

Möller G. u. E., Goldstadt Reiseführer — Thailand, Goldstadt Verlag, Pforzheim 1974, Bd. 206, S. 208, 214, 215, 216.

Trimmel H., Höhlenkunde, Friedr. Vieweg & Sohn GmbH., Braunschweig 1968, S. 266.

Vietsch v. E. & Geyer R., Weltreise. Novaria Verlag GmbH. & Co. KG., München 1972, Bd. VII, Heft 128, S. 416.

## Bemerkungen zum Excentriquesproblem

Von Fritz Reinboth und Friedrich Göbel (Braunschweig)

### 1. Einleitung

Die Entstehung der Excentriques bildet unter Höhlenforschern schon lange eines der ergiebigsten Gesprächsthemen. Neuere Untersuchungen von KRAMM und LINDNER an Excentriques aus der Söhnstettener Excentriqueshöhle (11) sowie der Verfasser an solchen aus dem Winterberg im Harz (7) haben in allen wesentlichen Punkten die Richtigkeit der „erweiterten Kapillartheorie“ von ANDRIEUX (1) erwiesen. Nach ANDRIEUX erfolgt die Lösungszufuhr primär durch eine im Inneren jedes Excentrique vorhandene Kapillare und sekundär durch Transport von Lösung über die Oberfläche durch Spreitung<sup>1</sup>. Dabei ist die Lösungszufuhr durch die Kapillare für das Längen- und die Spreitung für das Dickenwachstum verantwortlich. Folglich ist die Kapillare zum Wachstum eines Excentriques grundsätzlich erforderlich, während der Einfluß der Spreitung sehr unterschiedlich sein kann. Durch den jeweiligen Anteil der Spreitung wird der Excentriquesstyp (filiform bzw. vermiciform) bestimmt. Die durch die Kapillare transportierte Lösungsmenge wurde kürzlich von PECHHOLD (12) auch quantitativ ermittelt.

Neben der Kapillartheorie behauptet sich im einschlägigen Schrifttum (5, 8, 9, 13) noch immer die Spitzenentladungs- oder Schwebetröpfchentheorie von CSER und MAUCHA (4), nach welcher sich elektrisch geladene Lösungströpfchen durch elektrostatische Kräfte auf der Spitze der Excentriques festsetzen und so das Längenwachstum bewirken. Es erscheint daher angebracht, die Untersuchungen der Verfasser mitzuteilen und im Hinblick auf die Schwebetröpfchentheorie zu interpretieren.

<sup>1</sup> Unter Spreitung wird hier die Ausbreitung einer Flüssigkeit auf einer festen Oberfläche bis zur Ausbildung einer monomolekularen Schicht mit dem Randwinkel Null verstanden (14).

## 2. Die Kapillare

Das Vorhandensein der Kapillare wird von den Verfechtern der Schwebetröpfchentheorie immer wieder übersehen oder auf bestimmte Excentriquesarten beschränkt (2, 5, 8). Selbstverständlich gibt es Excentriques, bei denen die Kapillare nicht ohne weiteres nachweisbar ist, z. B. bei undurchsichtigen Exemplaren. Die Frage, ob die Kapillare integrierender Bestandteil eines Excentrique ist, lässt sich praktisch nur durch eine statistische Untersuchung klären. Die Verfasser haben deshalb eine größere Anzahl Excentriques verschiedener Größe, Beschaffenheit und Herkunft auf das Vorhandensein einer Kapillare überprüft. Die Nachweisquote bei den durchsichtigen Stücken beträgt 100%, bei den durchscheinenden 97,2%. Die folgende Tabelle zeigt Untersuchungsergebnisse an einer Serie von Excentriques aus Höhlen, die im Steinbruch Winterberg bei Bad Grund (Harz) angeschnitten wurden.

Tabelle 1: Verteilung der Erkennbarkeit der Kapillaren

Länge der Excentriques in mm	Durchsichtig			Durchscheinend			Undurchsichtig		
	10	10–20	> 20	10	10–20	> 20	10	10–20	> 20
Kapillare erkannt	637	103	22	110	23	5	—	—	—
nicht erkannt	—	—	—	2	2	—	132	2	—
Gesamtzahl	762			142			134		
Kapillare nicht erkannt	—			4			134		

Nach beidseitigem Anschleifen einiger der undurchsichtigen Excentriques zeigte sich auch bei diesen die Kapillare (7). Entsprechende Ergebnisse ergab die Untersuchung von 10 Bruchstücken durchsichtiger Excentriques, die unter Sintervorhängen der Höhle von Divača (Slowenien) aufgelesen wurden. Auch hier waren die Kapillaren ausnahmslos vorhanden.

Angesichts dieses Befundes erscheint der Versuch AUBRECHTS (2) problematisch, die Schwebetröpfchentheorie wenigstens für die von ihm so bezeichneten „Pseudofiliformes“ zu retten. Nach AUBRECHT sind Pseudofiliformes diejenigen Filiformes, welche durch Kondenswasser entstanden sind, die „keine Kapillare besitzen und auch keine besitzen können“. Leider bleibt AUBRECHT den Beweis für die Existenz solcher kapillarloser, aus Kondenswasser (!) entstandener Excentriques schuldig, obgleich er zahlreiche Bildungen der Erlacher Excentriqueshöhle als solche anspricht. Im übrigen erscheint es abwegig, für unmittelbar benachbart auftretende Gebilde gleicher Grundgestalt so völlig verschie-

dene Entstehungsursachen anzunehmen, wie sie Kapillar- und Schwebetröpfchentheorie beinhalten.

Die Entstehung primär kapillarloser Excentriques — sofern nicht entfernt ähnlich aussehende organogene Gebilde, wie sie bei Moostüffen und an Grubenhölzern vorkommen, zum Formenschatz der Excentriques gerechnet werden (8) — ist nach Ansicht der Verfasser auch physikalisch nicht zu begründen. Bereits die Erklärung der elektrischen Aufladung der Wasserteilchen, wie sie die Schwebetröpfchentheorie fordert, macht erhebliche Schwierigkeiten, wenn man die Gegebenheiten in Excentriqueshöhlen vor Augen hat. Der Lenardeffekt scheidet in allen uns bekannten Fällen aus, weil keine Wasserfälle vorhanden sind, jedenfalls nicht in der Nähe der Excentriquesvorkommen.

JENATSCHKE hält die Radioaktivität für den wahrscheinlichsten Faktor (9), ohne dafür Beweise vorzulegen. Von einigen Autoren in die Diskussion gebrachte Begriffe wie „Magnetismus“ oder „mikroelektromagnetische Vorgänge“ zeugen von gänzlicher Verwirrung. Wenn selbst die Schöpfer der Schwebetröpfchentheorie die Höhle ausdrücklich als feldfreien Raum bezeichnen (Zitat bei [9]), in welchem elektrostatische Kräfte überhaupt nicht auftreten können, so ist das Urteil über diese Theorie eigentlich schon gesprochen.

### 3. Das Auftreten von Excentriques an Sintervorhängen

Das Substrat der Excentriques wird nur selten vom anstehenden Kalkgestein, sondern in der Regel durch Sinter gebildet. Da das Gestein im Vergleich zum Sinter „dicht“ ist und eine Versorgung der Kapillare nur aus dem Substrat erfolgen kann, macht auch diese Beobachtung die Wichtigkeit der Kapillare für die Excentriquesbildung deutlich.

In den Höhlen von Planina und Divača (Slowenien) treten die Excentriques besonders gehäuft an den dortigen großen Sintervorhängen auf. Reichere und größere Excentriquesbildungen wurden dabei immer im Inneren der Vorhangfalten beobachtet, während die nach außen gekehrten Sinterflächen allenfalls Ansätze zeigen. Diese Tatsache widerspricht eindeutig der Schwebetröpfchentheorie, denn das Innere der Falten ist in elektrischem Sinn ein fast allseitig geschlossener Faraday'scher Käfig und somit ein elektrisch feldfreier Raum. Eine Spitzenentladung ist hier unmöglich.

### 4. Das Auftreten von „reflektierten Excentriques“

Eine weitere Beobachtung aus dem Excentriquesdom der Stalagmitenhöhle im Winterberg bei Bad Grund (Harz) ist mit der Schwebetröpfchentheorie gleichfalls nicht in Einklang zu bringen. Der Excentriquesdom war die höchstgelegene Halle der leider dem Kalkabbau zum Opfer gefallenen Höhle. Im Bereich der mit Excentriques förmlich über-



Abbildung 1: Deckenpartie aus dem Excentriquesdom der Stalagmitenhöhle im Winterberg bei Bad Grund (Harz). Breite des Bildausschnittes ca. 0,6 m. Foto: Reinboth

wucherten Firste dieser Halle (Bild 1) fanden sich zahlreiche, bis 200 mm lange Filiformes. Diese vollkommen geraden Gebilde waren meist durchsichtig und farblos; vorzugsweise traten sie in regulär versinterten Seitenklüften und kurzen Schloten auf. Hier bildeten ältere Tropfsteine das Substrat.

Ein an diesen Filiformes oft beobachtetes Phänomen ist das Auftreten von „Reflexionen“ an Hindernissen, die sich dem weiteren geradlinigen Wachstum in den Weg stellen. Das Ausweichen vor solchen Hindernissen, wie es AUBRECHT beschreibt (2) und wie es für die „Pseudofiliformes“ typisch sein soll, wurde hier nirgends beobachtet. Die Filiformes wachsen am Hindernis fest und bilden dann eine rückwärts gerichtete Fortsetzung (Bild 2). Die Fortsetzung besitzt eine neue Kristallorientierung (Bild 3) und stellt somit einen neuen Excentrique dar, der aber offenbar durch die Kapillare des auftreffenden versorgt wird. Auch in der Höhle von Divača lässt sich diese Erscheinung beobachten; AUBRECHT (2) beschreibt sie aus der Erlacher Excentriques-höhle und hält ein rechtwinkeliges Weiterwachsen für typisch, dessen Ursache er im Kristallaufbau sieht. Dies trifft für die von den Verfas-sern beobachteten Vorkommen (Winterberg, Divača) nicht zu; die Rich-

tung der Fortsetzung folgt hier vielmehr insoweit dem Reflexionsgesetz, als spitzwinkelig auftreffende Excentriques im spitzen Winkel und in stumpferen Winkel auftreffende sinngemäß in einem stumpferen Winkel weiterwachsen. Die Verfasser bezeichnen daher die Erscheinung als „Reflexion“ und die Gebilde selbst als „reflektierte“ Excentriques.

Die in den Excentriques vorhandenen Wachstumskappen gestatten auch bei Bruchstücken der Anwachsstelle eine eindeutige Unterscheidung von auftreffendem und reflektiertem Teilstück.

Die Erscheinung wurde nur bei Filiformes angetroffen. Weitere als die beschriebenen Gesetzmäßigkeiten wurden nicht festgestellt.

### 5. Die Spreitung

Der Oberflächentransport durch Spreitung hat für die Excentriquesbildung eine weit größere Bedeutung, als bisher angenommen wurde, obgleich BENDER (3) ihn allein dafür verantwortlich macht. Ohne diese Erscheinung könnte die Lösung aus der Kapillaröffnung gar nicht austreten. Jedes Dickenwachstum, wie es sich auch bei Filiformes in den Wachstumskappen (7, 10) zeigt, wäre ohne die Spreitung der Calcitlösung auf der Excentriquesoberfläche gar nicht möglich.

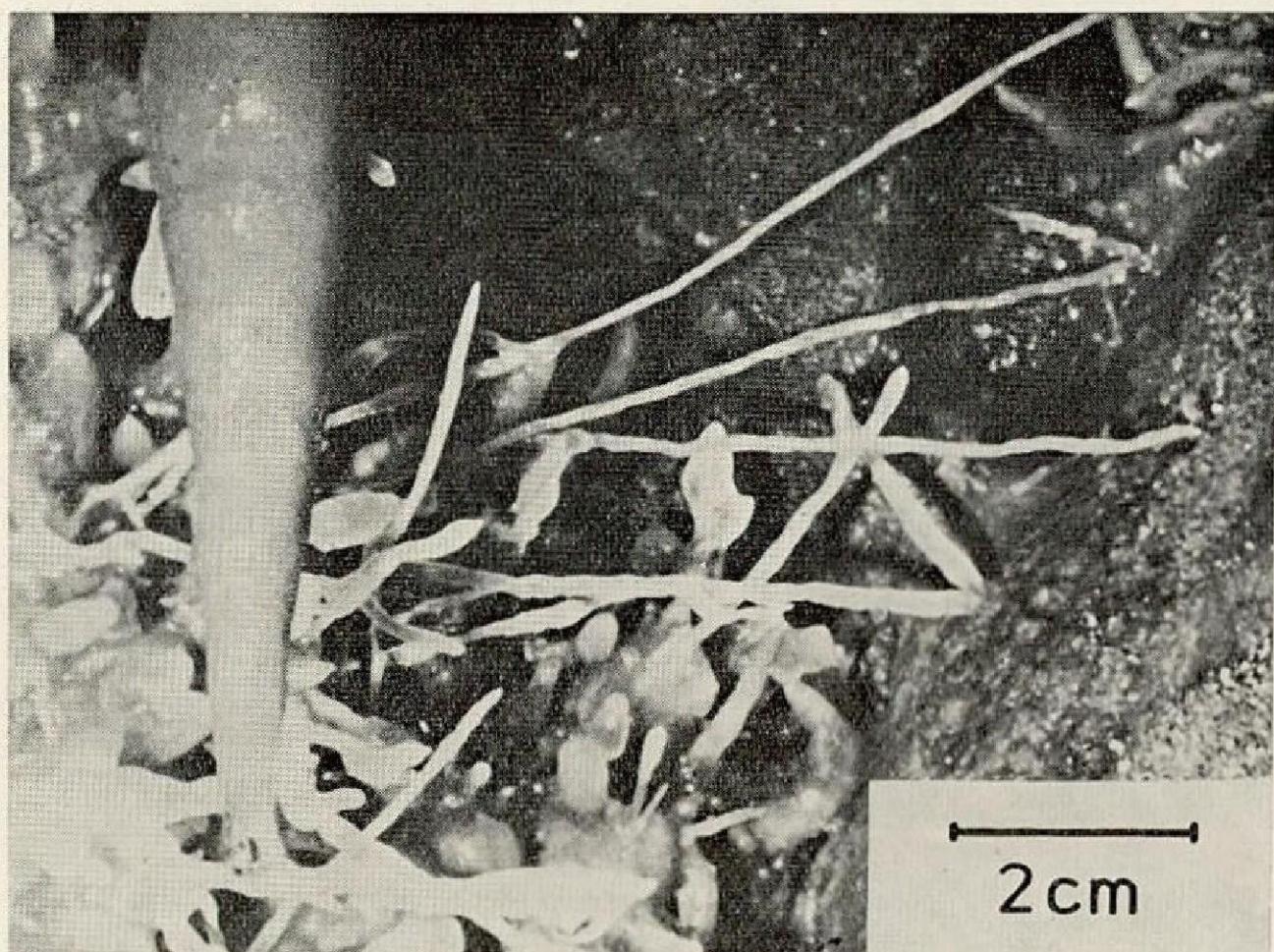


Abbildung 2: „Reflektierte Excentriques“ aus dem Excentriquesdom der Stalagmitenhöhle. Foto Reinboth.

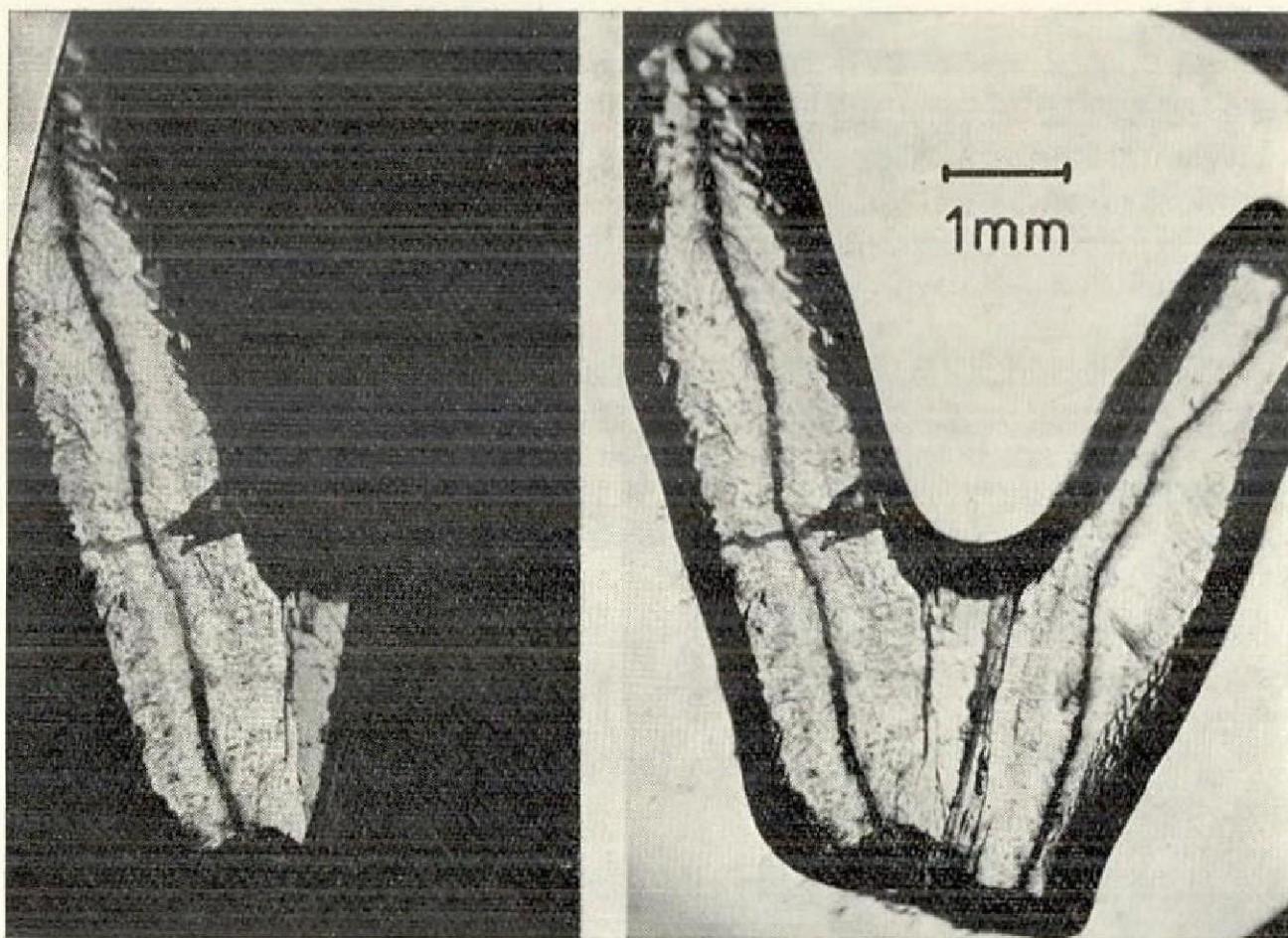


Abbildung 3: Anwachspartie eines „reflektierten“ Excentrique. Die Lage der Wachstumskappen (links oben und rechts unten im rechten Bild) zeigt die Wachstumsrichtung der beiden Teilstücke. Das linke Bild zeigt das gleiche Objekt im polarisierten Licht. Infolge verschiedener Kristallorientierung erscheint das auf-treffende Teilstück total ausgelöscht. Dickschliff in Hellfeldbeleuchtung. Fotos: Göbel.

ANDRIEUX (1) hat die Spreitung, die sowohl vom Substrat als auch von der Austrittsöffnung der Kapillare ausgeht, eingehend *in situ* beobachtet und beschrieben. BENDER (3) behauptet — ohne Einschränkungen zu machen und leider ohne Quellenangabe — daß der Randwinkel von Wasser auf Calcit  $0^\circ$  betrage, d. h. daß Wasser eine Calcitoberfläche bis zur Ausbildung einer monomolekularen Schicht benetzen, also spreiten würde. GMELIN (6) gibt Werte für den Randwinkel von Wasser auf Calcit nach LOMAN und ZWIKKER (1934) von  $87^\circ$  (!) bzw. — bei polierter Oberfläche — von  $71^\circ$  und nach SAMOCHWALOW und HELD (1936) von  $24^\circ$  an, wobei die zuletzt zitierten Autoren auf eine besonders starke Benetzungshysterese hinweisen. Die BENDERsche Angabe ist somit problematisch. Da der Randwinkel eine Funktion der Grenz- bzw. Oberflächenspannungen dreier Stoffe ist, im vorliegenden Falle also von Calcit, Calcitlösung und Luft, vermißt man auch bei den Angaben GMELINS Hinweise auf den Einfluß der Randbedingungen wie Sättigungsgrad der Lösung oder Luftfeuchte.

Versuche der Verfasser ergaben bisher nur, daß unter normalen Klimabedingungen — auch erhöhter relativer Feuchte — eine Benetzung glatter Calcitoberflächen, wie sie derjenigen der Excentriques entspricht, nicht eintritt. Es wurden hierzu einige (allerdings nicht bergfrische) monokristalline Stalaktiten verwandt, die sowohl gemäß BENDER's Angaben in einem abgedeckten Gefäß als auch in einem größeren Klimaschrank mit maximal 90% relativer Feuchte und bei 20°C ins Wasser gestellt wurden. Nur bei einem gewöhnlichen konzentrisch aufgebauten Tropfstein mit rauher Oberfläche konnte ein Aufsteigen des Wassers an der Oberfläche beobachtet werden. Dies war zu erwarten, da Randwinkel unter 90° bei rauen Oberflächen stets kleiner sind als bei glatten Oberflächen des gleichen Stoffes ([14], S. 208 ff). Das für die Spreitung auf glatten Calcitoberflächen erforderliche Verhältnis der Oberflächenenergien, d. h. die erforderlichen Umweltbedingungen wurden bei den Experimenten der Verfasser nicht erreicht. Trotzdem zeigen die Versuche „ex silentio“ die Bedeutung des Dreiecksverhältnisses Kalk — Lösung — Luft für das Eintreten der Spreitung und damit für die Excentriquesbildung überhaupt. Der Aufwand zur erfolgreichen Nachbildung dieses Verhältnisses im Laborversuch spiegelt sich in der relativen Seltenheit der Excentriques.

## 6. Schlußbemerkung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die von den Verfassern angestellten Beobachtungen an Excentriques an der Stelle ihrer Entstehung und unter dem Mikroskop durchweg die Gültigkeit der „erweiterten Kapillartheorie“ beweisen und damit Indizien gegen die Schwebetröpfchentheorie darstellen. Fälle, bei denen die Schwebetröpfchentheorie anwendbar wäre, wurden nirgends angetroffen. Da auch die merkwürdigerweise so zahlreichen Anhänger dieser Theorie bisher keine stichhaltigen Beweise insbesondere für das Vorkommen kapillarloser Excentriques vorlegen konnten, drängt sich der Verdacht unkritischen, von unklaren Vorstellungen über die physikalischen Zusammenhänge geprägten Abschreibens in vielen Fällen auf. Quantitativ unbekannt sind für die Kapillartheorie noch die „Spreitungsbedingungen“, welche letztlich die Excentriquesbildung auslösen. Der Vorgang des Wachstums der Excentriques darf aufgrund von Beobachtungen als ausreichend geklärt gelten.

## Schrifttum

- (1) ANDRIEUX C., Morphogenese des hélictites monocristallines. *Bull. Soc. franç. Miner. Crist.*, 88 (1965), S. 163—171.
- (2) AUBRECHT K., Excentriques — Probleme, Formen und Wachstum. In: *Abh. 5. Internat. Kongr. Speläol.*, Bd. 2, S. 40/1—S. 40/5, München 1969.
- (3) BENDER H., Excentriqueswachstum durch Oberflächentransport. *Die Höhle*, 20 (1969), S. 1—4.

- (4) CSER F. und L. MAUCHA, Contributions on Origin of „Excentriques“ – Concretions. Summaries of Lectures, 4. Internat. Kongr. Speläol., Ljubljana 1965, 15.
- (5) FRANKE H. W., Bemerkungen zur Bildung von Excentriques. Mitt. Verb. Dt. Höhlen- u. Karstforscher, 12 (1966), S. 101–102.
- (6) GMELINs Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl. Calcium, Teil B, Liefg. 3., Weinheim 1961, S. 903.
- (7) GÖBEL F. und F. REINBOTH, Excentriques, eine wenig bekannte Form des Calcites. Der Aufschluß, 23 (1972), S. 113–124.
- (8) GRESSEL W., Zur Ablagerung von Schwebestoffen aus der Luft und Ausbildung von Sinterformen in alpinen Höhlen und Bergwerken. In: Abhdl. 5. Internat. Kongr. Speläol., Bd. 2, S 37/1–S 37/7, München 1969.
- (9) JENATSCHKE U., Theorien zur Knöpfchensinterentstehung. In: Abhdl. 5. Internat. Kongr. Speläol., Bd. 2, S 27/1–S 27/11, München 1969.
- (10) KRAMM U. und B. LINDNER, Beitrag zur Entstehung von Excentriques. Mitt. Verb. Dt. Höhlen- u. Karstforscher, 15 (1969), S. 48.
- (11) KRAMM U. und B. LINDNER, Untersuchungen an Excentriques der Söhnstetter Excentriqueshöhle. Jber. u. Mitt. Oberrh. geol. Ver., 52 (1970), S. 27–31.
- (12) PECHHOLD E., Messung der Menge des aus Heliktiten austretenden Wassers. Die Höhle, 24 (1973), S. 150.
- (13) TRIMMEL H., Höhlenkunde. Braunschweig 1968.
- (14) WOLF K. L., Physik und Chemie der Grenzflächen. Bd. 1. Berlin – Göttingen – Heidelberg 1957.

Weitere Schrifttumsangaben in (7).

## Ein weiterer Nachweis der Höhlenheuschrecke (*Trogophilus cavicola* KOLLAR) im oberen Erlauftal (Niederösterreich)

Von Otto Moog und Erhard Christian (Wien)

Inmitten eines durch Fundmeldungen gut belegten Verbreitungsgebietes stellte das obere Erlauftal bis zum Jahr 1969 eine Verbreitungslücke der Höhlenheuschrecke (*Trogophilus cavicola* KOLLAR) dar (RESSL 1969). Nun konnte ein zweiter Fundort-Nachweis dieser Art erbracht werden.

In den Morgenstunden des 18. Mai 1975 entdeckte E. Christian bei zoologischen Aufsammlungsarbeiten ein männliches Exemplar der Höhlenheuschrecke beim Eingang „Eibenboden“ des Naturparks Ötscherland-Tormäuer. Das Tier fand sich auf der Straße, die von Kienberg zum Naturpark führt, ca. 50 m vor deren Einmündung in den Parkplatz „Eibenboden“. Dieser Fundort liegt etwa fünf Kilometer in Luftlinie von den bisher bekannten Nachweisen in der Steinerwand bei Urmannsau entfernt.

Aus der unmittelbaren Umgebung des Fundplatzes sind keine Höhlen bekannt. Die Spalten des von der Straße in diesem Bereich ange-