



War der Messelsee ein Kurzzeitsee?

Die Fossilienlagerstätte Grube Messel ist nicht nur in Fachkreisen bekannt. Seit 1995 ist sie auf Antrag des Landes Hessen ein UNESCO-Weltnaturerbe und der Öffentlichkeit zugänglich. Die Seesedimente, die die Fossilien bergen, sollen sich über einen Zeitraum von 1 Million Jahren gebildet haben – als saisonale Ablagerungen im Jahresrhythmus. Diese Dauer aber lässt sich aus der geologischen Überlieferung nicht zwanglos herleiten – im Gegenteil.

Michael Kotulla

Einleitung: Bildung des eozänen Messelsees und Verlandung

Mit der ausreichend tiefen Forschungsbohrung Messel 2001 (Endteufe 433 m) im Zentrum der Grube Messel (Abb. 2) konnte der Nachweis erbracht werden, dass die Messel-Hohlform vulkanischen und nicht – wie lange verbreitet wurde – tektonischen Ursprungs ist. Über die in der Bohrung gewonnenen Gesteine kann die Ereignisfolge nunmehr weitestgehend rekonstruiert werden (z. T. nach FELDER & HARMS 2004; siehe Tab. 1 und Abb. 3):

Aufdringende Gesteinsschmelze trifft nahe der Erdoberfläche auf Grundwasser. Heftige Magma-Wasserdampf-Explosionen lassen eine trichterförmige Hohlform (Diatrem) entstehen. Sie wird während oder unmittelbar nach der Eruption zunächst mit Sturzmaterial (*Diatrembreccie*, 373–433 m) teilverfüllt. Sogleich anschließend führt eruptiertes und rückfallendes oder einstürzendes Material (Aschen, Lapilli, Tuffe), das sich zusätzlich mit Nebengestein vermengt, zu einer weiteren Verfüllung des Explosions-trichters (sog. Pyroklastika, vorwiegend *Lapillituff*; 228–373 m). Die verbleibende Hohlform, ein Becken mit einem Durchmesser von max. 1500 Meter und einer Tiefe von max. 300 Meter wird rasch mit Grundwasser, eventuell auch Oberflächenwasser, aufgefüllt. Die ersten geschichteten Seesedimente entstehen hauptsächlich durch

gravierende Umlagerungen aus dem Material der Kraterwände und des Tuffwalls, sog. *Resedimente** (143–228 m).

Die sich im Beckenzentrum anschließenden Schwarzpelite (andere, ältere Bezeichnung Messeler *Ölschiefer*; 0–143 m), an der Basis noch von mächtigen Resedimenten unterbrochen, zeugen von einer Akkumulation feinkörnigeren und organikreichen Materials. Zur Beckenfüllung ist zusätzlich zur erbohrten Mächtigkeit noch der abgebaute Ölschiefer der Grube mit etwa 55 Meter Mächtigkeit hinzuzurechnen. Aus diesem letzten Abschnitt sind die sehr gut erhaltenen Faunen- und Florenelemente¹ geborgen worden.

So war der maarartige Messelsee zu einer kleinräumigen Sediment- und Organismenfalle geworden bis er verlandete. Die abschließende Phase des Sees ist nicht überliefert; der obere Teil des Kraterandes und der Tuffwall sind abgetragen. Und die ehemals den Ölschiefer überlagernden, wenige Meter mächtigen bunten Tone sind größtenteils bergbaulich ausgeräumt.

Der Ölschiefer – eine jahreszeitlich geprägte Ablagerung!?

Der Messeler Ölschiefer ist ein teilweise laminiertes bzw. feingeschichtetes, organikreiches Tongestein (Schwarzpelit). Es enthält im bergfeuchten Zustand ca. 35 Gew.-% Tonminerale,

Abb. 1 Anstehender Ölschiefer in der Grube Messel, Bildhöhe etwa 50 cm. (Foto: M. KOTULLA)

Tab. 1 Gliederung der Schichtenfolge der Forschungsbohrung Messel 2001. Rechter Teil: Präsentation im Besucherzentrum Grube Messel mit Entstehungszeiten (Stand 2014). Erläuterung siehe Textteil sowie ergänzend Abb. 3 und 4.

Lithologie und Stratigraphie nach FELDER & HARMS 2004			Präsentation Besucherzentrum, Stand 2014		
Teufe [m]	Lithologie (Kurzbeschreibung)	Stratigraphische Einheiten	Teufe [m]	Gliederung (Lithologie)	Entstehungszeit
0-94	Schwarzpelit, laminiert	mittlere Messel-Formation (0-101 m)	0-143	Ölschiefer	1 Million Jahre
94-111	debitrische Resedimente	—			
111-143	Schwarzpelit + Resedimente	untere Messel-Formation (240-101 m)			
143-228	Resedimente, geschichtet	—	143-228	Resedimente	100e Jahre
228-373	Pyroklastika (Lapillituff)	—	228-373	Lapillituff	Tage
373-433	Diatrembreccie	—	373-433	Diatrembreccie	Sekunden

ca. 25 Gew.-% organische Substanzen (vorwiegend Algenreste) und ca. 40 Gew.-% Wasser.

Die Feinschichtung bzw. -lamination des Ölschiefers wird hauptsächlich auf einen Wechsel zwischen algenreichen und algenarmen Laminen bzw. Algen- und Tonlagen zurückgeführt; der Wechsel wird einer saisonalen, jährlichen Steuerung zugeschrieben (MATTHES 1966, IRION 1977, GOTH 1990, LENZ et al. 2010).

GOTH (1990, 84) erklärt die Entstehung des laminierten Ölschiefers, den er auch als Algenlaminit bezeichnet, so: „Durch die Anreicherung der Algenreste² infolge der saisonalen Wasserblüten wird die Feinlamination des Ölschiefers hervorgerufen. Die Horizonte zwischen den algenreichen Lagen repräsentieren die Hintergrundsedimentation* fast eines ganzen Jahres zwischen zwei Algenblüten. Dieses Sedimentationsmuster ist über die gesamte Mächtigkeit des Ölschiefers nachweisbar. Die äußeren Bedingungen müssen während der gesamten Bestandsdauer des Messeler Sees konstant geblieben sein.“ Demnach repräsentiert jeweils ein Lagenpaar (Couplet) eine „Jahreslage“ bzw. eine „Ölschieferwarve“.

Durch Auszählung von Couplets („Jahreslagen“) an einigen wenigen Dünnschliffen ermittelt GOTH (1990, 84) eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0,1 bis 0,2 mm pro [Warven-] Jahr, die er auf die gesamte Abfolge überträgt. Unter Abzug der Sedimentanreicherung durch Rutschungen ermittelt er auf Basis einer geschätzten Gesamtmächtigkeit des Ölschiefers von 190 m eine „Bestandsdauer des Messelsees (...) von knapp einer Million Jahre.“ Werden GOTHs Sedimentationsrate von im Mittel 0,15 mm pro [Warven-] Jahr und eine Gesamtmächtigkeit von etwa 155 m angesetzt (FELDER & HARMS 2004, mittlere Messel-Formation), ergeben sich rechnerisch 1033333 [Warven-] Jahre. 1 Million Jahre – das ist die im Besucherzentrum Grube Messel (Eröffnung 2010) ausgewiesene Bildungszeit der Ölschiefer-Ablagerungen (Abb. 4).³

GOTH (1990) aber hat keinen Nachweis einer jahreszeitlichen Prägung erbracht. Vielmehr entstammt sein „Sedimentationsmuster“ einem theoriegeleiteten Sedimentationsmodell. Mit seiner Vorstellung einer saisonalen, jahreszeitlichen Steuerung („Ölschieferwarve“) imprägniert

Abb. 2 Weltnaturerbe Grube Messel; aufgelassener Ölschiefer-Tagebau. Die Forschungsbohrung Messel 2001 (Endteufe 433 m) wurde im Zentrum auf der ehemaligen sechsten Abbausohle niedergebracht; darüber sind etwa 55 m Ölschiefer abgebaut worden. (Foto: M. KOTULLA)



er die gesamte Ölschieferabfolge. Diese Vorgehensweise, wiederkehrenden Wechseln von hellen und dunklen feinlaminierten Lagen Jahre zuzuweisen – ohne einen Nachweis einer jahreszeitlichen Prägung erbracht zu haben –, ist eine häufig durchgeführte, geochronologische Praxis (KOTULLA 2014, 3-01 ff).

Ereignisinduzierte Sedimentation

Ausbildung des Schwarzpelits

Nach IRION (1977) sind die Feinlaminen im Mittel etwa 0,1 mm dick. In der mikroskopischen Dünnschliff-Betrachtung ist häufig eine undeutliche Ausbildung der Lamination zu erkennen (Abbildungen z. B. bei IRION 1977, GOTH 1990 und LENZ et al. 2010); die Übergänge sind unscharf, wellig oder flaserig. Die Partikelanreicherungen scheinen wolkenartig verklumpt und linsig und selbst über die geringe Bildbreite von nur 1 cm dünnen die „Laminen“ häufig aus oder verschwinden gar. WEBER (1988, 59) verwendet deshalb den Begriff „Pseudo-Lamination“.

Die Ausbildung des Messeler Ölschiefers ist im Detail äußerst vielfältig.

Die detaillierte makroskopische Beschreibung des 101 m langen Kernabschnitts der Forschungsbohrung 2001 (Schwarzpelit der mittleren Messel-Formation) weist annähernd 2000 Einzelpositionen aus, häufig im cm-Bereich (FELDER & HARMS 2004, Anhang 2). Neben einer feinlaminierten Ausbildung des Schwarzpelits (über 800 Nennungen) liegt eine flaserige Ausbildung etwa genauso häufig vor; zudem ist der Schwarzpelit abschnittsweise massig (homogen) ausgebildet (etwa 100 Nennungen). Auch tritt

Glossar

Hintergrundsedimentation: Konzept einer quasi kontinuierlichen, aber extrem langsamen (vertikalen) Partikelfür-Partikel-Sedimentation vorwiegend feinkörnigen Materials (Ton).

Resediment: Sediment, das durch Aufarbeitung vorhandener Sedimente (z. B. durch Rutschung) und deren erneute Ablagerung ggf. mit weiteren zusätzlichen (neuen) Bestandteilen gebildet worden ist. FELDER & HARMS (2004) unterscheiden turbiditische und debritische Resedimente (s. u.).

Trübestrom (engl.: turbidity current): Ereignisinduzierter, turbulenter, bodennah fließender Strom mit einer definierten Sedimentkonzentration von 1-23 Volumenprozent. Sediment(gestein): Turbidit.

Trümmerstrom (engl.: debris flow): Ereignisinduzierter, elastischer oder plastischer Massentransport-Strom mit einer definierten Sedimentkonzentration von mehr als 25 Volumenprozent. Sediment(gestein): Debrit.

eine gröber klastische, sandige Ausbildung vielfach auf (über 700 Nennungen). Eine makroskopisch auffällige Führung von Klasten (Gesteinsbruchstücke) wird über 500 Mal aufgeführt, die Korngröße „Kies/kiesig“, häufig in Verbindung mit den Klasten, über 400 Mal. Bemerkenswert ist, dass über 1000 Mal der Begriff „gradiert“ (deutliche Zu- oder Abnahme der Korngröße) verwendet wird. Rötlich braune Laminen, vermutlich Alginitlaminen, werden (häufig in Mehrzahl) nur etwa mehr als 80 Mal genannt.

Auch den Einzelbeschreibungen von GOTH (1990), die sich auf kürzere Profile des aufgelassenen ehemaligen Tagebaus beziehen, kann in Summe entnommen werden, dass die schwarzpelitische Sedimentfolge im Detail heterogener Natur ist. Eine deutliche Feinlamination scheint nicht hauptsächlich vorzuliegen; in seiner definierten Normal-Ausbildung (Normal-Fazies) des Ölschiefers erhalte das anorganische Sediment (erst) durch „rhythmische Ablagerung von Algenhüllen“ seine Lamination, wobei die diskrete (abgrenzbare) Ausbildung einer Algenlage selten sei (S. 42).

Abb. 3 Im Besucherzentrum Messel ausgestellte Bohrkern der Forschungsbohrung 2001 (jeweils mittig aufgesägter Bohrkern, Bildbreite ca. 10 cm, Auswahl typischer Gesteine).

a Diatrembreccie: vermutlich Amphibolit- und Granodioritklasten in sandig-kalzitischer Matrix (Grundmasse); Ausschnitt aus Tiefe 384-385 m.

b Lapillituff mit Nebengesteinsfragmenten; Ausschnitt aus Tiefe 305-306 m.

c Resediment: Sandstein (vorwiegend massig) im Wechsel mit Silt- und Tonstein (fein laminiert); Ausschnitt aus Tiefe 164-165 m.

d Ölschiefer: fein laminiertes Schwarzpelit mit gelblichen Siderit- und rotbraunen Laminen. Luftdichte Versiegelung der Oberfläche; Ausschnitt aus Tiefe 32-33 m. (Fotos: M. KOTULLA)



Abb. 4 Objektkurzbeschreibung zum Bohrkern der Forschungsbohrung Messel 2001, Abschnitt Ölschiefer; Besucherzentrum Grube Messel. (Foto: M. KOTULLA)



Interpretation

Bereits GOTH (1990) interpretiert Abschnitte der schwarzpelitischen Folge im Niveau des ehemaligen Tagebaus als *Turbidite*, als (rasche) Ereignis-Ablagerungen von Trübeströmen* (turbidity currents). Eine klare Differenzierung als auch Quantifizierung scheint aber problematisch. Er beschreibt u. a. „gradierte Lagen“, „aufgelöste/zerstörte Feinschichtung“ und „aufgearbeitete Ölschieferfetzen“ und klassifiziert diese Phänomene als „turbiditische Ölschieferlagen“ oder „klastische Turbidite“.

FELDER & HARMS (2004) dagegen verwenden den Begriff *Turbidit* in ihrer Interpretation der schwarzpelitischen Folge nicht. Sie gehen weder auf die 1000-fach beschriebene Gradierung, ein Hinweis auf turbiditische Ablagerungen, noch auf die beobachteten unregelmäßigen Sedimentwechsel in Abständen von weniger als einem bis zu etwa 20 cm ein. Die *flaserigen* Schwarzpelitlaminen allerdings werden als beckeninterne Umlagerungen gedeutet (S. 173), also ebenfalls als (Mikro-) Resedimente.

In Ergänzung ist erwähnenswert, dass PIRRUNG (1998, 15) „undeutlich geschichtete, z.T. flaserige, linsige oder homogene Tone und Silte“ des Döttinger Maars (Eifel) als distale (vom Entstehungsort weiter entfernte) Turbidite interpretiert.

Soweit kann (und muss) für den größeren Anteil der Schwarzpelite aufgrund sedimentologischer Charakteristika von (raschen) Sedimentations- bzw. Resedimentationsereignissen ausgegangen werden; der Transport des Materials in das Beckenzentrum erfolgte hauptsächlich über unterschiedlich dimensionierte Trübe- und untergeordnet Trümmerströme*.

Darüber hinaus können Trübestrome auch eine primäre Laminierung hervorrufen, die alle Ausprägungen von fein und regelmäßig über fein und unregelmäßig bis undeutlich haben kann (SHANMUGAM 2000; klassische Turbidit-Sequenzen nach BOUMA 1962 und feinkörnige Turbidit-Sequenzen nach STOW & SHANMUGAM 1980). Das heißt (übertragen auf das Messeler Becken): Nicht nur die größeren Lagen und gradierten Sequenzen, nicht nur die homogenen (massigen) und flaserig lamellierten Abschnitte (mikro- als auch makroskopisch) können als Strom-Bildungen angesprochen werden, sondern

auch die unterschiedlich deutlich laminierten Abschnitte des Schwarzpelits, nämlich als distale Turbidite bzw. als beckenwärts auslaufende horizontale oder als vertikale Endglieder einer Turbidit-Sequenz. Insofern vervollständigen die deutlich laminierten Bereiche das Gesamtbild dahingehend, dass die Sedimentation wahrscheinlich durchgehend primär ereignisinduziert gewesen war.

In ähnlicher Weise werden auch die laminierten Sedimente des Eckfelder Maars interpretiert; sowohl BULLWINKEL (2003) als auch NICKEL (1996) schließen – im Gegensatz zu MINGRAM (z.B. 1994), der eine Warvierung postuliert – eine jahresrhythmische Bildung der bearbeiteten Laminite aus. NICKEL (1996, 102) interpretiert die Eckfelder Laminite als höchsten Teil einer BOUMA-Sequenz (s. auch KOTULLA 2014, 3-40).

Die Ereignisse

Es ist anzunehmen, dass die Entwicklung des Messelsees hauptsächlich von den post-eruptiven Gegebenheiten, u. a. der Beckenbeschaffenheit (Instabilität, hohes Relief), der umgebenden Topographie, der Tektonik und dem Klima (subtropisch/tropisch) beeinflusst war.

Ein hoher andauernder klastischer Sedimenteintrag kann von hohen Niederschlägen mit Regen- bzw. Starkregen-Ereignissen (Auswaschung des Kraterandes und Tephrawalls; allseitiger Eintrag), Bergsturz-Ereignissen (weiter auftretende, im Vergleich kleiner dimensionierte Uferabbrüche) infolge von Kraterinstabilität (oder tektonisch induziert) sowie ggf. einer vorübergehenden (?) Anbindung an ein Gewässernetz ausgelöst worden sein. Mit der Beckenbeschaffenheit im mittel- oder unmittelbaren Zusammenhang stehen beckeninterne Ereignisse wie gravitationsbedingte Prozesse (Rutschungen, mehrstufiges Hangversagen), Setzungen und Aufweichungen (Fluidisierung).

Die die Sedimentation auslösenden Ereignisse unterliegen keinem jahreszeitlichen Rhythmus.

Unter den klimatischen, ggf. auch post-eruptiven Bedingungen können Massenvermehrungen von Algen mehrmals im Jahr oder quasi kontinuierlich stattgefunden haben. Die Absterbe-Ereignisse können partiell erfolgt sein, sodass sogar quasi kontinuierliche Niederschläge von Algenresten denkbar sind.

Hinsichtlich der Häufigkeit der unterschiedlichen Ereignisse kann von einem dutzend- bis mehrhundertfachen Auftreten während eines Jahres ausgegangen werden.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Ölschiefer des Messeler Sees besteht aus einer Folge von ereignisinduzierten Ablagerungen; die die Sedimentation auslösenden Ereignisse unterliegen keinem jahreszeitlichen Rhythmus. Die unterschiedliche Ausprägung der schwarz-pelitischen Sedimente im Beckenzentrum, die als Laminite, Turbidite und Resedimente bezeichnet bzw. gedeutet werden, erklärt sich aus boden-nahem Transport (Trübe- und Trümmerströme) mit unterschiedlicher hydrodynamischer Energie und Transport in Suspension (Niederschläge) sowie aus ihren Wechselwirkungen und Überlagerungen. Es ist ein komplexes, irreguläres Sedimentationsgeschehen in einem (limitierten) quasi-kreisrunden (See-) Becken mit hohem Relief.

Bei dem post-eruptiven Messelsee dürfte es sich um einen Kurzzeitsee gehandelt haben, der nach Dutzenden oder wenigen Hunderten von Jahren bereits aufgefüllt war und verlandete. Die Präsentation einer Bildungszeit des Ölschiefers von 1 Million Jahre quasi als Tatsache, wie sie im Besucherzentrum Grube Messel erfolgt, ist irreführend.

Anmerkungen

- ¹ Die Fossilien der Grube Messel sind nicht Gegenstand dieses Artikels. Ihre exzellente Erhaltung allerdings, bei manchen Organismen samt „Haut und Haaren“, lässt auf eine rasche Sedimentüberdeckung und -konservierung schließen. Die gängige Annahme, dass die tieferen Wasserschichten und der Seeboden frei oder arm an Sauerstoff gewesen sein mussten und diesen guten Erhaltungszustand ausschließlich bedingt hätten, scheint nicht ausreichend.
- ² Hauptsächlich die Grünalgen *Tetraedron* und *Botryococcus*.
- ³ Die im Besucherzentrum Grube Messel ausgewiesene Bildungszeit der Ölschiefer-Ablagerungen von 1 Million Jahren bezieht sich einerseits (nur) auf den erbohrten Teil bis zu einer Teufe von 143 m (Abb. 4), andererseits ist in der Objektbeschreibung zum

Ölschiefer-Bohrkern anscheinend die gesamte Ölschiefer-Sedimentation gemeint (inkl. des Tagebaus, weitere 55 m): „Für die folgende 1 Million Jahre, bis zu seiner Verlandung, wird der Maarsee die Lebewelt des Eozäns aufnehmen“ (Stand 2014).

Literatur

- BOUMA AH (1962) Sedimentology of some Flysch deposits: A graphic approach to facies interpretation. Amsterdam.
- BULLWINKEL V (2003) Organische Petrologie und Mikrofazies der mitteleozänen Seesedimente des Eckfelder Maares (Südwesteifel). Diss., Göttingen.
- FELDER M & HARMS F-J (2004) Lithologie und genetische Interpretation der vulkano-sedimentären Ablagerungen aus der Grube Messel anhand der Forschungsbohrung Messel 2001 und weiterer Bohrungen (Eozän, Messel-Formation, Spredlinger Horst, Südhessen). Courier Forschungsinstitut Senckenberg 252, 151-206.
- GOTH K (1990) Der Messeler Ölschiefer – ein Algenlaminit. Courier Forschungsinstitut Senckenberg 131, 1-143.
- IRION G (1977) Der eozäne See von Messel. Natur und Museum 107, 213-218.
- KOTULLA M (2014) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014, <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html>.
- LENZ OK, WILDE V, RIEGEL W & HARMS F-J (2010) A 600 k.y. record of El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Evidence for persisting teleconnections during the Middle Eocene greenhouse climate of Central Europe. Geology 38, 627-630.
- MATTHES G (1966) Zur Geologie des Ölschiefervorkommens von Messel bei Darmstadt. Abh. Hess. L.-Amt Bodenforsch. 51, 1-87.
- MINGRAM J (1994) Sedimentologie und Zyklizität laminierter eozäner Ölschiefer von Eckfeld/Eifel. In: NEUFFER FO, GRUBER G & LUTZ H (Hg) Fossilagerstätte Eckfelder Maar. Mainzer naturwiss. Archiv, Beiheft 16, 55-86.
- NICKEL B (1996) Die mitteleozäne Mikroflora von Eckfeld bei Manderscheid/Eifel. Mainzer naturwiss. Archiv, Beiheft 18, 1-146.
- PIRRUNG BM (1998) Zur Entstehung isolierter alttertiärer Seesedimente in Zentraleuropäischen Vulkanfeldern. Mainzer naturwiss. Archiv, Beiheft 20, 1-117.
- SHANMUGAM G (2000) 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models – a critical perspective. Marine and Petroleum Geology 17, 285-342.
- STOW DAV & SHANMUGAM G (1980) Sequence of structures in fine-grained turbidites: comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments. Sedimentary Geology 25, 23-42.
- WEBER J (1988) Sedimentpetrographische Untersuchungen in der eozänen Messel-Formation. Diss., Frankfurt.