

## RADIOGRAPHIE VON LOCKERSEDIMENTEN

*Herstellung einer Radiographie von einem Sedimentkern  
nach der im GPI Kiel üblichen Methode*

### 1. Methodische Grundlagen

1.1. Prinzip der Radiographie: Die strukturellen Inhomogenitäten eines zu untersuchenden Körpers werden durch die unterschiedliche Absorption (auch: *Massenschwächung, Attenuation*) von Röntgenstrahlung auf einem photographischen Film sichtbar gemacht. Dieses Abbild eines Körpers nennt man Radiographie. Bekannteste Anwendungsgebiete sind die Medizin, in der Technik die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, sowie die Kontrolle geschlossener Behälter (Sicherheitsprüfung). Als Strahlen werden meist Röntgenstrahlung verwendet, in der Wissenschaft kommen aber auch andere Strahlungen in Frage (Infrarot, radioaktive Strahlen), ferner auch radioaktive Substanzen, etwa Gesteine u. Mineralien. In letzterem Falle spricht man auch von *Autoradiographie*, da sie sich auf dem Film selbst belichten.

Für die Qualität der Radiographie ist (außer der einwandfreien Präparation) eine Reihe von Faktoren von Bedeutung, vor allem Schwärzung, Kontrast und Auflösungsvermögen.

### 1.2. Strahlenquelle

Als Strahlenquelle bei der Röntgenradiographie dienen in der Anwendung auf Gesteine bzw. Lockersedimente i.a. Geräte, wie sie in der Industrie zur Werkstoffprüfung verwendet werden. (Der Unterschied zu Geräten im medizinischen Bereich liegt allerdings nur in der jeweiligen Zweckmäßigkeit der Anwendung begründet). Der Bereich der anwendbaren Strahlungsenergie liegt i.a. zwischen 20 und 120 Kilovolt.

Für das radiographische Bild von Sedimenten wesentlich ist die Charakteristik der Strahlung. Der wichtigste Faktor ist die Wellenlänge. In welcher Weise die Röhrenspannung (kV) und der Röhrenstrom (mA) die Wellenlänge der Röntgenstrahlen beeinflussen, ist im Diagramm Abb. 1 zu erkennen. Während der Röhrenstrom die Änderung der Strahlungsintensität über alle Wellenlängen um einen konstanten Faktor bewirkt (A), bedingt die Zunahme der Röhrenspannung (kV) eine Zunahme vor allem im kurzwelligen Bereich (B). Die kurzwellige Strahlung bedingt aber infolge ihrer größeren Energie („Härte“) auch eine stärkere Schwärzung (s.u.) des Films bei gleichen Materialeigenschaften und somit einen stärkeren Kontrast (s.u.), was einer größerer Härte des photographischen Bildes gleichkommt. Da wir es bei Sedimenten aufgrund ihrer physikalischen Zusammensetzung vorwiegend mit geringen Kontrasten zu tun haben, ist eine weichere Strahlung unbedingt vorzuziehen.

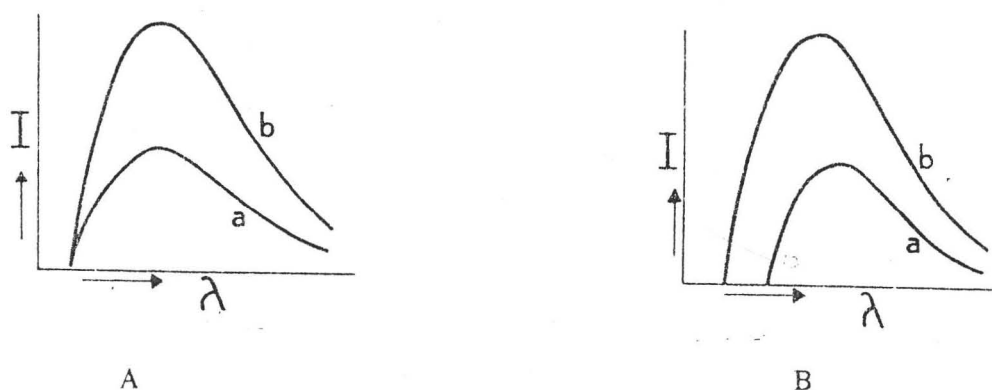


Abb. 1. Zusammenhang zwischen Wellenlänge von Röhrenstrom (A) und Röhrenspannung (B).  
(a) Kurve geringer, (b) hoher Intensität

### 1.3 Transparenz, Schwärzung, Kontrast

Diese Begriffe können analog zur Photographie auf die Radiographie angewendet werden. Ein photographisches Bild besteht, in der Durchsicht betrachtet, aus Stellen unterschiedlicher Helligkeit. Diese verschiedenen Stellen haben verschiedene „Durchsichtigkeit“ oder „*Transparenz*“.

$$\text{Transparenz (T)} = \frac{\text{Intensität des durchgelassenen Lichtes}}{\text{Intensität des auffallenden Lichtes}}$$

Unter der *Schwärzung* bzw. Dichte, ebenfalls ein Begriff aus der Photographie, versteht man die Silberabscheidung der photographischen Schicht des Films, die durch Reduktion des Halogensilbers in der Entwicklung erfolgt, und zwar abhängig von der Belichtungsintensität.

Sie ist der reziproke, logarithmische Wert der Transparenz

$$S = \log 1/T \quad (1)$$

Bei der Radiographie, wo die Strahlung vor dem Auftreffen auf den photographischen Film das darüberliegend Objekt durchdringt, hängt die Schwärzung im wesentlichen von folgenden Parametern ab:

- $I_0$  = Intensität der auf das Untersuchungsobjekt fallenden Röntgenstrahlung.
- $\mu$  = Massenschwächungskoeffizient, in erster Näherung von der spezifischen Dichte des Materials abhängig
- $x$  = Dicke des durchstrahlten Objekts (z.B. Radiographiepräparat)
- $l$  = Abstand der Strahlenquelle/Objekt
- $t$  = Belichtungszeit
- $s$  = Empfindlichkeit des Films

Außer  $\mu$  lassen sich alle diese Größen prinzipiell innerhalb eines bestimmten Bereichs wählen, wenn sie auch meist den apparativ-methodischen Gegebenheiten des Labors entsprechend festliegen (z.B.  $l$  oder  $s$ ). Die Größe, die bei einer bestimmten Aufnahmeserie von Radiographiepräparaten z.B. eines Sedimentkerns am häufigsten variiert wird, ist die Belichtungszeit, um bei verschiedenen Sedimenteigenschaften angemessene mittlere Schwärzungen zu erzielen. Differieren innerhalb eines Präparats diese Eigenschaften zu sehr (z.B. bei wechselnden Sand/Ton-Abschnitten, so können zwei Aufnahmen mit verschiedenen Belichtungszeiten Abhilfe schaffen.

Zwischen der Strahlungsintensität, die auf eine bestimmte Stelle des Films fällt, und der *Objektdicke* besteht die exponentielle Beziehung:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (2)$$

Entsprechend muß bei zunehmender Präparatdicke die Belichtungszeit in exponentieller Zunahme, und zwar abhängig von der jeweiligen Materialeigenschaft, gewählt werden. In Abb. 2 ist dies durch ein Beispiel (mariner Schlick) veranschaulicht. Umgekehrt ist es bei besonders dicken Präparaten, um allzu lange Belichtungszeiten zu vermeiden, oft besser, höhere Röhrenspannungen zu wählen (z.B. 50 kV).

Der *Kontrast* ist das Verhältnis der Schwärzung zwischen zwei Punkten eines belichteten Negativs, die einer verschiedenen Massenschwächung im Objekt entsprechen. Da die Schwärzung logarithmisch definiert ist, ist das Verhältnis eine Differenz. Der Kontrast zweier Schwärzungen  $S$  nach Gleichung (1) von 1,5 und 1,0 ist also 0,5. Es gilt die folgende Beziehung:

$$I = I_0 (e^{-\mu_1 d_1} - e^{-\mu_2 d_2}) \quad (3)$$

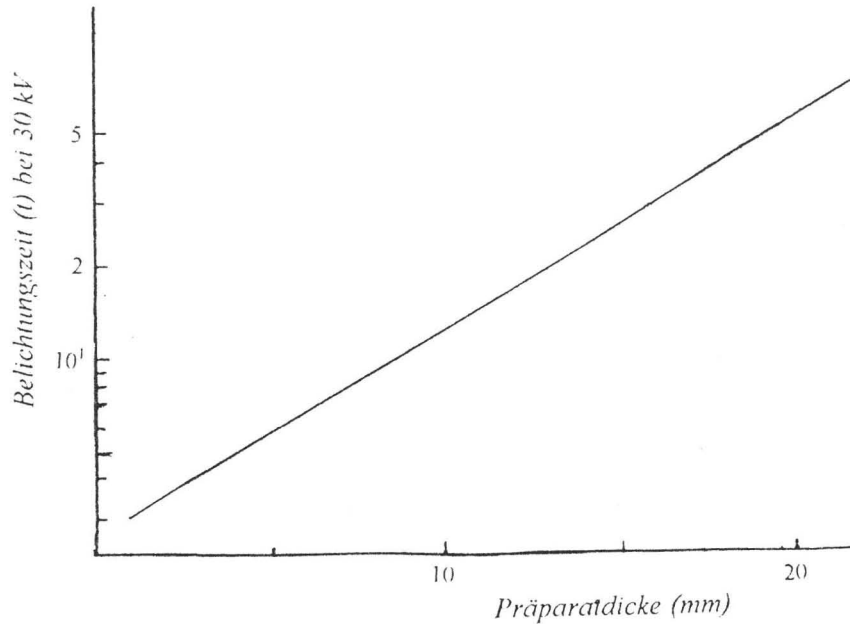


Abb.2. Beziehung zwischen Präparatdicke und Belichtungszeit für marinen Schlick, (nicht allgemeingültig!)

wobei  $d_1$  bzw.  $d_2$  die Dicken der betreffenden Objekte innerhalb des Radiographie-Präparats sind, die den Kontrast verursachen und  $\mu$  die Massenschwächung des Objekts als Materialkonstante ist. Das Verhältnis  $I$  wird aber ausserdem noch von der von der Härte der Strahlung beeinflusst, die ihrerseits durch die Wellenlänge der Röntgenstrahlung bedingt ist (s. 1.2).

#### 1.4 Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen ist - wie in der Photographie - definiert als der minimale Abstand zweier Objektpunkte, die auf dem photographischen Negativ gerade noch mit bloßem Auge zu erkennen sind. Folgende Faktoren bestimmen im wesentlichen die Auflösung:

- 1) Geometrische Faktoren, worunter im wesentlichen die Abmessungen der Strahlungsquelle (Brennfleckdurchmesser) und der Abstand Strahlungsquelle - Objekt zu verstehen sind,
- 2) die Strahlenqualität,
- 3) die Filmeigenschaften (im wesentlichen Körnigkeit und Gradation)

Der geometrische Zusammenhang dieser Verhältnisse geht aus Abb. 3 hervor. Die geometrische Unschärfe  $U_g$  ist danach gegeben durch

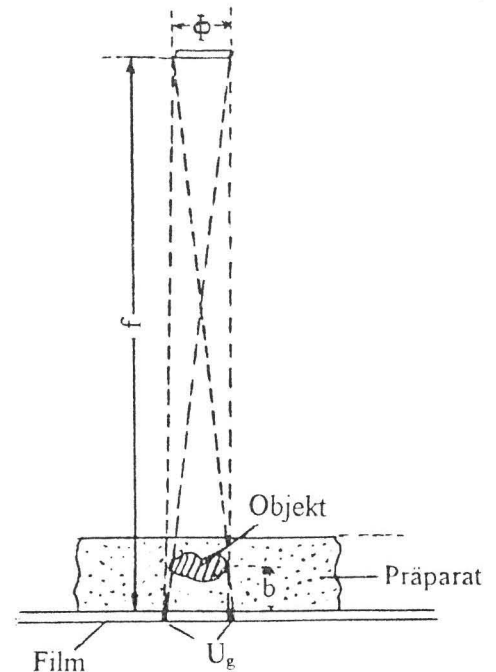
$$U_g = \phi \cdot b / f - b \quad (4)$$

Der maximale Wert für  $U_g$  ist demnach also ebenso ein begrenzender Faktor wie die Größe des Brennflecks und des Aufnahmeabstands.

#### 1.4 Röntgenfilm

Röntgenfilme haben gegenüber der photographischen Filme ihrer Anwendung entsprechend einige Besonderheiten im Aufbau. Sie haben gewöhnlich eine doppelte Beschichtung (d.h. beidseitig des Zellulose-Triazetat-Trägers), wodurch höhere Empfindlichkeit und stärkerer Kontrast erzielt werden. Die wichtigsten Hersteller sind *Agfa-Gevaert* und *Kodak*. Von *Agfa-Gevaert* gibt es die *Structurix*-Serie in abgestuften Empfindlichkeiten und (wie beim photographischen Film) entsprechend reziproke Körnung, welche die Auflösung beeinflusst. Für unsere Anwendungszwecke hat sich „*Structurix D 4*“ (*Agfa-Gevaert*) am besten bewährt. Die Filme sind nicht Rotlichtempfindlich.

Abb. 3. Geometrische Beziehungen zum Auflösungsvermögen.  
 $\phi$  = Brennfleckdurchmesser der Röntgenröhre,  
 $f$  = Abstand Brennfleck - Film,  $b$  = Abstand Objekt - Film,  
 $x$  = Präparatdicke



## 2. Herstellung der Radiographie

### 2.1 Fertigung des Radiographie-Präparats

(Hilfsmittel: Plastiktablett, Glasplatte, Spritzflasche, Wasserschüssel, Perlonfaden, Blechstreifen, Haushaltspapier, Filzschreiber, Schlauchfolie, Folienschweißgerät)

*Entnahme.* Erste Voraussetzung für eine gute Qualität des Präparats ist die Herstellung eines einwandfreien Präparats aus dem zu untersuchenden Material (hier also zumeist ein Sedimentkern). Man sollte bedenken, daß die Belichtung zwar verändert werden kann, jedoch nicht ein fehlerhaftes Präparat. Dazu wird aus dem Sedimentkern eine planparallele Scheibe entnommen und zwar durch Einstecken eines Plastiktablets geeigneter Abmessungen („Deckel“) in die zuvor sorgfältig geglättete Oberfläche des Kerns. Das Glätten erfolgt am besten mit einer leicht angewinkelten Glasplatte, die während dieses Vorgangs immer wieder in eine bereitstehende Schüssel mit Wasser getaucht und abgewischt wird. Es läßt sich häufig nicht vermeiden, daß man dabei mit kleinen Körnern im Sediment (z.B. Foraminiferen) Furchen über die Oberfläche zieht. Diese müssen dann mit der Glasplatte oder sogar mit den Fingern leicht verschmiert werden. Dabei besteht keine Gefahr, daß man Artefakte in der Radiographie erzeugt, wohl aber, wenn man die Furchen bestehen ließe. Dies hängt einfach damit zusammen, daß Luft gegen Sediment einen starken Kontrast erzeugt (Massenschwächung!), während eine - im Vergleich zur Präparatdicke - dünne Schmierschicht (5-10%) „neutral“ bleibt.

*Beschriftung.* Noch im Sediment steckend, wird die Bodenseite des Präparats beschriftet, wofür folgende Grundregeln gelten:

- \* Die Schrift ist stets nach oben gerichtet („steht aufrecht im Sediment“), damit sie gleichzeitig die oben/unten-Orientierung der Radiographie angeben kann,
- \* Mit einem schwarzen, wasserunlöslichen, gut schreibenden Filzschreiber schreiben (nicht zu dünn, z.B. Typ *Edding 400*). (Die Beschriftung muß gut haltbar und gut lesbar sein, auch durch die Polyäthylenfolie hindurch (s.u.) bei mäßiger Beleuchtung der Lagerräume).
- \* Es wird die Kern-Nr., der Kerntiefenabchnitt in cm, aus der das Präparat stammt, und eventuell ein Serienkennzeichen vermerkt, falls in gleicher Kerntiefe mehrere Präparate entnommen werden (z.B. a, b, usw.)

Mit Hilfe eines unter dem Plastiktablett durchgezogenen Perlonfadens wird das Präparat sodann „abgeschnitten“, um es aus dem Kern zu lösen. Der Faden wird dabei unter die Ecken des Tablett gedrückt, am besten mit einem eigens dafür gefertigten Instrument, einem flachen Blechstreifen mit Aussparung für den Faden an der Schmalseite (Abb. 4), wodurch die Zerstörung des umgebenden Sediment minimiert werden kann. Sollte sich nach der Abtrennung mit dem Faden das Präparat nicht leicht vom Kern ablösen lassen wegen starker Adhäsion - bei wasserreichen Sedimenten, z.B. in oberflächennahen Kernabschnitten häufig der Fall -, hilft oft eine Benetzung

mit Wasser aus der Spritzflasche. In extremen Fällen muß das Präparat durch tieferes Abschneiden im Sediment herausgenommen, umgedreht und von oben sorgfältig abgetragen werden (z.B. mit Perlonfaden).

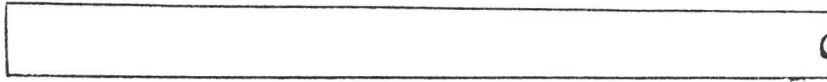


Abb. 4. Blechstreifen zum Durchziehen des Perlonfadens

*Einschweißen.* Nach der Entnahme des Präparats wird das Präparat in Schlauchfolie aus Polyäthylen eingeschweißt. Dies ist erforderlich, um das Präparat vor der Austrocknung zu bewahren, und zwar a) kurzfristig, damit nicht etwa bereits vor der Belichtung störende Schrumpfungsrisse auftreten, b) langfristig, damit das Präparat bei Lagerung im Archiv u.U. noch nach Jahren zur Verfügung steht. Es ist deshalb wichtig, auch auf diesen Schritt große Sorgfalt zu verwenden. Um das Präparat vor Austrocknung möglichst dauerhaft zu schützen, sollten folgende Maßnahmen befolgt werden:

- \* Die Schlauchfolie darf nicht zu dünn sein,
- \* Die Schweißnaht beim Einschweißen mit dem Folienschweißgerät muß einwandfrei sein,
- \* Die Luft muß aus dem Präparat abgesogen werden, was durch Abschneiden einer Ecke nach dem sowie Einschweißen nachfolgendem Absaugen und Dichtschweißen der Ecke geschieht,
- \* Es muß darauf geachtet werden, daß während der Bearbeitung keine neuen Undichtigkeiten entstehen, z.B. durch Sandkörner auf unsauberer Tischunterlage
- \* Lagern in einem Lagerraum mit hoher Luftfeuchtigkeit.

## 2.2 Belichtung des Präparats

Für die Behandlung des Films während der Belichtungsprozesses stehen lichtdichte Kunststoffaschen zur Verfügung. Das Präparat wird platzsparend (d.h. möglichst mit anderen zusammen) in dem strahlungsgeschützten Aufnahmeschrank (Bleiauskleidung!) auf einen in der Dunkelkammer verpackten Röntgenfilm in größtmöglichem Abstand (Auflösung, s. Abb. 3!) gelegt und mit *weicher* Röntgenstrahlung belichtet (übliche Werte z.B. 30 kV Röhrenspannung, 5 mA Röhrenstrom). Die gewählten Werte sollten protokolliert werden, damit bei späteren Aufnahmen Anhaltspunkte für die Belichtung gewonnen werden können.

Vor der Belichtung werden zur Kennzeichnung des Negativs die Kern-Nr. und (möglichst wenig) zusätzliche Kennziffern oder -buchstaben aus Blei auf das Präparat gelegt, die sich durch ihre große Massenschwächung im Negativ hell abbilden. Dadurch ist die Unverwechselbarkeit der Radiographie gewährleistet und gleichzeitig bei Reproduktionen ein eindeutiges Kriterium dafür vorhanden, ob es sich um ein Positiv oder um ein Negativ handelt.

## 2.3 Entwicklung

Der belichtete Röntgenfilm wird (möglichst in Serie) in der Dunkelkammer aus der Filmtasche entnommen, in einen speziellen Filmhalterahmen eingeführt und dieser in den Entwicklertank gehängt. Der nach den Vorschriften des Herstellers angesetzte Entwickler muß jedesmal vor der Benützung gut umgerührt werden, falls nicht eine automatische Apparatur verwendet wird. Der Film selbst wird während des Entwicklungsvorgangs einige Male hin und her bewegt. Die Temperaturabhängigkeit der Entwicklungsdauer muß natürlich beachtet werden. Nach ca. 5 min. (bei 20° C) wird der Film entnommen, in fließendem Wasser kurz abgespült und zwischen-

gewässert (bei Härtebad ca. 1 min.), sodann fixiert (einige min.) und im Wässerungstank mit zirkulierendem Wasser ca. 20 min. gewässert.

Anschließend wird der Film kurz durch ein Netzmittel gezogen und im Trockenschrank zur Trocknung aufgehängt.

(Ein automatischer Entwicklungstank, im GPI Kiel vorhanden, verkürzt diesen Vorgang erheblich).

## 2.4 Beschriftung, Aufbewahrung

Das fertige Negativ wird - über die vorläufige Blei-Kennzeichnung hinaus - vollständig beschriftet. am besten mit einem selbstklebenden Etikett, wo außer der Kern-Nr. die weiteren Angaben zur Einordnung der Radiographie enthalten sein müssen, also z.B. der Kernabschnitt (Kerntiefe), gemessen von der Oberfläche, sowie ggfs. Hinweise zur Orientierung, Serienbezeichnung usw. Für den vorübergehenden Gebrauch empfehlen sich Aktenordner mit einlegbaren „Prospekthüllen“. Die Negative werden prinzipiell in der Radiographiesammlung des GPI aufbewahrt.

## 3 Auswertung

### 3.1 Allgemeines

Wenn die Radiographie als Hilfsmittel zur Kernbeschreibung verwendet werden sollen, erhebt sich die Frage, wie diese Informationsinhalte ausgewertet werden sollen. Da die Radiographien als Bestandteil des gesamten Datensatzes des zu bearbeitenden Sedimentkerns zu verstehen sind, sollten die Beobachtungen in eine Form gebracht werden, die es erlaubt, leicht Querbeziehungen zu den anderen Daten herzustellen. Deshalb ist es vorteilhaft, den wesentlichen Inhalt der Informationen in das Kernlog zu integrieren.

Die Auswertung der Radiographie sollte immer im Negativ erfolgen, da ein Positiv, auch wenn es ein Kontaktabzug ist, stets mit einem gewissen Verlust an Details verbunden ist. Zweckmäßig ist ein Leuchttisch, am besten größeren Formats, so daß mehrere Präparate eines Kerns gleichzeitig betrachtet werden können. (Die Verwendung eines Overheadprojektors als Leuchttisch ist gewöhnlich wegen der störenden Struktur der Glasplatte nicht geeignet). Auch für die Diskussion von Radiographien in größerem Kreise ist ein Overheadprojektor nicht geeignet, hier bleibt nur die Möglichkeit über das Dia.

Die Verwendung einer Lupe mit schwacher Vergrößerung (2-4 fach) ist unbedingt angeraten, durch eine stärkere Vergrößerung wird jedoch infolge der Filmkörnigkeit nichts dazugewonnen. Soll von einer Radiographie durch Kontaktabzug ein Duplikat hergestellt werden, so empfiehlt es sich, dafür einen Umkehrfilm zu verwenden, den der Fachhandel anbietet (d.h. Kopie zeigt identische hell/dunkel-Verhältnisse), so daß kein Umdenken gegenüber der Negativ-Auswertung erforderlich ist. Hiermit ist ein Problem angesprochen, das sich allgemein für die bildliche Wiedergabe von Radiographien im Druck ergibt. In Publikationen, in denen die Auswertung von Radiographien eine vorrangige Rolle spielt, sollte man die Negativ-Wiedergabe im Druck anstreben. Über die Schwierigkeit des Umdenkens hinaus, die in diesem Falle nicht unterschätzt werden sollte, bietet diese Wiedergabe den Vorteil, daß das Auge die Endpunkte der Grauabstufung unter der Maßgabe: Bleizahlen = niedrigste Schwärzung, sedimentfreie Zonen = höchste Schwärzung, gewissermaßen zu eichen in der Lage ist. Dies spielt für die Interpretation einer abgebildeten Radiographie deshalb eine Rolle, weil Radiographien von Sedimenten gewöhnlich kontrastarm sind, die Druckwiedergabe aber das Bild i.a. „härter“ macht, so daß diese „Endpunkte“ in einer kaum vorhersagbaren Weise weder ganz schwarz noch ganz weiß ausfallen.

### 3.2 Anwendung

Die Radiographie ist in der Meeresgeologie besonders dazu geeignet, das Makrogefüge von wassergesättigten (Porenraum vollständig mit Wasser gefüllt), siltigen und tonigen Sedimenten zu untersuchen. Vielfach enthüllt die Radiographie in Sedimentkernen eine Fülle von Gefügeheterogenitäten, während der frische Anschnitt den Eindruck eines homogenen Sediments macht. Viele Strukturen sind bei Direktbeobachtung überhaupt nicht, in



der Radiographie aber auf jeden Fall sehr viel genauer zu erkennen. Die Radiographie kann deshalb ganz allgemein als eine sehr wertvolle Ergänzung zur Kernbeschreibung betrachtet werden. Es wäre zudem von großem Vorteil, wenn die Routinebeprobung eines Sedimentkerns (z.B. für Isotopenstratigraphie u.a.) erst nach dem Vorliegen der Radiographie vorgenommen würde, um besondere Lagen bzw. Strukturen (diagenetische Lagen, Lebensspuren), die eine Anomalie der Kornzusammensetzung aufweisen, entweder auszuspüren oder aber gezielt zu beproben. Ein solches Vorgehen ist jedoch aus logistischen Gründen meist nicht möglich. Deshalb ist es zu empfehlen, die Radiographie unter diesem Gesichtspunkt wenigstens nach der Beprobung zu Rate zu ziehen

Darüber hinaus sei eine Auswahl von Problemen genannt, bei denen die Methode der Radiographie besonders hilfreich sein kann:

- \* Abschätzung des relativen Anteils an bioturbiertem Sediment
- \* Untersuchung biogener Gefüge, speziell: Lebensspuren
- \* Feinbau von laminierten Lagen (z.B. Bändertone, anoxische Becken)
- \* Untersuchung von gradierter Schichtung (z.B. in Turbiditen)
- \* Suche nach Erosionsdiskordanzen (Schichtlücken!)
- \* Erfassung und Analyse von Rutschungsgefügen, Untersuchung ihres Feinbaues
- \* Beobachtung pyritisierter Strukturen
- \* Aufsuchen vulkanischer Aschenlagen, die bioturbat verwühlt sein können und dann bei der Kernbeschreibung oft nicht erfaßt werden,
- \* Erfassung von Eisbergschutt, insbesondere mud clasts (s.u.)
- \* Erfassung von Störungen durch Kernentnahme, z.B. „Nachsaugen“ bei fehlerhaftem Kolbenloteinsatz oder pseudotektonischen Störungen bei Schwereloten

Es muß betont werden, daß der Untersuchung von Lebensspuren in unverfestigten Sedimenten eine besondere Bedeutung für die Rolle der Radiographie zukommt, denn sie stellt ein unentbehrliches Hilfsmittel für diese Aufgabe dar, das auch kaum durch andere Methoden zu ersetzen ist. Lebensspuren (allgemein: biogene Gefüge) sind mit die am meisten verbreiteten Strukturen, die man in ozeanischen Sedimenten radiographisch beobachten kann. Ihre wissenschaftliche Bedeutung ergibt sich dadurch, daß sie autochthone Indikatoren für palökologische Bedingungen darstellen. Für ihre Unterscheidung und Kennzeichnung gelten die taxonomischen Regeln der Palichnologie (Wissenschaft der Lebensspuren als Teil der Paläontologie). Zwar sollten die Lebensspuren als wichtige Bestandteile des Sedimentgefüges in dem Kernlog grundsätzlich in irgendeiner Weise wiedergegeben werden, jedoch würde eine Erläuterung der palichnologischen Terminologie an dieser Stelle zu weit führen.

### 3.3 Besondere Hinweise für die Auswertung

Bei der Auswertung sind einige Radiographie-spezifische Punkte zu beachten, die im Folgenden kurz angesprochen seien.

*Zusammenhang zwischen relativer Helligkeit (bzw. Schwärzung) und Korngröße.* Da es sich bei den Mineralien, die die Hauptmasse des Sediments in unseren sandigen bis tonigen marinen Kernen ausmachen, nur um wenige Arten handelt (Quarz, Feldspat, Tonminerale, Karbonate), die sämtlich ein sehr ähnliches spezifisches Gewicht von ca. 2,6-2,8 aufweisen, kann der Helligkeitskontrast zwischen einzelnen Sedimentbereichen nicht durch verschiedene Mineralien bedingt sein. Vielmehr ist die Packungsdichte bzw. die Porosität hierfür maßgebend, d.h. der auf das Gesamtvolumen bezogene Wasseranteil des Präparats. Es ist allgemein bekannt, daß die Porosität bei Lockersedimenten von Sand bis Ton zunimmt. Da ein größerer Wasseranteil am Einheitsvolumen bei sonst gleicher Dichte aber eine geringere Massenschwächung bedeutet, ist klar, daß sich Sedimentpartien verschiedenen Wassergehalts als unterschiedliche Graustufen darstellen müssen. Es sei hier bemerkt, daß sich dieses Verhältnis der Helligkeit von Sand/Ton bei der Kompaktion durch den eintretenden Wasserverlust umkehrt. Für verfestigte Sedimente herrschen also umgekehrte Helligkeitsverhältnisse, falls der Sand noch nicht zementiert ist. Die Kiesfraktion braucht nicht betrachtet zu werden, da sie praktisch nur als Einzelkorn in der Radiographie eine Rolle spielt, welches sich durch seine kompakte Masse immer abbildet. Ebenso brauchen auch schwerere Mineralien wie Pyrit oder andere Eisenverbindungen in dieser Überlegung nicht zu berücksichtigt zu werden, da sie zumeist durch ihre sehr große Massenschwächung (Helligkeit) und die ihnen eigene Struktur zu erkennen sind.

Umgekehrt heben sich zusammenhängende Strukturen extrem hohen Wassergehalts, wie Pflanzenreste, Holz oder gar zusammenhängende Hohlräume, durch ihre quasi-schwarze Graustufe und ihre Struktur von ihrer Umgebung meist deutlich ab.

*Projektionseffekt.* Man muß bei der Auswertung der Radiographie stets im Auge behalten, daß die Radiographie die Gefügeelemente eines bestimmten, durch die Präparatdicke gegebenen Volumens aufsummierend auf die Filmebene projiziert werden, im Gegensatz zur Direktbeobachtung des Kernanschnitts oder zum Anschliff bzw. Dünnschliff, wo wir es mit einem Ebenenschnitt durch das Objekt zu tun haben. Dies wirkt sich besonders bei kleinen Objekten auch in den relativ dünnen Sedimentscheiben des Radiographiepräparats aus. Als Beispiele für diesen aufsummierenden Effekt seien Eisdriftschutt („drop stones“, IRD) und Foraminiferen genannt. In *IRI*-haltigen Sedimenten fällt oft auf, daß man an der frischen Kernoberfläche kaum Klaster beobachtet, die Radiographien diese jedoch reichlich enthalten. Dies ist eine Folge dieses Projektionseffektes und lehrt gleichzeitig zweierlei: 1) mit einer kleinvolumigen Sedimentprobe, wie sie u.a. für die Korngrößenbestimmung (Rückstand  $>63 \mu$ ) entnommen werden, ist die Menge der Klaster nicht abzuschätzen, 2) die Radiographie erlaubt - u. U. auch in dem nur ca. 10 mm dicken Radiographiepräparat -, die Menge der Klaster abzuschätzen (Auszählung pro Kernabschnitt in Größenklassen!).

Bei *Foraminiferenschlickeln* können die einzelnen Individuen der größeren planktischen Arten durchaus erkannt werden. Sie erscheinen dabei als kleine dunkle Punkte mit unscharfem, helleren Rand. Daß sie trotz ihrer sehr dünnen Schale zu erkennen sind, erklärt sich dadurch, daß sie a) hohl sind und b) die Kugelgestalt in Vertikalrichtung durch den Projektionseffekt eine „Vortäuschung“ einer dickeren Schale bewirkt, diese aber in horizontal orientierten Kugelsegmenten wegen der hier viel geringeren Massenschwächung nicht abgebildet wird. Die Foraminiferen scheinen dann oft viel zahlreicher zu sein, als man zunächst vermutet, wenn man sich den Projektionseffekt nicht bewußt macht.

### 3.4. Artefakte

Störungen des natürlichen Abbilds des Sedimentkerns können sehr vielfältig sein und auch verschiedene Ursachen haben. Man nennt diese Störungen Artefakte. Die wichtigsten Typen seien im folgenden aufgeführt.

- a) *Einfluß der Kernentnahme.* An der oft sehr weichen (wasserreichen) Kernoberfläche, die bei der Entnahme häufig verfließt, läßt sich oft kaum ein einigermaßen befriedigendes Präparat entnehmen. Entsprechende Skepsis ist deshalb vonnöten, ob die beobachteten Strukturen echt sind. Ferner können Randschleppungen (stets nach unten gerichtet) durch das Eindringen des Kernrohres auftreten, wenn das Präparat dicht am Rand genommen wurde. Störungen durch Kernentnahme, z.B. „Nachsaugen“ bei fehlerhaftem Kolbenloteinsatz (vertikal orientierte „Pseudosichtung“) oder pseudotektonische Störungen bei Schwereloten sind weitere Artefakte durch die Kernentnahme. Typisch für die letztgenannten Störungen ist, daß sie vorzugsweise im unteren Teil längerer Kerne auftreten.
- b) *Schrumpfrisse des Präparats durch Austrocknen des Sediments.* Diese Erscheinung ist entweder durch Undichtigkeiten der Folienverpackung bedingt oder durch zu langes Liegen der Präparate vor dem Einschweißen (seltener). Sie kommt auch häufig bei Wiederholungsaufnahmen bereits archivierter Proben vor.
- c) *Ungleiche Dicke des Präparats.* Dies wirkt sich durch stärkere Schwärzung (= größere Helligkeit) einzelner Sedimentpartien aus.
- d) *Ausbrüche von Sediment.* Entstehen häufig neben groben Partikeln bei der Präparation oder durch Entnahme dieser Partikel, wenn sie zu groß sind.
- e) *Streifen, Riffelung.* Sind oft ein Anzeichen schlecht geglätteter Präparatoberflächen (Spuren des Perlonfadens).
- f) *Chemische Fällungen.* Hier sind vor allem Eisenoxidabscheidungen und Gipskristalle (Schwalbenschanz-Habitus) durch längere Lagerung der Präparate zu nennen, treten deshalb häufig bei Wiederholungsaufnahmen auf, aber auch bei langer Lagerung der Kerne vor Fertigung der Präparate. Grundsätzlich ist gerade bei dieser Art von Artefakten besondere Vorsicht geboten, da sie sich oft natürlichen Sedimentstrukturen anpassen und dann nicht leicht als Störungen zu erkennen sind.



Man sollte bei der Auswertung von Radiographien grundsätzlich immer mit dem Auftreten von Artefakten rechnen. Im Zweifelsfall kann oft die Inspektion der Präparatoberfläche von Nutzen sein.

### 3.5 Zeichnerische Darstellung

Das Ziel, die wesentlichen Informationsinhalte der Radiographie in ein Kernlog zu integrieren, kann am besten durch skizzenartiges Niederlegen der Beobachtungen erreicht werden. Dies erfordert eine Abstraktion, die man a) durch eine maßstäbliche Verkleinerung, b) durch Anwenden einer Signatur erreichen kann. Eine Verkleinerung direkt in den Maßstab des Kernlogs - was ca. 1:5 entspräche - , wäre kaum sinnvoll, deshalb ist für die Skizze ein Maßstab dazwischen zu wählen, wobei sich 1:2,5 bewährt hat. Es ist zu betonen, daß diese Aufgabe schwierig ist und Übung erfordert. Es sollte nicht versucht werden, Einzelstrukturen genau abzuzeichnen, auch wenn sie noch so charakteristisch sind, dafür sollten aber die räumlichen Bezüge verschiedener Strukturen zueinander festgehalten und die Signaturen sinnvoll angewendet werden. Es dürfen dabei ruhig zusätzliche Symbole zu der beigegebenen Liste gebraucht werden. Diese sind nur als Vorschlag aufgrund einschlägiger Erfahrungen zu verstehen. Die geologische Realität ist zu vielfältig, als daß diese Vorgabe allen Fällen gerecht werden könnte.

Meist ist es sinnvoll, auch geringe Schwankungen der Helligkeit festzuhalten, vor allem wenn sie strukturell an einzelne Lagen gebunden sind, da sie ja Korngrößenschwankungen entsprechen. Nur muß man sich bewußt sein, daß diese immer relativ zu verstehen sind und grundsätzlich nicht mit Präparaten aus anderen Kernabschnitten verglichen werden können. Bei der endgültigen Übertragung in das Kernlog müssen diese Signaturen (die ersten beiden in der Liste Abb. 5) auch entfallen bzw. allenfalls durch „echte Korngrößensymbole“ ersetzt werden.

Sandige Kernabschnitte können nur indirekt angesprochen werden, durch Anzeichen wie Lamination, Schrägschichtung, Rippelschichtung, oder durch Identifikation einzelner Sandkörner mit Lupe bei Korngrößen von  $> 0,1$  mm.

Artefakte sollten nicht vermerkt werden, es sei denn, sie würden größeren Fehlstellen im Präparat, wo keine Beobachtungen möglich sind, entsprechen.