

Glossar

Architekturelemente: Die moderne Sedimentologie analysiert Sedimentkörper nach innerer und äußerer Form („Architektur“) und ordnet sie zusammen mit sedimentologischen Kennzeichen (→ *Lithofazies*) z. B. den verschiedenen Ablagerungsbecken eines Flußlaufs zu. Wichtig davon sind in diesem Beitrag → *Flußrinne*, → *Uferwall*, → *Uferwall-Durchbruchsfächer* sowie → *Überflutungsebene* (s. Kasten „Moderne Sedimentologie“).

Erosion, erodiert: Hier Abtragung des Untergrundes durch fließendes Wasser.

Flußrinne: Flußbett, auch als „Kanal“ (Channel) bezeichnet.

Fluviatil: Hier: Von Flüssen abgetragen (→ *Erosion*), transportiert oder abgelagert (→ *Sedimentation*).

Horizontalschichtung: Horizontale Feinschichtung im Sand (= Lamination; laminierter Sand) entsteht typischerweise in → „schießendem“ Wasser, kann sich aber auch in strömendem Wasser bilden; dann lagern sich nur Feinsedimente ab.

„Kletternde“ Rippeln (climbing ripples): Extrem- bzw. Endform von → *Strömungsrippeln*. Sie entstehen, wenn besonders viel Sand angeliefert und sowohl am Luvhang der Rippeln (stromaufwärts) als auch am Leehang (stromabwärts) abgelagert wird. Kennzeichnend ist: In diesen Rippeln bilden sich keine internen Erosionsflächen mehr, weil ausschließlich sedimentiert wird.

Lamination, laminiert: → Horizontalschichtung.

Lithofazies: In der modernen Sedimentologie (s. Kasten) beschreibt sie u.a. die (mutmaßlichen) Bildungsbedingungen verschiedener Sedimente (etwa von Sand oder Ton) und Sedimentstrukturen (beispielsweise → *Horizontalschichtung* oder → *kletternde Rippeln*) bei unterschiedlichen Energieniveaus (→ „schießendes“ oder *strömendes Wasser*), Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeiten.

Rippelschichtung: → Strömungsrippeln.

„Schießendes“ Wasser: Hier ist die Strömungsgeschwindigkeit des Flusses größer als die Grundwellengeschwindigkeit des Wassers; die Wellenbewegung kann sich nicht mehr stromaufwärts bewegen. „Schießendes“ Wasser = höherenergetisches

oberes Strömungsregime. In *strömendem* Wasser ist die Strömungsgeschwindigkeit *kleiner* als die Grundwellengeschwindigkeit (= niedrigerenergetisches *unteres Strömungsregime*).

Schrägschichtung: Oberbegriff einer Schichtungsform, bei der die einzelnen Feinschichten (Laminae) in den Schichtbänken schräg verlaufen.

Sedimentation, sedimentiert: Hier: Ablagerung von Feststoffen (Sediment) durch Wasser.

Silt (früher: Schluff): Korngröße zwischen Sand und Ton (0,002-0,063 mm).

Strömungsrippeln: Anders als Wellenrippeln können sie durch Entstehung in fließendem Wasser ungleich (asymmetrisch) ausgebildet sein; der Leehang (stromabwärtige Rippel-Rückseite) ist dann steiler als der Luvhang (stromaufwärtige Vorderseite der Rippel).

Strömungsregime, Oberes bzw. Unteres: → „Schießendes“ Wasser

Suspension: Aufschwemmung von Sedimentpartikeln.

Trübestrome (Turbidite): Hochenergetische, zumeist den Kontinentalabhang in die Tiefsee hinabgleitende schwerkraftbewegte → *Suspensionen* mit unterschiedlichen Korngrößen. Sie hinterlassen typische Sedimentfolgen: Zuerst lagern sich die größten Partikel sehr schnell ab; darüber folgen bei zunehmend nachlassender Strömung immer feinere Sedimente (= *Gradierung*). Trübestrome weisen ferner charakteristische Sedimentstrukturen auf (→ *Lithofazies*).

Überflutungsebene (floodplain Fines): Ebene neben der → *Flußrinne*, die bei extremem Hochwasser von sedimentbeladenem Wasser überflutet und mit typischen Ablagerungen bedeckt wird.

Uferwall (Levee): Natürlicher Wall eines Flusses unmittelbar neben der eigentlichen → *Flußrinne*, der bei Hochwasser zunehmend aufsedimentiert wird.

Uferwall-Durchbruchsfächer (crevasse channels und crevasse splay): Der natürliche → *Uferwall* eines Flusses wird bei extremem Hochwasser durchbrochen; dabei lagern sich Sedimente in der → *Überflutungsebene* ab, die eine typische Ausbildung (→ *Lithofazies*) und Form (→ *Architekturelemente*) aufweisen können.

einem Gebiet von bis zu 25 km² – der vermutlich größten Niederschlagshöhe nahe, die dort physikalisch überhaupt möglich ist“, heißt es im Kurzbericht des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (*Landesamt* 2002, 4f.). Auch an weiteren Stationen wurde innerhalb der 72 Stunden vom 11. bis 13. 8. der mittlere Niederschlagswert für den gesamten August bei weitem übertroffen. Der langjährige Monatsdurchschnitt an der Station Zinnwald-Georgenfeld beträgt z.B. 102 mm (*Bilanz* 2002, 1). Das Einzugsgebiet der Roten und Wilden Weißeritz sowie die linken Müglitzzuflüsse bildeten das Zentrum der Niederschläge im Ost-Erzgebirge. Dies führte neben den Maximalniederschlägen im Quellgebiet der Müglitz zu einem enormen Anschwellen ihrer linken Zuflüsse (*Landesamt* 2002, 7).

Noch extremere Niederschläge. Ist im Quellgebiet der Müglitz tatsächlich nahezu die höchste dort physikalisch mögliche Regenmenge erreicht worden? Immerhin wird als weltweit extremster Wert laut SCHNEIDER (1980, 293) häufig ein Niederschlagsereignis in Funkiko (Taiwan) angegeben mit 1675 mm Niederschlag während 48 Stunden. Das wären in 24 Stunden etwa 837 mm – mehr als das 2,5fache des Niederschlags von Zinnwald-Georgenfeld! Zwar ist die meteorologische Situation in Taiwan eine andere als im Erzgebirge (vgl. Abschnitt „Resultat...“), doch liegen die maximalen Niederschlagsmengen sehr weit auseinander. Es kann in Zweifel gezogen werden, ob im August 2002 im Erzgebirge tatsächlich die hier physikalisch maximal mögliche Regenmenge nahezu erreicht wurde.

Dammbruch im Prießnitz-Seitental. Am 12. 8. um 16.30 Uhr brach in einem Seitental der Damm des Prießnitz-Staubeckens mit rund 50.000 Kubikmetern Inhalt. Die Wassermassen stürzten das abschüssige Prießnitztal herab und verwüsteten den Ort Glashütte (s. Karte). Hier traf der Inhalt des Staubeckens mit den Wassermassen der Müglitz zusammen: „Der normalerweise vier Meter breite und 50 Zentimeter tiefe Fluß ist zu einem teilweise 100 Meter breiten und vier Meter tiefen Strom geworden“, der mit einer vermuteten Geschwindigkeit von 50 km/Std. auf den Ortsteil Schlottwitz zuraste (MILITZER 2002b, 320; vgl. 2002a, 94). Das *stundenlange* Extremhochwasser der Müglitz wurde jedoch nicht durch den Dammbruch, sondern durch die Starkniederschläge bewirkt, denn auch andere Erzgebirgsflüsse erreichten vergleichbare Pegelhöhen mit ebenso zerstörerischen Fluten (MILITZER 2002b, 319-324).

Im unteren Müglitztal, am Pegel Dohna, „wurde ein Höchstwert von 450 cm gemessen (s. Karte). Dieser Wasserstand liegt 40 cm über dem des Extremereignisses vom Juli 1927“ (*Landesamt* 2002, 7). Der Durchfluß der Müglitz bei Dohna

betrug am 12. 8. 2002 ca. 395 Kubikmeter/sec; 1927 waren es „nur“ 330 Kubikmeter/sec (*Bilanz* 2002, 6). Gewöhnliche Pegelstände der Müglitz bei Dohna sind z.B. 45 cm (19. 11. 02) oder 55 cm (27. 11. 02) (*Pegel* 2002/03). Die normale Durchflußmenge der Müglitz am Pegel Dohna lag beispielsweise am 30. 3. 2003 bei 1,9 Kubikmeter/sec. (*Pegel* 2002/03), am 5. 4. 2003 waren es 1,75 Kubikmeter/sec. (*Einzugsgebiet* 2003). Geht man angesichts dieser niedrigen Pegelstände infolge geringer Niederschläge im Frühjahr 2003 von einem Durchschnittswert von 2,5 Kubikmeter/sec. aus, dann war der Durchfluß beim Augusthochwasser 2002 um mehr als das 150fache erhöht. Manche sprechen nicht von einem Jahrhundert-, sondern einem Jahrtausendhochwasser (SIMON 2002, 4).

Müglitz bei Dohna	Normal	Hochwasser 2002
Pegelhöhe	ca. 0,5 m	ca. 4,5 m
Durchfluß in m³/sec	ca. 2,5	ca. 395

Familie überlebt auf letzter Hauswand. Über die menschlichen Tragödien sowie die zerstörten Ortschaften und Infrastrukturen (Straßen, Brücken, Gleisanlagen) wurde durch die Medien umfassend berichtet (vgl. z.B. KENNTMICH 2002). Eine Vorstellung von der Gewalt der Wassermassen gewinnt man z.B. daran, daß die Müglitz ein ca. 20 m breites und etwa 3 m tiefes Bett durch den Schloßpark in Weesenstein erodierte (*Text* 2002, 2). Hier holte sich der Fluß sein früheres Bett aus der Zeit vor der künstlichen Umleitung im 18. Jahrhundert zurück. Allein in Weesenstein riß das Extremhochwasser zehn Häuser komplett weg. Eine Familie mußte 13 Stunden auf der letzten Mauer ihres zerstörten Hauses ausharren, bis sie gerettet wurde (WÖHLER 2002, 102-104; Abb. 1).

In diesem Beitrag soll eine durch das Hochwasser abgelagerte Sandbank beschrieben und diskutiert werden. Das ist bedeutsam, denn damit sind Vergleiche mit der Bildung erdgeschichtlicher Sedimente möglich. Leider stand für die Profilaufnahmen nur eine begrenzte Zeit am 12. 9. und 2. 10. 2002 zur Verfügung. Da schon während des zweiten Termins die Wiederherstellungsmaßnahmen durch Wegbaggern voll im Gang waren, dürfte die Sedimentbank inzwischen komplett beseitigt worden sein.

Beschreibung der Sandbank

Horizontal- und Rippelschichtung. Unterhalb Weesenstein (s. Karte) überflutete die Müglitz in einer weiten Rechtskurve das Tal und lagerte links zwischen Flußbett und Durchgangsstraße auf einer baumbestandenen Wiese eine bis ca. 1 m mächt-



Abb.1: Das Foto, das um die Welt ging: Die letzte Mauer des Hauses blieb stehen; verzweifelte Anwohner, die nicht helfen konnten, sprachen von einem Wunder. 13 Stunden mußte Familie Jäpel aus Weesenstein hier ausharren, ehe sie vom Hubschrauber gerettet wurde. Vorn das „eigentliche“ Flußbett der Müglitz (!). Die „schmutzige Brühe“ des reißenden Stromes ist – geologisch gesprochen – eine sand- und sogar geröllführende Suspension (Aufschwemmung). Die Gewalt des Hochwassers kann wohl kaum erschreckender dokumentiert werden.



Abb. 2: Oberfläche der Sandbank im Müglitztal. Im Hintergrund (hinter den Büschen) das Flußbett der Müglitz. Die Strömungsrippel zeigen unregelmäßigen Kammverlauf (Strömung von rechts), sind aber beim Rückgang des Hochwassers im schwach fließenden bis stehenden Wasser wellenrippelartig überprägt worden.

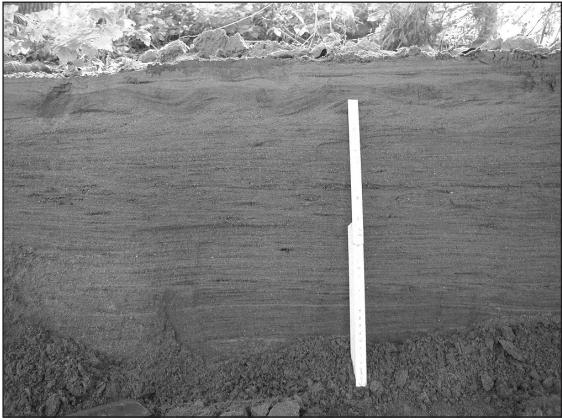


Abb. 3: Feine Horizontalschichtung (Lamination); nach oben Übergang in Strömungsrippelschichtung. Ganz oben erneute Horizontalschichtung (Strömung von links).

ge Sandbank ab (Abb. 2). Sie zeigt aussagekräftige Sedimentstrukturen. Der untere Teil wird von laminierten (feingeschichteten) Sanden aufgebaut (Abb. 3). Es kommen aber auch einzelne Partien mit schrägliegender Schichtung vor (Abb. 4). Es handelt sich um relativ schlecht sortierte fein- bis grobkörnige Sande (vgl. FÜCHTBAUER 1988, 128, dortige Abb. 4-18). Nach oben geht die Horizontalschichtung allmählich in Strömungsrippelschichtung über. Die

Abb. 4: In der Bildmitte biegt die Horizontalschichtung schräg nach unten ab; der untere Teil der Horizontalschichtung wurde rechts wieder abgetragen (erodiert). Darüber lagern sich schrägliegende Feinschichten ab; weitere Erläuterungen im Text (Strömung von links).

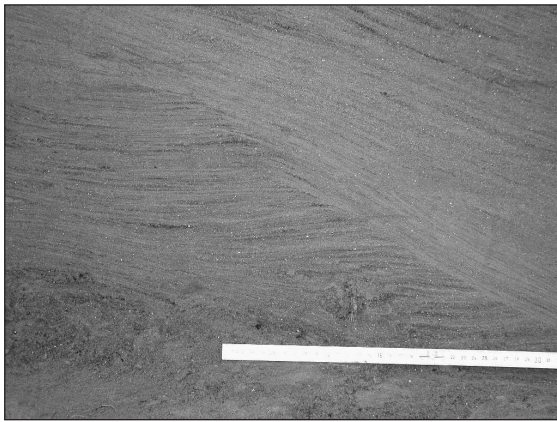


Abb. 5: Übergang nach oben in kletternde Rippeln (climbing ripples; Strömung von links). Bei kletternden Rippeln lagert sich Sediment sowohl an der Vorderseite (luv) als auch an der Rückseite (lee) ab. Hier wird in extremer Weise luvseitig abgelagert; die Rippeln wachsen gegen die Strömung schräg nach oben.

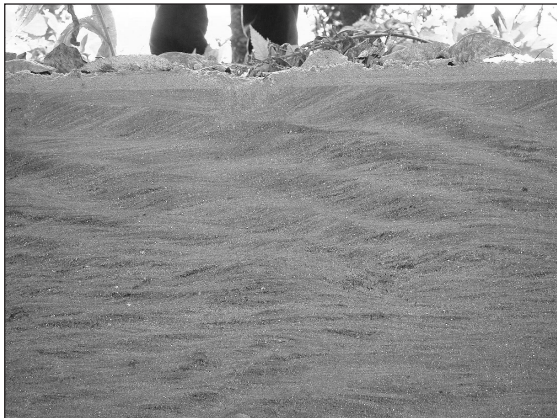


Abb. 6: Ganz unten sehr flache Rippeln. Darüber wird noch einmal einige Zentimeter horizontal-laminierter Sand gebildet. Nach oben endgültiger Übergang in kletternde Rippeln (Strömung von links). Am Top (ganz oben) folgen abschließend ca. 3-4 cm horizontal-geschichtetes Sediment (Erläuterungen im Text).



Mächtigkeit der Rippelschichtung kann über 25 cm betragen. Die Rippellängen liegen zwischen 13 und 20 cm, die Rippelhöhen betragen ca. 1,5-3 cm. Es handelt sich also um Kleinrippeln. In diesem Areal sind generell ansteigende oder kletternde Rippeln ausgebildet (climbing ripples; Abb. 5). Dabei handelt es sich um einen „Extremtyp“ der Strömungsrippeln, um den „Fall der extrem ansteigenden Schrägschichtung“ (FÜCHTBAUER 1988, 787f.). Sie haben keine internen Erosionsflächen mehr; vielmehr wird ausschließlich sedimentiert. Bei den Strömungsrippeln dieser Sandbank handelt es sich wiederum um den exzessivsten Fall kletternder Rippeln. Denn hier wurde besonders stark an der Luvseite (stromaufwärtige Vorderseite der Rippel) sedimentiert.

Den Abschluß der Sedimentbildung markiert

eine horizontalgeschichtete Feinsandlage von einigen Zentimetern, die allerdings nur an manchen Stellen der Sandbank über den kletternden Rippeln abgesetzt wurde (Abb. 6).

Entstehung der Sandbank

Feingeschichtete (laminierte) Sande – rascher und reichlicher Transport. Bei der Horizontalschichtung im unteren Teil der Sandbank handelt es sich um laminierten Sand, der im hochenergetischen Bereich des oberen Strömungsregimes abgelagert wurde, also in „schießendem“ Wasser. Oberes Strömungsregime mit *schießendem* Wasser ist verwirklicht, wenn die Strömungsgeschwindigkeit größer ist als die Grundwellengeschwindigkeit. Dann kann sich eine Wellenbewegung (z.B. ausgelöst durch einen ins Wasser geworfenen Stein) nicht mehr stromauf bewegen. An einer kritischen Grenze, im Bereich des schießenden Wassers, stellt sich eine ebene Sohle ein, deren oberste Zentimeter Sand horizontal bewegt werden. Diese Suspension enthält *mehr als 10 Vol.-% Körner*. Die Körner können nur dann in Suspension bleiben, wenn die (turbulenten) Auftriebskräfte der Sinkgeschwindigkeit das Gleichgewicht halten. Im oberen Strömungsregime stellen solche Suspensionen *quasi komplett transportierte Horizontalschichten dar, da ganze Kornschichten gleichzeitig in Bewegung sind*. Sie bewegen sich wie ein Teppich über den Boden. Wenn genügend Sediment angeliefert wird, entstehen Schichtpakete von laminiertem (feingeschichtetem) Sand. Darum sind in laminiertem Sand alle drei Korngrößen vorhanden (Fein-, Mittel- und Grobsand); sie werden bei dieser Form des Transports und der Sedimentation nur sehr ungenügend sortiert und können abwechselnd feinkörnigere und grobkörnigere Lagen aufweisen (Abb. 7). Für Grobsandtransport kann mit einer Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 1,7 m/sec gerechnet werden (REINECK 1984, 52, 80, 97, 105f.; MIAL 1985, 286; FÜCHTBAUER 1988, 781f., 795; JUNGHANS et al. 1997, 303, 309; RICKEN et al. 1998, 81; AIGNER & ETZOLD 1999, 56).

Schrägliegende Feinschichtung. Es kommen aber auch im horizontalgeschichteten Bereich schräggeschichtete Partien vor; sie sind aber anders ausgebildet als die bekannten Schrägschichtungskörper. In Abb. 4 wurden im unteren Bereich die horizontalen Sandlaminae (Feinschichten aus Sand) durch eine schräggeschichtete Partie abgeschnitten (erodiert). In der Bildmitte ist deutlich erkennbar, daß die horizontalen Feinschichten nach rechts unten abbiegen (Unterschied zu geläufiger Schrägschichtung). Etwa 20 cm weiter oben geht die schräggeschichtete Partie langsam wieder in horizontale Feinschichten über. „Unorganisierte Einschaltungen schräggeschicht-

teter Sande in die horizontallaminierte Abfolge“ werden z.B. aus dem Mittleren Buntsandstein (Untere Trias) von Oberfranken beschrieben. Sie belegen nach MADER (1985) Schwankungen des Energieniveaus mit wechselnder Stabilität der einzelnen Stadien. Im Buntsandstein handelt es sich nach MADER um „episodische und kurzfristige Phasen des hochenergetischen unteren Fließregimes“, die in das noch höherenergetische obere Strömungsregime eingeschaltet sind (189f.). GEHRMANN & AIGNER (2002, 385) beschreiben aus dem Schilfsandstein (Obere Trias) am Jägerhaus bei Heilbronn „horizontal geschichtete Bereiche mit ... Übergang in flach schräg geschichtete Bereiche“. Sie scheinen dies jedoch umgekehrt (!) zu interpretieren, als „Bildung beim Übergang von strömendem zu schießendem Wasser bei Tiefen <0,5 m und Strömungsgeschwindigkeiten um 1 m/sec.“

„Kletternde Rippeln“. In der gesamten Sandbank geht generell die horizontale Feinschichtung nach oben in Strömungsrippelschichtung über, genauer in kletternde Rippeln. Anders als laminierte Schichtung werden Strömungsrippeln im unteren Strömungsregime (strömendes Wasser) gebildet. Bereits einige Zentimeter unterhalb des Beginns der Rippelschichtung kann der Sand sehr flache Rippeln zeigen (Abb. 6). Auch hier könnte es sich um intermittierende (zeitweilig abnehmende) und pulsierende Strömungsenergie unter dem Einfluß turbulenter Wirbel handeln (MADER 1985, 163, 189f.). Sie bewirken gelegentlich wellige und unregelmäßige Horizontalschichtung an der Grenze zum oberen Strömungsregime (vgl. AIGNER & ETZOLD 1999, Abb. 7), während mehr kontinuierliche Verfrachtung bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten vorwiegend zu ebener Horizontalschichtung führt. Darüber (Abb. 6; Bildmitte) können nochmals mehrere Zentimeter laminierter Sand folgen; sie dürften noch einen energiereichen Schwall belegen.

Weiterhin starke Sand-Anlieferung. Kletternde Rippeln entstehen, wenn besonders viel Sand während der Rippelbildung und -verlagerung aus der Suspension herabregnet und abgelagert wird. Auch hier ist die Strömung noch so stark, daß die Körner durch die Turbulenz (Auftriebskräfte) in Suspension gehalten werden. Das ist trotz etwas geringerer Strömung verständlich, da Grobsand (über 0,63 mm Korngröße) bei Rippelbildung nicht mehr beteiligt ist. Rippeln entstehen vielmehr nach FÜCHTBAUER (1988, 790) nur in Grobsilt, Fein- und Mittelsand (0,03-0,63 mm); die Sortierung sollte hier also besser sein. Die Schrägschichtungslaminae sind bogig (konkav) ausgebildet und zeigen unregelmäßigen Kammverlauf (REINECK 1984, 96; FÜCHTBAUER 1988, 790f.; Abb. 2). Sie werden als sog. 3-dimensionale (3 D) Rippeln bezeichnet und weisen (gegenüber 2 D-Rippeln mit geradem Kamm-

Moderne Sedimentologie

Die Forschungsergebnisse an *heutigen* Sedimenten werden zunehmend auf Sedimentgesteine der Erdgeschichte angewendet. Besonders A.D. MIALL entwickelte v.a. in nordkanadischen Flußsedimenten die *Architekturelement- und Lithofazies-Analyse* (z.B. MIALL 1978, 597-603; 1985, 265-297; 1987, 2-6). Sie wird heute hauptsächlich angewendet, zum Teil in modifizierter Form (etwa KRAFT 1992, 18-22; KELLER 1992, 618ff.; MADER 1995, 26ff., 35ff.; KERN & AIGNER 1997, 269-272; JUNGHANS et al. 1997, 287-315; RIECKEN et al. 1998, 81-87; HORNING 1999, 22-43; WEBER 2000, 30-37; GEHRMANN & AIGNER 2002, 384-387). Dabei zerlegt man größere Sedimentstapel mit unterschiedlichen Merkmalen, die in Flußläufen (= fluviatil) entstanden sind, nach ihrer räumlichen Form (Geometrie) in *Architektur-Elemente*.

Diese werden mit 2 Großbuchstaben symbolisiert (z.B. CS = Uferwall-Durchbruchsfächer). Weiter wendet man auf die Sedimente Schichtungsform- und Korngrößen-Analysen an (*Lithofazies-Klassifikation*). Sie werden durch einen *Faziescode* aus Groß- und Kleinbuchstaben symbolisiert (z.B. Sh = Horizontalschichtung oder Sr = Rippeln; vgl. Abb. 9). Die Sedimente ordnet man ferner nach ihren Merkmalen verschiedenen *Flußtypen* zu (vgl. Abschnitt „Entstehung...“).

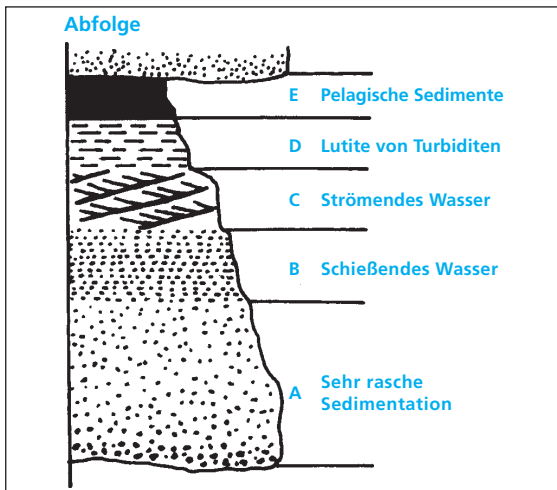
Gegenwärtig werden sedimentologische Arbeitsmethoden (vgl. TUCKER 1996) – zum Teil durch Entwicklung und Einsatz neuer Techniken – weiterentwickelt, etwa in der Tübinger Arbeitsgruppe Sedimentologie (z.B. AIGNER 1995a; b; HORNING & AIGNER 1996; HORNING 1999; ASPRION & AIGNER 2000).

verlauf) auf zunehmende Strömung hin. Die Suspension ist bei Rippelbildung auch weniger dicht als bei laminiertem Sand; sie liegt unter 10 Vol.-%. Bei diesen kletternden Rippeln wird nicht nur am Leehang der Rippel (also stromabwärts) Sand abgelagert, sondern vor allem am Luvhang (also stromaufwärts), so daß die Rippeln gegen die Strömung wachsen. Wachsen die Rippeln steil nach oben, spricht man von „Phasenverschiebung“; bei luvseitiger Anlagerung sind die Rippeln „in Phase“. Das ist hier der Fall; es handelt sich also um den extremsten Fall kletternder Rippeln. Dann ist durch Erhöhung der Suspensionsdichte die bei kletternden Rippeln ohnehin schon große Sedimentzufuhr nochmals erhöht, bleibt aber unter 10 Vol.-% Körner (REINECK 1984, 42-45, 103f.; FÜCHTBAUER 1988, 780,

Abb. 7: *Horizontal-geschichteter Sand unterschiedlicher Korngröße. Schlechte Sortierung, bedingt durch rasche Ablagerung bei reichlicher Sedimentanlieferung.*



Abb. 8: Vollständige Abfolge eines Trübestroms (Turbidit): Unten die größten Sedimente (A). Darüber horizontalgeschichteter (laminierter) Sand (B); diese beiden Schichtglieder entstehen im schießenden Wasser. Die darauffolgende Schrägschichtung und Rippelschichtung (C) erfolgt im niedrigerenergetischen strömenden Wasser. Darüber langsamer abgelagerte laminierte feinkörnige Sedimente (Lutite), die obere Horizontalschichtung (D). Breitet sich heute der Trübestrom auf dem Tiefseeboden aus, dann setzt sich darüber zuletzt sehr langsam Ton als pelagisches (Hochsee) Sediment ab (E). (Nach REINECK 1984)



782, 787f., 790; JUNGHANS et al. 1997, 295, 303-309).

Letzteres ist bei diesem Rippelfeld generell verwirklicht. Dieser Fall kommt nach FÜCHTBAUER (1988, 787f.) praktisch nur bei schnell abgelagerten fluviatilen (= in Flüssen gebildeten) Sandbänken und bei Trübestömen (s.u.) vor. Tatsächlich ähneln die bei FÜCHTBAUER (1988, Abb. 13-37B) abgebildeten „ansteigenden Rippeln“ eines tertiären Trübestroms ganz außerordentlich den kletternden Rippeln der Sandschüttung im Müglitztal; allerdings handelt es sich in diesem Fall (wenn das Foto in der Arbeit von FÜCHTBAUER richtig beschriftet ist) um leeseitige Ablagerung. Kletternde Rippeln werden z.B. auch aus dem Watt der südlichen Nordsee beschrieben (NEWTON & WERNER 1969, Abb. 12), sie sind dort aber selten (REINECK 1970, 72).

Nach FÜCHTBAUER (1988, 869, 872) sind Horizontalschichtung und alle Typen von Rippelmarken, auch kletternde Rippeln, kennzeichnend für verflochtene (= verwilderte) Flüsse. Verglichen mit anderen handelt es sich um die energiereichsten Flußtypen. Kletternde Rippeln können aber auch in Uferdämmen mäandrierender (gewundener) Flüsse entstehen, das heißt bei Hochwasser.

Vergleich mit Trübestömen. Der Hinweis von FÜCHTBAUER (1988, 787f.; s.o.) auf vergleichbare Sedimentstrukturen in fluviatilen Ablagerungen und Trübestömen (Turbiditen) ist bedeutsam. Dabei handelt es sich um hochenergetische, schweregleitende Sedimentströme, die insbesondere im Meer die Kontinentallänge mit Geschwindigkeiten von bis 100 km/Std. hinabgleiten und bei stark nachlassender Strömung auf dem Tiefseeboden

den charakteristische Ablagerungen hinterlassen (REINECK 1984, 278-280; FÜCHTBAUER 1988, 818-824). Jeder Turbidit lagert eine charakteristische Sedimentfolge ab, die nach ihrem Erstbeschreiber BOUMA-Sequenz genannt wird. Sie setzt sich im Idealfall aus 5 Gliedern zusammen, die von unten nach oben feinkörniger werden und mit Buchstaben von A bis E benannt werden (Abb. 8). Dabei wurde die laminierte Lage B noch im hochenergetischen oberen Strömungsregime abgelagert, während das darüber liegende strömungsrippelgeschichtete Schichtglied C schon zum weniger energetischen unteren Regime gehört. Die beschriebenen Hochwasser-Sedimente der Müglitz sind also, obgleich es sich um fluviatil gebildete Sedimente handelt, unter ähnlichen Bedingungen entstanden wie die Turbidit-Lagen BOUMA B und C.

Sandbank maximal in Stunden abgelagert.

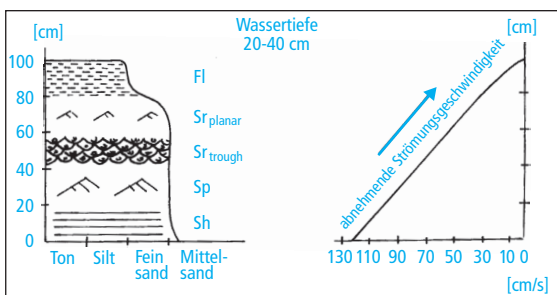
Aus den geschilderten Transport- und Sedimentationsvorgängen geht hervor, daß die Sandbank im Zeitrahmen von höchstens einigen Stunden entstanden ist. Das wird bereits durch die begrenzte Dauer des Hochwassers belegt. Dabei ist zu beachten, daß die steigenden, immer energiereicher werdenden Fluten zunächst nahezu ausschließlich erodierten (vgl. Abb. 1). Ablagerung setzte im wesentlichen erst mit langsam fallendem Energieniveau bei Rückgang des Hochwassers ein. Beispielsweise erreichte die Freiburger Mulde den maximalen Hochwasserstand (bei Freiberg) am Dienstagmorgen (13. 8.). Bis zum Abend fiel der Pegel schon um ca. 50 cm, und am Mittwochvormittag (14. 8) war die Mulde bereits wieder in ihr Flußbett zurückgekehrt (mündl. Angabe eines Augenzeugen).

Abschluß der Sandbank-Bildung. Ganz oben (am Top) der Sandbank findet sich über den kletternden Rippeln stellenweise abermals eine laminierte Lage, die sog. obere Horizontalschichtung (Abb. 6). Sie entspricht bei Trübestömen der BOUMA Sequenz D (s. Abb. 8) und wurde im noch energieärmeren unteren Strömungsregime abgelagert, unterhalb von 30-40 cm/sec Strömungsgeschwindigkeit (s. Abb. 9 und 13; vgl. REINECK 1984, 97.105; FÜCHTBAUER 1988, 781). Diese Lage belegt den nahenden Rückzug des Hochwassers von der Sandbank, also weiter fallende Pegelstände.

Vergleich mit Sedimenten aus Oberkarbon, Trias und Tertiär

Oberkarbonische Sandsteine. Die Abfolge der Müglitz-Sandbank: Horizontalschichtung (oberes Strömungsregime) – Strömungsrippelschichtung (unteres Regime) ist aus zahlreichen fluviatilen Sedimenten der Erdgeschichte bekannt. CONZE (1984, 207) beschreibt sie aus oberkarbonischen

Abb. 9: Schema-Skizze einer Schilfsandstein-Bank am „Märchensee“; die vollständige Abfolge der Sedimentstrukturen ist nur z.T. verwirklicht: Unten Horizontalschichtung (Sh); Übergangsbereich oberes / unteres Strömungsregime) – größere Rippeln (Sp; ab jetzt unteres Strömungsregime) – kleindimensionale gebogene (Sr_{trough}) und gestreckte Rippeln (Sr_{planar}) – obere horizontale Feinschichtung (Fl). Die Strömungsgeschwindigkeit bei der Ablagerung nimmt nach oben ab (rechte Skizze). Oben mutmaßliche Wassertiefe beim Sedimenttransport; weitere Erläuterungen im Text. (Nach AIGNER & ETZOLD 1999)



Sandsteinen. Er deutet die Abfolge als Uferwall-Durchbruchsfächer, die sich nach dem hochwasserbedingten Bruch natürlicher Flußdämme in der Überflutungsebene übereinander stapelten (vgl. FÜCHTBAUER 1988, 873f.; SÜSS et al. 2000, 54f., 62). Nach KRAFT (1992, 20f.) tritt diese Abfolge aber auch in den oberkarbonischen Hauptflußrinnen selbst auf.

Schon vor der Entwicklung der modernen Sedimentologie waren diese Ablagerungselemente z.B. aus pleistozänen (eiszeitlichen) Fluß-Sedimenten bekannt (z.B. BRÜNING 1970, 237).

Fluviatile Sedimente aus Trias und Tertiär.

Uferdammdurchbruch-Ablagerungen werden z.B. aus fluviatilen Sandsteinen der Trias beschrieben: Mittlerer Buntsandstein (WEBER 2000, 46, 53, 57), Unterkeuper- und Schilfsandstein (MADER 1995, 31, 42f. u.a.) oder Kiesel- und Stubensandstein (KERN & AIGNER 1997, 270-272; HORNUNG 1999, 32-34). Aus tertiären Sedimenten sind sie ebenfalls bekannt (Untere und Obere Süßwassermolasse; KELLER 1992, 621-623, 633-635, 639f.; 2000, 60-71). Besonders interessant für den Vergleich mit den Sandbank-Ablagerungen der Müglitz ist die detaillierte Sediment- und Architekturanalyse bestimmter Schilfsandstein- und Stubensandstein-Abfolgen (Mittlerer Keuper; Obertrias), die im folgenden beschrieben werden.

Schilfsandstein im „Märchensee“-Areal.

Übereinandergestapelte Bänke des Schilfsandsteins (Unterer Mittelkeuper) am „Märchensee“ bei Wendelsheim (südwestlich Tübingen) zeigen nach AIGNER & ETZOLD (1999, 58) von unten nach oben „eine regelhafte Abfolge von Sedimentstrukturen“, die „schubweise Sedimentationsereignisse“ widerspiegeln: Horizontale Feinschichtung – groß- bzw. kleindimensionale Rippeln – obere horizontale Lage (Abb. 9). Nach RICKEN et al. (1998, 81) beginnt die Ablagerung jeder dieser aufeinanderfolgenden Bänke mit hoher Strömungsgeschwindigkeit (Meter pro Sekunde) und läßt dann ganz erheblich nach („from meters per second to very low velocities“; Abb. 10). Die Struktur dieser Schilfsandstein-Stapel erinnere stark an Ablagerungen von Überflutungsereignissen, wie sie bei Brüchen natürlicher Flußdämme des Mississippi entstehen. „Eine mögliche Interpretation“ wäre nach AIGNER & ETZOLD (1999, 58) daher die Deutung als Abfolge von Uferdamm-Durchbruchsfächern (Levee-Crevasse-Komplex; RICKEN et al. 1998, 85ff.; vgl. KÖPPEN 1997, 22f., 41, 63, 77). Die Überflutungsareale des Schilfsandsteins haben eine enorme geographische Größenordnung; man nimmt an, daß die „Märchensee“-Sedimentbänke ca. 10-20 km entfernt vom nächsten Schilfsandstein-Strömungskanal (hier: Herrenberg-Strang) in der Überflutungsebene abgesetzt wurden (vgl. RICKEN et al. 1998, Fig. 10; BEUTLER et al. 1999, 150; Abb. 11).



Abb. 10: Die untere Schilfsandsteinbank (unter dem Buch) ist im tieferen Teil annähernd horizontalgeschichtet; sie geht nach oben in Strömungsrippelschichtung über. Aufgelassener Steinbruch am „Märchensee“ (Wendelsheim bei Tübingen).

Aus dem Schilfsandstein am Jägerhaus bei Heilbronn beschreiben GEHRMANN & AIGNER (2002, 399) kletternde Rippeln. Sie äußern in diesem Zusammenhang, der Sandstein habe sich hier „mit teils hohen Sedimentationsraten“ gebildet.

In den gleichen Zeithorizont wie der Schilfsandstein werden die Lunzer Schichten (Österreich; Ostalpen) gestellt. BEHRENS (1972, Abb. 10) bildet daraus deutlich erkennbare kletternde Rippeln ab (ohne sie als solche zu bezeichnen). Interessant ist auch hier, daß das Inventar der Sedimentstrukturen insgesamt auf Trübestrome hinweist (BEHRENS 1972, 70-77; KÖPPEN 1997, 73, 77).

Stubensandstein am Schönbuch. Auch aus dem Mittleren Stubensandstein (Oberer Mittelkeuper) von Herrenberg-Kayh (am Schönbuch) werden kletternde Rippeln beschrieben (JUNGHANS

Abb. 11: Nach RICKEN et al. (1998) und AIGNER & ETZOLD (1999) sind die übereinandergestapelten Schilfsandsteinbänke am „Märchensee“ das Ablagerungsprodukt von enormen Überflutungsereignissen (Wendelsheim bei Tübingen).



Abb. 12: Eine Sandsteinbank, die aus kletternden Rippeln (climbing ripples) aufgebaut ist (rechts vom Hammer). Mittlerer Stubensandstein am Schönbuch (Herrenberg-Kayh).

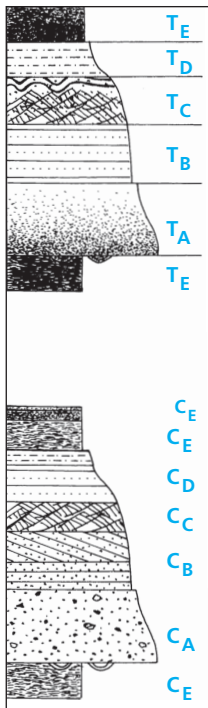


et al. 1997, 303-307; Abb. 12). Sie gehören hier ebenfalls zu sedimentären Architektur-Elementen, die als Uferwall-Durchbruchsfächer gedeutet werden (vgl. JUNGHANS 1998). Ähnlich wie FÜCHTBAUER (s. Abschnitt „Entstehung...“) vergleichen auch JUNGHANS et al. (1997, 303-305, 309) diese Sedimentfolgen mit der BOUMA-Sequenz von Trübestromen (vgl. AIGNER & ETZOLD 1999, 58-60; Abb. 13). Sie sprechen allerdings vorsichtig von einer „idealisierten“ Uferwall-Durchbruchsfächer Sequenz (309) und einem „Trend“ vom oberen zum unteren Strömungsregime. Dabei markiert der horizontal geschichtete Sand das Ende des oberen Strömungsregimes (303) und die kletternden Rippeln die erste Abteilung des unteren Regimes (305).

Resultat der Sediment-Analyse

Müglitz-Sandbank. Was die Sedimentstrukturen (Lithofazies) betrifft, kann die Sandbank mit einem Uferwall-Durchbruchsfächer eines Flusses verglichen werden (vgl. MIAL 1985, 279; 1987, 4). Solche Sediment-Elemente werden außerhalb des eigentlichen Strömungskanals – ein solcher ist das Flußbett der Müglitz – gebildet, und zwar von der Uferwall-Durchbruchsstelle in die Überflutungsebene hinein. Die Müglitz besitzt aber keinen natürlichen Uferwall, möglicherweise wegen künstlicher Umgestaltung in Kulturland. Im Rahmen der Architekturanalyse weist daher die Sandbank keine „Durchbruchs-Geometrie“ auf; eine solche würde sich, ausgehend von der Durchbruchsstelle im Uferwall, fächerförmig in die Überflutungsebene aufweiten (vgl. KELLER 1992, Fig. 7; JUNGHANS 1998). Deshalb kann allenfalls von einer Durchbruchsfächer-ähnlichen Sedimentfolge gesprochen werden, die im strömungskanalnahen (proximalen) Bereich einer Überflutungsebene abgesetzt wurde (vgl. JUNGHANS et al. 1997, 303-305). In Überflu-

Abb. 13: Schematischer Vergleich der Ablagerungselemente eines Trübestroms (Turbidit; oben) mit einem Uferwall-Durchbruchsfächer (crevasse splay; unten) im Stubensandstein von Herrenberg-Kayh (einschließlich kletternder Rippeln in Element C₂). Die Sedimenteinheiten C_B, C_C und C_D des crevasse splay sind auch in der Müglitz-Sandbank verwirklicht; sie entsprechen den Ablagerungselementen T_B, T_C und T_D des Turbidits. (Nach JUNGHANS et al. 1997)



tungsebenen können ohnehin nebeneinander Bereiche mit abweichender Sedimentausbildung unterschieden werden (vgl. Süss et al. 2000, 50, 54).

Enorme Niederschläge und Sedimentationsprozesse in der Erdgeschichte. Neben anderen heutigen Sedimenten liefert die beschriebene Sandbank einen bedeutsamen Beleg für schnelle Ablagerungsereignisse in der Erdvergangenheit. Denn zahlreiche Sandsteine – es wurden Beispiele aus Karbon, Trias und Tertiär genannt – weisen sehr häufig vergleichbare Sedimentstrukturen wie die Müglitz-Sandbank auf. Sie belegen, daß es in der Erdgeschichte sehr oft zu gewaltigen Niederschlägen und Sedimenttransporten kam. Es sei nur erwähnt, daß z.B. PARRISH (1999) für die Trias mit der „Entwicklung eines noch viel extremeren Monsunklimas“ rechnet, „als es derzeit im südlichen Asien herrscht“ (38; s.o. Abschnitt „Einführung...“). Die Autorin spricht von einem „Mega-Monsun“ mit „heftigen Niederschlägen“ und „katastrophalen Überflutungen“ (37). Denn „die Wassertemperaturen

Die Sandbank im Müglitztal liefert einen bedeutsamen Beleg für schnelle Ablagerungsereignisse in der Erdvergangenheit.

Denn zahlreiche Sandsteine weisen vergleichbare Sedimentstrukturen auf.

lagen in diesem Meeresgebiet [Tethys-Meer; einstiges riesiges „Ur-Mittelmeer“] höchstwahrscheinlich deutlich über denen des heutigen Indischen Ozeans und konnten so dem Monsunsystem reichlich warme und feuchte Luft zuführen“ (38). Unter solchen klimatischen Bedingungen mußte es zwangsläufig immer wieder zu ausgedehnter Sedimentbildung unter katastrophischen Umständen kommen.

Dank: Mein besonderer Dank gilt Dipl.-Geol. Dr. Martin ERNST für seine Initiative beim Erkunden der Sedimente und seine Mitarbeit bei den Profilaufnahmen. Ihm sowie Dipl.-Geol. Achim ZIMMERMANN sage ich ebenso herzlichen Dank für das kritische Lesen des Manuskripts und für wertvolle Hinweise. Dr. Reinhard JUNKER danke ich herzlich für wertvolle Hinweise und vielfältige weitere Hilfen. SDG.

Literatur

- AIGNER T (1995a) Arbeitskonzept zur Aquifer-Sedimentologie. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 195, 147-157.
AIGNER T (1995b) „Geologische Zeitmaschinen“: Computer-Simulationen in der Sedimentbecken-Analyse. Jh. Ges.

- Naturkde. Württemberg 151, 83-90.
- AIGNER T & ETZOLD A (1999) Stratigraphie und Fazies der Trias in der Umgebung von Tübingen anhand von Tagesaufschlüssen und Bohrungen. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 81, 47-67.
- ASPRION U & AIGNER T (2000) Fazies- und Georadar (GPR)-Analyse in der süddeutschen Graupensandrinne. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 218, 321-342.
- BEHRENS M (1972) Schwermineralverteilungen und Sedimentstrukturen in den Lunzer Schichten (Karn, Trias, Österreich). Jb. Geol. B.-A. 116, 51-83.
- BEUTLER G, HAUSCHKE N & NITSCH E (1999) Faziesentwicklung des Keupers im Germanischen Becken. In: HAUSCHKE N & WILDE V (Hg) Trias. Mitteleuropa im frühen Erdmittelalter. München, S. 129-174.
- Bilanz (2002) Informationen zum Hochwasser. Aktuelles und Spezielles: Bilanz für die Flussgebiete Weißeritz / Gottleuba, Mulden, Pleiße, Elbestrom. Internet (Stand: 19. 7. 03): http://www.smul.sachsen.de/de/wu/aktuelles_und_spezielles/hochwasser/flussgebiete/
- BRÜNING H (1970) Zur Klima-Stratigraphie der pleistozänen Mosbacher Sande bei Wiesbaden (Hessen). Mainzer Naturw. Arch. 9, 204-256.
- CONZE R (1984) Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine des Ruhrkarbons. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 32, 187-230.
- Einzugsgebiet (2003) Einzugsgebiet obere Elbe. Wasserstand W (cm) / Durchfluss Q (m³/sec.). Internet (Stand: 19. 7. 03): <http://www.umwelt.sachsen.de/lflug/hwz/Elbe/>
- FÜCHTBAUER H (1988, Hg) Sedimente und Sedimentgesteine. Sediment-Petrologie, Teil II. 4. Aufl. Stuttgart.
- GEHRMANN O & AIGNER T (2002) Der Schilfsandstein (Obere Trias) bei Heilbronn (SW-Deutschland): Hinweise auf tidale Einflüsse. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 223, 377-403.
- HEIM D (1970) Zur Petrographie und Genese der Mosbacher Sande. Mainzer Naturw. Arch. 9, 83-117.
- HORNUNG J (1999) Dynamische Stratigraphie, Reservoir- und Aquifer-Sedimentologie einer alluvialen Ebene: Der Stubensandstein in Baden-Württemberg (Obere Trias, Mittlerer Keuper). Tübinger geowiss. Arb. (TGA) 56, 1-156.
- HORNUNG J & AIGNER T (1996) Eine Meßstraße zur integrierten sedimentologischen, Gamma Ray- und Permeabilitäts-Aufnahme von Bohrkernen. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 199, 323-337.
- JUNGHANS W-D (1998) Faziesmodell für Crevasse splays: ein Beispiel aus dem Stubensandstein (Keuper, SW-Deutschland). *Sediment* '98. 13.6.1998. Abstracts (<http://www.geol.uni-erlangen.de/html/sediment98/abstracts/junghans.html>; Stand 19. 7. 03)
- JUNGHANS W-D, AIGNER T & RICKEN W (1997) Fluviale Architektur des Mittleren Stubensandsteins am nordwestlichen Schönbuch (Trias, Baden-Württemberg). N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 204, 285-320.
- KACHELMANN J (2002) Vor uns die Sintflut? In: KENNTEMICH W (Hg) Die Jahrhundertflut. München, S. 26-33.
- KELLER B (1992) Hydrogeologie des schweizerischen Molasse-Beckens: Aktueller Wissensstand und weiterführende Betrachtungen. *Eclogae geol. Helv.* 85, 611-651.
- KELLER B (2000) Fazies der Molasse anhand eines Durchschnitte durch das zentrale Schweizer Mittelland. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 82, 55-92.
- KENNTEMICH W (2002, Hg) Die Jahrhundertflut. München.
- KERN A & AIGNER T (1997) Faziesmodell für den Kiesel-sandstein (Keuper, Obere Trias) von SW-Deutschland: eine terminale alluviale Ebene. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 1997, 267-285.
- KÖPPEN A (1997) Faziesentwicklung in der frühen Obertrias Mitteleuropas – ein sequenzstratigraphischer Vergleich. *Gaea heidelbergensis* 2, 1-233.
- KRAFT T (1992) Faziesentwicklung vom flözleeren zum flöz-führenden Oberkarbon (Namur B-C) im südlichen Ruhrgebiet. DGMK-Bericht 384-6. Hamburg, S. 1-146.
- Landesamt (2002) Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Vorläufiger Kurzbericht über die meteorologisch-hydrologische Situation beim Hochwasser im August 2002. Version 5 v. 2. 12. 2002. Dresden. (Internet)
- MADER D (1985) Diversifikation der fluvialen Rinnenablagerung und Überflutungsebenensedimentation im Mittleren Buntsandstein von Oberfranken (Ostbayern). In: Beiträge zur Genese des germanischen Buntsandsteins. Hannover, S. 141-222.
- MADER D (1995) Taphonomy, sedimentology and genesis of plant fossil deposit types in Lettenkohle (Lower Keuper) and Schilfsandstein (Middle Keuper) in Lower Franconia (Germany). Frankfurt/M.
- MIALI AD (1978) Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: MIALI AD (ed) Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem. 5. Calgary, 597-604.
- MIALI AD (1985) Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Sciences Reviews* 22, 261-308.
- MIALI AD (1987) Recent developments in the study of fluvial facies models. In: ETHRIDGE FG, FLORES RM & HARVEY MD (eds) Recent Developments in fluvial sedimentology. Soc. Eco. Paleontol. Mineral.; SEPM-Spec. Publ. 39. Tulsa, pp 1-9.
- MILITZER S (2002a) Verwundete Heimat – Zeugen und Berichte. In: KENNTEMICH W (Hg) Die Jahrhundertflut. München, S. 90-99.
- MILITZER S (2002b) „Land unter“ – Chronik der Flut. In: KENNTEMICH W (Hg) Die Jahrhundertflut. München, S. 316-333.
- NEWTON RS & WERNER F (1969) Luftbildanalyse und Sedimentgefüge als Hilfsmittel für das Sandtransportproblem im Wattgebiet von Cuxhaven. *Hamburger Küstenforsch.* 8, 1-46.
- PARRISH JT (1999) Pangaea und das Klima der Trias. In: HAUSCHKE N & WILDE V (Hg) Trias. Mitteleuropa im frühen Erdmittelalter. München, S. 37-42.
- Pegel (2002/03) Dohna / Müglitz. Wasserstand in cm / Durchfluss in m³/sec. Internet (Stand: 19. 7. 03): <http://www.umwelt.sachsen.de/lflug/hwz/MP/550940/>
- REINECK HE (1970; Hg) Das Watt. Ablagerungs- und Lebensraum. Senckenberg-Buch 50. Frankfurt/M.
- REINECK HE (1984) Aktuogeologie klastischer Sedimente. Senckenberg.-Buch 61. Frankfurt/M.
- RICKEN W, AIGNER T & JACOBSEN B (1998) Levee-crevasse deposits from the German Schilfsandstein. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 1998, 77-94.
- SCHELLNHUBER HJ (2002) Nicht das Klima spielt verrückt, sondern der Mensch. In: KENNTEMICH W (Hg) Die Jahrhundertflut. München, S. 227-244.
- SCHNEIDER G (1980) Naturkatastrophen. Stuttgart.
- SIMON M (2002) Das Extremhochwasser der Elbe vom August 2002, S. 1-8. (Internet)
- SÜSS M, DROZDZEWski G & SCHÄFER A (2000) Sequenzstratigraphie des kohleführenden Oberkarbons im Ruhr-Becken. *Geol. Jb. A* 156, 45-106.
- Text (2002) Chronologie-Text zum Hochwasser im August 2002. (Internet)
- TUCKER M (1996) Methoden der Sedimentologie. Stuttgart.
- WEBER J (2000) Kieselsäurediagenese und gekoppelte Sedimentarchitektur – eine Beckenanalyse des Reinhardswald-Troges (Norddeutsches Becken, Solling-Folge, Mittlerer Buntsandstein). *Kölner Forum Geol. Paläont.* 7, 3-165.
- WÖHLER H (2002) „War es von Gott gewollt?“ In: KENNTEMICH W (Hg) Die Jahrhundertflut. München, S. 100-108.