Ber. Naturhist. Ges. 115, Hannover 1971

Natur und Geschichte der Dunsthöhle in Bad Pyrmont

(zu deren 250jährigen Bestehen)

von RUDOLF HERRMANN*

Mit 7 Abbildungen

Die als Sehenswürdigkeit von Bad Pyrmont bekannte Dunsthöhle besteht in ausgebauter, aber mehrfach veränderter Form seit dem Jahre 1720. Ihr Erbauer, der Brunnenarzt JOH. PHIL. SEIP, hielt den dort aus klüftigem Sandstein (und aus den Pyrmonter Säuerlingen) entweichenden Dunst für schwefeliger Herkunft. Als Kohlensäure (Kohlendioxid) konnte der erstickend wirkende Bestandteil des Dunstes erst bezeichnet werden, nachdem dieses Gas im Jahre 1775 als Verbindung des Kohlenstoffs mit dem kurz zuvor entdeckten Sauerstoff erkannt und — später — das Gewichtsverhältnis seiner Bestandteile ermittelt worden war. (Die übliche, in dieser Anwendung aber ungenaue Bezeichnung Kohlensäure wird auch im folgenden gleichbedeutend mit Kohlendioxid gebraucht.)

Das frühere wissenschaftliche Interesse an der Dunsthöhle erlosch bald, nachdem die Kenntnis der Kohlensäure Allgemeingut geworden war, lebte aber noch einmal auf, als — vor etwa 50 Jahren — die geologische Landesaufnahme in Preußen sich auf das Gebiet von Pyrmont erstreckte. Seitdem ist das Kohlensäurevorkommen in der Dunsthöhle nicht wieder untersucht worden. (Informatorische Schriften haben inzwischen C. DIECKMANN o. J., H. ULRICH-HANNIBAL 1964 und F. ZOCHER 1971 veröffentlicht.)

In Zusammenhang mit hydrogeologischen Untersuchungen der Pyrmonter Heilquellen, zu denen das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung in Hannover Auftrag gab, konnte die Dunsthöhle nicht unbeachtet bleiben. Im folgenden wird diese zunächst in ihrer gegenwärtigen Gestalt beschrieben; weiter-

*) Dr. RUDOLF HERRMANN, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 3 Hannover-Buchholz, Postfach 54.

hin wird die Geschichte der Erschließung und der Erforschung dieses Kohlensäurevorkommens dargelegt; schließlich wird die Kohlensäure auf dem Wege von ihrer Herkunft bis zum Entweichen in der Dunsthöhle verfolgt.

Für mancherlei Hilfeleistungen bei meinen Untersuchungen und für Auskünfte und Überlassung von Unterlagen bin ich der Kurverwaltung des Staatsbades Pyrmont und dem Staatl. Hochbauamt Hameln zu Dank verpflichtet, ebenso beiden genannten Stellen und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung für das Einverständnis mit dieser Veröffentlichung.

I. Lage und gegenwärtige Gestalt der Dunsthöhle

Die Dunsthöhle liegt im nördlichen Teil der Stadt Bad Pyrmont auf dem zum Bomberg ansteigenden Gelände, rund 400 m oberhalb der Brunnenstraße und etwa 20 m höher als diese. Der Abhang des Bomberges verflacht sich dort

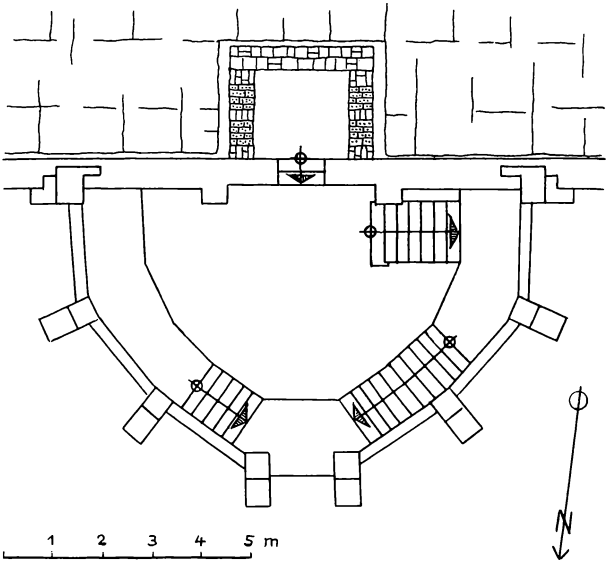


Abb. 1: Grundriß der Dunsthöhle mit dem Vorkeller (dieser vereinfacht nach Bauzeichnung des Staatl. Hochbauamtes Hameln, Außenstelle Bad Pyrmont). Umfassungsmauer der Dunsthöhle mit Sitznischen (punktiert).

in den obersten Schichten des Mittleren Buntsandsteins (mit dem Bausandstein der Solling-Gruppe) zu einem terrassenartigen Vorsprung; eine Anhöhe auf diesem in vorgeschobener Lage ist unter dem Namen Helvetiushügel als Aussichtspunkt bekannt.

Auf der Westseite dieses Hügels befindet sich in einer flachen Bodenvertiefung — von Gebüsch und Parkanlagen umgeben — ein offener, 3,4 m tiefer,

etwa halbkreisförmiger Keller, der gegen Süden von einer geraden, 0,5 m starken Mauer begrenzt ist (Abb. 1). Durch eine vergitterte Türöffnung in dieser Mauer ist die Dunsthöhle sichtbar, eine mit Bruchsteinen ausgemauerte überwölbte Kammer, die einen 3,60 m breiten, schachtartigen Einschnitt in der Steinbruchwand ausfüllt (Abb. 2).

Die Gewölbekammer hat eine fast quadratische Bodenfläche (1,75 m breit, 1,80 m lang) und wird von einem Tonnengewölbe 2,55 m hoch überdacht, dessen Scheitellinie etwa 2,15 m unter der Höhe des umgebenden Geländes liegt. In der Türöffnung führen zwei Stufen zu dem 33 cm tiefer liegenden Boden der Kammer hinab; dieser wird von sandigem Grus gebildet. Der Austritt der Kohlensäure wird sichtbar, wenn eingedrungenes Regenwasser auf dem Boden steht und Gasblasen darin aufsteigen.

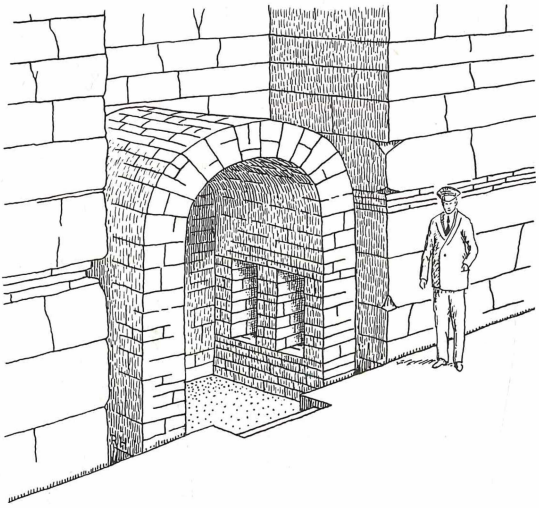


Abb. 2: Das „steinerne Gewölbe" der Dunsthöhle (mit Sitznischen für Gasbäder), ohne die Abschlußmauer. Schematisch.

An den Seitenwänden der Kammer sind in Sitzhöhe je zwei Nischen eingebaut, die als früheste Einrichtungen für — wie man jetzt sagen würde — CO_2-Gas-Bäder dienen sollten und jetzt zum Teil verfallen sind. Stellenweise ist in Lücken des Mauerwerks, das auch die Rückseite der Kammer abschließt, der dicht dahinter anstehende hellrote, feinkörnige und bankig geschichtete Sandstein in flacher Lagerung sichtbar.

Das Halbrund des Kellers vor der Abschlußmauer der Dunsthöhle hat an der Erdoberfläche einen Radius von etwa 5 m und ist von einer niedrigen Mauer

mit aufgesetzten Pfeilern umgeben, die mit Eisengittern abwechseln. Die (3 m hohen) Pfeiler tragen einen Betonrahmen, der einen den Keller flach überdeckenden Rost von Eisenträgern hält. Die Kammer steht also in offener Verbindung mit der freien Luft. Von einem Umgang innerhalb der Umfassungsmauer führt eine Treppe in den Keller hinab (Abb. 3).

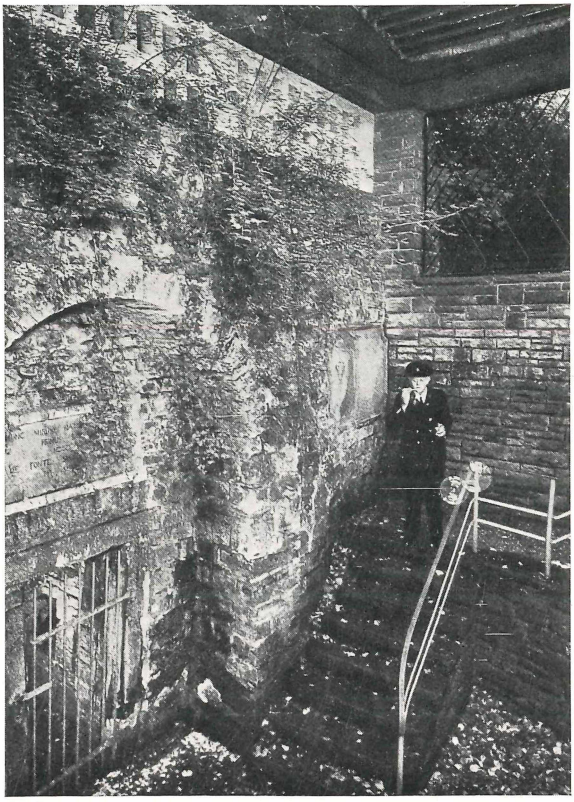


Abb. 3: Der Vorkeller der Dunsthöhle; hinter der Tür zu dieser ist eine Sitznische sichtbar. Auf dem Dunst schweben Seifenblasen. (Nach käufl. Foto.)

Das obere Drittel der Abschlußmauer ist mit Moos und höheren Pflanzen bewachsen; auf dem tieferen Teil läßt der Dunst keinen Bewuchs aufkommen.

Der Dunst steht unregelmäßig wechselnd hoch. Ein Wärter führt den Besuchern das Erlöschen brennender Kerzen beim Eintauchen in den Dunst vor, zeigt damit die jeweilige Höhe der Dunstschicht an und läßt Seifenblasen auf ihrer Oberfläche schweben. Solche Versuche wurden schon im ersten Jahrhundert

des Bestehens der Dunsthöhle vorgeführt. Früher sind auch kleine Tiere bereitgehalten worden, an denen die Erstickungswirkung des Dunstes gezeigt wurde.

II. Erschließungs- und Baugeschichte

Der Sandstein am Fuß des Bomberges ist schon im 17. Jahrhundert vom nahegelegenen Ösdorf aus als Baustein gebrochen worden. An tieferen Stellen des Steinbruchs waren erstickende Dünste bemerkt worden, in denen ein Aufenthalt unmöglich war; sie blieben in Vertiefungen stehen, und in ihnen verendeten Vögel, Mäuse und andere kleine Tiere. Der Steinbruch war seit diesen Erfahrungen nur noch seitlich erweitert worden.

Dem Auftreten dieser Dünste ging der junge Arzt JOH. PHIL. SEIP (1686—1757, ein Sohn des Ösdorfer Pfarrers) nach, als er 1712 von Studienaufenthalten in den Niederlanden und England zurückgekehrt war, um sich in der damals noch unbenannten Ansiedlung an den Quellen beim Pyrmonter Schloß als erster Arzt niederzulassen (vgl. SEIP VON ENGELBRECHT 1938). Als er

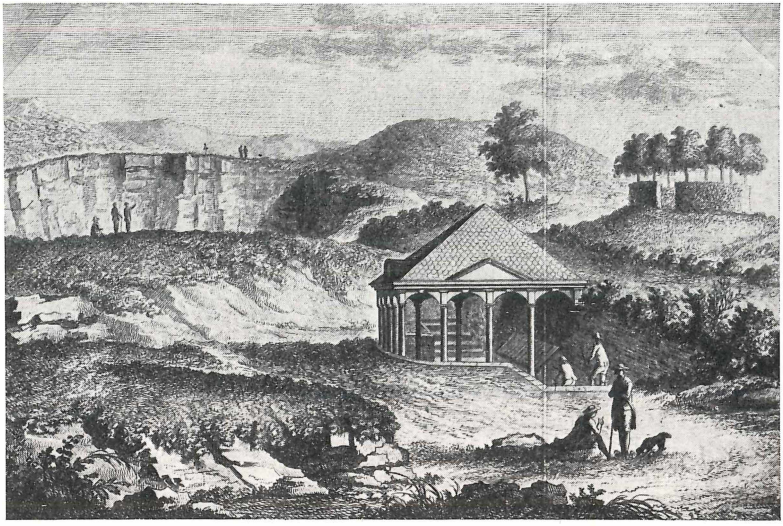


Abb. 4: Der von 1737 bis 1810 bestehende Eingangsbau vor der Dunsthöhle im Steinbruchsgelände unterhalb des Bomberges; rechts der Helvetiushügel. Nach einem Stahlstich in der Brunnenschrift von H. M. MARCARD 1784.

im Jahre 1717 in dem Steinbruch eine neue Vertiefung ausbrechen ließ, konnte er das Aufsteigen des sonst unsichtbaren Dunstes im Sonnenlicht „ganz eigentlich sehen". Nach dem Beispiel der seit dem Altertum bekannten Hundsgrotte bei Neapel unternahm SEIP auch Versuche mit einem Hunde; dieser war in dem Dunst — ebenso wie früher die Steinbrecher — der Erstickungsgefahr ausgesetzt.

SEIP erkannte die Übereinstimmung der aus dem Sandstein aufsteigenden Dünste mit denen, die häufig über dem Spiegel der Pyrmonter Säuerlinge zu beobachten waren, und untersuchte die Eigenschaften und Wirkungen dieser für schwefelig gehaltenen Dünste.

Im Jahre 1720 — also vor nunmehr 250 Jahren — erwirkte sich SEIP von dem Landesherrn die Erlaubnis, „ein steinernes Gewölbe über die ausdünstende Grube bauen zu lassen, wie solches damals auch geschehen, und darüber ein kleines Gewölbe, ohngefähr 6 Schuh im Viereck und 10 Schuh hoch, ausgemauret worden, welches ich 1737 habe renoviren, mit einer doppelten Treppe und Geländer, zur Sicherheit und Bequemlichkeit der curiösen Brunnengäste und



Abb. 5: Die 1810 angelegte amphitheatralische Grube vor der Dunsthöhle. Nach einem Stahlstich in der Brunnenschrift von BRANDES & KRÜGER 1826.

Fremden, versehen lassen" (SEIP 1750, S. 95). Demnach befindet sich unter der Dunsthöhle (und dem Keller) ein unzugängliches größeres Gewölbe, das später nicht mehr erwähnt worden und in Vergessenheit geraten ist.

Im Jahre 1736 sandte SEIP einen Bericht (in lateinischer Sprache) über die „Schwefelgrube" an die Akademien der Wissenschaften in London und in Berlin[1]).

[1]) Abgedruckt in: Miscellanea Berolinensia, Tom. V, pag. 102—105, 1737.

Bei der Verbesserung des Zuganges zu der „Schwefelgrube“ wurde ein Dach über der Treppe errichtet (Abb. 4), und an der Abschlußmauer wurde rechts vom Eingang eine steinerne Tafel angebracht; diese ist noch jetzt vorhanden. Sie trägt zwei Inschriften, oben, auf die Hundsgrotte anspielend:

„Machst Du Italien mit Raritäten groß
Sieh hier, die Schwefelgrub'
Dampft auch aus Pirmonts Schos“

darunter eine lateinische Inschrift mit dem Hinweis, daß JOH. PHIL. SEIP diese Grotte „der Merkwürdigkeit, vielleicht auch des Nutzens wegen“ im Jahre

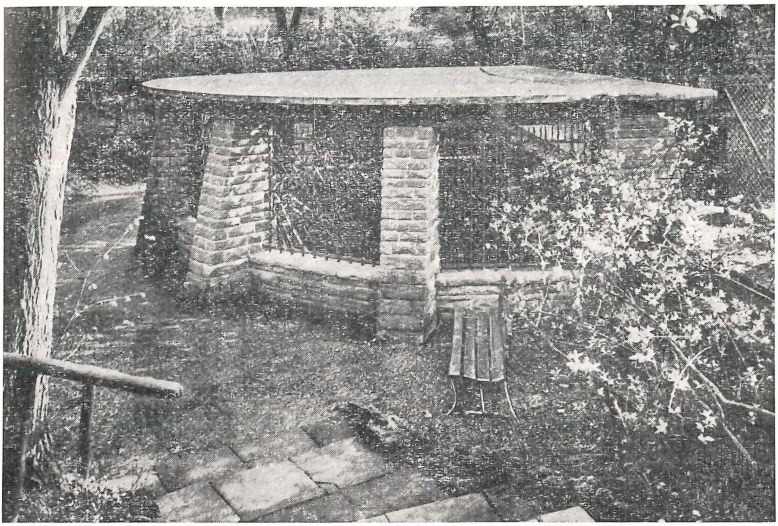


Abb. 6: Die Überbauung des offenen Kellers vor der Dunsthöhle; Zustand seit 1963. (Nach käufl. Foto.)

1720 habe ausbauen und im Jahre 1737 erneuern lassen und durch diese Inschrift habe verewigen wollen.

SEIP hatte das Gewölbe als eine Art Badehaus durch Einbau von Sitznischen „zu einem trockenen Schweißbad“ einrichten lassen, um die erwärmende Wirkung des „Schwefeldunstes“ auf den menschlichen Körper zu Heilzwecken nutzbar zu machen, sah aber von diesem Gebrauch wegen der Gefahr der Erstickung in der wechselnd hohen Dunstschicht ab. Heilungsuchende von nah und fern haben jedoch aus eigenem Entschluß von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, sich zur Linderung ihrer Leiden — so tief, wie ohne Erstickungsgefahr möglich —

auf die Treppenstufen zu setzen. „Das Schwefelbad hat mich am meisten frappiert" schrieb HERDER 1772 aus Pyrmont.

Erst im Jahre 1810 wurde ein Plan ausgeführt, den SEIP in der letzten Ausgabe seiner Beschreibung der Pyrmonter Brunnen (1750) entworfen hatte, um den Gebrauch des „trockenen Schweißbades" zu erleichtern. Die ursprüngliche Ausschachtung vor der Dunsthöhle wurde zu einer amphitheatralischen Grube (mit einem Halbmesser von etwa 9 m) erweitert und mit Treppen auf der Böschung versehen; die Treppen führten zu einem Vorhof hinab, der in der Höhe des Einganges zur Dunsthöhle lag und mit einem Geländer umgeben war (Abb. 5).

Bei diesem Umbau wurde über dem Höhleneingang eine weitere Tafel angebracht, deren lateinische Inschrift nochmals auf die Einrichtung der Dunsthöhle durch SEIP hinweist[2]).

Der Gebrauch des „trockenen Schweißbades" vor der Dunsthöhle, der durch den Ausbau von 1810 erleichtert worden war, nahm aber bald ab, zumal es möglich war, sich am Brodelbrunnen auf dem Brunnenplatz in den Quelldunst zu setzen und seit 1817 auch — zunächst noch unvollkommen — Gasbäder zu nehmen, zu denen das Gas aus diesem Brunnen entnommen wurde (TH. MENKE 1840, W. MEHRDORF 1967).

Der amphitheatralische Ausbau des Vorplatzes der Dunsthöhle, der noch 1880 von E. LYNCKER beschrieben worden war, ist später aufgegeben worden. Der Hof vor dem Höhleneingang wurde zu dem jetzt vorhandenen offenen Keller mit einem Umgang und einer Treppe in der Mitte umgebaut, und der außerhalb verbleibende Teil der Grube wurde zugefüllt. Im Jahre 1963 wurde der Umgang 1 m höher gelegt, die Treppe auf die Westseite verlegt und die Überdachung aufgesetzt (Abb. 6).

Der Austritt gasförmiger Kohlensäure in der Pyrmonter Dunsthöhle kommt als einmalige Sehenswürdigkeit gegenwärtig um so mehr zur Geltung, als die im Vergleich mit ihr oft genannte Hundsgrotte am Fuß der Innenböschung des erloschenen Kraters Agnano bei Neapel, ein 4 m langer, 1,5 m breiter und am Eingang 2 m hoher Stollen, mit dem vermutlich vulkanische Wärme für Heißluftbäder erschlossen werden sollte, unter den Kriegsumständen von 1944 zugemauert worden ist (M. LOOSLI 1963, W. CARLÉ 1965).

---

[2]) Gegenwärtig bezeichnen die Inschriften beider Tafeln das Jahr des ersten Ausbaues mit MDCCXXIV — entgegen der von SEIP in seiner Brunnenbeschreibung angegebenen Jahreszahl 1720. TH. MENKE hat 1840 den Wortlaut der Inschriften mit der Jahreszahl MDCCXX bzw. 1720 wiedergegeben. Die Ziffer IV ist offensichtlich später — aus unbekanntem Grund — hinzugefügt worden.

III. Erforschungsgeschichte

Neben der Hundsgrotte und den nicht gefaßten, früher wenig bekannten natürlichen Mofetten[3]) in der Eifel gab es mit dem Ausbau der Dunsthöhle ein weiteres gleichartiges Gasvorkommen; aber das an diesen Stellen entweichende Gas konnte erst dann als Kohlensäure bezeichnet werden, als diese — mit den Fortschritten der Chemie — in ihrer Natur erkannt und benannt worden war. Zur Geschichte dieser Erkenntnis werden im folgenden die wesentlichsten Daten mit besonderer Beziehung auf Pyrmont zusammengestellt[4]).

Schon im Jahre 1597, also mehr als 100 Jahre vor SEIP, hatte ANDR. LIBAU (LIBAVIUS) den erfrischenden Geschmack der Säuerlinge einem im Wasser enthaltenen, unwägbaren geistigen Wesen zugeschrieben und dieses damit als einen besonderen, wenn auch noch nicht näher bestimmbaren Stoff erkannt. Bald darauf führte der brabantische Arzt und Naturphilosoph JOH. BAPT. VAN HELMONT (1577—1644) für Ausdünstungen kalten Wassers das Wort Gas (in Anlehnung an Chaos?) ein. Das in Säuerlingen enthaltene Gas war ihm von den Quellen des damals viel besuchten Badeortes Spa am Hohen Venn, von der Hundsgrotte und von der Verbrennung von Holzkohle bekannt; er nannte es Gas sylvestre (Waldgas, mit Beziehung auf die im Walde ausgeübte Köhlerei) oder auch Spiritus sylvestris (Waldgeist, in Anlehnung an die alchemistische Bezeichnung Spiritus für luftartige Stoffe). — Den Ursprung dieses Gases vermutete er im Schwefel.

Auch SEIP, der nach seiner medizinischen Ausbildung chemische Studien bevorzugt hatte, bezeichnete die erstickenden Dünste der Pyrmonter Quellen — ohne VAN HELMONT zu nennen — als spirituös und führte sie als vermeintliche Schwefeldünste auf Schwefelmineralien zurück. Im Sandstein der „Schwefelgrube" suchte er vergeblich nach solchen, war aber überzeugt, daß sie dort im Untergrund in großer Menge vorhanden seien.

Noch zu Lebzeiten SEIPs — im Jahre 1754 — entdeckte JOS. BLACK in Edinburg, daß das von den Säuerlingen bekannte Gas auch im Kalkstein gebunden ist (und aus diesem unter Säureeinwirkung entweicht); er nannte es fixe (im Festen gebundene) Luft. 20 Jahre später gab TORBERN BERGMAN in Upsala, der auch das Pyrmonter Quellwasser untersuchte, diesem Gas — mit Rücksicht darauf, daß es, im Wasser gelöst, als schwache Säure wirkt — den Namen Luftsäure.

Der französische Naturforscher JEAN DE LUC, der bald danach die Dunsthöhle besuchte, war der erste, der den vermeintlichen Schwefeldunst als

---

[3]) Ital. mofeta, vgl. mefitico = erstickend; Mefitis war die italische Göttin der Schwefelquellen.

[4]) Vgl. dazu H. KOPP, Geschichte der Chemie, 4 Bände, 1843—1847, Neudruck 1967, und FERENC SZABADVARY, Geschichte der analytischen Chemie. Deutsche Bearbeitung von G. KERSTEN, 1966.

fixe Luft — bzw. Luftsäure — erkannte (vgl. dessen Briefe, 5. Bd., 1779, S. 24 und 354, und J. F. WESTRUMB 1787, S. 211).

Inzwischen — im Jahre 1774 — hatten JOS. PRIESTLEY in England und C. W. SCHEELE in Schweden unabhängig voneinander den Sauerstoff entdeckt. Im weiteren Ausbau dieser Erkenntnis hatte ANTOINE LAVOISIER zwischen dem Sauerstoff und dem Stickstoff der Luft unterschieden, den Verbrennungsvorgang als Verbindung brennbarer Stoffe mit Sauerstoff erkannt und schließlich — in einer Lesung in der Pariser Akademie (1775) — die Luftsäure als Sauerstoffverbindung des Kohlenstoffs erklärt. 1783 schlug er für diese Verbindung den Namen „acide carbonique" vor. Das somit als Kohlensäure bezeichnete Gas konnte erst später, nachdem das Gewichtsverhältnis seiner Bestandteile ermittelt worden war, Kohlendioxid genannt werden.

In Deutschland verharrte man — in älteren Anschauungen befangen — noch jahrzehntelang bei den Bezeichnungen fixe Luft und Luftsäure, so der Pyrmonter Brunnenarzt H. M. MARCARD in seiner Beschreibung Pyrmonts (1784) und der Apotheker JOH. FRIEDR. WESTRUMB in Hameln. Dieser untersuchte — von jenem angeregt — im Jahre 1783 die Pyrmonter Quellen und 1787 die Dunsthöhle; für deren „fixe Luft" kam er zu dem Ergebnis, diese sei aus einem unbestimmbaren Grundstoff und aus „Wärmestoff" zusammengesetzt. An LAVOISIERs Ergebnissen zweifelnd, lehnte er noch im Jahre 1793 die Bezeichnung Kohlensäure ab. — Für GOETHE war die Kohlensäure im Jahre 1801, als er die Dunsthöhle (am dritten Tag seines Pyrmonter Aufenthaltes) aufsuchte, das „Stickgas", das er als das „wirkende Agens" in Flaschen nach Weimar zur Vorführung mitnahm.

Von „kohlensaurem Gas", gleichbedeutend mit fixer Luft und Luftsäure, als Bestandteil der Pyrmonter Säuerlinge sprach erstmals der schon genannte H. M. MARCARD im Jahre 1810. Später führten die Apotheker BRANDES & KRÜGER (1826), in Kenntnis der Eigenschaften von Sauerstoff und kohlensaurem Gas, nochmals umfangreiche chemische Versuche in der Dunsthöhle aus, und Ärzte untersuchten dort die Wirkung unterschiedlicher Kohlensäuregehalte der Luft auf Tier und Mensch (F. STEINMETZ 1833, C. F. v. GRÄFE 1842)[5]).

Die physikalischen Bedingungen, unter denen die Kohlensäure im Untergrund der Dunsthöhle aus Säuerlingswässern entweicht, sind erstmals von G. BISCHOF (1847) eingehend untersucht worden. Damit war in der Erforschung des Kohlensäurevorkommens in der Dunsthöhle ein dem damaligen Stand der Naturwissenschaften entsprechender Abschluß erreicht worden.

---

[5]) Der Austausch zwischen dem Luftsauerstoff und der im Blut angereicherten Kohlensäure, der sich in der Atmung vollzieht, wird erschwert, wenn sich der CO_2-Gehalt der Luft dem Betrage von 5% nähert; bei 8% kommt er zum Stillstand. (Die ausgeatmete Luft enthält etwa 4%, die Atmosphäre 0,03% CO_2.)

Frühzeitig war auch die Frage nach der Herkunft der Kohlensäure gestellt worden, zu der allerdings Beobachtungen am Ort der Dunsthöhle nichts beitragen konnten. Der oben genannte J. DE LUC hatte im Untergrund von Pyrmont einen erloschenen Vulkan angenommen und auf diesen die Mineralquellen mit ihrer fixen Luft zurückgeführt. Später erörterte G. BISCHOF (1826) die chemische Herkunft der Kohlensäure aus tiefliegenden, vulkanisch erhitzten Kalk- und Dolomitgesteinen, womit das aus ihnen entbundene CO_2 dem Stoffkreislauf an und unter der Erdoberfläche angehören würde. TH. MENKE (1840) wandte diese Anschauungen auf die Kohlensäure der Pyrmonter Quellen an.

Diese und andere, seitdem aufgetretene Annahmen über die Herkunft der Kohlensäure sind im Jahre 1920 von P. HÜLSENBECK erörtert worden, wobei er sich der inzwischen in den Vordergrund gerückten Annahme der vulkanischen Herkunft anschloß. Von der damals schon fast ein Jahrhundert alten Kenntnis ausgehend, daß CO_2 als letztes Produkt der Entgasung von Lava erst bei deren Abkühlung auf 100° C auftritt, versuchte er, die Tiefenlage des Kohlensäureherdes unter Pyrmont zu bestimmen. Unter Voraussetzung einer Gesteinstemperatur von 100° C und der normalen geothermischen Tiefenstufe (1° Temperaturzunahme auf 30 bis 35 m Tiefenzunahme) schloß er auf einen magmatischen Gesteinskörper, dessen Aufstieg in 3000—4000 m Tiefe endete und der dort bei Abkühlung auf 100° C Kohlensäure abgebe. Diese — bisher letzte — Aussage über die Herkunft der Kohlensäure im Untergrund von Pyrmont ist häufig wiedergegeben worden, bedarf aber einer anderen Fassung.

IV. Herkunft und Verhalten der Kohlensäure

Die folgende Darstellung versucht, eine Gesamtschau der Naturverhältnisse des Kohlendioxidvorkommens in der Dunsthöhle zu geben; sie erstreckt sich — in gebotener Kürze — auf die Herkunft der Kohlensäure bzw. der Säuerlinge im allgemeinen und besonders im Untergrund von Bad Pyrmont, auf ihren Aufstieg zur Erdoberfläche, auf die örtliche Herkunft des trockenen Kohlendioxids der Dunsthöhle und auf dessen Verhalten beim Übergang in die Atmosphäre.

Die Herkunft der Kohlensäure

Es bedarf keiner Erörterung, daß das trockene Kohlendioxid der Dunsthöhle ständig aus den noch nicht zutage getretenen Säuerlingswässern entweicht. Die Frage nach der Herkunft der Kohlensäure erweitert sich also zu der nach der Herkunft der Pyrmonter Säuerlinge überhaupt. Daß diese — durch den Kohlensäuregehalt bedingt — aus großer Tiefe emporsteigen, unterliegt keinem Zweifel. Das überwiegende Vorkommen der Säuerlinge im Bereich des tertiären Basaltvulkanismus gilt seit langer Zeit als Anzeichen für deren vulkanische Herkunft. Die Pyrmonter Säuerlinge liegen zwar außerhalb der Basaltverbreitung, aber ihr Gehalt an Schwermetallen kennzeichnet sie als Abkömmlinge des

Tiefenvulkanismus. — Eine mögliche Beteiligung von Kohlensäure aus der Zersetzung karbonatischer Gesteine läßt sich mit dem Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope $^{12}C/^{13}C$ nachprüfen.

Nach einer Untersuchung von W. STAHL (1971) an der Helenenquelle von Bad Pyrmont ist das dort entweichende CO_2 großenteils magmatischer Herkunft; der Rest wird auf thermische Zersetzung tiefliegender Kalksteine zurückgeführt.

Die magmatische Kohlensäure stammt zusammen mit dem Basalt aus der Unterlage der Kontinentalschollen, dem oberen Erdmantel, dessen Material unter den in ihm herrschenden hohen Druck- und Temperaturverhältnissen nicht kristallin, sondern von glasartiger Beschaffenheit ist und sich — nach Erdbebenbeobachtungen — wie ein Festkörper verhält. Darin kommt es unter Druckentlastungen (durch Spaltenbildung und Verschiebungen in den Kontinentalschollen) zu örtlichen Aufschmelzungen, bei denen aufstiegsfähiges Magma — der Grundstoff der vulkanischen Gesteine und Gase — entsteht. Es ist anzunehmen, daß das aufsteigende Magma seinen Platz mit absinkenden Krustenteilen getauscht und noch im tieferen Untergrund einen Raum eingenommen hat, in dem es langsam erstarrt und Gase abgibt. Das ist der Kohlensäure-Herd im engeren Sinne.

HÜLSENBECK hatte seinem — bewußt hypothetischen — Versuch, die Lage des Kohlensäureherdes zu bestimmen, ältere Beobachtungen an abgekühlter Vesuv-Lava zugrunde gelegt. Die Entgasung eines Magmakörpers in einigen Kilometern Tiefe kann aber nicht mit der von Lava an der Erdoberfläche gleichgesetzt werden. Für den Ort des Kohlensäureherdes kommt etwa ein unterhalb der Mindesttiefe von 3000 m gelegenes, nicht genauer bestimmbares Stockwerk von einigen Kilometern Tiefenerstreckung in Betracht (vgl. CARLÉ 1958).

Im Raume Pyrmont verteilen sich die Bohrungen mit Kohlensäurevorkommen in Tiefen von 1000 m und mehr auf die Strecke zwischen der Emmer bei Ösdorf und dem 8 km nordwestlich davon gelegenen Dorf Sonneborn; sie befinden sich damit in der Achsenregion einer flachen Schichtenaufwölbung, die — mit einem Schichtenfallen von 5 bis 10° auf den Flanken — den geologischen Bau der näheren Umgebung von Pyrmont beherrscht. In der Kernregion dieser Aufwölbung in mehreren Kilometern Tiefe ist der magmatische Gesteinskörper zu vermuten, der die Kohlensäure abgibt.

Der Aufstieg der Säuerlinge

Aus dem Kohlendioxid, das zunächst gasförmig aus dem Magmakörper entweicht, und aus Wasserdampf derselben Herkunft gehen — unter Hinzutritt vadosen Wassers — die Säuerlinge hervor; diese steigen nach den von R. KAMPE (1922) erkannten physikalischen Gesetzen zur Erdoberfläche auf. In den Heilquellen am Fuße des Bombergs treten sie auf einer Strecke von 600 m

Länge zutage. (Von den Quellen, die in verstreuter Lage in der Emmerniederung südöstlich der Stadt in meist geringer Tiefe erbohrt worden sind, ist dabei abzusehen.)

Die naheliegende Vorstellung, der Aufstieg der Pyrmonter Säuerlinge vollziehe sich bis zum Austritt an der Erdoberfläche in etwa lotrechten Bahnen, bedarf aus geologischen Gründen einer Einschränkung, die auch den Weg der Kohlensäure zur Dunsthöhle betrifft.

Im Untergrund der Stadt liegt unter der Buntsandsteinformation, wie die Bohrungen Pyrmont 1 und 2 nachgewiesen haben, ein mehr als 200 m mächtiges Steinsalzlager der Zechsteinformation. Die Quellen am Bomberg würden mit einem vertikalen Aufstieg das Salz durchdringen müssen und könnten nicht so salzarm sein, wie sie wirklich sind. Das Salzlager ist für die Säuerlinge undurchdringlich, keilt jedoch gegen ein westlich der Stadt gelegenes Gebiet der Salzauslaugung aus; dort können die aufsteigenden Säuerlingswässer die Zechsteinschichten passieren, ohne Salz zu berühren. Näher der Erdoberfläche werden sie von einer praktisch undurchlässigen Decke von Rötmergeln seitwärts gelenkt und gelangen mit einem flachen Schichtenanstieg zu den weiter östlich über dem Salz gelegenen Austrittsstellen (R. HERRMANN 1969 a, b).

Im Vorgelände des Bombergs folgen diese Wässer Zerrüttungszonen entlang Verwerfungslinien und treten an diesen in den obersten Schichten des Mittleren Buntsandsteins in Quellen aus. Dem Geländeanstieg zum Helvetiushügel entsprechend liegen die Quellen in ostwärts zunehmender Höhenlage, zuletzt die Säuerlingsquelle (121 m + NN) und die wenig tiefer, aber weiter östlich liegende, ebenfalls Kohlensäure führende Eichenkellerquelle. 155 m nördlich von dieser und etwa 10 m höher befindet sich der Kohlensäureaustritt am Boden der Dunsthöhle (129,7 m + NN).

In den Gesteinsklüften, in denen sich die Säuerlingswässer bewegen, entweicht aus diesen — infolge Druckentlastung und Abkühlung bei Annäherung an die Erdoberfläche — gasförmige Kohlensäure. Oberhalb der Wasserfüllung der Klüfte bilden die CO_2-führenden Kluftteile in ihrer Gesamtheit eine Art Gaskappe (ähnlich derjenigen, die bei Herste durch Bohrungen erschlossen ist, vgl. K. FRICKE 1963, 1968).

Über die horizontale Erstreckung der Gaskappe geben ältere Nachrichten vom Antreffen gasförmiger Kohlensäure einen knappen Anhalt (BRANDES & KRÜGER 1826, S. 16 und 156). Eine Fundstelle lag etwa 100 m südlich der Dunsthöhle, eine andere in einem Steinbruch (vermutlich dem an der Schellenstraße) 350 m östlich von ihr, wo das Gas in 7 m Tiefe angetroffen wurde. Die gasführenden Klüfte erstrecken sich demnach in der Umgebung der Dunsthöhle über eine Fläche, die vermutlich mehrere (oder viele) Hektar groß ist. — Für die Entgasung kommt es auf die Gesamtfläche der Wasserspiegel in den Gesteins-

klüften an, die sich aus der Anzahl der Klüfte, ihrer Länge und ihrer Breite ergibt; sie kann nur auf unbestimmbar viele Quadratmeter veranschlagt werden.

Die Höhe, bis zu der die Klüfte wassererfüllt sind, ist etwa durch die Auslaufhöhe der Mineralquellen am Bomberg gegeben. Aus den unterschiedlichen Höhenlagen der Quellen ist zu schließen, daß es keinen einheitlichen Kluftwasserspiegel gibt. Das Gas-Stockwerk unter der Dunsthöhle scheint also nur wenige Meter hoch zu sein (Abb. 7).

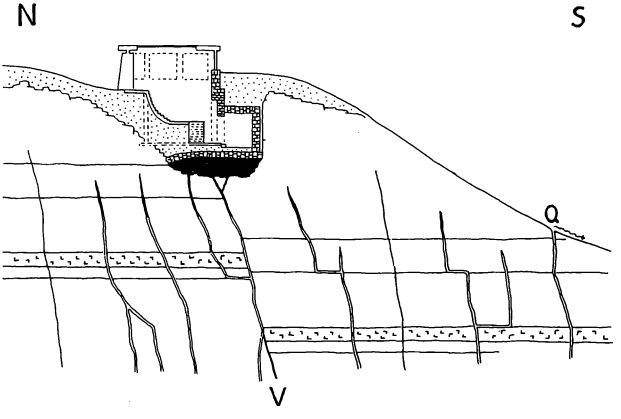


Abb. 7: Schnitt durch die Dunsthöhle (mit dem überdachten Vorkeller und dem von SEIP erbauten gaserfüllten Gewölbe (schwarz) unter beiden; im Untergrund gas- und wasserführende Klüfte; punktiert = planierter Steinbruchschutt und Auffüllung. Q = Säuerlingsquelle, V = Verwerfung. Schematisch.

Im Gegensatz zu den Mofetten auf vulkanischem Boden, deren CO_2 unmittelbar aus dem Gestein hervorgeht[6]), kann der Austritt des gasförmigen Kohlendioxids in der Dunsthöhle, das aus Säuerlingswässern entweicht, als Sekundärmofette bezeichnet werden.

Wie oben bemerkt wurde, befindet sich unter der Dunsthöhle ein Hohlraum, der durch Überwölbung des unteren Teiles der früheren Steinbruchvertiefung entstanden ist. Es ist zu vermuten, daß dieses Gewölbe zum Teil unter

[6]) In der Hundsgrotte bei Neapel entweicht das CO_2 dem vulkanischen Gestein mit einer Temperatur von 22 bis 29° C. Die Herkunft dieser Kohlensäure wird auf tiefliegende Kalksteine zurückgeführt, aus denen sie durch vulkanische Wärme abgespalten wird (W. CARLÉ 1965 u. a.). Damit wäre dieses CO_2 nicht im engeren Sinne magmatischer Herkunft.

der Dunsthöhle liegt und sich noch unter den Vorkeller erstreckt und damit größer als das etwa 7,4 m³ große Gewölbe der Dunsthöhle ist[7]).

Dieser Hohlraum ist mit gasförmigem CO_2 gefüllt, das er aus Gesteinsklüften empfängt und durch Fugen seiner Decke abgibt. Da das CO_2 wegen seiner Schwere keinen Auftrieb hat, muß vorausgesetzt werden, daß der Gasdruck sowohl in dem Hohlraum wie auch in den Zubringerklüften größer als der Luftdruck ist.

Austritt und Zerstreuung der Kohlensäure

Das Kohlendioxid tritt = entsprechend seiner Herkunft — vermutlich noch rein in der Dunsthöhle aus und mischt sich in dieser durch Diffusion mit der Luft. Der CO_2-Gehalt des Gasgemisches nimmt dabei nach oben gesetzmäßig ab. Sofern man von einer Höhe der Dunstschicht spricht, wird diese etwa durch eine Horizontale abgegrenzt, an der die Atmung erschwert wird oder — wenig tiefer = Flammen erlöschen. Zwischen der Sohle der Dunsthöhle und diesem Grenzniveau (und weiterhin bis zur freien Luft mit 0,03% CO_2) besteht ein Gefälle der CO_2-Konzentration, das mit der wechselnden Höhe der Dunstschicht veränderlich ist. Die Ursachen des Wechsels der Höhe werden im folgenden erst nach der Betrachtung physikalischer Einzelverhältnisse des CO_2-Luft-Gemisches behandelt.

Schon WESTRUMB (1787) hatte vermutet, daß der Dunst in der Höhle nicht reine „fixe Luft" sei, sondern einen Anteil an „gemeiner Luft" enthalte. Die Zusammensetzung des Gasgemisches in verschiedenen Höhen ist von BRANDES & KRÜGER in den Jahren 1822/25 mit dem Humboldtschen Anthracometer genauer untersucht worden. In der Höhe, wo Kerzen erlöschen, ergab sich ein CO_2-Gehalt von $13^1/_2$%[8]), hingegen am Boden unter einer knapp 1 m hohen Dunstschicht ein CO_2-Anteil von $36^2/_3$% und unter 4 m Dunst ein solcher von 48%, bei einer Dichte des Gasgemisches von etwa 1,25 (die Dichte des reinen CO_2 ist 1,529).

Die Menge des Kohlensäuregases, das in einer Dunstschicht von z. B. 1,70 m Höhe enthalten ist, errechnet sich zu rund 17,5 m³, wobei der Rauminhalt der Dunsthöhle (einschließlich Vorkeller) bis zur angegebenen Höhe mit etwa 44 m³ und der mittlere CO_2-Gehalt mit 40% vorausgesetzt ist.

---

[7]) Trotz der Vergessenheit, in die dieser Hohlraum geraten ist, wären Zweifel an SEIPs Mitteilung unbegründet. Es wäre aber wünschenswert, diesen Hohlraum durch eine — eng begrenzte — Aufwältigung zu öffnen, um Untersuchungen des Gasinhaltes (Zusammensetzung, Druck, Temperatur) auszuführen. Naheliegende Gründe lassen es jedoch geraten erscheinen, von einem solchen Eingriff abzusehen.

[8]) CAVENDISH hatte festgestellt, daß Kerzen bereits bei 10,5% CO_2-Gehalt des Gemisches erlöschen — vgl. BRANDES & KRÜGER 1826, S. 172.

Die alten Berichte sprechen von schnellen Veränderungen der Höhe des Dunstes, insbesondere von einem schnellen Anstieg aus tiefem Stand, der auf entsprechende Zufuhr von CO_2 schließen läßt. Die CO_2-Menge, die in der Zeiteinheit am Boden der Dunsthöhle austritt, scheint demnach zu schwanken — etwa mit Unterschieden zwischen dem Gasdruck des Kluftwassers und dem des darüberstehenden Kohlendioxids, vermutlich auch mit der Schüttung der Säuerlinge —, ist aber, wie auch der vermittelnde Einfluß des unterirdischen Hohlraumes auf den Entgasungsvorgang, nicht näher zu bestimmen.

Eine Ergiebigkeitsangabe, die sich in einer älteren Informationsschrift über die Dunsthöhle befindet, beruht auf einer Verwechslung mit dem Brodelbrunnen, der 1834 nach einer Messung mit Hilfe eines über ihn gestülpten Abzugtrichters 70 l/min CO_2 abgab. — Zum Vergleich sei bemerkt, daß der Helenenquelle (nach dankenswerter Mitteilung des Staatsbades Pyrmont) bis zu 200 l/min CO_2 für Gasbäder entnommen werden können.

Bei der Untersuchung einiger Pyrmonter Quellen auf Radioaktivität haben SCHAEFER & SEEBOHM (1908) im Gasgemisch der Dunsthöhle einen positiven Nachweis erhalten; nach einer Angabe von W. DIENEMANN (1961) handelt es sich um Radon. Das gasförmige Radon (früher Radium-Emanation genannt), ein Zerfallsprodukt des Radiums, ist im aufsteigenden Säuerlingswasser an CO_2 gebunden und gelangt mit diesem in die Dunsthöhle. (Die Höhe des Radon-Gehaltes, die nach den Bäder-Begriffsbestimmungen für die Bezeichnung „radon-haltig" erforderlich wäre, wird in den Quellen nicht erreicht.)

Den Barometerstand unter einer etwa 3/4 m hohen Dunstschicht fanden BRANDES & KRÜGER im Vergleich zu dem Luftdruck über ihr um 1/6 mm erhöht, bedingt durch die Menge und Dichte des in der Dunstschicht angesammelten CO_2.

Die Temperaturverhältnisse in der Dunsthöhle sind mehrfach untersucht worden. Einige Daten — die älteren auf C-Grad umgerechnet — sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Datum	Höhe des Dunstes	Temperatur im Dunst am Boden	Temperatur in der freien Luft	Autor
2. 8. 1783	4,85 m*)	16,1° C	31,1° C	MARCARD
7. 8. 1783	niedrig	16,4° C	23,9° C	MARCARD
20. 5. 1824	1,4 m	8,4° C	10,6° C	BRANDES & KRÜGER
Winter 1824	niedrig	4,0° C	2,5°C	BRANDES & KRÜGER
6. 2. 1970	0,2 m**)	2,1° C**)	— 1,2° C	R. HERRMANN

*) bis zur Höhe der Abschlußmauer und des Randes der umgebenden Grube
**) in der Dunsthöhle

Man hat es früher bemerkenswert gefunden, daß der Dunst im Sommer kühler, im Winter aber wärmer war als die Luft darüber; seine Temperatur liegt also zwischen beiden Extremen. Das Kohlendioxid entweicht aus Quellwässern, die bei ihrem Austritt — also auch kurz vorher — Temperaturen zwischen 10,2 und 12,4° C haben; man darf annehmen, daß das CO_2 zuletzt die Temperatur des unteren Gewölbes annimmt, die bereits den Schwankungen des jahreszeitlichen Mittels der Lufttemperatur unterliegt. Bei der Mischung mit der Luft am Boden der Höhle nähert sich die Temperatur des Gemisches der jeweils höheren oder tieferen Lufttemperatur, ohne diese zu erreichen.

Die früheste Erfahrung in der Dunsthöhle war die Beobachtung, daß die Höhe der Dunstschicht häufig wechselt. Das Gasgemisch kann zeitweilig die Höhle und ihren Vorraum bis zur Höhe des umgebenden Erdbodens füllen, andererseits aber auch nur den Boden der Höhle bedecken und in dem Keller, der 33 cm höher liegt, völlig verschwinden. In der ziemlich weiten amphitheatralischen Grube des vorigen Jahrhunderts stand der Dunst meistens nur 30 bis 60 cm hoch über dem Boden des Vorhofs; in dem gegenwärtigen engeren Keller reicht er gewöhnlich 1,5 bis 2 m hoch.

Über Beobachtungen der wechselnden Höhe des Dunstes hat schon SEIP berichtet; er hat auch die zeitliche Übereinstimmung dieses Wechsels mit dem Steigen und Schwinden desselben Dunstes über dem damals offenen Spiegel der Pyrmonter Säuerlinge bemerkt (SEIP 1750, S. 150—156). Eingehende Angaben über die wechselnde Höhe des Dunstes hat H. MARCARD (1784) mitgeteilt. BRANDES & KRÜGER (1826) haben mehrere Monate lang täglich zu verschiedenen Zeiten unter Beachtung der Witterung die Höhe des Dunstes ermittelt. Weitere Beobachtungen, die auch den Stand der Himmelskörper einbezogen, erwähnte MENKE 1840. Aufzeichnungen darüber sind nicht überliefert.

Aus den Angaben der genannten Autoren ist folgendes zu entnehmen:

1. Im Winter hat der Dunst niemals die Höhe wie zu anderen Zeiten des Jahres;
2. im Sommer steht der Dunst sehr hoch bei warmer, trockener Witterung mit Windstille oder geringer Luftbewegung;
3. sehr niedrig steht der Dunst bei kühlen westlichen Winden und bei Regen;
4. häufig wurde bemerkt, daß der Dunst bei heiterem Wetter morgens besonders hoch stand, weniger auch abends, besonders niedrig aber mittags, wenn die Sonne in die amphitheatralische Grube schien;
5. bei Herannahen eines Gewitters steigt der Dunst besonders stark an, sinkt aber nach dessen Ausbruch;
6. der Wechsel des Luftdrucks ist im allgemeinen ohne Einfluß auf den Stand des Gasgemisches.

In der wechselnden Höhe des Dunstes überlagern sich die Wirkungen des Jahresganges der Witterung, des Tagesganges und des unperiodischen Witterungsablaufes. Für die Beziehungen zwischen dem Stand des Dunstes und einigen Witterungsfaktoren seien im folgenden einige Beobachtungen mitgeteilt:

Sommerliche Hochstände des Gasgemisches bei hoher Lufttemperatur sind häufig mit hohem Luftdruck, schwachem Wind und geringer relativer Luftfeuchtigkeit verbunden, wobei die Lage des Hochdruckkernes und die Windrichtung — Azoren-Hoch mit SW-Wind, Osteuropa-Hoch mit SE-Wind — ohne Einfluß sind. Bei antizyklonalen, aber sonst unterschiedlichen Wetterlagen mit mittäglichen Lufttemperaturen zwischen 19 und 26° C betrug

am 3. 9. 1969 die Dunsthöhe 2,80 m bei Luftdruck 1020 mb[9])
am 12. 9. 1969 die Dunsthöhe 3,20 m bei Luftdruck 1013 mb
am 8. 10. 1969 die Dunsthöhe 3,00 m bei Luftdruck 1025 mb
am 21. 6. 1970 die Dunsthöhe 2,85 m bei Luftdruck 1025 mb

Sommerliche Tiefstände des Gasgemisches können ebenfalls bei hohem Luftdruck eintreten. Bei NE-Wind, hoher Luftfeuchtigkeit, Hochnebel und fallender Temperatur betrug

am 29. 5. 1968 die Dunsthöhe 0,5 m bei Luftdruck 1025 mb

und bei NW-Wind betrug

am 17. 7. 1970 die Dunsthöhe 1,00 m bei Luftdruck 1022 mb

Bei winterlichem Tiefstand am 6. 2. 1970 und CO_2-freiem Keller erlosch die Kerze in der Höhle in 25 cm Höhe über dem Boden, und die Lufttemperatur am Boden betrug + 2,10° C; gleichzeitig hatte die freie Luft — 1,2° C, und der Luftdruck — bei W-Wind — betrug 1012 mb.

Hohe und tiefe Stände des Gasgemisches können also bei gleichem Luftdruck auftreten. Für die wechselnde Höhe des Gasgemisches sind also Luftdruckunterschiede als direkte Ursache auszuschließen. Andererseits bedarf die Einwirkung des Windes, der Schwaden des Dunstes entführen kann, keiner Erörterung. Bei ruhiger Luft tritt ein anderer Faktor hervor:

Das Gasgemisch in der Dunsthöhle (einschließlich des Vorkellers) erhält Zufuhr von CO_2 — vermutlich in wechselnder Menge — aus dem Untergrund bzw. aus dem unterirdischen Gewölbe und gibt es durch Diffusion an die freie Atmosphäre ab. Die Höhe des Gasgemisches ergibt sich aus dem jeweiligen Verhältnis zwischen der CO_2-Zufuhr und der Diffusion. Diese ist als Folge der Molekularbewegung der Gase abhängig vom Temperaturunterschied

[9]) Reduzierte Luftdruckwerte nach der Berliner Wetterkarte; 1013 mb entsprechen 760 mm Hg.

zwischen Luft und Gasgemisch, vom Unterschied der Molekulargewichte der beteiligten Gase und vom Gefälle der CO_2-Konzentration vom Boden der Dunsthöhle bis zur freien Luft.

Hinsichtlich des Einflusses der Temperatur, von der die Molekulargeschwindigkeiten der beteiligten Gase und damit deren gegenseitige diffusive Durchdringung abhängen, ergibt sich folgendes:

Bleibt das Gasgemisch (im Schatten des Kellers) bei Erwärmung der freien Luft kühler, so sind die (ohnehin schwereren) CO_2-Molekel langsamer als die O_2- und N_2-Molekel der darüber stehenden Luft; ihr Übergang zu dieser verzögert sich, und das CO_2 steigt infolge der weiteren Zufuhr höher an, bis sich bei hohem Stand ein neues Gleichgewicht zwischen CO_2-Zufuhr und -Abgabe einstellt.

Ist im Winter das Gasgemisch im Keller wärmer als die Luft, so ist auch seine Molekularbewegung vergleichsweise lebhafter, das CO_2 geht schneller als im Sommer in die Luft über und die Dunstschicht im Keller bleibt niedrig.

Für die Überprüfung dieser Zusammenhänge in einzelnen Witterungssituationen bzw. bei Veränderungen der Höhe des Dunstes und für die Ermittlung der Abhängigkeit dieser Höhe bzw. der Diffusion von weiteren Faktoren wären instrumentelle Beobachtungen erforderlich, die noch ausstehen.

Zum Schluß drängt sich noch eine Bemerkung auf:

Nach früheren Beobachtungen besteht zwischen der CO_2-Entwicklung in der Dunsthöhle und der an den Säuerlingsquellen ein Zusammenhang. Das führt auf die Frage nach dem Verhalten der Kohlensäure in der Zeit, bevor diese in dem Steinbruch und in der Dunsthöhle Abzug ins Freie erhielt. Die Gesteinsklüfte im Untergrund des Steinbruches waren sicherlich auch früher mit CO_2 erfüllt. Sofern das CO_2 damals nicht in diffuser Verteilung unbemerkt aus dem Boden in die Luft gelangte, konnte es bei Sättigung der Klüfte und ständiger Zufuhr in den aufsteigenden Säuerlingswässern nur durch deren Quellen selbst entweichen. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß diese früher eine stärkere CO_2-Entgasung gezeigt haben. In dieser Weise können — mehr oder weniger — die älteren Nachrichten über eine stärkere Entgasung des Brodelbrunnens ausgelegt werden, dessen Brodeln in den Jahrhunderten, aus denen die ersten Nachrichten über ihn vorliegen, „auf Armbrustschußweite" zu hören war.

Schrifttum

BISCHOF, G.: Die vulkanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs. — 412 S., 1 Taf., Bonn (Ed. Weber) 1826.

—: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, Band I. — 990 S., 22 Abb., 2 Taf., Bonn (Marcus) 1847.

BRANDES, R., & F. KRÜGER: Neue physikalisch-chemische Beschreibung der Mineralquellen zu Pyrmont. — 382 S., 1 Taf., 2 Ktn., Pyrmont (Uslar) 1826.

CARLÉ, W.: Kohlensäure, Erdwärme und Herdlage im Uracher Vulkangebiet und seiner weiteren Umgebung. — Z. dtsch. geol. Ges., **110,** S. 71—101, 5 Abb., 1 Taf., Hannover 1958.

—: Die Mineral- und Thermalwässer am Golf von Neapel. — Geol. Rdsch., **54,** S. 1261—1313, 18 Abb., 2 Taf., Stuttgart (Enke) 1965.

DE LUC, J.: Lettres physiques et morales sur l'histoire de la Terre etc. Tom. 1—5, Paris 1779.

DIECKMANN, C.: Die Dunsthöhle, ein Naturphänomen in Bad Pyrmont. — 11 S., Selbstverl., o. O., o. J.

DIENEMANN, W., & K. FRICKE u. a.: Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. — Veröff. nieders. Inst. Landesk., Reihe A I **5,** Abt. 5, 476 S., 52 Abb., Göttingen 1961.

FRICKE, K.: Vergleichende Betrachtungen über Druck- und Mengenverhältnisse in CO_2-Gas-Vorkommen unter besonderer Berücksichtigung genutzter Mofetten. — Heilbad u. Kurort, **15,** S. 12—17, 2 Abb., Gütersloh 1963.

—: Zur Entstehung von CO_2-Gas-Lagerstätten. — XXIII. Intern. Geol. Kongr. **17,** Genesis of Mineral and Thermal Waters, S. 205—212, 2 Abb., Prag 1968.

GRÄFE, C. F. v.: Die Gasquellen Süditaliens und Deutschlands. — XX + 605 S., Berlin (G. Reimer) 1842.

HERRMANN, R.: Die Heilquellen von Bad Pyrmont, ihre Beschaffenheit und ihre Herkunft. — Neues Archiv Nds., **18,** S. 1—12, 2 Abb., Göttingen 1969 (a).

—: Die Auslaugung der Zechsteinsalze im niedersächsisch-westfälischen Grenzgebiet bei Bad Pyrmont. — Geol. Jb., **87,** S, 277—294, 6 Abb., 1 Taf., Hannover 1969 (b).

HÜLSENBECK, P.: Die Geologie des Pyrmonter Beckens sowie die Entstehung seiner Mineralquellen. — Jahrb. preuß. geol. Landesanst. f. 1918, **39,** I, S. 180—231, 2 Abb., 1 Kte., Berlin 1920.

KAMPE, R.: Zur Mechanik gasführender Quellen. — Ing. Ztschr. **2,** S. 1—8, Teplitz-Schönau 1922.

KOPP, H.: Geschichte der Chemie. — 4 Bde., Braunschweig 1843—47; Reprogr. Nachdruck, Hildesheim (Olms) 1966.

LOOSLI, M.: Faszinierende Vulkane. Ein Führer zu italienischen Kratern und Inseln. — 120 S., 44 Fotos, Zürich (Orell Füssli) 1963.

LYNCKER, F.: Altes und Neues über den Kurort Pyrmont und seine Mineralquellen. — 69 S., Pyrmont (Uslar) 1880.

MARCARD, H. M.: Beschreibung von Pyrmont, Band I. — 363 S., 8 Taf., Leipzig (Weidmanns Erben u. Reich) 1784.

—: Über die kochsalzhaltigen Mineralwässer zu Pyrmont und deren Arzneigebrauch. — XX + 132 S., Hamburg (Perthes) 1810.

MEHRDORF, W., & LUISE STEMLER: Chronik von Bad Pyrmont. — 564 S., Abb., Stadt Bad Pyrmont 1967.

MENKE, TH.: Pyrmont und seine Umgebungen. — 2. Aufl., XXII + 448 S., 1 Taf., 1 Kte., Pyrmont (Uslar) 1840.

SCHAEFER, M., & C. SEEBOHM: Untersuchungen über die Radioaktivität einiger Pyrmonter Quellen. 1. Mitteilung. — **86.** Jber. schles. Ges. f. vaterl. Cultur, II. Abt., a. naturwiss. Sektion, S. 4—11, 3 Abb., Breslau 1908.

SEIP, J. PH.: Beschreibung der Pyrmontischen Mineralwässer und Stahlbrunnen usw. — 4. Aufl., 548 S., 3 Taf., Hannover und Pyrmont (Försters u. Sohns Erben) 1750.

SEIP VON ENGELBRECHT, A.: Der Fürstl. waldeckische Leibmedikus Dr. med. Johann Philipp Seip in Pyrmont und seine Familie. — 74 S., 1 Bildn., 7 Taf., als Mskr. gedr., Eisenach 1938.

STAHL, W.: Isotopen-Analysen an Carbonaten und Kohlendioxid-Proben aus dem Einflußbereich und der weiteren Umgebung des Bramscher Intrusivs und an hydrothermalen Carbonaten aus dem Siegerland. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. **18,** S. 429—438, 1 Abb., 6 Tab., Krefeld 1971.

STEINMETZ, F.: Die Dunsthöhle bei Pyrmont. — v. Gräfe's u. v. Walther's Journ. f. Chirurgie u. Augenheilk., **20,** S. 52—75, Berlin (G. Reimer) 1833.

SZABADVARY, F.: Geschichte der analytischen Chemie. Deutsche Bearb. v. G. KERSTEN. — 410 S., 100 Abb., Braunschweig (Vieweg) 1966.

ULRICH-HANNIBAL, H.: Unsichtbares Naturwunder. Die Pyrmonter Dunsthöhle. — Heimatland, Jg. 1964, S. 212—214, Hannover (Heimatbund Niedersachsen e. V.) 1964.

WEDEPOHL, K. H.: Die tertiären Basaltgesteine im nördlichen Hessen und südlichen Niedersachsen. — „Der Aufschluß", 17. Sonderheft, S. 112—120, 2 Tab., 1 Kte., Heidelberg 1968.

WESTRUMB, J. F.: Von der Dunsthöhle zu Pyrmont. — In: Kl. physik.-chem. Abh., **2,** 1, S. 207—224, Leipzig (J. G. Müller) 1787.

—: Versuch eines Beitrages zur Sprachbereicherung für die deutsche Chemie. — In: Kl. physik.-chem. Abh., **3,** 2, S. I—CCCII u. 1—335, Hannover (Gebr. Hahn) 1793.

ZOCHER, F.: Der Kampf um die Dunsthöhle von Pyrmont. — Heimatland, Jg. 1971, S. 110 bis 114, 1 Abb., Hannover (Heimatbund Niedersachsen e. V.) 1971.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1971

Band/Volume: 115

Autor(en)/Author(s): Herrmann Rudolf

Artikel/Article: Natur und Geschichte der Dunsthöhle in Bad Pyrmont 15-35