und Pflanzenwelt. 241 S., Ludwigsburg.
WIMMENAUER, W. (2003): Magmatische Gesteine und metamorphes Tertiär.- In: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Kaiserstuhls 1:25 000, 47-131, Freiburg i. Br.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V. Freiburg i. Br.

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: NF_21_1

Autor(en)/Author(s): Wimmenauer Wolfhard

Artikel/Article: Kalkadern in vulkanischen und Sedimentgesteinen des Kaiserstuhls 49-67