

Infrarotspektrographie an pleistozänen und tertiären Bernsteinfunden des Halle-Leipziger Raumes

Von

Otto Priese

Mit 2 Abbildungen

(Eingegangen am 14. Oktober 1976)

Der Begriff „Bernstein“, ein seit Jahrtausenden begehrter Rohstoff für die Schmuckherstellung, ist in unseren Breiten stets mit seinem Hauptfundort, der Ostseeküste, verbunden. Es gibt kaum einen Seurlauber, der sich nicht aus Zeitvertreib an der Suche nach dem „Gold des Nordens“, dem Bernstein, mit mehr oder weniger Erfolg beteiligt hätte. Bohnengroße Stücke sind dabei als Funde schon eine Seltenheit. Besonders erfolgreich ist die Suche nach stürmischen Tagen. Infolge seiner geringen Dichte schwimmt Bernstein in Seetangmassen und wird bei auflandigen Winden zusammen mit Pflanzenmaterial angespült, aufgelesen oder abgefischt. Aus diesem Grunde bezeichnet der Volksmund den Tang als „Bernsteinkraut“.

1. Historisches über den Bernstein

Bernstein wurde bereits im 2. Jahrtausend v. u. Z. über ganz Europa und Westasien verbreitet. Als Grabbeigaben fand man ihn bei Ausgrabungen babylonischer Reste, in altsumerischen und ägyptischen Grabkammern (Tschirch 1909). Helm (1826 bis 1902) deutete die Schliemannschen Bernsteinfunde im Orient bereits als baltischen Bernstein (Schelenz 1904). Die Phönizier, die Seefahrer des Altertums, brachten ihn zusammen mit Asphalt, Styrax, Labdanum und Zedernöl per Schiff nach Ägypten. Ob sie ihn selbst von der Ostsee holten, ist ungewiß. Wahrscheinlich erhielten sie ihn durch Zwischenhandel über Spanien und Italien. Allen Neugierigen erzählten sie das Märchen vom „Fang mittels Leimruten“. Bereits in vorgeschichtlicher Zeit führten alte Handelswege, sog. prähistorische „Bernsteinstraßen“, von Griechenland und Italien über die Steiermark und Kärnten ins Odertal zur Ostsee.

Plinius der Ältere (23–79 n. u. Z.) nannte den Bernstein „succinum“, daher die Bezeichnung Succinit. Er erwähnte ihn in seiner *Historia naturae* 37, 11 und deutete ihn bereits richtig als Harz, wenn auch als solches einer Fichte. Die Griechen veranlaßte die prachtvollere Farbe, das fossile Harz mit der Sonne zu vergleichen. Sie nannten es daher „electron“. Hiervon leitet sich infolge seiner reibungselektrischen Eigenschaft der Begriff „Elektrizität“ ab. Im alten Rom besaß er den Wert eines Edelsteines. Tacitus (55–120 n. u. Z.) teilt in seinem Buch „*De Germania*“ mit, daß die Germanen ihn als „glessum, gles, glas“, d. h. das Durchsichtige oder Juwel, bezeichneten (Schelenz 1904; Hardt 1952). Im mittelalterlichen griechischen und lateinischen Sprachgebrauch findet man die Bezeichnung Amber, Ambra und ambre. So wird Bernstein noch heute in Spanien, Italien und Frankreich sowie England genannt. Die Bezeichnung „Bernstein“ aber stammt aus dem Althochdeutschen und leitet sich von „börnen“ = brennen ab.

Schon frühzeitig befaßten sich Forscher mit diesem fossilen Naturprodukt. So steht Bernstein nicht nur an der Wiege der Menschheit, sondern auch an der Wiege der Chemie. Um 1100 schrieb bereits Avicenna (= Jbn Sina 980–1037), der Fürst der Ärzte, wie er genannt wurde, über seinen Gehalt an ätherischem Öl. Mesue der

Jüngere, Leibarzt des Kalifen Al Hakim in Kairo, berichtete im 12. Jahrhundert über ein Destillationsprodukt des Bernsteins. 1550 hatte Georgius Agricola (1494–1555) als erster die Bernsteinsäure in den Händen, die bei der Trockendestillation des Harzes entsteht, wenngleich er sie noch nicht als solche erkannte. A. Aurifaber, ein Königsberger Arzt, schrieb schon 1561 eine *Historia succini* (Schelenz 1904; Hardt 1952). A. Libavius (= Libau 1540–1616) beschrieb die Bernsteinsäure eingehend im ersten Lehrbuch der Chemie „*Alchymia*“ und etwas später Oswald Croll (= Crollius 1560 bis 1609) in seiner „*Basilica chymica*“. Als erster erkannte N. Lémery (1645–1715) im „*Cours de Chymie*“ die Bernsteinsäure 1675 als Säure. Sie gehörte zu den ersten Substanzen, die J. v. Berzelius (1779–1848) in seiner berühmten grundlegenden Untersuchung der Elementaranalyse unterwarf (vgl. Kolbe 1860). Doch diese Säure ist nicht der wesentliche Bestandteil des Bernsteins.

2. Zur Geologie des Bernsteins

Seine Heimat, d. h. seine geologisch älteste Lagerstätte in Mitteleuropa, hat der Bernstein an der Ostseeküste im nordwestlichen Teil des Samlandes (Semlandski, RSFSR), einer Halbinsel zwischen Kurischem (Kurski saliw) und Frischem Haff (Kalinigradski saliw). Er wird dort heute noch im Tagebaubetrieb bei Palmnicken (Jan-tarny) und anderen Orten, nordwestlich Kaliningrad sowie mit Schwimmbaggern im Kurischen Haff gewonnen. Die Sekundärlagerstätte liegt in tertiären, speziell in den obereozänen bis unteroligozänen Schichten der „Blauen Erde“. Es sind dies tonige, glimmerreiche Meeressande, die durch Glaukonit und kohlige Bestandteile blaugrau bis graugrün gefärbt sind. Sie werden im Hangenden von Sanden und gering mächtigen Braunkohlen überlagert. Dieser Horizont der „Blauen Erde“ streicht an der Küste und unter dem Meeresniveau aus. Daher spült die See an diesen Stellen bei Nordweststurm den Bernstein aus dem Boden und wirft ihn an anderen Stellen wieder an den Strand (Plonait 1935).

Die durchschnittliche Mächtigkeit der „Blauen Erde“ beträgt 6 bis 7 m, maximal 9 m. Sie wurde durch Bohrungen in 30 bis 40 m Tiefe auf einer Fläche von etwa 500 km² nachgewiesen. Der Abbau wird seit über 100 Jahren betrieben. Bis zum Jahre 1935 waren etwa 5 km² abgebaut worden, wobei 1 m³ „Blaue Erde“ 1,3 bis 1,575 kg Bernstein enthielt (Andrée 1937, S. 186). Dabei sind jedoch große Abraummengen zu bewältigen. Das Verhältnis Deckgebirge zu „Blauer Erde“ beträgt 6:1.

Der Bernstein des Samlandes wird auf Grund seiner Herkunft als „baltischer Bernstein“ bezeichnet. Weitere bedeutende Bernsteinvorkommen liegen außerhalb Europas, in Kanada, in Kalifornien, in der Dominikanischen Republik, in Chile, Burma, Neuseeland sowie im Libanon. Bemerkenswerte europäische Fundorte sind noch die Schweiz, Spanien, Sizilien und Rumänien (vgl. Dietrich 1975, S. 66, Fig. 13).

Die Hauptmenge des baltischen Bernsteins stammt aus Schichten, die geologisch zum Eozän/Oligozän, teilweise zum Miozän gehören. Es sind sämtlich allochthone Lagerstätten, d. h., der Bernstein wurde mehrfach (bis sechsmal) aus älteren Schichten in jüngere umgelagert. Neuere Forschungen ergaben, daß auch Vorkommen in pleistozänen Sedimenten an der Ostseeküste der DDR vorhanden sind, z. B. das Vorkommen bei Stubbenfelde auf der Insel Usedom (Schulz 1960). Hier wurden eozäner Bernstein und Gerölle miozäner Braunkohlen durch Schmelzwässer des pleistozänen Inlandeises in jungglaziale Beckensande umgelagert. Es kommt aber ebenso im Binnenland der DDR an einigen Orten zu vereinzelt Bernsteinfunden, über die hier berichtet werden soll.

3. Die Bernsteinfunde im Raum Leipzig-Halle

Ein solches Bernsteinfundareal in den mittleren Bereichen der DRR liegt im Raum Leipzig-Halle. Hier kommt Bernstein in den Braunkohlentagebauen und in den Kiesgruben vor. Diese geologischen Aufschlüsse schneiden bernsteinführende tertiäre Braunkohlenflöze und pleistozäne Grundmoränen der Elster- und Saale-Kaltzeit an (Abb. 1). Ein verhältnismäßig kleiner ehemaliger Braunkohlentagebau im Westen Leipzigs, bei Kulkwitz-Miltitz, der von Mitgliedern der Fachgruppe Geologie des Kulturbundes Leipzig und Mitarbeitern des Heimatmuseums Markranstädt laufend begangen und abgesucht wurde, ergab in 18 Jahren auf einer Fläche von rund 150 ha rund 1 kg Bernstein. Die Menge an Bernstein wäre sicher noch größer, aber mancher Fund blieb



Abb. 1. Verbreitung von Bernsteinfunden im Raum Leipzig-Halle

unbekannt. Das Gewicht eines Fundes im Tagebaugelände Kulkwitz aus dem Jahre 1952 betrug 131 g. Ein Fund des bekannten Leipziger Geschiebeforschers Dr. h. c. R. Gläsel aus dem Jahre 1911 bei Engelsdorf – aufbewahrt im Naturwissenschaftlichen Museum Leipzig – wog sogar 370 g. Weitere Fundorte um Leipzig waren die Kiesgruben im Bereich des Delitzscher Endmoränenzuges am Schwarzen Berg bei Taucha.

Der Bernstein kommt sowohl glatt in niedrigen gerundeten Massen ähnlich dem normalen baltischen Bernstein („Seebernstein“) als auch mit starker Verwitterungsrinde („Erdstein“) vor. Unter der Verwitterungsrinde ist der klare Stein sichtbar. Es wird angenommen, daß die Verwitterungsrinde durch lange Lagerung in luftdurchlässigen Sanden entstanden ist. Die gefundenen Stücke sind durchsichtig wasserhell, durchscheinend wolzig trüb oder nur an den Kanten durchscheinend und milchig. Letzterer Effekt wird durch den Einschluß feinsten Luft- und Zellsaftbläschen verursacht. In der Farbe herrscht ein gelber Ton mit Abstufungen vom hellsten Gelb bis zum Orange und rötlichen Braun vor. Farbe und Struktur der Leipziger Funde entsprechen damit völlig dem Habitus des baltischen Bernsteins (Andrée 1937, 1951).

Daß Bernstein im Binnenland gar nicht so selten ist, wie oft angenommen wird, beweist ein bereits 1833 in Brandenburg abgebautes Bernsteinlager oder Funde in neuerer Zeit in Ruhlsdorf bei Berlin (Hardt 1952; Tornow 1973), für deren Entstehung pleistozäne Umlagerung angenommen wird (vgl. weitere Vorkommen in Schulz, S. 610). Dies gilt auch für die obigen Funde um Leipzig. Der Bernstein wurde zur Zeit der pleistozänen Inlandeisbedeckung Norddeutschlands weit über sein ursprüngliches Sedimentationsgebiet durch das Inlandeis nach Südosten und Südwesten und so auch in den Leipziger Raum hinein verbreitet. Erstaunlich ist, daß Stücke größer als die Faust diesen Umlagerungsvorgang überstanden haben. Wahrscheinlich erfolgte der Transport eingefroren in großen Eisklumpen, und so wurde das an sich recht widerstandsfähige Harz vor dem Zerreiben am Gletschergrund gesichert. Nach Abschmelzen dieser Tot-eisblöcke wurde der Bernstein dann in die glazialen Sedimente eingelagert.

Neben diesen infolge Eistransportes entstandenen Bernsteinvorkommen wurden im Halle–Leipziger Raum auch fossile Harze in den tertiären Schichten der Braunkohlenlagerstätten (vgl. Abb. 1) gefunden. Stöhr (1867) und Zincken (1871) erwähnten bereits Vorkommen in den tertiären Schichten des Weißelsterbeckens im Süden Leipzigs. Pietzsch (1925) weist auf „Scheibit“ (= Retinit)-Vorkommen in der Grube Golpa bei Bitterfeld hin. Dann stellten Hasenknopf, Fuchs und Gothan (1933) fest, daß einige im Bitterfelder Braunkohlenrevier sowohl in der Grundkohle als auch in eingelagerten Baumstämmen aufgefundenen Harze mit Bernstein identisch sind. Weitere Bernsteinfunde des Bitterfelder Raumes wurden von Süß (1975) aus Basissanden des Bitterfelder Hauptflöz beschrieben. In neuerer Zeit wurde ein Fund aus den mitteloligozänen Meeressanden im Tagebau Böhlen durch D. Bartnick, Leipzig, geborgen. In Tagebauen des Geiseltales bei Halle, besonders den Tagebauen Großkayna und Neumark, kam bisher zwar kein Bernstein im engeren Sinne vor, aber ein als Retinit bezeichnetes fossiles Harz, das nach dem äußeren Erscheinungsbild dem sog. „gelben Bastard“ ähnelt.

4. Zur Chemie des Bernsteins

4.1. Über die Bildung und Fossilisation des Bernsteins

Bernstein gehört zu den Kautobiolithen, d. h. den brennbaren Gesteinen, speziell zu den Liptobiolithen, den organischen Restgesteinen. Der baltische Bernstein ist ein Produkt der alttertiären Bernsteinkiefer (*Pinus succinifera*) (Bölsche 1927; Plonait 1935; Andrée 1951; Hardt 1952). Hasenknopf, Fuchs und Gothan (1933) reihten die im Bitterfelder Braunkohlenrevier eingelagerten Baumstämme, in denen Harz gefunden worden war, ebenfalls in die Gattung der Kiefern ein. Durch neueste Untersuchungen

von Schubert (1961) wurde gezeigt, daß der Bernstein chemisch aus Kiefernharz entstanden ist. Moderne chemische Methoden, wie gaschromatographische und dünn-schichtchromatographische Untersuchungen, wiesen Verbindungen nach, die auf sein Ausgangsprodukt, das Kiefernharz, zurückgehen, speziell auf seinen Hauptbestandteil, die Abietinsäure. Modellversuche (Mischer und Rottländer 1971; Rottländer 1974) bewiesen, daß die im Bernstein gefundenen Stoffgruppen aus dieser Ausgangssäure entstanden sein können. Die Abietinsäure dimerisiert zu Diabietinsäure, woraus über die Diabietinsäure eine Verbindung mit einer alkoholischen Gruppe, die Diabietinolsäure, entsteht, die eine Esterbildung ermöglicht. Infolge Polymerisation kommt es zur fast völligen Unlöslichkeit, wie sie im Bernstein vorliegt. Die in älteren Untersuchungen stets als Charakteristikum für baltischen Bernstein erwähnte Bernsteinsäure wurde durch Massenspektrometrie als Bernsteinsäureanhydrid erkannt. Mit Hilfe dieser Methode wurde es möglich, die verschiedenen Bernsteinarten zu unterscheiden (Eichhoff und Mischer 1972). Das Bernsteinsäureanhydrid ist jedoch nur ein Oxydationsprodukt, ein Indiz für fortgeschrittene Diagenese. In anderen älteren Bernsteinarten, wie dem unterkretazischen libanesischen Bernstein, wurde diese Verbindung nicht nachgewiesen. Sie sollen nach neuesten Forschungen von anderen Baumarten stammen (vgl. Dietrich 1975). Die Umlagerung des baltischen Bernsteins in die meist Glaukonit enthaltenden sekundären Lagerstätten jüngerer Straten war stets mit Diagenese unter Bildung genannter Ester und Oxydation bis zum Bernsteinsäureanhydrid verbunden. Letzteres findet sich daher auch in der Oxydationskruste des Bernsteins (Rottländer 1974). Über die chemischen Vorgänge während des Fossilisationsprozesses sind bisher wenig Vorstellungen entwickelt worden (Savkevic 1969). Man nimmt an, daß die Härtung des Balsams zunächst in subtropisch bis tropisch-feuchtem Urwaldboden begann, dann in faulendem Meeresschlamm, z. B. der „Blauen Erde“, fortgesetzt und schließlich im Pleistozän unter dem Druck der Eismassen vollendet wurde. Hierauf folgte ein Abbauprozess durch Oxydation. Eingehend befaßte sich Dietrich (1975) mit allgemeinen Aspekten der Entstehung und Erhaltung der Bernsteinlagerstätten.

4.2. Untersuchungen an einheimischen Bernsteinfunden mittels Analysenquarzlampe und Infrarotspektroskopie

Um die verschiedenen Funde im Raum Leipzig-Halle nach ihren Eigenschaften und ihrer Zusammensetzung vergleichen zu können, wurden Untersuchungen mit Hilfe der Analysenquarzlampe und der Infrarot- (= IR-) Spektroskopie durchgeführt. Die Methode mittels Analysenquarzlampe dient der Unterscheidung echten Bernsteins von Imitationen. Nach Kostka (1929) soll Bernstein ein starkes Leuchten von gelblich-grüner bis weißlichblauer Farbe zeigen. Doch dieses Leuchten ist nur am frischen Bruch erkennbar. Die Verwitterungsrinde zeigt dagegen eine sehr schwache grünlichgelbe Fluoreszenz. Die nach dieser Methode untersuchten Leipziger Funde, desgleichen der Retinit des Geiseltales und vergleichsweise untersuchtes Kolophonium, unterschieden sich nicht vom baltischen Bernstein.

Die IR-Spektroskopie, die sowjetische (Savkevic und Saks 1964; Serganova und Rafikov 1965), amerikanische (Beck, Wilburg und Meret 1964; Beck, Wilburg, Meret, Kossova und Kermani 1965; Langenheim und Beck 1962) und deutsche Forscher (Hummel 1958; Rottländer 1969, 1970) auf den Bernstein anwandten, ist eine moderne Methode, die Aussagen über den Chemismus unbekannter Stoffe ermöglicht. Insbesondere läßt sie zu, festzustellen, welche funktionellen chemischen Gruppen vorliegen. Wie die Spektren (Abb. 2) zeigen, ähneln die durch Eis transportierten Funde, ein Miltitzer (Abb. 2/2), ein Kulkwitzer (Abb. 2/3) und ein Leipziger Fund (Abb. 2/4), dem baltischen Bernstein (in Königsberg - Kalinigrad - 1926 gefunden) (Abb. 2/1). Sie zeigen

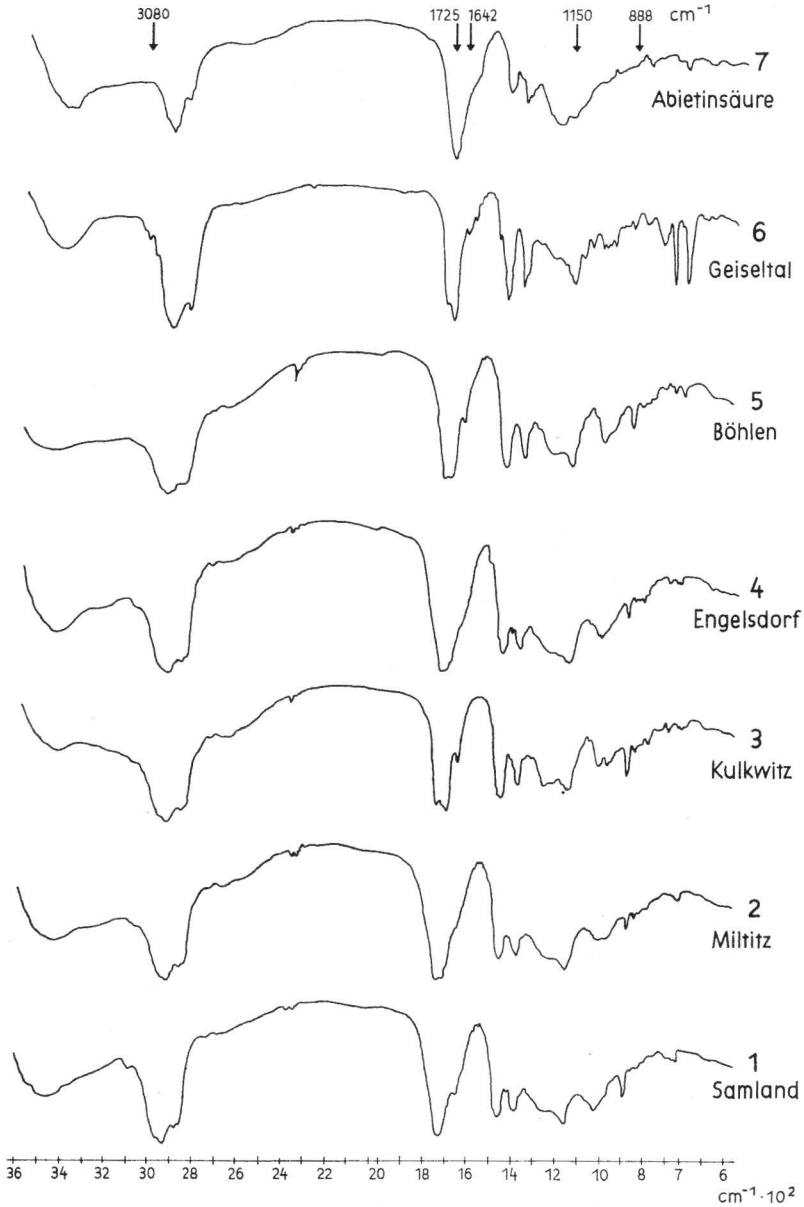


Abb. 2. Infrarotspektren von Bernsteinfinden aus dem Raum Leipzig-Halle im Vergleich mit baltischem (samländischem) Bernstein und tertiärem Retinit

1. Baltischer Bernstein, Kaliningrad
2. Miltitz
3. Kulkwitz
4. Leipzig-Engelsdorf
5. Böhlen bei Leipzig
6. Geiseltal (Retinit)
7. Abietinsäure (Vergleichsmessung)

die charakteristischen Banden für Ester bei 1700 bis 1740 cm^{-1} , speziell bei 1725 cm^{-1} und 1175 cm^{-1} , wobei die Verbreiterung der Bandenfüße das gleichzeitige Vorhandensein anderer C-O-Funktionen, wie freie Säure, anzeigt. Die Banden bei 888, 1642 und 3080 cm^{-1} sind charakteristisch für eine exocyclische Doppelbindung. Weiterhin ist nach Beck et al. für baltischen Bernstein typisch die breite horizontale Schulter zwischen 1100 und 1250 cm^{-1} , gefolgt von einem Peak bei 1150 cm^{-1} . Sie wird der C-O-Einfachbindung eines gesättigten aliphatischen Esters zugeschrieben und fehlte bei untersuchten Proben anderer Herkunft. Sie wird bei Oxydation und Verwitterung des Bernsteins verändert. Die gleichen Merkmale zeigt auch der Böhlener Bernstein aus den tertiären Schichten (Abb. 2/5). Abweichungen sind bei Retinit des Geiseltales (Abb. 2/6) vorhanden, der bereits äußerlich nicht völlig dem Bernstein gleicht, besonders nicht dessen Härte besitzt. Die genannten typischen Banden sind vorhanden. Neu ist hier eine Bande bei 700 cm^{-1} , die auf eine aromatische Gruppierung schließen läßt. Zum Vergleich wurde das Spektrum der Abietinsäure (Abb. 2/7) aufgenommen. Ähnlichkeiten sind aber auch hier vorhanden. Bereits Steinbrecher (1935) stellte fest, daß Retinit wie Bernstein zur Gruppe der Resinosäureresine gehört und auf Grund weitgehender Übereinstimmung hinsichtlich der elementaren Zusammensetzung die Abstammung beider Harzarten von derselben Pflanzengattung, vorwiegend Koniferen, angenommen werden muß. Unterschiedliche Verhältnisse aber können zu verschiedenen Liptobiolithen führen.

Nach Serganova und Rafikov (1965) ist Bernstein chemisch eine hochmolekulare, aus kondensierten aromatischen und hydroaromatischen Ringsystemen mit konjugierten Doppelbindungen, Säure-, Ester- und Hydroxylgruppen bestehende Substanz. Nach Rottländer (1974) ist er ein Polyester der Diabietinolsäure mit ihren Vor- und Abbauprodukten. Der Weg vom ehemaligen klebrigen Baumharz zum „versteinerten“ bzw. fossilisierten Harz konnte seitens der Chemie aufgeklärt werden. Noch gibt es aber Probleme hinsichtlich der Herkunftspflanze (vgl. Dietrich 1975, S. 4).

5. Schlußbetrachtungen

Nach einem historischen und geologischen Überblick über Bernstein werden tertiäre und pleistozäne Bernsteinfunde aus dem Raum Leipzig-Halle beschrieben (Abb. 1). Untersuchungen mit der Analysenquarzlampe und IR-Spektrographen an fossilen Harzfunden erbrachten folgende Ergebnisse: Die pleistozänen und tertiären Leipziger Bernsteinfunde zeigen im UV-Licht der Analysenquarzlampe keinen Unterschied zum baltischen Bernstein. Sie scheinen nach ihrer Zusammensetzung sämtlich dem baltischen Bernstein zu entsprechen. Die IR-spektroskopischen Messungen (Abb. 2) an den Funden zeigen die typischen Banden des baltischen Bernsteins für Ester, desgleichen eine exocyclische Doppelbindung und die charakteristische Schwingung zwischen 1100 und 1250 cm^{-1} . Eine zusätzliche Bande (700 cm^{-1}) weist der tertiäre, mittel-eozäne Retinit des Geiseltales auf, die eventuell auf eine aromatische Gruppierung deutet.

Für wertvolle Hinweise und Überlassung von Proben dankt der Verfasser besonders Herrn Dr. G. Krumbiegel, Halle, desgleichen für Überlassung von Proben den Herren Dr. D. Bartnick, Leipzig, Dr. W.-D. Beer, Leipzig, und L. Lauber, Markranstädt, sowie für freundliche Unterstützung Herrn W. Grimm, Leiter des Spektrollabors im VEB Chemisches Kombinat Miltitz, sehr herzlich.

Zu den Spektren: Die Werte sind mit 100 cm^{-1} zu multiplizieren! Die Bande bei 700 cm^{-1} erscheint doppelt. Dies ist bedingt durch die Eigenart der Arbeitsweise des Spektrographen.

6. S c h r i f t t u m

- Andrée, K.: Der Bernstein und seine Bedeutung in Natur- und Geisteswissenschaften, Kunst und Kunstgewerbe, Technik, Industrie und Handel. Gräfe und Unzer: Königsberg 1937.
- Andrée, K.: Der Bernstein. Kosmos, Ges. der Naturfreunde. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart 1951.
- Beck, C., E. Wilburg und S. Meret: Infrarotspektren und Herkunft von Bernstein. *Nature* [London] **201** (1964) 256–257.
- Beck, C., E. Wilburg, S. Meret, D. Kossova und K. Kermani: Infrarotspektren des Bernsteins und die Identifizierung von baltischem Bernstein. *Archaeometry* **8** (1965) 96–109.
- Bölsche, W.: Im Bernsteinwald. Kosmos, Ges. der Naturfreunde. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart 1927.
- Dietrich, H.-J.: Zur Entstehung und Erhaltung von Bernsteinlagerstätten. 1. Allgemeine Aspekte. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* **149** (1975) 39–72.
- Eichhoff, H.-J., und G. Mischer: Massenspektrometrische und Emissionsspektroskopische Untersuchungen am Bernstein zur Herkunftsbestimmung. *Z. Naturforsch.* **27 b** (1972) 380–386.
- Hardt, H.: Die Steine reden. Altberliner Verlag Lucie Groszer: Berlin 1952.
- Hasenknopf, O., W. Fuchs und W. Gothan: Fossile Harze im Bitterfelder Braunkohlenrevier. *Braunkohle* **32** (1933) 309–315, 326–329.
- Hummel, D.: Kunststoff-, Lack- und Gummianalyse. Carl Hanser Verlag: München 1958.
- Kolbe, H.: Organische Chemie 2. Verlag Vieweg und Sohn: Braunschweig 1810.
- Kostka, G.: UV-Detektor als Hilfsmittel zur Unterscheidung des echten Bernsteins von seinen Imitationen. *Chem. Z.* **53** (1929) 117–138.
- Langenheim, J.-H., und C. Beck: Infrarotspektren zur Bestimmung des botanischen Ursprungs von Bernstein. *Science* **149** (1965) 52–55.
- Mischer, G., und R. Rottländer: Diabetinsäure durch UV-Bestrahlung von Kolophonium. *Tetrahedron Letters* **17** (1971) 1295–1298.
- Pietzsch, K.: Die Braunkohlen Deutschlands. Hdb. Geol. Bodensch., Deutschl. Verlag Gebr. Bornträger: Berlin 1925.
- Plonait, C.: Probleme der Bernsteinforschung. *Z. angew. Chem.* **48** (1935 a) 184–187.
- Plonait, C.: Die fossilen Harze und Wachse. *Z. angew. Chem.* **48** (1935 b) 606–607.
- Rottländer, R.: Bernstein durch Dimerisierung. *Tetrahedron Letters* **47** (1969) 4129–4130.
- Rottländer, R.: Identifizierung der Infrarotspektren von Succinit und einiger Derivate. *Tetrahedron Letters* **24** (1970 a) 2127–2128.
- Rottländer, R.: Bildung von Bernstein aus Kiefernharz. *Archaeometry* **12** (1970 b) 35–51.
- Rottländer, R.: Die Chemie des Bernsteins. *Chemie unserer Zeit* **9** (1974) 78–83.
- Savkevic, S. S.: Wirkung der Fossilierungscharakteristiken auf die Eigenschaften des baltischen Bernsteins. *Tr. Vses. Neft. Nauch. Issled Geologorazved Inst.* (1969) 279–312.
- Savkevic, S. S., und J. H. Saks: Infrarotspektren des baltischen Bernsteins. *Z. prikl. chim.* **37** (1964 a) 2755–2757.
- Savkevic, S. S., und J. H. Saks: Infrarotspektren vom Ostseebernstein (Succinit). *Z. prikl. chim.* **37** (1964 b) 930–931.
- Schelenz, H.: Geschichte der Pharmazie. Verlag J. Springer: Berlin 1904.
- Schubert, K.: Neue Untersuchungen über den Bau und das Leben der Bernsteinkiefer. *Beih. geolog. Jb.* **45** (1961).
- Schulz, W.: Die natürliche Verbreitung von Ostseebernstein und das Bernsteinvorkommen von Stubbenfelde (Usedom). *Z. angew. Geol.* **6** (1960) 610–614.
- Serganova, C. K., und S. R. Rafikov: Struktur und Eigenschaften von baltischem Bernstein. *Z. prikl. chim.* **38** (1965) 1813–1818.
- Steinbrecher, H.: Die fossilen Harze der Braunkohlen. *Z. angew. Chem.* **48** (1935) 608–610.

- Stöhr, E.: Das Pyropissitvorkommen in den Braunkohlen von Weißenfels und Zeitz. *Jb. Min., Geol., Paläont.* (1867) 405–428.
- Süss, M.: Feinstratigraphische Untersuchungen zur Deutung der Flözgenese im Gebiet der Tagebaue Goitsche, Holzweißig, „Freiheit I“ und „Freiheit IV“ des Bitterfelder Reviers. *Freib. Forschgs.-H. C 37* (1957) 109–182.
- Tornow, W.: Bernsteinfunde bei Berlin. *Fundgrube 10* (1973) 44.
- Tschirch, A.: *Handbuch der Pharmakognosie*. Verlag Chr. Herm. Tauchnitz: Leipzig 1909.
- Tschirch, A., E. Aweng, C. de Long und S. Hermann: Über Bernstein. *Helv. Chim. Acta 6* (1923) 214–225.
- Zincken, C. F.: *Ergänzungen zu der Physiographie der Braunkohle*. Verl. Buchhandl. Waisenhaus: Halle 1871.

Otto Priebe

Chemiker

DDR - 7154 M i l t i t z /Leipzig
Fr.-L.-Jahn-Straße 12