

|                           |    |                   |                      |
|---------------------------|----|-------------------|----------------------|
| Eiszeitalter u. Gegenwart | 28 | 211—217<br>3 Abb. | Öhringen/Württ. 1978 |
|---------------------------|----|-------------------|----------------------|

## Neue Arbeitsmethoden der Quartär-Geologie

WALTER ALEXANDER SCHNITZER & KARL BRUNNACKER \*)

Quartz grain colour, X-ray, paleo smell

**Kurzfassung:** Es werden neue Methoden vorgeführt, die besonders für die Quartär-Geologie interessant sein können. Die Bestrahlungsanalyse als Weiterentwicklung der Analyse der Quarzkornfarbe wird erläutert. Die Paläogeruchs-Analyse wird an einigen Beispielen demonstriert.

### [New methods in the Quaternary Geology]

New methods are presented, which can be interesting especially for the quaternary geology. The irradiation analysis, as an advancement of the quartz grain colour analysis, is illustrated. The paleo-smell analysis is demonstrated with some examples.

In zunehmendem Maße ist es Anliegen geologisch orientierter Quartär-Forschung nach ergänzenden bzw. weiterführenden Methoden Ausschau zu halten und diese gegebenenfalls entsprechend den Quartär-Fragestellungen zu modifizieren. Solche Betätigung ist mit zahlreichen Rückschlägen verbunden. Auch öffnen sich allzuoft Sackgassen (z. B. BRUNNACKER 1970 b). Und selbst wenn sich Erfolg einstellt, so gilt weiterhin der Grundsatz, daß das, was im Gelände versäumt oder gar falsch gemacht wurde, auch durch die beste Laboratoriumsmethode nicht korrigiert zu werden vermag. Untersuchungen solcher Art können damit in erster Linie nur absichern und erst in zweiter Linie weiterführen. Darüberhinaus bedarf es einer großen Datenzahl, um gerade im Quartär neben qualitativen auch quantitative Aussagen machen zu können. Doch damit ist ein weiterer Punkt angesprochen, der sich kurz und bündig mit einem alten Sprichwort umreißen läßt: „Schuster, bleib bei deinem Leisten“. Ein so komplex angelegtes Fach wie die Quartär-Forschung bedarf interdisziplinärer Bearbeitung, die sich keinesfalls allein dadurch zu dokumentieren vermag, daß im Anhang der Arbeiten mehr oder minder fleißig zusammengetragene Daten gesammelt sind, die sich in höchst mangelndem Bezug zur eigentlichen Fragestellung befinden.

Einige konventionelle Methoden wurden von uns bereits konsequent einbezogen, z. B. im Bereich der Sedimentpetrographie die Schwermineral- und die Schotteranalyse. In den Grobsand- wie auch den Feinsandfraktionen läßt sich die Quarzkorn-Farbenmethode (SCHNITZER 1957, 1963, 1977) relativ rasch und einfach durchführen. Diese Methode beruht auf der natürlichen Färbung von Quarzen, deren Ursache bei SCHNITZER (1957) hinreichend diskutiert wurde. Seither haben sich Forscher wie KRÄMER (1961), PATZELT (1964), SCHNEIDER (1967), VIOHL (1969), POLL (1964) und BRUNNACKER (1975) dieser Methode bedient; dabei soll die Arbeit von MUSA (1974) für das Alt-Quartär der Niederrheinischen Bucht besonders hervorgehoben werden.

Inzwischen kommt zu der herkömmlichen Quarzkorn-Farbenmethode die Bestrahlungsanalyse, die für die Herkunft der Sedimente und auch für die stratigraphische Abfolge völlig neue Perspektiven eröffnet (SCHNITZER 1977). Bei der Bestrahlungsanalyse werden Quarzkornkonzentrate einer harten Gamma-Strahlung ausgesetzt. Als Strahlungsquelle können Röntgengeräte mit einer Wolframröhre oder einer Goldröhre benutzt werden. Ebenso ist die Bestrahlung mit Kobalt 60 möglich, wobei sich die Zeit der Bestrahlung

\*) Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. K. Brunnacker, Geol. Inst. Univ. Köln, Zulpicher Straße 49, D-5000 Köln 1; Prof. Dr. W. A. Schnitzer, Inst. f. Geologie d. Univ. Würzburg, Pleicherwall 1, D-8700 Würzburg.

allerdings um den Faktor 10 erhöht. Auch im Reaktor besteht die Möglichkeit, solche Quarzkornpräparate zu bestrahlen. Das wesentliche an der Bestrahlungsanalyse liegt in der Tatsache, daß sich durch die Bestrahlung Quarzkörner, die bei hohen Temperaturen gebildet wurden, relativ leicht in Rauchquarze (smoky quartz) umwandeln lassen. Demgegenüber neigen Quarze aus Graniten noch recht gut und Quarze aus metamorphen Gesteinen und niedrigthermalen Quarzgängen sehr schlecht oder überhaupt nicht zur Rauchquarzbildung. In dieser Tatsache kann man eine Möglichkeit sehen, die Zusammensetzung der Liefergebiete für Sedimente jeglichen Alters zu rekonstruieren (SCHNITZER 1976, 1977). Nach den bisherigen Erfahrungen an rezenten Flußsanden Nordost-Bayerns wie auch an Profilen triassischer Klastika scheint die Bestrahlungsanalyse den meisten bekannten sedimentologischen Untersuchungsmethoden, inklusiv der Schwermineralanalyse weit überlegen zu sein. Weitere Forschungen in diesem Bereich sind notwendig und sind vor allem für die Problematik der Quartärgeologie von außerordentlichem Interesse. Eine große Anzahl von Proben stehen bereits für die Bestrahlungsanalyse zur Verfügung und die Ergebnisse werden in Kürze ausgewertet sein.

Zur Genese von Karbonaten bringen die stabilen C- und O-Isotope unter Umständen recht interessante Hinweise. Dies gilt nicht nur für marine und limnische Kalke (VOGEL 1959, VIDAL et al. 1966), sondern auch für interglazialen wie interstadialen Bodenkalk und den Lösskalk in Beziehung zu Klimazonen und dergleichen (MANZE et al. 1974). Untersuchungen dieser Art leiten über zur Mikromorphologie von Böden und Sedimenten, worüber bei anderer Gelegenheit berichtet werden soll.

Ein zumindest im Ausland geradezu selbstverständlicher Bestandteil der Quartärarbeiten ist die Paläomagnetik, die bei uns am Rhein und an der Donau in geeigneten Aufschlüssen zum Einsatz kommt (zusammengefaßt bei BRUNNACKER & BOENIGK 1976); doch fällt spätestens bei der Paläomagnetik und den absoluten Datierungen auf, daß die Entwicklung neuer Methoden — von Ausnahmen abgesehen (z. B. HEYE 1972) — bei uns entweder nur spärlich betrieben wird oder nicht von besonderem Glück begünstigt ist. Doch soll gerade dieser Umstand Gelegenheit bieten, eine weitere neue Methode vorzustellen, nämlich die Untersuchung des Paläogeruchs (SCHNITZER & SCHWAB 1975). Diese Methode ist für die Quartär-Forschung wie die Paläopedologie um so interessanter, als sie organische Substanzen behandelt, über welche generell in dem genannten Forschungszweig nicht allzuviel bekannt ist. So kann eigentlich nur an die Erfahrung erinnert werden, daß fossile Humushorizonte einerseits dunkler gefärbt sind als vergleichbare rezente Horizonte und daß sie dennoch niedrigere Gehalte an Humus führen. Um- und Abbau der Humusverbindungen ist die Ursache.

Die nachfolgend beschriebene Methode der Paläogeruchs-Analyse beruht auf dem Vorhandensein organischer Komponenten, die mit Wasserdampf flüchtig gehen.

Mit Hilfe der Pulse-Polarographie konnten erste Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Paläogeruchsstoffe gewonnen werden. Im wesentlichen sind Aldehyde, Ketone, Terpenaldehyde und -ketone, sowie Aromate und Heterozyklen vorhanden. Mit Hilfe der Gas-Chromatographie und IR-Spektren werden derzeit die mit Wasserdampf flüchtig gehenden Geruchsstoffe speziell untersucht. Da dem erdgeschichtlich arbeitenden Geologen Pulse-Polarographen, Gas-Chromatographen und ähnliche kostenintensive Geräte meist nicht zur Verfügung stehen und in vielen Fällen die genaue Kenntnis der organischen Komponenten für seine Zielsetzungen zunächst oft sekundär ist, kann die Dünnschichtchromatographie wesentliche Ergebnisse liefern. Mit dieser Methode wird dem Geologen, auch wenn er über nur bescheidene chemische Kenntnisse verfügt, ein einfaches Hilfsmittel zur Darstellung des Paläogeruchs in die Hand gegeben. Für stratigraphische Korrelation und Fazieswechsel werden hier nicht die organischen Komponenten analysiert, sondern Chromatogramme auf Gleichheit oder Ungleichheit miteinander verglichen.

Die vielen Möglichkeiten, die sich für die erdgeschichtliche Forschung bei der Untersuchung von Tonen anbieten, wurden durch SCHNITZER & SCHWAB (1975) im einzelnen dargelegt. Untersucht wurden bisher Tonsteinserien aus dem Jung-Präkambrium, dem Paläozoikum, dem Mesozoikum, dem Tertiär und Quartär. Die Untersuchungen dienen in erster Linie dazu, stratigraphische Probleme zu lösen. Die Paläogeruchschromatogramme sind für verschieden alte Schichtenfolgen unterschiedlich und/oder für gleichalte Schichten bei entsprechend starkem Fazieswechsel. Die Methode ist wie folgt durchzuführen:

## 1. Destillation

Einwaage 100 g pulverisierter Tone. Einleiten von Wasserdampf oder überhitztem Wasserdampf in eine Ton-Wasser-Suspension mit anschließender Destillation. Wenn solche Geräte nicht zur Verfügung stehen, so läßt sich die Destillation auf einfache Art und Weise wie folgt durchführen: Erlenmeyerkolben mit 1000 ml und anschließendem Rücklaufkühler. Alle Teile der Destilliereinrichtung müssen eingeschliffen und dürfen nicht gefettet sein. In den Erlenmeyerkolben wird die abgewogene Menge mit ca. 400 ml destilliertem Wasser eingebracht und auf einem beheizbaren Magnetrührer (um das Stoßen des Materials zu verhindern) zum Sieden gebracht, bis 50 ml Vorlauf gewonnen sind. Der Vorlauf von 50 ml enthält alle mit Wasserdampf flüchtig gehenden Geruchsstoffe. Das im Erlenmeyerkolben verbleibende Ton-Wasser-Gemisch ist geruchlos. Bei dieser Destillier-Einrichtung ist ein völliger Abschluß gegenüber der Labor-Atmosphäre notwendig. Die hier geschilderte Destillier-Einrichtung kann auf äußerst geringem Raum untergebracht werden. Nach jeder Destillation müssen Kolben und Kühlsystem durch eine erneute Wasserdampfdestillation von ca. 30 Minuten gereinigt werden, da sich Reste von Geruchsstoffen auch an der Oberfläche der Glasgeräte festsetzen könnten. Wesentlich ist, daß sich bei einem Vorlauf von 50 ml alle bei 100° C flüchtig gehenden Paläogeruchsstoffe in diesen angereichert haben. Bei Proben, die sehr viel organisches Material enthalten, scheiden sich gelegentlich einzelne Öltropfen aus, die später gezielt untersucht werden können. Der Vorlauf riecht charakteristisch muffig, faulig, beißend, aromatisch etc. Aus dem Vorlauf werden nunmehr die vorhandenen Geruchsstoffe nochmals durch Aus-Äthern, 20 ml Diäthyläther, angereichert. Von diesem Konzentrat werden 10 bis maximal 20 Tropfen mit einer Mikropipette auf Kieselgel-Fertigplatten für die bildliche Darstellung des Paläogeruchs aufgetragen.

## 2. Bildliche Darstellung des Paläogeruchs

Für die bildliche Darstellung des Paläogeruchs werden DC-Fertigplatten-Kieselgel 60 (ohne Fluoreszenz-Indikator) der Firma Merck benötigt; ferner 2 Glaskammern mit geschliffenem Deckel, eine für die Trennung der Geruchsstoffe mit dem angegebenen Laufmittel, die zweite für die Entwicklung der Chromatogramme mit Jod. Der Analysenweg ist wie folgt: Zuerst werden die Fertigplatten im Trockenschrank bei 100° C 2 bis 3 Stunden aktiviert; danach läßt man sie im Exsikator erkalten. Auf die aktivierten Platten werden ca. 1 cm unterhalb der Plattengrenze der Startpunkt markiert und 10 bis 20 Tropfen der Äther-Paläogeruchsphase aufgetragen. Diese Platten werden dann in die Trennkammer gestellt, in welche normalerweise 3 bis 4 Platten schräg angeordnet sein sollten. Die Trennkammer wird vorher mit dem Laufmittel bis zu einem halben Zentimeter aufgefüllt, das die organischen Geruchskomponenten voneinander trennen soll. Die Zusammensetzung der Laufmittel ist in Bezug auf Wanderungsgeschwindigkeit und Trenneffekte stark von dem Alter der zu untersuchenden Schichtenfolge abhängig. Für mesozoische und jüngere Ablagerungen hat sich bisher folgendes Laufmittel am besten bewährt: n-Hexan 50 Teile, Benzol 25 Teile, Methanol 25 Teile und Chloroform 20 Teile. Ein Vergleich mit anderen Laufmitteln und ihren Trenneffekten zeigt die Abb. 1. Bei diesem Laufmittel liegt die Wanderungsgeschwindigkeit bei knapp einer Stunde. Die oberste Front des Laufmittels sollte etwa 2 cm unterhalb der Oberkante der Platte vorher mit Bleistift markiert werden. Sobald die Laufmittelfront diesen Strich erreicht hat, werden die Platten aus der Trennkammer herausgenommen, kurz an der Luft getrocknet und in eine zweite Kammer gestellt, auf deren Boden eine größere Menge kristallisierten Jods ausgestreut wird. In der Entwicklungskammer verfärben sich die getrennten Geruchsstoffe durch die Entwicklung mit Jod gelb oder braun. Die auftretenden Punkte werden nach etwa 10 Minuten mit Bleistift nachgezeichnet und photographisch dokumentiert, da das Jod nach Herausnahme der Platten bald abdampft. Gleiche Geruchsbilder entsprechen gleichalten Schichten und/oder gleichen Fazies. Verschiedene Geruchsbilder entsprechen entweder Schichten unterschiedlichen Alters und/oder Schichten gleichen Alters mit stark unterschiedlicher Fazies (Einzelheiten bei SCHNITZER & SCHWAB 1975).

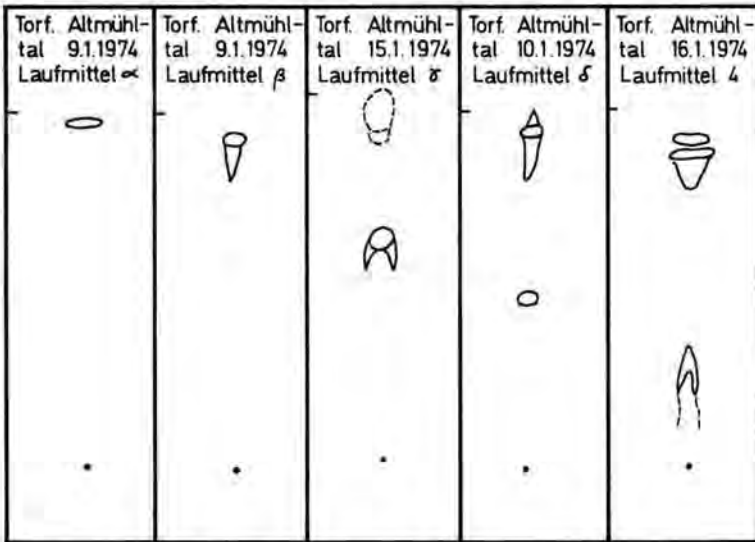


Abb. 1: Bildliche Darstellung des Paläogeruches mittels der Dünnschicht-Chromatographie in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Laufmittel  $\delta$ ,  $\beta$  und  $\nu$  trennen die Geruchsstoffe nicht hinreichend. Optimal ist das Laufmittel 4 (n-Hexan, Tetrachlorkohlenstoff, Diäthyläther, Methanol). Für paläozoische und mesozoische Tonsteine eignet sich das Laufmittel nicht. Die untersuchte Probe war ein stark toniger Torf aus dem Altmühltal ( $8635 \pm 75$  Jahre; Lit.: FORSTMAYER & SCHNITZER 1974).

Auf Grund der positiven Erfahrungen anhand des Paläogeruchs sowohl für die Stratigraphie wie auch für die Faziesanalyse lag es nahe, die Methode auch für die Quartär-Forschung einzusetzen. Erste Ergebnisse erbrachten Proben von plio-pleistozänen Tonen aus dem Raum Brüggen (Niederrheinische Bucht) und der Ville bei Köln. Schon damals bahnten sich interessante Aspekte für die stratigraphische und fazielle Interpretation an (SCHNITZER & SCHWAB 1975). Mit Hilfe besser trennender Laufmittel wurden nunmehr der Tertiär/Quartär-Grenzbereich bei Brüggen an Tonproben untersucht (Abb. 2) und Bodenproben aus der Ziegeleigrube bei Kitzingen auf die Paläogeruchsstoffe analysiert. Die Proben von Brüggen stammen aus den von BOENIGK (1969) als Tonhorizont I bis V bezeichneten Ablagerungen. Tonhorizont I und II (Probe-Nr.: 1 und 2) gehören in das Reuverium B (BOENIGK et al. 1974). Ton-Horizont III (Probe-Nr.: 3) muß nach den noch nicht veröffentlichten Untersuchungen von URBAN ebenfalls noch in das Reuverium eingestuft werden. Ton-Horizont IV (Probe-Nr.: 4) befindet sich noch in pollenanalytischer Bearbeitung. Ton-Horizont V (Probe-Nr.: 5) gehört, ebenfalls nach KÖRFER-URBAN, hingegen geobotanisch in das älteste Pleistozän.

Vorweg sei bemerkt, daß fünf Proben für die Problematik der Tertiär-Quartär-Grenziehung natürlich nicht ausreichen und auch nicht repräsentativ sein können. Vielmehr sollte hier die sinnvolle Einsatzmöglichkeit der Paläogeruchs-Analytik in der Quartär-Forschung angesprochen werden. Die Proben 1 bis 3 sind in den Geruchs-Chromatogrammen weitgehend identisch. Es finden sich jeweils Doppelringe an der obersten Lauffront und ein Drei-Punkte-Chromatogramm darunter, wobei die Probe 3 etwas besser getrennt erscheint. Zusammensetzung des Laufmittels, d. h. Abdampfen der leichtflüchtigen Lösungsmittel bei mehrmaligem Gebrauch des Laufmittels, etwas unterschiedliche Aktivierung der Platten und andere Imponderabilien können diese Unterschiede zwanglos erklären. Die

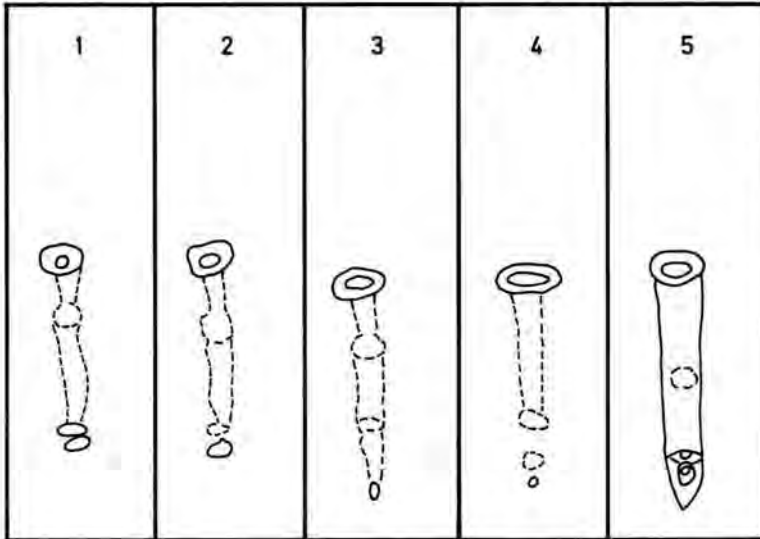


Abb. 2: Proben aus dem Bereich der Tertiär/Quartär-Grenze bei Brügglen. Die Proben 1 bis 3 sind in ihrem Aufbau gleich; die Probe 4 (ältestes Quartär?) tendiert noch zu den Chromatogrammen 1 bis 3. Probe Nr. 5 ist in ihrem Aufbau ganz anders: Hoher Gehalt an organischen Geruchsstoffen, die sich als dunkle Fahnen zu erkennen geben; auch die Punktanordnung ist anders.

Proben Nr. 1 bis 3 stammen aus dem obersten Pliozän. Die Probe Nr. 4 weicht ab, entspricht aber im Aufbau der Geruchsstoffe noch sehr dem obersten Pliozän. Auffallend war hier lediglich, daß die Gesamtmenge an mit Wasserdampf flüchtig gehender Geruchsstoffe gering war, was sich an der nur sehr undeutlich nach unten gezogenen Fahne nach der Entwicklung mit Jod zu erkennen gibt.

Der Aufbau des Geruchs-Chromatogramms der Probe Nr. 5 (Quartär) ist anders. Auffallend und charakteristisch ist die von dem Doppelring nach unten abziehende Fahne, nach der Entwicklung mit Jod sehr dunkel gefärbt, und die Punktaufgliederung wenig oberhalb

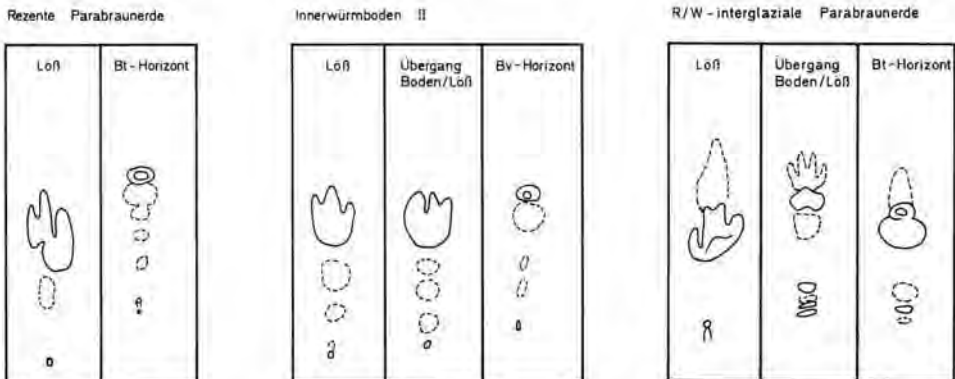


Abb. 3: Ziegeleigrube Pavel & Becker bei Kitzingen: Der liegende Löß hat reichen Anteil an Geruchsstoffen, die sich nicht hinreichend trennen. In der Übergangzone Boden/Löß findet eine zunehmende Auftrennung der Geruchskomponenten statt. Die beste Auftrennung zeigt der B<sub>t</sub>-Horizont und der B<sub>v</sub>-Horizont.



des Startpunktes. Beides spricht für einen weit höheren Anteil an organischen Geruchsstoffen im Destillat, die auch unter gleichen Versuchsbedingungen deutlich schlechter mit dem verwendeten Laufmittel zu trennen sind. Sinnvolle Aussagen sind erst dann möglich, wenn mehr Profile untersucht werden, Korngrößenanalysen und der Tonmineralbestand zusätzlich bekannt sind.

Die Proben aus der Ziegeleigrube Pavel & Becker bei Kitzingen (BRUNNACKER 1970 a) zeigen ebenfalls sehr interessante Geruchsbilder. Es handelt sich um den B<sub>1</sub>-Horizont der heutigen Parabraunerde und den des R/W-Interglazials, sowie um den B<sub>v</sub>-Horizont des innerwürmzeitlichen Braunen Verwitterungshorizontes und das jeweils unterlagernde Löß-Material (Abb. 3).

Bei den in Abb. 3 dargestellten Analysen fällt bei den Geruchs-Chromatogrammen auf, daß sich der liegende Löß in seiner Punktaufgliederung in den beiden links abgebildeten Profilen weitgehend gleicht. Der Löß unter der R/W-interglazialen Parabraunerde hat hingegen andere Geruchskomponenten, die nicht nur in den Chromatogrammen, sondern auch im wahrnehmbaren Geruch unterschiedlich sind. Beim Übergang Boden/Löß müssen ferner andere Geruchskomponenten vorhanden sein, was sich in der besseren Auflösung der Chromatogramme zu erkennen gibt (Mehrpunkt-Chromatogramme, fingerförmige Fließbahnen). Die Bodenbildungen selbst zeigen gut trennbare organische Geruchskomponenten in geringerem Maße als der liegende Löß. Hier wären Gas-Chromatographische Untersuchungen, Mineralbestand etc. für eine weitergehende Interpretation notwendig.

#### Schriftenverzeichnis

- BOENIGK, W. (1969): Zur Kenntnis des Altquartärs bei Brüggem (westlicher Niederrhein). — Diss. Univ. Köln: 141 S.; Köln.
- BOENIGK, W., BRELIE, G. v. D., BRUNNACKER, K., KOČI, A., SCHLIKUM, W. R. & STRAUCH, Fr. (1974): Zur Pliozän-Pleistozän-Grenze im Bereich der Ville (Niederrheinische Bucht). — *Newsl. Stratigr.*, **3**: 219—241; Leiden.
- BRUNNACKER, K. & BOENIGK, W. (1976): Über den Stand der paläomagnetischen Untersuchungen im Pliozän und Pleistozän der Bundesrepublik Deutschland. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **27**: 1—17; Öhringen.
- BRUNNACKER, K. (1970 a): Zwei Lößprofile extremer Klimabereiche Bayerns. — *Geol. Bavarica*, **63**: 195—206; München.
- (1970 b): Kriterien zur relativen Datierung quartärer Paläoböden? Bemerkungen auf Grund einer Arbeit von K. METZGER. — *Z. f. Geomorphologie N. F.*, **14**: 354—360; Berlin/Stuttgart.
- , BOENIGK, W., WOLF, M. & KOČI, A. (1975): Die Sedimente der Lieth-Serie bei Elmshorn. — *Geol. Jb. A*, **26**: 153—171; Hannover.
- FORSTMEYER, A. & SCHNITZER, W. A. (1974): Windschliffe an Malmkalken, Donauschottern und Windkanterhorizonten in Flugsanden des Altmühltals. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, Jg. 1974: 675—684; Stuttgart.
- HEYE, D. (1972): Ein Meßverfahren zur paläomagnetischen Untersuchung von Lockersedimenten im Gelände. — *Z. Geophysik*, **38**: 1055—1057; Würzburg.
- KRÄMER, F. (1961): Sediment-Untersuchungen im Mittleren Buntsandstein (sm) Süd-Niedersachsens. — Diss.: 179 S.; Frankfurt/Main.
- MANZE, U., VOGEL, J. C., STREIT, R. & BRUNNACKER, K. (1974): Isotopenuntersuchungen zum Kalkumsatz im Löß. — *Geol. Rdsch.*, **63**: 885—897; Stuttgart.
- MUSA, I. (1974): Rhein- und Eifelschüttungen im Süden der Niederrheinischen Bucht. — Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln Nr. 23: 151 S.; Bonn (W. Stollfuß).
- PATZELT, W. J. (1964): Lithologische und paläogeographische Untersuchungen im Unteren Keuper Süddeutschlands. — *Erlanger geol. Abh.* **52**: 30 S.; Erlangen.
- POLL, K. G. (1974): Sedimentologische Untersuchungen im Rhätolias von Marloffstein bei Erlangen. — *Geol. Bl. NO-Bayern*, **24**: 56—75; Erlangen.

- SCHNEIDER, H.-E. (1967): Stratigraphische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Oberen Buntsandstein südlich des Thüringer Waldes. — *Freiberger Forsch.-H. C*, **217**: 138 S.; Leipzig.
- SCHNITZER, W. A. (1957): Die Quarzkornfarbe als Hilfsmittel für die stratigraphische und paläogeographische Erforschung sandiger Sedimente (aufgezeigt an Beispielen aus Nordbayern). — *Erlanger geol. Abh. H.* 23: 13 S.; Erlangen.
- (1963): Zur Methodik der Quarzkornfarben-Untersuchung an feinkörnigen sandigen Sedimenten (aufgezeigt an Beispielen aus Nordostbayern). — *Geol. Bl. NO-Bayern*, **13**: 1—11; Erlangen.
- (1976): Radioaktive Keupersandsteine Frankens und ihre Bedeutung für die sedimentologische Forschung. — *Nachr. dt. geol. Ges.*, **15**: 42—43; Hannover.
- (1977): Die Quarzkornfarben-Methoden und ihre Bedeutung für die stratigraphische und paläogeographische Erforschung psammitischer Sedimente. Natürliche Quarzkornfarben und Bestrahlungsfarben. — *Erlanger geol. Abh. H.* 103: 28 S.; Erlangen.
- & SCHWAB, R. G. (1975): Neue Möglichkeiten erdgeschichtlicher Forschung mit Hilfe des Paläogeruchs. — *Erlanger geol. Abh. H.* 101: 20 S.; Erlangen.
- VIDAL, H., BRUNNACKER, K., BRUNNACKER, M., KÖRNER, H., HARTEL, Fr., SCHUCH, M. & VOGEL, J. C. (1966): Der Alm im Erdinger Moos. — *Geol. Bavarica*, **56**: 177—200; München.
- VIOHL, G. (1969): Die Keuper-Lias-Grenze in Süd-Franken. — *Erlanger geol. Abh. H.* **76**: 81 S.; Erlangen.
- VOGEL, J. C. (1959): Über den Isotopengehalt des Kohlenstoffs in Süßwasserkalkablagerungen. — *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **16**: 236—242; London.

Manuskript eingeg. 15. 2. 1977.