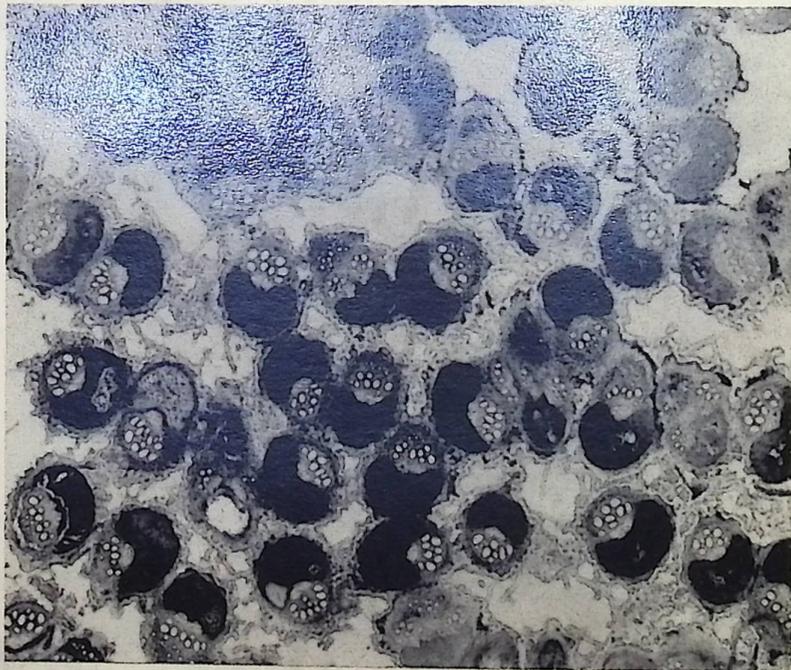


FLORA TERTIARIA MEDITERRANEA

Die tertiären Floren des Mittelmeergebietes

Vegetationsgeschichte, Phytostratigraphie, Paläökologie,
Paläoklimatologie, Paläogeographie

herausgegeben
von
Dr. Hans-Joachim Gregor



Fünfter Band - vierte Abteilung

München
Verlag Documenta naturae
2000

documenta naturae

Sonderbandreihe:

FLORA TERTIARIA MEDITERRANEA

Band V - Abteilung 4

Jahrgang 2000

ISSN 1433-1705

Herausgeber für diese Sonderbandreihe:

Dr. Hans-Joachim Gregor, Daxerstraße 21, D-82140 Olching
Priv.-Doz. Dr. Diethard H. Storch, Sägematte 2, D-19183 Waldkirch

Die Sonderbandreihe aus dem Verlag Documenta naturae erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten Geologie, Paläontologie, Paläophytologie, Botanik, Stratigraphie, Paläökologie, Taphonomie, Paläoklimatologie usw., nur das Mediterrangebiet betreffend

Die Sonderbandreihe ist Mitteilungsorgan der
Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe (PBA)
im Heimatmuseum Günzburg und im Naturmuseum Augsburg

Für die einzelnen Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich,
für die Gesamtgestaltung die Herausgeber.

Überweisung des Einzelpreises erbeten auf das Konto 1548460 bei der Sparkasse FFB
(BLZ 700 530 70) - Inh. H.-J. Gregor.

Bestellungen: bei Buchhandlungen und den Herausgebern.

Copyright für diese Ausgabe: beim Verlag und den Herausgebern.

Layout: Juliane Gregor und Hans-Joachim Gregor

Umschlagbild: Dünnschliffbild einer Palmenart von Sardinien

ERRATA - ERRATA - ERRATA - ERRATA - ERRATA - ERRATA - ERRATA - ATA - E

S. 5:

lies CHARRIER & MAXIA 1970, statt CARRIER & MAXIA

S. 13:

lies bei Kap. 3.1 - 3. Zeile: Abb. 3 - 6, 7, statt 3, 8 und 4. Zeile von unten Taf. 10 statt Abb. 1

S. 50:

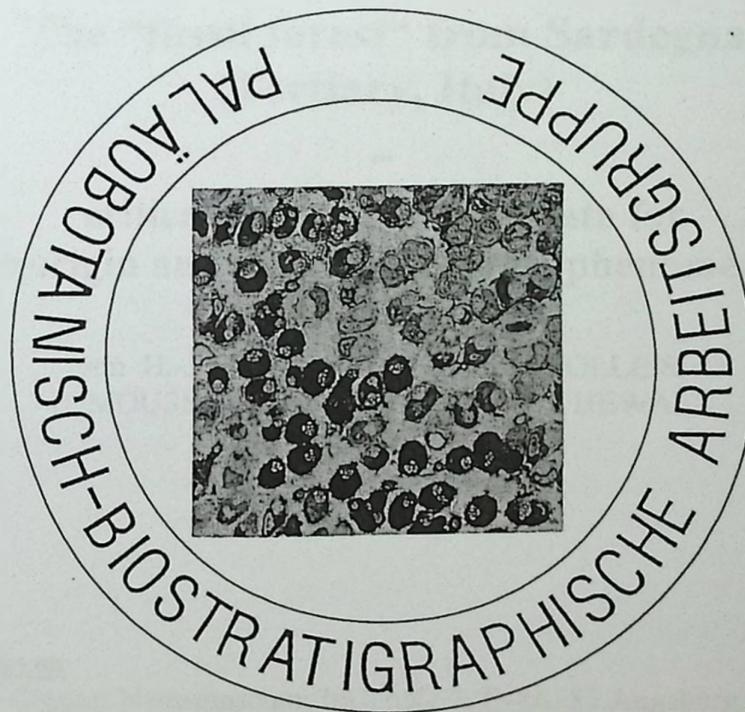
Fig. 2 und 3 sind vertauscht! Fig. 3 ist also 2 und umgekehrt

FLORA TERTIARIA MEDITERRANEA V.4

**Der "fossile Wald" auf Sardinien
(Tertiär, Italien)**

-

**Kritische Würdigung und neue Erkenntnisse
zur Entstehung und Genese eines Phänomens**



**H.-J. GREGOR, R. EXEL, P. HOLLEIS,
E. MOUSSAVIAN, C. SPANO & U. THEWALT**

Der "fossile Wald" auf Sardinien (Tertiär, Italien)

-

Kritische Würdigung und neue Erkenntnisse zur Entstehung und Genese eines Phänomens

von H.-J. GREGOR, R. EXEL, P. HOLLEIS,
E. MOUSSAVIAN, C. SPANO & U. THEWALT

The "fossil forest" from Sardegna (Tertiary, Italy)

-

critical review and new data for the origin and development of a phenomenon

von H.-J. GREGOR, R. EXEL, P. HOLLEIS,
E. MOUSSAVIAN, C. SPANO & U. THEWALT

Adresse der Autoren

Dr. Hans- Joachim Gregor, Naturmuseum, Im Thäle 3, D-86152 Augsburg

Dr. Reinhard Exel, Friesenplatz 8/3/11, A-1100 Wien

Dipl.-Ing. Peter Holleis, Birkenstr. 8, D-82142 Gröbenzell

Dr. Ismael Moussavian, Tulbeckstr. 39, D-80339 München

Prof. Dr. Carlo Spano, Università di Cagliari, Dipartimento di Geologia e Paleontologia,
I-09100, Cagliari, Sardegna

Prof. Dr. U. Thewalt, Universität Ulm, Sektion. Röntgen- und Elektronenbeugung,
D- 89069 Ulm

Alle Autoren sind Mitglieder der Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe im
Heimatmuseum Günzburg und im Naturmuseum Augsburg

Kurzfassung

Die Fundstellen des fossilen Waldes im Nordwesten Sardiniens sind auf zwei sich faziell voneinander abweichenden Sedimentationsräume verteilt, die ca. 100 km von einander entfernt sind: Die Baumstotzen im Raum Laerru-Martis zeigen massive Inkrustationen auf und scheinen, trotz der starken anthropogenen Eingriffe, noch vereinzelt in situ zementiert in aufrechtstehender Position zu stehen. Das gesamte Sedimentationsmilieu zeigt eindeutig eine marin-brackische Überprägung. Die hier einst als Kern dienenden verkieselten Baum- und Holzreste sind nachträglich weitestgehend aufgelöst worden. Die wenigen untersuchten Hölzer gehören zu den Koniferen und stehen im Gegensatz zu denen vom Lago Omodeo.

Die vollständig verkieselten Pflanzenreste am Omodeo-See hingegen weisen keine Inkrustationen auf und liegen darüber hinaus alle in umgelagerter Form innerhalb fluviatiler Schotter vor – nur ein Stamm wurde angeblich in situ vorgefunden. Wo das Material herkommt und welche genauen räumlichen und zeitlichen Beziehungen einst zwischen den beiden Arealen geherrscht haben, lässt sich noch nicht definitiv feststellen.

Die Zusammensetzung der Hölzer von Zuri lässt jedoch auf eine praemiozäne, wahrscheinlich oligozäne oder eozäne Entstehung der Wälder im Gebiet schließen. Diese Assoziation weist dort durch die Dominanz von Palmen und der Gattung *Bombacoxylon* belegt, auf eine eintönige tropisch-subtropische Vegetation hin

Entgegen der bisherigen Annahme lässt diese Vergesellschaftung, sowohl in altersmäßiger wie auch in klimatischer Hinsicht, Beziehungen zu älteren Vorkommen im mediterrann-mittleuropäischen Raum erkennen, wie z. B. zu den eozänen bis oligozänen Vorkommen der Sahara (Ägypten, Libyen) oder zu den Vorkommen der süddeutschen Vorland-Molasse bei Rauscheröd (Wackersdorf, Bayern). Die Holztypen von Lesbos hingegen sind Koniferen- und Lauraceenreich und belegen ein jüngerer, d. h. oligo-miozänes Alter.

Hinweise auf die Fossilisationsprozesse der fossilen Pflanzen und auf den darauffolgenden paläogeographischen Werdegang können nur aus den Inkrustationen und Sedimenten im Gebiet von Laerru-Martis gewonnen werden. Wie Stichproben belegen, wurden die Baumstämme und sonstigen Pflanzenreste später „aber noch in aufrechter Stellung“, unter marinen bis marin-brackischen Bedingungen lagenweise von Rotalgen und anderen inkrustierenden Organismen überkrustet. Erst danach kippten sie um. Nach der marinen Sedimentation und im Zuge der marinen und vadosen Diagenesevorgängen erfuhren die Hölzer metasomatische Verkieselungsprozesse, welche dann größtenteils Auflösungs- und Erosionsprozessen ausgesetzt wurden. Damit zeichnet sich eine völlig andere geologische und paläogeographische Entwicklung des Vegetationsraumes ab als bisher angenommen worden ist.

Der praemiozäne Tertiär-Wald, der im Einflussbereich aktiven Vulkanismus entstanden worden war, geriet nach dem Ausklang in eine tektonisch gesteuerte Absenkungsphase, die dann zur Überflutung der stellenweise noch in aufrechter Stellung erstarrten Waldbestände führte. Im marinen Milieu -vermutlich bereits in miozäner Zeit- wurden die anstehenden Stämme von Rotalgen-dominanten Assoziationen allseitig überkrustet. Erst danach und zwar im Zuge der finalen, den gesamten nordwestlichen Teil Sardiniens erfassten, Hebungsphase erfolgte auch die Trockenlegung des Untersuchungsgebietes. Diese Tatsache setzt eine vorausgegangene Konservierung der Bestände in „Lebensstellung“ voraus. Die Ursache hierfür ist möglicherweise auf thermale Gewässersysteme zurückzuführen, deren lakustrinen Sedimente anscheinend im Zuge der weiteren Entwicklung weitgehend zerstört oder aber überkrustet wurden.

Zusätzlich wurden in den Algenkalken erstmals für Sardiniens fossile Wälder Überreste von Diatomeen gefunden

Die beiden Sedimentationsbecken, Lago Omodeo (Zuri, Soddi) auf der einen Seite und Anglona (Laerru, Martis etc.) auf der anderen, müssen also getrennt bearbeitet und untersucht werden, um evtl. auch ein Verständnis für die Abfolge der Paläogen-Neogenen Vorgänge und Bedingungen bekommen zu können.

Summary

The famous fossil forest from Sardegna is critically revised as a forest system and from the taxonomic point of view. The expression forest is partly denied, because we have reworked conditions with woods and logs at Lago Omodeo at the one hand and then a unique occurrence, algal limestones (biohermes) surrounding the fossil woods and logs at the Anglona area. As a classification of fossil forests is today missing, some proposals could clear up the biotope occurrence of fossil woods of any size.

The diagenesis of the petrification is a phenomenon of high interest. We have stems and woods, without any encrusting algae, partly incrustated fossil woods by marine algae and partly empty algal crusts as huge trunc-like biohermes without any more remains of woods inside – the latter seem to be dissolved. The limestone is dissolved in the run of volcanic activity and replaced by silicifying solutions to siliciumdioxide, sometimes mixed up with chalcedony.

Never were found any in situ – trunks in Sardegna (except one problematic stem), as it is in Lesvos in Greece, where we have stems up to 6 m height. The same as in Lesbos is the matter with lignified trunks at Dunarobba in Central Italy, standing in situ – a rare and outwithstanding real fossil forest in contrast to the Sardegna fossil woods at Lago Omodeo.

The sedimentation of the Anglona forest in the North of Sardegna is quite different to understand, a Miocene (?) forest being surrounded by algae in perhaps hydrothermal water, then changing from marine to brackish conditions with subsidence of the area and lock up of the whole area by algal crusts.

The fossil woods show different taxonomic determinations, tropical/subtropical Bombacoxylon and Palms in Lago Omodeo area and Conifers at Anglona area, the first surely reworked from Eo/Oligocene layers and the latter standing in situ in the Miocene.

Riassunto

La famosa foresta fossile della Sardegna viene criticamente esaminata come sistema forestale e dal punto di vista tassonomico. Poiché sono interessate due distinte aree geografiche (Anglona e Lago Omodeo), l'espressione "foresta" viene parzialmente negata. I siti fossiliferi più importanti sono Laerru, Martis e Perflugas. Gli aspetti della diagenesi per litificazione nelle due aree interessate costituiscono un fenomeno di alto interesse. A Zuri, presso il Lago Omodeo, vi sono legni e tronchi rimaneggiati, ma non fusti "in situ"; essi sono inclusi in ghiaie e non mostrano incrostazioni algali. Invece, nella zona di Anglona, si registra una situazione unica, con calcari algali (bioherme) che circondano i fusti arborei. Le alghe, cresciute in ambiente marino, incrostano in parte dei legni fossili ancora conservati e in parte formano massicce bioherme a forma di tronco, le quali circondano cavità cilindriche senza alcun resto del legno originario – quest'ultimo sembra essersi dissolto. Il materiale calcareo originario è stato dissolto durante fasi di attività vulcanica e sostituito, a carico di soluzioni silicizzanti (grazie anche alla presenza di diatomee), da silice, a volte sotto forma di calcedonio. Una simile situazione si trova nella foresta fossile di Purbeck [it is a real one], nel Giurassico dell'Inghilterra, ma non altrove.

Alquanto differenti appaiono le condizioni nella foresta fossile "pietrificata" di Lesvos in Grecia, dove vi sono fusti arborei "in situ", connessi a radici e alti sino a 6 metri. La situazione è analoga a Dunarobba in Umbria, dove i tronchi sono "lignitizzati" (o meglio "mummificati"). I due casi citati costituiscono rari e rimarchevoli esempi di autentiche foreste fossili – in contrasto con gli sparsi legni fossili della Sardegna. Anche in Libia o in Egitto, le "foreste" corrispondono per lo più a tronchi isolati, non "in situ" e perciò rimaneggiati (difficult to accept this conclusion!!), come pure in molti siti di Germania, Francia e Grecia.

Poiché attualmente manca una classificazione delle foreste fossili, alcune proposte possono chiarire i biotopi (???) utili alla loro conservazione.

Gli sviluppi futuri del lavoro saranno dedicati all'esame della diagenesi delle bioherme, dell'età dei legni fossili e relative condizioni paleoecologiche, paleoclimatiche e vegetazionali.

Schlüsselworte: Sardinien, Tertiär, Kieselhölzer, Xylotomie, Algenwachstum, Vulkanismus, Fazies, Mineralogie, Diatomeen, Fossiler Wald.

Key words: Sardegna, Tertiary, silicified woods, xylotomy, algal growth, volcanism, facies, mineralogy, diatoms, fossil forest.

Inhalt	Seite
1. Einleitung	5
1.1 Problemstellung	5
1.2 Material und Methodik	5
1.3 Danksagung und Vorstellung der Autoren	6
2. Tektonischer und geologischer Rahmen	7
2.1 Tertiäre Sedimentationsentwicklung	10
2.1.1 Der Südwesten der Insel	10
2.1.2 Der Nordwesten der Insel	10
3. Verbreitung und Faziesverhältnisse fossiler Wälder Sardiniens	13
3.1. Geographische Verbreitung	13
3.1.1 Laerru	13
3.1.2 Martis	17
3.1.3 Soddi-Olecca	17
3.1.4 Oschiri	18
3.1.5 Zuri - Lago Omodeo	18
3.1.6 Bulzi	18
3.1.7 Material in Museen	18
3.2 Faziesverhältnisse	21
4. Sedimentologische Charakteristik der Inkrustationen im Raum Laerru-Martis	21
4.1 Ausbildung und Typisierung der inkrustierten Baumstotzen und Pflanzenreste	21
4.2 Mikrofazielle Analyse und Diagenese der Inkrustationen und Zemente	21
4.2.1 Mikrofazies	21
4.2.2 Diagenese und Verkieselung	24
4.2.3 Beobachtungen zur Mineralogie	24
5. Beschreibung der Algen-Flora	28
5.1 Rhodophyceae – kalkige Rotalgen	28
5.1.1 Corallinaceae	29
5.1.2 Peyssonneliaceae	29
5.2 Diatomeae - Kieselalgen	31
6. Die Kieselholz - Flora	32
6.1 Diskussion der älteren Daten	32
6.2 Neuere Aufsammlungen	33
6.2.1 Material im Naturmuseum Augsburg	33
6.2.2 Vorläufige xylotomische Bestimmungen	34
6.2.3 Das Palmen-Problem	34
7. Paläoklimatologische und paläoökologische Anmerkungen	36
8. Stratigraphische Einstufung	37
9. Vergleiche mit anderen Vorkommen tertiärer Wälder	38
10. Zusammenfassende Schlussfolgerung	39
11. Literatur	41
Tafeln	47

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Fossile Wälder gehören zu den interessantesten biologisch-geologischen Erscheinungen. Einerseits ermöglichen sie einen Einblick in die Vegetationsgeschichte, andererseits liefern sie wertvolle Erkenntnisse über den Aufbau der einstigen terrestrischen Ökosysteme und deren klimatische Verhältnisse. Die Überlieferung früherer Wälder ist allerdings weniger an ihren Entstehungs- bzw. Wachstumsorten vorzufinden, als vielmehr in räumlich und auch oft zeitlich versetzten Ablagerungsräumen, und zwar meistens nachweisbar an versteinerten Überresten, Zersetzungsprodukten oder aber an hinterlassenen Abdrücken und Pollenkörnern.

Die Bezeichnung „Versteinerter Wald“ bezieht sich auf einen Vegetationsraum vergangener Zeiten, dessen Pflanzengemeinschaften oder Baumbestände zumindest rudimentär an ihren ursprünglichen Entstehungsorten und in „Lebensstellung“ überliefert worden sind. Derartige selten vorkommende Phänomene setzten jedoch das Zusammenwirken von besonderen geologischen, sedimentologischen und diagenetischen Prozessen voraus, welche in rascher Folge ablaufen und somit zur Konservierung von Organismen in ihrem primären Lebenszustand führen. Die meisten als versteinerte Wälder bezeichneten fossilen Lagerstätten entsprechen nicht unbedingt der hier verwendeten Definition.

Aus dem Tertiär des Mittelmeerraumes wurde bisher über eine Reihe versteinerter Wälder berichtet. Einige mio-pliozäne Bildungen ähnlicher Art in Europa stehen nach wie vor im Mittelpunkt des Interesses der Geologen und Paläobotaniker (vgl. Abb.1):

- Das hier zur Diskussion stehende Vorkommen im Nordwesten Sardiniens (COMASCHI CARIA 1958,1959; CARRIER & MAXA 1970, STERZEL 1900).
- Der versteinerte Wald auf der Insel Lesbos (VELITZELOS 1999)
- Der lignifizierte Wald von Dunarobba bei Perugia (AMBROSETTI et al. 1992)
- Die Kieselhölzer von Rauscheröd in der Molasse (GOTTWALD 1997)
- Das Vorkommen im Mokkattam bei Kairo (CARRUTHERS 1870)
- Die nordafrikanischen Vorkommen von Algerien und Tunis usw. (GOTTWALD 1969, LOUVET 1968)
- Das Vorkommen von Sahabi in Libyen (GREGOR & VELITZELOS 1997)

Tatsache ist, dass die genannten Vorkommen auf die Existenz relativ kurzlebiger kontinentaler Vegetationsräume im Miozän hindeuten, deren Entstehung und Zusammenbruch in enger Beziehung standen mit den entscheidenden orogenetischen Phasen und den dadurch ausgelösten kurzzeitigen Vulkanausbrüchen, Meeresspiegel- und Klimaschwankungen. Ob es sich bei den sardischen Vorkommen tatsächlich um einen zeitlich und räumlich zusammenhängenden versteinerten Wald handelt, ist nicht nachgewiesen. Einerseits fehlen bisher ausreichende Kenntnisse über wichtige waldbildende Gemeinschaften, andererseits ist es bis heute nicht geklärt, welche geologischen und diagenetischen Prozesse zu ihrer Erhaltungsfähigkeit entscheidend beigetragen haben. Daher erscheint es sinnvoll und vielversprechend diese fossilen Ökosysteme vergleichenden Untersuchungen zu unterziehen, und zwar in einer fachübergreifenden internationalen Kooperation. In dem vorliegenden Beitrag werden einige neue, die Pflanzengemeinschaft und -genese betreffenden Untersuchungsergebnisse aus dem Tertiär Nordwest-Sardiniens zur Diskussion gestellt.

1.2 Material und Methodik

Die in verschiedenen privaten Sammlungen Deutschlands aufbewahrten Kieselhölzer von der Fundstelle „Zuri“ am „Zuri-See“ (Omodeo-See, NW Sardiniens) weckten bereits 1970 die Aufmerksamkeit eines der Autoren (Gregor), der damals begann, fossile Pflanzen aus dem europäischen Tertiär zu untersuchen. Im Laufe der Jahre tauchten immer wieder solche Objekte auf Börsen usw. auf - mit wechselndem Alter (Miozän, Oligozän) und mit verschiedenen

Holzarten. Auffällig waren dabei die immer als selten zu bezeichnenden Palmreste, welche meist sehr gut erhalten waren. Auch die oft deutlich zu sehende teilweise Achatisierung der Holzreste und die manchmal sogar zerrissenen und mit Chalcedon wieder gefüllten löchrigen Kieselhölzer ließen Schlüsse auf die diagenetisch besonderen Bedingungen zu – vor allem im Vergleich mit den Holzresten vom Versteinerten Wald auf Lesbos (vgl. VELITZELOS 1999). Die Farbe der sardischen Hölzer war immer ein helles Braun, niemals farbig wie auf Lesbos. Die Achat-Einschlüsse zeigten Blaufärbungen und weißliche Strukturen, also keine gelbrot-grünen wie z.T. auf Lesbos. Im Zuge der Untersuchungen der Kieselhölzer aus dem zentralen Sahara und der süddeutschen Molasse (GREGOR 1980, GOTTWALD 1992, 1997, 2000), erschien uns das Thema reizvoll genug, um eine nähere Untersuchung in Angriff zu nehmen. Dass dabei ein gutes Teamwork entstanden ist, bringt der Sache sicher mehr Erfolg. Die Bestandaufnahme der Vorkommen bzw. Fundstellen erfolgte auf mehreren Exkursionen, die in den Jahren zwischen 1994-1998 durchgeführt und wie folgt gekennzeichnet worden sind (vgl. Näheres in den Tagebüchern des Autors GREGOR: 1994 (E 746), 1997 (E 784), 1998 (E 808), 1999 (E 820).

Lago Omodeo	E 746/18; E 784/ 30;
Zuri	E 746/ 21, 23; E 784/ 29; E 808/ 66a
Soddi-Olecca	E 820/ 70A
Olecca	E 820/ 71
Laerru	E 808/ 15, 62f; E 820/ 25, 39, 72
Martis	E 820/ 73
Bulzi	E 820/ 74
Oschiri	E 746/ 51
Perfugas	E 820/ 26

Die sedimentologische und mikropaläontologische Bearbeitung konzentrierte sich vorerst auf ausgewählte Sedimentproben aus dem Gebiet Laerru-Martis, weil nur hier ein Einblick in die Entwicklungsgeschichte des fossilen Waldes gewonnen werden konnte. Zu diesem Zwecke erwiesen sich auflicht- und durchlichtmikroskopische Untersuchungen an Anschliffen und Dünnschliffen als sehr nützlich. Die fortgeschrittene Umkristallisation und Verkieselung der Sedimente erschwerten eine Rasterelektronenmikroskopische Bearbeitung, zeigten aber auch deren Notwendigkeit im Hinblick auf die vorhandenen Diatomeen.

Das untersuchte Material ist im Naturmuseum Augsburg unter diversen Eingangsnummern inventarisiert (vgl. Näheres in Kap. 6.2).

1.3 Danksagung und Vorstellung der Autoren

Wir bedanken uns ganz herzlich bei Giuseppe CALZAGHE vom Ufficio Postale und bei Giovanni DETTORI in Laerru (I-07030, Sardinien) für ihre stets vorhandene Hilfsbereitschaft, uns den „fossilen Wald“ von Laerru und seine Umgebung zu zeigen. Freundlicherweise war die Reise nach Laerru zu Herrn CALZAGHE vermittelt worden durch Fam. HEPFER (Ulm), die den Besuch des „fossilen Waldes“ erstmals Autor GREGOR empfohlen hat.

Prof. H. Gottwald (Dir. & Prof. a.D. – vorm. Bundesforschungsanstalt für Forst – und Holzwirtschaft in Hamburg-Lohbrügge, privat: Am Salteich 3, D-21465 Reinbek) verdanken, wir wie schön öfters die Bestimmungen der von Sardinien vorliegenden Hölzer.

Wir bedanken uns weiterhin für vielfache Hilfe und für Überlassung von Fossilmaterial bei folgenden Personen:

K. WISSMANN, (Flumini Quartu SE, Cagliari), G. DEIANA (Boroneddu, Sardinien), M. SALMOIRAGHI (Castellanza, Italien), R. GAJPL (Alsdorf), Fam. EICKENSCHIEDT (Krailling bei München) und bei Kollegen R. AUGSTEN, (Pfronten-Kappel).

Die mikroskopischen Aufnahmen verdanken wir Herrn M. BERGMEIER vom Institut f. Paläontologie u. hist. Geologie in München. Die Dünn- und Anschliffe wurden freundlicherweise von Frau S. GRÄLER vom Institut f. Allgemeine Geologie in München angefertigt. Da sich eine ganze Reihe von Autoren zu diesem Werk zusammengefunden hat, möge es erlaubt sein, eine kurze Vorstellung zu geben:

Hans- Joachim Gregor, Initiator und Koordinator der deutschen Untersuchung

Reinhard Exel, Autor des „Geologischen Führers Sardinien“ und profunder Kenner der Geologie der Insel

Peter Holleis, Spezialist für Molasse-Kieselhölzer und Sponsor der Untersuchung

Ismael Moussavian, Spezialist für Algen und Bioherme

Carlo Spano, Koordinator der italienischen Seite der Untersuchung und Kenner des fossilen Waldes auf Sardinien

Ulf Thewalt, Spezialist für Röntgen und REM-Untersuchungen an Mineralien

2.1 Tektonischer und geologischer Rahmen

Der geologische Aufbau Sardiniens war in den letzten hundertfünfzig Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Hervorzuheben sind u.a. folgende der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Publikationen: LA MARMORA(1858); COCOZZA et al (1974), VAR-DABASSO (1976), EXEL (1986), sowie die Geologischen KARTEN I-36 und I-37.

Sardinien und die benachbarte Insel Korsika bilden gemeinsam einen zum Paläoeuropa gehörenden Festlandblock, deren lange komplizierte Geschichte bis ins Präkambrium verfolgt werden kann. Die heutige, durch mehrere Grabensysteme gekennzeichnete, geologische Struktur Sardiniens ist das Resultat der jüngsten, d.h. der alpidischen Orogenese, welche in ihrer finalen Phase im Verlaufe des Zeitraumes Oligozän-Pliozän zu tiefgreifenden Veränderungen der sardisch-korsischen Mikroplatte führte und letztlich die endgültige Heraushebung der beiden Inseln einleitete. Mehrere entscheidende Ereignisse markieren die geodynamischen Vorgänge: die Verschiebung und Rotation der sardischen Mikroplatte von ihrer ursprünglichen Position im Bereich der Provence/Südfrankreich) in die heutige Lage, die Zerlegung des gesamten Blocks in mehrere Schollen durch Bruchtektonik und infolgedessen der dadurch in Gang gesetzte, periodisch entlang der Spalten aktivierte Vulkanismus und schließlich die ständigen Meeresspiegelfluktuationen (Fig. 7 und 8 in Exel 1986). Die bis auf tausend Meter angewachsenen, vorwiegend auf der westlichen Inselhälfte ausgebreiteten, Vulkanite lassen entsprechend ihren stratigraphischen Positionen zwei Zyklen magmatischer Eruptionen erkennen: Der intensive prähelvetische oder „antike“ Vulkanismus, auf den der größte Teil der andesitischen und trachytischen Produkte zurückzuführen sind, setzte gegen Ende des Eozän ein und hielt bis zum Beginn des Helvet an. Der plio-pleistozäne oder „rezente“ Vulkanismus, der schwächer ausfiel, begann im ausgehenden Tertiär und endete im Pleistozän über lakustrinen Absätzen des Donau-Günz-Stadiums.

Bedingt durch die genannten übergeordneten Steuerungsmechanismen, zeigt die lithologische Zusammensetzung Sardiniens im Tertiär, sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Entwicklung, ein ständiges Wechselspiel zwischen transgressiven Serien, regressiven Abfolgen, vulkanischen Produkten, terrestrischen Bildungen und Schichtlücken(Fig. 8 in CHERCHI & MONTADERT 1982). So charakteristisch auch der geologische Aufbau der Insel als Spiegelbild der jüngsten Orogenese im Mittelmeerraum erscheint, die Erforschung ihrer, auf engsten Raum stark differenzierten Faziesentwicklung ist äußerst kompliziert. Aus diesem Grunde liegt bisher, trotz zahlreicher Geländeaufnahmen und Bohrkernuntersuchungen, noch keine flächendeckende sequenzstratigraphische Auswertung vor.

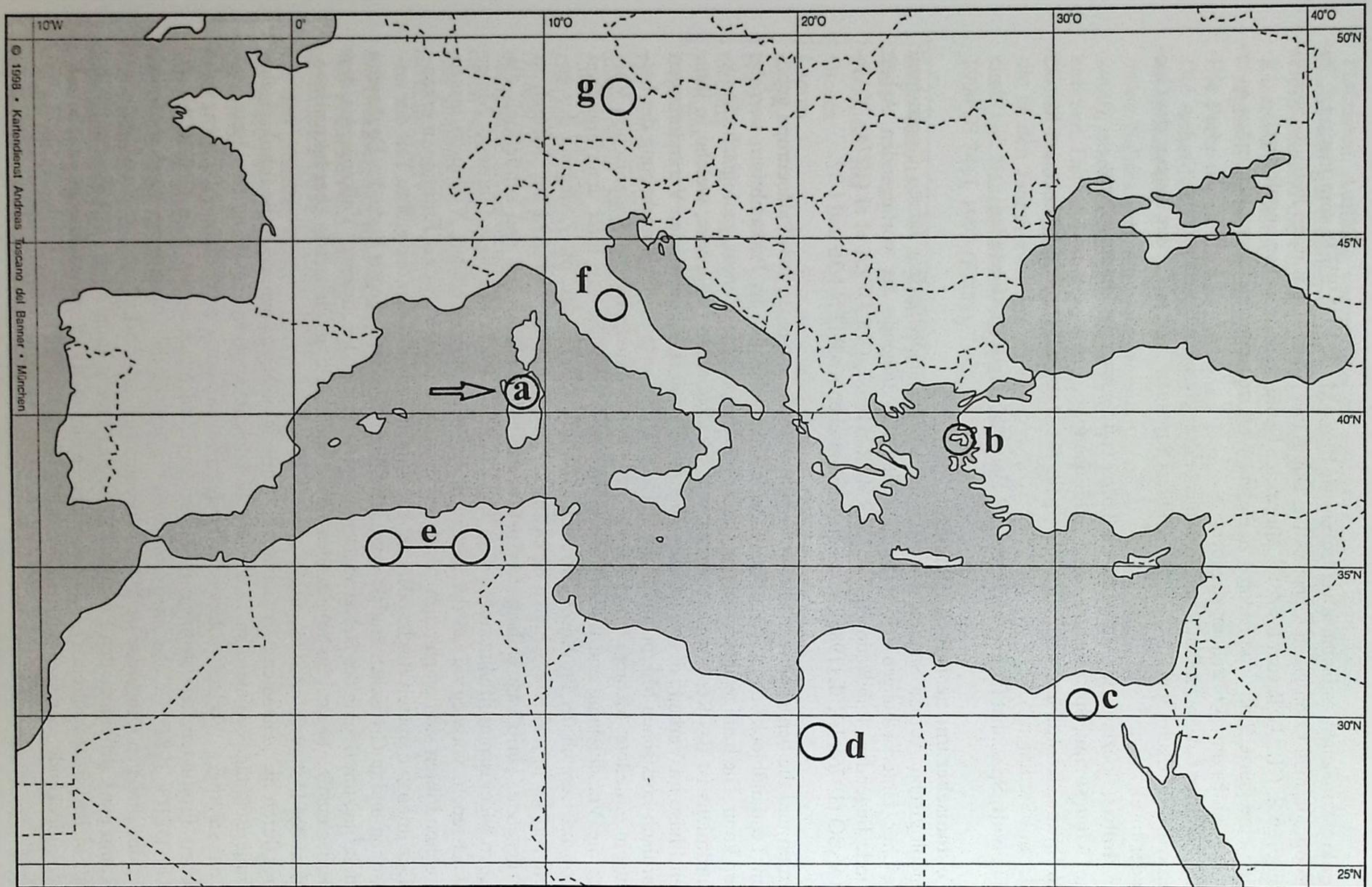


Abb. 1: Karte der Mediterraneis mit Angabe diverser fossiler Wälder (erster bis dritter Ordnung) Europas und Afrikas, darunter der des Untersuchungsgebietes auf Sardinien (Pfeil). Fast allen gemeinsam sind Formen wie z.B. *Bombacoxylon* und *Palmoxyton*. Nur bei b und f liegen jüngere Wälder mit anderer Komposition vor. a: Sardinien, b: Lesbos, c: Kairo, d: Libyen, e: westliches Nordafrika, f: Dunarobba, g: Rauscheröd.

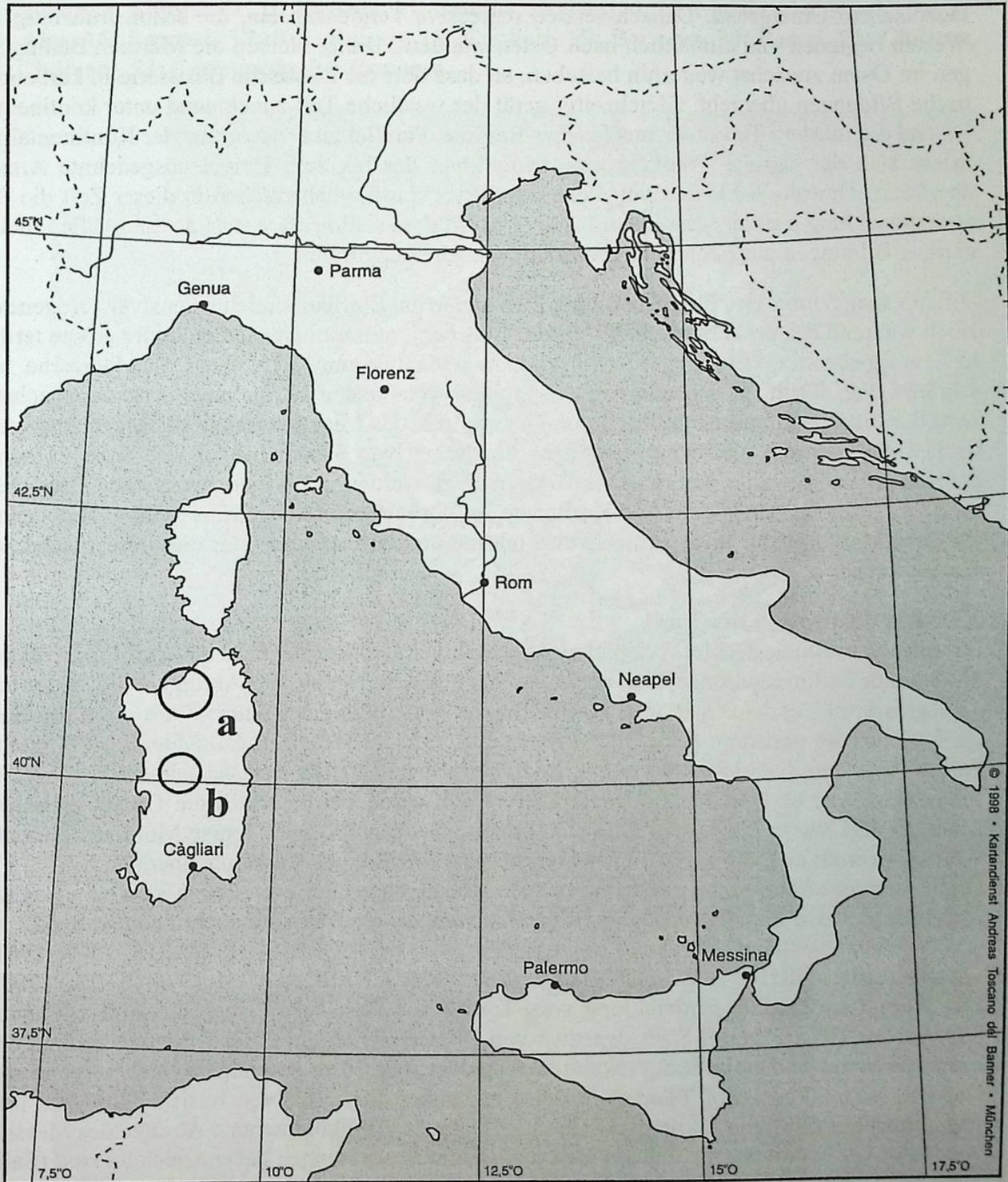


Abb. 2: Italien mit dem fossilen Wald von Sardinien (Kreise). Die Fundstellenareale sind: a: Anglona, b: Lago Omodeo

2.2 Tertiäre Sedimentationsentwicklung

Sowohl in östlichen als auch in westlichen Bereichen liegen marine, grob- bis mittelklastische Ablagerungen des Alttertiärs transgressiv bzw. diskordant über mesozoischem oder paläozoischem Untergrund. Danach setzten regressive Tendenzen ein, die schon frühzeitig im Westen beginnen und allmählich nach Osten wandern. Daher bleiben die marinen Bedingungen im Osten zunächst weiterhin bestehen, so dass dort die klastische Basisserie in karbonatische Bildungen übergeht. Gleichzeitig gerät der westliche Teil zunehmend unter kontinentales und der mittlere Teil unter brackisches Regime. Parallel zu fortschreitender Kontinentalität macht sich der "antike" Vulkanismus bemerkbar, der bis zum Helvet ausgedehnte Areale überdeckt: Gewaltige Massen von Laven und Pyroklastika beherrschen in dieser Zeit die Faziesentwicklung auf der westlichen Inselhälfte, so dass sedimentäre, fast ausschließlich nicht-marine, Bildungen nur noch untergeordnet in Erscheinung treten.

Der Westen Sardiniens bleibt bis zum Pleistozän im Einflussbereich intensiver Orogenese. Noch während des prähelvetischen Vulkanismus beginnt im unterem Miozän der größte tertiäre Transgressionszyklus, der allem Anschein nach bis zum Helvet auf Randbereiche beschränkt war. Nach der Beendigung des Vulkanismus und im Zuge einer Absenkungsphase wird die Insel nach und nach überflutet. Gegen Ende des Miozän erreicht die Meeresspiegelsteigerung fast das gesamte westliche Sardinien. Abgesehen von manchen lokal begrenzten Hochs, auf denen kontinentale Verhältnisse vorherrschen, werden in übrigen westlichen Bereichen meist fossilreiche Sandsteine und Karbonate im vorwiegend flachmarinen Milieu abgelagert. Im Pliozän erfolgt nur noch gebietsweise marine und terrestrische oder rein terrestrische Sedimentation.

2.2.1 Der Südwesten der Insel

Im Iglesias-Sulcis-Gebiet beispielsweise, steht ein vollständiger, noch im Eozän abgeschlossener Sedimentationszyklus an, angefangen mit transgressiven Abfolgen, die später unter regressiven Tendenzen in eine kohleführende Serie überleiten (Sulcis-Formation). Im Sulcis folgt auf die genannte Serie im Oligozän eine fluviatil-lakustrine Schichtenfolge (Cixerri-Formation), deren Ablagerungsraum im frühen Oligozän offensichtlich als Molassebecken fungierte, bevor er vom Vulkanismus überwältigt wurde. Im benachbarten Gebiet zwischen Monastir und Nuraminis, entwickeln sich im ausgehenden Oligozän, erneut Molassesedimente (Ussana-Formation), die sowohl die Cixerri-Formation als auch Vulkanite überlagern.

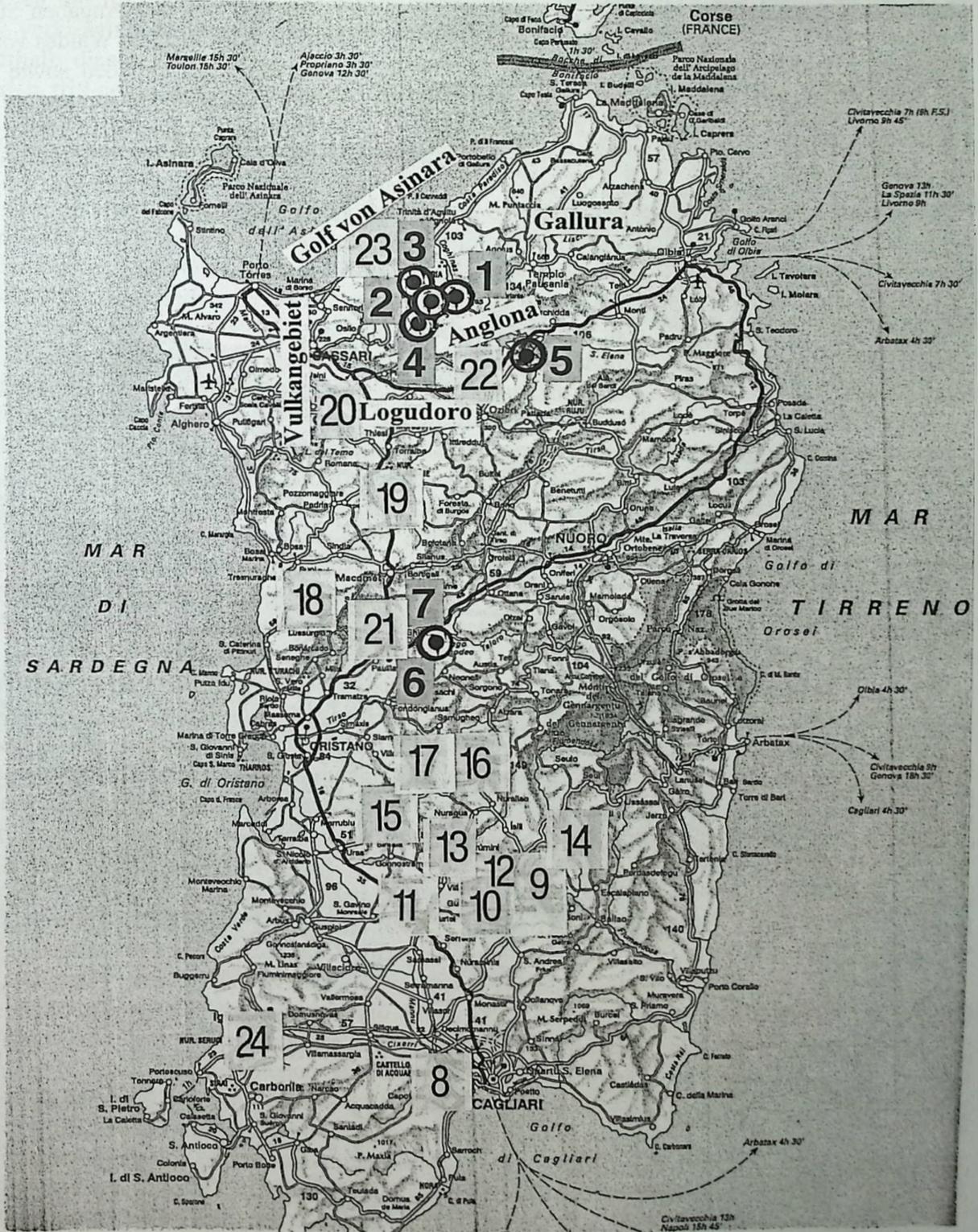
Die bisher am besten untersuchten miozänen Ablagerungen der Insel liegen im Raum Cagliari-Oristano, wo anhand von Bohrkernuntersuchungen eine Gesamtmächtigkeit von 622 m (Cagliari) bzw. 982 m (Oristano) gemessen worden ist (COMASCHI CARIA 1949, 1981; GANDOLFI&PORCU 1967; COCOZZA et al 1974; CHERCHI et al 1978; EXEL 1986). Eine komplette fazielle Entwicklung vom Torton bis Pleistozän zeigen die Aufschlussverhältnisse auf der Halbinsel Sinis, westlich von Oristano. Hier, am Capo S. Marco, beginnt der unmittelbar auf andesitischen Vulkaniten folgender, nur 20 m mächtige Schichtverband der Capo S. Marco-Formation (Torton-Messin) mit einem transgressiven Basiskonglomerat und endet mit Foraminiferen führenden Schiefen. Darauf folgen kontinentale Absätze des Messin, welche durch Horizonte mit Paläoböden und fluviatilen Bildungen gekennzeichnet sind (Salinitätskrise?, vgl. CHERCI et al. 1978, EXEL 1986: 71).

2.2.2 Der Nordwesten der Insel

Relativ wenig ist bekannt über die zeitliche und räumliche Faziesentwicklung im Nordwesten Sardiniens. Im Raum Alghero liegen lakustrine, teilweise pflanzenführende, Sedimente des Oligozän direkt auf oberkretazischen Hippuritenkalken. Durch Bohrungen bei Oschiri ist eine ähnliche 300 m mächtige Serie bekannt geworden, deren Alter bis ins Miozän reichen soll.

Abb.3: Karte von Sardinien mit den im Text erwähnten Fundstellen bzw. Museen:

- 1: Perfugas, 2: Laerru, 3: Bulzi, 4: Martis, 5: Oschiri, 6: Zuri am Lago Omodeo,
- 7: Soddi – Olecca am Lago Omodeo,
- 8: Cagliari, 9: Siurgus D., 10: Guasila, 11: Sanluri, 12: Gesico, 13: Mandas, 14: Nurri,
- 15: Ales, 16: Lacconi, 17: S.A. Ruinas, 18: Cuglieri, 19: Bonorva, 20: Banari, 21: Ghilarza,
- 22: Chilivani, 23: Castelsardo, 24: Gonnese



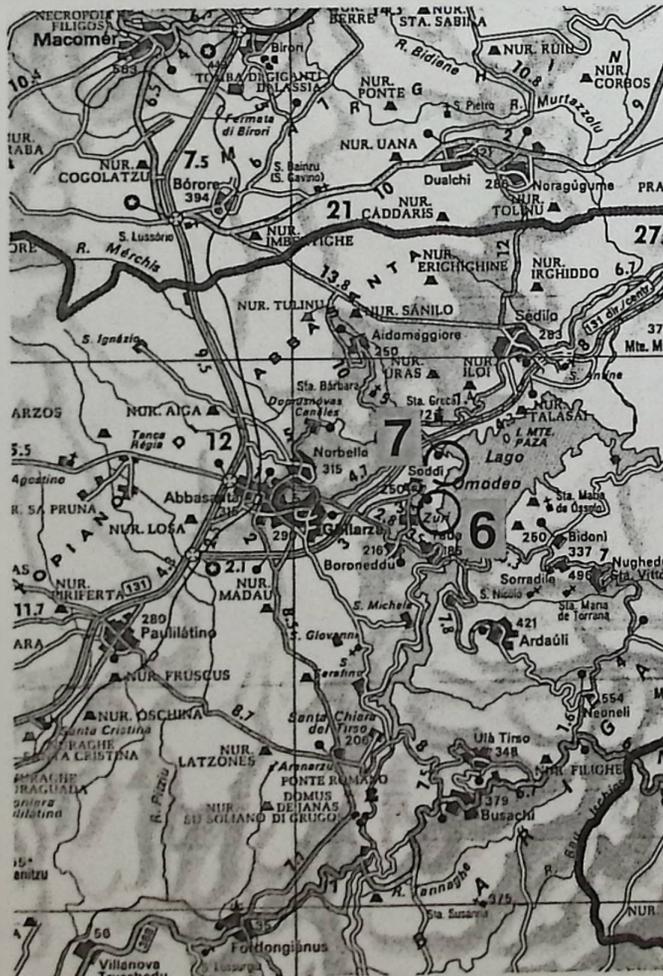
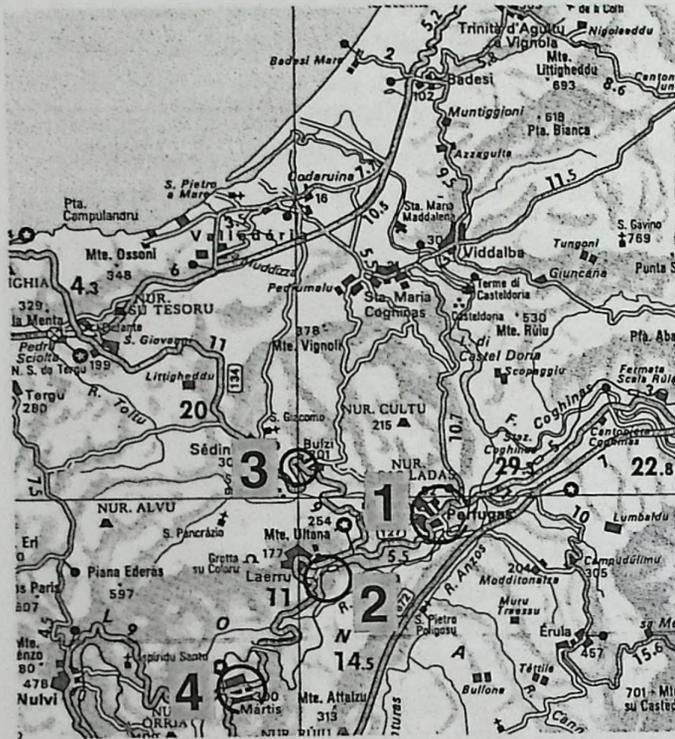
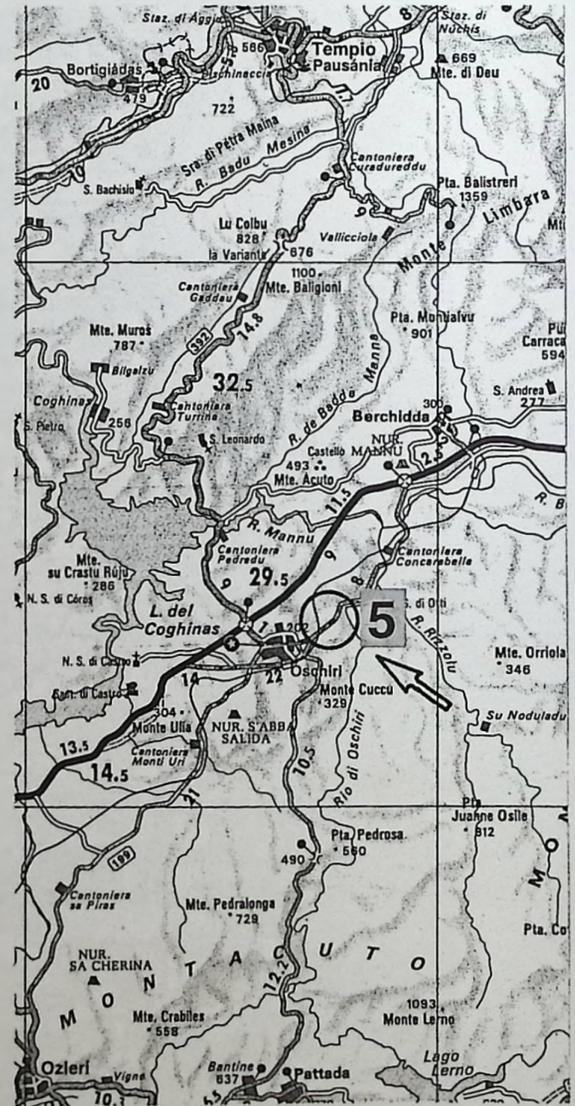


Abb.4: Topographische Karten

1:250 000 mit den Angaben zum Vorkommen des fossilen Waldes von Laerru und vom Lago Omodeo sowie der isolierten Fundstelle Oschiri

1: Perfugas, 2: Laerru, 3: Bulzi, 4: Martis, alle Anglona; 5: Oschiri bei Ozieri; 6: Zuri am Lago Omodeo, 7: Soddi - Olecca ebenda,



Die am weitesten verbreiteten Gesteine im Raum Alghero- Porto Torres-Sassari, sind nach bisherigen Arbeiten auf prähelvetische (prätortone) Vulkanite und transgressiv einsetzende miozäne Ablagerungen zurückzuführen, deren Sedimentationszyklus erst nach dem ausklingenden "antiken" Vulkanismus abgeschlossen sein soll (COCOZZA et al 1974, CHERCHI et al 1978, CHERCHI & MONTADERT 1982, EXEL 1986, Fig. 67 in EXEL 1986). Dazu gehören die Sedimente bei Sassari mit einer Gesamtmächtigkeit von 600 m. Zu diesem Zyklus gehören die im Gebiet Perfugas-Martis sowie im Raum Zuri aufgeschlossenen klastischen bzw. verkieselten Sedimente mit massiv inkrustierten Hölzern.

Innerhalb dieses Komplexes, dessen Sedimente bisher als kontinentale Absätze angesehen wurden, tritt der in diesem Beitrag zu Diskussion stehende „fossile Wald“ zutage.

3. Verbreitung und Faziesverhältnisse fossiler Wälder Sardinien

3.1 Geographische Verbreitung

Bei den diversen Fundstellen muss man unterscheiden zwischen dem Areal des „Foresta pietrificata dell' Anglona“, einem geschlossenen Gebiet von ca. 300 km² (Abb. 3) und dem Gebiet um den Lago Omedeo, auch Zuri-See genannt (Abb.3, 8), sowie Fundstellen, die keine Kieselhölzer, aber andere Pflanzenreste bzw. Algen geliefert haben (Abb. 3). Das Gebiet des vielzitierten „Anglona-Waldes“ wird im Norden vom Golf von Asinara begrenzt, im Süden vom Logudoro, im Westen vom Vulkangebiet Sassari und im Osten vom Granitgebirge der Gallura (Abb.3). Der „Versteinerten Wald“ von Zuri am Zuri-See (bzw. Lago Omedeo) hat die Fundstellen unmittelbar an seinem südwestlichen und westlichen Ufer. Als Weitere Fundstellen mit „Holz“ (kein Wald!) gelten: Lagusantu, Perfugas, einschließlich Rio Atlana bei S. Salvatore, Kanalgraben Su Vicaru e Sattalza sowie Monterenu, Lokalität Vetrina bei Laerru, und Lokalität Carucana bei Martis. Das aufgesammelte Material aus einem Teil dieses Gebietes wird im Naturmuseum Augsburg aufbewahrt.

Im folgenden werden sowohl die einzelnen Fundstellen als auch die örtlichen Museen angeführt, in denen fossiles Material aufbewahrt wird. Es wird hier noch keine Wert auf eine systematische Unterretilung gelegt, um den Blindversuch bei den Zuordnungen nicht zu gefährden.

Auf Abb. 3 werden die hier näher untersuchten Fundorte als Nummern 1-7 (farbig, mit Kreisen) gezeigt, die weiteren Fundorte als Ergänzung, z.T. nicht kieselholzführend (weiße Nummern ohne Kreise). Die folgende Auflistung (Tab. 1) beruht auf den Angaben auf der großen Karte in der Ausstellung im Museum in Perfugas, wobei dort zu jeder Nummer die „Öko-Elemente“ angegeben werden. Sie werden kurz als tropisch, palustrisch und als Koniferen charakterisiert, ohne weitere Daten zu erwähnen. Wir werden im weiteren auf diese z.T. problematischen Bestimmungen eingehen.

3.1.1 Laerru (E 820/15 und E 820/25)

Die Fundstelle der Algenstotzen, dessen Begehung dankenswerterweise mit Mithilfe der Herren CALZAGHE und DETTORI ermöglicht wurde, befindet sich südlich Laerru Richtung der Schnellstraße Ploaghe – Perfugas, am Rio Altana, der dort stark verbaut wurde. Auf der Anhöhe der Straße liegen die ersten Stotzen, z.T. noch in situ, im nahen Acker „weggepflügt“ und in der Wiese auf der nördlichen Seite z.T. noch aufrecht.

Die größte Ansammlung von etwa 200 Stotzen findet sich auf dem künstlichen Ufer des Rio Altana im Tal angesammelt - alle nicht mehr am originalen Fundort!

Hier befinden sich also an mehreren nahe benachbarten Stellen massenhafte Anreicherungen von Algenkrusten (Abb. 1), die aber fast alle auf sekundärer Lagerstätte liegen.

Im Raum Laerru finden sich unterschiedlich große säulenartige Gebilde, welche seit jeher von den Einwohnern zu verschiedenen Zwecken verwendet werden (Taf. 5/1). Wesentlich kleinere Formen von wenigen Zentimetern fehlen hier im Gegensatz zu anderen Gebieten.

Tabelle 1: Verzeichnis der Fundpunkte auf Sardinien mit Pflanzenresten; T = tropisch, P = palustrisch, C = Koniferen: Angaben nach offizieller Karte im Museum Perugas.

Fundort	Nummer auf Abb. 3	Öko-Elemente	Bemerkungen der Autoren
Perugas	1	P	Vgl. Kap. 3.1.7
Laerru	2	P	Vgl. Kap. 3.1.1
Bulzi	3	P	Vgl. Kap. 3.1.6
Martis	4	P	Vgl. Kap. 3.1.2
Oschiri	5	C, P, T	Vgl. Kap. 3.1.4
Zuri	6	T	Vgl. Kap. 3.1.5
Soddi	7	T	Vgl. Kap. 3.1.3
Cagliari	8	C, P, T	Vgl. Tab. 2
Siurgus D.	9	C	?
Guasila	10	C, P, T	?
Sanluri	11	C	?
Gesico	12	C	?
Mandas	13	C	?
Nurri	14	C, P	?
Ales	15	C	?
Lacconi	16	C	?
S.A. Ruinas	17		?
Cuglieri	18	C	?
Bonorva	19	T	?
Banari	20	C	?
Ghilarza	21	T	?
Chilivani	22	C, P, T	?
Castelsardo	23	C	Pinus-Zapfen in Tuffit
Gonnesa	24	T	Palmen-Blätter

Die Hauptfundstellen liegen aber südlich der Ortschaft, am Ufer und auf dem umliegenden Ackerfeld des stark verbauten Rio Altana. Die größten Ansammlungen befinden sich im Tal entlang des Flussufers sowie auf den nahegelegenen Wiesen- und Ackerfeldern, oft dicht in Reihen angeordnet (Taf. 1-12). Sie sind meist in liegender, selten in aufrechter Stellung anzutreffen. Demnach kommen hier neben den meist aus ihrem ursprünglichen Verband losgelösten Blöcken (Taf. 10, Fig. 2-4), auch Exemplare vor, die in ihrem tuffitreichen Untergrund in situ fest zementiert sind (Taf. 1, Fig. 1-3, Taf. 2, Fig. 1-3). Dieser Hinweis sowie weitere Faziesindikatoren (siehe unten) lassen auf eine autochthone bis parautochthone Überlieferung der Bildungen an den genannten Stellen schließen.

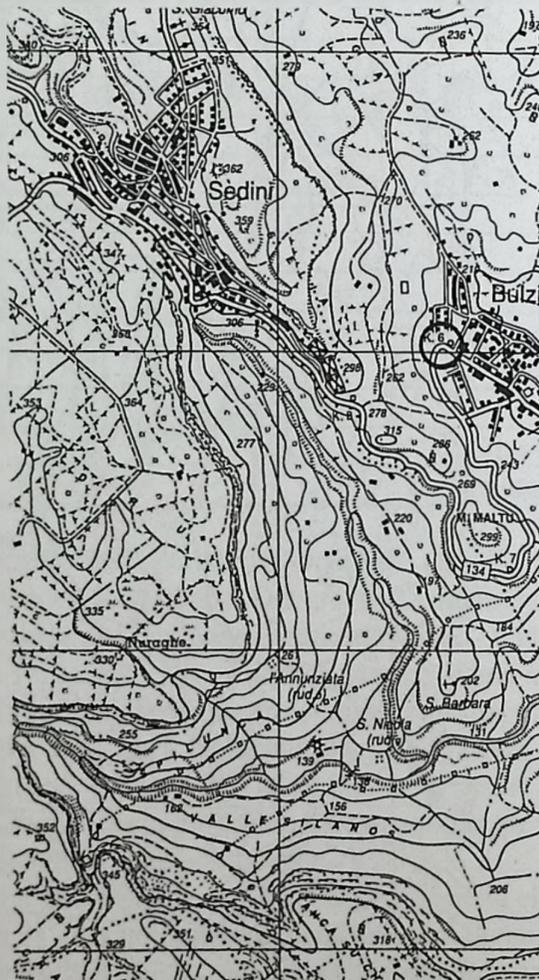
Bei allen Exemplaren, die manchmal eine Länge bis zu 2 m und einen Durchmesser von über 1,5 m erreichen, handelt es sich um massive Inkrustationen, deren Zentren größtenteils durch röhrenartige Hohlräume, selten durch erhaltengebliebene Baumstutzen oder Äste gekennzeichnet sind (Taf. 1, Fig. 3, Taf. 2, Fig. 1-2, Taf. 4, Taf. 5, Fig. 2, 3, Taf. 6, Fig. 1, 2, Taf. 8, Fig. 1, 3, Taf. 11, Fig. 1, 2, Taf. 12, Fig. 1-4). Vielfach zeigen die Hohlräume interne Sedimentfüllung (Geopetalgefüge; Taf. 2, Fig. 4, Taf. 4, Fig. 1, Taf. 7, Fig. 1-4). Ihre insgesamt abgerundeten Außenflächen sind in der Regel aus Warzen- bzw. knollenartigen Algen bzw. biogenen Krusten zusammengesetzt (Taf. 1, Fig. 2, Taf. 3, Fig. 2, Taf. 5, Fig. 4, Taf. 6, Fig. 1, Taf. 8, Fig. 3-4, Taf. 9, Fig. 1-3).

Abb.5: Topographische Karte 1:25 000 mit den Angaben zum Vorkommen der Fundstelle Laerru mit dem riesigen Stotzen von Taf. 1, Fig. 1-3 und Taf. 2, Fig. 1,2 (a), dem Ackerland mit umgelagerten Stotzen (b, Taf. 3, Fig. 1), den einzeln im Gelände vorhandenen Biohermen (c, Taf. 3, Fig. 2) und der riesigen Menge von Algenstotzen am Riu Altana (d, Taf. 10, Fig. 1-4, Taf. 11 u.v.a.).

Verändert nach Foglio No. 442 Sez. II, Perfugas, M 1: 25 000



Abb.6: Topographische Karten
1:25 000 mit dem Standort der
Mariensäule von Bulzi (vgl. Taf.
28, Fig. 1-4).
Verändert nach Foglio No. 442
Sez. III Sedini, M 1: 25 000



Einen Eindruck von der Verteilung der Fossilien gibt Taf. 10, Fig. 1-4.

Bis auf etwa 3 Objekte sind alle restlichen nicht mehr in situ, sondern beim Kanalbau umgelagert worden.

Ein Exemplar neben der Straße liegt auf einem gelbgrünen Tuffit (Taf. 2, Fig. 1-3). zwei weitere stehen aufrecht in einer Wiese nahebei (Taf. 3, Fig. 2).

3.1.2 Martis (E 820/73)

Die Lokalität Carrucana mit „Foresta petrificate, welche bereits von Martis aus als eine Touristenattraktion ausgeschrieben ist, liegt im Osten der Ortschaft auf einer nach Süden abfallenden Wiese, deren ca. 2000 m² großes Areal durch eine Mauer eingefasst ist. Man fährt nach Martis-Zentrum, dann Richtung Tempio, biegt kurz nach Ortsausgang nach E ab und folgt der Ausschilderung „Foresta petrificata“ zur Lokalität „Carrucana“ (vgl. Taf. 30-32).

Hier begegnet man ähnlich ausgebildeten Blöcken wie bei Laerru, allerdings größtenteils für Besucher extra hingestellt. Trotzdem finden sich dazwischen auch Exemplare, die offensichtlich in situ gelagert sind.

3.1.3 Soddi - Olecca am Lago Omodeo (E 820/70°, 71)

Soddi liegt sehr nahe der Fundstelle Zuri am Lago Omodeo (Taf. 15, Fig. 1-2) und ist wohl geologisch eindeutig mit den Ablagerungen von Zuri zu korrelieren. PRATESI & TASSI (1973) nennen von diesem Vorkommen fossile Hölzer, die als zeitgleich mit den anstehenden trachytischen Tuffen angesehen werden (Miozän, Taf. 15, Fig. 3-4).

Der „Foresta fossile“ von Soddi (Taf. 16, Fig. 1) besteht aus einer ganzen Reihe großer und schöner Kieselholzstämmen, die alle senkrecht einbetoniert sind - und zwar in der Mauer der Kirche Santa Maria. Sie stehen also an sekundärer Lagerstätte (Taf. 19, Fig. 1-3, Taf. 20, Fig. 1-4, Taf. 21, Fig. 1-4).

Anders sieht die Sache aus, wenn man der weiteren Ausschilderung der Straße an der Kirche vorbei zum Lago Omodeo hinunter folgt - hier kommt man zum Rastplatz im Gebiet Olecca. Läßt man den Wagen stehen und geht zu Fuß zum See hinunter, bekommt man das gesamte Profil (Taf. 16, Fig. 2-4, Taf. 17, Fig. 1-3) und die herumliegenden Kieselhölzer zu Gesicht (Taf. 18, Fig. 1-3). Fast alle Reste sind relativ klein (fingergroß), seltener scheidgroß oder bis 1 m lang. Letztere sind immer im Sediment steckend oder aufliegend, aber horizontal. Ich habe niemals einen fossilen Stamm aufrecht mit Wurzeln gesehen (wie es auf Lesbos beweisbar der Fall ist). Nun gibt es natürlich den Bericht von CHARRIER & MAXIA (1970:Fig. 2, Taf. XLVII, Fig. 1), in dem von einem aufrecht stehenden Stamm die Rede ist und der in situ auch fotografiert wurde. Der im Profil gefundene Stamm misst 2,3 m in der Länge bei 0,8 m Durchmesser. Auch ein 7 m langer Stamm bei Sa Manenzia (Soddi) wird gezeigt - aber eben liegend. Als Sediment wird erwähnt (tuffi pomicei silicizzati), unter- und überlagert von marinem Miozän. Beidemal wird die Zuordnung aufgrund der Schliffe zu *Dombeyoxylon oweni* vorgenommen. Aufgrund der Bilder kann man nur sagen, dass der Stamm aufrecht steht, aber nicht, ob er auch auf den Wurzeln steht. Dass bei Umlagerung, gerade im vulkanischen Bereich auch Stämme ziemlich senkrecht einzementiert werden können, ist geologisch kein Problem. Erst wenn der Stamm ausgegraben und die Wurzeln freigelegt wäre, wie es in Lesbos mehrfach der Fall ist und wenn dann noch beweisbar ein Paläosol vorhanden wäre (bei den genannten Autoren als „suolo di vegetazione“! - Bodenhorizont bezeichnet), könnte man von einem in-situ-Fund sprechen - aber schon nicht von einem Wald, denn der würde doch wohl mehr Stämme bedingen.

Außer den bereits erwähnten Holztypen *Palmoxylon*, *Grewioxylon*, *Cupressinoxylon*, *Tetraclinoxylon* und *Dombeyoxylon oweni* bzw. *Bombacoxylon* kommen nach Untersuchung von Autor GREGOR nur in Olecca in den Sandsteinen wenige fossile Pflanzenreste vor:

Äste (verzweigt) indet.

monocotyle Blattreste indet. (non Palmae)

Gerade hier könnte man Palmreste erwarten, um die Holzbestimmungen aus anderen Horizonten zu stützen, was aber nicht der Fall ist.

3.1.4 Oschiri (E 746/51)

Von dieser Lokalität (Taf. 29, Fig. 1-3) ist eine über 300 m mächtige kontinentale Serie bekannt (Bohrung), die das ganze Becken charakterisiert. COCOZZA et al (1974) haben daraus folgende miozäne Flora erwähnt: Cedroxylon, Cyperites, Palmoxylon, Poacites, Populus, Typhaeloipum, etc. (vgl. MORETTI 1943 und VARDABASSO & ATZENI 1962),

Nahe der Straße von Oschiri nach Pattada im Süden gibt es Hanganrisse, die bereits eine Kleinsäugerfauna geliefert haben, aber bei einem Besuch auch einige umgelagerte Holzstücke (vgl. BRUIN & RÜMKE 1974):

3.1.5 Zuri - Lago Omodeo (E 746/23, E 784/29, E 808/66a)

Der „Foresta pietrificata di Zuri“ ist ein z.T. beliebtes Ausflugsziel von Sammlern gewesen, bis das Gebiet unter Schutz gestellt wurde. Mit dem Fundort Zuri ist ursprünglich das am orographisch rechten Ufer des Tirso-Flusses gelegene Dörfchen Zuri gemeint, in dessen Nähe man die fossilen Hölzer fand. Nach Angaben im Führer des TCI Sardegna, Milano 1967 und 1993 geriet die Fundstelle samt dem Dorf durch den Bau des Staudammes 1923 unter Wasser (wobei das Dorf oberhalb wieder aufgebaut wurde). Seither ist die Fundstelle nur noch bei extremem Niedrigwasser zugänglich (Taf. 13, Fig. 1-3).

Beim erwähnten Niedrigwassersand, treten am Ufer und in der weitem Umgebung klastische Bildungen zutage, welche die gleiche fazielle Entwicklung aufweisen wie deren Äquivalente im benachbarten Soddi (Taf. 13, Fig. 3). Reich an Kieselholzresten sind vor allem die liegenden grob- bis mittelklastischen Lagen, mit zum Teil großen Baumstotzen (Taf. 13, Fig. 3, Taf. 14, Fig. 1,2,4). Demnach liegen alle fossilen Hölzer in dieser Gegend ebenso auf sekundärer Lagerstätte wie die in den äquivalenten Ablagerungen im Bereich der Ortschaft Soddi. Doch das beste Exemplar steht am Hauptplatz der Ortschaft (Taf. 14/3).

Wo die Fundstelle war, die STERZEL (1900) als „Montigu Abile bei dem Dorfe Zuri am rechten Ufer des Tirso“ bezeichnet, ist heute nicht nachzuvollziehen. Allerdings stimmt die Zuordnung der Gesteine als „grobkörnige Sandsteine und vulkanische Tuffe“ völlig mit dem überein, was bei Olecca zu finden ist. Früher, vor der Zeit des Staudamms wäre das ganz richtig auf dem rechten Ufer des Tirso-Flusses gewesen sein.

3.1.6 Bulzi (E 820/74)

Hier sind am nördlichen Ortsausgang eine ganze Reihe von kleinen, mittleren und großen Stämmen zu sehen, die als Verzierung und Standfuß für ein Marienbild (Taf. 23, Fig. 1-4) verwendet wurden.

3.1.7 Material in Museen

Museo Archeologico e Palaeobotanico in Perfugas (E 820/26)

Alle großen Hölzer und Stämme sowie unterschiedlich ausgebildete Algenstotzen, u. a. ohne zentralen Holzkörper, werden auf dem Hof des Museums aufbewahrt (Taf. 22, Fig. 1-3). In den Räumen des Museums sind zahlreiche kleinere Hölzer in unterschiedlichsten Ausbildungen zu sehen: von glatten Kieselhölzern bis zu reinen massiv überkrusteten Stämmen. Alle Exemplare sind leider nur mit Namen verschiedener Ortschaften aus ganz Sardinien gekennzeichnet, u. a. Sanluri, Nurri, Ales, Zuri, Bonorva, Oschiri, Perfugas, Martis und Castelsardo. Sie stammen offensichtlich aus zeitlich und faziell völlig unterschiedlichen Liefersedimenten.



Abb.7: Topographische Karte mit dem Vorkommen der Algenbioherme auf dem Gelände von Carrucana (Taf. 30-32) bei Martis.
Verändert nach Foglio No. 460 Sez. IV Osilo, M 1 : 25 000

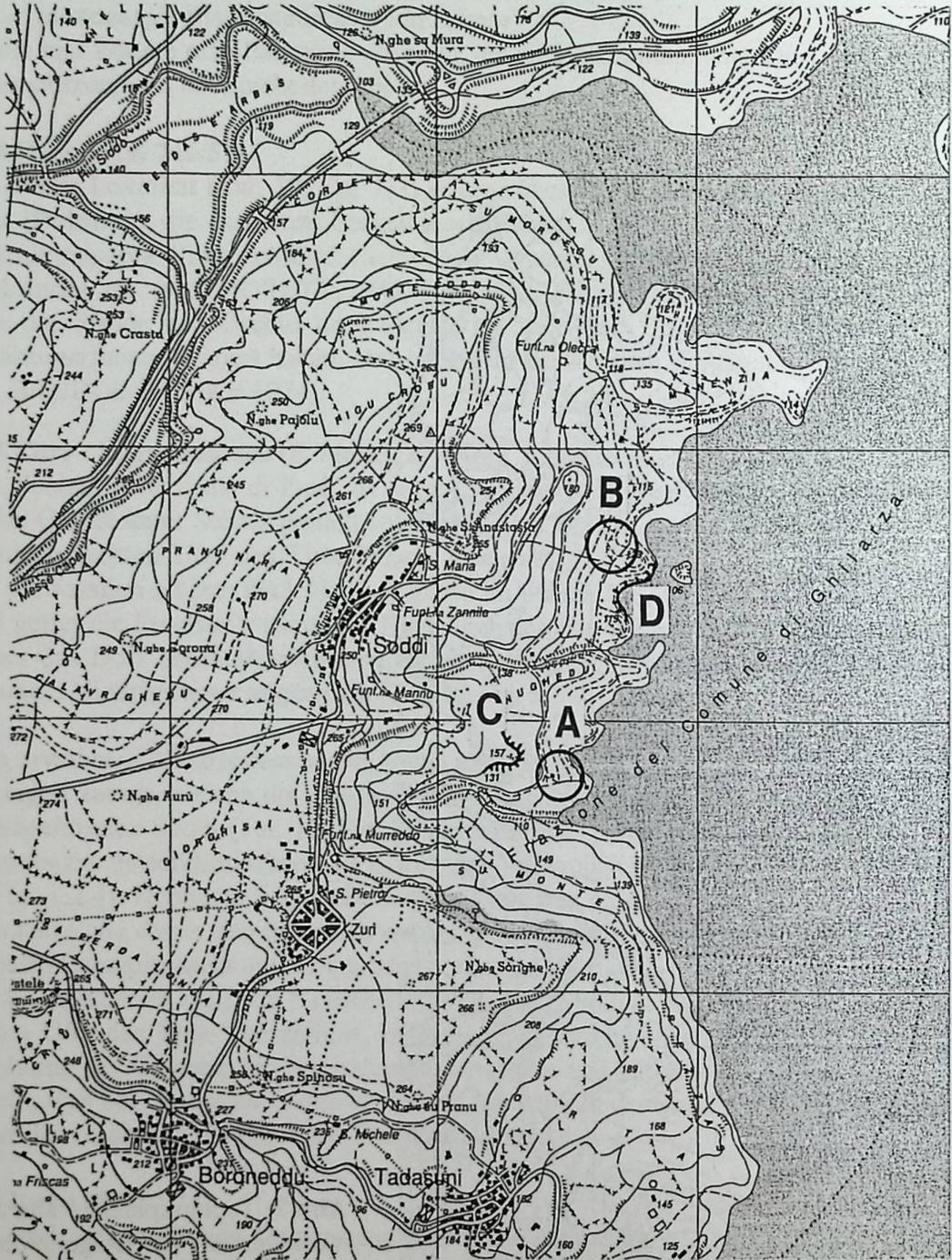


Abb.8: Topographische Karten 1:25 000 mit den Angaben zum Vorkommen der Fundstellen eines „fossilen Waldes“ auf Sardinien, vom Lago Omodeo;
 A: Fundstelle Zuri (Taf. 13, Fig. 1, Taf. 15, Fig. 1) mit Kieselhölzern und Stämmen im Schotter (Taf. 14, Fig.1,2,4); B: Fundstelle Oleccia mit frei verstreuten Kieselhölzern (Taf. 18, Fig. 2,3); C: Profil mit Tuffiten und Pyroklastika (Taf. 15, Fig. 2-4); D: Profil am Wasser (Taf. 17, Fig. 1-3) mit pflanzenführenden Sandsteinen (Taf. 16, Fig. 2-4); verändert nach Foglio No. 515 Sez. I Ghilarza, M 1: 25 000

Selbst bekannt sind uns Kieselhölzer und andere Reste von Zuri, Oschiri, Martis und Kiefernzapfen (keine Hölzer) von Castelsardo. Bei der Aufzählung fehlen nur Laerru, Soddi und Coghinas. Man muss nun unterscheiden zwischen dem Areal des „Foresta pietrificata dell' Anglona“, einem geschlossenen Areal von ca. 300 km². und dem Gebiet um den Lago Omodeo oder auch Zuri-See, sowie Fundstellen, die keine Kieselhölzer, aber andere Pflanzenreste geliefert haben. Das Gebiet des „Anglona-Waldes“ wird im N vom Golf von Asinara begrenzt, im Süden vom Logudoro, im W vom Vulkanhügel Sassari und im E vom Granitgebirge der Gallura. Der Zuri-See hat die Fundstellen unmittelbar an seinem südwestlichen und westlichen Uferrand. Weitere Fundorte mit „Holz“ sind: Logusantu, Perfugas: am Rio Altana bei S. Salvatore und beim Kanalgraben Su Vicariu e Sattalza sowie Monterenu, Loc. Vetrina bei Laerru, Loc. Carrucana bei Martis.

Andere Museen

Material von einigen dieser oben genannten Fundstellen befindet sich nicht nur im oben erwähnten Museum in Perfugas sondern auch im Museo Sanna in Sassari.

Wirft man einen Blick auf die anderen Fossilvorkommen auf Sardinien speziell im Museo di Geologia e Paleontologia „D. Lovisato“ in Cagliari, so stellt man fest, dass die Palmreste (Sabal, Flabellaria) vor allem im Eozän vorhanden sind, vor allem in Form von riesigen Blättern von Bacu Abis-Gonnesa.

Im Municipio (Rathaus) in Martis wird ein schöner ca. 40 x 25 cm messender Stammrest als „Coco angelo“ Palmoxyton bezeichnet.

Geologische Proben aus diversen Gebieten und fossiles Holzmaterial von einigen dieser Fundorte sind im Naturmuseum Augsburg aufbewahrt.

3.2 Faziesverhältnisse

Sowohl bei Laerru wie auch bei Martis stehen, in horizontaler bis subhorizontaler Lagerung, pyroklastische Vulkanite an, worauf teilweise noch erhalten gebliebene, gelegentlich aufrechtstehende, Baum- bzw. Pflanzenreste, in dicken biogenen Krusten konserviert, massenweise verbreitet sind (Taf. 1-12). Der gesamte vulkanitische Untergrund liegt in Form von umgelagerten Pyroklastika (Tuffiten) vor. Im Gegensatz zu bisherigen Annahmen handelt es sich hierbei nicht um lakustrine Sedimente. Wie wir später sehen werden, müssen sie nachträglich, zumindest zeitweise, unter marinem oder/und brackischem Einfluss gestanden haben. In der umliegenden Landschaft, auf den stratigraphisch höher liegenden Terrassen bzw. Erhebungen wurden nur noch Vulkanite angetroffen.

Anders sieht es aus im Bereich des Omodeo-Stausees. Der durch die Literatur berühmt gewordene „Foresta pietrificata di Zuri“, bei dem zumindest ähnliche Vorkommen wie bei Laerru zu erwarten wären, steht heute unter dem Wasserspiegel des Sees an. Auch beim Niedrigwasserstand treten hier nur grob- bis mittelkörnige pyroklastisch-epiklastische Mischsedimente zutage, welche ebenso in der weiteren Seeumgebung verbreitet sind und reichliche, mitunter auch große Holz- bzw. Baumreste beinhalten. Ob es sich hierbei um die hangenden Schotter der Schichtenfolge mit dem „verschundenen“ Wald handelt, oder aber um den einst dem ursprünglichen Entstehungsraum eines fossilen Waldes nahegelegenen Abtragungsort, muss vorerst offen bleiben. Bei Soddi steht, wie bereits erwähnt, eine Serie an, die mit grobklastischen Bildungen beginnt und über Sandsteinbänke in feinklastische Lagen übergehen (Taf. 16, Fig. 2-4). Wie sich die Fazies in dieser Region weiter entwickelt, zeigen die stratigraphisch hangenden Vulkanite an den umliegenden Hügeln (Taf. 17, Fig. 1-3): Dort erheben sich auf mehrere Meter angewachsene pyroklastische Tuffe, die das Ende des geologischen Geschehens in der Region signalisieren.

Demnach haben wir es mit zwei sich faziell voneinander abweichenden Sedimentationsräumen zu tun, die ca. 100 km von einander entfernt sind: Die Hölzer im Raum Laerru-Martis zeigen massive, nachträglich erfolgte Inkrustationen auf und, trotz der starken anthropogenen Eingriffe, finden sich mancher Orts noch vereinzelt aufrechtstehende Exemplare, welche in situ zementiert sind. Die Pflanzenreste am Omodeo-See hingegen liegen alle auf sekundärer Lagerstätte, also in umgelagerter Form vor. Die bisherigen Beobachtungen des Sedimentationsgeschehens ergaben keine sicheren Erkenntnisse über den genauen Zeitraum zwischen der Entstehung und Umlagerung der Pflanzen. Auch die Frage nach der lateralen und vertikalen Beziehung zwischen den beiden Sequenzen, können erst weitergehende Untersuchungen befriedigend klären.

Fest steht jedoch, dass wir es im Nordwesten Sardinien wahrscheinlich mit stratigraphisch verschiedenen fossilen Wäldern zu tun haben

Der Schwerpunkt der sedimentologischen Voruntersuchungen liegt auf dem Vorkommen im Bereich Laerru-Martis, da nur hier Hinweise auf die Entstehung und Fossilisationsprozesse des vermeintlichen „Fossilen Waldes“ gewonnen werden können.

4 Sedimentologische Charakteristik der Inkrustationen im Raum Laerru-Martis

4.1 Ausbildung und Typisierung der inkrustierten Baumstotzen und Pflanzenreste

Vielfältige bizarre Formen charakterisieren die in dicken biogenen Sedimenten konservierten Pflanzenreste in der vulkanisch überprägten Landschaft (Taf. 1-12): von zentnerschweren fass- bzw. zylinderförmigen Gebilden, die eine Länge von 2 m und einen Durchmesser von über 1.5 m erreichen (Taf. 10-12), über krug-, vasen- oder napfförmliche Bildungen (Taf. 22, Fig. 2) bis hin zu zentimeterkleinen Formen (Taf. 27, Fig. 2). Wie und durch welche Einwirkung die Zementierung zustande kam, kann man am besten an den transversalen Frakturen bzw. Querschnitten und Außenflächen erkennen (Taf. 1, Fig. 2,3, Taf. 2, Fig. 1, Tafeln 3 und 4, Taf. 4 bis 8, Taf. 11 und 12). Sie sind aus dicht zusammengewachsenen, sich teilweise überlappenden Lagen zusammengesetzt, die mal regelmäßig, mal unregelmäßig verlaufende, insgesamt aber eine konzentrische Anordnung aufweisen. Zunächst ist festzustellen, dass zwar jede Ummantelung eigene individuelle Ausbildung erfahren hat, deren Baumaterialien jedoch den pyroklastreichen Vulkaniten und inkrustierenden Organismen entstammen. Dies ist in dem unterschiedlichen Habitus der Schichten dokumentiert: generell wechseln Lagen mit vorherrschendem Tuffmaterial mit Lagen mit dominierenden inkrustierenden Organismen (z. B. Taf. 8, Fig. 1-4, Taf. 12, Fig. 3).

Nach der Art des Erhaltungszustandes und der Komplexität der Inkrustationen können die Algenstotzen mehreren Grundformen zugeordnet werden:

Formen mit erhaltengebliebenen Hölzern im zentralen Bereich

Die Baumstämme und sonstigen Pflanzenreste wurden allseitig zementiert und überkrustet, indem die einzelnen Lagen im Verlaufe der Zeit aufeinander folgten (Taf. 5, Fig. 2). Weil Ummantelungen stets durchgehend zylindrische Formen hervorgebracht haben, kann es bezüglich der Entstehungsweise nur eine Schlussfolgerung geben: Die Hölzer bzw. Pflanzen wurden in aufrechter Stellung unter aquatischen Bedingungen lagenweise überkrustet. Erst danach wurden sie umgekippt. Während der anschließenden Diagenese erfuhren die Hölzer metasomatische Verkieselungsprozesse (vgl. Taf. 6, Fig. 1,2). In diesen Fällen überstanden sie, im Gegensatz zu anderen Fällen (siehe unten) auch die späteren Auflösungs- und Erosionseinwirkungen.

Formen mit zentralem Hohlraum

Die Entstehungsweise und der Inkrustationsvorgang entsprechen denen der erstgenannten Formen mit dem Unterschied, dass hier die Hölzer im Zuge der späteren geochemischen Auflösungsbedingungen oder/und mechanischen Erosionsvorgängen größtenteils oder gänzlich verloren gingen (Taf. 1, Fig. 3, Taf. 12, Fig. 1-4). Möglicherweise wurden die Hohlräume im weiteren Verlauf der Sedimentation durch Tuffmaterial und/oder biogene Tätigkeit gefüllt und später erodiert.

Formen mit mehrfachen Inkrustationen („Inkrustationsaggregaten“)

Darunter werden komplexe Gebilde zusammengefasst, die durch mehrere Zentren gekennzeichnet sind (Taf. 6, Fig. 1-3). Hier haben wir es mit mehreren ursprünglich nebeneinander gestandenen Baumstämmen oder Sprossachsen zu tun, die anfänglich unabhängig voneinander als Kernsubstrat zur Verfügung standen, später, nach fortgeschrittenem Dickenwachstum, wurden sie von übergreifenden Lagen überkrustet.

Formen mit etappenweise erfolgten Inkrustationen

Damit sind Inkrustationsvorgänge gemeint, welche in zwei zeitlich getrennten Perioden stattgefunden haben (Taf. 4, Fig. 1, Taf. 8, Fig. 1,3). Die Hölzer wurden, wie in anderen Fällen, während der Sedimentation allseitig überkrustet und im Verlaufe der anschließenden Diagenese aufgelöst. Die entstandenen Hohlräume wurden dann nachträglich zuzementiert.

Formen mit geopetalem Internsediment in den Hohlräumen

Die Sedimentations- und Diagenesevorgänge bis zur Entstehung der zentralen Hohlräume entsprechen denen der Fallbeispiele B und D. Der wesentliche Unterschied: Nach dem sie umgefallen waren, kam es zur internen Sedimentation der Hohlräume und Bildung von Geopetalgefügen (Taf. 7, Fig. 1-4).

4.2 Mikrofazielle Analyse und Diagenese der Inkrustationen und Zemente

4.2.1 Mikrofazies

Mikrofazielle Untersuchungen wurden an einigen Proben durchgeführt, die aus der Basis der großen Blöcke und aus den dazwischenliegenden Sedimenten entnommen wurden.

Es handelt sich um nachträglich verkieselte grob- bis feinkörnige, teilweise gänzlich organogene, Sedimente, die ursprünglich unter marinen bis brackischen Bedingungen entstanden sind, und zwar in Form von Rindenkörnern (Coated Grains), inkrustierenden Organismenassoziationen („Biolithiten“, „Bindstones“) sowie Rotalgen-dominanten Knollen („Rhodolithen“) innerhalb einer tuffitischen Matrix (Taf. 23-25, vgl. im Gelände bei Taf. 1, Fig. 2, Taf. 10, Fig. 3 und Taf. 11, Fig. 3). Sowohl in den Pyroklastika-reichen, als auch in den überwiegend organogenen Faziestypen, geht die primäre Sedimentbindung in erster Linie auf inkrustierende Organistentätigkeit zurück. So entstanden durch die teilweise oder allseitige Überkrustung der Komponenten unter unterschiedlichen Bedingungen Sedimente verschiedener Ausbildung (Taf. 23). Bei starker Sedimentzufuhr oder in Pionierstadien entwickelten die Organismen isolierte Rindenkörner oder kleine Knollen innerhalb einer vorherrschend mikritischen Matrix (Taf. 23, Fig. 1). Bei nachlassender Sedimentzufuhr und gleichzeitiger Zunahme biogener Aktivität kam es zur Bildung von flächenhaften Krustenlagen, knolligen (nodularen) bis säulenförmigen (columnaren) Assoziationen oder onkoidischen Formen (Taf. 23, Fig. 2).

Grundmasse und abiogene Komponenten

Die klastischen Ausgangsbestandteile, einschließlich die Matrix, bestehen vorherrschend aus kristallinen Komponenten, Glasbruchstücken und feinem Aschen-/Staubmaterial. Primäre

karbonatische Klastika und Zemente scheinen ursprünglich untergeordnet gewesen zu sein. Die letzteren beschränken sich mehr oder weniger auf Zwickelporen und Hohlräume (s. unten).

Biogene Komponenten

Die wichtigsten Organismen, worauf die primären Zementierungsvorgänge zurückzuführen sind, gehören zu zwei Rotalgengruppen (Peyssonneliaceen und Corallinaceen), welche vielfach mit cheilostomen Bryozoen und einer Demospongienart assoziiert sind. Mikrobielle Krusten sowie inkrustierende Foraminiferen sind im allgemeinen von untergeordneter Bedeutung (Taf. 24, Fig. 2-3). Schuppenartige oder dünnkrustige Rotalgen sind generell weiter verbreitet als knollige bis warzige Wuchsformen (Taf. 24, Fig. 1-2, Taf. 5, Fig. 4). Die sich flächenhaft ausbreitenden Krusten sind vorherrschend durch eine schuppenartige Peyssonneliaceenform gebildet. Diese Art, die weiter unten beschrieben wird, gilt als Baumeister der monospezifischen Rindenkörner (Taf. 23, Fig. 1-2, Taf. 25, Fig. 1,2). Wohingegen die über 14 cm erreichenden Rotalgenknollen hauptsächlich von Corallinaceenarten aufgebaut sind (Taf. 23, Fig. 4, Taf. 25, Fig. 3-6). Nicht inkrustierende benthonische Faunenelemente sind generell selten und kommen vorwiegend innerhalb der ursprünglichen Hohlräume vor. Hierin sind meist miliolide und rotaliide Foraminiferen sowie Ostracoden eingebettet (Taf. 25, Fig. 5).

4.2.2 Diagenese und Verkieselung

Eine Reihe von Merkmalen zeigen, dass die Silifizierungsprozesse erst in einer späteren Phase, d.h. nach der Bildung mariner und vadoser Zementation, stattgefunden haben muss (Taf. 24, Fig. 1-2, 4-5):

Die Hartteile aller angeführten Faunen- und Florenelemente, aber auch Zemente in den Hohlräumen und Zwickelporen, bestanden ursprünglich aus Kalziumkarbonat. Während die Zellwände der verkalkten Peyssonneliaceen primär aus Aragonit aufgebaut werden, scheiden die Corallinaceen in ihren Zellwänden Mg-Kalzit ab. Das klastische Material der, in manchen Bereichen oder Knollen angereicherten, im Durchlicht dunkel bis bräunlich erscheinenden Grundmasse entstammte den pyroklastischen Lockerstoffen mit einem geringen Karbonatanteil, wie dies an den darin eingeschlossenen organischen Trümmern zu erkennen ist. Die nachträglich einsetzende Silifikation, die zur fast vollständiger Verkieselung führte, liegt hauptsächlich in Form von amorpher Kieselsäure (Opal) und in Form von undolös auslöschenden kristallinen Fasern (Chalzedon/Quarzit) innerhalb der Grundmasse und mancher Hohlräume vor (Taf. 24, Fig. 4-5). Die ursprünglich aus Kalziumkarbonat aufgebauten Organismenhardtteile, Holzreste und Hohlraumzemente sind teilweise aufgelöst, teilweise jedoch nur metasomatisch verkieselt (Taf. 24, Fig. 1-2, 4-5, Taf. 25, Fig. 2). Die infolge der metasomatischen Umkristallisation noch erhalten gebliebenen primären Strukturen ermöglichen u. a. einen Einblick in die verschiedenen Zementgenerationen, welche der Silifizierung vorausgingen: Im submarinen Milieu wurden zunächst die Komponenten bzw. die Porenwände durch senkrechte Saumzementkristalle überzogen, in den verbleibenden Hohlräumen entwickelten sich abschließend mosaikartige Blockzemente. Mikrokalzitische Zemente („Dripstone-Zemente“), skalenoidische Zemente („Hundezahnzemente“) sowie sporadisch auftretende vadose Kristallsilte deuten hingegen auf Phasen nichtmariner Diagenese hin.

Demnach haben wir es mit randmarinen Sedimenten zu tun, die vor der Vollendung der Silifizierungsvorgänge zeitweilig oder wiederholt trocken gelegt wurden.

4.2.3 Beobachtungen zur Mineralogie

Die Pyroklastika, Tuffite, Tuffe und Ignimbrite im Bereich des „fossilen Waldes“ sind alle stark kieselsäurehaltig und zeigen oft brekziösen oder algenlaminaten Aufbau. Einige vorläufige Untersuchungen sollen die petrographisch-mineralogischen Vorstellungen darlegen.

Vom Fundort Laerru standen einige Gesteinsproben zur Verfügung. Die mittels Ätzversuchen, Rasterelektronenmikroskopie (Zeiss DSM962), EDX- (Energie-dispersive Röntgenfluoreszenz; Anlage der Firma EDAX) und bei UV-Bestrahlung gefundenen Ergebnisse sind als vorläufig anzusehen. Obwohl unvollständig, belegen sie, dass man es mit einem hochinteressanten Material zu tun hat. Das Gestein sieht aus wie eine bunte Brekzie. Hellgrüne, hellrotbraune und dunkelbraune Bereiche kommen vor. Taf. 35, Fig. 2 zeigt eine gesägte Gesteinsprobe, Fig. 1 stellt schematisch die gleiche Gesteinsprobe als Zeichnung dar. An den markierten Stellen wurden EDX-Analysen angefertigt.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das erwähnte Handstück von Taf. 35, Fig. 1, 2 und 3.

Grüne Bezirke

Das Material dieser Bezirke ist nicht homogen. In der hellgrünen Grundmasse kommen dem Auge teils hell, teils dunkel erscheinende Einschlüsse vor. Bei diesen handelt es sich nicht um idiomorphe Kristalle.

Als kationischer Bestandteil der grünen Grundmasse fungiert im wesentlichen Silicium (Stelle A in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum A in Abb. 9). Das Pulverspektrum zeigt als Hauptkomponente Opal; daneben Quarz und Calcit. Unter dem Rasterelektronenmikroskop ist eine Vielzahl feiner Risse erkennbar. Dementsprechend ist das Material relativ weich und lässt sich mit einer Stahlnadel ritzen. Bruchflächen zeigen stellenweise den für (verwitternden) Opal typischen speckigen Glanz. Ein ähnlicher, grünlich verwitternder Opal kommt auf Lesbos vor. Dort bestehen aus ihm häufig die in vulkanischer Asche eingebetteten Wurzeln und Äste verkieselter Bäume. Die grüne Farbe dürfte auf das Konto von Fe^{2+} gehen. Außer Eisen ist - jedenfalls laut EDX - kein farbgebendes Übergangsmetall anwesend. Bei Bestrahlung mit UV-Licht (254 und 366 nm) tritt keine Fluoreszenz auf.

Bei den dem Auge dunkel erscheinenden Einschlüssen handelt es sich meist um farbloses, klares SiO_2 . Das EDX-Spektrum zeigt, dass neben Si und O nur Spuren Al, Mg und K vorkommen. Gelegentlich findet man auch mm³-große SiO_2 -Einschlüsse mit achatartiger Bänderung (unterschiedliche Grautöne). Letztere sind offenbar durch Einkieselung ehemaliger Hohlräume entstanden. Ob die klar erscheinenden SiO_2 -Einschlüsse Splitter von Quarzkristallen sind oder ob es sich auch bei ihnen um in situ gebildetes opal- oder chalcedonartiges SiO_2 handelt, ist noch zu klären. Anders als bei den SiO_2 -Einschlüssen im Grenzbereich von grünen und hellbraunen Bereichen (s. u.) lässt sich in den randlichen Zonen der Einschlüsse kein Phosphor nachweisen.

Einige relativ große farblose und bereichsweise trübe Einschlüsse enthalten hohe Konzentrationen an Aluminium und Alkalimetallen. (Stelle B in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum B in Abb. 9). Wahrscheinlich handelt es sich um Feldspat. Im Röntgen-Pulverspektrum eines von einer anderen Stelle stammenden Einschlusses fanden wir die Linien von Orthoklas.

Bei der Betrachtung unter dem Elektronenmikroskop unter Benutzung eines BSE-Detektors ließen sich einige kleine Einschlüsse erkennen, in denen Elemente mit höheren Ordnungszahlen als der von Si vorkommen. Eines der entsprechenden Spektren (von einer anderen als der in Taf. 35, Fig. 1 gezeigten Probe; Durchmesser des Einschlusses ca. 0,1 mm) ist in Abb. 9, Spektrum C dargestellt. Neben dem hohen Eisengehalt ist die Anwesenheit von Fluor bemerkenswert.

Hellbraune Bezirke

Das Material dieser Bezirke ist deutlich biostrukturiert. Vor allem fallen (unter dem Binokular) die halbkugelförmigen, aus konzentrischen Kugelschalenfragmenten bestehenden Aggregate von Rhodophyceen auf. Je nach Stelle sind sie unterschiedlich gut zu erkennen. Diese Aggregate sind etwa eine Größenordnung kleiner als die unter c) beschriebenen. Das Material

besteht weitgehend aus SiO_2 (Stelle D in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum D in Abb. 9); Die hellbraune Farbe des SiO_2 ist wahrscheinlich durch eingelagerte organische Verbindungen verursacht. Eisen(III) als Farbverursacher kommt nicht in Betracht; denn die EDX-Spektren belegen die Abwesenheit von Eisen. Für die Anwesenheit organischer Verbindungen spricht die Beobachtung, dass die hellbraunen Bereiche im kurzwelligen UV (254 nm) mit hellgelber Farbe fluoreszieren. Neben SiO_2 kommt untergeordnet Calcit vor. Durch Wegätzen des letzteren treten die Strukturen der Algenaggregate deutlicher hervor. Vorstellungen zum Ablauf der Verkieselung s. unten bei c).

Wie in den grünen Bezirken findet man auch hier und besonders im Übergangsbereich zu dem grünen Material mm³-große Einschlüsse von wasserklarem SiO_2 . Die Begrenzungen der Einschlüsse sind sehr bizarr. Möglicherweise handelt es sich um Einkieselungen ehemaliger Gasblasen; die bei der Verwesung organischen Materials entstanden sind. Das SiO_2 im Zentrum der Einschlüsse ist sehr rein (Stelle E in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum E in Abb. 9). Es müssen allerdings in geringer Menge spezielle Übergangsmetallkationen oder organische Moleküle eingebaut sein; denn anders ist die dunkelgrüne Fluoreszenz der klaren SiO_2 -Stellen bei UV-Bestrahlung nicht zu erklären (Uran ?). In den randlichen Zonen der Einkieselungen ist Phosphor angereichert. (Stelle F in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum F in Abb. 9). Die P-reichen Gebiete lassen sich im Rasterelektronenmikroskop mit BSE-Detektor durch eine relativ hohe Helligkeit gut erkennen; (Taf. 35, Fig. 3). Die Natur des feinverteilten P-enthaltenden Minerals ist noch unklar (Apatit ?).

Neben den Algenknollen lassen sich in den hellbraunen Bezirken schemenhaft weitere Strukturen erkennen. Zum einen wurmartige, zum anderen dreidimensional dendritisch gewachsene Gebilde. Bei den letzteren wird zu klären sein, ob sie rein anorganisch oder biologisch entstanden sind.

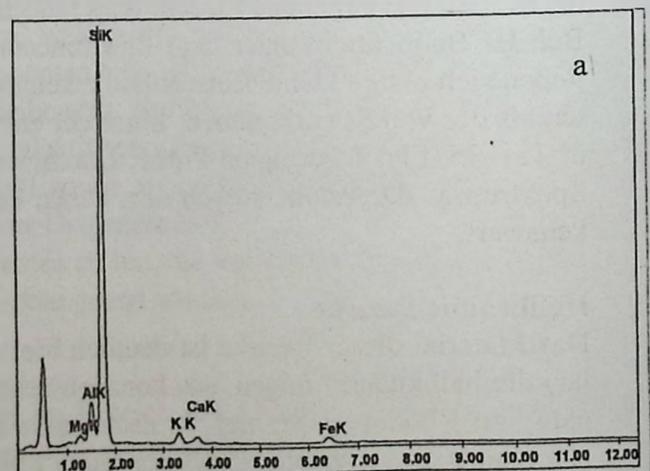
Dunkelbraune Bezirke

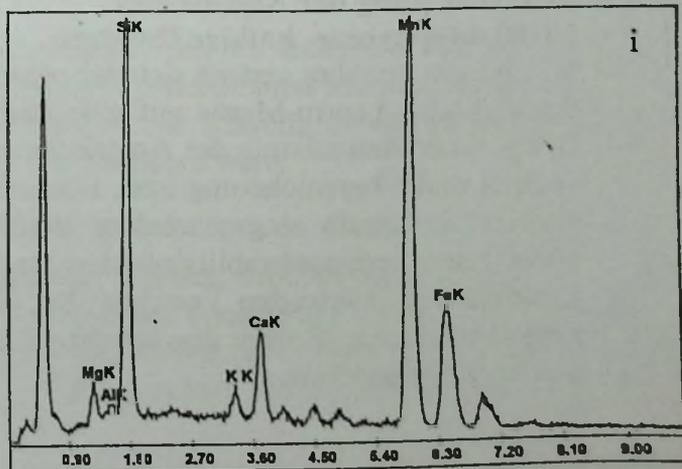
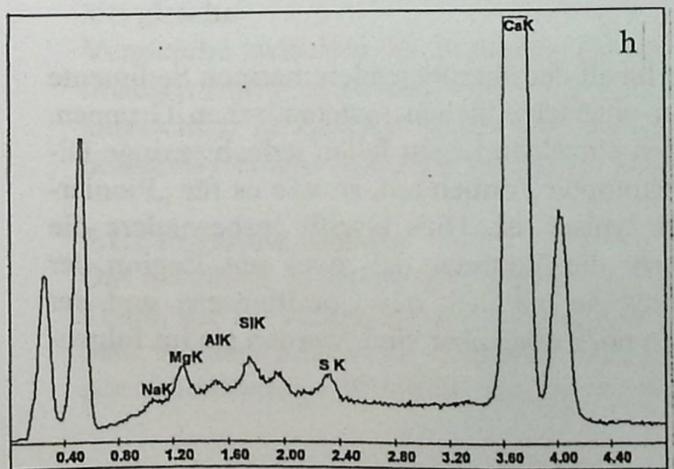
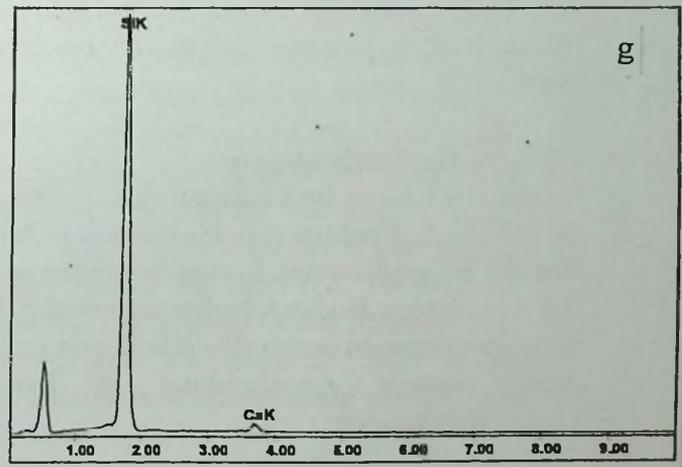
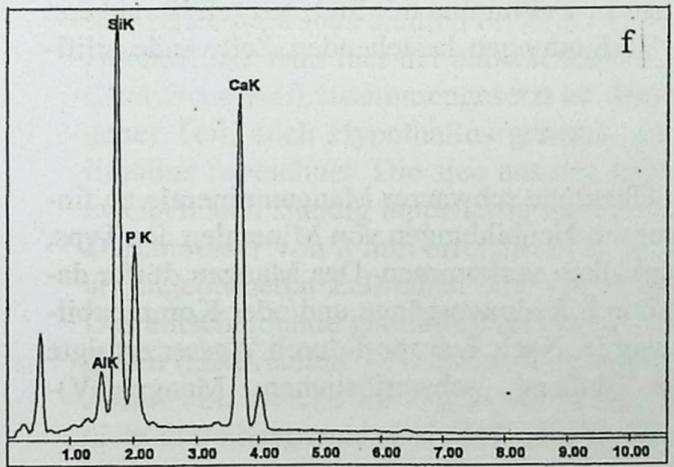
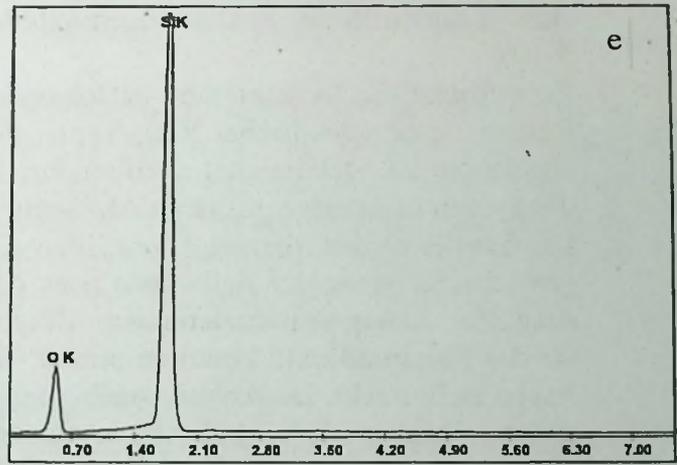
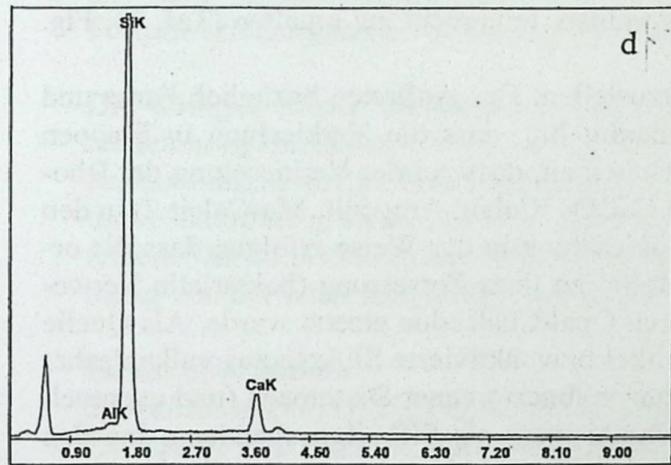
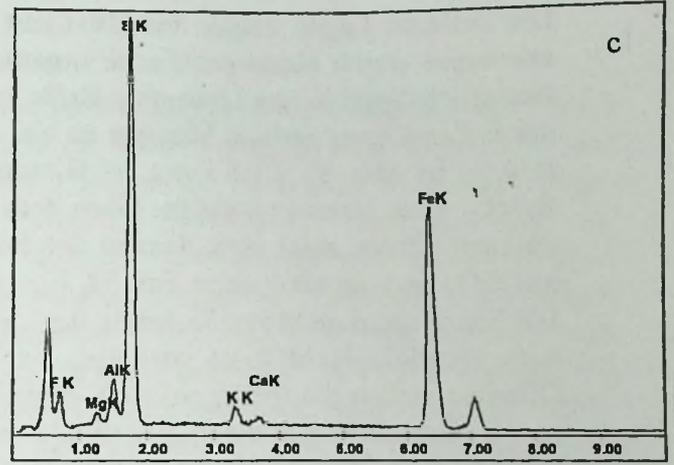
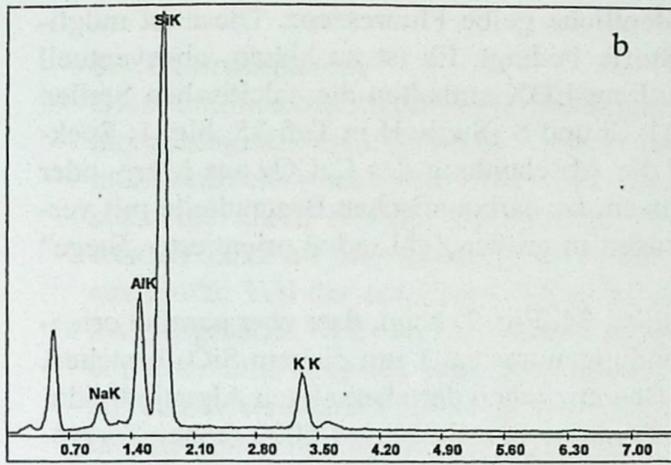
Diese Bezirke besitzen einen mit dem bloßen Auge gut erkennbaren Bau aus konzentrischen alternierend helleren und dunkleren Kugelschalen bzw. Kugelschalenausschnitten. Es handelt sich um Algenbauten (Rhodophyceen). Die dunklen Lagen bestehen im wesentlichen aus SiO_2 . Die helleren bestehen aus SiO_2 mit CaCO_3

In den dunklen Lagen sind mittels EDX neben Calcium keine weiteren Metalle, insbesondere keine Übergangsmetalle detektierbar (Stelle G in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum G in Abb. 9). Als Verursacher der Braunfärbung kommen daher im SiO_2 eingelagerte organische Substanzen in Frage.

Abb. 9 A – I (rechts): EDX-Spektren von Mineralkomponenten einer „bunten“ Gesteinsprobe von Laerru. Erläuterungen im Text ;

Anregungsspannung 20 kV.





Die helleren Lagen zeigen im UV-Licht eine deutliche gelbe Fluoreszenz. Diese ist möglicherweise durch algenspezifische organische Stoffe bedingt. Es ist zu klären, ob eventuell zusätzlich Spuren von Uran eine Rolle spielen. Laut EDX enthalten die calcitischen Stellen der hellen Lagen geringe Mengen an Na, Mg, Al, Si und S (Stelle H in Taf. 35, Fig. 1; Spektrum H in Abb. 9). Dies kann als Hinweis auf die Abscheidung des CaCO_3 aus Meer- oder Brackwasser gedeutet werden. Nach dem Wegätzen der carbonatischen Bestandteile mit verdünnten Säuren zeigt sich, dass in den hellen Lagen in großer Zahl radial orientierte „Stege“ aus SiO_2 vorkommen (siehe Taf. 34, Fig. 1).

Ein Schnitt senkrecht zur Richtung der „Stege“ (Taf. 34, Fig. 2) zeigt, dass eher parallel orientierte längliche Hohlräume vorliegen, deren Wandungen aus ca. 1 μm dickem SiO_2 bestehen. Offenbar stellen die (jetzigen) SiO_2 -Hülsen die Begrenzungen der ehemaligen Algenindividuen dar. Das aufbauende Siliciumdioxid ist sehr feinkristallin. Selbst bei 5000-facher Vergrößerung lassen sich keine Quarzkriställchen erkennen. Überraschend war die Beobachtung, dass in diesen Bezirken Diatomeenskelette vorkommen, teils recht gut erhalten (Taf. 33, Fig. 7-10).

Zum Ablauf der Verkieselung ist folgendes festzustellen: Das Auftreten bezüglich Farbe und Reinheit unterschiedlicher SiO_2 -Typen deutet darauf hin, dass die Verkieselung in Etappen abgelaufen ist. Details sind noch unklar. Wir nehmen an, dass bei der Verkieselung der Rhodophyceen nach einer primären Ablagerung von CaCO_3 (Calcit, Aragonit, Mg-Calcit ?) in den Lumina der abgestorbenen Algenzellen eine Umkieselung in der Weise erfolgte, dass die organische Substanz der Zellwände nach oder parallel zu ihrer Zersetzung (bakterielle Verwesung; Zersetzung in reduzierendem Milieu?) durch Opal/Chalcedon ersetzt wurde. Als Quelle für das Siliciumdioxid kommen primär Glaspartikel bzw. aktivierte Silikate aus vulkanischer Asche in Betracht. Denkbar ist auch, dass die Panzer abgestorbener Diatomeen (und eventuell anderer Opal produzierender bzw. nutzender Organismen) als SiO_2 -Zwischendepot bei den Verkieselungsvorgängen fungierten. Das hier angetroffene Verkieselungsmuster ist invers zu dem von verkieseltem Holz: Dort werden zunächst die Zelllumina mit SiO_2 ausgefüllt und erst später werden die aus polymeren organischen Verbindungen bestehenden Zellwände silifiziert.

Weitere Beobachtungen

In einigen Rissen und Klüften des Gesteins sind Überzüge schwarzer Manganminerale zu finden (Abb. 9, Spektrum I). Es handelt sich offenbar um Neubildungen von Mineralen des Typs, wie sie beispielsweise in den Solnhofener Plattenkalken vorkommen. Das Mangan dürfte dabei aus oberen Bodenschichten stammen, wo es durch Redoxvorgänge und/oder Komplexbildungsprozesse in wasserlösliche Form gebracht wurde. Nach Transport durch Wasser erfolgte dann erneute Abscheidung in Form der äußerst schwerlöslichen Mangan(IV)-Oxoverbindungen.

5 Beschreibung der Algen-Flora

5.1 Rhodophyceae- kalkige Rotalgen

Wie bereits erwähnt verteilt sich der organische Inhalt der überprägenden marinen Sedimente des Gebietes Laerru-Martis auf eine Reihe von unterschiedlichen systematischen Gruppen. Bei genauer Betrachtung der Assoziationen in den einzelnen Lagen fallen jedoch geringe Diversität und Überwucherung bzw. Dominanz bestimmter Formen auf, so wie es für „Pionierstadien“ innerhalb eingeschränkter Verhältnisse typisch ist. Dies betrifft insbesondere die wichtigsten sedimentstabilisierenden Organismen: die Vertreter der zwei seit Beginn der Kreidezeit existierenden Familien der Rhodophyceae, nämlich der Corallinaceae und der Peyssoneliaceae. Soweit ihre internen Strukturen noch erkennbar sind, werden sie im folgenden kurz beschrieben.

5.1.1 Corallinaceae

Die Corallinaceen stellen eine umfangreiche Familie kalkabscheidender Rotalgen dar, deren morphologisch mannigfaltige Formen heute in allen Meeren präsent sind. Dendroide und meist aufrecht wachsende Arten sind aus verkalkten Segmenten (Intergenicula) zusammengesetzt, die durch flexible unverkalkte Gelenke (Genicula) miteinander verbunden sind. Sie werden daher als ungegliederte oder geniculate/articulate Corallinaceen bezeichnet. Der weit-aus größte Teil der corallinen Algen besitzt einen ungegliederten, d. h. nongeniculaten, Thallus. Abgesehen von wenigen semi-endogenen parasitischen Arten, haben die meisten Arten entweder eine epigene, aber nicht immer inkrustierende Lebensweise, oder sie wachsen frei auf dem Meeresboden. Die von Wuchsformen unabhängigen Bestimmungskriterien der Unterfamilien und Gattungen basieren im wesentlichen auf folgenden Kriterien: Aufbau des Gewebes und Organisationsmuster der Zellfäden, Struktur der sporangialen („asexuellen“) Fortpflanzungsorgane sowie die Art der Zellverbindungen (vgl. WOELKERING 1988).

Die wenigen in den vorliegenden Sedimenten auftretenden Arten gehören zu den inkrustierenden nongeniculaten Corallinaceen. Zwei Formen, die generell selten in Erscheinung treten, besitzen dünnkrustige Thalli, bestehend aus nur wenigen Zellschichten. Eine nähere systematische Zuordnung dieser Arten ist nicht möglich, weil entscheidende diagnostische Merkmale fehlen. Die schlechte fossile Überlieferung in den untersuchten Proben gestattet die Bestimmung von nur einer Rhodolith-bildenden Art, welche anschließend näher beschrieben wird.

Genus *Sporolithon*

Sporolithon sp. (Taf. 23, Fig. 4, Taf. 24, Fig. 4, Taf. 25, Fig. 3-6):

Es handelt sich um eine stark ästige und freiwachsende Art, die monospezifische Knollen bis zu 14 cm Durchmesser aufgebaut hat. Die Zellfäden sind in drei Teilen des pseudoparenchymatischen Gewebes ähnlich organisiert, wie bei vielen ungegliederten Corallinaceen, mit dem Unterschied, dass hier der äußerst feinmaschige Thallus fast nur aus astförmigen Auswüchsen (Protuberanzen) zusammengesetzt ist. Stark reduziert sind hingegen sowohl der basale (primigene) Teil, auch Hypothallus genannt, als auch der kortikale (postigene) Teil, auch als Perithallus bezeichnet. Die sich aus den kortikalen Zellfäden entwickelnden Protuberanzen verzweigen sich ständig lappenartig nach außen und können eine Höhe von über 2 cm und einen Durchmesser von 8 mm erreichen (Taf. 25, Fig. 4-6). Im Kernbereich der bogenförmig (koaxial) angeordneten Zellreihen sind die Zellen deutlich länger als breit (ca. 10-20 x 4-12 µm). Das entscheidende gattungscharakteristische Merkmal liegt jedoch in der Struktur der sporangialen („asexuellen“) Fortpflanzungsorganen: Sie kommen in fertilen, als „Sori“ bezeichneten Zonen vor, welche im Gegensatz zu den behälterähnlichen Konzeptakeln anderer Gattungen nicht klar abgegrenzt sind (Taf. 25, Fig. 6).

Vergleiche

Vergleiche zwischen den in diesem Beitrag diskutierten Formen mit anderen miozänen Corallinaceen sind gegenwärtig wenig sinnvoll, da die wenigen feststellbaren Merkmale dafür nicht ausreichen. In Zukunft sollen aber weitere Forschungen zur Klärung dieser Gruppe unternommen werden, wobei vor allem die Ansicht vor Ort vonnöten wäre.

5.1.2 Peyssonneliaceae

Das auffällige Merkmal aller Peyssonneliaceen sind ihre dünnen, schuppenartig aussehenden, Thalli, die im Jungstadium scheibenförmige, im Spätstadium flächenhaft ausgebreitete Häute bzw. Krusten bilden. Im Gegensatz zu den Corallinaceen, bilden diese inkrustierenden Rotalgen fadenförmige Rhizoide, die in das Substrat eindringen und somit zur Befestigung der

Thalli beitragen. Die meisten der heute lebenden Formen sind nicht verkalkt. Die Verkalkung, die stets in aragonitischer Modifikation zustande kommt, erfasst nur bei wenigen Arten das vollständige Gewebe, so dass teilweise oder partiell verkalkte Formen weiter verbreitet sind als die Arten mit komplettem Kalkgewebe. Trotzdem gibt es seit dem Beginn der Kreidezeit bis heute eine Reihe von Arten, denen aufgrund ihrer massiven Verkalkung eine wichtige sedimentstabilisierende und gesteinsbildende Rolle zukommt.

Als wichtigste Bestimmungskriterien gelten auch für diese Gruppe der Strukturaufbau der Thalli und die Struktur und Position der Fortpflanzungsorgane. Die Organisationsmuster der Zellfäden in differenzierten Gewebeteilen verschiedener Vertreter der Peyssonneliaceen können auf relativ wenige Grundtypen zurückgeführt werden (siehe DENIZOT 1968, MOUSSAVIAN 1988). Diese differenzierte Struktur kann aber nur in longitudinalen Frakturen/Schnitten beobachtet werden. Bei den fossilen Vertretern kommen hauptsächlich zwei Organisationstypen vor: Bei beiden Typen entwickelt sich aus Keimlingen zunächst ein primigenes Basalgewebe, woraus die weiteren Gewebeteile entstehen. Bei dem *Peyssonnelia*-Typus produziert die primäre monostratose Zellschicht nur dorsale Zellfäden nach oben, die sich im bogenförmigen bis vertikalen Verlauf mehrfach verzweigen können.

Der zweite Grund-Typus, der sich aus dem Organisationsmuster der rezenten Gattungen *Polystrata* und *Ethelia* oder der fossilen Gattung *Pseudolithothamnium* ergibt, ist durch dorsiventrales Wachstum neuer Zellfäden aus dem primigenen Filament gekennzeichnet. Auf dieser Weise entwickelt die primäre Schicht von beiden Seiten aus homologe oder inhomologe Zellfäden nach außen. Kommt es zu einem homologen springbrunnenartigen Aufbau der sich mehrfach verzweigenden Filamente, so liegt hier *Ethelia*- oder *Pseudolithothamnium*-Typus vor. Bilden die unteren Filamente aber nur eine bzw. wenige Zellschichten, so kann man vom *Polystrata*-Typus sprechen. DENIZOT (1968) bezeichnet die primigene Schicht als „Mesothallus“ die postigenen Filamente als „unterer Perithallus“ bzw. „oberer Perithallus“. Bei allen genannten Organisationstypen kann sich ein relativ mächtiges, engmaschiges Kortikalgewebe herausentwickeln, so wie es bei kretazischen Formen der Fall ist (MOUSSAVIAN 1988). Ein anderes weitverbreitetes Merkmal der Peyssonneliaceen ist der repetitive Aufbau der Thalli. Durch ständige Sprossung neue Filamente aus dem Kortikalgewebe der unteren Thalli entsteht im Verlaufe der Zeit eine Krustenabfolge derselben Art.

Die Reproduktionsorgane der rezenten Arten entwickeln sich in zerstreut auftretenden fertilen Regionen („Nemathecia“), meist innerhalb der unverkalkten kortikalen Zellschichten. Allerdings sind die bisherigen Kenntnisse darüber sehr dürftig, da fertile Stadien äußerst selten beobachtet worden sind. Bisher sind nur wenige rezente und fossile Arten bekannt, deren Kortikalgewebe und Fortpflanzungsorgane fast vollständig verkalkt sind.

In den untersuchten Proben kommen zwei Arten der Peyssonneliaceen vor. Reproduktivorgane konnten bei beiden Formen nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Aufgrund der schlechten Überlieferung, ist eine sichere systematische Zuordnung gegenwärtig nicht möglich. Aber die erkennbaren Merkmale bei den beiden Arten deuten auf ihre Zugehörigkeit zu den rezenten Formen, welche DENIZOT (1968) der Gattung *Polystrata* HEYDRICH 1905 zuordnete. Zwecks der morphologischen Orientierung werden die beiden unten beschriebenen Arten provisorisch dem Formkreis *Polystrata* sensu DENIZOT zugeordnet.

Genus *Polystrata*

Polystrata sp. 1 (Taf. 24, Fig. 1,5, Taf. 25, Fig. 1-2)

Damit wird hier die häufigste Alge angesprochen, welche insbesondere für den Aufbau der monospezifischen Rindenkörner verantwortlich ist. Im Jungstadium bildet diese Art winziges, im Querschnitt flechtenartig aussehendes Repetitionsgewebe, bestehend aus äußerst dünnen Krusten (Taf. 24, Fig. 5). Im ausgewachsenen Stadium entwickelt sie massive, flächenhaft ausgebreitete Krustenabfolgen, die mehrere Zentimeter dick werden können (Taf. 23). Die einzelnen, jeweils ein vollständiges Thallusgewebe repräsentierenden, Krusten weisen eine durchschnittliche Mächtigkeit von 350-450 μm auf (Taf. 23 Fig. 1-2). Im Longitudinalschnitt scheint der Thallus eine differenzierte Zellstruktur zu haben: Das, durch geräumige Zellen auffallende, primigene Filament im basalen Teil, bildet ventral mono- oder bistratose Zellschichten, welche allerdings aufgrund der schlechten Erhaltung nur punktuell beobachtet werden kann. Dorsal entwickelt die Alge steil aufsteigende bis vertikale und multizelluläre Filamente, die sich nach oben, bei kleiner werdenden Zellen, wiederholt teilen, so das sie im Kortikalbereich zu einem feinmaschigen Gewebe zusammen wachsen.

Polystrata sp. 2 (Taf. 25, Fig. 3).

Diese ebenfalls provisorisch benannte Art besitzt einen deutlich schwächeren Thallus (ca. 100-200 μm) und bildet darüber hinaus seltener Überkrustungen als *Polystrata* sp. 1. Der wesentliche Unterschied zu der erstgenannten Art liegt in der Ausbildung der inhomologen postigenen Filamente: Von den beiden Seiten der primären Zellschicht gehen zwar Filamente in springbrunnenartiger Anordnung hervor, die ventralen Filamente scheinen jedoch generell aus wesentlich weniger Zellen aufgebaut zu sein als die oberen Fäden.

Vergleiche

Vergleichbare kretazische und tertiäre Peyssoneliaceen sind uns nicht bekannt. Die hier beschriebenen Formen lassen sich eher mit pleistozänen und rezenten Vertretern vergleichen. Bisherigen Recherchen und eigenen Untersuchungen zufolge kommt im Mittelmeerraum zwar eine Reihe verkalkter Peyssoneliaceen vor, aber sie gehören alle zur Gruppe Peyssonelia (vgl. BUDOURESQUE & DENIZOT 1975, BUDOURESQUE 1976). Wie bereits oben angedeutet, finden wir erst im indopazifischen Raum Formen mit ähnlich aufgebauten Gewebestrukturen (siehe z.B. WEBER VAN BOSSE 1913, 1921, DENIZOT 1968, DULLO et al 1990). Unter allen uns zur Verfügung stehenden rezenten und subrezentem Arten aus diesem Raum kommen im Bereich des Roten Meeres zwei Formen infrage, die enge verwandtschaftliche Beziehungen zu hier beschriebenen Peyssoneliaceen aufweisen. Diese vergleichbaren Arten wurden vom Verfasser (in DULLO et al 1990) als „Peyssoneliaceae gen. et sp. indet 1“ und „Peyssoneliaceae gen. et sp. indet 2“ bezeichnet. *Polystrata* sp. 2 zeigt große Ähnlichkeiten mit der erstgenannten Art, während die zweite Art der *Polystrata* sp. 2 nahe steht.

5.2 Diatomeae – Kieselalgen

Hier sind erste Befunde zu nennen, die beim Arbeiten mit dem REM auftraten. Es handelt sich um längliche, kammartige Gebilde, die z.T. durch Lösungserscheinungen destruiert sind. Es lassen sich nach freundlicher Mitt. von Kollegen W. SCHILLER (Geol.-Paläont. Inst. Univ. Frankfurt) eindeutig pinnate Diatomeen bestimmen. Sie scheinen bisher selten zu sein und stecken in den kieselig-kalkigen Lagen der Kalkalgen und wurden beim Anlösen mit Essigsäure freigeätzt (von Autor THEWALT, vgl. Taf. 33, Fig. 7-10). Die Typen I-IV könnten vorläufig zu den Taxa *Navicula*, *Nitzschia* oder *Fragilaria-Cymbella* gehören.

Weitere Daten sind i.M. leider nicht zu gewinnen, aber es sollten verstärkt Anstrengungen unternommen werden, weitere Diatomeen zu finden, da sie gute Bioindikatoren und Wasser-gütezeiger sind.

6. Die Kieselholz-Flora

6.1 Diskussion der älteren Daten

Es gibt eine Reihe von Publikationen zum Thema, die hier kurz gewürdigt werden, wenn auch aufgrund neuerer Forschungen der Aussagewert eingengt ist (siehe u.a. CHIARUGI 1929, MURONI 1958, COMASCHI CARIA 1958, 1959, 1981, CHARRIER & MAXIA 1970).

Tabelle 2: Liste der wichtigsten publizierten Pflanzenreste aus Sardinien, vor allem der fossilen Hölzer (vgl. auch MAXIA & PECORINI 1969:348,350)

Zum Überblick über die fossile Flora auf Sardinien seien hier die von der Autorin publizierten Taxa erwähnt (COMASCHI CARIA 1981):	Bemerkungen nach eigenen Untersuchungen an Materialien im Museo Lovisato in Cagliari
<i>Pinus</i> sp.- „Strobulo di Conifere“ von Castelsardo, Miozän, Taf. XXXIII, Fig.1	<i>Pinus</i> sp, typisch im Tuff eingeschlossen
Juglandaceae (<i>Carya</i> ?) – “frutto legnoso” von Fangario, Cagliari, Taf. XXXIII, Fig. 2,3,4	z.T. Konkretionen, wiss. wertlos
Indet. Blätter – impronti di foglie, (argille di Miocene di Fangario) – Abdrücke von Blättern aus dem Ton von Fangario, Cagliari, Taf. XXXIII, Fig. 5,6,7	Möglicherweise Leguminosae und Lauraceae vorhanden
<i>Dombeyoxylon oweni</i> – Tronchi silicizzati; (heute als <i>Bombacoxylon oweni</i> sensu GOTTWALD 1969 bezeichnet)	vermutlich Zuri, alle Stämme werden gerne als <i>D.o.</i> bezeichnet – ohne Schliffe!
Stamm, 1 Tonne schwer, 65 cm Durchmesser, Taf. XXXIV, Fig. 1	vermutlich Zuri, siehe oben
Stamm, 800 kg schwer, Durchmesser 50 cm, Taf. XXXIV, Fig. 2	siehe oben
Holzfragment (Zuri, Ghilarza), Taf. XXXIV, Fig. 3	siehe oben
Palmae, Eozän, Wedelrest, Gonnesa ?, Taf. XLVII, Fig. 2	Echte Palmreste
<i>Sabal</i> , Palmfächer, Eozän von Gonnesa, Taf. XIII, Fig. 1,2	Echte Palmreste
<i>Nipadites</i> , frutto di Palme, Cretacico die Monti di Oliena, Taf. X, Fig. 4 (als Ergänzung hier gebracht, da es sich auch um Eozän handeln könnte, eigene Anschauung des Verf.)	Vermutlich keine Palmfrucht

Besonders auf eine Publikation von COMASCHI CARIA (1981) soll hier näher eingegangen werden, da eine ganze Reihe von Informationen, allerdings problematischer Art vorliegen: Die „tronchi silicizzati“, also die verkieselten Stämme des fossilen Waldes von Zuri gehören nach dieser Autorin ohne nähere Angaben oder Beweisführungen durch Schliffe zu folgende Taxa (ibid. 31):

Resti di Palme (*Palmoxylon thyrrenicum*)

Sterculiaceae (*Dombeyoxylon oweni* = heute *Bombacoxylon* sensu GOTTWALD 1969)

Laurinee (wohl Lauraceae)

Rutacee (wohl Rutaceae)

Wichtig ist ihre Bemerkung: “che testimoniano la presenza in Sardegna di elementi della flora fossile Sahariana” – die in Sardinien das Vorkommen von Elementen der fossilen Flora der Sahara bezeugen. Die genannten Typen kommen wirklich ebenfalls in der Sahara und in fast allen weiteren afrikanischen und europäischen Floren meist des Palaeogens vor. Vergleichbare afrikanische Taxa werden von dieser Autorin aus Darrar, Giarabub, Ägypten und Migiurtina genannt.

Des weiteren sollen hier die wichtigsten Befunde der fossilen Floren aus Sardinien zusammengestellt werden. Das Material, darunter auch Kieselhölzer, befindet sich z.T. auch im Museo LOVISATO in Cagliari (Tab. 2).

ENGELHARDT hat (1998: 56-60) einige Fundorte auf Sardinien genannt und auch deren Alter angegeben. Es überwiegen bei älteren Sedimenten Palmenreste und Kiefernzapfen, Blätter von Monokotyledonen und Dikotyledonen (darunter wieder „Eucalyptus“). Von Castelsardo ist die Bemerkung „in Pechopal umgewandeltes Stammstück mit zahlreichen schmalen Jahresringen“ interessant, wenngleich auch damit keine Bestimmung vorliegt. Weitere Holzreste nennt der Autor von Perdaliana und Oschiri und vergleicht sie z.T. mit Kiefern bzw. Koniferen (ibid. 60).

Man sieht deutlich bei dieser Aufzählung die Dürftigkeit der Funde, die Ungenauigkeit der Angaben und die Mischung von Blatt- und Fruchtesten, Holz und Zapfen. Mit diesen Resten ist keine große Aussage im Hinblick auf ökologisch-klimatologische Interpretationen des Tertiärs in Sardinien zu wagen.

Kann bei einigen Formen wenigstens mit Sicherheit die Zugehörigkeit zu einem Taxon angegeben werden, so sind die Formen *Olea*, *Canna* oder gar *Eucalyptus* für eine wissenschaftliche Betrachtung heute als irrelevant und völlig veraltet anzusehen.

BIONDI (1988: 842-844): ist ebenfalls näher auf den Fossilen Wald Sardinien eingegangen und charakterisiert den in den Übergang Oberoligozän- basales Miozän eingestuften Wald durch einige Taxa:

Palmoxylon cavallottii, *P. lovisatoi*, *Dombeyoxylon oweni* (= *Bombacoxylon oweni* sensu GOTTWALD), *Evodioxylon primigenium*, *Robinioxylon zuriensis*, *Cedroxylon laricinum*, *Tetraclinoxylon anglonae*, *Palmoxylon tyrrhenicum*, *P. lacunosum* und *Laurinoxylon desioi*. Auch *Arganioxylon sardum*, *Scelerocaryoxylon chiarugii*, *Callitrixylon boureaui* kommen vor. Alle Taxa werden mit tropischen Arten Africas verglichen (Flora fossile Sahariana) und im Hinblick auf dieses Areal interpretiert.

Im Miozän von Castelsardo dominieren *Pinus*-Zapfen (*strozzi*-Typ) während die miozäne Fauna von Oschiri (vgl. BRUIN & RÜMKE 1974) ergänzt wird durch wenige silifizierte Holzfunde.

Weitere ganz seltene Taxodien, Sequoien und weitere *Pinus*-Arten fanden sich im Miozän-Pliozän Sardinien (EXEL 1986). Zu den Koniferen soll hier noch erwähnt werden, dass die REM-Aufnahmen des Kieselholzes von Oschiri (Taf. 33, Fig. 1-6) so gut sind, dass später vielleicht eine Bestimmung auch ohne Dünnschliffe möglich sein wird.

Wir haben also das Problem, dass wir in „miozänen“ Sedimenten keinerlei Palmen haben (aber im Eozän) und die Holzflora von Zuri und Anglona nicht ins Miozän passt, wenn man die europäischen Megafloren zum Vergleich heranzieht. Wie sich eine Lösung dieses Problems anbieten könnte, soll die Auswertung zeigen.

Die folgende kurze Übersicht auf Tab. 4 stellt einige gut vergleichbare Xylofloren aus dem afrikanisch-europäischen Raum zusammen, um einen Eindruck von der Häufigkeit der Floren zu geben:

6.2 Neuere Aufsammlungen

6.2.1 Material im Naturmuseum Augsburg

Seit einigen Jahren wurden Materialien aus Sardinien gesammelt, um einen Eindruck von der Verteilung der Hölzer im Gebiet zu bekommen. Die folgende Liste belegt die verschiedenen Areale, Sammler, und Nummern in der Sammlung.

Material aus dem Naturmuseum in Augsburg stammt von folgenden Sammlungen:

Eingangsnnummer /525: leg. PFLÜGEL (Günzburg) von Zuri

- Eingangsnummer /647: leg. HEPFER (Ulm) von Laerru
 Eingangsnummer /1056: Coll. HOLLEIS (Gröbenzell), genauer Fundort nicht bekannt, vermutlich aber Lago Omodeo
 Eingangsnummer /1145: leg. GREGOR E 746, Lago Omodeo und Oschiri
 Eingangsnummer /1264: leg. SALMOIRAGHI (Castellanza, Italien) Lago Omodeo
 Eingangsnummer /1422: leg. GREGOR E 784, Lago Omodeo
 Eingangsnummer /1462: leg. AUGSTEN (Pfronten-Kappel) vom Lago Omodeo (Palmen)
 Eingangsnummer /1465: leg. AUGSTEN (Pfronten-Kappel) vom Lago Omodeo (weitere Kieselhölzer)
 Eingangsnummer /1492: leg. WISSMANN (Cagliari) von Zuri
 Eingangsnummer /1518: leg. GREGOR E 808, Laerru und Zuri
 Eingangsnummer /1532: leg. EICKENSCHIEDT (München-Krailling) von Laerru
 Eingangsnummer /1604: leg. GREGOR E 820, div. Fundorte
 Eingangsnummer /1736: leg. GAJPL (Ahlsdorf) von Laerru (vgl. GREGOR E 820/39)

6.2.2 Vorläufige xylotomische Bestimmungen

Im Folgenden soll ein Blick auf die besonderen Bedingungen geworfen werden, unter denen sich die Holzreste in den Tertiärbecken Sardinien erhalten haben.

Es sind diverse Typen von Hölzern zu nennen, so z.B. *Cupressoxylon peucinum* und *Tetraclinoxylon anglonae* (beide Bestimmungen ohne nähere Daten aus dem Museo in Perfugas). Beide genannten kommen bisher bei unserem Material nicht vor.

Von den bei BIONDI (1988: 842-844) mitgeteilten Taxa sind hier nur *Arganioxylon* und *Bombacoxylon* vorhanden, während unter den noch nicht weiter bestimmten Formen *Laurinoxylon*, *Tetraclinoxylon* und andere vorkommen könnten.

Eine vorläufige und vorsichtige Untersuchung der Hölzer aus der Kollektion des Naturmuseums in Augsburg (speziell mit der Aufsammlung GREGOR) durch Prof. GOTTWALD (Reinbek) ergab folgende Familien und Taxa (Tab.2):

Von diesen 42 Fundstücken sind 15 zu *Bombacoxylon* gehörig, 4 zu den Lauraceen, 3 zu *Arganioxylon* und 2 zu den Anacardiaceen-Burseraceen. Auch Palmen sind häufig mit 12 Exemplaren. Diese Dominanz von tropischen Elementen wie z.B. *Bombacoxylon* passt nicht in miozäne Sedimente, wie GOTTWALD (1997) in ähnlicher Weise bereits für die Molasse Süddeutschlands nachgewiesen hat. Wir haben also sicher wieder eine palaeogene Holzflora (evtl. sogar gemischt) am Lago Omodeo vorliegen, die in jüngeren Sedimenten umgelagert wurde. Es liegen andererseits nur 4 Coniferen vor, dabei 3 davon aus Laerru und Oschiri. Hier scheint ein etwas mehr miozäner Trend vorzuliegen, was die beiden Vorkommen stratigraphisch unterscheiden würde.

Zur systematischen Zuordnung des dominant vorkommenden Holzes von *Bombacoxylon oweni* (früher *Dombeyoxylon oweni*) vergleiche man BEAUCHAMPS & LEMOIGNE 1973, CHARRIER 1967, DECHAMPS 1982, GOTTWALD 1969, KRÄUSEL 1939 und PRIVE-GILL 1981)

6.2.3 Das Palmen-Problem

Wie sehr oft im Zusammenhang mit fossilen Hölzern, ergibt sich auch bezüglich Sardinien mit den Palmen ein Problem. Es kommen Splitter wohl zweier Typen vor, die als *Palmoxylon baccillare* und *P. tyrrhenium* bezeichnet werden können. CHIARUGI hat (1931) diese Typen auch aus Libyen nachgewiesen (vgl. hier bei Taf. 26, Fig. 3,4 und Taf. 27. Das Palmstück von Martis (vgl. Kap. 2.1.2) ist als „Coco angelo“ *Palmoxylon* bezeichnet, ohne weitere Daten. Die vorgelegten Palmreste sollen hier nur groß bestimmt werden, da eine eingehende Untersuchung geplant ist (vgl. auch dazu ders. 1929).

Tabelle 3: Von Autor GREGOR (E-Nummern) und anderen Sammlern gefundene Taxa auf Sardinien

Taxon	Nummer	Inv.-Nr.	Fundort
Burseraceae vel Anacardiaceae	Leg. AUGSTEN	99-158/1465	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	Leg. AUGSTEN	99-159/1465	Olecca
Palmae, cf. <i>Palmoxyton</i>	Leg. AUGSTEN	99-160/1465	Olecca
Lauraceae	Leg. AUGSTEN	99-161/1465	Olecca
Palmae	Leg. AUGSTEN	99-162/1465	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	Leg. AUGSTEN	99-163/1465	Olecca
Coniferae (non <i>Pinus</i> , <i>Picea</i> , <i>Larix</i> , <i>Pseudotsuga</i> , vel <i>Taxaceae</i>)	Leg. AUGSTEN	99-164/1465	Olecca
Sapotaceae, cf. <i>Arganioxyton</i>	Leg. AUGSTEN	99-165/1465	Olecca
Lauraceae	Leg. AUGSTEN	99-166/1465	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	Leg. AUGSTEN	99-167/1465	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	Leg. PFLÜGEL	94-438/525	Zuri
Dicotyledoneae gen. indet.	Leg. PFLÜGEL	94-439/525	Zuri
cf. Lauraceae	Leg. PFLÜGEL	94-440/525	Zuri
cf. Lauraceae	Leg. PFLÜGEL	94-441/525	Zuri
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-168/1604	Olecca
Sapotaceae, cf. <i>Arganioxyton</i>	E 820/70A	99-169/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-170/1604	Olecca
Dicotyledoneae gen. indet.	E 820/70A	99-171/1604	Olecca
Palmaceae	E 820/70A	99-172/1604	Olecca
Palmaceae	E 820/70A	99-173/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-174/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-175/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-176/1604	Olecca
Burseraceae vel Anacardiaceae	E 820/70A	99-177/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-178/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-179/1604	Olecca
Bombacaceae, cf. <i>Bombacoxylon</i>	E 820/70A	99-180/1604	Olecca
Sapotaceae, cf. <i>Arganioxyton sardum</i>	E 820/70A	99-181/1604	Olecca
<i>Bombacoxylon</i> sp.	Leg. PFLÜGEL	91-118/525	Zuri
<i>Palmoxyton</i> sp.	Leg. PFLÜGEL	91-119/525	Zuri
<i>Palmoxyton</i> sp.	Leg. PFLÜGEL	91-120/525	Zuri
Coniferae (Taf. 33, Fig. 1-6)	E 746/51	99-182/1145	Oschiri
Coniferae (Cupressac./ Podocarpaceae) Taf. 5, Fig. 2,3	E 808/62f	99-183/1518	Laerru
<i>Bombacoxylon</i> sp. Taf. 26, Fig. 1,2)	Leg. WISSMANN	99-184/1492	Zuri
<i>Palmoxyton</i> sp.	Leg. AUGSTEN	99-185/1462	Olecca
<i>Palmoxyton</i> sp.	Leg. AUGSTEN	99-186/1462	Olecca
<i>Palmoxyton</i> sp.	Leg. AUGSTEN	99-187/1462	Olecca
<i>Palmoxyton</i> sp. (Taf. 26, Fig. 3,4)	Leg. AUGSTEN	99-188/1462	Olecca
<i>Bombacoxylon</i> sp.	E 746/21; Leg. DEIANA	99-189/1145	Zuri
Coniferae	Leg. GAJPL (E 820)	99-190/1740	Laerru
<i>Palmoxyton lovisatoi</i> , Taf. 27	Coll. HOLLEIS Sard - 21	99-197/1462	Zuri (?)
<i>Bombacoxylon</i>	Coll. HOLLEIS ex AUGSTEN	99-191/1462	Zuri

Die Häufigkeit der Palmen in Bezug auf andere Holzarten ist aber minimal und als sehr selten zu betrachten (Häufigkeit etwa 1: 500 zu anderen Hölzern).

Auch an anderen Fundstellen, wie in Zuri, wird eine „Häufigkeit“ der Palmen insofern vorgetäuscht, als sie eben strukturell sehr schön und dabei auch selten sind und somit ins Auge fallen und bevorzugt gesammelt werden. Vor allem sind viele größere Palmstücke durch Verwitterung zersplittert und täuschen so ebenfalls eine „Dominanz“ vor – was im Gelände gut beobachtet werden kann (zusammenpassende Stücke!). Ähnliches lässt sich übrigens nach eigener Anschauung auch am Strand von Saratsina bei Sigri auf Lesbos beobachten, wo viele kleine Palmsplinter im Kies am Strand liegen.

Das Informationsschild am Picknickplatz in Olecco (Soddi) z.B. fasst nun die Ergebnisse fälschlicherweise (im Hinblick auf die Ähnlichkeit mit den fossilen Hölzern der Sahara, vgl. Kap. 4.2.4) wie folgt zusammen (aus dem Italienischen übersetzt):

“Subtropisches (arides) Klima, Wald vom Typ Savanne, überwiegend Palmen des Typs Dombeyoxylon und Palmoxylon“

Richtig bei dieser Aussage ist nur folgendes: subtropisches bis tropisches Klima, überwiegend „Hölzer“ vom Typ *Bombacoxylon* (vgl. Bearbeitung GOTTWALD 1969)

Falsch dagegen sind: arides Klima, *Dombeyoxylon* (und damit *Bombacoxylon*) als Palme zu bezeichnen, *Palmoxylon* als überwiegend vorhanden anzusehen.

Eine vorläufige korrekte Analyse wird im nächsten Kapitel versucht, wobei alle Befunde von Sardinien, von anderen umgebenden Ländern und eine Gesamteuropäische Klimavorstellung mit einfließen.

Zum Schluss sei hier erwähnt, dass ein aus der Coll. HOLLEIS (Inv. Nr. Sard 21) vorliegender Palmrest von Olecca einen besonderen Fund darstellt, nämlich eine *Palmoxylon lovisatoi* STERZEL (Taf. 27)

Die Palmen (hier 3 Exemplare, vgl. Tab. 3) sind oft Durchläufer und nicht stratigraphisch verwendbar, wenn auch STERZEL seine *Palmoxylon lovisatoi* ins Oligozän gestellt hat, was durchaus möglich ist; heute würde man vielleicht vom Ober-Oligozän im Übergang zum Unter-Miozän sprechen. Dies würde die Funde von Zuri betreffen und die Umlagerung gut stützen.

7. Paläoklimatologische und paläoökologische Anmerkungen

In Anlehnung an ökologische Interpretationen von Xylofloren durch GOTTWALD (1966, 1997) seien einige vorläufige Bemerkungen gestattet:

Das Vorkommen folgender Formen von Kieselhölzern führt zur Klimainterpretation „temperato“ und „tropicale affinità – sahariana“, also einer Mischung zweier Typen (COMASCHI CARIA 1981: 31):

Juglandaceae	<i>Carya – Juglans</i>
Coniferae	<i>Pinus</i>
Cupressaceae (Cipresi)	<i>Cupressoxylon</i>
(Ginepri)	<i>Juniperoxylon</i>

Das Miozän in Sardinien wird hierauf in drei klimatische Zonen und eine Fazieszone unterteilt:

1. tropisch und subtropisch, bedingt durch Formen wie *Palmoxylon*, *Laurinoxylon*, *Magnolia diana*, *Ficus columella*, *Ficus multinervis*

2. subtropisch mit kurzen Perioden von Kälte mit *Olea*, *Eucalyptus*, *Populus* (es soll hier nicht weiter auf diese heute schon längst als falsch erkannte Bestimmung der ersten beiden Elemente eingegangen werden)
3. temperiertes Klima, bedingt durch *Juglans*, *Carya*, *Quercus*, *Pinus* (ibid.: 32)
4. „zone paludose“, „piante palustre“ (sumpfige Zonen und Pflanzen), mit *Arundo* (*Canna!*, vgl. Kap. 3.1.) und *Typha* (*latifolia*), also faziell abhängige Pflanzen, keine Klimaanzeiger.

Zusammenfassend wird von COMASCHI CARIA deutlich gesagt, dass das Klima während des Miozän auf Sardinien ausgesprochen warm gewesen ist, wärmer sogar als heute.

Man kann nun aufgrund der neuen Daten präzisieren:

Subtropisch-humides Klima mit dementsprechendem Regenwald (Koniferen, Grewioxylon, Bombacoxylon u.a. etc., eher tropische Formen) und ganz seltenen Vertretern von Palmen. Diese Klimavorstellung gilt für das Oligozän bzw. Paläogen, da wir mit Umlagerung rechnen müssen.

Schon COCOZZA et al. 1974 haben den sardischen fossilen Wald insofern richtig dargestellt als sie schrieben: „liegen Palmen und andere Pflanzenreste vor, welche Ähnlichkeiten mit der gleichaltrigen fossilen Flora der Sahara aufweisen“. Diese Ähnlichkeit hat ja andere Autoren (vgl. COMASCHI-CARINA 1981) dazu gebracht, den fossilen Wald insgesamt mit den oben geschilderten fossilen Wäldern Afrikas zu vergleichen (vgl. auch Tab. 4).

Die tropischen Holzarten sind zwar mit solchen aus Ablagerungen der Sahara systematisch zu vergleichen, sehen aber aus, als ob sie umgelagert worden wären, was, wie schon erwähnt, einige Probleme der Ablagerung näher beleuchten würde.

Ein Vergleich mit anderen Floren würde also eine eurafrikanische Paläogenflora rekonstruieren lassen, aber keine Aussagen über rezente Biotope in Afrika z.B. zulassen. Fast alle Ablagerungen in Nordafrika sind eozänen Alters, selten oligozänen und somit wäre die erwähnte Umlagerung eozäner Hölzer in oligo-miozäne Tuffite Sardinien durchaus zu verstehen und zu erklären.

Wie man aus der obigen Liste (3) ersehen kann, sind die tropisch-subtropischen Formen eher am Lago Omodeo zu finden, die gemäßigten Koniferen eher in den Algenlagen von Laerru usw.

Eine umfassende Bearbeitung der Hölzer aus Sardinien wäre unbedingt notwendig, um die gesamte Problematik stratigraphischer, taxonomischer und ökologisch-klimatischer Aussagen revidieren und bestätigen zu können. Ähnliches wurde bereits von GREGOR & VELITZELLOS 1997 für den Versteinerten Wald von Sahabi in Libyen vorgenommen, wobei die bisherigen Vorstellungen von den ökofaziellen Bedingungen an der reichen Wirbeltierfundstelle aufgrund der älteren Bestimmungen nicht mehr zutrafen.

Inwieweit mit Formen wie *Bombacoxylon* u.a. eine Mangrove bzw. deren Hinterland zwischen oder nahe dem französischen Festland und Sardinien andeuten, muss i.M. noch offenbleiben. Eindeutige *Nypa*-Reste sind jedenfalls nicht vorhanden (vgl. Kritik in Tab. 2), aber genügend eindeutige große Palmreste aus dem Eozän und würden somit einen *Bombacoxylon*-Hinterland-Wald stützen.

8. Stratigraphische Einstufung

Haben wir in Laerru Tuffite, in Martis ebenfalls, so zeigen sich in Zuri Schotter, Konglomerate, Tuffe und Tuffite im Wechsel mit Sandsteinen und in Olecca Tuffite, Agglomerate, Siltsteine, Sandsteine, Konglomerate und Mergel in einer Abfolge, wobei die Vulkanite den Abschluss der normalen Sedimentation ausmachen. Nirgends sind fossilführende Lagen zu sehen, außer im Bereich Olecca in den Siltsteinen (vgl. 2.3.3, Taf. 16, Fig. 1-4, Taf. 17, Fig. 1). Zum Alter der Ablagerungen sei erwähnt, dass überall von miozänem Vulkanismus die Rede

ist (Museum Perflugas, vgl. auch EXEL 1986: 72-80) die Holztypen aber wie schon erwähnt, ein älteres Alter belegen.

Wenn wir die Komposition der Hölzer von Sardinien betrachten, merken wir deutlich einen „tropischen Einschlag“, wie er typisch für Eozän und z.T. Oligozän noch ist, aber bisher nicht für das Miozän nachgewiesen worden ist.

Demnach scheint der fossile Wald auf Sardinien spätestens im Oligozän zur Entstehung gekommen zu sein. Diese Alterseinstufung gilt auch für das Gebiet von Laerru-Martis vor der Meeresüberflutung, da die marinen Inkrustations-Vorgänge durchaus erst im Miozän abgeschlossen sein können. Aber ob die fluviatilen Schotter am Zuri-See altersgleich oder sogar jünger sind als die darin umgelagerten Hölzer, kann im Moment nicht geklärt werden. Wir wissen aber aus der Erfahrung, dass umgelagerte Paläogen-Hölzer im mio-pliozänen Sedimenten im europäisch-afrikanischen Raum weit verbreitet sind, so konnte z. Beispiel in Libyen dieses Phänomen nachgewiesen werden (GREGOR & VELITZELOS 1997), wo bis zu 20 m lange Baumstämme aus dem Eozän in mio-pliozänen Sedimenten auftreten. Dass auch bei anderen Gegebenheiten Umlagerung auftreten kann, zeigten Mahagoni-Hölzer aus dem Randecker Maar auf der Alb (vgl. GREGOR 1979), wobei die miozäne Flora eindeutig gemäßigter erscheint als die „tropischen“ Hölzer. Ganz besonders gut ist dies bei den großen Stämmen aus der Kiesgrube Rauscheröd in Bayern zu sehen (GOTTWALD 1997), bei der die „tropische“ Holzflora eindeutig nicht ins Untermiozän passt und somit aus dem Paläogen umgelagert sein muss, evtl. aus Richtung Ungarn. Auf diesem Sektor fehlen bisher alle Möglichkeiten der Einengung der geographischen Herkunftsgebiete, wenn auch GOTTWALD zum erstenmal in der Molasse ein solches Phänomen dargestellt hat. Leider sind diese häufigen Umlagerungsphänomene nicht bei allen Bearbeitern bekannt oder erkannt worden, so dass viele widersprüchliche Klima- und Ökodaten für die Molasse vorliegen (SELMEIER 1983).

9. Vergleiche mit anderen Vorkommen tertiärer Wälder

Über fossile Wälder in ähnlicher Überlieferung wurden bisher aus verschiedenen Zeitperioden berichtet (vgl. z.B. SELMEIER 1986, BOWMAN 1992, DERNBACH 1996, DEVILLE 1991, Memoires... 1968 und hier Tab. 3). Als ein vergleichbares interessantes Beispiel gilt das miozäne Vorkommen auf der griechischen Insel Lesbos (VELITZELOS 1999), wo die Verhältnisse eindeutig zu interpretieren sind: hier sind die Bäume samt ihren Wurzeln in Tuff konserviert. Ein eingehender Vergleich ergibt im Unterschied zu unseren sardischen Vorkommen bei den Stämmen von Lesbos farbige Komponenten in der Kieselsäure (rot, gelb, grün, orange, schwarz, weiß) und auch besser und intensiver und glatter achatisierte Stämme. Die Hölzer aus Lesbos sind oftmals in situ und zeigen Wurzelstubben und -reste, die aus Sardinien niemals. Die Lesbos-Stämme liegen in Tuffiten und Pyroklastika, die sardischen in Konglomeraten und nur partiell in vulkanogenen Schichten, und dann nur in grünlichen Tuffiten. Über die Problematik der Einordnung des Begriffs „Fossiler Wald“ ist eine eigene Untersuchung in Vorbereitung (GREGOR, HOLLEIS & VELITZELOS). Eine gute Definition eines „Fossilen Waldes“ fehlt nämlich bisher und soll Probleme der Ablagerung klären helfen.

Die Veraltungen fehlen bei den Hölzern von Lesbos total, ebenso Blattreste dagegen bei den sardischen Ablagerungen.

Die Holztypen von Lesbos und anderen fossilen Wäldern Griechenlands, VELITZELOS 1999 und in Vorb.) sind im Vergleich mit denen von Sardinien kaum zum Vergleich geeignet: *Lithocarpoxylon*, *Quercoxylon intermedium*, *Chimairoidoxylon lesboense*, *Thujoxylon antissum*, *Pinoxylon* und *Taxodioxylon* div. sp., *Tetraclinoxylon velitzelosii* und *Taxaceoxylon biseriatum*. Der starke Koniferenanteil und die „gemäßigten“ Typen belegen eindeutig oligo-miozäne Bedingungen für Lesbos und Thrakien, während die sardischen Typen ein völlig anderes Gepräge zeigen, eben ein älteres.

Zum allgemeinen Problem des Begriffes „Fossiler Wald“ ist von Autor GREGOR eine Bearbeitung in Vorbereitung. Viele Fossile Wälder sind nämlich keineswegs solche, sondern nur einzeln herumliegende z.T. durchaus große Stämme. Da eine gültige Definition fehlt, wird eine solche soeben erarbeitet, wobei wie bei den Klimaten (Mikroklima erster Ordnung usw.) die Fossilen Wälder in solche erster Ordnung, zweiter Ordnung usw. definiert werden (GREGOR & HOLLEIS 2001, in Vorb.).

Zu diesem genannten Komplex vergleiche man vor allem PETRESCU & VELITZELOS 1981, VELITZELOS 1998, PETRESCU, VELITZELOS & STAVROPODIS 1980, SÜSS 1997, SÜSS & VELITZELOS 1994a, 1994b, 1997, 1998, 1999, VELITZELOS in PINNA 1999.

Tabelle 4: Afrikanisch-europäische Xylofloren, eine kleine Übersicht

Land/ Region/ Ort	Alter/ rev. durch	Literatur
Marokko	Paläogen	ATTIMS & CREMIER 1969
Kairo	Paläogen	CARRUTHERS 1870, UNGER 1859
Sirte	Tertiär	CHIARUGI 1928
NE-Libyen	“Jungtertiär”/GREGOR & VELITZELOS	GREGOR & VELITZELOS 1997
Tunesien	Paläogen	GOTTWALD 1969
Ägypten	Paläogen, Kreide	KRÄUSEL 1939, SÜSS 1987
Algerien	Paläogen	LOUVET 1968
Mediterran	Tertiär	BIONDI & alii 1985

10. Zusammenfassende Schlussfolgerung

Aus dem jüngeren Tertiär des Mittelmeerraumes wurde bisher über eine Reihe versteinertes Wälder berichtet. Sowohl der fossile Wald im Nordwesten Sardinien als auch die übrigen Vorkommen, wie z.B. die der Insel Lesbos oder von Nordafrika, scheinen alle das Resultat kurzlebiger kontinentaler Vegetationsräume zu sein, deren Entstehung und Zusammenbruch in enger Beziehung standen mit den entscheidenden orogenetischen Phasen und den dadurch ausgelösten kurzzeitigen Vulkanausbrüchen, Meeresspiegel- und Klimaschwankungen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit bisher ungeklärten zentralen Fragen des fossilen Waldes Nordwest Sardinien:

- Handelt es sich bei den bisher zerstreut bearbeiteten Hölzern tatsächlich um Überreste eines zusammenhängenden Waldes, der in miozäner Zeit den nordwestlichen Teil Sardinien bedeckte, oder liegen hier nur Umlagerungsprodukte aus früheren Zeiträumen vor?
- Welche waldbildenden Gemeinschaften waren am Aufbau des einstigen Vegetationsraumes beteiligt?
- welche geologischen und diagenetischen Prozesse haben zu ihrer Erhaltungsfähigkeit entscheidend beigetragen?

Die vorläufigen Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigen, dass wir es mit wesentlich komplexeren Vorgängen zu tun haben, als zunächst angenommen:

Die Fundstellen der Pflanzenreste sind auf zwei sich faziell voneinander abweichenden Sedimentationsräume verteilt, die ca. 100 km von einander entfernt sind: Die Vorkommen im Raum Laerru-Martis zeigen massive Inkrustationen; trotz der starken anthropogenen Eingriffe finden sich mancher Orts noch vereinzelt aufrechtstehende Exemplare, welche in situ zementiert sind. Das gesamte Sedimentationsmilieu zeigt eindeutig eine marin-brackische Überprägung. Die hier einst als Kern dienenden verkieselten Baum- und Holzreste sind nachträglich

weitestgehend aufgelöst worden. Die vollständig verkieselten Pflanzenreste am Omodeo-See hingegen weisen keine Inkrustationen auf und liegen alle in umgelagerter Form innerhalb fluviatiler Schotter vor. Die bisherigen Beobachtungen des Sedimentationsgeschehens in diesem Gebiet ergaben keine sicheren Erkenntnisse über den genauen Zeitraum zwischen der Entstehung und Umlagerung der Pflanzen. Welche genauen räumlichen und zeitlichen Beziehungen einst zwischen den beiden Arealen während der Sedimentation geherrscht haben, lässt sich noch nicht definitiv feststellen.

Die erkannten Pflanzenvergesellschaftungen lassen jedoch auf eine praemiozäne, wahrscheinlich oligozäne oder eozäne, Entstehung der Wälder im Areal Lago Omodeo schließen. Entgegen der früheren Annahme repräsentiert die Assoziation dort zugleich eine eintönige tropisch-subtropische Vegetation, welche durch Palmen und vor allem die Gattung *Bombacoxylon* gekennzeichnet war. Im Gegensatz dazu könnte das Gebiet Laerru-Martis jünger sein, da die typisch alten Elemente fehlen und z.T. Koniferen vorliegen, wie sie typisch für das Neogen sind.

Diese Merkmale lassen beim Vorkommen vom Lago Omodeo sowohl in altersmäßiger wie auch in klimatischer Hinsicht klare Beziehungen zu z.T. älteren Vorkommen im mediterrann-mittleuropäischen Raum erkennen, wie z. B. zu den eozänen bis oligozänen Vorkommen der Sahara (Ägypten, Libyen) oder zu den Vorkommen der süddeutschen Vorland-Molasse bei Rauscheröd (Passau, Bayern). In allen Fällen scheinen aufrecht stehende Stämme unbekannt oder sehr selten zu sein – am Lago Omodeo wurde auch nur ein fraglicher aufrechter Stamm gefunden. Im Gegensatz zur tropisch/subtropischen Holzflora vom Lago Omodeo haben die Holztypen von Lesbos einen starken Koniferenanteil und belegen ein jüngerer, d. h. oligomiozänes Alter, evtl. ähnlich in Laerru-Martis.

Hinweise auf die Fossilisationsprozesse des „Fossilen Waldes“ und den darauffolgenden paläogeographischen Werdegang können nur aus den Inkrustationen und Sedimenten im Gebiet von Laerru-Martis gewonnen werden, da der ehemalige Wald hier punktuell in paraautochthon-autochthoner Überlieferung vorliegt. Wie Stichproben belegen, wurden die Baumstämme und sonstigen Pflanzenreste später, aber noch in aufrechter Stellung, unter marinen bis marin-brackischen Bedingungen lagenweise von Rotalgen und anderen inkrustierenden Organismen überkrustet. Erst danach wurden sie umgekippt. Nach der marinen Sedimentation und im Zuge der marinen und vadosen Diagenesevorgänge erfuhren die Hölzer metasomatische Verkieselungsprozesse, welche dann größtenteils Auflösungs- und Erosionsprozessen ausgesetzt wurden. Diese neuen Erkenntnisse lassen auf eine ganz andere geologische und paläogeographische Entwicklung des Vegetationsraumes schließen als bisher angenommen worden ist:

Der praemiozäne Tertiär-Wald entstand im Bereich aktiven Vulkanismus, dessen zunehmenden Auswirkungen schließlich zur Zerstörung des Vegetationsraumes führten. Im Verlaufe einer tektonisch gesteuerten Absenkungsphase geriet das Waldgebiet mit teilweise noch in aufrechter Stellung erstarrten Beständen unter marinen Einfluss, wo die Überreste des Waldes- vermutlich in miozäner Zeit- von Rotalgen dominanten Assoziationen allseitig überkrustet wurden. Erst danach und zwar im Zuge der finalen, den gesamten nordwestlichen Teil Sardinien erfassten, Hebungsphase erfolgte auch die Trockenlegung des Untersuchungsgebietes.

Aber was geschah vor der Meeresingression und mariner Überprägung dieses Gebietes, das zuvor vom intensiven Vulkanismus betroffen worden war? Dass die Baumbestände allseitig marine Überkrustungen erfuhren, nach dem sie vom Meer überflutet wurden, setzt zwangsläufig eine widerstandsfähige aufrechte Stellung der Pflanzen über eine längere Zeit unter kontinentalen Bedingungen voraus. Diese Tatsache deutet ihrerseits auf eine vorausgegangene Konservierung der Bestände in „Lebensstellung“ hin. Für die Annahme, wonach hier für die

Vorkonservierung, ähnlich wie im Miozän auf der Insel Lesbos, alleine die Tuff-Überdeckung verantwortlich sei, fehlen jegliche Belege. Die naheliegende Ursache der kontinentalen Zementierung scheint daher in thermalen Gewässersystemen zu liegen, die im vulkanisch aktiven Gebieten heute noch sehr weit verbreitet sind (siehe z. B. RENAULT & JONES 2000): vermutlich kam es auch im Nordwesten Sardinien zur thermal herbeigeführten lakustrinen Sedimentation, welche die Restbestände des einstigen Waldes von unten nach oben erfasste. Diese Sedimente sind womöglich im Zuge der weiteren Entwicklung weitgehend zerstört worden, oder aber können aufgrund der massiven marinen Überkrustung noch nicht eindeutig einem lakustrinen Milieu zugeordnet werden. Damit könnten z.B. manche Stichproben zusammenhängen, die durch stromatolithische Bildungen gekennzeichnet sind.

Als ein eindruckvolles Beispiel der thermophylen mikrobiellen Zementierung und Konservierung eines fossilen Waldes gilt das im Übergangsintervall Jura-Kreide gebildete Vorkommen von Dorset Coast (England, siehe ARKELL 1947, FRANCIS 1983, HOUSE 1989): Die von Cyanobakterien massiv überkrusteten Baumstutzen treten hier in den unteren „Purbeck Beds“ über einem Tuffhorizont, und zwar innerhalb eines lakustrinen, durch stromatolithische Bildungen gegenzeichneten, Milieus auf. Ob auch dort in den Algenmänteln Diatomeen auftraten wie in Laerru, entzieht sich unserer Kenntnis.

Was sich aber nun tatsächlich dem tertiärem Wald im nordwestlichen Sardinien vor der Meersüberflutung widerfahren ist, kann nur eine weitergehende umfassende Untersuchung klären, die sich sowohl mit sedimentpetrographischen als auch mit paläontologischen Fragen beschäftigt.

11. Literatur

- AMBROSETTI, P., BASILICI, G., GENTILI, S., BIONDI, E., CERQUAGLIA, Z. & GIROTTI, O. (1992): La Foresta Fossile di Dunarobba - 90 S., 48 Abb., 20 Farbfotos. Ediart, Todi.
- ARKELL, W. J. (1947): The Geology of the Country around Weymouth, Swanage, Corfe & Lulworth.- Mem. Geol. Surv. G. B. **XII**, 386 S., 83 Abb. 19 Taf., London.
- ATTIMS, Y. & CRÉMIER, F. (1969): Etude de quelques bois fossiles du Mesozoïque du Maroc.- Notes & M. Serv. Geol. Maroc, **210** : 19-92, 28 figs., 3 tabs., 7 pls., Paris
- BEAUCHAMP, J. & LEMOIGNE, Y. (1973): Description d'une paléoflore du Crétacé Terminal. Eocène dans le massif du Chercher (Prov. D'Harar, É).- Doc. Lab. Geol. Fac. Sci. Lyon, **56** : 176-179, 2 fig., 2 pls., Lyon
- BIONDI, E. (1979): *Tetraxlinoxylon anglonae* n. sp. di legno fossile della Sardegna del Nord.- Boll. Soc. Sarda Sci. Nat., **19**: 203-215, Cagliari
- BIONDI, E. (1980): Flora paleoxylogica del Terziario della Sardegna e suo interesse paleofitografico.- Lav. Soc. It. Biogeogr., **8** : 125-138
- BIONDI, E. (1981): *Arganioxylon sardum* n. gen. n. sp., *Sclerocarioxylon chiarugii* n. gen. n. sp. : bois fossiles du Miocene de la Sardaigne (Italie).- Review Paleobot. Palyn., **34** : 301-320, Amsterdam
- BIONDI, E. (1982): Sul rinvenimento di legni fossili appartenenti al genere *Callitrixylon* PRIVÉ et BOUREAU nelle Sardegna settentrionale.- Giorn. Bot. It., **116**, Suppl. 1: 151-152, Firenze

- BIONDI, E. (1985): *Callitrixoxylon boureaui* nov. sp., cupressaceae fossile du Tertiaire de la Sardaigne septentrionale (Italie).- Livre jubilaire Ed. Boureau, Mem. C. T. H. S. Paris, 8: 225-234, Paris
- BIONDI, E. (1988): Un secolo di Paleobotanica in Italia.- 100 anni di ricerche botaniche in Italia 1888-1998, Soc. Bot. It., 1988, 837-860, 2 figs, Firenze
- BIONDI, E., KOENIGUER, J.-C. & PRIVE-GILL, C. (1985): Bois fossiles et végétations arborescentes des régions méditerranéennes durant la Tertiaire.- Giorn. Bot. It., 119, 3-4: 167-196, Firenze
- BOUDOURESQUE, CH.-F. & DENIZOT, M. (1975): Révision du genre *Peyssonnelia* (Rhodophyta) en Méditerranée.- Bull. Mus. Hist. Nat. Mars, 35, 7-92, Paris.
- BOUDOURESQUE, CH.-F. (1976) : UN nouveau genre de Peyssonneliaceae, *Metapeyssonnelia* (Rhodophyta).- Phycologia, 15 / 3-4, 283-288, 14 fig., Oxford.
- BOWMAN, L. & C. (1992): Petrified Forest.- 49 pp., many coloured plates, KC Publications, Inc.
- BOZZI, L. (1888): Sopra una specie pliocenica di pino trovato a Castelsardo in Sardegna.- Atti Soc. It. Sci. Nat., 30, 4, Milano
- BRODT, St., GOTTWALD, H. & GREGOR, H.-J. (1993): Verkieselte Hölzer aus dem Käno-phytikum der Sahara Libyens. - Documenta naturae, 80: 32-38, 2 Abb., Taf. 2-9; München.
- BRUIN, H. de & RÜMKE, C. G. (1974) : On a peculiar mamalian association from the Mio-cene of Oschiri (Sardinia).- Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch., Proc., B, 77, I : 44-59, 1 fig., 4 pls., II: 60-79, 7 figs., 4 pls., Amsterdam
- BUURMAN, P. (1972): Mineralisation of fossil wood.- Scripta Geol., 12: 1-43, 38 figs., Lei-den
- CARRUTHERS, W. (1870): On the petrified forest near Cairo. – Geol. Mag., 7: 306-310, Cambridge
- CHARRIER, G. (1967): Legno di Sterculiaceae dell'Eocene Medio continentale del Lanzanier (autoctono sedimentario dell'Argentera, Basses Alpes, Francia).- Boll. Soc. Geol. It. 86, 4, (1967): 733-747, 13 figs., Roma
- CHARRIER, G. & MAXIA, C. (1970): Nuovi reperti di foresta pietrificata a Zuri – Soddi – entro la formazione dei tufi eomiocenici (Lago del Tirso, Sardegna centrale).- Atti Soc. It. Sci. Nat., 110, 3: 224-250, 1 Tab., 1 Fig., Tav. XLVI – LIV, Milano
- CHIARUGI, A. (1928): Prime notizie sulle foreste pietrificate della Sirtica. – Nuova Giorn. bot. It., n. s. 35: 558-566.
- CHIARUGI, A. (1929): La presenza in Sardegna di elementi paleoxilologici sahariani.- Nuovo Giorn. Bot. It., n.s. 36: 254-258, Firenze
- CHIARUGI, A. (1931): *Palmoxylon thyrrenicum* Chiar. N. sp. e *Palmoxylon lacunosum* (Ung.) Felix nuovo elemento paleoxilologico sahariano della Sardegna.- Nuovo Giorn. Bot. It., n.s. 38: 475-478, Firenze
- COCOZZA, T. et al. (1974): Schema stratigraphico-strutturale del Massiccio Sardo-Corso e minerogenesi della Sardegna.- Mem. Soc. geol. It., 13: 85-186, Roma

- COMASCHI CARIA, I (1949): I fossili della Sardegna.- Ist. St. Sardi, Univ. Cagliari, 410 S., Cagliari
- COMASCHI CARIA, I (1957): Il Miocene in Sardegna (Nota preliminare ad una monografia).- Boll. Soc. Geol. It., LXXVI: 1-12, Bologna
- COMASCHI CARIA, I (1958): Prima segnalazione di *Pinuxylon* in Sardegna con cenni alla questione dei tufi a piante nell' isola.- Resoconti dell' Ass. Min. Sarda, Anno, 62, 1, Iglesias
- COMASCHI CARIA, I (1959): Le piante fossile della Sardegna.- Riv. It. Paleont. Stratigr., Mem. VI, 122 pp., 27 tabs., 2 figs., Milano
- COMASCHI CARIA, I (1981): Animali e piante fossile della Sardegna, 3.ed.,- 107 S., 51 Taf., della Torre, Cagliari
- DENIZOT, M. (1968): Les Algues Floridees encroûtantes (a l' exclusion des Corallinacees).- These, 310 S., 227 Abb., Paris.
- DERNBACH, U. (1996): Versteinerte Wälder.- 188 S., viele farb. Abb., d'Oro Verl.,
- DECHAMPS, R. (1982): Preliminary results of the study of fossil wood from Sahabi, Libya.- Garyounis Sci. Bull., 4: 15-18, Benghazi
- DEVILLE, J. (1991): Bois fossiles – Forêts petrifiées.- 69 pp., many figs., CEDIM, Paris
- DULLO, W. C., MOUSSAVIAN, E. & BRACHERT, T. (1990): The foralgal crust facies of the deeper fore reef in the Red Sea: a deep diving survey by submersible.- Geobios. 23/3, 261-282, 3 Fig., Taf. 1-4, Lyon.
- ENGELHARDT, H. (1898): Sardinische Tertiärpflanzen.- Sitzungsber. u. Abh. Naturwiss. Ges. Isis Dresden, 2: (Jg. 1897): 56-60, Dresden
- EXEL, R. (1986): Sardinien – Geologie, Mineralogie, Lagerstätten, Bergbau, in: Sammlung Geologischer Führer, 80:177 S., 70 Abb., Gebr. Bornträger, Stuttgart
- FALQUI, G. (1907): Su alcune piante fossili della Sardegna.- 20 S., 1 Taf., Cagliari-Sassari
- FRANCIS, J. E. (1983) : The dominant conifer of the Jurassic Purbeck Formation, England.- Palaeontology, 26, 277-294, Oxford.
- GANDOLFI, R. & PORCU, A. (1967): Contributo alla conoscenza delle microfacies miocene delle colline di Cagliari (Sardegna).- Riv. It. Paleont., 73, 1: 313-348, Milano
- GOTTWALD, H. (1966): Eozäne Hölzer aus der Braunkohle von Helmstedt. – Palaeontographica, Abt. B, 119 (1-3): 76-93, Stuttgart
- GOTTWALD, H. (1969): Zwei Kieselhölzer aus dem Oligozän von Tunis, *Bombacoxylon oweni* und *Pseudolachnostyloxylon weylandii*. – Palaeontographica, Abt. B, 125 (4-6): 112-118, Stuttgart
- GOTTWALD, H. (1992): Hölzer aus marinen Sanden des Oberen Eozän von Helmstedt (Niedersachsen). - Palaeontographica, B, 225,1-3: 27-103, 20 Taf., Stuttgart
- GOTTWALD, H. (1994): Tertiäre Kieselhölzer aus dem Chindwinn-Bassin im nordwestlichen Myanmar (Birma). - Documenta naturae, 86: 1-90, 28 Abb., 2 Tab., 9 Taf., München.

- GOTTWALD, H.P.J. (1997): Alttertiäre Kieselhölzer aus miozänen Schottern der ostbayerischen Molasse bei Ortenburg.- *Documenta naturae*, **109**: 1-83, 24 Abb., 4 Tab., 11 Taf., München
- GOTTWALD, H. (2000): Gymnosperme und dicotyle Hölzer (67) aus den "Aachener Sanden" der Oberen Kreide von NO-Belgien und NW-Deutschland – mit anatomischer Bestimmung der Arten, Kommentaren, Tafeln und 96 Mikrophotos (Pflanzen aus der Aachener Kreide – Teil 1).- *Documenta naturae*, **131**,1: 1-65, 14 Abb., 2 Tab., 10 Taf., München
- GREGOR, H.-J. (1980): Paläobotanisch-geologische Streifzüge durch die "Nubische Serie" (Kreide) SW-Ägyptens. - *Cour. Forsch.- Inst. Senckenberg*, **42**: 35-39, 1 Abb.; Frankfurt/M.
- GREGOR, H.-J. (1997): Mögliche Umlagerungsprobleme bei der miozänen Flora aus dem Randecker Maar - ein häufiges Phänomen bei tertiären Floren: *Documenta naturae*, **115**: 43-47, München
- GREGOR, H.-J., HOLLEIS, P. & VELITZELOS, E.: (2001): Zum Begriff „Fossiler Wald“-in Vorb.
- GREGOR, H.-J. & VELITZELOS, E. (1997): Tertiäre Xylofloren aus Libyen - ein Exkursionsbericht zur Problematik der dortigen Fundstellen: *Documenta naturae*, **115**: 15-41, 5 Abb., 4 Tab., 4 Taf., München
- GREGUSS, P. (1969): Tertiary Angiosperm Woods in Hungary.- 151 S., 93 Taf.; Budapest.
- HEYDRICH, F. (1905): *Polystrata*, eine Squamariacee aus den Tropen.- *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, **25**, 30-36, 2 Taf., Berlin.
- HIRMER, M. (1942): Die Forschungsergebnisse der Paläobotanik auf dem Gebiet der Käno-phytischen Floren. - *Bot.Jb.*, **72**, 3-4: 347-563, 44 Abb., Taf. 8-20, 6 Textbeil., München.
- HOFMANN, E. (1944): Pflanzenreste aus den Phosphoritvorkommen von Prambachkirchen in Oberdonau, I. Teil.- *Palaeontographica*, Abt. B, **88**: 1-86, 11 Taf., Stuttgart
- HOFMANN, E. (1952): Pflanzenreste aus dem Phosphoritvorkommen von Prambachkirchen in Oberösterreich, II. Teil. *Palaeontographica*, Abt. B., **92**: 122-183, 5 Taf., Stuttgart
- HOLLEIS, P. & GREGOR, H.-J. (1986): Ein Beitrag zum Problem der Herkunft von Kieselhölzern auf der Südlichen Frankenalb und der Neufund einer *Tepskeya ebenda*.- *Archaeopteryx*, 1986: 51-60, 2 Tab., 6 Abb., Eichstätt
- HOUSE, M. (1989) : *The Geology of the Dorset Coast*.- *Geologists' Association Guide*, 162 S., 41 Fig., 34 Taf., Oxford
- JUNG, W. (1974): Begrabener Wald im Tagebau Brückelholz. - *Bayer.Braunkohlen Bergbau*, **93**, 3 S., 6 Abb., Schwandorf
- KARTE I-36: Structural Model of the Hercynian Basement of Sardinia 1 : 500 000, von L. CARMIGNANI, T. COCOZZA, C. GHEZZO, P.C. PERTUSATI & C.A. RICCI, Roma 1987
- KARTE I-37: Carta Geologica della Sardegna 1 : 200 000, L. CARMIGNANI Coord., Foglio Nord e Sud, Firenze 1996
- KRÄUSEL, R. (1939): Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Ägyptens, IV. Die fossilen Floren Ägyptens. – *Bayer. Akad. der Wissenschaften*, N. F., **47**, 1-140, 23 Taf., 33 Fig., 1 Tab., München

- LA MARMORA, A. (1858): Voyage en Sardaigne.- vol. 4, Paris
- LANDMESSER, M. (1994) Zur Entstehung von Kieselhölzern.- in: Versteinertes Holz, extra Lapis, 7: 49-80, Chr. Weise Verl., München
- LOUVET, M. P. (1968): Sur deux Méliacées fossiles nouvelles du Tiniert (Algérie). – Mem. de la Section des Sciences, 2, 6, Paléobotanique
- MÄDEL, E. (1960): Mahagonihölzer der Gattung *Carapoxylon* n. g. (Meliaceae) aus dem europäischen Tertiär. – Senck. leth., 41 (1/6): 393-421, Frankfurt a.M.
- MAXIA, C. & PECORINI, G. (1969): La zona di Castelsardo: la meno incompleta serie miocenica della Sardegna.- Giorn. Geol. (2), XXXV, IV:345-357, 2 figs., (Comm. Med. Neogene Stratigr., Proc, IV session 1967), Bologna
- MEMOIRES de la Section des Sciences (1968): Publications du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2, Paleobotanique.-146 S., 35 figs., 14 pls., Paris
- MOUSSAVIAN, E. (1988): Die Peyssoneliaceen (auct. : Squamariaceae, Rhodophyceae) der Kreide und des Paläogen der Ostalpen.- Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. Hist. Geol., 28: 89-124, 1 Fig., 1Tab., Taf. 1-5, München.
- MURONI, M. (1958): Resti di legni fossili rinvenuti a Nuraghe Fratta presso Chilirani (Sardegna Settentrionale).- Rendiconti del Seminario della Fac. di Scienze dell' Università di Cagliari, XXVII, Bologna
- PETRESCU, I. & VELITZELOS; E. (1981): *Quercoxylon intermedium* n. sp. in oligocenul din Tracia (Grecia de Nord-Est).- Contr. Bot. Univ. Babes-Bolyai: 9-16, 2 figs., 2 pls., Cluj-Napoca
- PETRESCU, I., VELITZELOS; E. & STAVROPODIS, I. D. (1980): The occurrence of the genus *Lithocarpoxyton* PETRESCU 1978 (Fagaceae) in the Tertiary of Greece.- Ann. Geol. Pays Hell., 30: 366-379, 6 figs., 7 pls., Athens
- PRATESI, F. & TASSI, F. (1973): Guida alla natura della Sardegna.- Mondadori Milano
- PRIVE-GILL, C. & PELLETIER, H. (1981): Sur quelques bois silicees du Tertiaire de Limagne, dans la région d'Aignepers (Puy de Dome), France.-Review Palaeobot. Palyn., 34: 369-405, Amsterdam
- SELMEIER, A. (1958): Die Kieselhölzer des bayerischen Miozäns. - Ber.naturwiss.Ver. Landshut, 23: 24-95, 11 Taf., 1 Textabb., Landshut.
- SELMEIER, A. (1983): *Carapoxylon ortoburgense* n.sp. (Meliaceae) aus den untermiozänen Schottern von Rauscheröd/Niederbayern. - Mitt.bayer.Staatssamml.Paläont.hist.Geol., 23: 95-117, 6 Abb., 4 Taf., München.
- SELMEIER, A. (1985): Aufsammlung von Kieselhölzern der Südlichen Frankenalb. - Archaeopteryx, (Jg. 1985): 14-24, 9 Abb., Eichstätt.
- SELMEIER, A. (1986): Fundgebiete versteinertes Hölzer.- GEOFA, Mineralientage München, S. 62,63, München
- SELMEIER, A. (1987): *Cedreloxylon* n. gen. (Meliaceae) aus sekundärer Lagerstätte von Seibersdorf am Inn (Bayern). – Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol., 27: 123-144, München
- STERZEL, J. T. (1900): Über zwei neue *Palmoxylon*-Arten aus dem Oligozän der Insel Sardinien.- 14. Ber. Naturwiss. Ges. Chemnitz, 1-13, 2 Taf., Chemnitz

- SÜSS, H. (1987): Zwei neue Kieselhölzer, *Cordioxylon barthelii* gen. nov., sp. nov., und *Eubenoxylon saharicum* gen. nov., sp. nov., aus der Südwestsahara, Ägypten. – Feddes Rep., **98** (9-10): 521-536, Berlin
- SÜSS, H. (1997): *Tetraclinoxylon velitzelosii* sp. Nova, ein neues fossiles Holz aus tertiären Schichten des Versteinerten Waldes von Lesbos, Griechenland.- Feddes Rep., **108**: 289-298, Berlin
- SÜSS, H. & VELITZELOS; E. (1994a): Ein neues fossiles Koniferenholz *Taxaceoxylon biseriatum* sp. nova aus tertiären Schichten der Insel Lesbos, Griechenland.- Feddes Rep. **105**: 257-269, Berlin
- SÜSS, H. & VELITZELOS; E. (1994b): Zwei neue tertiäre Hölzer der Gattung *Pinoxylon* KNOWLTON emend. READ aus dem Versteinerten Wald von Lesbos, Griechenland.- Feddes Rep., **105**: 403-432, Berlin
- SÜSS, H. & VELITZELOS; E. (1997): Fossile Hölzer der Familie Taxodiaceae aus tertiären Schichten des Versteinerten Waldes von Lesbos, Griechenland.- Feddes Rep., **108**: 1-30, 5 Abb., 7 Taf., Berlin
- SÜSS, H. & VELITZELOS; E. (1998): *Thujoxylon antissum* sp. nov., ein fossiles Wurzelholz aus tertiären Schichten des Versteinerten Waldes von Lesbos, Griechenland.- Feddes Rep., **109**: 341-350, 3 Abb., 1 Taf., Berlin
- SÜSS, H. & VELITZELOS; E. (1999): *Chimairoidoxylon lesboense* gen. Nov., sp. Nova, ein endemisches Holzfossil aus dem Tertiär von Lesbos, Griechenland.- Feddes Rep., **110**: 329-339, 3 Abb., 3 Taf., Berlin
- UNGER, F. (1859): Der versteinerte Wald bei Cairo und einige andere Lager verkieselten Holzes in Ägypten. – Sitz. Ber. K. Akad. Wiss. Wien; math.-nat. Cl., **33**: 209-233, 2 Taf., Wien
- VARDABASSO, S. (1976) : I lineamenti geologici della Sardegna.- Fossataro Cagliari, 68 S., Cagliari
- VELITZELOS; E. (1998): The Aegean Memories of the Earth.- 47 pp., Athens (Ministry of Aegean)
- VELITZELOS; E. (1999): La Foresta pitrificata dell'Isola di Lesbo (Grecia), in: PINNA, G. (ed.) Alle radici della Storia Naturale d'Europa – seicento milioni di anni attraverso i grandi giacimenti paleontologica.- p. 219-222, Jaca Book SpA, Milano
- WATARI, S. (1941): Studies on the fossil woods from the Tertiary of Japan I. – Jap. J. Bot., **11**: 385-416, Tokyo
- WEBER VAN BOSSE, A. (1913): Marin algae, Rhodophyceae of the „Sealark“ Expedition.- Trans Linn. Soc. London, Bot. (2), **8**, 105-142, Taf. 1-3, London
- WEBER van BOSSE, A. (1921): Liste de Algues du Siboga, II Rhodophyceae.- Siboga Expédition, **59 b**, 185-310, 57 Fig., Taf. 6-8, Leyden
- WOELKERING, J. A. (1988): The coralline red algae. An analysis of the genera and subfamilies of non-geniculate Corallinaceae.- 268 S., Oxford University Press, Oxford.

Tafeln

Wenn nicht anders angegeben, sind alle Fotos von Autor GREGOR im Gelände oder im Naturmuseum Augsburg aufgenommen worden. Schliffe wurden dankenswerterweise von Frau S. GRÄLER vom Institut f. Allgemeine Geologie in München angefertigt und von Herrn G. BERGMEIER vom Institut f. Paläontologie und hist. Geologie in München fotografiert. Die REM – Aufnahmen wurden von Autor THEWALT am REM der Univ. Ulm angefertigt.

Tafel 1**Fig. 1 - 3: Fundstelle Laerru**

Fig. 1: Kalkalgenstotzen an der Straße Laerru - zur Schnellstraße (E 808/15)

Fig. 2: Der Block von Fig. 1 original im Sediment lagernd (E 808/15-2)

Fig. 3: Block von Fig. 1, 2 von vorne, die Algenzuwachsringe zeigend (E 808/15-2)

Tafel 1



1



2



3

Tafel 2**Fig. 1 - 4: Fundstelle Laerru (E 820/25)**

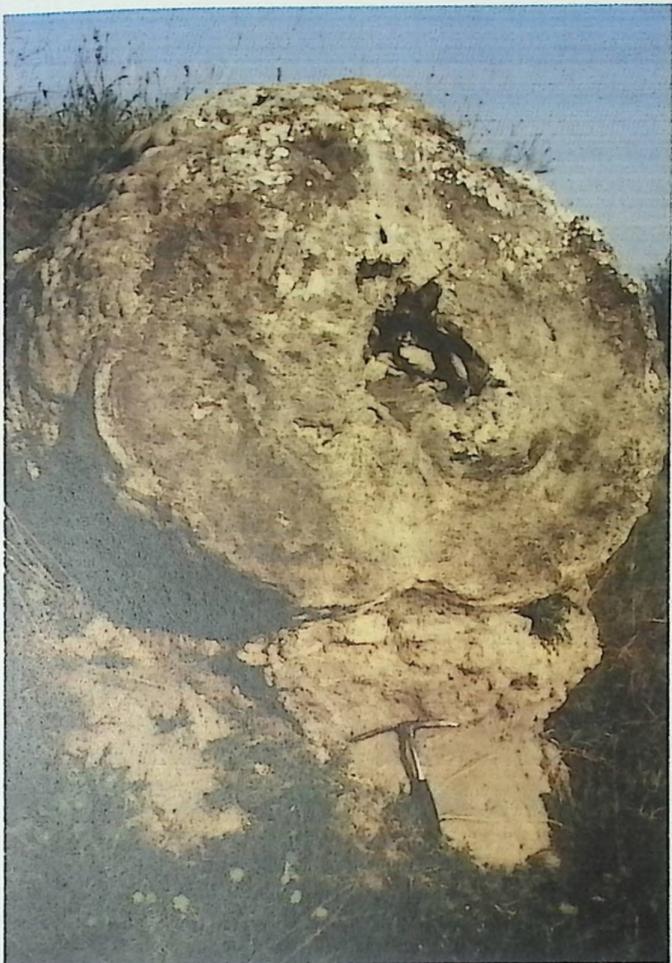
Fig. 1: Algenstotzen von Taf. 1 mit Tuffitprofil

Fig. 2: Tuffithorizont unter Block (Fig. 1)

Fig. 3: Der Autor beim Erklären der Diagenese

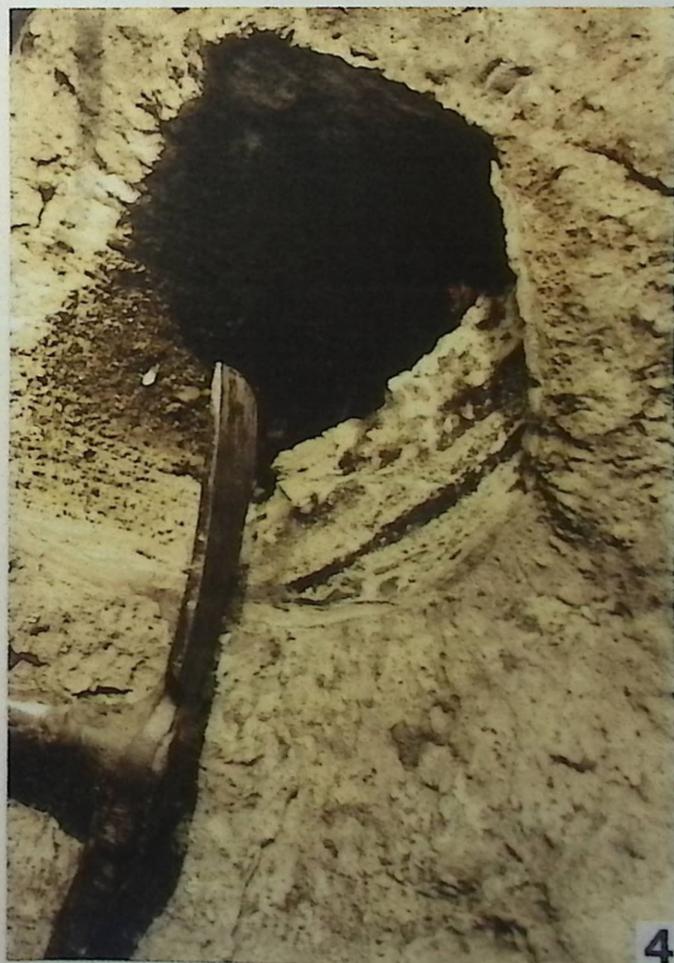
Fig. 4: „Baumloch“ mit teilweiser Ausfüllung (Geopetalgefüge)

1



3

2



4

Tafel 3**Fig. 1 - 3: Fundstelle Laerru**

Fig. 1: Acker bei Laerru, ums Eck beim Block (vgl. Taf. 1) mit Reihe von Algenblöcken, alle nicht mehr in situ (E 808/15)

Fig. 2: Algenstotzen in situ - nahe der Straße Laerru - Schnellstraße (E 808/15)

Fig. 3: Tuffitprofil mit Grasnarbe - nahe Algenstotzen von Taf. 1 (E 820/25)



1



2



3

Tafel. 4**Fig. 1 - 3: Alle Bilder aus Laerru**

Fig. 1: Algenstotzen in Laerru (E 820/25)

Fig. 2: Stotzen, abgebrochen, mit z.T. gefülltem Hohlraum (Geol. Wasserwaage) (E 820/25)

Fig. 3: Stotzen fast gefüllt mit Algen (E 808/15)



1



2



3

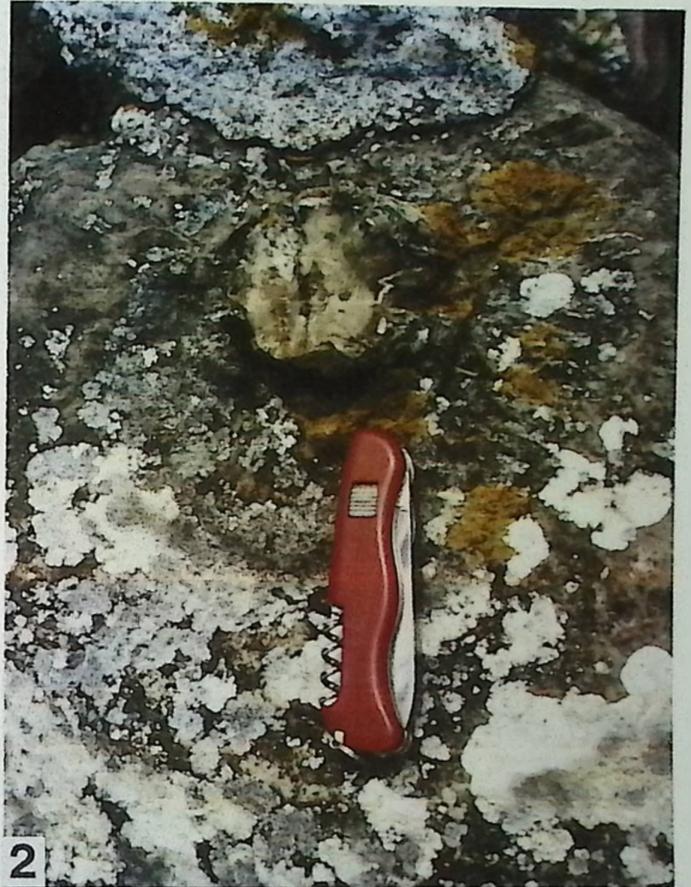
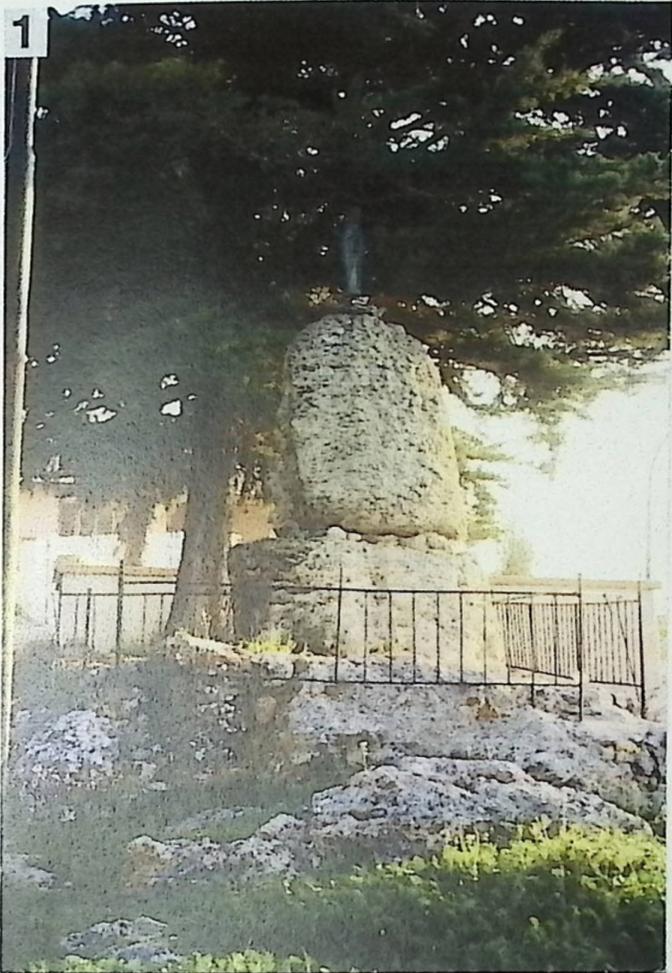
Tafel 5**Fig. 1 - 4: Alle Bilder aus Laerru**

Fig. 1: Mariensäule in Laerru auf Algenstotzen (E 820/25)

Fig. 2: Originalkieselholz in Algenmantel, Laerru, ca. 5 cm herausstehend (E 808/62f);
Inv. Nr. 99-183/1518 mit Schliffen

Fig. 3: Kieselholz im Querbruch (Fig. 2) (E 808/62f)

Fig. 4: Algenstotzen aufrecht stehend (E 808/15).



Tafel 6**Fig. 1-3: Fundstelle Laerru**

Fig. 1: Algenstotzen mit zentralem schwarzem Kieselsäurekern (E808/15-3)

Fig. 2: wie Fig. 1, Zwickel aus Kieselsäuregestein, umgeben von Algenlagen (E 808/15-3)

Fig. 3: Diverse Algenlagen im Querbruch (E 808/15-2)



1



2



3

Tafel 7**Fig. 1-4: Fundstelle Laerru - Geopetale Gefüge in den Algenstotzen (E 820/25)**

Fig. 1: Hohlraumfüllung im Algenstotzen in horizontaler Schichtung, Ausschnitt aus Fig. 2

Fig. 2: Algenstotzen im Querbruch mit zentralem Hohlraum und Teilfüllung

Fig. 3: Hohlraum in Stotzen mit kopfstehender Sedimentfüllung im Gelände (nicht in situ)

Fig. 4: Vergrößerung von Fig. 3 mit normaler Lage der Hohlraumfüllung



2



1



4



3

Tafel 7

Tafel 8**Fig. 1-4: Fundstelle Laerru (E 808/15-1)**

Fig. 1: Stotzen mit 2 Algenlagen und zentralem Kern

Fig. 2: Algenlagen und achatisierte Zwickelfüllungen

Fig. 3: Algenlagen im Querbruch mit Blumenkohlmuster

Fig. 4: Algenlagen im Querbruch mit Blumenkohlmuster um zentralen Kern



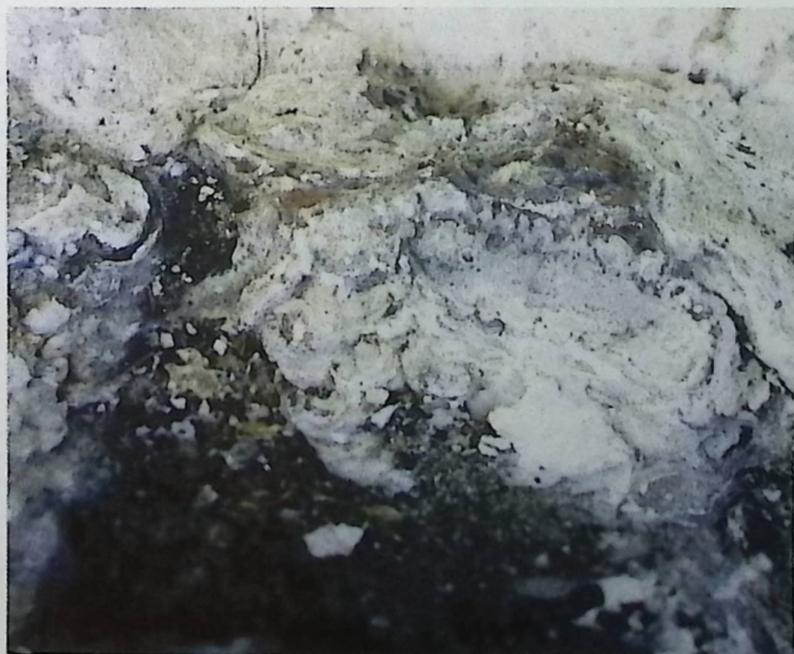
1



2

3

4



Tafel 9**Fig. 1-3: Fundstelle Laerru (E 808/15)**

Fig. 1: Algenrasen in Blumenkohlmuster als Außenfläche der Stotzen

Fig. 2: Grobe Algenknödel als Außenfläche

Fig. 3: Verwitterte Algenlagen als Außenkruste



1



2



3

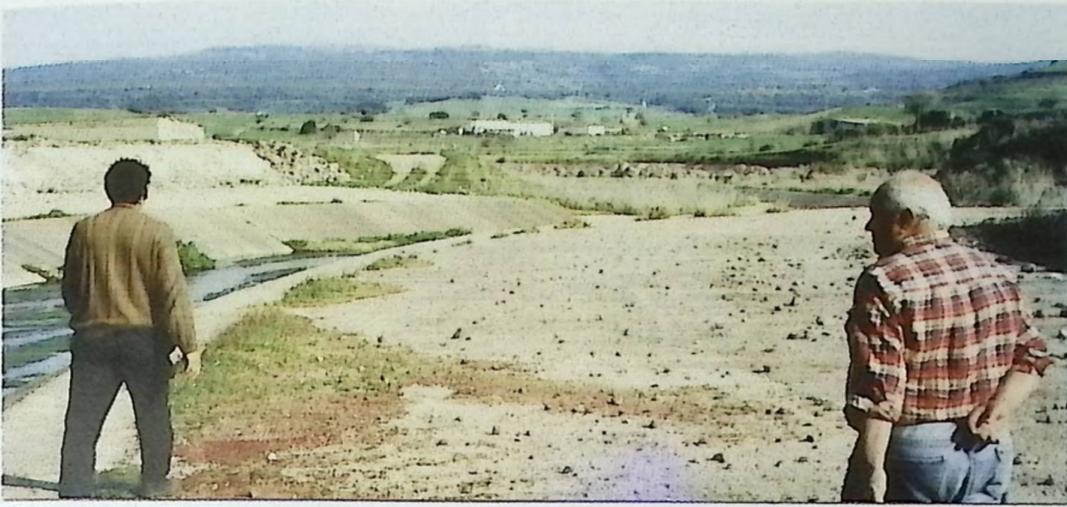
Tafel 10**Fig. 1-4: Fundstelle Laerru, kanalisierter Fluss Rio Altana**

Fig. 1: Fundstelle von weitem gesehen mit am Ufer aufgehäuften Stotzen (E 808/15)

Fig. 2: Fundstelle mit Giuseppe CALZAGHE und vielen Biohermen (E 808/15)

Fig. 3: Stotzenmassen an der Fundstelle (E 808/15)

Fig. 4: Giuseppe CALZAGHE mit großen Biohermen (E 808/15-1 ?)



1



2



3



4

Tafel 11**Fig. 1-3: Fundstelle Laerru (E 808/15)**

Fig. 1: Stotzen mit Zentralloch und 2 Algenlagen

Fig. 2: Stotzen mit Zentralloch

Fig. 3: liegender Algenstotzen von der Seite, apikales Ende rechts



1



2



3

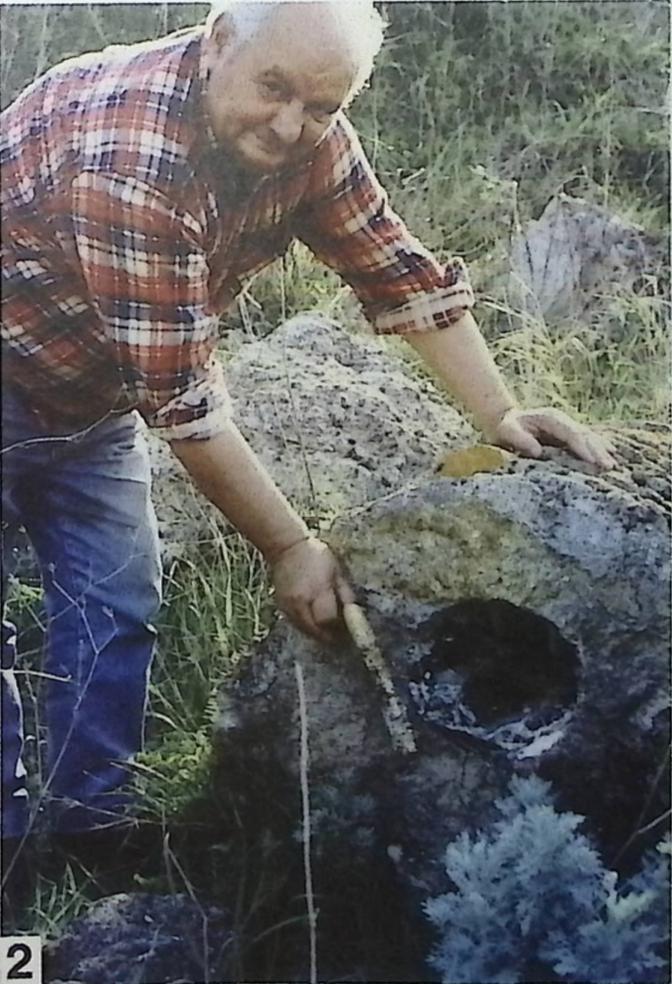
Tafel 12**Fig. 1-4: Fundstelle Laerru (E 808/15)**

Fig. 1: Zentraler Hohlraum fast zylindrisch

Fig. 2: Stotzen mit großem zentralem Hohlraum

Fig. 3: Z.T. mit Kieselsäure gefüllter Hohlraum

Fig. 4: Hohlraum mit ehemaliger Rindenstruktur, langriefig



Tafel 13**Fig. 1-3: Fundstelle Zuri (E 746/23)**

Fig. 1: Überblick über Lago Omodeo

Fig. 2: Flutebene mit Kleinprofil

Fig. 3: Schotterfläche mit Hölzern



1



2



3

Tafel 14**Fig. 1-4: Fundstelle Zuri**

Fig. 1: Großer Stamm in situ im Kies (E 746/23)

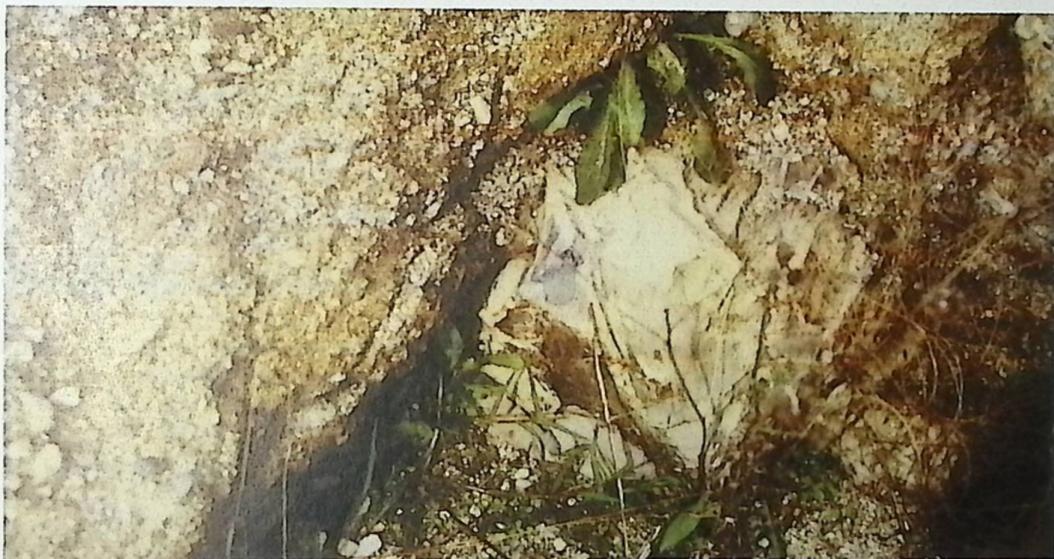
Fig. 2: Kieselholz im Kies (E 746/23)

Fig. 3: Großer Stamm am Hauptplatz in Zuri, aufgestellt (E 746/23)

Fig. 4: Zwei Holzstämme auf dem Weg von Zuri nach Soddi (E 820/70 A)



1



2



3



4

Tafel 15**Fig. 1-4: Fundstelle Soddi-Olecca (E 820/70A)**

Fig. 1: Blick auf den Lago Omodeo von Soddi aus

Fig. 2: Tuffitprofil Soddi von oben

Fig. 3: Tuffitprofil Soddi von unten

Fig. 4: weiße und grüne Pyroklastika und Tuffe



1



2



3



4

Tafel 16**Fig. 1-4: Fundstelle Soddi-Olecca (E 820/70A)**

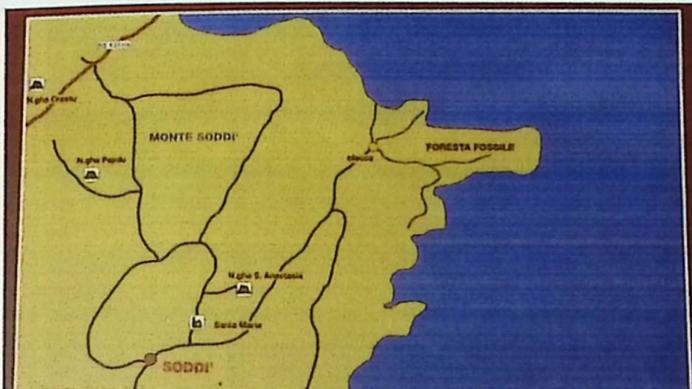
Fig. 1: Poster der Fundstelle Soddi mit Angabe Foresta fossile

Fig. 2: Astabdrücke auf den Sandsteinplatten

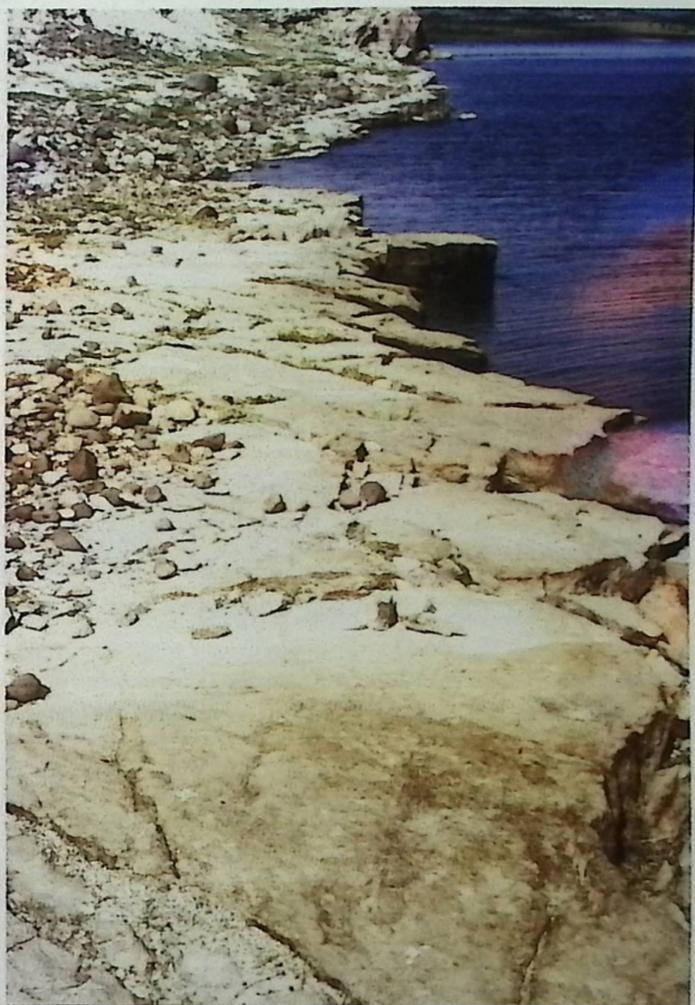
Fig. 3: Sandsteinplatte im Profil mit Astresten

Fig. 4: Verwitterte Sandsteinplatte mit Astresten im Abdruck

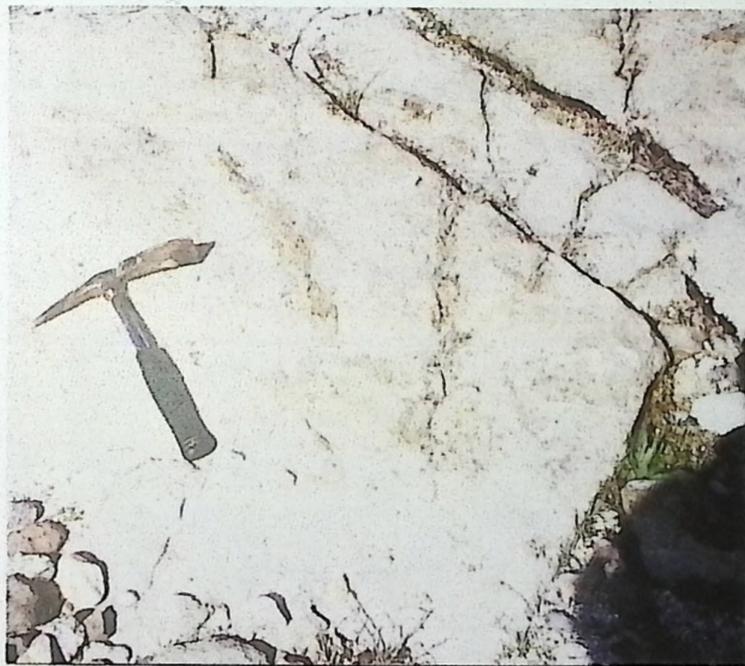
1



In seguito alla tragedia del Vajont venne abbassato il livello del lago e nel 1965 la foresta ritornò alla luce. I grandi tronchi furono purtroppo depredati e attualmente solo pochi esemplari, parzialmente ricoperti dalle ceneri vulcaniche, testimoniano la presenza di quella che doveva essere una splendida e suggestiva foresta di pietra. Numerosi tronchi sono attualmente ben visibili nel cortile della chiesa di Santa Maria.



3



2



4

Tafel 17**Fig. 1-3: Fundstelle Soddi-Olecca (E 820/70A)**

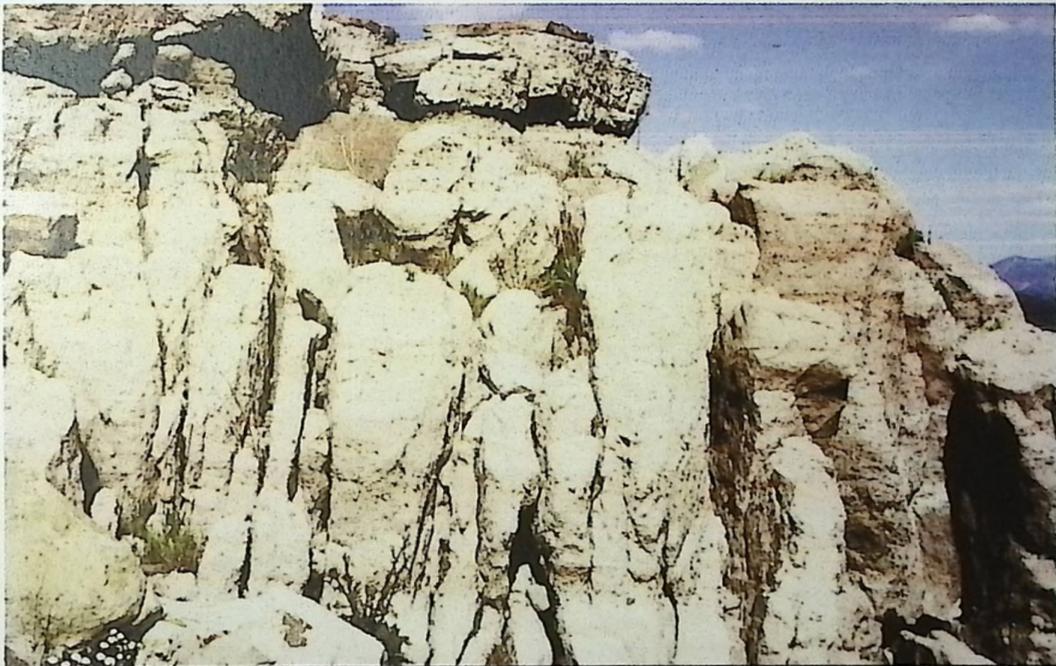
Fig. 1: Profil von Soddi am Lago Omodeo mit hangenden Sandsteinen und liegenden Konglomeraten

Fig. 2: Profil verwittert mit Schlotten

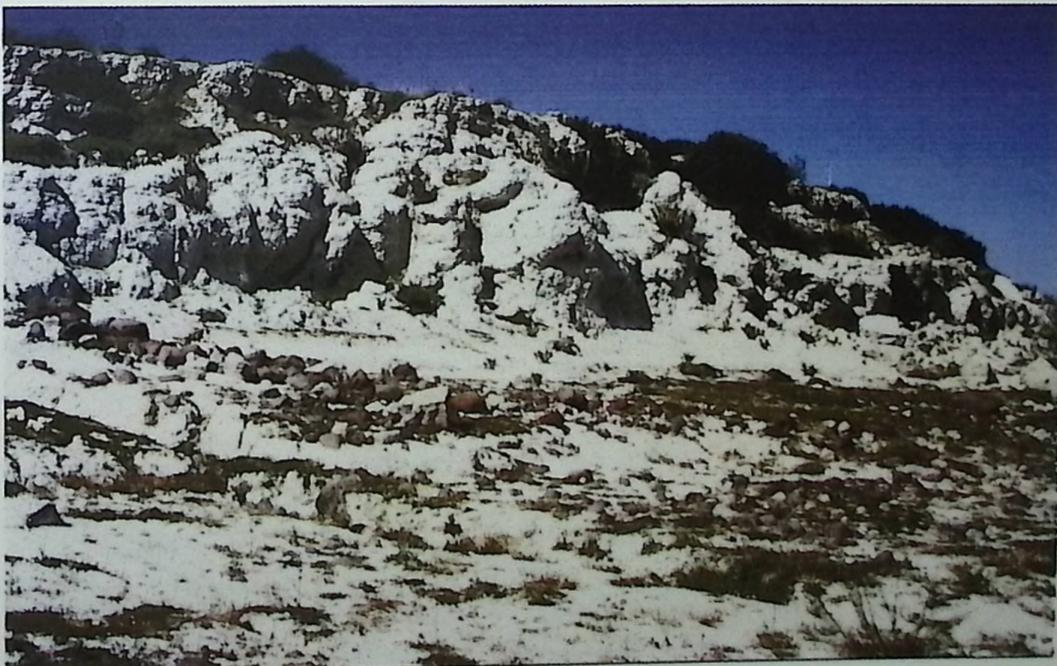
Fig. 3: Hangendes Tuffprofil



1



2



3

Tafel 18**Fig. 1-3: Fundstelle Soddi-Olecca (E 820/70 A)**

Fig. 1: Schräg im Sediment (Sandstein) steckender Astrest in Soddi

Fig. 2: Kieselholzstammrest in situ von Soddi

Fig. 3: Holzbruchstücke freiliegend von Soddi



1



2



3

Tafel 19**Fig. 1-3: Fundstelle Soddi – Friedhof (E 820/70A)**

Fig. 1: Künstlich aufgestellte Stämme entlang der Kirchenmauer vom Eingang her gesehen

Fig. 2: dito wie Fig. 1 von der anderen Seite

Fig. 3: Großer Stamm - freistehend



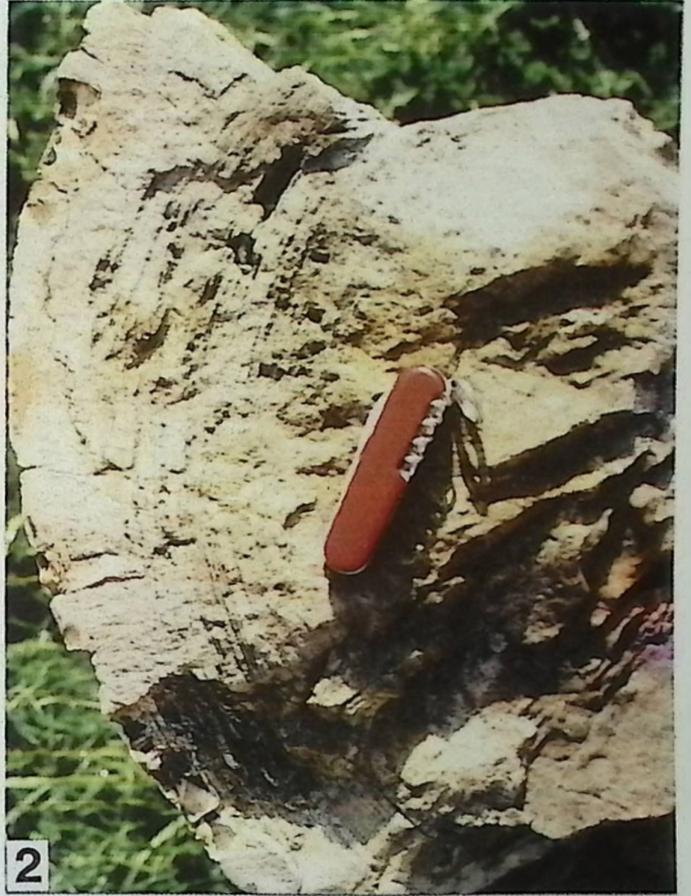
Tafel 20**Fig. 1-4: Alle Stämme von Soddi – Friedhof (E 820/70A)**

Fig. 1: Stammrest von Soddi - Friedhof mit verwitterter Außenfläche

Fig. 2: Querbruch mit deutlichen Zuwachsringsen

Fig. 3: Stammrest mit Ast und Astloch und glatter Außenhaut

Fig. 4: Deutliche Leitbündel-Strukturen auf der Außenfläche eines Stammes



Tafel 21

Fig. 1: Stammrest (Soddi - Friedhof) mit Quarzkristallen als Füllung im oberen Teil (E 820/70A)

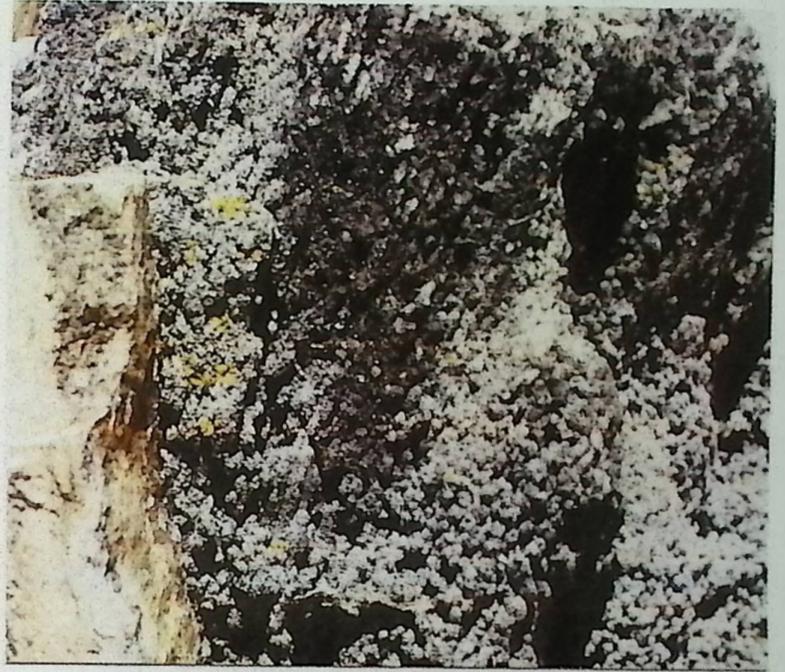
Fig. 2: Ausschnitt von 1 mit Umstrukturierung

Fig. 3: Holzstruktur mit Quarzkristallrasen auf Stamm im Museum Perfugas (E 820/26)

Fig. 4: Deutliche Leitbündel auf der Außenfläche des Stammes vom Friedhof Soddi (E 820/70A)



1



2



3



4

Tafel 22**Fig. 1-3: Fundstelle Perfugas (E 820/26)**

Fig. 1 : Zwei Stämme im Museumshof

Fig. 2: im Innern des Museums liegen Kieselhölzer und Palmreste (genauer Fundort unbekannt)

Fig. 3: große Algenstotzen „einbetoniert“



1



2



3

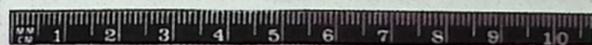
Tafel 23:**Verschiedene, vollständig verkieselte, Faziestypen im Anschliff (Stück E 820/15)**

Fig.1: Der Fazeistyp besteht im wesentlichen aus mehr oder weniger lagenweise angeordneten monospezifischen Rindenkörnern und untergeordneten multispezifischen Inkrustationsassoziationen. Das dominierende Element ist die Peyssonneliaceenart *Polystrata* sp.1. Das Gewebe ihrer schuppenartigen Thalli sind in diesem mittel- bis grobkörnigen Sediment am intensivsten zerstört; Inv. Nr. 99-605/1602

Fig. 2: Dieser überwiegend organogener Sedimenttypus steht in engem sedimentären und faziellen Zusammenhang mit dem obengenannten Typus, unterscheidet sich jedoch durch zunehmende knollige multispezifische Inkrustationen (links) und zurückgehende monospezifische Rindenkörner (unten rechts; siehe auch Taf. 24, Fig.1-2, Taf. 25, Fig. 1,3); Inv. Nr. 99-602/1602

Fig. 3: Grobkörniger pyroklastischer Faziestyp mit vulkanischen Einsprenglingen (siehe auch Taf. 24, Fig. 3); Inv. Nr. 99-604/1602

Fig. 4: Monospezifischer Rhodolith, aufgebaut durch die Corallinaceenart *Sporolithon* sp. Trotz der starken Silifizierung, ist im Anschliff das dichte Verzweigungsmuster Anhand der unterschiedlichen Färbung der Längselemente zu sehen. Die an Onkoide erinnernden konzentrischen Lagen stellen Zuwachszonen der Alge dar, welche aufgrund der unterschiedlichen Wachstumsintensität im Zuge der Silifizierung verschieden verkieselt wurden (siehe auch Taf. 24, Fig. 4, Taf. 25, Fig. 2, 3-5); Inv. Nr. 99-603/1602



Tafel 24

Mikrofazies und Silifizierung der Sedimente (Handstück E 820/15)

Fig. 1: Inkrustationsassoziationen in Übersicht:

Unterschiedlich große Rindenkörner und knollige Krustenabfolgen bestimmen die Fazies des abgebildeten Gesteins. Der weitaus dominierende Organismus in den meisten Rindenkörnern und Knollen ist *Polystrata* sp. 1 (helle Lagen, a-d). Während die linsen- bis erbsenartigen Rindenkörner ausschließlich aus konzentrischen Krusten der genannten Art zusammengesetzt sind (a-c), bestehen die knolligen Gebilde aus Skelettelementen einer Spongienart, die u.a. von der Rotalge überkrustet wurde (d-e).

Die Verkieselung zeigt sich in dieser Aufnahme (II Nikols) durch partielle grellweiße Färbung der Krusten (a). In der linken Bildhälfte ist ein verkieselter Hohlraum zu erkennen, dessen primäres Geopedalgefüge noch erhalten geblieben ist (f). x 5,5; Nr. Inv. Nr. 99-601/1602 – Schliff 1

Fig. 2: Detailbild aus einer Spongien-Rotalgen-Inkrustation:

Das Gerüst der Spongienart (links) ist umsäumt von einer Krustenabfolge, vorwiegend aufgebaut durch Peyssonneliaceen (hell), und mikrobielle Filme (dunkel). Der große Hohlraum (rechts) ist gekennzeichnet durch ein bizarres, auf Entwässerungsmechanismus zurückzuführendes Chalzedonmosaik, in dem noch Überreste organogener Strukturen erhaltengeblieben sind (?Zellfäden). x 10; Inv. Nr. 99-602/1602 – Schliff 1

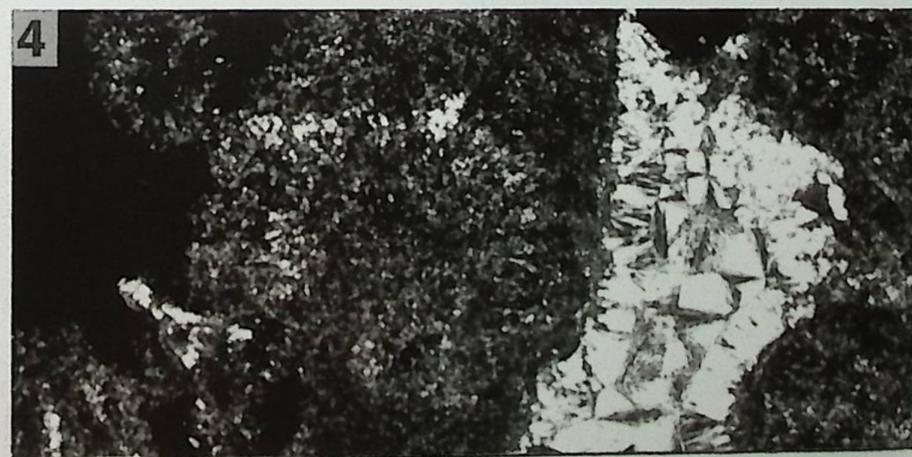
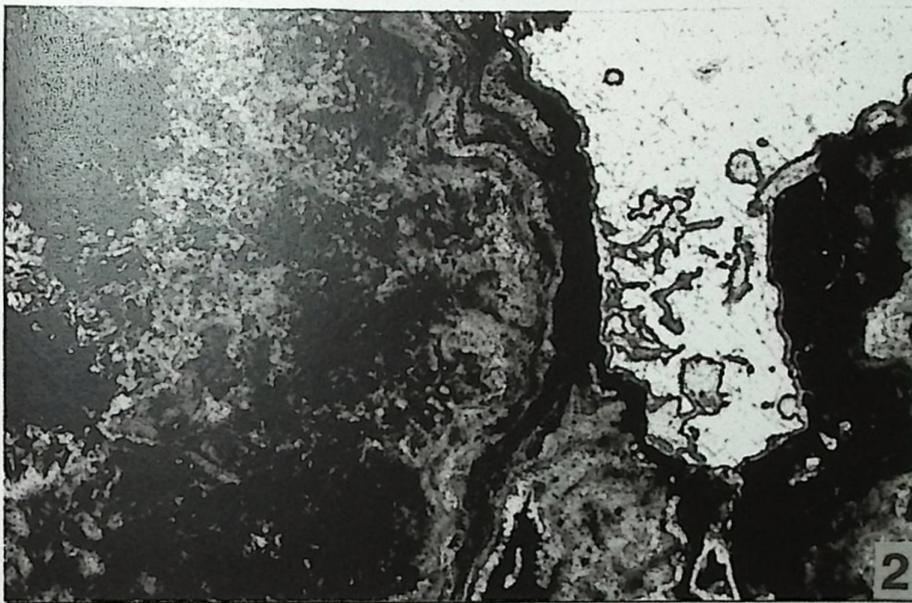
Fig. 3: Pyroklastischer Faziestyp im Durchlicht:

Die einst in einer mikritischen Matrix eingebetteten, später teilweise aufgelösten vulkanischen Komponenten (weiß) wurden bereits vor der Verkieselung von mikrobiellen Lagen umsäumt. x 26; Inv. Nr. 99-604/1602 – Schliff 3

Fig. 4: Bizarres Chalzedonmosaik als Folge des Entwässerungsvorganges der Kieselsäure unter polarisiertem Durchlicht:

Es handelt sich um einen Zwickelraum zwischen zwei dicht nebeneinander gewachsenen Ästen (dunkel) der Rhodolith-bildenden Corallinaceenart *Sporolithon* sp. (siehe Taf. 23, Fig. 4, Taf. 25, Fig. 2, 3-5). Der Verkieselungsprozess fand an den Rändern der Alge stellenweise metasomatisch statt, so dass die Formen der primären Karbonatzementkristalle noch bündelweise erhaltengeblieben sind. Im Hohlraum selbst aber kam es zur vollständigen Verdrängung der Blockzemente durch die Kieselsäure. x 60; Inv. Nr. 99-603/1602 – Schliff 2

Fig. 5: Restlos verkieselte Krusten der Peyssonneliaceen und der Hohlräume im polarisiertem Durchlicht. Schliff.: 1/1, x 27. Inv. Nr. 99-601/1602 – Schliff 1



Tafel 25

**Inkrustierende Rotalgen als wichtigste sedimentstabilisierende Organismen
(Handstück E 820/15)**

Fig. 1: *Polystrata* sp. 1, Der Baumeister der Rindenkörner („coated grains“). Querschnitt durch mehrere zusammengewachsene monospezifische Rindenkörner („Mehrfach-Rindenkörner“), zur Veranschaulichung der internen Struktur. Im Zentrum rechts fungiert ein Holzrest als Kernsubstrat, das von der Rotalge zwiebelschalenartig umhüllt wurde. Jede Kruste stellt ein vollständiges Thallusgewebe dar. x 4,5; Inv. Nr. 99-601/1602 – Schliff 1

Fig. 2: Detail aus einem anderen Rindenkorn, dessen Kernsubstrat, ein Holzrest (a), größtenteils aufgelöst worden ist, wobei die Formen der Saum- und Hohlraumzementkristalle teilweise erhalten blieben. In den transversalen und schrägen Schnittlagen ist die Anordnung der Zellfäden aufgrund des umkristallisierten kompakten Gewebes nur stellenweise in Konturen zu sehen: Vom basalen Teil der einzelnen Lagen gehen steil aufsteigende bis vertikale Zellfäden nach oben hervor. x 30; Inv. Nr. 99-602/1602 – Schliff 1

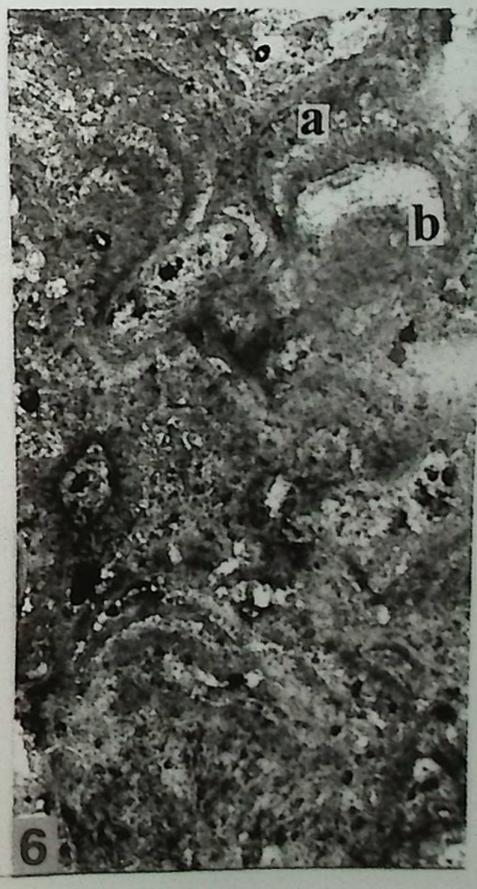
Fig. 3: *Polystrata* sp. 2, eine weitere dünnkrustige Rotalge, den Protobezirgen der Corallinaceae *Sporolithon* sp. aufgewachsen. Diese Art kommt wesentlich seltener vor und zeigt deutlich schwächere Thalli als die andere Art. Trotz der starken Unkristallisation, ist in manchen Gewebeteilen eine der rezenten Gattung *Polystrata* HEYDRICH ähnliche Struktur zu erkennen: Im unteren Teil der Kruste ist eine monostratose Zellschicht stark ausgeprägt (a), woraus radial ausstrahlende Zellfäden nach unten und nach oben hervorgehen. Die unteren Fäden bestehen nur aus wenigen Zellen, während die nach oben steil aufsteigenden und sich verzweigenden Fäden aus zahlreichen Zellen aufgebaut sind. x 15; Inv. Nr. 99-603/1602 – Schliff 1

Fig. 4-6: *Sporolithon* sp., eine Rhodolith-bildende Rotalge aus der Familie Corallinaceae. Der ästige Thallus besteht aus unterschiedlich langen Protuberanzen, welche in allen drei Bildern in schrägen bis zentrierten Längsschnitten vorliegen. Die feinmaschige Gewebestruktur dieser Art ist im Zuge der Verkieselung ebenso weitgehend zerstört.

Fig. 4: Der Bildausschnitt zeigt zwei Wachstumsperioden der Protuberanzen, die durch längliche Zwischensäume gegeneinander abgegrenzt sind. x 4,5; Inv. Nr. 99-603/1602 – Schliff 1

Fig. 5: Die metasomatisch silifizierten Hohlräume sind gefüllt mit benthonischer Mikrofauna: Z. Beispiel miliolide und rotaliide Foraminiferen(a) und Ostracoden (b). x 18; Inv. Nr. 99-603/1602 – Schliff 2

Fig. 6: Die im unteren Bereich noch miteinander verwachsenen, nach oben hin sich verzweigenden Protuberanzen weisen feinmaschige Zellschichten auf, welche coaxial angeordnet sind. Fertile Lagen mit beginnenden oder bereits aufgelösten sporangialen Fortpflanzungsorganen (a, b) treten in den oberen Protuberanzen auf. Diese sind an ovalförmigen, zonenweise in „Sori“ angeordneten Hohlräumen erkennbar. x 25; Inv. Nr. 99-603/1602 – Schliff 1



Tafel 26

Fig. 1,2: großporiges Laubholz *Bombacoxylon oweni* (Inv. Nr. 99-184/1492) vom Lago Omodeo

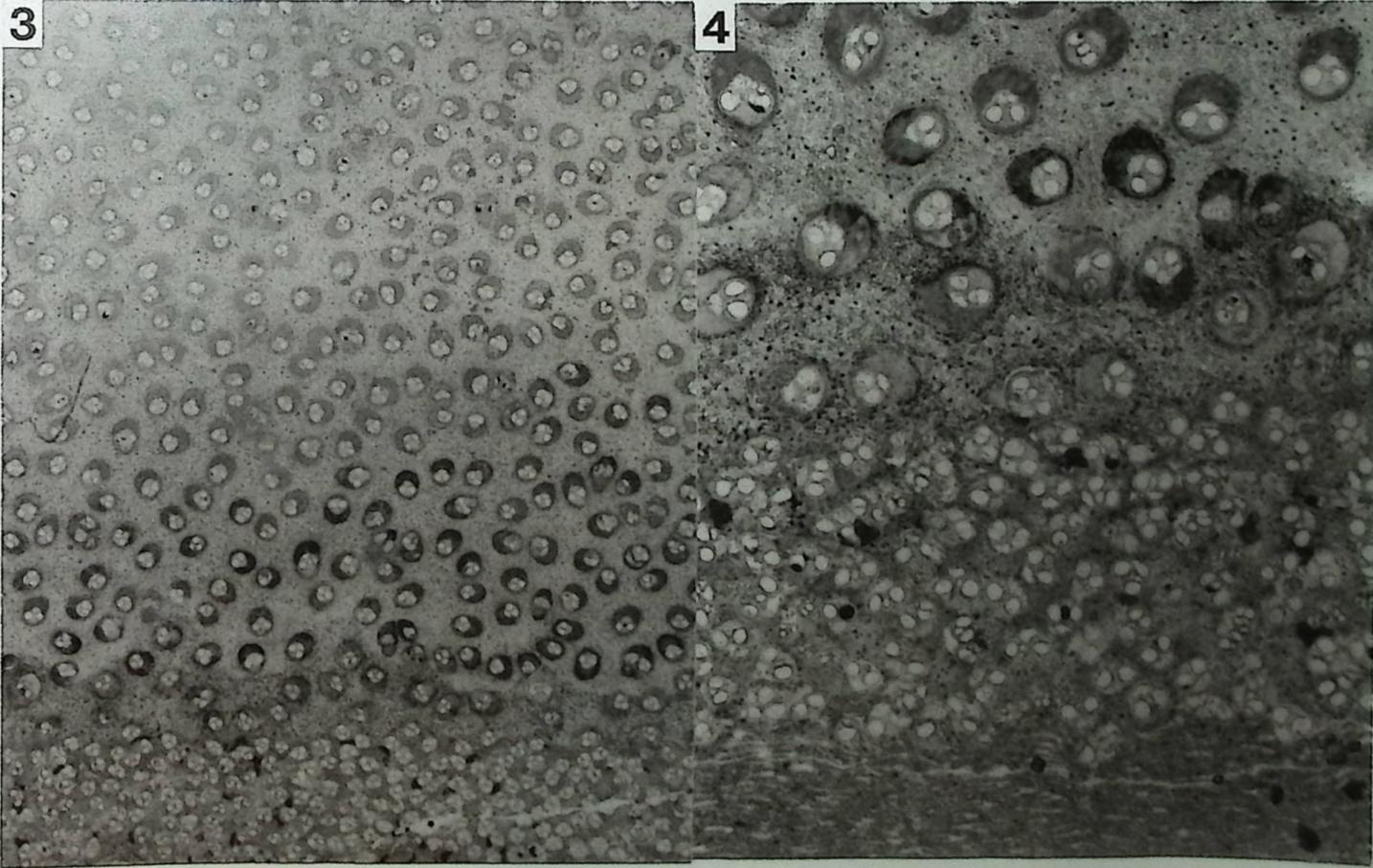
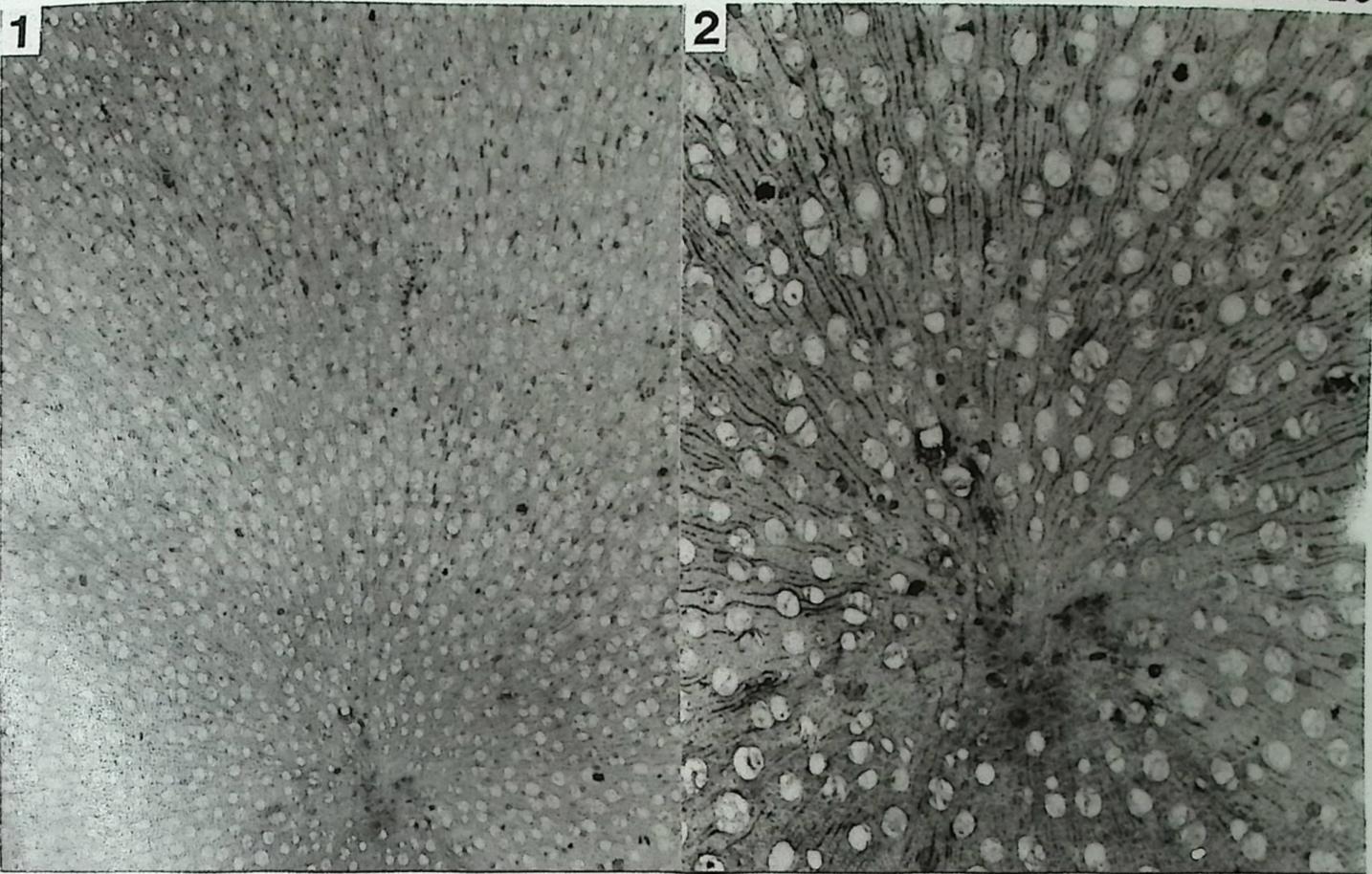
Fig. 1: Querschnitt x 8, mit deutlich radialstrahliger Struktur des Astes

Fig. 2: Querschnitt x 20 mit deutlich zweigeteilten Poren

Fig. 3,4: *Palmoxyton* sp. (Inv. Nr. 99-188/1462) von Olecca am Lago Omodeo

Fig. 3: Querschnitt x 8, mit kleinen und großen Leitbündelzellen

Fig. 4: Querschnitt x 20, mit äußeren Xylemzellen, mittleren kleinzelligen Leitbündeln und großvolumigen äußeren Leitbündeln in Grundparenchym



Tafel 27

Fig.1-4: *Palmoxylon lovisatoi* STERZEL,
genauer Fundort nicht bekannt, wohl Gegend Lago Omodeo
(aus Coll. HOLLEIS, No. Sard. 21, NMA Inv. Nr. 99-197/1462)

Fig. 1: seitliche Ansicht

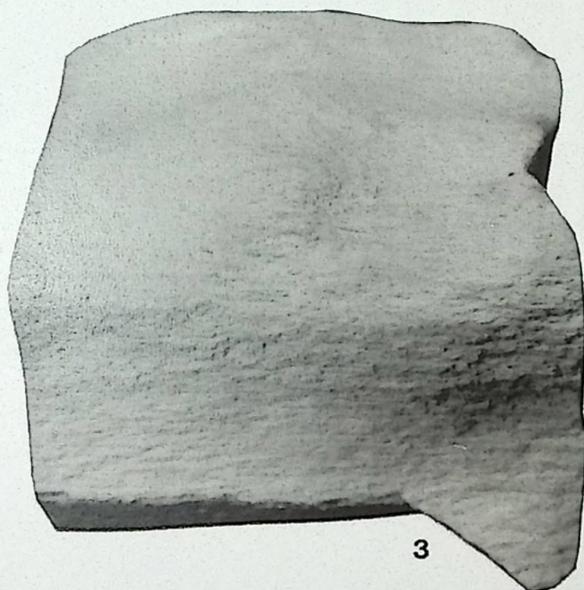
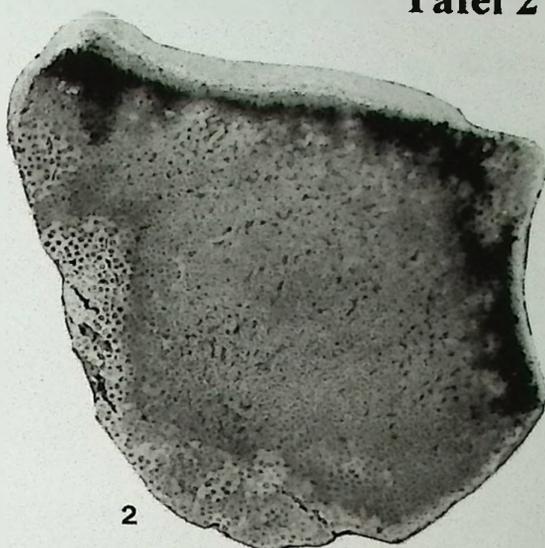
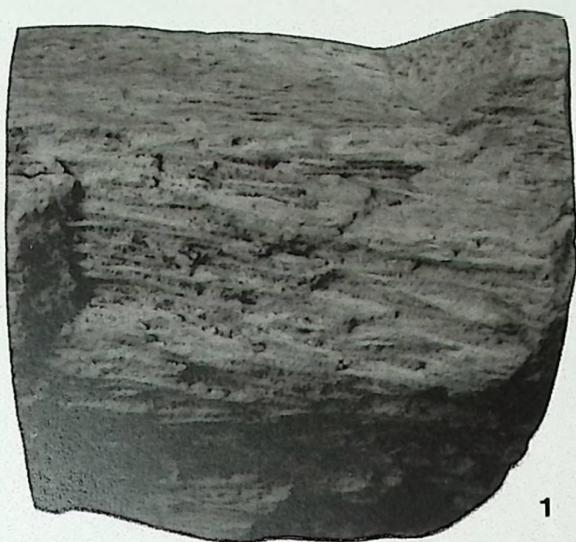
Fig. 2: von oben

Fig. 3: von der anderen Seite

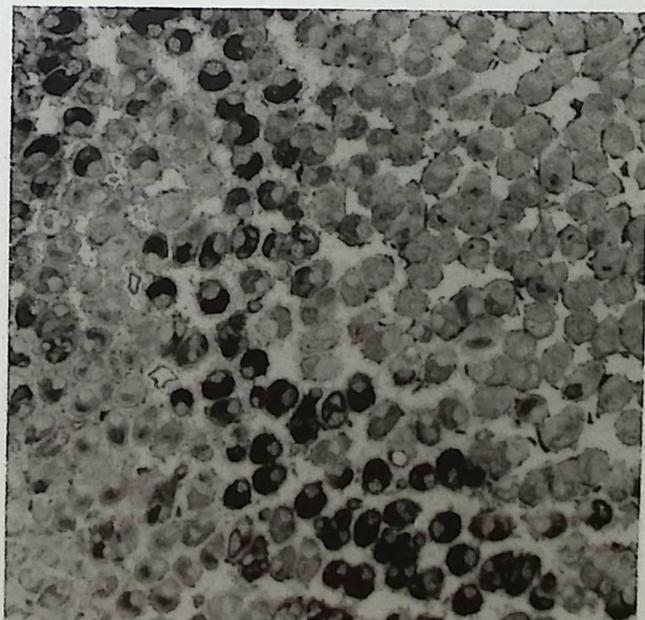
Fig. 4: Vergrößerung von 2, die dicht gepackten Leitbündel zeigend; x2

Fig. 5: Ansicht der Leitbündel (Dünnschliff von Fig. 4)

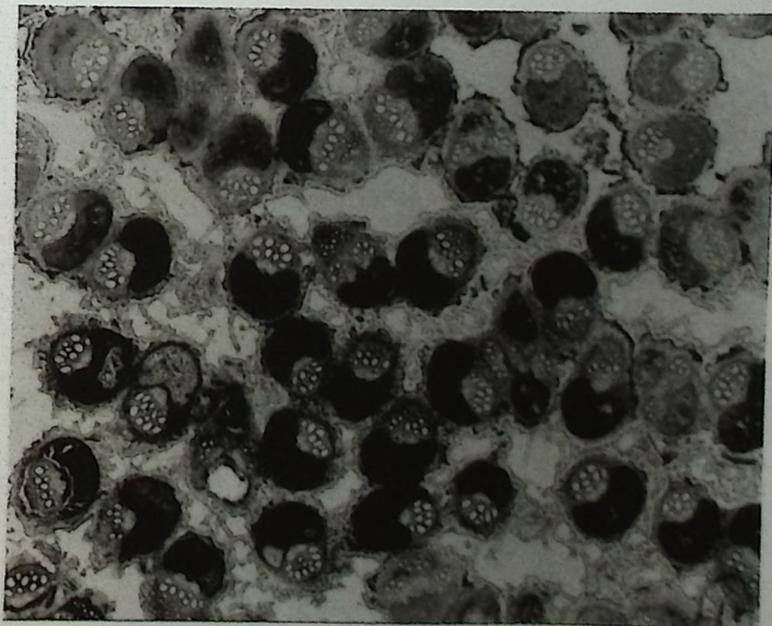
Fig. 6: Ansicht der Leitbündel (Vergrößerung von 5) mit Bastzellen, Sklerenchymbündel im Grundgewebe, kleinzelligem Grundparenchym (z.T. mit Auflösungserscheinungen)



5



6



Tafel 28**Fig. 1-4: Fundstelle Bulzi (E820/74)**

Fig. 1: :Mariensäule und Kieselholzstamm in Bulzi

Fig. 2 : Basis der Säule mit kleinen Algenstotzen

Fig. 3 : Kieselhölzer als Einfassung

Fig. 4 : Ausschnitt des Stammes von Fig. 1



1



2



3



4

Tafel 29

Fig. 1-3: Fundstelle Oschiri (E 746/51)

Fig. 1: Straßenaufschluss

Oschiri

Fig. 2: ca. 4 m mächtiges Profil von Mergeln, Tonen und Kalen im Profil

Fig. 3: dunkle Tonschicht mit kleinen Splittern von Kieselholz



Tafel 30**Fig. 1-3: Fundstelle Martis (E 820/73)**

Fig. 1: Zwei Algenzylinder im Gras

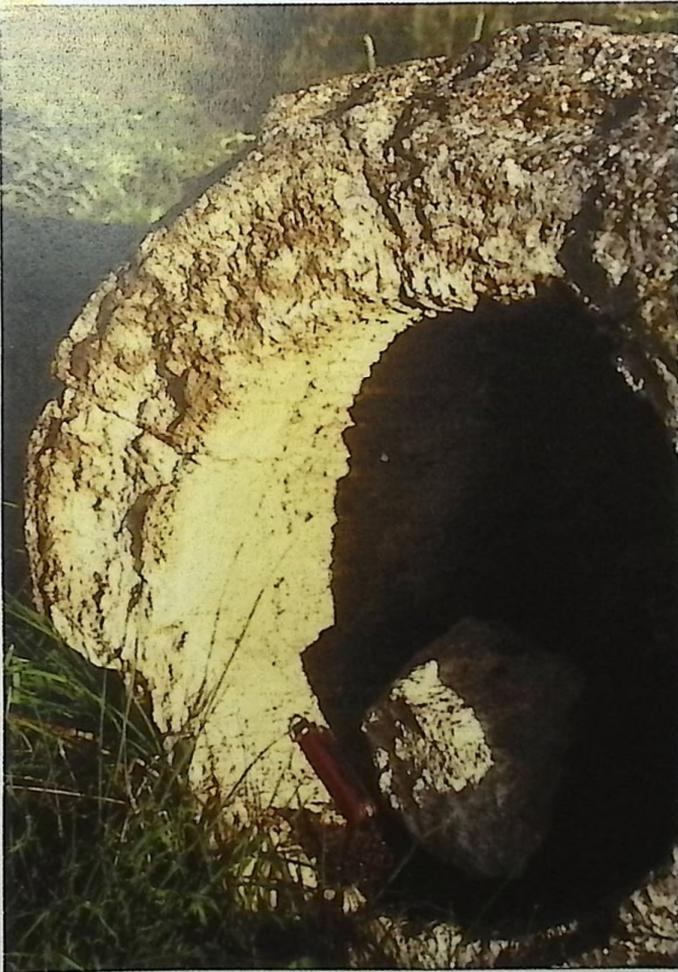
Fig. 2: linkes Exemplar von Taf.1 mit deutlicher Riefung der Innenhöhlung (Rinde oder mechanisch beanspruchte Spuren?)

Fig. 3: Zwei Exemplare von Algenstotzen auf einem größeren Haufen (vgl. Taf. 31, Fig. 3)



1

2



3



Tafel 31**Fig. 1-3: Fundstelle Martis (E 820/73)**

Fig. 1: Ummauerte Wiese mit Algenstotzen aufliegend

Fig. 2: Blick auf die Fläche von Fig.1 mit Sicht auf zentralen Haufen von Algenzylindern

Fig. 3: Zentraler Haufen von Algenstotzen, zusammengelegt



1



2

3

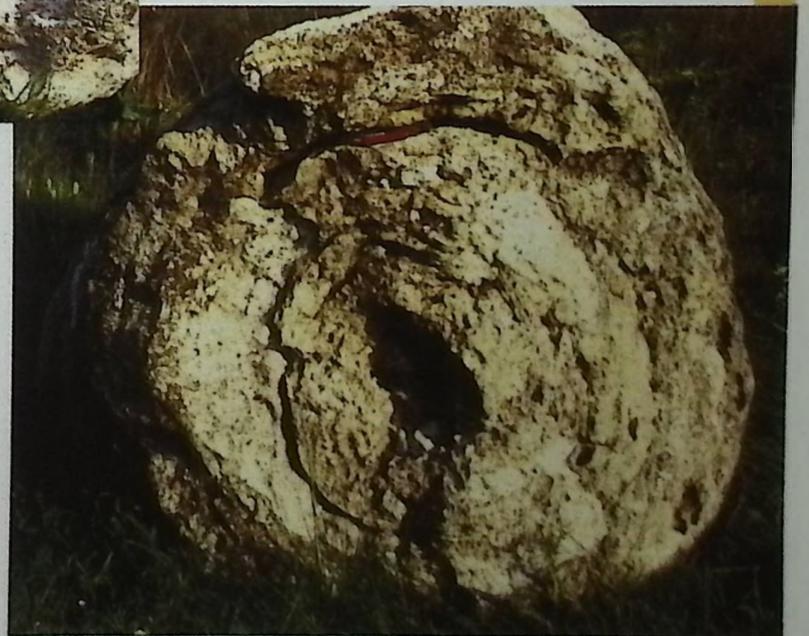
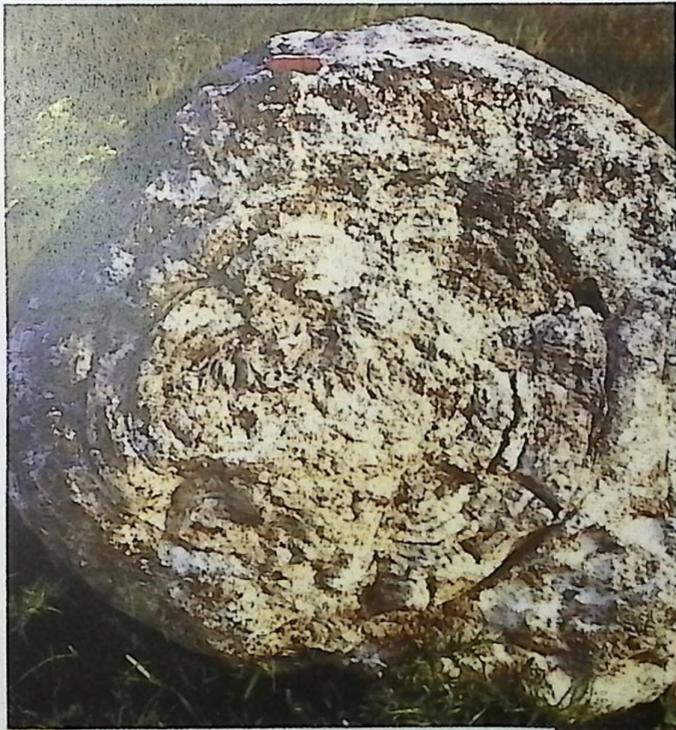


Tafel 32**Fig. 1-3: Fundstelle Martis (E 820/73)**

Fig. 1: Blick in die Umgebung der Fundstelle Martis, im Hintergrund Plateaubasalte, vorne Agrarland mit Tuffiten und neogenem Material

Fig. 2: Algenstotzen mit innen sekundär aus konzentrisch aufgebauten Algenlagen gefülltem Hohlraum

Fig. 3: Deutliche Fuge zwischen äußerem Algenmantel und innerer Ausfüllung der entfernten verkieselten Holzreste mit Algen, wieder konzentrisch



Tafel 33

Fig. 1-6: Koniferen - Holz von Oschiri; Inv. Nr. 99-182/1145;
(E 746/51; Fig. 1-3, Teilstück A; Fig. 4-7, Teilstück B) – Aufnahmen vom REM im Institut f.
Allg. Geologie in München, freundliche Bearbeitung durch Frau WERNER

Fig. 1: Struktur des Holzes insgesamt

Fig. 2: Vergrößerung von 1 mit Tüpfeln

Fig. 3: Vergrößerung von 2, Einzeltüpfel

Fig. 4: Übersicht

Fig. 5: Tüpfelreihe, Vergrößerung von 4

Fig. 6: andere Tüpfelreihe, Vergrößerung von 4

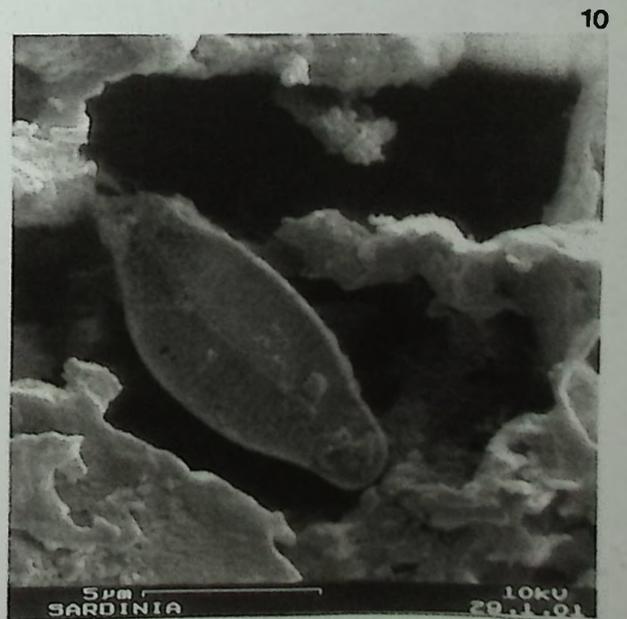
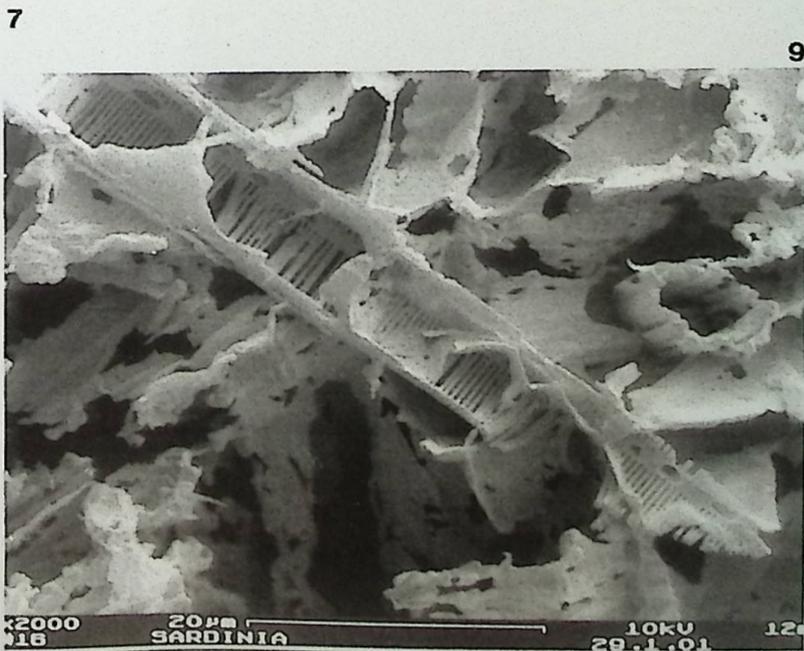
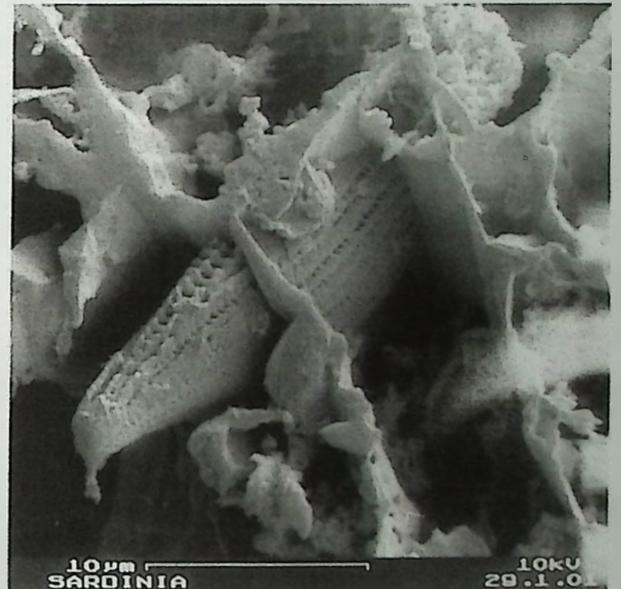
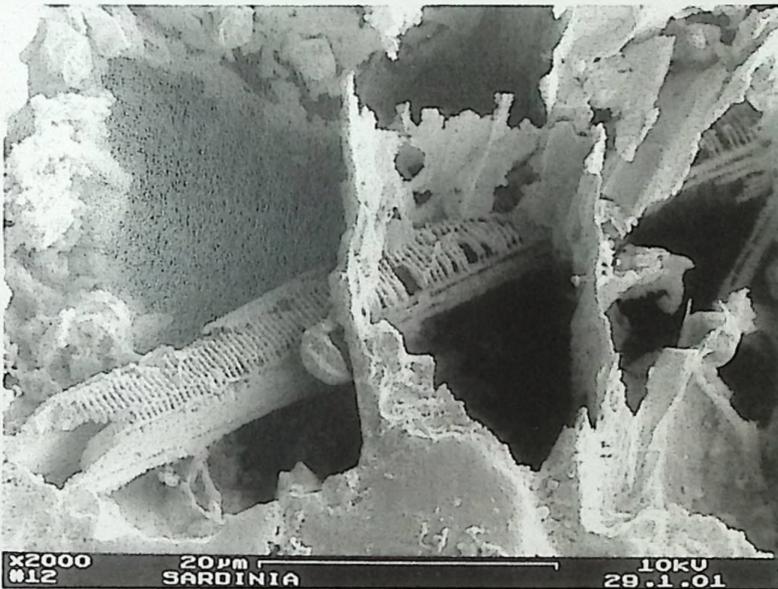
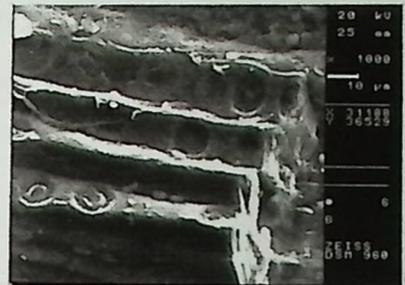
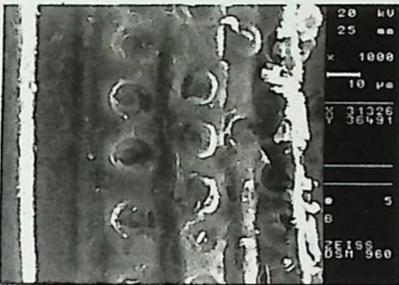
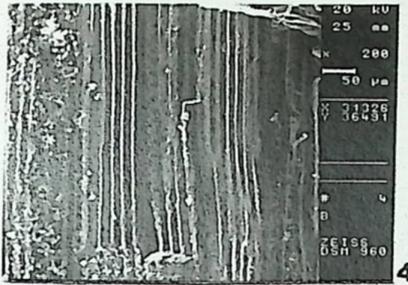
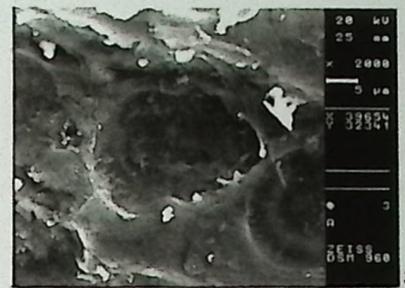
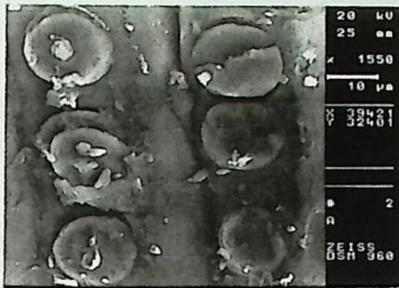
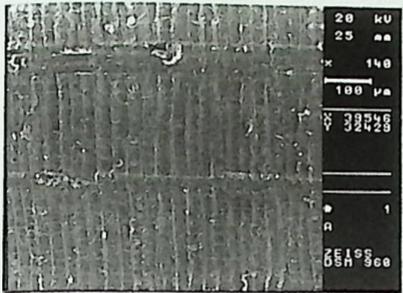
Fig. 7-10: Diatomeenreste aus der mit Essigsäure angeätzte Algenlage von Laerru
(E 820/15, Inv. Nr. 99-198/1602) – Aufnahmen von Autor THEWALT

Fig. 7: pinnate Diatomeen-Form I, vielleicht eine *Navicula*-verwandte

Fig. 8: pinnate Diatomeen-Form II, vielleicht eine *Nitzschia*-verwandte

Fig. 9: pinnate Diatomeen-Form III (?), wie bei 7 vielleicht *Navicula*

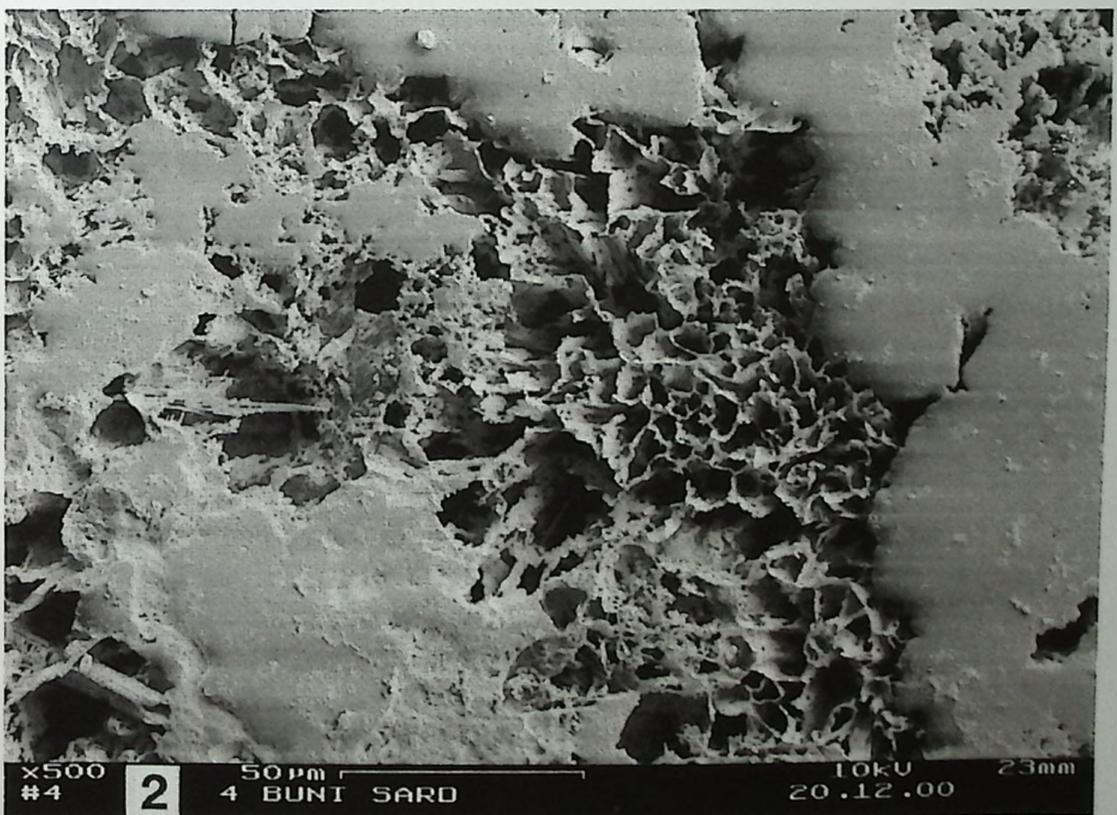
Fig. 10: Diatomee aus der Gruppe um *Cymbella* oder *Fragilaria*, Form IV



Tafel 34

Fig. 1: Handstück, gesägt und mit Salzsäure angeätzt; man sieht die konzentrischen Algenlagen, durch senkrechte Bälkchenstrukturen verbunden. Das Kieselsäureskelett ist übriggeblieben, während die fossilen Kalkalgen völlig weggelöst wurden. Schnitt annähernd durch das Zentrum der Kolonie.

Fig. 2: Ausschnitt aus Fig. 1 – man beachte die dünnwandigen Scheidewandreste um die Algen. Man blickt hier in radialer Richtung zum Zentrum der Kolonie hin.



Tafel 35

Fig. 1: Zeichnung der Ansicht auf die gesägte Scheibe von Laerru mit Erklärungen (Text vgl. Seiten 25 - 28)

Fig. 2: Farbige Ansicht der Seite der gesägten Scheibe von Laerru (Fig. 1) mit Algenknollen. Breite der Scheibe: 32 mm

Fig. 3: REM-Aufnahme mit BSE-Detektor eines farblosen SiO_2 - Einschlusses im Grenzgebiet grünes/hellbraunes Material (Bereich zwischen E und F in Abb. 1). In den randlichen Zonen des Einschlusses ist Phosphor angereichert. Die kalzitischen und verkieselten Bereiche erscheinen dunkel, Bereiche mit angereichertem Phosphor erscheinen hell.

Tafel 35

