



Bearbeitungsstand: 15.09.2024, V. 3

Forschungsprojekt FluviMag: Fluviatiler Transport von Magnetomineralen

Michael Pirrung¹, Martina Kunz-Pirrung²

¹Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena,
Burgweg 11, D-07749 Jena, E-Mail: michael.pirrung@uni-jena.de

²Helmholtz Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Permoser Straße 15, D-04318 Leipzig

Übersicht

[2. Flusssedimente und Liefergesteine](#)

[2.1 Die Rolle der Fließgewässer im Kreislauf der Gesteine](#)

[2.2 Flusssedimente und Liefergebiete](#)

[2.3 Fließgewässer und anthropogene Faktoren](#)

[2.4 Überlegungen zu Fließweg und Magnetomineral-Gehalt](#)

[2.5 Zitierte Literatur](#)

2. Flusssedimente und Liefergesteine

In diesem Beitrag werden einige allgemeine Aspekte zu fluviatilen Ablagerungen und ihr Bezug zu Liefergesteinen und Liefergebieten dargestellt und mit Geländeaufnahmen veranschaulicht. Damit soll eine Einführung in die Untersuchungen im Rahmen des FluviMag Projektes gegeben werden. Auf magnetische Suszeptibilität und fluviale Magnetominerale wird in weiteren Beiträgen näher eingegangen.

2.1 Die Rolle der Fließgewässer im Kreislauf der Gesteine

Über den Kreislauf der Gesteine informieren geologische Lehrbücher wie beispielsweise (GROTZINGER, et al. 2007a). Bei der physikalischen, chemischen und biologischen Verwitterung von Böden und Gesteinen wird das Ausgangsmaterial an oder in der Nähe der Erdoberfläche teilweise gelöst, teilweise werden neue, pedogene Minerale ausgefällt, und zu einem großen Teil wird das Material in kleinere Partikel zersetzt, siehe z.B. (BLUME, et al. 2010).

In Abhängigkeit von Klima, Relief und Landnutzungsaktivitäten des Menschen wird als Folge verschiedener Erosionsprozesse Verwitterungsmaterial im Liefergebiet eines Vorfluters mobilisiert (MIALL 2007). Bei geringem bis mittlerem Relief stammt dieses Material in Zentraleuropa überwiegend aus einem Ober- oder Unterbodenhorizont. In tiefen Kerb- und Kerbsohlentälern, wie sie in Mittel- und Hochgebirgsregionen typisch sind, wird auch das wenig bis nicht verwitterte Ausgangsgestein im Gerinne transportiert, ebenso in Hebungsgebieten mit rückschreitender Erosion. In Gebieten, die während der pleistozänen Eiszeiten vergletschert waren, werden Aufragungen der Festgesteine häufig von Moränenmaterial, Schuttfächern und Solifluktsdecken umgeben. Gelöstes und partikuläres Material wird durch ober- und unterirdisch fließendes Wasser fortgeführt, ein Teil wird auch als Staub ausgeweht.

Der größte Anteil des bewegten partikulären Materials wird in Fließgewässern abhängig von der Korngröße in der Fließrinne rollend oder springend oder als Suspension transportiert, bei

Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit temporär auf Naturdämmen entlang der Flussläufe, auf Kies- und Sandbänken, auf Überflutungsebenen oder in Durchfluss-Seen zwischengelagert, und schließlich in einem terrestrischen Becken, z.B. einem See oder in einem tektonischen Graben, oder im Meer auf dem Kontinentalschelf, abgelagert, siehe u.a. (EINSELE 1992). Daneben erfolgt Materialtransport auch in gelöster Form.

Auf dem Transportpfad vom Liefergebiet zum Meer nimmt der Anteil verwitterungs-resistenter Minerale zu, die „Reife“ des Sediments steigt, gleichzeitig nimmt der Gehalt weniger stabiler Minerale ab, siehe z.B. (TUCKER 1985). Dies erfolgt etwa in umgekehrter Reihenfolge der Kristallisation magmatischer Schmelzen nach dem Bowen'schen Reaktionsprinzip (GROTZINGER, et al. 2007b): von spät kristallisiert und verwitterungsstabil zu früh kristallisiert und weniger stabil ergibt sich für gesteinsbildende Minerale die Reihung von Quarz, Kalifeldspat, Muskovit, Albit-reichem Alkalifeldspat, über Hornblende, Klinopyroxen zu Anorthit-reichem Feldspat, Orthopyroxen, Olivin. Quarz ist besonders verwitterungs- und transportstabil, da er im Gegensatz zu vielen anderen Mineralen keine Spaltbarkeit entlang kristallographischer Ebenen aufweist (VINX 2005) und bei kurzfristiger Spannung durch muscheligen Bruch reagiert.

Neben Quarz sind auch einige weniger häufig vorkommende Minerale, besonders einige Schwerminerale mit einer deutlich höheren Dichte als Quarz, recht stabil, z.B. die eisenfreien Schwerminerale Zirkon, Rutil, potentiell eisenführende Schwerminerale wie Granat, Turmalin, Pyroxen, Hornblende, sowie eisenreicher Ilmenit und Magnetit bzw. Ti-Magnetit, eine Übersicht gibt z.B. (BOENIGK 1983). Aufgrund höherer Dichte sind Schwermineralkörner weniger leicht zu mobilisieren und transportieren als Mineral- und Gesteinskörner gleichen Durchmessers (LI, W., et al. 2017). Durch Wellenschlag am Fluss- oder Meeresufer bei einige Tage konstantem Wasserspiegel mit Abfuhr der leichteren Minerale bilden sich dunkle Seifen aus Schwermineralen, auch in Tälern von Strömungsrippeln können sie sich kurzzeitig oder in Kolken, z.B. vor Hindernissen wie Baumstämmen, auch etwas längerfristig anreichern. Auch bei äolischem Transport kommt es zur Frachtsonderung nach der Dichte (WASMUND 1938).

Außerdem nimmt die Rundung der Körner der Kies- und Sandfraktion mit steigender Transportlänge zu, dagegen bleiben Siltpartikel relativ wenig gerundet, da die Aufprallenergie bei Kollision zweier Körner mit sinkendem Korndurchmesser abnimmt. Auch die Kugeligkeit von Gesteinsbruchstücken und Einzelmineralen nimmt generell zur Mündung des Vorfluters hin zu, wobei leicht suspendierbare Glimmerplättchen bis ins Litoral hinein ihre tafelige Gestalt behalten und zusammen mit feinkörnigerem kugeligem Material abgelagert werden, dies ist an den Ufern vieler Bäche und Flüsse gut zu beobachten.

Nach Ablagerung und zunehmender Verfestigung durch Auflast später abgelagerter Sedimente kommt es zu diagenetischen Veränderungen wie Zementation, Minerallösung und -neubildung sowie Korngrenzenmigration. In geologischen Zeiträumen von Millionen bis Milliarden Jahren kann eine Recyclierung des Materials erfolgen durch Versenkung, Verfestigung, metamorphe Umbildung, Hebung als Folge einer Gebirgsbildung, und erneute Verwitterung und Abtragung können sich anschließen, beschrieben z.B. in (GROTZINGER, et al. 2007b).

Ohne die gleichzeitige Absenkung eines Ablagerungsraumes, Subsidenz, wird fluviatile Material nur kurzzeitig zwischengelagert. Fossile fluviatile Sedimente deuten daher immer auf Subsidenz, hin. In Deutschland sind bedeutende langfristige Senken für fluviatile Fracht z.B. der Bodensee und die Molasse vor der alpinen Front, Grabensysteme wie Oberrheingraben, Neuwieder Becken, Niederrheinische Bucht, durch großräumige Senkung norddeutscher Küstengebiete die Ästuar von Ems, Weser, Elbe, Oder und die vorgelagerten Schelfareale.

[Zurück zur Übersicht](#)

2.2 Flusssedimente und Liefergebiete

Über Flusssedimente gibt es Lehrbücher u.a. von (MIALL 2007), (PETTIJOHN, et al. 1987). Die Ablagerungen von Fließgewässern enthalten Informationen über Erosions- und Transportprozesse, klimatische Variationen und auch die menschliche Entwicklung im Einzugsgebiet. So können aus älteren Flusssedimenten die Gesteinszusammensetzung und - mit Einschränkung - auch die Bodenbildung und das Paläoklima inzwischen abgetragener Regionen ansatzweise rekonstruiert werden. Gelegentlich lassen Sedimentausbildung und Fossilien Rückschlüsse auf die Lebewelt zu, so z.B. Kohlen und Pollen in feinkörnigen Überflutungssedimenten, Spuren von beispielsweise Reptilien, Abdrücke von Regentropfen, oder Hohlräume der ehemaligen organischen Substanz von Algen und Gefäßpflanzen im Travertin, siehe z.B. (KAMRADT 2009).

Die Flussläufe in Deutschland und angrenzenden Bereichen Zentraleuropas haben eine große Vielfalt unterschiedlichster Gesteine in ihren jeweiligen Liefergebieten beprobt. Hier seien als Beispiele nur genannt: kristalline Gesteine im Brockengebiet des Harzes; paläozoische gefaltete siliziklastische Gesteine im Rheinischen Schiefergebirge; diese bedeckende permische Sedimente und Vulkanite im Saar-Nahe-Becken oder Thüringer Wald; mesozoische Karbonate und siliziklastische Ablagerungen, überwiegend flach lagernd, in der Thüringer Mulde und steil gestellt am Harznordrand oder im Weser-Wiehen-Gebirge; känozoische Sedimente z.B. in der Leipziger Tieflandsbucht; känozoische Vulkanite u.a. in der Eifel; ausgedehnte Gebiete pleistozäner Lockergesteine in Norddeutschland und im Alpenvorland; holozäne Auesedimente entlang der Mittel- und Unterläufe der Flüsse. Die Ablagerungen im Unterlauf von Rhein, Weser und Elbe repräsentieren aufgrund der Größe der Liefergebiete der Flüsse ein gutes Abbild der mittleren Zusammensetzung der kontinentalen Oberkruste in Mitteleuropa, siehe auch (HENNINGSEN 1981, WALTER & DORN 2007). Ähnliches gilt für die Loire in Frankreich, die im Südteil des Zentralmassifs in variskischen Metamorphiten und Magmatiten entspringt, das Pariser Becken mit mesozoisch-känozoischen Sedimenten passiert und auf wiederum variskisch deformierten kristallinen Gesteinen des Armorikanischen Massifs in die Bucht von Biskaya mündet (ANONYMUS 1980b).

Durch Löbanwehungen während der quartären Eiszeiten sind häufig insbesondere in quellnahen Bereichen die anstehenden Gesteine Zentraleuropas überdeckt (LAHNER & TOLOCZYKI 2004). Daher finden sich in proximalen Fließgewässern Anteile aus primärem Löß und umgelagertem Lößlehm, Schwemmlöß oder Fließlöß in den Auesedimenten. Diese enthalten i.d.R. holozäne Sedimente und Aueablagerungen, im engeren Sinne für die Ablagerungen aus der Zeit der mittelalterlichen Rodungsphase verwendet. Da Löss im Vorfeld der Gletscher des skandinavischen Eisschildes und der Alpengletscher ausgeweht und bis zu den Mittelgebirgen transportiert wurden, enthält Löß Material sowohl aus Fern- als auch aus Nah-Transport. Sofern keine intensive Bodenbildung der Lössen oder ein Eintrag von vulkanischen Aschen erfolgte, sind sie meist durch helle Farbe und Minerale wie Quarz, Feldspat, Muskovit und Karbonatzement bei geringem oder fehlendem Schwermineral Gehalt charakterisiert.

In einem Flusslauf müssen nicht alle, nachfolgend aufgeführten, Fließsysteme ausgebildet sein und bei Änderungen von Relief, bei rückschreitender Erosion, durch Anzapfen benachbarter Liefergebiete anderer Flussläufe und/oder Klimaänderungen können Fließsysteme sich entlang eines Flusslaufes verschieben. Die im Folgenden genannten Korngrößen können abhängig vom Korngrößenspektrum, das im Liefergebiet durch Zerfall der Ausgangsgesteine bereitgestellt wird, auch variieren.

In den [Abb. 2-1](#), [-2](#), [-3](#), [-4](#), [-5](#), [-6](#) sollen einige Bilder den unterschiedlichen Charakter von Fließsystemen, die im Rahmen dieses Projektes beprobt wurden, entlang eines potentiellen

Transportpfades vom Hochgebirge zum Meer illustrieren. Sämtliche Fotos stammen von den Autoren. Hierbei wurden Aufnahmen aus Gebieten mit vorwiegend geringem anthropogenen Einfluss ausgewählt.

Gerader Lauf

Gerinne mit geradem Lauf in nur einer Rinne sind typisch für Gebirgsregionen. Nahe des Gewässerursprungs in Gebieten starker Hangneigung ist der Lauf geprägt durch den kürzesten Weg ins Tal.

	<p>Episodischer Materialtransport auf geraden Rinnen folgt der Schwerkraft, z.B. als Bergsturz oder Mure, oder längerfristig als Bodenfließen.</p> <p>Piz Champatsch aus gefalteten mesozoischen Bündner Schiefern, von nahe Motta Naluns aus gesehen, bei Scuol, Engadin,; 4.9.2012.</p>
	<p>Badlands an einem Schuttfächer mit geraden Rinnen. Rückschreitende Erosion führt zum Einschneiden der Rinnen in wenig resistente quartäre Lockergesteinsmassen, dagegen wirkt die Vegetation auf flacher geneigten Bereichen des Fächers noch stabilisierend.</p> <p>Blick von Plan da Funtanas oberhalb der Clemgia Schlucht nach Westen, bei Scuol; 15.7.2011.</p>
	<p>Bei Niedrigwasser zeigt dieser gerade Flusslauf eine geringe Tendenz zu verflochtenem Lauf auf dem schmalen steinigen Talboden des Kerbtals am Übergang zu einem Kastental, das zeigt die kleine Rinne rechts der Bildmitte an. Links oben vegetationsfreier Streifen einer Mure, die kurz vor dem Fluss zum Stillstand kam. Hänge bestehen aus quartärem Moränenmaterial und Hangschutt, weiter talwärts auch aus Felssturzmaterial.</p> <p>Tasna Tal oberhalb Pra da Punt, westlich Scuol, Engadin; 3.9.2012.</p>

Abb. 2-1: Gerader Lauf von Fließgewässern.

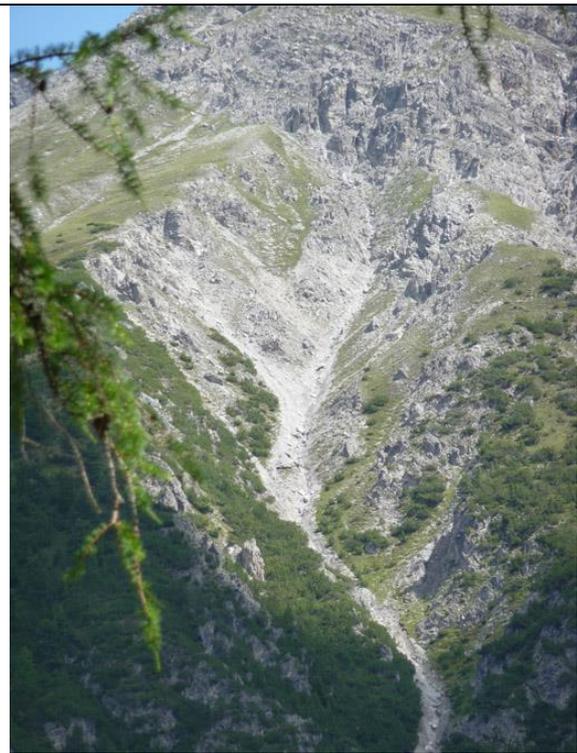
Alluviale Fächer

Auf Alluvialfächern, auch als Schutt- oder Schwemmfächer bezeichnet, zeigen Fließrinnen bei starker Hangneigung geraden Verlauf, bei geringerer Neigung verflochtenen Lauf. Die meist nur flachen Rinnen verlagern sich häufig. Größere Bereiche des Fächers werden nur bei episodischen Schichtfluten als Fließsystem fungieren, ansonsten bleiben sie inaktiv und der Wind bläst oberflächlich Feinfraktion aus. Alluvialfächer lassen sich bezogen auf Hangneigung und Korngrößen in einen oberen proximalen Teil und einen unteren distalen Teil gliedern.



Wiederholte Muren reißen eine vegetationsfreie Schneise auf dem sonst bewaldeten alluvialen Fächer.

Laviner Ruvnad, am steilen Nordwesthang des Piz Mezdi {2727 m ü. M.}, Plavna Tal zwischen Alp Laisch und Resgia Plavna, südwestlich Scuol; 11.7.2011.



Liefergestein und „Nährgebiet“ von Felsstürzen und sich daraus entwickelnden Muren des nach unten folgenden Alluvialfächers ist hier triassischer Dolomit.

Detail aus dem vorigen Bereich; Rinnenanfang bei etwa 2000, Rinnenmündung in die Plavna bei etwa 1520 m ü. M., in 930 m hor. Distanz.

Abb. 2-2: Alluvialer Fächer mit starkem Gefälle.

Zopfstrom

Im verflochtenen Lauf, auch als Zopfstrom bezeichnet, reicht die Transportenergie nur bei Hochwasser dazu aus, Material auf dem gesamten Talboden zu bewegen, während ansonsten einzelne, rasch die Position wechselnde flache Rinnen zwischen longitudinalen, d.h. in Richtung des Talbodens gestreckten Kies- und Sandbänken liegen. Zopfströme haben meist etwas stärkeres Gefälle als mäandrierende Ströme. In den Eiszeiten des Quartärs waren in Mitteleuropa Zopfströme die vorherrschende Fließgewässerform (EHLERS 1994), da die enormen Schuttmassen, die durch Frostsprengung und Bodenfließen talwärts bewegt wurden, von den Schmelzwässern nur episodisch weitertransportiert werden konnten.

	<p>Bei Niedrigwasser mäandriert der Fluss, der hier nur geringes Gefälle hat. Die Rinne im Vordergrund rechts der Bildmitte zeigt, dass bei stärkerer Wasserführung ein verflochtener Lauf entsteht, der bei Hochwasser zu einem geraden Lauf werden dürfte. Liefergesteine sind Gneise und mesozoische Karbonate. Reste von Gebirgsgletschern liefern durch Gesteins-Zerrieb die sogen. „Gletschermilch“, sichtbar als türkise Färbung durch suspendierte Feinfraktion.</p> <p>Unterhalb Plan da Funtanas, unmittelbar oberhalb des Beginns der Clemgia Schlucht in Serpentiniten bei Scuol; 15.7.2011.</p>
	<p>Für diese Sandsteine wird u.a. aufgrund der trogförmigen Schrägschichtung die Ablagerung in einem Zopfstrom in einer wüstenhaften Umgebung angenommen. Die Neigung der schrägen Schichten weist flussabwärts. An der Basis einer Schüttungseinheit schmiegen sich die schrägen Schichten dem Untergrund an, am Top wurden die ehemaligen Rippelkämme durch später abgelagerte Schüttungseinheiten gekappt.</p> <p>Hardeggen Sandstein, Thüringer Chirotherien Sandstein, Mittlerer Buntsandstein; nahe der Rabenschüssel bei Maua südlich Jena; Mai 2009.</p>

Abb. 2-3: Zopfstrom.

Mäandrierender Strom

Der mäandrierende Lauf zeigt infolge der Corioliskraft, auf der Erdrotation beruhend, eine kurvig gebogene Fließrinne, mit Zwischenlagerung in Form longitudinaler Kies- und Sandbänke auf dem flacher geneigten Gleithang und Abtrag auf dem steileren Prallhang, zwischen beiden kann ein gerader Gewässerabschnitt liegen. Die Mäander wandern langsam stromab. Die Bodenfracht wird auf dem Gewässerboden rollend transportiert und besteht aus Kies und Steinen und mitunter auch Sand, letzterer wird zumindest zeitweilig durch Turbulenz auch springend und hinter einem Rippelkamm oder anderem Hindernis kurzzeitig in Suspension transportiert. Der Naturdamm, levee, entsteht als longitudinale Sandbank entlang der Haupttrinne bei episodischen Hochwässern durch die Ablagerung der Sandfracht mit nachlassender Strömungsgeschwindigkeit, z.B. zwischen Baumstämmen von Auewäldern. Dagegen wird die feinere Fraktion als Suspensionsfracht hinter dem levee auf der Überflutungsebene über einen längeren Zeitraum abgesetzt und trägt durch Tongehalt und angelagerte austauschbare Ionen und Organik zur Fruchtbarkeit der Aueböden bei. Bricht bei Hochwasser der Naturdamm, so lagern sich Sande auch hinter dem levee als Fächer in der Überflutungsebene ab (MIALL 2007). Mäandrierende Flüsse können auch in Festgesteinen verlaufen, z.B. wenn die heutigen Täler im Bereich ehemaliger flacher Spülmuldentäler liegen und sich durch Tiefenerosion weiter eingeschnitten haben. Dies ist z.B. im Gebiet der Eifel an dem Fluss Lieser bei Manderscheid zu beobachten.

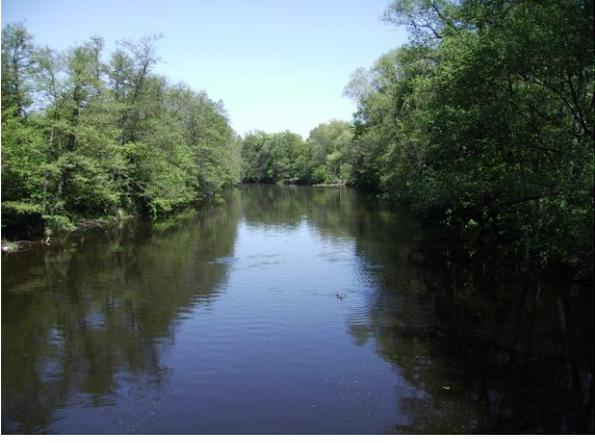
	<p>Kerbtal mit steilem Prallhang, von dem bei Hochwasser durch Abrasion am Hangfuß immer wieder kristalline Schiefer abstürzen, erkennbar an Bereichen fehlender Vegetation. Daher kommen im Flussbett Gerölle unterschiedlicher Transportweite, Korngröße und verschiedenen Rundungsgrades nebeneinander vor. Hier ist die hohe Suspensionsfracht bei Hochwasser an der Wassertrübung gut sichtbar.</p> <p>Inn bei Scuol, Blick von der Gurlaina Brücke; 14.7.2011.</p>
	<p>Rippeltäler von Strömungsrippeln können durch Holz- und Blattreste oder Schwerminerale eine dunklere Färbung haben. Der gegenüberliegende Prallhang wird durch Wurzeln stabilisiert. Die Mittelsandkorngröße stimmt noch recht gut mit der Korngröße der Liefergesteine des Mittleren Buntsandsteins überein. Die helle Farbe des Sandes weist aber darauf hin, dass ursprünglich Körner umhüllender rot färbender Hämatit durch rollenden Transport bereits mechanisch abgetragen worden ist.</p> <p>Roda bei Jena Lobeda; Mai 2009.</p>
	<p>Würde der Mensch nicht eingreifen, wären die Flüsse Mitteleuropas von dichten Auewäldern umgeben. Die Bäume mindern die Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser so stark, dass sich sandige Sedimente auf dem levee absetzen.</p> <p>Saale bei Jena Wöllnitz; 1.5.2007.</p>

Abb. 2-4: Mäandrierender Strom.

Delta

Das Delta besteht aus verzweigten Rinnen und dazwischen liegender Deltaebene mit Organikreichen Ablagerungen, oft mit Seen und Sümpfen. Aus dem Wechselspiel aus Gezeiten, fluviatiler Sedimentzufuhr und küstenparallelem Transport entstehen unterschiedliche Geometrien wie z.B. das Vogelfußdelta. Häufig baut sich das Delta fächerförmig in das angrenzende Becken vor, das sogenannte Gilbert Delta (EINSELE 1992). In den Niederlanden ist die Rheinmündung als Delta ausgebildet, das allerdings durch Deichbau stark verändert worden ist.

Ästuar

Das Ästuar, auch als Trichtermündung bezeichnet, besteht aus einer unverzweigten Haupttrinne als Folge einer zuvor tiefer eingeschnittenen Rinne mit einer ursprünglich weiter

entfernten Mündung, die nach Meeresspiegelanstieg als Folge des Schwindens der nordischen Gletscher stromauf verlagert wurde. In Deutschland sind Elbe-, Weser- und Emsmündung als Ästuar ausgebildet. Im Fall der Elbe spielt für die Rinnengeometrie die Anlage als glaziales Tal zwischen Moränenzügen, z.B. bei Hamburg Blankenese prominent sichtbar, eine große Rolle.



Durch das geringe Gefälle in einem Ästuar mit Aufstau bei Flut bleibt quarzreicher Sand in Form von ausgedehnten Sandbänken hinter einer Insel liegen. Küstenparalleler Transport von ursprünglich in Flüssen angelieferter Gesteinsfracht versorgt die Küsten mit Nachschub an Material, was bei Küstenerosion durch den gegenwärtigen und künftigen Meeresspiegelanstieg eine wesentliche Rolle spielen wird.

Elbe Ästuar, Fähre zwischen Wischhafen und Glückstadt; August 2010.

Abb. 2-5: Ästuar.

Anastomosierender Flusslauf

Der anastomosierende Flusstyp hat Ähnlichkeit mit mäandrierenden Flüssen, verlagert jedoch aufgrund in der Regel geringen Gefälles seine Hauptrinne selten. Die die Hautrinne umgebenden Naturdämme können von Galeriewald bestandenen sein. Als Hintergrund für die geringe Neigung zu seitlicher Verlagerung der Rinne kann ein Meeresspiegelanstieg, der einen mäandrierenden Fluss verändert hat, angenommen werden. Beispiele in Deutschland sind nach Kenntnis der Autoren nicht bekannt.

Litorale Ablagerungen

Litorale Ablagerungsräume zählen nicht zu fluvialen Systemen. Da deren Material wesentlich aus Flusseintrag stammt wurden diese daher im Projekt FluviMag ebenfalls beprobt. Für sandige Korngrößen sind das Litoral und der benachbarte flache Schelf ein wichtiger Ablagerungsraum, während feine Körner vor allem in Richtung Schelfkante und Kontinentalhang bewegt werden.



Eine durch küstenparallele Strömung abgelagerte Sandbank wird von einer mäandrierenden Rinne durchschnitten, die bei Ebbe eine kleine Lagune entwässert. Die steile Kante des Prallhangs wird nach der nächsten Flut stark überprägt werden. Die Sanddünen im Hintergrund bestehen aus Sand, der unter auflandigem Wind bei Ebbe aus dem Vorstrand ausgeweht wurde. Quarz ist Hauptkomponente, der Karbonatgehalt besteht vorwiegend aus Schalenbruch.

Amrum, Seeseite am Badestrand von Norddorf; 3.9.2010.

	<p>Nachdem durch landwärtige Winde Dünen von der seewärtigen Seite zur Landseite der Insel gewandert sind, wird auf der Rückseite Sand, der ursprünglich auf der Seeseite ausgeweht wurde, nach Erosion des Dünenfußes durch Hochwasserereignisse von Gezeitenströmungen weiter umgelagert. Die Rippeln mit rundlichen Kämmen sind Oszillationsrippeln, entstanden durch windbewegte Wellen im Flachwasser.</p> <p>Amrum, Nordspitze nördlich Norddorf; 4.9.2010.</p>
	<p>Im Rückseitenwatt können sich aufgrund der wind- und wellengeschützten Lage ausgedehnte Algenmatten bilden, die das Sediment stabilisieren. Durch hohen Gehalt an Organik ist das sandige Sediment bereits in wenigen Millimetern Tiefe anoxisch. Am Ufer werden Kiesel durch Wellenschlag angereichert, sie stammen aus einem Moränenaufschluß wenige hundert Meter weiter nördlich. Die Küste ist auf der Inselrückseite nicht durch Deiche gesichert.</p> <p>Amrum, Steenodde, nördlich des Restaurants Liekedeeler; 31.8.2010.</p>
	<p>Anders als an den meisten Stränden der Nordsee wird in vielen Bereichen der deutschen Ostseeküste Moränenmaterial an Steilküsten, den Kliffs, erodiert. Durch die Mischung skandinavischer Geschiebe mit lokal anstehenden mesozoischen und tertiären Gesteinen entsteht ein litorales Sediment sehr unterschiedlicher Komponenten.</p> <p>Westlich Boltenhagen; 3.8.2007.</p>

Abb. 2-6: Litoral.

[Zurück zur Übersicht](#)

Liefergebiete und Strömungsdynamik

Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die auf Verwitterung, Materialtransport und Sedimentation einwirken, so z.B. klimatische Faktoren wie Niederschlagsverteilung und -intensität, Reliefgradienten, die zusammen mit der Gesteinszusammensetzung bestimmen, wie viel Material welcher Eigenschaften in Vorfluter gelangt. Im Folgenden sollen nur die Liefergesteine betrachtet werden, da sie die grundlegende Einfluss Größe sind.

Liefergesteine im Einzugsgebiet eines Fließ- oder Küstengewässers bestimmen durch unterschiedliche Verwitterungsresistenz und unterschiedlich schnelle Reaktion auf heutige

oder frühere Bodenbildungsprozesse das Umfeld der Gewässer auf natürliche Weise entscheidend mit, siehe [Abb. 2-7](#):

- enge bis Canyon artige Kerbtäler bilden sich in harten sich schnell hebenden Gesteinsregionen wie z.B. dem Rheinischen Schiefergebirge mit seinen Quarzit-Zügen, Abb. 2-7A, oder weite Kastentäler in weichen Gesteinen wie zum Beispiel mesozoisch-känozoischen Sedimenten im Pariser Becken, Abb. 2-7B;
- Felsburgen und Steilküsten bilden sich neben Härtlingen wie den Graniten der Côte du Granite Rose oder den Quarziten auf der Halbinsel Crozon, Bretagne, Abb. 2-7C, während sich flaches Rückseitenwatt bei sandigen Lockergesteinen der letzten Eiszeit z.B. zwischen den ostfriesischen Inseln und dem eingedeichten Festland erstreckt, Abb. 2-7D;
- grobkörnige kaum gerundete Körner mit kaum veränderter Liefergesteins-Zusammensetzung dominieren in Quellbereichen und Oberläufen von Gebirgsregionen, Abb. 2-7E, während gut gerundete, nach mechanischer und chemischer Stabilität fraktionierte, Körner im Mittel- und Unterlauf der Fließgewässer und an den Küsten vorherrschen, Abb. 2-7F;
- Die Strömungsdynamik sowie mineralogische Zusammensetzung und Korngröße der fluviatilen Geröllfracht ebenso wie die Tonmineralogie der Suspensionsfracht und die Hydrochemie der gelösten Gesteinsanteile haben einen erheblichen Einfluss auf die Eigenschaften der Sedimente, die von Fließ- und Küstengewässern zwischen- und im Litoral und Flachscheff vorläufig endgelagert werden; dies ist nur für die Sandfraktion auf Geländeaufnahmen gut zu demonstrieren, zwei Beispiele zeigen Abb. 2-7G und 2-7H.

Vor allem letzteres gilt insbesondere auch für die Schwermineral Fraktion, zu der beispielsweise der Magnetit als häufiges Magnetomineral gehört. Daher enthält die magnetische Suszeptibilität fluviatiler und auch litoraler Sedimente Informationen sowohl über die Liefergesteins-Mineralogie als auch über die Transportdynamik der Fließ- und Küstengewässer. Dabei spiegeln diese Ablagerungen eine Vielfalt von Prozessen im gesamten Einzugsgebiet wieder, können also Rückschlüsse auf großregionale Vorgänge und Veränderungen geben.



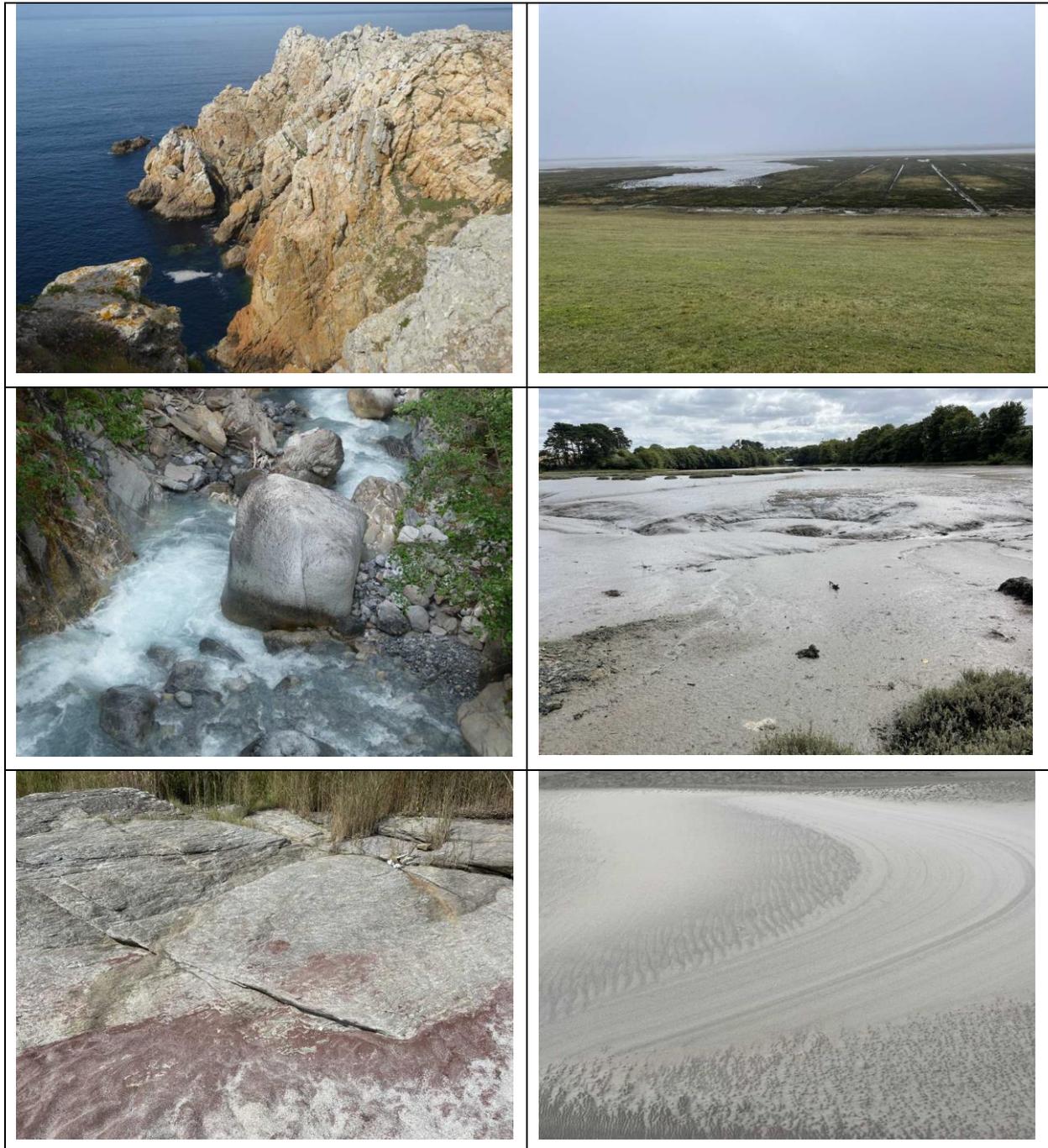


Abb. 2-7: Spannbreite fluviatiler Liefergebiete, Ablagerungsräume und Ablagerungen. Von links oben nach rechts unten: A 1. Zeile links, vorherige Seite, Prallhang und Kerbtal in harten Taunusquarziten, Unterdevon, Saarschleife bei Mettlach, Rheinisches Schiefergebirge; B 1. Z. rechts, vorherige Seite, Prallhang und ausgedehnte Überflutungsebene in relativ weicher Schreibkreide, Oberkreide, Seine bei Les Andelys, Normandie; C 2. Z. li., Steilküste in Quarzit, Ordovizium, Pointe de Pen Hir, Presqu'Île de Crozon, Bretagne; D 2. Z. re., Organik- und Ton-reiche Watt-Ablagerungen, Holozän, Rückseitenwatt Insel Borkum, Ostfriesland; E 3. Z. li., bis mehrere Meter messende Blöcke in alpinem Kerbtal, Clemgia bei Scuol, Unterengadin; F 3. Z. re., ästuarine Tone, Aber Wrac'h südlich Plougerneau, Bretagne; G 4. Z. li., Granat Seife vor deren Liefergestein, Granatglimmerschiefer, Île de Groix, Bretagne; 4. Z. re., Magnetit Seife, rezente sichelförmig gebogene Düne mit nach Sturmflut als Seifen angereicherten und hieraus ausgewehten Lagen von Schwermineralen, Windrichtung und Materialtransport relativ konstant von links nach rechts und Kamm-Verschiebung gegenläufig, vom Charakter her eine Antidüne, Borkum, Ostfriesische Inseln.

2.3 Fließgewässer und anthropogene Faktoren

Naturbelassene Gewässer-Abschnitte sind in den dicht besiedelten Regionen Mitteleuropas selten geworden. Die Eindeichung als Hochwasserschutz für Siedlungen und Industrie und die Nutzung von Energie durch Aufstau für Mühlräder einerseits und Kanalisierung für Schifffahrtsstraßen zum Warentransport andererseits haben seit dem Mittelalter die Dynamik vieler Fließgewässer in erheblichem Maße verändert. Dass Flüsse eine eigene Dynamik haben und nicht starr in ihrem Lauf und Wasserstand festgelegt werden können zeigt sich bei den gravierenden gesellschaftlichen Auswirkungen dramatischer Hochwässer. Wenig anthropogen beeinflusste Fluss Abschnitte mit vor allem weitgehend natürlichen Ufern gibt es beispielsweise noch an der mittleren Loire mit ihren zahlreichen Inseln und Mäandern.

In vielen Gebieten Deutschlands ist es aufgrund der dichten Besiedlung sehr offensichtlich, dass Aktivitäten des Menschen auf die Ablagerungen von Fließgewässern einwirken. Während das Auftreten solcher Einflüsse in den Ablagerungen häufig gut erkennbar ist, etwa durch Backstein-, Glas-, Kunststoff-, Keramik-, Metallbruchstücke usw., ist dagegen das Fehlen solcher Merkmale kein sicheres Indiz für ein unbeeinflusstes Gewässer. Häufig werden Vertiefungen von Fließrinnen durch Abfall und Bauschutt teilweise verfüllt, sowohl in ländlichen wie städtischen Bereichen. Da Verkehrswege oft in der Nähe von Bächen und Flüssen liegen sind durch den Wegebau häufig Fremdgesteine in die direkte Umgebung von Gewässern gelangt, außerdem sind vielfach Ufer mit Fremdgesteinen, Backsteinen, Hochofenschlacken oder Betonbruch befestigt. Diese anthropogenen Einflüsse können unter Umständen mit umweltmagnetischen oder mikroskopischen Methoden nachgewiesen werden, auf jeden Fall erschweren sie das Bestimmen geogener Hintergrundwerte fluvialer Sedimente. Dazu kommt der Einfluss aus dem anthropogenen Eintrag gelöster Inhaltsstoffe, der sich erst durch geochemische Analysen nachweisen lässt. [Abb. 2-8](#) zeigt offensichtliche aber auch weniger gut erkennbare Einflüsse des Menschen auf fluviale Systeme.

Neben solchen punktuellen Quellen führt auch der Luftpfad zu Kontaminationen in Fließgewässern. Seit längerem ist bekannt, dass neben vulkanischem Aschen oder Impaktereignissen, sogenannten Tektiten, auch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in der Bildung magnetischer Kügelchen von 80 bis 650 µm Durchmesser resultiert, siehe z.B. (MARVIN & EINAUDI 1967). In Flugaschen von Stein- und Braunkohlekraftwerken bestehen diese Kügelchen vorwiegend aus ferrimagnetischem Magnetit, Magnesioferrit, Hämatit und Maghemit (MAGIERA, et al. 2011). Diese Partikel konnten auch in weit von bewohnten Gebieten entfernten Regionen wie den Eiskappen Grönlands und der Antarktis beobachtet und in zahlreichen bodenkundlichen Studien nachgewiesen werden. Die Erosion von rezenten Oberböden muss daher zu Einträgen solcher ubiquitärer Partikel in Fließgewässer führen, siehe u.a. (LI, F., et al. 2011).



Bei Hochwasser wird Müll vom überfluteten Ufer mitgerissen. Leider finden sich in vielen Tälern alte, z.T. bis heute genutzte illegale Abfalllager, die im Unterholz vor dem Blick eines Wanderers weitgehend unsichtbar sind. Tatsächlich sind die unsichtbaren Kontaminationen durch u.a. Schwermetalle und organische Schadstoffe für die Organismen in Fließgewässern bedeutsam. Mitunter werden auch Reifen direkt in den Vorfluter geworfen.

Keine Nennung des Ortes, da nur stellvertretend für viele andere Lokationen.



Zur Stabilisierung der Flüsse wurden mindestens ab dem Mittelalter Dämme, hier entlang des befestigten Weges zu erahnen, angelegt. Auf dem Acker ist durch die dunkleren, stärker durchfeuchteten Bereiche zu sehen, dass der heute mäandrierende Flusslauf ursprünglich ein verflochtener Strom war. Deutlicher als in dieser Aufnahme wird dies beim Betrachten von Luftbildern z.B. in Google Earth.

Saale zwischen Bad Kösen und Naumburg;
27.6.2007.



Bei Hochwasser werden die Talauen überflutet und viele abgestorbene Pflanzenteile werden weggespült. Durch den Aufstau an Hindernissen wie z.B. Brückenbauwerken kommt es vor und hinter den Brückenpfeilern zur verstärkten Ablagerung der Sandfraktion, so beispielsweise in Rothenstein an der Thüringischen Saale.

Saale an der Camsdorfer Brücke in Jena;
Hochwasser am 16.1.2011.



Die vom letzten Hochwasser abgelagerten Sande des levees sind am Ufer unter dem linken Brückenbogen erkennbar.

Saale an der Camsdorfer Brücke in Jena;
11.5.2011.



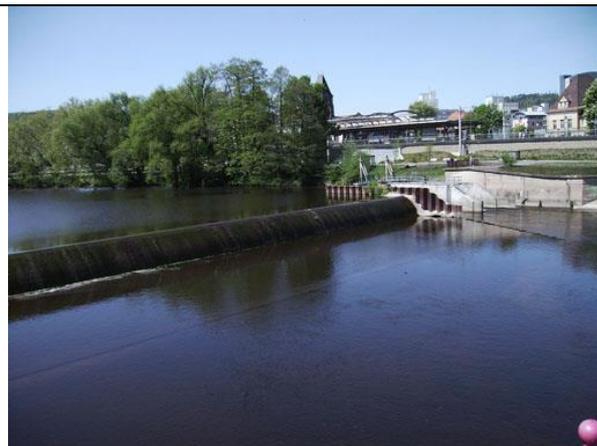
Die longitudinale Sandbank der Bildmitte aus gut sortiertem Mittelsand fällt auf der rinnenabgewandten Seite ab und dahinter lagerten sich bei zurückgehendem Wasserstand feinkörnigere Sande und Silte ab, da die Bäume die Fließgeschwindigkeit verringerten und rollendes und suspendiertes Material liegen blieb. Baumbestandene Auen sind ein guter Schutz gegen Verschlammung von Wohngebieten während der Hochwasserspitzen. Sie sind daher besonders schützenswert.

Detail aus dem vorhergehenden Foto.



Unter Brücken werden Hochwasserablagerungen vor Erosion durch oberflächlichen Abfluss und vor stärkerem Bewuchs geschützt, sodass viele Proben dieses Projektes unter Brücken entnommen werden konnten. Dabei wurde der oberste Zentimeter entfernt, um Kontaminationen über den Luftpfad bzw. eventuelle Sandstrahlarbeiten zu vermeiden.

Ähnlicher Standort wie voriges Bild.



Durch Wehre, ursprünglich meist für einen Abzweig eines Kanals zu einer Mühle angelegt, wird rollende und suspendierte Fracht zwischenlagert bis zum nächsten Hochwasser. Nach Hochwasser wird hier sichtbar, welche Mengen an Holzresten episodisch in einem Fluss transportiert werden. Erst nach Tagen kann eine automatische Reinigungsschaufel diese Massen weiterbefördern. Ein Teil der Schwerminerale bleibt hinter dem Wehr, zusammen mit der Grobfraction, liegen.

Saale, Wehr am Bahnhof Jena Paradies; 1.5.2007.



Durch Verwirbelung führt ein Wehr zur Sauerstoffanreicherung stromab. Vor einem Stauwehr kann es allerdings in nährstoffbelasteten Flüssen aufgrund der langsamen Fließgeschwindigkeit und der Zersetzung organischen Materials aus z.B. kommunalen Abwässern zur Sauerstoffzehrung kommen. Dies soll hier offenbar durch eine Belüftungsanlage verringert werden. Auch Mücken freuen sich über langsame Fließstrecken.

Alzette in der Stadt Luxemburg; 13.9.2007.



Weiden entlang von Bächen bilden wertvolle kleine Biotope, die allerdings wie hier oft nur wenige Meter breit sind. Im Hintergrund zu erahnen ist der begrünte Damm eines Hochwasserrückhaltebeckens.

Ammerbach stromauf Ammerbach bei Jena, weiter Talboden in weichen Mergeln des Pelitröts, Oberer Buntsandstein, unterhalb des Steilhanges aus Kalksteinen des unteren Muschelkalks; 1.5.2008.



In Flüssen, die als Schifffahrtsstraße ausgebaut wurden, dienen Bauwerke mit Blöcken aus verwitterungsresistenten Gesteinen, wie z.B. Basalt oder Hochofen-Schlacken, der Verringerung der Ufererosion. Bei Hochwasser erfolgt zumindest ein geringer Abrieb dieser Gesteine. Hinter Buhnen lagert sich sandiges Sediment ab, sodass hier auch bei steilen befestigten Ufern Proben genommen werden konnten.

Mittelrhein bei Königswinter; 12.8.2010.



Die Saarschleife kann als Paradebeispiel für einen Mäander in Deutschland gelten. In einer engen Mäanderschlinge könnte im Laufe der geologischen Entwicklung nach Durchbruch eines verkürzenden Fließweges und Bildung eines Altarms ein isolierter Zeugenberg entstehen. Der Wasserstand wird durch eine Staumauer mit Schleuse bei Mettlach, etwa 1.5 km stromab, links im Hintergrund verdeckt, reguliert.

Saarschleife oberhalb von Mettlach; 11.9.2007.



In Marschen neben einem Ästuar schützt die Vegetation den Prallhang vor Erosion. Hier gibt es darüber hinaus ein niedriges Dammbauwerk, links als flache Erhebung zu sehen, das vermutlich aus ausgebaggertem Material der Rinne besteht.

Zufluss der Geeste, Radwegbrücke zwischen Schiffdorf und Bremerhaven; 24.6.2006.



Die Hamme fließt südwestlich von Worpswede, nordwestlich von Bremen, mit geringem Gefälle durch ausgedehnte Sümpfe. Obwohl der Eindruck eines naturnahen Lebensraumes entsteht: Das Ufer wird durch Holzplanken vor Wellenschlag gesichert, wenige Meter vom Ufer entfernt erstrecken sich Äcker auf trockengelegten Flächen und vor der Mündung in die Weser liegen zwei Schleusenbauwerke. Trotzdem: sehenswert!

Torfkahn südlich Bootsanleger Neu Helgoland; August 2010.

	<p>Entlang von schiffbaren Ästuaren gibt es zahlreiche Industriebetriebe, die über Luftpfad und Abwässer zur Schadstoffbelastung der ästuarinen Sedimente mit beitragen, wobei in Deutschland strenge Emissions-Grenzwerte die Umweltbelastung minimieren sollen. Molen links der Flussmündung mit vorgesetzter Stahl-Spundwand, rechts auf Pfähle gesetzte Backsteinmauer. Backsteinbruch findet sich auf dem Strand des Strandbades rechts des Leuchtturmes.</p> <p>Bremerhaven, Geestemündung; 13.3.2008.</p>
	<p>In einem Flusswatt lagern sich in geschützten Bereichen siltig-tonige, organikreiche Sedimente ab, die im Intertidal von Algenmatten bedeckt sind. Das Wasser in Ästuaren ist stark getrübt durch die Sedimentmobilisierung in Folge starker Gezeitenströmungen. Die Ausbaggerung der Fahrrinne führt zu erhöhter Fließgeschwindigkeit und sandigeren ufernahen Ablagerungen und wird gelegentlich kritisch diskutiert in Bezug auf die Gefahr höher auflaufender Sturmfluten.</p> <p>Weser bei Nordenham, Blick auf die Stromkaje Bremerhaven; 7.10.2007.</p>
	<p>Küstennahe Hafenbecken neigen durch Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit und Ausflocken von Tonmineralen bei Kontakt von Salz- mit Süßwasser zum Verschlammen. Korrodierte Stahlspundwände tragen zur Kontamination der Sedimente mit Rostpartikeln bei. Hier zeigen sich außerdem Setzungsphänomene des Schlicks unterhalb der schräg gestellten Spundwand.</p> <p>Bremerhaven, ehemaliges Langes Dock, gesehen von der Konrad-Adenauer-Brücke über die Geeste, wenige hundert Meter vor der Mündung in die Weser; 13.3.2008.</p>

Abb. 2-8: Anthropogener Einfluss auf Gewässer, siehe auch die vorherigen Seiten.

[Zurück zur Übersicht](#)

2.4 Überlegungen zu Fließweg und Magnetomineral-Gehalt

Für eine schematische Betrachtung der theoretisch zu erwartenden Trends der Magnetomineral-Gehalte und daraus abgeleitet auch der magnetischen Suszeptibilität, MS, entlang des Abflussweges eines vom Menschen nicht beeinflussten Fließgewässers können hier nur vereinfachende Annahmen. Die Nicht-Schwerminerale haben einen kleineren Einfluss auf die Variation der MS, vor allem durch Verdünnung / Anreicherung. In [Abb. 2-9](#) sind nachfolgende Fallbeispiele schematisch dargestellt.

1. Das Liefergebiet ist bezogen auf Liefergesteine homogen zusammengesetzt und Material-Änderungen gehen auf durch Korn-Korn-Kollision hervorgerufene

Kornzerkleinerung zurück. Dies wäre bei Gewässern geringer Ordnung im Sinne von (STRAHLER 1952) und mergeligem oder karbonatischem Liefergestein vorstellbar. Dabei wird sich der Mineralbestand der fluviatilen Sedimente kaum ändern, allerdings wird es zu Verschiebungen des Magnetomineral-Gehaltes zwischen Sand- und Feinfraktion kommen: aus der Sandfraktion wird ein Teil der Magnetominerale bei zunehmendem Fließweg in die Feinfraktion überwechseln. Dabei spielt auch der hydrodynamische Korndurchmesser eine Rolle (BOBERTZ & HARFF 2004), d.h. feinere Schwerminerale werden aufgrund ihrer höheren Dichte zusammen mit etwas größeren Leichtmineralen transportiert. Außerdem werden sich mechanisch stabile Körner, wie z.B. Quarz mit negativer MS, in der Sandfraktion relativ gegenüber der Feinfraktion anreichern. Es sollte also flussabwärts eine Abnahme der MS in der Sand- und eine Zunahme in der Feinfraktion zu beobachten sein.

2. Das Liefergebiet besteht im Oberlauf aus Gesteinen mit stärkerem Magnetomineral-Gehalt gegenüber denen im Mittel- und Unterlauf. Dies entspräche der Situation in den meisten zentraleuropäischen Mittelgebirgen und ihrem Umland, da in Mittelgebirgen mit variszischer Prägung Vererzungen häufig auftreten, was sich allein schon durch die Konzentration des historischen Erzbergbaus auf diese Gebiete zeigt. Zu erwarten wäre eine generelle Abnahme der MS mit zunehmendem Fließweg in Sand- und nach Abfall leichte Zunahme in der Feinfraktion, letzteres resultierend aus der unter 1. genannte Kornverkleinerung.
3. Ein Hauptvorfluter verändert ab der Mündung eines Zuflusses mit hoher Schwermineral Führung seine Magnetomineralogie. Dieser Fall kann eintreten in Gebieten mit Vulkaniten, die im Oberlauf des Hauptvorfluters nicht vorhanden sind. Zu erwarten ist ab der Mündung ein sprunghafter Anstieg der MS mindestens der Sand-, in geringerem Maße auch der Feinfraktion, für letztere wäre bei im Unterlauf zufließenden Gewässern mit geringer Magnetomineral Führung eine nachfolgende Abnahme zu vermuten.

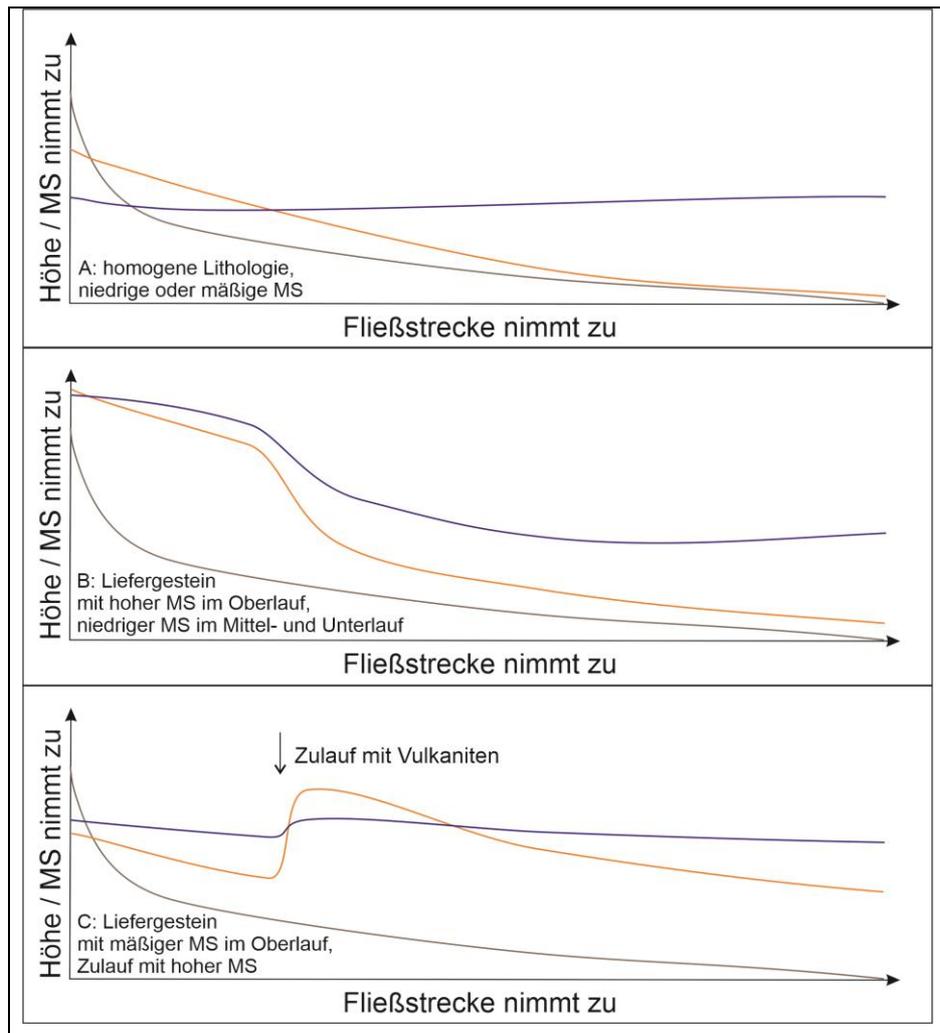


Abb. 2-9: Entlang des Fließweges anzunehmende Änderung der MS durch Veränderungen im Magnetomineral-Gehalt. In braun ist die Höhe des Gewässerspiegels, in orange die MS der Sandfraktion, in blau die MS der Feinfraktion dargestellt. Achsen sind unskaliert, die vertikale Achse wäre nicht linear, Darstellung ist nicht auf tatsächlichen Daten basierend.

Bei zusätzlich punktuell oder flächenhaftem anthropogenem Einfluss in einem Liefergebiet können die MS Variationen entlang des Fließweges stark verändert werden. Anthropogene von den geogenen Faktoren zu trennen ist schwierig. Als Beispiel soll im Folgenden nur die zu erwartende MS Variation im Umfeld eines Wehres oder einer Staustufe betrachtet werden, nur bezogen auf das natürliche Liefermaterial, ohne Einflüsse wie z.B. Rost von Spundwänden usw.. In [Abb. 2-10](#) ist die Situation um den Aufstaubereich schematisch dargestellt. Bei öfter wechselnden Wasserständen wären die Amplituden der MS Kurven insgesamt flacher.

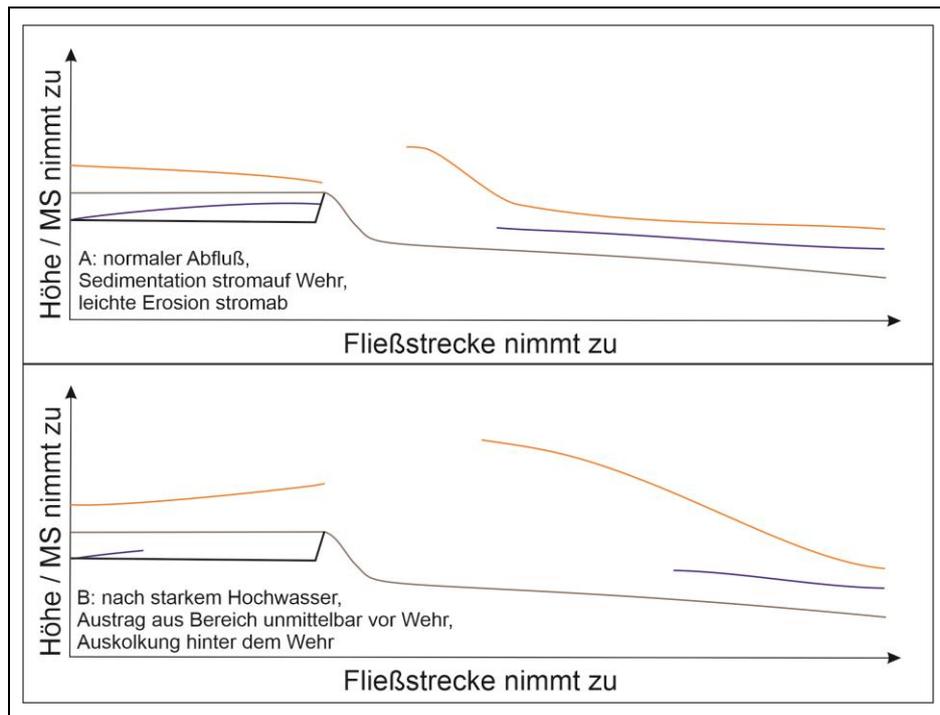


Abb. 2-10: Vor und nach einem Wehr zu erwartende Veränderung in der MS der Kornfraktionen, braun Höhe des Gewässerspiegels, orange MS Sandfraktion, blau MS Feinfraktion, schwarz Gewässerboden vor dem Wehr. Bereiche ohne dargestellte Kurven der Fraktionen wären Zonen mit Austrag der Fraktion, stromab des Wehres bliebe nur die gröbere Fraktion, d.h. Kies und Blöcke, liegen, stromauf käme es zu einer Reduktion der Sediment Mächtigkeit.

[Zurück zur Übersicht](#)

2.5 Zitierte Literatur

- ANONYMUS (1980b): Carte géologique de la France et de la marge continentale à l'échelle de 1/1 500 000, Notice explicative. – Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM); Orléans.
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. – S.; Wiesbaden (Springer Spektrum).
- BOBERTZ, B. & HARFF, J. (2004): Sediment facies and hydrodynamic setting: a study in the south western Baltic Sea. – *Ocean Dynamics*, **54**: 39-48;
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. – 158 S.; Stuttgart (Enke).
- EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. – 358 S.; Stuttgart (Enke).
- EINSELE, G. (1992): Sedimentary basins - evolution, facies and sediment budget. – 628 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2007a): Press/Siever Allgemeine Geologie. – S.; Berlin, Heidelberg, New York (Spektrum).
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2007b): Press/Siever Allgemeine Geologie. – 760 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Spektrum).
- HENNINGSEN, D. (1981): Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland. – S.; Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag).
- KAMRADT, I. (2009): Die thüringischen Travertine - Verbreitung und Genese am Beispiel ausgewählter Vorkommen (Dissertation Friedrich-Schiller Universität Jena). – S.; Aachen (Shaker).

- LAHNER, L. & TOLOCZYKI, M. (2004): Geowissenschaftliche Karte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 2 000 000 - Geologie. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Hannover.
- LI, F., LI, G. & JI, J. (2011): Increasing magnetic susceptibility of the suspended particles in Yangtze River and possible contribution of fly ash. – *CATENA*, **87**: 141-146; Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.019>
- LI, W., HU, Z., ZHANG, W., JI, R. & NGUYEN, T.T.H. (2017): Influence of provenance and hydrodynamic sorting on the magnetic properties and geochemistry of sediments of the Oujiang River, China. – *Mar. Geol.*, **387**: 1-11;
- MAGIERA, T., JABLONSKA, M., STRZYSZCZ, Z. & RACHWAL, M. (2011): Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts. – *Atmospheric Environm.*, **45**: 4281-4290; Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.076>
- MARVIN, U.B. & EINAUDI, M.T. (1967): Black, magnetic spherules from Pleistocene and recent beach sands. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**: 1871-1884; Amsterdam. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(67\)90128-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(67)90128-7)
- MIALL, A.D. (2007): The geology of fluvial deposits - Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. – 598 S.; Berlin (Springer).
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1987): Sand and sandstone. – S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- STRAHLER, A.N. (1952): Dynamic basis of geomorphology. – *Geol. Soc. America Bull.*, **63**: 923–938; Boulder, CO.
- TUCKER, M.E. (1985): Einführung in die Sedimentpetrographie. – 265 S.; Stuttgart (Enke).
- VINX, R. (2005): Gesteinsbestimmung im Gelände. – 439 S.; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- WALTER, R. & DORN, P. (2007): Geologie von Mitteleuropa. – S.; Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- WASMUND, E. (1938): Die Schwermineralagerstätten der deutschen Küsten. – *Geologische Rundschau*, **29**: 287-300; Stuttgart.