

Zur Anwendung der Fluoreszenzmikroskopie bei der Untersuchung von Sedimenten, mit Beispielen aus dem saarpfälzischen Rotliegend (Unter-Perm; SW-Deutschland).

ANDREAS CLAUSING

Kurzfassung: Mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie lassen sich Detailuntersuchungen an Sedimenten mit überwiegend hohem Anteil an organischer Substanz ohne großen präparativen Aufwand vornehmen. Organische und anorganische Bestandteile können ebenso erfaßt werden wie die Ursachen für Schichtungsmerkmale. Palynomorpha lassen sich z. B. im Gesteinsverband in dreidimensionaler Erhaltung betrachten. Beispiele werden für die Anwendung auf Karbonate, Ton- und Siltsteine aus dem lakustrinen Rotliegend des Saar-Nahe-Beckens vorgeführt. Aus dem Erhaltungsgrad der organischen Komponenten können Rückschlüsse auf den Ablagerungsraum gezogen werden.

Abstract: Detailed research on sedimentary rocks of mainly organic origin or with high content of organic matter is possible without further preparation by use of fluorescence microscopy. Generally, organic and inorganic constituents and the genesis of the stratification can be studied. Palynomorphs e. g. are available in threedimensional preservation in the sediments. Examples for the application of primary fluorescence technics on carbonates, clay- and siltstones are given from the lacustrine Rotliegend of the Saar-Nahe Basin. Technics of secondary fluorescence of samples which can not be excited naturally is introduced. Conclusions on the environment are possible through preservation of the organic matter.

Inhalt:

1. Einführung	131
1.1. Grundlagen der Fluoreszenz	132
1.2. Technische Ausstattung	133
2. Probenmaterial.	133
2.1. Auflichtuntersuchung	133
2.2. Dünnschliffe	134
2.3. Probenuntersuchung ohne Aufbereitung.	134
3. Anwendungen	135
3.1. Mikro- und Palynofazies	135
3.2. Dreidimensionale Objekte	135
3.3. Indirekte Fluoreszenz	136
3.4. Messungen.	138
3.5. Beispiele für Gesteinstypen	138
4. Schlußbemerkungen.	140
Schriften	141

1. Einführung

Seit den ersten Untersuchungen durch SCHOCHHARDT (1936), stellt die Fluoreszenzmikroskopie das bekannteste Untersuchungsmittel der Kohlepetrographie dar. Die damit durch-

geführte Maceralanalyse ist bis heute die weitaus häufigste Anwendung für Fluoreszenz im Bereich der Geowissenschaften (CRELLING & DUTCHER 1980, STACH et al. 1982, BUSTIN et al. 1985). Die organische Geochemie ist daneben der einzige andere Bereich, der sich regelmäßig der Fluoreszenzanalyse bedient. Um den Reifegrad von Gesteinen zu bestimmen, werden Messungen der Vitritreflexion durchgeführt (OTTENJANN 1980, 1981; TEICHMÜLLER 1982). Andere Anwendungen liegen in der Untersuchung von Makropflanzenresten (FRIEDRICH & SCHAARSCHMIDT 1977; VAN GIJZEL 1977, 1979; KERP et al. 1990). Erst wenige Arbeiten deuten ein darüber hinaus mögliches Arbeitsfeld im Bereich der Karbonatpetrographie an (YUREWICZ & DRAVIS 1984, YANGUAS & DRAVIS 1985, DRAVIS & YUREWICZ 1985, KLOTZ 1988). Untersuchungen am jurassischen Posidonienschiefer sind durch TEICHMÜLLER & OTTENJANN (1977) und LITKE & RULLKÖTTER (1987) vorgenommen worden. Für die schwerpunktmäßige Bearbeitung der eozänen Ölschiefer aus der Grube Messel werden Fluoreszenz-Untersuchungen in verstärktem Maße für lithologische und paläobotanische Analysen verwendet (JANKOWSKI & LITKE 1986, TEICHMÜLLER 1988). Für paläobotanische Zwecke wurde die Fluoreszenzmikroskopie von GOTH (1986), SCHAARSCHMIDT (1986) und WILDE (1986, 1989) mit Erfolg eingesetzt.

Vergleichbare Resultate zur Fluoreszenzmikroskopie bringt nur die Kathodolumineszenz. Sie wird bisher überwiegend bei Karbonatuntersuchungen eingesetzt (RICHTER & ZINKER-NAGEL 1981), so z. B. für die Zementstratigraphie (MILLER 1988, NEUSER 1988). Der technische Aufwand ist jedoch wesentlich größer als bei der Fluoreszenz, u. a. auch weil entsprechend ausgestattete Mikroskope kaum im Handel sind. Zudem ist das benötigte Gerät wegen der hohen Arbeitsströme nicht ungefährlich, und die verwendeten Schiffe sind nach der Bearbeitung in der Regel unbrauchbar (KLOTZ 1988, WALKER 1985).

Bei Forschungen im unterpermischen Saar-Nahe-Becken erwies sich die Fluoreszenzmikroskopie als wertvolle Bereicherung bei sedimentologischen, palynologischen und mineralogischen Untersuchungen und konkurrenzlos einfach zu handhaben. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, neue mögliche Anwendungen der Fluoreszenzmikroskopie für die Untersuchung von Sedimentgesteinen vorzustellen, wodurch Informationen über vorwiegend organische, aber auch anorganische Bestandteile gewonnen werden, die mit Hilfe anderer Methoden nicht erhältlich sind. Dies soll mittels kurzgefaßter Beispiele geschehen, die in den vergangenen zwei Jahren im Rahmen des Forschungsprojektes „Rotliegend-Paläoökologie“ erarbeitet worden sind.

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes „Rotliegend-Palökologie“ am Institut für Geowissenschaften der Universität Mainz. Wertvolle Anregungen und Hinweise zur Fluoreszenzmikroskopie verdanke ich Dr. K. GOTH, Priv.-Doz. Dr. F. SCHAARSCHMIDT (Frankfurt/M.) und Dr. V. WILDE (Göttingen). Für die Anfertigung von An- und Dünnschliffen danke ich D. MECKERT und M. NOSE; bei Arbeiten mit dem Polarisationsmikroskop unterstützte mich Dr. D. SCHMIDT (alle Mainz). Das Manuskript wurde von Prof. J. A. BOY (Mainz) kritisch gelesen, dem ich hiermit für seine Anregungen herzlich danken möchte.

1.1. Grundlagen der Fluoreszenz

Charakteristische Leuchterscheinungen von festen Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen nach Bestrahlung mit Licht, Röntgen- oder Korpuskularstrahlen werden als Fluoreszenz bezeichnet. Im Gegensatz zur ebenfalls bekannten Phosphoreszenz spricht man von Fluoreszenz bei Stoffen, die kein Nachleuchten zeigen. Das Fluoreszenzlicht erlischt also gleichzeitig oder sehr kurze Zeit ($< 10^{-6}$ sec) nach dem Abbruch der Bestrahlung (BECKER 1985).

Die Atome des bestrahlten Stoffes absorbieren Energiequanten der einfallenden Strahlung (= Primärstrahlung), befinden sich also im angeregten Zustand. Durch spontane Emission des charakteristischen Fluoreszenzlichtes geben sie diese Energie ab und gelangen so in den

Grundzustand zurück. Für gewöhnlich ist die emittierte Strahlung (= Sekundärstrahlung) langwelliger als die absorbierte. Man spricht von Resonanzfluoreszenz, wenn aus dem einfallenden Spektrum gerade die Wellenlänge absorbiert wird, die als Fluoreszenzlicht emittiert wird.

1.2. Technische Ausstattung

Das für die Untersuchungen verwendete Mikroskop ist ein LEITZ ORTHOPLAN mit PLOEMOPAK Fluoreszenz-Apparatur und VARIO-ORTHOMAT Kamerasystem (LEITZ 1974). Zwei Lampen sind angeschlossen, eine mit Halogenbirne, die andere eine Hg-Hochdrucklampe. Objektive mit den folgenden Vergrößerungen stehen zur Verfügung: 2,5 x, 10 x, 25 x, 50 x und 100 x.

Zur Fluoreszenz-Anregung sind die folgenden Filter eingebaut:

Filterblock	A	H 3	N 2.1
Anregungsbereich	UV	Violett & Blau	Grün
Anregungsfilter	340-380 nm	420-490 nm	515-560 nm
Sperrfilter	430 nm	520 nm	580 nm

Weitere technische Angaben sind bei BECKER (1985) zu finden.

2. Probenmaterial

Die Fähigkeit zur Fluoreszenz ist zunächst vom Inkohlungsgrad abhängig. Je höher die Inkohlung, desto stärker verschiebt sich das Fluoreszenzlicht der organischen Bestandteile in den roten Bereich (FRIEDRICH & SCHAARSCHMIDT 1977, TEICHMÜLLER 1982). Die Farben der pflanzlichen Komponenten wechseln dabei von Hellgelb über Orange bis Rotbraun zu Dunkelbraun (vgl. TRAVERSE 1988). Mit zunehmender Inkohlung ist ein Anstieg der Vitrinit-Reflexion festzustellen. Die anregbaren mineralischen Komponenten fluoreszieren unabhängig vom Inkohlungsgrad in unterschiedlichen Grün-, Gelb- und Rottönen. Für die vorgestellten Untersuchungen erwies sich der Anregungsbereich 420-490 nm wegen seiner Bandbreite als am vorteilhaftesten.

2.1. Auflichtuntersuchung

Die Masse der verwendeten Arbeitsmethoden nutzt Auflicht zur Fluoreszenzanregung. Der erhebliche Vorteil liegt darin, daß Daten sofort verfügbar sind, ohne daß aufwendige Vorarbeiten (Aufbereitung, Präparation) vorgenommen werden müssen (Abb. 1). Die variable Inkohlung der Gesteine des Saar-Nahe-Beckens erfordert eine höhere Anregung um Fluoreszenz zu bewirken, als es beispielsweise bei tertiären Proben erforderlich ist. Eine Spannung von 10V ist als Standardarbeitswert geeignet. Ein Nachlassen oder Zunehmen der Intensität der Fluoreszenzfarben mit der Zeit (Alteration) konnte nicht festgestellt werden.

Für die Betrachtung von Flächen senkrecht zur Schichtung, sind Anschliffe am wichtigsten. Arbeitsweisen der Kohlepetrologie, wie z. B. die Herstellung von Streupräparaten, lassen sich zusätzlich übertragen. Kleinste Probenmengen oder Objekte lassen sich so untersuchen, wenn man sie in Kunstharz einbettet oder auf einen Objektträger montiert. Als einfachste und zeitsparendste Methode erwies sich jedoch die Anfertigung von ca. 2 cm dicken Gesteinsscheiben. Diese werden ein- oder zweiseitig poliert und können dann direkt auf dem Mikroskopisch untersucht werden. Zum Bewegen werden die Scheiben in eine Schale gelegt oder auf einen Objektträger bzw. ein Dünnschliffglas montiert. Mit Objekten bis etwa 15 x 15 cm² Größe kann einwandfrei gearbeitet werden; größere Proben lassen sich nur schwer verschieben.

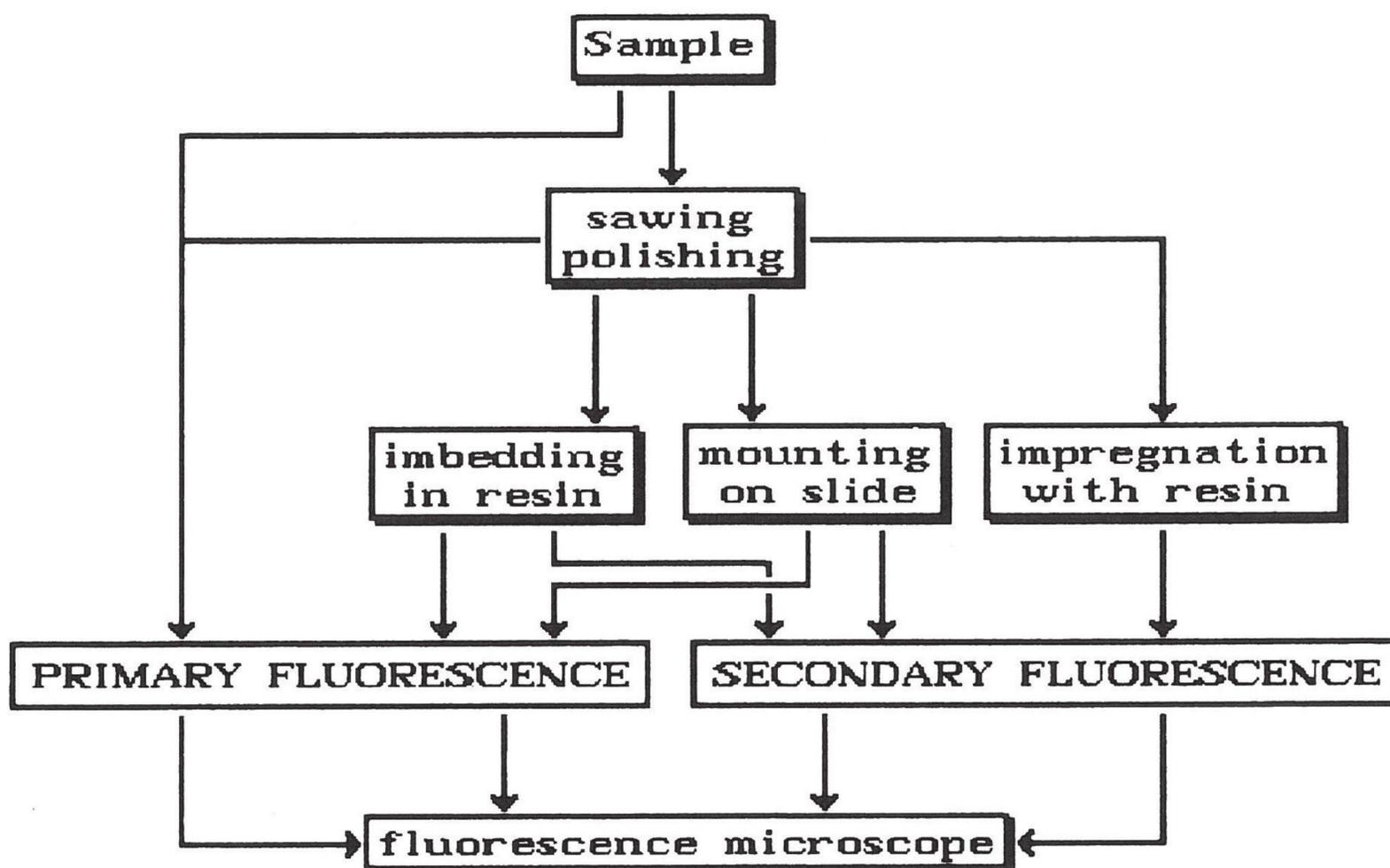


Abb. 1: Schema der Aufbereitung von Proben für die Fluoreszenzmikroskopie. Anwendungsbeispiele für Auflicht, teilweise auch für Durchlicht geeignet.

2.2. Dünnschliffe

Die Ausstattung des verwendeten Mikroskopes erlaubt keine Fluoreszenzanregung im Durchlicht. Eine Ausführung des Gerätes mit Durchlicht existiert jedoch auch. Im Unterschied zur herkömmlichen Mikroskopie sind Dünnschliffe für Fluoreszenzuntersuchungen nur selten zweckdienlich einzusetzen. Als störend erweisen sich dabei zwei Faktoren: der Objektträger und der Klebstoff. Objektträger aus Glas können unter Umständen so stark fluoreszieren, daß die Farben des angeregten Gesteins überdeckt werden. Die üblichen Klebstoffe bestehen in der Regel aus Kunstharzgemischen, die ebenfalls eine eigene Fluoreszenz aufweisen.

Wenn Dünnschliffe verwendet werden sollen, müssen sie entsprechend dicker als gewöhnlich belassen werden (etwa 1-5 mm in Abhängigkeit vom verwendeten Gestein). Außerdem dürfen die Schliffe aus den obengenannten Gründen nicht abgedeckt sein. Für die Polarisationsmikroskopie oder Mikrofaziesuntersuchungen sind diese Schliffe dann in der Regel nicht zu verwenden. Für spezielle Untersuchungen sind Dünnschliffe wegen der Möglichkeit einer „indirekten“ Fluoreszenz jedoch bedingt geeignet (Kap. 3.3.).

2.3. Probenuntersuchung ohne Aufbereitung

Fluoreszenz kann auch bei bergfrischen, unbearbeiteten Gesteinsproben erzeugt werden (Abb. 1). Die Arbeitshöhe zwischen Objektiven und Mikroskoptisch bestimmt die maximale Mächtigkeit der Proben. Sie liegt beim verwendeten Gerät bei etwa 2,5 cm. Diese Methode ist auch besonders zur Untersuchung seltener und/oder wertvoller Proben/Fossilien geeignet, da sie keine Beschädigung am Material hervorrufen. Die Frage, ob die Herstellung von Anschliffen oder die Präparation zweckmäßig ist, kann vorab überprüft werden. Die Grenzen der Möglichkeiten werden durch die Objektive vorgegeben, die ab einem gewissen Mikrorelief nur noch bereichsweise scharfe Bilder liefern (auch bei Immersion). Dafür ist der drei-

dimensionale Eindruck (z. B. von Sporen) bei unbearbeiteten Proben am stärksten. Diese Methode der Untersuchung ohne Aufbereitung wurde von GOTH, WILDE und SCHAARSCHMIDT (mdl. Mitt.) bei fossilen Ölschiefern aus dem eozänen Messelsee angewendet.

3. Anwendungen

3.1. Mikro- und Palynofazies

Die Analyse der Mikrofazies beruht bisher weitgehend auf mikroskopischen Untersuchungen im Durchlicht oder auf solchen unter Verwendung der Kathodolumineszenz. Manche organische Strukturen solcher Gesteine lassen sich ohne Fluoreszenzmikroskop nur umständlich nachweisen. Bei Anregung mit blauem Licht sind dagegen viele Bestandteile deutlich zu erkennen, so zum Beispiel die nicht figurierten Algen, welche die laminierten Karbonate oder die Lamosite aufbauen (Abb. 2A, B). Für Intraklast-Karbonate ist es z. B. von Interesse, den Aufbau der Komponenten zu erfahren, um Angaben über deren Herkunft machen zu können. Aufgrund der unterschiedlichen Fluoreszenzfarben der Komponenten fällt eine Zuordnung zu nicht umgelagerten Gesteinen leicht (Abb. 2B, C). Zementstratigraphie kann auch mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie betrieben werden, wenn die Kontraste zwischen den Zementgenerationen hoch genug sind. Die Farbunterschiede sind allerdings in der Regel weniger deutlich als bei der Kathodolumineszenz.

Mit Palynofazies im weiteren Sinne soll hier die Gesamtheit der organischen Bestandteile bezeichnet werden. Darin werden Bitumina und Kerogene ebenso wie auch mikroskopische tierische und pflanzliche Reste mit unterschiedlichem chemischem Aufbau eingeschlossen. Die Definition der Palynofazies (*sensu stricto*), wie sie meist verwendet wird, beschränkt sich auf die nach einer palynologischen Aufbereitung übrig gebliebenen organischen Reste.

Die Fluoreszenzmikroskopie erlaubt eine Bestimmung zahlreicher organischer Bestandteile, ohne daß die von der Palynologie bekannte HF-Aufbereitung durchgeführt werden muß. In erster Linie handelt es sich um Pollen und Sporen (gelborange Farbe), aber auch um Holz- und Blattreste höherer Pflanzen (gelb, rotbraun oder dunkelbraun). Auch in kohlig erhaltenen Pflanzen können noch Feinstrukturen überliefert worden sein (Abb. 3A, B; KERF et al. 1990), die für deren Taxonomie äußerst wichtig sind. Je nach Inkohlungsgrad sind ebenfalls Reste von Algen identifizierbar (grüngelb bis gelborange). Intensiv gelbgrüne bis hellgelbe Farben weisen die meisten aus Apatit bestehenden Fischreste (Zähne und Schuppen) auf. Die Fluoreszenzanregung erlaubt die Untersuchung feinsten Details der Fischreste (Abb. 3C, D). Holzkohle und Reste aus Chitin (z. B. Arthropodenfragmente) fluoreszieren nicht. Rezente Reste sind anhand der erheblich intensiveren Fluoreszenzfarben und deren Tönung (Rot und Grün) zu erkennen. Die Unterscheidung fraglicher Pflanzen- oder Tierreste kann durch Umschalten der Filter von Blauanregung (420-490 nm) auf UV-Licht (340-380 nm) erreicht werden. Sporinit leuchtet im UV-Licht in sehr schwachen Brauntönen, Apatit zeigt eine helle, bläuliche Farbe.

Da so bereits viele Komponenten des Gesteins angesprochen werden können, kann eine Vorauswahl für die HF-Aufbereitung getroffen werden. Auf dieser Grundlage kann entschieden werden, welche Proben sinnvollerweise überhaupt bearbeitet werden sollen. Außerdem lassen sich vorab Kenntnisse über den Erhaltungszustand der organischen Komponenten gewinnen. Erste Schlüsse auf das Ablagerungsmilieu sind so oft möglich.

3.2. Dreidimensionale Objekte

Ein Vorteil des Fluoreszenzlichtes ist der, daß die Anregung nicht auf die Oberfläche der Probe beschränkt bleibt, sondern einen Bruchteil von Millimetern in das Gesteinsinnere eindringt. Beim Betrachten unter dem Mikroskop erhält man daher im Auflicht ein Bild mit dreidimensionalem Charakter. So werden bei fossilen Sporen Details sichtbar, die sonst erst nach aufwendiger Aufbereitung in den Dauerpräparaten zu erkennen sind (Abb. 3E, F).

Intakte Zellverbände höherer Pflanzen sind je nach Inkohlungsgrad häufig räumlich erhalten und können mit Sediment verfüllt sein. So läßt sich vorab der Grad der Erhaltung feststellen, der für spätere ökologische Analysen ein wichtiges Kriterium darstellt. In der Fotografie geht der 3D-Effekt verloren, so daß eine entsprechende Dokumentation schwierig zu bewerkstelligen ist. Einen Ausweg bietet die Anfertigung von Stereobildpaaren wie sie von FRIEDRICH & SCHAARSCHMIDT (1977) beschrieben wurden. Eine EDV-Anlage mit der Möglichkeit Einzelbilder zu kombinieren, stellt eine weitere Speichermöglichkeit dar.

3.3. Indirekte Fluoreszenz

Manche interessanten Objekte, wie etwa Holzkohle oder kohlige Fragmente, bestehen aus Fusinit und fluoreszieren daher nicht. Die Zellumina der Pflanzen sind aber in der Regel mit Sediment verfüllt, welches oft zur Lichtaussendung angeregt werden kann. Auch Schichtungsgefüge äußerlich homogener Gesteine, die mit normalen mikroskopischen Untersuchungen schwer zu bestimmen sind, sind von Interesse. Diese können durch schichtparallel eingeregelter, organische Reste nachgezeichnet sein. Durch die umgebenden Minerale oder das Sediment werden ebenfalls häufig Strukturen verdeutlicht, ohne daß das Untersuchungsobjekt selbst Licht emittiert. Geeignete Gesteine sind beispielsweise karbonatische Sandsteine mit Intraklasten und hohem Gehalt an detritischem Material sowie Sandsteine mit Schrägschichtung oder Lamination oder auch mergelige Tonsteine.

Bei zahlreichen Gesteinen, wie zum Beispiel reinen Tonsteinen, ist der Gehalt an organischen Resten so gering, daß keine Lichtemission wahrnehmbar ist. Auch fluoreszenzfähige, detritische Minerale fehlen häufig in den Probenstücken. Außerdem sind z. B. viele Stromatolithen des Saar-Nahe-Beckens so stark umkristallisiert, daß keine Details mehr zu erkennen sind (vgl. CLAUSING 1990). Dennoch können auch solche Gesteine nach entsprechender Vorbereitung untersucht werden. Dazu nutzt man die natürlich vorhandene Porosität: Man bettet leicht zerfallende Proben in Kunstharz ein oder tränkt kompaktere Gesteine direkt mit Kunstharz. Bei Anregung des Gesteins fluoreszieren die eingedrungenen, erhärteten Flüssigkeiten und vorher unsichtbare Strukturen werden farblich betont. Montiert man die Gesteinsproben auf Glas und stellt einen Dünnschliff her, wird ebenfalls eine künstliche Fluoreszenz der Probe erreicht. Je nach Gesteinsart kann der Schliff dünner oder dicker belassen werden, um die Fluoreszenz des Trägerglases zu verwerten.

Durch Tränkung des zu untersuchenden Stoffes mit sogenannten Fluorochromen wird ebenfalls eine Sekundär-Fluoreszenz (künstliche Fluoreszenz) erreicht. Substanzen wie Acridinorange, Acriflavin, Auramin, Berberinsulfate, Calcein und Phosphin sind bekannte fluoreszierende Farbstoffe (BECKER 1985), die eventuell verwendet werden können.

Abb. 2: Typen von Sedimentgesteinen unter Auflicht-Fluoreszenz. Violett-blaue Anregung (420-490 nm); ▶ Maßstab 100 µm.

A) Ölschiefer, Typ Lamosit, aus dem untersten Rotliegend. Das Gestein besteht weitgehend aus Resten von Cyanobakterien (= Alginit B) und Sporen/Pollen (AL-S).

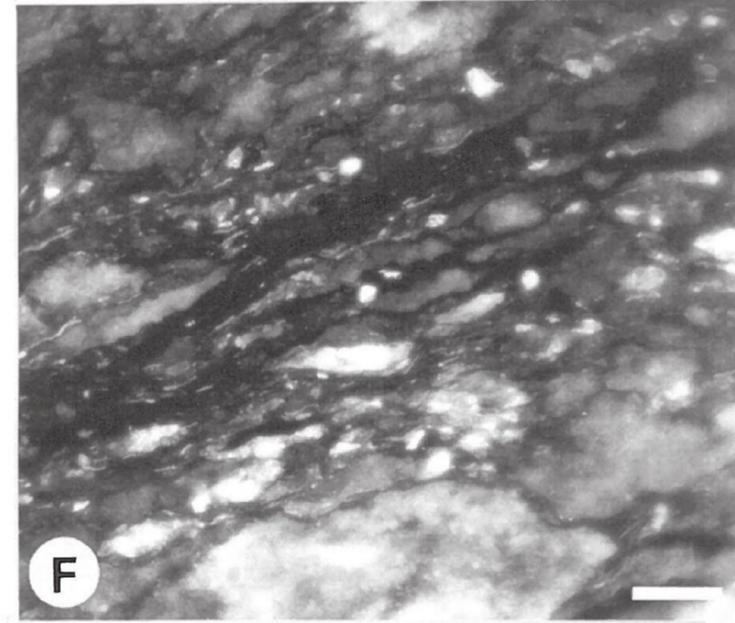
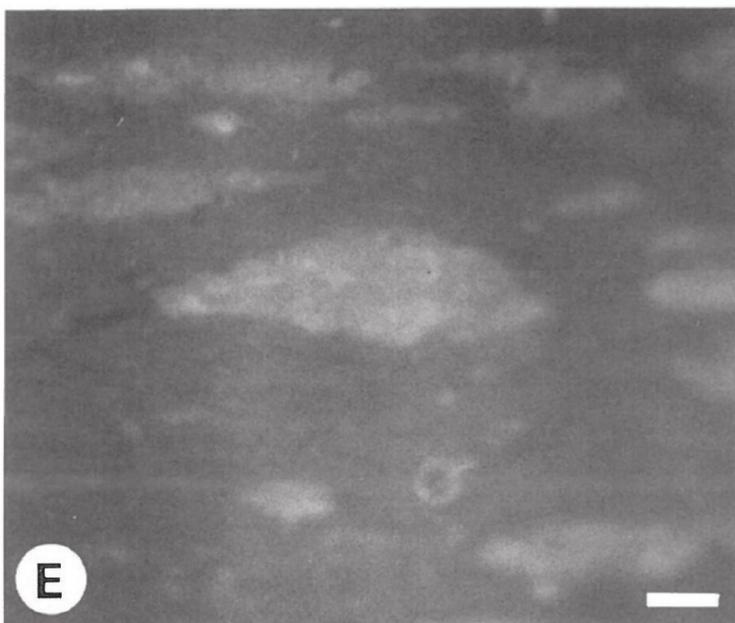
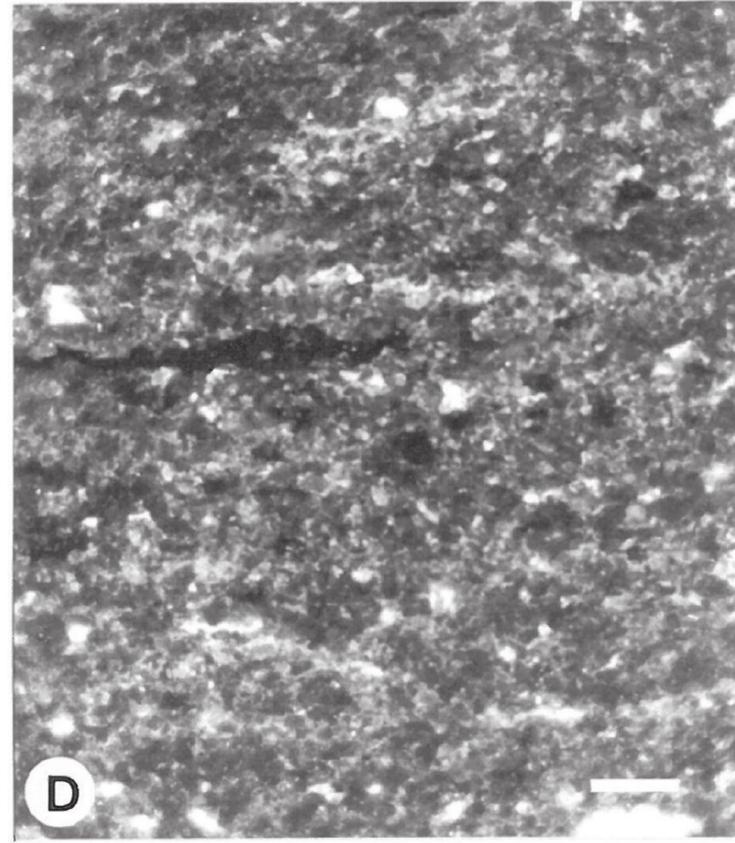
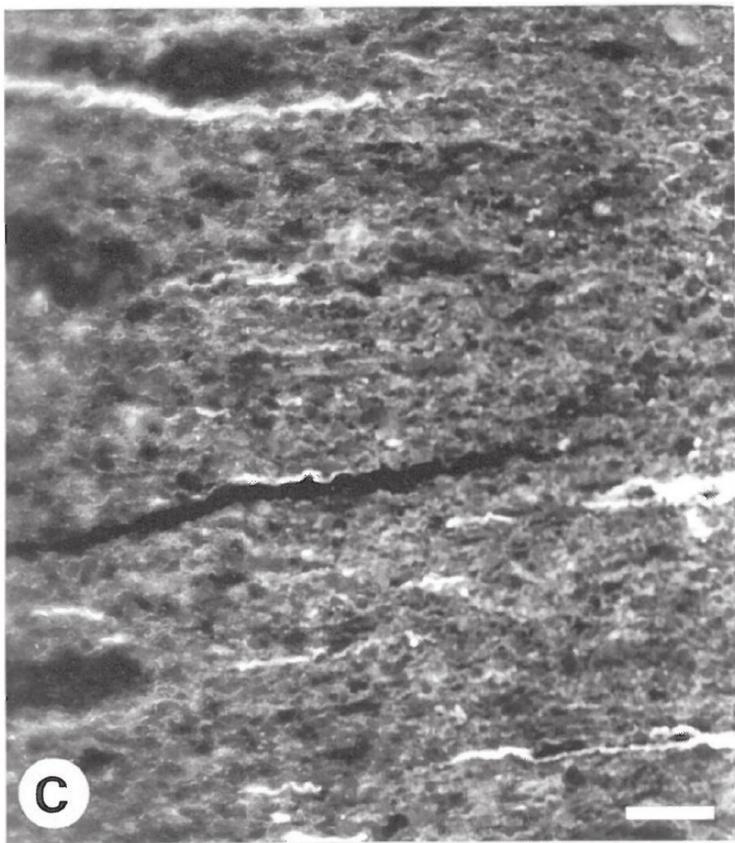
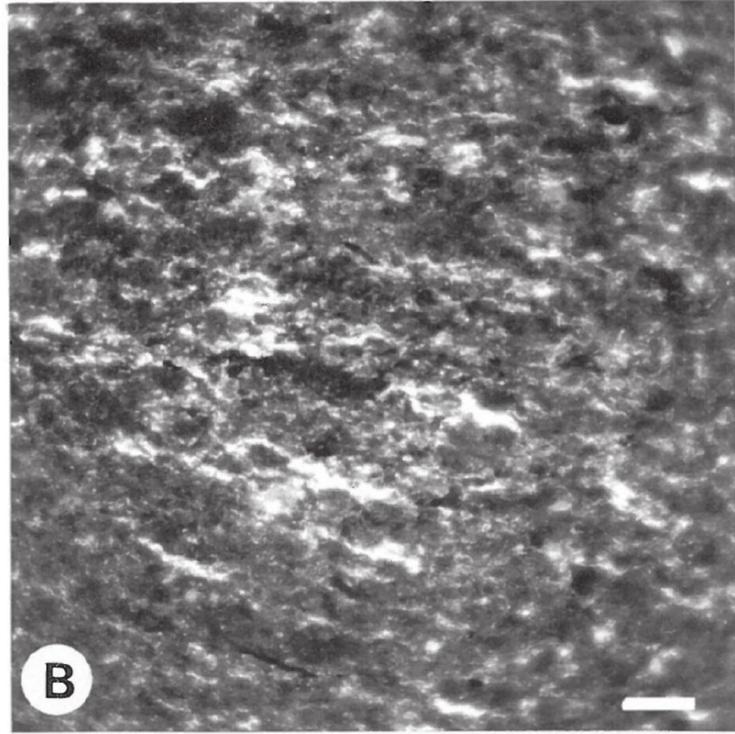
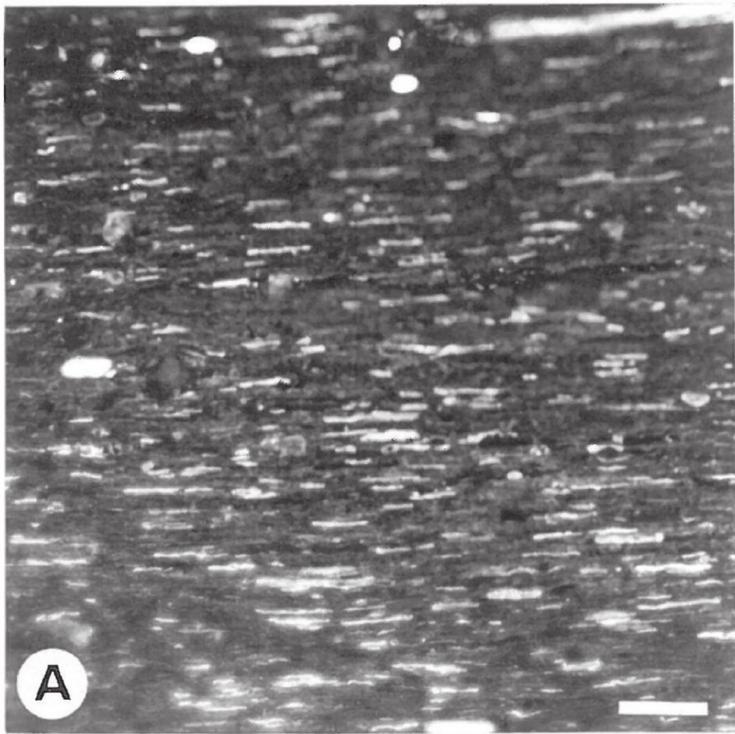
B) Alginit B; karbonatischer Intraklast Mud-/Wackestone der Medard-Bank (WI.I-007a), überwiegend von Cyanobakterien aufgebaut.

C) Tonstein der Odenbach-Flöz-Bank (JU-B) mit hohem organischen Gehalt aus Alginit (helle Laminae) und Inertinit (schwarze Laminae).

D) Mergeliger Tonstein der Odenbach-Flöz-Bank mit hohem Gehalt an mineralischem und organischem Detritus (OF.II-019).

E) Siltstein aus dem tiefsten Rotliegend mit karbonatischen Intraklasten (AL-uS).

F) Boghead-Kohle mit hellen, wolkigen Flasern (Reste der Grünalge *Botryococcus*), schwarzen Laminae aus Inertinit (Steinkohle) und glänzenden Komponenten, die fossilen Harzen entsprechen (OD.IV-006).



3.4. Messungen

Die in der Kohlenpetrographie übliche Meßmethode ist die der Vitrinitreflexion (TEICHMÜLLER 1982). Dabei wird die Wellenlänge des emittierten Lichtes (die Sekundärstrahlung) bestimmt, und damit der Grad der Inkohlung bestimmt (OTTENJANN 1980, 1981; STACH et al. 1982; VAN GIJZEL 1967, 1977, 1979). Auch ohne diese Meßapparatur ist ein Vergleich der Farbwerte möglich. Dazu ist lediglich ein Kamerasystem zum Photographieren der Gesteinsproben nötig. Es müssen gleichbleibende Arbeitsparameter vorhanden sein, wie z. B.: Anregungsspannung, Vergrößerung und Immersion. Mit Hilfe der Photographien läßt sich eine *relative* Inkohlungsreihe erstellen, an welcher die Proben des gesamten untersuchten Ablagerungsraumes aufgrund der Farbe geeicht werden können.

3.5. Beispiele für Gesteinstypen

3.5.1. Karbonate

Die Karbonate des Saar-Nahe-Beckens sind meist reich an Kerogen und Bitumen. Auch die Karbonatminerale sind anregbar und erhöhen die Stärke des Fluoreszenzlichtes. Entsprechend sind diese Gesteine sehr gut unter Fluoreszenzanregung zu bearbeiten. Zum Beispiel lassen die laminierten Mikrofaziestypen den unterschiedlichen Aufbau der Laminae erkennen (Abb. 2A, B). Die im Normallicht dunklen Laminae sind reicher an organischem Material als die hellen Laminae. Im allgemeinen existieren fließende Übergänge zwischen den hellen und dunklen Laminae. Bei Intraklast-Gesteinen sind die verschiedenen Klasten deutlich voneinander zu unterscheiden. Wichtige Komponenten der Karbonate sind Fossilien; darunter viele Fischereste, die aus Apatit aufgebaut sind und zum Fluoreszieren angeregt werden können. Die organischen Bestandteile können auch Pflanzenreste, wie Sporen oder Cyanobakterien sein. Diese Komponenten sind sowohl im Auflicht, als auch im Durchlicht nach einer „Einsehphase“ unterscheidbar. Fossilführende Mergelsteine mit Ostracoden stellen einen recht häufigen Faziestyp dar (CLAUSING 1989). In den Standarddünnschliffen ließen sich die Unterschiede zwischen den dünnwandigen, lakustrinen Ostracodenschalen und dem mikritischen Sediment kaum erkennen. Durch Verwendung von UV-Licht treten die Fossilkomponenten jedoch sehr kontrastreich aus dem Sediment hervor (CLAUSING 1990, Taf. 1/6).

3.5.2. Tonsteine

Eine Vielzahl von Tonsteinen im saarpfälzischen Rotliegend ist ähnlich aufgebaut wie die Karbonate. Sie enthalten häufig einen geringen Karbonatanteil, der die Fluoreszenz der Gesteine möglich macht. Die oft laminierten oder feingeschichteten Gesteine sind partiell

Abb. 3: Einige Fossilreste unter Auflicht-Fluoreszenz. Violett-blaue Anregung (420-490 nm, Ausnahme ▷ A); Maßstab 100 µm.

A) *Odontopteris*-Fieder im weißen Auflicht. Es sind lediglich dunkle kohlige Strukturen erkennbar (Jeckenbach-Schichten; ME.5).

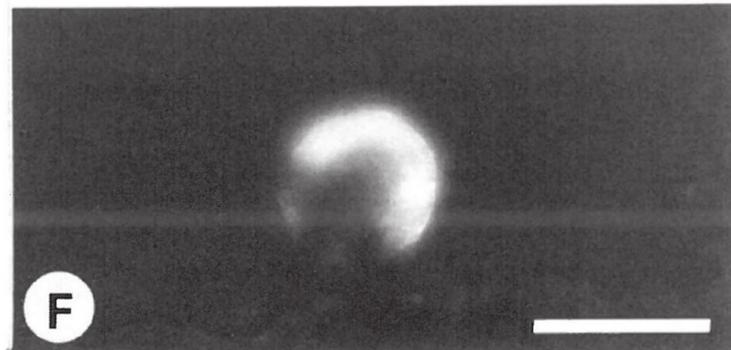
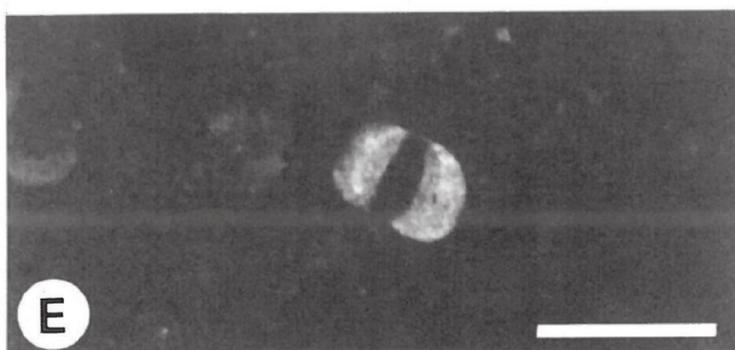
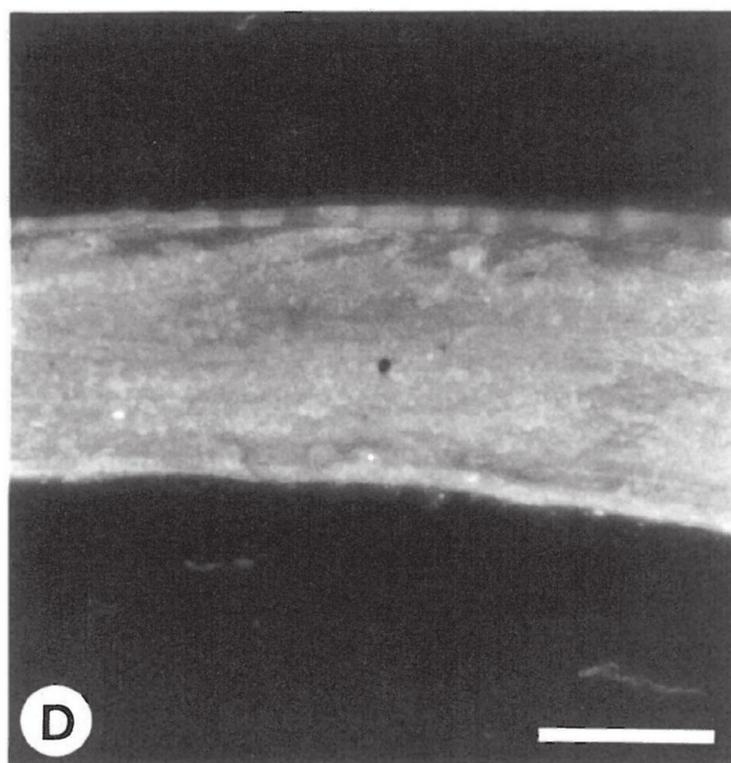
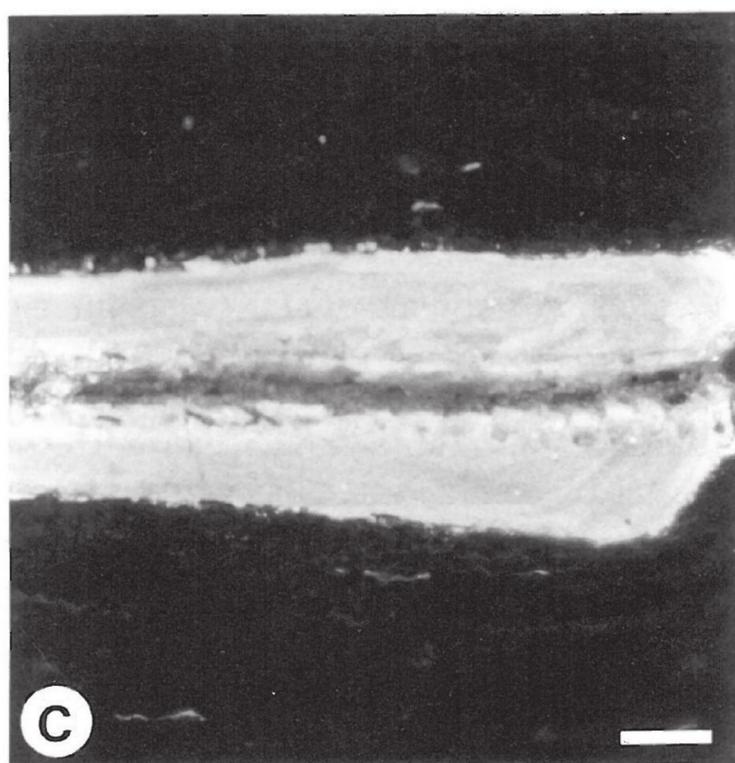
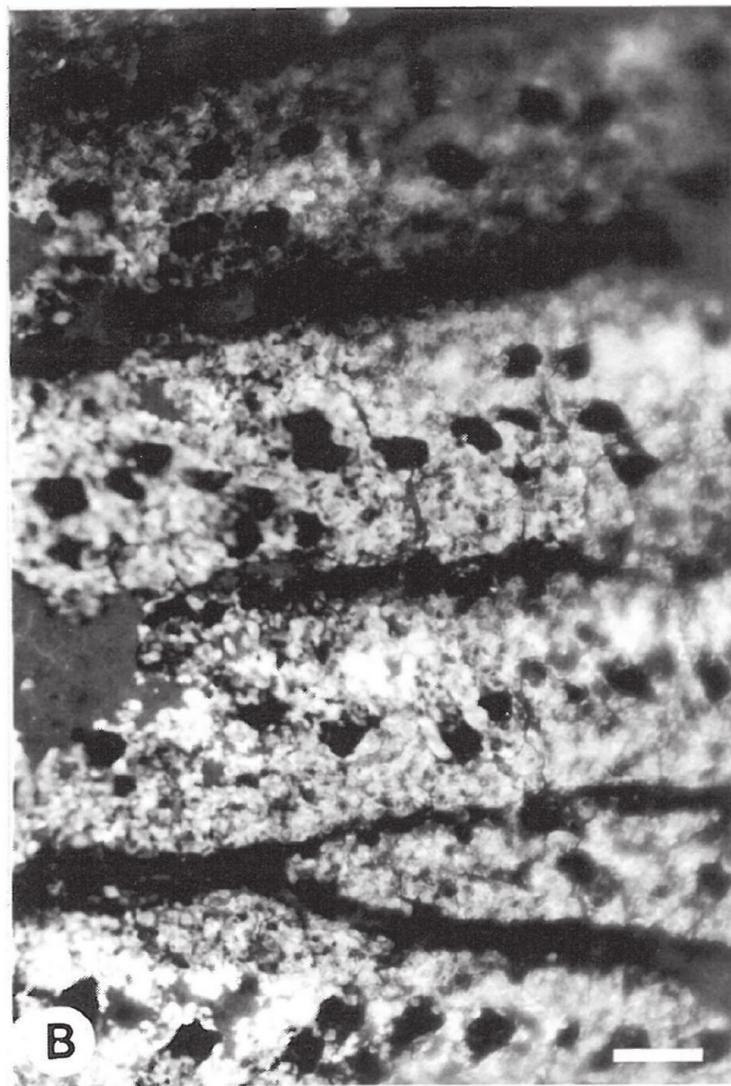
B) Gleiches Objekt wie A) jedoch Auflicht-Fluoreszenz. Die Haupt-Blattadern aus Fusinit heben sich gegen den Bituminit im Zwischenraum deutlich ab.

C) Gebrochene Schuppe eines palaeoniscoiden Fisches. Die teils lagige, teils konzentrischen Strukturen der Ganoidschuppe sind unterscheidbar (Jeckenbach-Schichten; UL.5A).

D) Kleine lagige Ganoidschuppe eines Palaeonisciden (UL-5A).

E) Übergangsform zwischen mono- und bisacatem Pollen des Typs *Illinites* (? Quirnbach-Schichten; HO.10). Die Sacci werden stark hervorgehoben.

F) Monosaccater Pollen vom Typ *Potonieisporites* (? Quirnbach-Schichten; HO.10).



aus Sporen und/oder Cyanobakterien-Lagen aufgebaut. Pflanzlicher Detritus und Reste von Wirbeltieren stellen weitere häufige Komponenten dar (Abb. 2 C, D).

Reine Tonsteine lassen sich durch Bestrahlung nicht zum fluoreszieren anregen, da sie fast ausschließlich aus Tonmineralen bestehen und diese nicht reagieren. Eine Differenzierung des Gesteinstyps aufgrund seines organischen Gehaltes ist erst nach dem Studium des Probenmaterials mit Fluoreszenzanregung durchführbar. Unter dem Licht- oder Polarisationsmikroskop sind die organischen Reste in der Regel nicht zu erkennen.

3.5.3. Siltsteine

Die Fluoreszenz der Siltsteine ist im allgemeinen schwächer als die der Karbonate, aber stärker als die der reinen Tonsteine. Die Ursache dafür ist in den nicht fluoreszenzfähigen Tonmineralen und den anregbaren Quarzpartikeln zu suchen. Vereinzelt ist auch ein geringer Karbonatgehalt für die Fluoreszenzfähigkeit mit verantwortlich (Abb. 2 E). Der Gehalt der Siltsteine an Kerogen und Bitumen ist im allgemeinen nicht geringer als der in den Karbonaten und Tonsteinen. Aufgrund der Korngröße sind die Silte geeignete Sedimente für die Konservierung von Sporen und Pollen. Deren Auftreten läßt sich durch Fluoreszenz eindeutig nachweisen. Im allgemeinen ist eine Vorabbestimmung möglich oder es kann eine Grobanalyse und damit Vorauswahl für die Aufbereitung stattfinden. Die schon für die anderen Gesteine erwähnten Fossilkomponenten können ebenfalls auftreten und durch Fluoreszenzanregung bestimmt werden.

3.5.4. Sandsteine

Die Sandsteine erwiesen sich bisher als vergleichsweise unergiebig für Fluoreszenzuntersuchungen. Es fluoreszieren die Quarzpartikel und gelegentlich vorhandene Bitumina in den Gesteinen. Materialunterschiede, z. B. zwischen Phyllosilikaten sowie Quarz- und Feldspatkomponenten, kennzeichnen die Schrägschichtung. Entsprechend lassen sich Schichtungsmerkmale häufig eindeutig interpretieren. Ansonsten sind für diesen Gesteinstyp eher normale lichtmikroskopische Untersuchungen zweckmäßig.

3.5.5. Kohlen

Als vorwiegend aus organischem Material bestehende Gesteine sind Kohlen für eine Untersuchung mit dem Fluoreszenzmikroskop prädestiniert. Im saarpfälzischen Rotliegend wurde jedoch die Kohlenpetrographie bisher kaum eingesetzt, da durch den hohen Inkohlungsgrad viele Primärstrukturen zerstört worden sind. Vitritmessungen wurden bisher nur von JOSTEN (1956) und TEICHMÜLLER et al. (1983) an Kohlen unterschiedlicher Zusammensetzung und verschiedener stratigraphischer Niveaus durchgeführt. Die Untersuchung einer Bogheadkohle (Abb. 2 D) der Odenbach-Flöz-Bank brachte den ersten Nachweis der Ölalge *Botryococcus* als Sedimentproduzent im Saar-Nahe-Becken (CLAUSING 1990).

4. Schlußbemerkungen

Mit den kurzgefaßten Beispielen für neue Anwendungen zur Nutzung der Fluoreszenzmikroskopie sind sicher nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Die Beispiele zeigen aber die weitgefächerten Einsatzbereiche auf, die besonders in der Sedimentologie und Paläoökologie denk- und durchführbar sind. Die Anwendung kann schwerpunktmäßig auf der Untersuchung des organischen Inhaltes von Gesteinen liegen. Da jedoch auch anorganische Minerale zur Fluoreszenz fähig sind, ergibt sich ein breites Arbeitsfeld auch dort, wo bisher die Kathodolumineszenz-Anwendung dominierte. Geringe Vorarbeiten und damit Zeiterparnis sowie vielfältige Einsatzvarianten bei der Bearbeitung von Proben sind gewichtige Faktoren, die das Fluoreszenzmikroskop attraktiv machen können.

Schriften

- BECKER, E. (1985): Fluoreszenzmikroskopie. Grundlagen, Instrumente, Anwendungen. 71 S., zahlreiche Abb. u. Tab., (Leitz) Wetzlar.
- BOY, J. A. (1989): Zur Lithostratigraphie des tiefsten Rotliegend (? Ober-Karbon-? Unter-Perm) im Saar-Nahe-Becken. – Mainzer geowiss. Mitt., **18**, S. 9-42, 5 Abb., Mainz.
- BUSTIN, R. M. & CAMERON, A. R. & GRIEVE, D. A. & KALKREUTH, W. D. (eds.) (1985): Coal Petrology: Its Principles, Methods and Applications. – 2. Aufl., Geol. Ass. Canada Short Course Notes, **3**, 230 S., 127 Abb., 40 Tab., 18 Taf., Victoria/ British Columbia.
- CLAUSING, A. (1989): Verbreitung und lithologische Charakterisierung lakustriner Karbonathorizonte in den Lauterecken-Schichten des Saar-Nahe-Beckens (Rotliegend; SW-Deutschland). – Mainzer geowiss. Mitt., **18**, S. 125-156, 18 Abb., 2 Tab., Mainz.
- (1990): Mikrofazies lakustriner Karbonathorizonte des Saar-Nahe-Beckens (Unterperm, Rotliegend, SW-Deutschland). – Facies, **23**, S. 121-140, 14 Abb., 1 Tab., 3 Taf., Erlangen.
- CRELLING, J. C. & DUTCHER, R. R. (eds.) (1980): Principles and applications of Coal Petrology. – SEPM Short Course Notes, **8**, 127 S., zahlreiche Abb. u. Tab., Tulsa/Okla.
- DRAVIS, J. J. & YUREWICZ, D. A. (1985): Enhanced carbonate petrography using fluorescence microscopy. – J. Sediment. Petrol., **55**, (6), S. 795-804, 9 Abb., Tulsa/Okla.
- FRIEDRICH, W. L. & SCHAARSCHMIDT, F. (1977): Zwei- und dreidimensionale Fluoreszenzaufnahmen von fossilen Pflanzen. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **24**, S. 31-49, 1 Abb., 2 Taf., Frankfurt/M.
- GIJZEL, P. VAN (1967): Autofluorescence of fossil pollen and spores with special reference to age determination and coalification. – Leidse geol. Meded., **40**, S. 263-317, 35 Abb., 8 Tab. u. Taf., Leiden.
- (1977): Die Fluoreszenz-Mikroskopie einiger Pflanzenfossilien. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **24**, S. 92-100, 1 Abb., 3 Tab., Frankfurt/M.
- (1979): Manual of the Techniques and some geological application of fluorescence microscopy – Workshop. 12th Annual Meeting Americ. Ass. Strat. Palynol., 55 S., 26 Abb., 9 Tab., Dallas/Texas.
- GOTH, K. (1986): Mikrofazielle Untersuchungen am Messeler Ölschiefer. – In: ZIEGLER, W. (ed.): Wissenschaftlicher Jahresbericht des Forschungsinstituts Senckenberg, Frankfurt am Main. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **85**, S. 209-211, 1 Taf., Frankfurt/M.
- JANKOWSKI, B. & LITKE, R. (1986): Das organische Material der Ölschiefer von Messel. – Geowiss. in unserer Zeit, **4**, (3), S. 73-80, 12 Abb., 1 Tab., Weinheim.
- JOSTEN, K. H. (1956): Die Kohlen im Pfälzer Bergland. – Notizbl. hess. Landesamt Bodenforsch., **84**, S. 300-327, 10 Abb., 6 Tab., 2 Taf., Wiesbaden.
- KERP, J. H. F. & POORT, R. J. & SWINKELS, H. A. J. M. & VERWER, R. (1990): Aspects of permian palaeobotany and palynology. IX. Conifer-dominated Rotliegend floras from the Saar-Nahe basin (? Late Carboniferous – Early Permian; SW-Germany) with special reference to the reproductive biology of early conifers. – Rev. Palaeobot. Palynology, **62**, S. 205-248, 9 Abb., 1 Tab., 11 Taf., Amsterdam.
- KLOTZ, W. (1988): Fluoreszenzmikroskopie an Karbonatdünnschliffen. – Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **29**, S. 86-87, Bochum.
- LEITZ (1974): Ploemopak 2.1 und 2.2 Anleitung. 11 S., 14 Abb., Wetzlar.
- LITKE, R. & RULLKÖTTER, J. (1987): Mikroskopische und makroskopische Unterschiede zwischen Profilen unreifen und reifen Posidonienschiefers aus der Hilsmulde. – Facies, **17**, S. 171-180, 5 Abb., 2 Tab., 1 Taf., Erlangen.
- MILLER, J. (1988): Cathodoluminescence microscopy. – In: TUCKER, M. (ed.): Techniques in Sedimentology. S. 174-190, 5 Abb., (Blackwell) Oxford.

- NEUSER, R. D. (1988): Zementstratigraphie und Kathodolumineszenz des Korallenoolith (Malm) im Südniedersächsischen Bergland. – Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **32**, 172 S., 40 Abb., 6 Tab., 5 Taf., Bochum.
- OTTENJANN, K. (1980): Spektrale Fluoreszenz-Mikrophotometrie von Kohlen und Ölschiefern. – Leitz-Mitt. Wiss. u. Techn., **VII**, (8), S. 262-273, 19 Abb., 2 Tab., Wetzlar.
- (1981): Verbesserungen bei der mikroskopphotometrischen Fluoreszenzmessung an Kohlenmaceralen. – Zeiss Inform., **26**, (93), S. 40-46, 8 Abb., Oberkochen.
- RICHTER, D. K. & ZINKERNAGEL, U. (1981): Zur Anwendung der Kathodolumineszenz in der Karbonatpetrographie. – Geol. Rdsch., **70**, (3), S. 1276-1302, 2 Abb., 1 Tab., 4 Taf., Stuttgart.
- SCHAARSCHMIDT, F. (1986): Blüten von Pflanzen des Messeler Ölschiefers. – In: ZIEGLER, W. (ed.): Wissenschaftlicher Jahresbericht des Forschungsinstituts Senckenberg, Frankfurt am Main. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **85**, S. 214-216, 7 Abb., Frankfurt/M.
- SCHOCHHARDT, M. (1936): Zur Lumineszenz der Steinkohle. – Zeiss-Nachr., **2**, S. 22, Oberkochen.
- STACH, E. & MACKOWSKY, M.-TH. & TEICHMÜLLER, M. & TAYLOR, G. H. & CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R. (1982): Stach's Textbook of Coal Petrology. 3. Aufl., 535 S., 204 Abb., 49 Tab., 6 Taf., (Bornträger) Berlin-Stuttgart.
- TEICHMÜLLER, M. (1982): Fluoreszenzmikroskopische Änderungen von Liptiniten und Vitriten mit zunehmendem Inkohlungsgrad und ihre Beziehungen zu Bitumenbildung und Verkohlungsverhalten. 119 S., 35 Abb., 10 Tab., 5 Taf., Krefeld.
- (1988): Zur chemischen und mikroskopischen Zusammensetzung vermutlicher Krokodil-Koprolithe aus dem eozänen Ölschiefer von Messel. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **107**, S. 147-161, 1 Tab., 4 Taf., Frankfurt/M.
- TEICHMÜLLER, M. & OTTENJANN, K. (1977): Liptinite und lipoide Stoffe in einem Erdölmuttergestein. – Erdöl & Kohle – Erdgas – Petrochemie, **30**, (9), S. 387-398, 7 Abb., 3 Taf., Leinfelden.
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R. & LORENZ, V. (1983): Inkohlung und Inkohlungsgradienten im Permokarbon der Saar-Nahe-Senke. – Z. deutsch. geol. Ges., **134**, S. 153-210, 13 Abb., 8 Tab., Hannover.
- TRAVERSE, A. (1988): Paleopalynology. XXIII + 600 S., 193 Abb., 15 Tab., 1 Taf., (Unwin & Hyman) Boston.
- WALKER, G. (1985): Mineralogical applications of luminescence techniques. – In: BERRY, F. J. & VAUGHAN, D. J. (eds.): Chemical bonding and spectroscopy in mineral chemistry. S. 103-140, 14 Abb., 1 Tab., (Chapman & Hall) London.
- WILDE, V. (1986): Blätter von Pflanzen des Ölschiefers. – In: ZIEGLER, W. (ed.): Wissenschaftlicher Jahresbericht des Forschungsinstituts Senckenberg, Frankfurt am Main. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **85**, S. 212-213, 2 Abb., Frankfurt/M.
- (1989): Untersuchungen zur Systematik der Blattreste aus dem Mitteleozän der Grube Messel bei Darmstadt (Hessen, Bundesrepublik Deutschland). – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **115**, 213 S., 5 Abb., 1 Tab., 20 Taf., Frankfurt/M.
- YANGUAS, J. E. & DRAVIS, J. J. (1985): Blue fluorescent dye technique for recognition of microporosity in sedimentary rocks. – J. Sed. Petrol., **55**, (2), S. 600-602, 1 Abb., Tulsa/Okla.
- YUREWICZ, D. A. & DRAVIS, J. J. (1984): Improved recognition of sedimentary fabrics using fluorescence microscopy – implication for interpreting carbonate facies and diagenetic history. – Am. Ass. Petrol. Geol., Bull., **68**, S. 542, Tulsa/Okla.

Anschrift des Autors: Diplom-Geologe ANDREAS CLAUSING, Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität, Postfach 3980, D-6500 Mainz.

Manuskript eingegangen am 17. 12. 1990