

Natürliche CO₂-Austritte am Laacher See

MICHAEL ROGALL & MARIA M. KOHL

Kurzfassung: Seit mindestens 200 Jahren werden am Laacher See Gasaustritte in der Literatur beschrieben. Diese treten sowohl an Land als auch im Wasser auf. Während die Gasblasen im Wasser deutlich hervortreten, sind die Gasaustritte an Land häufig kaum wahrnehmbar. Um die Verbreitung der Kohlendioxid-Austritte rund um den Laacher See näher bestimmen zu können, wurden zunächst die verfügbaren Beschreibungen in der Literatur ausgewertet, die bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts zurückreichen. Im Umfeld der ehemaligen Jesuitenvilla, einem Gebäude aus dem 19. Jahrhundert, das am Ostufer des Sees errichtet worden war, lieferten zahlreiche Bodenluftmessungen Informationen über die CO₂-Verteilung im Boden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ausgasungen an Land deutlich häufiger anzutreffen sind, als bisher vermutet wurde. Ebenso weisen die teilweise sehr starken Mofetten im Wasser, die im Rahmen der Untersuchungen mehrfach kartiert wurden und die in der Literatur deutlich schwächer beschrieben werden, auf eine Zunahme der Ausgasungen am Laacher See hin.

Abstract: Since the 18th century, the carbon dioxide exhalations around the Lake Laach are mentioned in the literature. The mofettes can be found in the water of the lake as well as in the wood close to the lakefront. While the exhalations in the water are easily visible, the mofettes ashore are difficult to detect. In order to find all mofettes around the lake, the descriptions in the literature were interpreted. In addition, more than 100 soil gas measurements in the surroundings of the former "Jesuitenvilla", an abbey building from the 19th century, provided evidence of a mofette that probably caused the death of eight monks in 1871. The investigations showed that today the carbon dioxide exhalations are far more common and intense around the Lake Laach than assumed.

1. Der Laacher See und die Abtei Maria Laach

Der Laacher See befindet sich in der östlichen Vulkaneifel nördlich der Stadt Mendig (Abb. 1). Mit einer Fläche von 3,3 km² und einer maximalen Tiefe von rund 51 m ist der Laacher See der größte See in Rheinland-Pfalz. Er entstand etwa 10 930 Jahre v. Chr. beim Ausbruch des sogenannten Laacher See Vulkans. Die Eruption, die von phreatomagmatischen Explosionen begleitet wurde, dauerte wahrscheinlich nur wenige Tage und gilt als der gewaltigste Vulkanausbruch der letzten 100 000 Jahre in Mitteleuropa. Pyroklastische Ströme stauten das nahe gelegene Rheintal auf und bildeten für einige Wochen einen knapp 30 m hohen Damm, der einen Stausee zur Folge hatte, dessen Überflutungen bis zum heutigen Mannheim reichten (PARK & SCHMINCKE 2009).

Nach dem Auswurf der rund 16 km³ vulkanischen Lockermassen stürzte die Magmenkammer zusammen und bildete eine Caldera (MEYER 2013). Der zentrale Kraterbereich wurde durch Versturz und Hangrutsch unmittelbar nach Ende der Eruption mit groben vulkanoklastischen Brekzien verschüttet und war einer hohen Erosions-

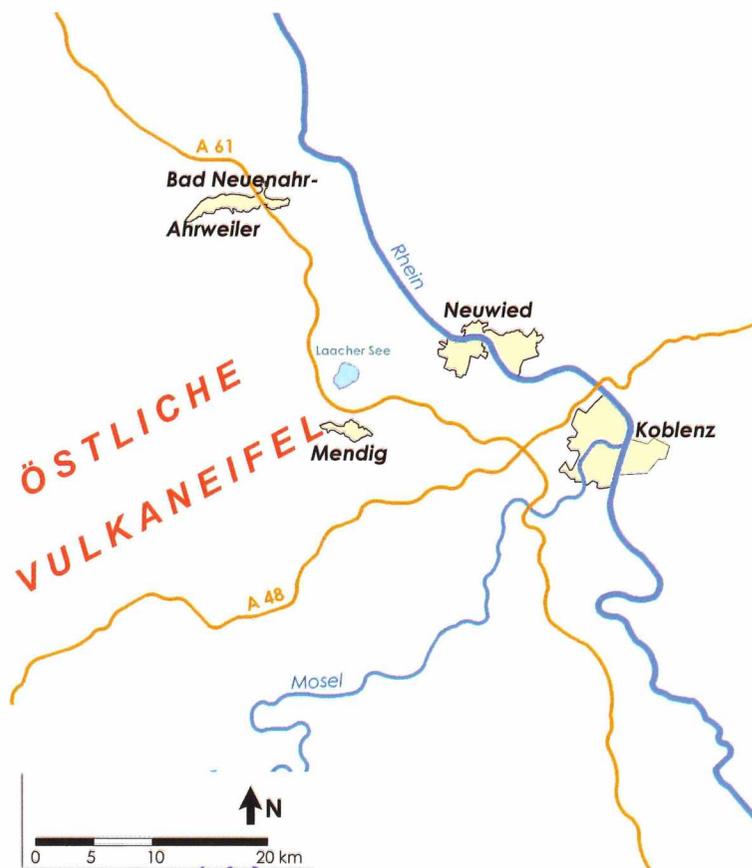


Abb. 1: Lage des Laacher Sees in der östlichen Vulkaneifel.

rate ausgesetzt (SCHMINCKE 2010). Erst als sich trotz des relativ kleinen Einzugsgebiets eine ausreichend abdichtende Tonschicht angesammelt hatte, konnte sich der See bilden. Die klimatischen Bedingungen der nachfolgenden jüngeren Tundrenzzeit mit ihren geringen Niederschlagsmengen sprechen dafür, dass sich die Bildung langsam und erst einige Zeit nach der Eruption vollzog (KEMPF & SCHARF 1980). Die vulkanischen Auswurfmassen erreichen rund um den See Mächtigkeiten von über 30 bis 50 m und sind als dünnes Ascheband noch bis Schweden und Italien nachweisbar (SCHMINCKE 2010).

Die Abtei Maria Laach wurde zwischen 1093 und 1216 als hochmittelalterliche Klosteranlage am Westufer des Sees erbaut. In dem beengten Seekessel war lediglich oberhalb des Wiesenbacher Schwemmfächers an der südwestlichen Kesselseite ebener Baugrund verfügbar, sodass das Kloster dort entstand. Da der See über keinen natürlichen Abfluss verfügte, kam es zu starken Schwankungen des Seespiegels. Diese bedrohten die Fundamente der Kirche und der Krypta, sodass der zweite Abt des Klosters, Abt Fulbert, im Jahr 1164 an der niedrigsten Stelle einen 880 m langen Stollen durch den Kraterwall nach Süden anlegen ließ. Hierdurch wurde der Seespiegel um

etwa fünf Meter abgesenkt. Der sogenannte Fulbertstollen verfiel später, da infolge einer finanziellen Krise des Klosters keine Wartung mehr stattfand. Er wurde 1256 wieder instand gesetzt (RICHTER 1896).

Auch nach der Absenkung des Wasserspiegels ließ der beengte Laacher Kessel lediglich eine Bestellung der Felder zum Eigenbedarf zu. Um Raum für die Errichtung eines Ritterguts zu gewinnen, ließ der neue Besitzer der Ländereien, der Trierer Regierungspräsident Daniel Heinrich Delius, 1842 bis 1844 einen zweiten, 1060 m langen Stollen errichten (SANDNER & SCHUMACHER 2008). Der Seespiegel wurde nach DECHEN (1864) hierdurch um weitere 6 m auf seine heutige Höhe abgesenkt.

Nach einem Brand im Jahr 1855 erwarben Jesuiten 1863 die ehemaligen Abteigebäude von der Familie Delius. In den darauffolgenden Jahren errichteten sie einen großen Ökonomiehof (SANDNER & SCHUMACHER 2008). Das Kloster wurde bis zur Vertreibung der Jesuiten aus Deutschland im Jahre 1872 als Collegium Maximum des Ordens genutzt (RICHTER 1896).

2. CO₂-Exhalationen in der Eifel

Die vulkanische Eifel ist ein typisches kontinentales Intraplattenvulkanfeld, das durch einen sogenannten Mantle-Plume gespeist wird (SCHMINCKE 2010). Zahlreiche CO₂-Austritte sowohl in der West- als auch der Osteifel zeugen von der anhaltenden Aktivität dieses Vulkanfeldes.

Bei dem Eifel-Plume handelt es sich um eine Zone, in der ein Temperaturüberschuss von 100 bis 150°C im Vergleich zum umgebenden Material vermutet wird. Der Plume, der etwa 1% partielle Schmelze enthält, beginnt in etwa 50 bis 60 km Tiefe und reicht bis in eine Tiefe von 410 km (RITTER & CHRISTENSEN 2007). Die Aufstiegeschwindigkeit der partiellen Schmelze beträgt 0,015 bis 0,06 m pro Jahr. Die Schmelzrate wird auf 300 000 bis 1 800 000 m³ pro Jahr geschätzt (WENZEL 2005).

Die CO₂-Exhalationen entstehen, weil Gase wie CO₂, N₂ und die Edelgase in einer Silikatschmelze, wie sie in der Eifel vorkommt, nur sehr schlecht löslich sind. Die Menge eines Gases, die in einer Schmelze gelöst werden kann, hängt von deren Struktur, Viskosität, Temperatur und dem umgebenden Druck ab. Hierbei gilt, dass mit steigendem Druck die Löslichkeit zunimmt, während sie mit steigender Temperatur abnimmt. Die Löslichkeit magmatischer Gase nimmt in folgender Reihenfolge ab: CO₂>S>Cl>H₂O>F (SCHMINCKE 2010).

Die aufsteigenden CO₂-Gase wandern in Richtung Oberfläche, wobei sie auf das devonische Grundgebirge stoßen. Hier benutzt das Gas zum weiteren Aufstieg oft die Risse der vorherrschenden tektonischen Störungen (MEYER 2013). Dass es sich bei den CO₂-Exhalationen in der Eifel tatsächlich um Gase magmatischen Ursprungs handelt, zeigt ihre Zusammensetzung. Diese ist typisch für Gase von Intraplattenvulkanen (SCHMINCKE 2010).

Erscheinungsformen

Die CO₂-Exhalationen können in verschiedenen Erscheinungsformen zu Tage treten. In der Eifel treten sie hauptsächlich als Mofetten auf. Als Mofetten bezeichnet man lokal begrenzte Gebiete geogener CO₂-Ausgasungen. Man findet sie an tief reichenden Störungszonen, tektonischen Plattengrenzen und in Gebieten rezenter Vulkanitätigkeit (PFANZ 2008). Das von den Mofetten ausgestoßene Gas hat eine Temperatur, die unter der des Siedepunktes von Wasser liegt (RAFFERTY 2011). Diese verhältnismäßig kühlen CO₂-Austritte können in Mineralquellen und Sauerlinge, nasse Mofetten und trockene Mofetten unterteilt werden (TANK et. al 2005). **Mineralwässer** entstehen,

indem das aufsteigende, trockene CO₂-Gas oder Gasgemisch in Kontakt mit Grundwasser gerät (vgl. PFANZ 2008, MEYER 2013). Bei einer Temperatur von 20°C lösen sich in einem Liter Wasser 0,9 l CO₂. Die Löslichkeit nimmt, wie bei Magmen auch, mit steigendem Druck zu und mit steigender Temperatur ab (BENEDIX & LAUER 2006). Dies führt zu einer mehr oder weniger vollständigen Lösung des Kohlendioxids in Kohlensäure. Wasser, in denen mehr als 1 g CO₂ pro Liter gelöst ist, werden als **Säuerlinge** bezeichnet. Die so entstandenen kohlensäurehaltigen Wässer treten als Quellen aus, die zumeist in Tälern zu finden sind (MEYER 2013).

Bei **nassen Mofetten** handelt es sich um trockenes CO₂-Gas, das oberflächennah in ein stehendes oder fließendes Gewässer eintritt (SASSMANNSHAUSEN 2010). Die Ausgasungen sind aufgrund der Bläschenbildung je nach ihrer Intensität meist gut erkennbar. Nasse Mofetten sind unter anderem entlang des Ostufers des Laacher Sees zu finden. Lange wurden sie als postvulkanische Erscheinung gewertet, was jedoch wissenschaftlich nicht haltbar erscheint (SCHMINCKE 2010).

Trockene Mofetten gasen im Gegensatz zu nassen Mofetten direkt in den Boden und nicht in ein Gewässer aus (SASSMANNSHAUSEN 2010). Sie treten besonders häufig in der Nähe von starken Säuerlingen auf (MEYER 2013).

Die CO₂-Konzentrationen in der Bodenluft trockener Mofetten können zwischen 2% und 100% variieren. Während für Pflanzen ein erhöhter CO₂-Gehalt meist kein Problem darstellt und einige Pflanzen mittelfristig einen CO₂-Gehalt von 100% im Boden tolerieren, kann bereits ein geringer Anstieg der CO₂-Konzentration für Menschen und Tiere in Bodennähe wegen der Sauerstoffverdrängung lebensgefährlich werden. So kann man an Ausgasungsstellen häufiger tote Kleintiere wie Vögel und Mäuse finden (PFANZ 2008).

3. CO₂-Austritte am Laacher See

Trockene Mofetten

Bereits im frühen 19. Jahrhundert werden von verschiedenen Autoren Gasaustritte rund um den Laacher See in der Literatur erwähnt. NOGGERATH & BISCHOF schreiben 1825, dass der seinerzeit bekannte Geologe Johann Jacob Nöggerath bereits 1810 auf die Ausgasungen am Laacher See aufmerksam machte. In dem Artikel beschreibt er: „Wenige Schritte vom dem Ufer des See's entfernt, befindet sich etwa 10 Fuß über dem Wasserspiegel eine ohngefähr 7 Fuß weite und 3 bis 4 Fuß tiefe Grube, welche vielleicht in früherer Zeit ausgegraben worden seyn mag, um auf jenen bunten Thon zu schürfen. In dieser Grube findet man stets eine grössere oder geringere Zahl von toden Thieren, als Vögel der verschiedensten Art, Eichhörnchen, Haselmäuse, Fledermäuse, Frösche, Kröten und allerlei Insekten... Jeder von uns stieg in diese Grube, und senkte den Kopf nach und nach in die unteren Luftschichten, wo man ganz dieselbe Empfindung hatte, wie in einem mit gährendem Moste angefüllten Keller; nur wenige Augenblicke vermag man diesen Einflüssen zu widerstehen.“

NÖGGERATH und BISCHOF untersuchten die Mofette in den darauffolgenden Jahren mehrfach gemeinsam, indem sie in die Grube stiegen und den Kopf herabsenkten. Auch wenn diese Vorgehensweise aus gesundheitlichen Gründen eher nicht empfehlenswert ist, konnten sie so feststellen, dass die Intensität der Exhalationen schwankte, nachdem sie in unterschiedlichen Höhen über dem Boden vom CO₂ „ergriffen wurden“ (NÖGGERATH & BISCHOF 1825). EWICH (1852) untersuchte die Schwankungen der Ausgasungen dieser Mofette ebenfalls. Er ließ hierfür brennendes Papier in die Grube fallen und beobachtete, in welcher Höhe es erlosch. Diesen Versuch führte er mehrfach zu unterschiedlichen Zeiten im Jahr durch. Im Dezember und im April erreichte das

Papier brennend den Boden der Grube, während es im Sommer bereits am Rande der Grube erlosch.

BISCHOF (1826) erwähnt die Mofette und ihre geruchlosen Gase ebenfalls und schrieb „Ich konnte auch weder im Brudeldreis, noch in der Grube am Laacher See einen brenzlichen oder brandigen Geruch wahrnehmen; denn der faulige Geruch, den man in den Umgebungen des Brudeldreises und dieser Grube bemerkt, rührt von nichts anderem, als von den dort angehäuften erstickten Thieren her.“ Bei dem hier erwähnten „Brudeldreis“ handelte es sich um eine Gasquelle bei Birresborn. Auch DE LA BECHE (1832) schrieb: „Am Laacher See findet in einem Loche eine beträchtliche Entwicklung von kohlenurem Gase statt...“. Beide Artikel weisen darauf hin, dass die Ausgasungen größeren Ausmaßes gewesen sein müssen. Die CO₂-Ausgasungen wurden wie von BISCHOF stets als frei von Schwefel, außerordentlich rein und geruchlos beschrieben.

LEONHARD v. (1844) erwähnt eine „trockene Ausströmung von Kohlensäure“ auf der Nordseite des Laacher Sees. Doch auch an Land werden Kohlendioxid-Ausgasungen beschrieben: „Am Fuße des Devonschiefers etwa 10 Fuss über dem frühern Seespiegel liegt die kleine Grube, aus der sich als Mofette trockene Kohlensäure entwickelt.“ Vermutlich handelt es sich um dieselbe Mofette, die auch NÖGGERATH & BISCHOF (1825) und DE LA BECHE (1832) erwähnen. Weiterhin wird beschrieben, dass die Grube durch den Abbau von Ton entstanden ist und 1844 zu einer Rutschung geführt hatte. Die Rutschmasse ist auch noch heute deutlich im digitalen Geländemodell am nordöstlichen Ufer des Sees erkennbar.



Abb. 2: Ausschnitt aus der Übersichtskarte von STEINBACH (1880). Roter Pfeil: Mofette; Karte ist nach Nordwest ausgerichtet.

Die genaue Lage dieser vielfach beschriebenen trockenen Mofette hat STEINBACH (1880) in einer Karte in seinem Führer zum Laacher See eingezeichnet. Sie lag bergseits des heutigen Rundwegs etwa 300 m östlich des Campingplatzgeländes (Abb. 2). Er verweist in seiner Beschreibung darauf, dass an dieser Stelle häufig kleine tote Vögel zu finden seien.

DECHEN schrieb 1865, dass die CO₂-Ausgasungen „gegenwärtig häufig unterbrochen und überhaupt nur schwach“ seien. Er stellte die Vermutung auf, dass dies mit der Verstärkung der Grube selbst zu tun habe. Des Weiteren führt er an, dass der Wasserspiegel des Sees abgesunken sei, was möglicherweise ebenfalls Einfluss auf die Ausgasungen haben könne (DECHEN 1865). Auch NÖGGERATH berichtete, dass es zu einer Abnahme der Ausgasungen kam. 1870 schrieb er, dass die Exhalationen, die

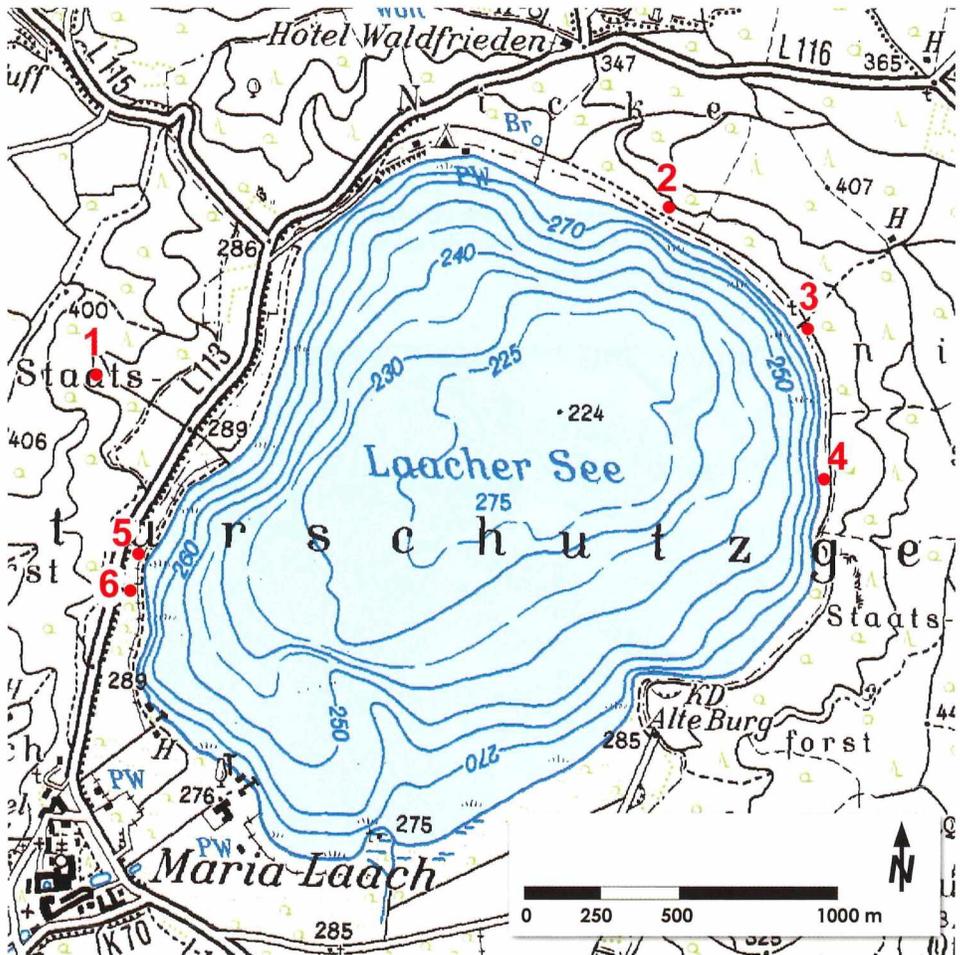


Abb. 3: Lage der bekannten Mofetten an Land.
 (1): Bayerloch, (2): Mofette aus: STEINBACH (1880), (3): „Stickloch“ an der Jesuitenvilla, (4): neu erfasste Mofette am Lorenzfelsen, (5) und (6): Mofetten aus: JONES et al. (2009).

mehrere Jahrzehnte vorher noch sehr stark ausgasen (vgl. NOGGERATH & BISCHOF 1825), seit der Seespiegelabsenkung stark abgenommen hätten und nur noch „temporär und schwach“ stattfänden. Er erklärte dies mit der durch die Seespiegelabsenkung verursachte Veränderung des Wasserdrucks. Gleichzeitig konnte er jedoch beobachten, dass der Kohlensäuregehalt der „Quellen im See“ (also den sog. Nassen Mofetten, siehe nächstes Kapitel) stark zugenommen hatte. Diese Quellen seien beim „Beschaffen des Sees [...] an den zahlreich aufsteigenden Blasen von Kohlensäuregas“ erkennbar.

Eine weitere Mofette an Land ist bereits in der geognostisch-orographischen Karte der Umgebung des Laacher Sees (OEYNHAUSEN v. 1843) verzeichnet. Die in der Karte als „Bayerloch“ bezeichnete Stelle ist auch noch heute in der topographischen Karte unter dem Namen Bayerloch etwa 90 m oberhalb des Westufers des Laacher Sees verzeichnet. Auch PFANZ (2008) beschreibt die Bayer-Höhle als mögliche Mofette. Im Jahre 1749 hatte sich der Überlieferung nach in der Höhle ein Mord ereignet. Bei der Exhumierung des Mordopfers wurden keine Zersetzungserscheinungen festgestellt, was auf eine anaerobe Umgebung hindeutet.

DEGEN & ZACK (2005) berichten, dass es Anfang des Zweiten Weltkriegs weitere Gasaustritte an Land gegeben hatte. Niedermündiger Schulklassen führten Experimente in einer ehemaligen Tongrube am Ostufer des Sees durch, indem dort Kerzen aufgestellt wurden, die innerhalb kurzer Zeit infolge der CO₂-Gase erloschen. Dieses sogenannte „Sticklloch“ im unmittelbaren Umfeld der alten Jesuitenvilla ist heute im Relief nicht mehr erkennbar, jedoch zeigt der auffällige Bewuchs mit Sumpf-Seggen-gras (*Carex acutiformis*) die Lage der Mofette immer noch an. PFANZ (2008) bezeichnet die Mofette als „U1“ am Ostufer des Laacher Sees.

Bei den eigenen Messungen am Ostufer des Laacher Sees wurde außer dem „Sticklloch“ noch eine weitere Mofette nördlich des Lorenzfelsens angetroffen (Nr. 4 in Abb. 3).

JONES et al. (2009) beschreiben zwei weitere Mofetten, die bei Gas-Laser Messungen am Westufer des Laacher Sees identifiziert werden konnten. Die beiden Bereiche befinden sich etwa 800 m bzw. 900 m nördlich der Abtei Maria Laach am Ufer des Sees. Die CO₂-Gehalte in der Bodenluft werden mit bis zu 100% angegeben.

Nasse Mofetten

Die nassen Mofetten werden in der Literatur zwar mehrfach erwähnt, meistens wurde ihre Lage jedoch nicht näher beschrieben. LEONHARD v. (1844) erwähnt Sauerquellen auf der Südwestseite in der Nähe des Klosters Maria Laach und im Abflussstollen in der Nähe des Sees. Die Mofetten im Wasser beschreibt er als Quellen der Kohlensäure-Entwicklung, „deren Stellen durch das Hervortreten von Gasblasen bezeichnet werden.“ Auch EWICH (1852) deutet die Mofetten im See als „Quellenzufluss an seinem Boden welcher Quellen man aus den aufsteigenden Gasbläschen über 3000 gezählt haben will.“ In den geognostischen Beschreibungen des Laacher Sees schreibt DECHEN (1864): „In dem See selbst mögen viele Quellen vorhanden sein, aber auch am Ufer, bei geringer Wassertiefe wird das Aufsteigen von Bläschen von kohlen-saurem Gase bemerkt.“ Nach einer weiteren groben Aussage von HERBST (1856) seien diese „Quellen“ am östlichen und südöstlichen Ufer des Sees zu finden. Er weist darauf hin, dass die Mofettenaktivität „fast ununterbrochen beobachtet werden kann.“ LEONARD und HERBST beschreiben das Aufsteigen der Gasblasen aus einer Wassertiefe von 1 bis 2 Fuß (LEONHARD v. 1844, HERBST 1856.). Einige Jahre später berichten BISCHOF und FUCHS von am Ufer sichtbaren Mofetten aus einer Wassertiefe von 5 bis 6 Fuß, an vereinzelt Stellen sogar aus einer Tiefe von 20 Fuß (ca. 1,5 bis 6,5 m) (FUCHS 1865, BISCHOF 1863).

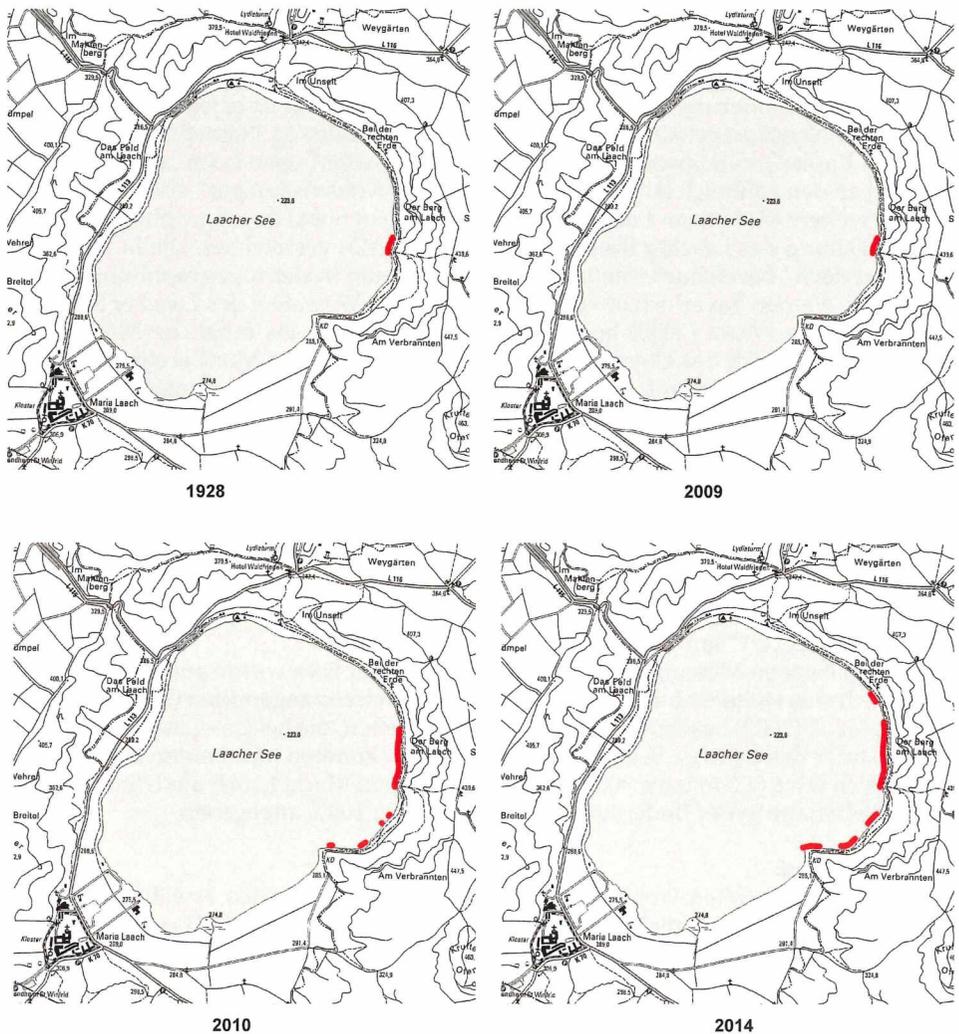


Abb. 4: Mofettenaktivitäten von 1928 bis heute. Die Darstellung von 1928 erfolgte nach AHRENS (1936), von 1981 nach FISCHER (1981), von 2010 und von 2014 nach eigenen Kartierarbeiten.

In der geologischen Kartierung von 1928 markiert AHRENS Gasaustritte im Wasserbereich lediglich in Höhe des Lorenzfelsens (siehe Abb. 4). AHRENS (1936) schreibt in den Erläuterungen zur geologischen Karte, dass Kohlensäurequellen auf dem Blatt Burgbrohl, auf dem sich auch der Laacher See befindet, zahllos sind. Als Beispiel der eher seltenen Mofetten wird der Gasaustritt am Ostufer des Laacher Sees genannt.

Im Geologischen Wanderbuch sind die nassen Mofetten ebenfalls nur in Höhe des Lorenzfelsens erwähnt (AHRENS 1930).

FISCHER (1981) beschreibt Kohlendioxid-Exhalationen nördlich der Alten Burg sowie weitere Ausgasungen etwa 200 m nördlich und einen „etwa 400 m langen Quel-

lenstreifen in wechselnden Abständen vom Ufer.“ HAPPE (2009) beschreibt im Heimatjahrbuch des Kreises Ahrweiler die nassen Mofetten als „ca. 100 m langen und 5 Meter breiten Abschnitt“ nördlich des Lorenzfelsens.

Die heutige Verteilung der nassen Mofetten aus eigener Kartierung mit Hilfe eines GPS zeigt, dass die Ausgasungen im Uferbereich des Laacher Sees mittlerweile wesentlich ausgedehnter sind und sich mit kurzen Unterbrechungen über eine Strecke von etwa 1,5 km von der Alten Burg bis zur Ruine der Jesuitenvilla am Nordostufer erstrecken (Abb. 4). Besonders stark sind die Ausgasungen entlang eines 400 m langen Uferbereichs, der etwa 200 m südlich der Jesuitenvilla beginnt und bis zum Lorenzfelsen reicht. In Höhe des Lorenzfelsens wurde bei den Kartierarbeiten 2014 am Ufer sogar ein toter Wasservogel gefunden, der möglicherweise durch die hier sehr starken Mofetten erstickt ist.

Bei der Erfassung und Deutung der Mofettenaktivität muss jedoch beachtet werden, dass die Sichtbarkeit der Gasaustritte im Wasser stark vom Wellengang auf dem See abhängig ist. Bereits geringe Wellenbewegungen, die durch Wind verursacht werden, lassen viele Mofetten an der Wasseroberfläche unsichtbar werden und machen die Kartierung nahezu unmöglich. Daher muss die Kartierung bei ruhigem Wetter und spiegelglatter Wasseroberfläche erfolgen. Unter welchen Bedingungen die in der Literatur beschriebenen Mofetten erfasst worden sind ist nicht bekannt, deshalb muss hierbei eine gewisse Ungenauigkeit unterstellt werden.

Gasaustritte an der Jesuitenvilla am Laacher See

Am Ostufer des Laacher Sees befinden sich direkt am Wanderweg die heute kaum noch erkennbaren Überreste der „Jesuitenvilla“. Hier hatten sich die Ordensbrüder



Abb. 5: Starke Mofetten am Ostufer des Laacher Sees.

der Jesuiten im Jahr 1871 ein großes Gebäude errichtet, das sie für einen Tag in der Woche zur Entspannung aufsuchten. Der Orden war zu dieser Zeit im gegenüber liegenden Kloster Maria Laach ansässig, das als Collegium Maximum das größte Studienhaus der Jesuiten in Deutschland war. Die zweigeschossige Jesuitenvilla, von der nur noch zwei Fotos existieren, war mit einer Länge von rund 80 Metern und 10 Metern Breite ein imposantes Gebäude, das Platz für 100 Personen bot (Abb. 6).

Bereits kurze Zeit nach der Einweihung des Gebäudes kam es wiederholt zu unerklärlichen Todesfällen. Insgesamt acht junge Männer sollen auf mysteriöse Weise in der Jesuitenvilla nachts im Schlaf verstorben sein (DEGEN & ZÄCK 2005). Die Behörden stuften seinerzeit den Tod der Jesuiten als normale Sterbefälle ein und ihre sterblichen Überreste ruhen heute im Kloster Maria Laach. Doch immer wieder keimte der Verdacht auf, dass die Ordensbrüder nicht an Tuberkulose oder anderen Krankheiten gestorben sind, sondern im Schlaf an Kohlendioxid erstickt sind.

Als Folge des sogenannten Jesuitengesetzes, das 1872 vom Reichstag verabschiedet wurde, wurden den Jesuiten alle Ordensniederlassungen auf deutschem Boden verboten. Auch wenn 1873 die Professoren und Studenten der Jesuiten Deutschland verlassen mussten, führten die zurückgebliebenen Brüder die Bewirtschaftung des Klosterguts weiter. Da sich die Hoffnung auf eine baldige Rückkehr nicht erfüllte, boten die Jesuiten im Sommer 1892 Maria Laach den Beuroner Benediktinermönchen zur Wiederbesiedlung an, die das Kloster zurückerwarben. Die Jesuitenvilla nutzten diese jedoch nicht, sondern rissen das verfallene Gebäude im Jahr 1921 endgültig ab. Teile der Bausubstanz der Villa, wie Dachschiefer und Fensterrahmen, gewannen sie wieder und nutzten das Material für Reparaturen am Kloster (SANDNER & SCHUMACHER 2008).

4. Eigene Bodenluftmessungen an der ehemaligen Jesuitenvilla

In den Jahren 2013 und 2014 wurden entlang des gesamten Ostufers des Laacher Sees insgesamt 116 Bodenluftmessungen durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dabei auf die Umgebung der ehemaligen Jesuitenvilla, da hier erhöhte CO₂-Konzentrationen zu erwarten waren. In dem etwa 80 m mal 150 m großen Areal wurden insgesamt 72 Bodenluftmessungen vorgenommen. Die Messungen erfolgten mit dem Gasmessgerät X-am 7000 der Fa. Dräger, das gleichzeitig CO₂, CO, H₂S und O₂ erfasst.



Abb. 6: Eines der noch erhaltenen Fotos der Jesuitenvilla (Quelle: Reiner Degen).

Zunächst wurde am vorgesehenen Messpunkt ein etwa 1 m tiefes Loch mit einem Durchmesser von 40 mm mit einem Schneckenbohrer gebohrt. Hierdurch blieb das ursprünglich lockere Bodengefüge weitgehend erhalten, während bei einer Rammsondierung der Boden rund um das gerammte Loch komprimiert und damit weniger durchlässig geworden wäre. In das Bohrloch wurde dann sofort ein 1 m langes, unten verschlossenes Edelstahlrohr gestellt, das bei einer Tiefe von 70 bis 90 cm zahlreiche Löcher hat, so dass die Bodenluft aus diesen Bodenschichten abgesaugt werden kann. Der schmale Ringraum zwischen Rohr und Bohrloch wurde an der Geländeoberfläche abgedichtet, so dass hier keine Frischluft nachfließen konnte. Der Messvorgang dauerte insgesamt vier Minuten, wobei die Messwerte der Gase alle 30 Sekunden notiert wurden. Für die Bestimmung des CO₂-Gehaltes wurde der in dieser Zeit gemessene Maximalwert herangezogen.

Zur Abschätzung der Genauigkeit des Messverfahrens sowie der Reproduzierbarkeit der Messwerte wurden an verschiedenen Terminen Wiederholungsmessungen durchgeführt. Hierbei zeigten sich nur geringe Abweichungen der CO₂-Gehalte von wenigen Prozent, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Messwerte hinreichend genau erfasst worden sind.

Die Positionen der Messpunkte wurden mit einem hochgenauen GPS GeoExplorer 6000 XT von Trimble eingemessen. Die Messgenauigkeit des Gerätes liegt bei etwa 50 bis 80 cm, so dass auch eng benachbarte Messpunkte exakt erfasst wurden.

Von den 72 Messpunkten, die im Umfeld der Jesuitenvilla eingemessen wurden, zeigten 27 Messpunkte CO₂-Werte von 11 bis 50% und 20 Messpunkte CO₂-Konzentrationen von über 50% mit Spitzenwerten von 94%.

CO₂ ist natürlicherweise ein Hauptbestandteil der Bodenluft und kann unter normalen Umständen in einem weiten Konzentrationsbereich von 0,0385 % bis 13% schwanken (BGR 2012). KOHN et al. (2013) geben einen mittleren CO₂-Gehalt von 0,2%



Abb. 7: Mofette an der ehemaligen Jesuitenvilla mit auffälligem Seggenras-Bewuchs.

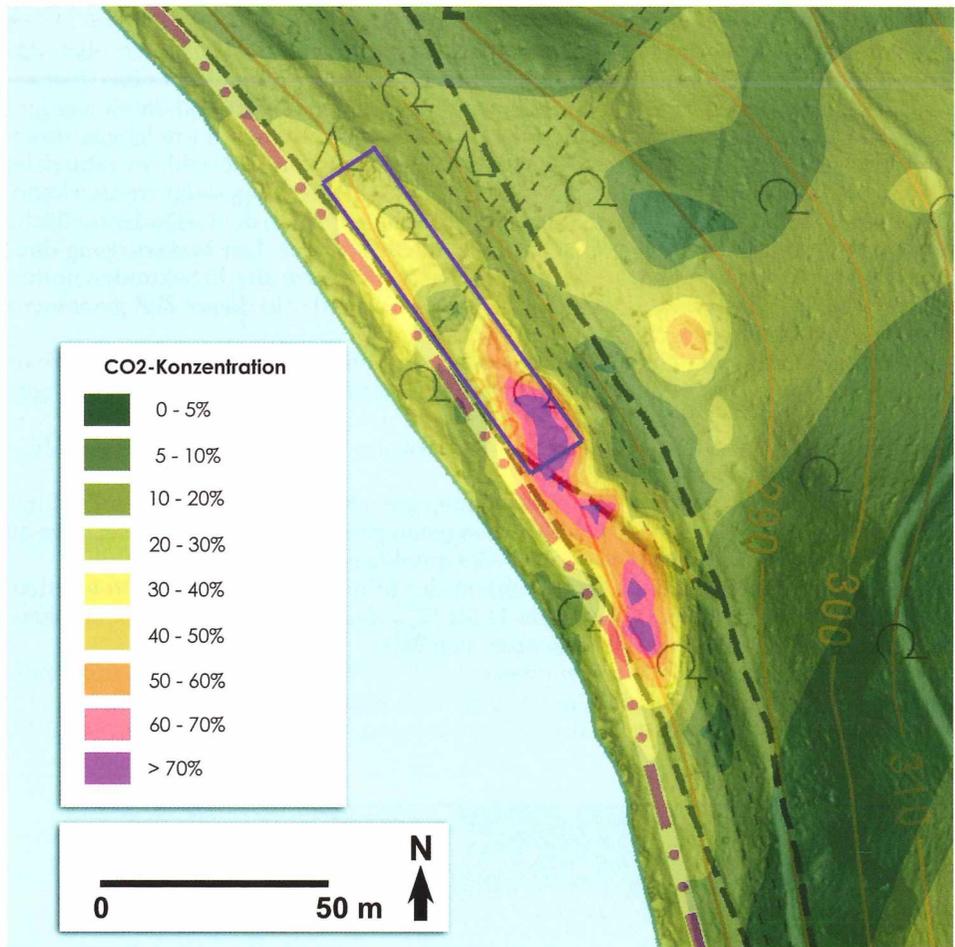


Abb. 8: Ergebnis der Bodenluftmessungen des Landesamtes für Geologie und Bergbau (Messzeitraum 2013 bis 2014). Blau: ehemaliger Standort der Jesuitenvilla.

für einen gut durchlüfteten Waldboden an. Diese normalen natürlich vorkommenden Werte wurden an allen Messstellen erheblich übertroffen.

Bei der Auswertung und Darstellung der Messergebnisse treten im Bereich der Jesuitenvilla zwei Areale deutlich hervor, in denen die CO₂-Konzentrationen 80 bis 94% betragen (Abb. 8). Ein Abschnitt befindet sich im südlichen Fundamentbereich des ehemaligen Gebäudes, was darauf hindeutet, dass die im 19. Jahrhundert verstorbenen Jesuiten tatsächlich an Kohlendioxid erstickt sind. Ein weiterer Hotspot mit ähnlichen CO₂-Konzentrationen liegt etwa 30 bis 40 m südlich. Hierbei handelt es sich um die bei PFANZ (2008) als U1 beschriebene Mofette mit auffälligem Seggenras-Bewuchs (siehe Abb. 7) Etwa 400 m südlich der ehemaligen Jesuitenvilla wurde in Höhe des Lorenzfelsens bei den Bodenluftmessungen eine weitere Mofette gefunden. Hier

sind im Uferbereich auch starke Gasaustritte im Wasser zu verzeichnen. Die ungefähre Lage ist in der Abb. 3 eingezeichnet.

Bei den Messungen im Gelände zeigte sich, dass die CO₂-Gehalte der Bodenluft auf kürzester Distanz stark schwanken können. Innerhalb weniger Meter Erstreckung können die CO₂-Konzentrationen von unter 5% auf 90% und mehr ansteigen. Die Mofetten scheinen meist räumlich eng begrenzt zu sein. Grundsätzlich wurden aber praktisch am gesamten Ostufer des Laacher Sees auf einer Erstreckung von rund 2 km Länge deutlich erhöhte Kohlendioxidwerte in der Bodenluft gemessen.

5. Fazit und Ausblick

Die Auswertung der Schriften, die teilweise bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts zurückreichen, sowie umfangreiche eigene Bodenluftmessungen haben gezeigt, dass rund um den Laacher See mehrere trockene Mofetten existieren. Die Untersuchungen des Landesamts für Geologie und Bergbau konnten die ausgedehnten CO₂-Austritte im Bereich der ehemaligen Jesuitenvilla nachweisen, so dass die ungeklärten Todesfälle, die sich im 19. Jahrhundert in dem Gebäude ereignet hatten, mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Gasaustritte zurückzuführen sind.

Die Aufnahmen der nassen Mofetten am Ostufer des Sees in den Jahren 2010 und 2014 ergaben, dass sich die Ausgasungen aktuell über eine Strecke von etwa 1,5 km Länge erstrecken. Da in früheren Karten deutlich geringere Aktivitäten verzeichnet sind, deutet sich hier eine Zunahme der Aktivität an.

Aufgrund der deutlich erhöhten CO₂-Konzentrationen der Bodenluft am gesamten Ostufer des Laacher Sees und der im Norden und Westen vorhandenen Mofetten, besteht weiterer Forschungsbedarf, um das genaue Ausmaß der CO₂-Ausgasungen bestimmen zu können. Hierzu gehören auch die nassen Mofetten, die am Uferbereich bei geeigneter Witterung gut zu erkennen sind.

Doch nicht nur die Verteilung der Ausgasungen, sondern auch die zeitlichen Veränderungen sind bisher nicht systematisch untersucht worden. Unklar ist, ob die Intensität und Anzahl der Mofetten Luftdruckschwankungen oder jahreszeitlichen Veränderungen unterliegen und ob die CO₂-Ausgasungen am Laacher See in den vergangenen Jahren tatsächlich zugenommen haben.

Moderne Analyseverfahren ermöglichen die rasche und systematische Erfassung von erhöhten CO₂-Konzentrationen an der Geländeoberfläche, so dass große Areale mit verhältnismäßig geringem Aufwand überwacht werden können. Diese Untersuchungen können einen wichtigen Beitrag zur frühzeitigen Detektion von sich verändernden bzw. ansteigenden vulkanischen Aktivitäten in der Osteifel darstellen.

Schriften

- AHRENS, W. (1930): Geologisches Wanderbuch durch das Vulkangebiet des Laacher Sees in der Eifel. 87 S., (Enke) Stuttgart.
- (1936): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Erläuterungen zu Blatt Burgbrohl, 51 S., Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin.
- BENEDIX, J. & LAUER, W. (2006): Klimatologie. 2. neubearb. und korrigierte Auflage. – Das Geographische Seminar, 45, 356 S., (Westermann) Braunschweig.
- BISCHOF, G. (1826): Die vulkanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs, deren Ursprung, Mischung und Verhältnis zu den Gebirgsbildungen. – Chemische Untersuchung der Mineralwasser zu Geilnau, Fachingen und Selters im Herzogthum Nassau : nebst allgemeinen Betrachtungen über vulkanische Mineralquellen, besonders über deren Ursprung, Mischung und Verhältniss zu den Gebirgsbildungen ; für Physiker, Chemiker, Geognosten und Aerzte, ... XVI, 412 S. (Weber) Bonn.
- BISCHOF (1863): Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl., Bd. 1, (Adolph Marcus) Bonn.
- BGR (Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe, 2012): Workshop Schwellenwerte für CO₂ im Boden?, 3. und 4. April 2012, Hannover.
- DECHEN, H. v. (1864): Geognostischer Führer zu dem Laacher See und seiner vulkanischen Umgebung, 596 S., Bonn.
- (1865): Vergleichende Uebersicht der vulcanischen Erscheinungen im Laacher See-Gebiete und in der Eifel. – Z. deutsche geol. Ges., 17, S. 69–156, Berlin.
- DEGEN, R. & ZÄCK, W. (2005): Mörderisches Wetter : Ein Kapitel aus der Jesuiten-Zeit in Maria Laach. – Eifeljahrbuch, 2005, S. 145–148, Düren.
- DE LA BECHE, H. T. (1832): Handbuch der Geognosie, Berlin. [Reprint 2010, 640 S.]
- EWICH, O. (1852): Der Führer am Laacher See und durch das Brohltal. Mit Beobachtungen über die Eigenschaften und therapeutischen Wirkungen. 111 S., (Lichtfers) Neuwied.
- FISCHER, H. (1981): Naturschutzgebiet „Laacher See“ als Objekt von Landespflege und wirtschaftlicher Nutzung. Berichte zur deutschen Landeskunde, 55, H. 1, S. 83–101; Selbstverlag, Trier.
- FUCHS, C. W. C. (1865): Die vulcanischen Erscheinungen der Erde. Heidelberg. [Reprint 2010, 596 S.]
- HAPPE, H. (2009): Mysteriöse Todesfälle in der ehemaligen Jesuitenvilla am Laacher See um 1870. – Heimatjahrbuch Kreis Ahrweiler, 2009, S.186–188, Bad Neuenahr-Ahrweiler.
- HERBST, G. (1856): Der Laacher See bei Andernach am Rhein, eines der denkwürdigsten Beispiele vulcanischer Vorgänge in Deutschland. 16 S., Weimar.
- JONES, D.G. & BARLOW, T. & BEAUBIEN, S.E. & CIOTOLI, G. & LISTER, T.R. & LOMBARDI, S. & MAY, F. & MÖLLER, I. & PEARCE, J.M. & SHAW, R.A. (2009): New and established techniques for surface gas monitoring at onshore CO₂ storage sites. – Energy Procedia, 1, S. 2127–2134, (Elsevier) Amsterdam.
- KEMPF, E. K. & SCHARF, B. W. (1980): Lebende und fossile Muschelkrebse (Crustacea: Ostracoda) vom Laacher See. – Mitteilungen der POLLICHIA, 68, S. 205–236, Neustadt.
- KOHN, C. & GAERTIG, T. & FRUND, H.-C. (2013): CO₂-Konzentration der Bodenluft und Phosphatase-Aktivität als Indikatoren der natürlichen Regeneration auf Rückegassen im Kalkbuchenwald. Jahrestagung deutsch. bodenkundl. Ges., 2013, Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung, 7. bis 12.09.2013, Rostock.

- LEONHARD, K. C. v. (1844): Geologie: oder Naturgeschichte der Erde. Auf allgemein fassliche Weise abgehandelt. Bd. 5, 716 S., Stuttgart.
- MEYER, W. (2013): Geologie der Eifel. 4. Aufl., XIV + 704 S., (Schweizerbart) Stuttgart.
- NOGGERATH, J. J. (1870): Der Laacher See und seine vulkanischen Umgebungen. 32 S., (Lüderitz) Berlin.
- NOGGERATH, J. J. & BISCHOF, G. (1825): Beständige Mofetten in dem vulkanischen Gebirge der Eifel. *Journal für Chemie und Physik*, **43**, S. 28–41, Halle.
- OEYNSHAUSEN, C. v. (1843): Geognostisch-orphographische Karte der Umgebung des Laacher Sees. (Simon Schopp) Berlin.
- PARK, C. & SCHMINCKE H.-U. (2009): Apokalypse im Rheintal. – *Spektrum der Wissenschaft*, **2**, S. 78–87, Heidelberg.
- PFANZ, H. (2008): Mofetten – Kalter Atem schlafender Vulkane. 85 S., Deutsche Vulkanologische Gesellschaft, (RVDL) Köln.
- RAFFERTY, J. P. (2011) (Hrsg.): *Geochronology, dating and precambrian time: the beginning of the world as we know it*. 245 S., (Britannica Educ. Publ.) New York.
- RICHTER, P. (1896): Die Benediktiner Abtei Maria Laach: Ein geschichtlicher Rückblick auf 8 Jahrhunderte. 97 S., (Verlagsanstalt und Druckerei) Hamburg.
- RITTER, J.R.R. & CHRISTENSEN, U.R. (2007): *Mantle Plumes – A Multidisciplinary Approach*. 502 S., 157 Abb., (Springer) Heidelberg.
- SANDNER, B. & SCHUMACHER, K.-H. (2008): *Laacher Mönche bei der Arbeit – Die Reihe Archivbilder*. 127 S., (Sutton) Erfurt.
- SASSMANNSHAUSEN, F. (2010): *Vegetationsökologische Charakterisierung terrestrischer Mofettenstandorte am Beispiel des west-tschechischen Plesná-Tals*. Diss. Universität Duisburg-Essen, 224 S., Duisburg-Essen.
- SCHMINCKE, H. U. (2010): *Vulkanismus*. 3. Aufl., 264 S., (Primus) Darmstadt.
- STEINBACH, J. (1880): *Führer zum Laacher See an der Hand der Sage und Geschichte*. 97 S., (Heuser) Neuwied & Leipzig.
- TANK, V. & PFANZ, H. & GEMPERLEIN, H. & STROBL, P. (2005): *Infrared remotes sensing of earth degassing – ground study*. – *Annals of Geophysics*, **48**, S. 181–194, Bologna.
- WENZEL, F. (2005): *Perspectives in Modern Seismology*. 226 S., (Springer) Heidelberg.

Anschriften der Autoren:

Diplom-Geologe Dr. MICHAEL ROGALL,
Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz,
Emy-Roeder-Straße 5, D-55129 Mainz.

B. Sc. Geographie MARIA M. KOHL
Kurt-Schumacher-Straße 43, D-55124 Mainz.

Manuskript eingegangen am 10.3.2016