



Bearbeitungsstand: 7.03.2013

Forschungsprojekt FluviMag: Fluvialer Transport von Magnetomineralen

Michael Pirrung

Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität Jena,  
Burgweg 11, D-07749 Jena, E-Mail: [michael.pirrung@uni-jena.de](mailto:michael.pirrung@uni-jena.de)

## Übersicht

### [3. Magnetische Suszeptibilität](#)

#### [3.1 Der Parameter magnetische Suszeptibilität](#)

#### [3.2. Magnetisches Verhalten](#)

#### [3.3 Magnetische Korngrößen](#)

#### [3.4 Magnetische Suszeptibilität von Mineralen und Gesteinen](#)

#### [3.5 Anwendungen in der Paläoklima-Forschung](#)

#### [3.6 Anwendungen in der Umweltforschung](#)

#### [3.7 Zitierte Literatur](#)

## **3. Magnetische Suszeptibilität**

### 3.1 Der Parameter magnetische Suszeptibilität

Ausführliche Darstellungen zur magnetischen Suszeptibilität und weiteren umweltmagnetischen Parametern finden sich in z.B. in (THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986) oder (EVANS, M.E. & HELLER, F. 2003). Die magnetische Suszeptibilität = Magnetisierbarkeit eines Sedimentes ist eine physikalische Materialeigenschaft, wie z.B. Dichte, Kompressionswellengeschwindigkeit, Farbreflexion. Wenn ein externes magnetisches Feld  $H$   $\{1 \text{ A m}^{-1}\}$  mit einer Probe in Wechselwirkung tritt, ist die induzierte Magnetisierung  $J$   $\{1 \text{ V s m}^{-2} = 1 \text{ Tesla} = 10\,000 \text{ Gauß}\}$  proportional zum externen magnetischen Feld  $H$  mit der Induktionskonstante  $\mu_0 = 1.256 \cdot 10^{-6} \text{ V s A}^{-1} \text{ m}^{-1}$ .

$$J = \kappa * \mu_0 * H$$

Der Proportionalitätsfaktor  $\kappa$  ist die dimensionslose magnetische Suszeptibilität, ein Materialcharakterisierender Parameter.  $\kappa$  und  $J$  können beide positiv und negativ sein. Die magnetische Suszeptibilität gibt an, wie leicht sich ein Material magnetisieren läßt, z.B. wird ein Eisenstück durch einen angehaltenen Magneten stark magnetisch.

**Volumen-spezifische magnetische Suszeptibilität  $\kappa$ :** Magnetisierung pro Volumen,

Einheit:  $1 \cdot 10^{-6}$  {cgs-System} =  $\{4 \cdot \pi\}^{-1} \cdot 10^{-6}$  {SI-System},

Umrechnung: cgs-Wert \*  $4 \pi$  = SI-Wert.

Die **spezifische magnetische Suszeptibilität  $\chi$**  entspricht der volumen-spezifischen Magnetisierung geteilt durch die Dichte.

$$\chi = \kappa / \text{Dichte} \{m^3 \text{ kg}^{-1} \text{ im SI-System}\}$$

Da bei unzementiertem Lockermaterial das Volumen einer Probe nur mit größerem Aufwand, z.B. mit Pycnometer-Messungen, bestimmt werden kann, wird für diskrete Proben meistens die **massen-spezifische magnetische Suszeptibilität** berechnet:

$$\chi = \kappa \cdot \text{Standardvolumen} / \text{Probengewicht},$$

auch wenn das tatsächliche Volumen, definiert durch die Größe des Probengefäßes, nicht vollständig mit Gesteinspartikeln gefüllt ist. (DEARING, J. 1994) gibt dazu an, dass der Fehler bei der Bestimmung der masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität, gemessen in  $10 \text{ cm}^3$  Dosen, die zu etwa 34 Vol.% gefüllt sind, <3 % ist. Solche Probendosen sollten also mindestens zur Hälfte mit Material gefüllt sein. Da bei gleichkörnigen Sandproben eine maximale Porosität von etwa 30 % auftritt, reicht es also aus, eine Probendose gut mit Lockersediment zu füllen.

Einheit:  $10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  {cgs-System} =  $10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  {SI-System, bei FluvMag verwendet}.

Es sollte in Publikationen immer angegeben werden, ob feuchte oder getrocknete Proben gemessen wurden und wie ggfs. die Dichte bestimmt wurde {z.B. mit Gamma-Strahlung, Pycnometer}.

Die magnetische Suszeptibilität ist der am einfachsten zu bestimmende gesteinsmagnetische Parameter. In dem hier eingesetzten Messgerät Bartington MS2 mit Sensor MS2B, siehe <http://www.bartington.com/ms2-ms3-magnetic-susceptibility-system.html> und (DEARING, J. 1994), wird das magnetisierende Feld über eine Wechselstrom-durchflossene Spule in einer Oszillatorschaltung erzeugt, die eine Frequenzänderung bei Wechselwirkung mit Materie in der Spule registriert. Diese wird nach Hersteller-Kalibration mit Wasser bekannter Suszeptibilität in Werte der magnetischen Suszeptibilität übersetzt (THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986). Damit lässt sich auch ein weiterer Parameter bestimmen, die **Frequenzabhängigkeit  $\kappa_{fd} = \chi_{fd}$  der magnetischen Suszeptibilität:**

$$\kappa_{fd} = \kappa_{lf} - \kappa_{hf} / \kappa_{lf} \cdot 100 \{ \% \} \text{ oder } \chi_{fd} = \chi_{lf} - \chi_{hf} / \chi_{lf} \cdot 100 \{ \% \},$$

mit Index lf für low frequency, d.h. 460 Hz, bzw. hf für high frequency, d.h. 4600 Hz. Hiermit lässt sich der Gehalt an superparamagnetischen Magnetomineralen, SP Partikeln, s.u., abschätzen. Da SP Partikel, die eine hohe Suszeptibilität bei  $\chi_{lf}$  haben, nur kurzzeitig magnetisierbar sind, tragen sie nicht zu  $\chi_{hf}$  Werten bei. Werte für  $\chi_{fd}$  in natürlichen Proben betragen 0 bis maximal 12 % (DEARING, J.A., et al. 1996). Da SP Partikel typisch für pedogene, im Boden neu gebildete, feinstkörnige, d.h. meist <0.03  $\mu\text{m}$  große, Minerale sind, kann der Anteil von aus Bodenerosion stammenden Mineralen in Fluss- und Seesedimenten abgeschätzt werden, siehe z.B. (THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986).

[Zurück zur Übersicht](#)

### 3.2 Magnetisches Verhalten

Materie, die in ein äußeres Magnetfeld gebracht wird, zeigt verschiedene gesteinsmagnetische Eigenschaften, siehe z.B. (FREDERICH, T. 1995), (THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986), {s.a. Tab. 3-1}:

- **diamagnetisch:** In jeder Materie, die sich in einem äußeren Magnetfeld befindet, präzessieren Elektronen um dessen Feldrichtung und erzeugen ein magnetisches Moment, das dem äußeren Magnetfeld entgegengesetzt orientiert ist. Sehr schwach negative magnetische Suszeptibilität,  $\kappa \geq -15 \cdot 10^{-6}$  SI. Karbonate wie Calcit  $\{\text{CaCO}_3\}$ , Dolomit  $\{\text{Ca/Mg}_1\text{CO}_3\}$ ; biogenes Silikat {Opal:  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ }; Fe-freie Silikate wie Quarz  $\{\text{SiO}_2\}$ , Feldspat {Mischkristalle der Endglieder  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ }, Kaolinit  $\{\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}\}$ , wobei Fe hier z.T. in Spuren enthalten ist; Fe-freie Sulfide wie Bleiglanz / Galena  $\{\text{PbS}\}$ ; sowie Wasser, Organik, Plastik.
- **paramagnetisch:** Zusätzlich tritt in Fe-haltigen Mineralen bei Anwesenheit eines äußeren Magnetfeldes eine Ausrichtung der atomaren magnetischen Momente auf, die den diamagnetischen Effekt stark überwiegt. Schwach positive magnetische Suszeptibilität. Fe-führende Silikate wie Pyroxen {Augit:  $\text{Ca/Na}_1\text{Mg/Fe/Al/Ti}_1\text{Si/Al}_2\text{O}_6$ }; Amphibol {Hornblende:  $\text{Ca/Na}_{2-3}\text{Mg/Fe/Al}_5\text{Al/Si}_8\text{O}_{22}\text{OH/F}_2$ }; Olivin  $\{\text{Mg/Fe}_2\text{SiO}_4\}$ ; Tonminerale {Chlorit, Smektit, Glaukonit, Illit mit variablen Zusammensetzungen}; Fe-Karbonat Siderit  $\{\text{FeCO}_3\}$ ; einige Fe-Oxi-Hydroxide wie Lepidokrokit  $\{\gamma\text{FeOOH}\}$ ; einige Fe-reiche Sulfide wie Pyrit  $\{\text{FeS}_2\}$ , Markasit  $\{\text{FeS}\}$ .
- **ferromagnetisch:** in metallischem Fe, Co, Ni sind die magnetischen Momente parallel orientiert = ferromagnetisch i.e.S.. Durch Kopplung der atomaren magnetischen Momente können diese ohne ein äußeres Magnetfeld innerhalb von Teilbereichen eines Kristallgitters antiparallel ausgerichtet sein, so dass keine Magnetisierung besteht, nur bei Anwesenheit eines äußeren Feldes erfolgt eine Magnetisierung in Feldrichtung = antiferromagnetisch; sind die magnetischen Momente nicht exakt antiparallel ausgerichtet, kann auch ohne äußeres Feld eine Magnetisierung bestehen. Sind die parallel bzw. antiparallel orientierten Gitterbereiche nicht gleich groß, resultiert auch ohne äußeres Feld eine Magnetisierung = ferrimagnetisch. Stark bis sehr stark positive magnetische Suszeptibilität. Fe-Ti-Oxide wie Magnetit  $\{\text{Fe}_3\text{O}_4\}$ , Titanomagnetit  $\{\text{Fe}_{3-2}\text{Ti}_{0-1}\text{O}_4\}$ , Haematit  $\{\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3\}$ , Maghaemit  $\{\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3\}$ , Ilmenit  $\{\text{FeTiO}_3\}$ ; Fe-Oxi-Hydroxide wie Goethit  $\{\alpha\text{FeOOH}\}$ ; einige Fe-Sulfide wie Pyrrhotit  $\{\text{Fe}_7\text{S}_8\}$ ; metallisches Eisen.

Da die ferromagnetischen Minerale die magnetischen Eigenschaften eines Gesteins wesentlich bestimmen, werden sie häufig als Magnetminerale bezeichnet (FREDERICH, T. 1995). Nur ferromagnetische und paramagnetische Minerale {ausser SP, s.u.} sind Träger einer remanenten Magnetisierung, d.h. diese Minerale richten sich zum Zeitpunkt der Abkühlung einer Lava unter die sogenannte Curie-Temperatur oder Fixierung infolge stärkerer Kompaktion eines Sedimentes im Erdmagnetfeld aus. Die natürliche Remanenz hat eine große Bedeutung bei paläomagnetischen Anwendungen. Die magnetische Suszeptibilität ist abhängig von der Sedimentzusammensetzung und oft annähernd linear korreliert mit dem Anteil akzessorischer terrigener Magnetminerale (DEARING, J. 1994), deren Konzentrationen in Gesteinen häufig  $<1$  Gew.% sind. Auch die Korngröße von Magnetomineralen hat einen Effekt auf die Werte der magnetischen Suszeptibilität, aber diese Beziehung ist nicht einfach.

[Zurück zur Übersicht](#)

### 3.3 Magnetische Korngrößen

Aufgrund ihres unterschiedlichen magnetischen Verhaltens werden ferromagnetische Partikel in magnetische Kornfraktionen eingeteilt, die nicht mit denen sedimentärer Partikel vergleichbar sind (FREDERICHS, T. 1995). Dabei wird die Korngröße bezogen auf die **Weiss'schen Bezirke**: Domänen mit spontaner einheitlicher Magnetisierungsrichtung, ca. 0.01-0.1  $\mu\text{m}$  groß (THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986).

- **Superparamagnetisch, SP**: sehr stark positive magnetische Suszeptibilität, ultrafeine reine Magnetite  $<0.03 \mu\text{m}$ , Titanomagnetite  $<0.08 \mu\text{m}$ . Der Anteil an diesen Körnern kann durch Messungen der Frequenzabhängigkeit der magnet. Suszept. ermittelt werden, s.o.. Diese Partikel sind typisch für pedogene Minerale; sie sedimentieren aufgrund ihrer geringen Größe nicht bei Anwesenheit von Strömungen.
- **single-domain, pseudo-single domain, PSD**: ihre Korngröße liegt zwischen ca. 0.1 und 0.5  $\mu\text{m}$ , die meisten Magnetominerale in Sedimenten haben der Literatur zufolge diese Korngröße.
- **multi-domain, MD**:  $>0.5 \mu\text{m}$ , „magnetische Grobfraction“, z.B. in glazigenen Sedimenten oft  $>15 \mu\text{m}$ .

Die magnetische Korngröße kann aus einer Reihe von gesteinsmagnetischen Parametern abgeschätzt werden, siehe z.B. (THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986). Aus der magnetischen Korngröße kann jedoch nicht direkt auf die tatsächlich transportierte Korngröße sedimentärer Partikel geschlossen werden, da Magnetominerale entweder als isolierte Kristalle, als Aggregat mehrerer Magnetominerale, als feine Verwachsung z.B. mit Ilmenit (WILLIAMS, T., et al. 1996), in Suspension z.T. angelagert an Tonpartikelflocken (HESLOP, D., et al. 2006) oder eingeschlossen in Gesteinsfragmenten vorliegen können. Hier kann z.B. die Extraktion der Magnetominerale mit einem starken Permanentmagnet und anschließende Rasterelektronenmikroskopische Analyse (VON DOBENECK, T., et al. 1987) genauere Aussagen ermöglichen. Unter reduzierenden Bedingungen, z.B. in organikreichen lakustrinen, also in Seen gebildeten, oder marinen Sedimenten, kann durch Magnetit-Lösung vor allem der Anteil an SP-Partikeln abnehmen (FREDERICHS, T., et al. 1999). Im Umkehrschluß belegt ein erhöhter Anteil an SP-Partikeln das Fehlen von Magnetit-Lösung und ist damit ein Indiz für oxische Bedingungen im Sediment, wie sie z.B. auch durch Bioturbation angezeigt wird. (TRAUTH, M.H. 1995)

Bei Strömungstransport ist die hydrodynamisch effektive Korngröße von Magnetomineralen zu beachten. Aufgrund der hohen Dichte  $\{5.1 \text{ bis } 5.2 \text{ g cm}^{-3}\}$ , siehe z.B. <http://www.mindat.org/min-2538.html>, hat z.B. ein Magnetitkorn eine größere hydrodynamisch effektive Korngröße als ein Quarzkorn  $\{2.6 \text{ g cm}^{-3}\}$  von gleichem Durchmesser. Nach Soulsby 1997, zit. in (BLACK, K.S., et al. 2007), befindet sich ein 30  $\mu\text{m}$  großes Magnetitkorn hydrodynamisch im Gleichgewicht mit einem 200  $\mu\text{m}$  großen Quarzkorn. Siltkorn-grosse Magnetit-Körner werden also oft zusammen mit der Feinsandfraktion transportiert.

[Zurück zur Übersicht](#)

### 3.4 Magnetische Suszeptibilität von Mineralen und Gesteinen

Tabellen mit Werten der spezifischen magnetischen Suszeptibilität von Mineralen und der masse-spezifischen Suszeptibilität von Gesteinen finden sich u.a. in (DEARING, J. 1994; THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. 1986), (EVANS, M.E. & HELLER, F. 2003).

Verhalten	Material	$\chi \{10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ SI}\}$
diamagnetisch	Wasser	-9
	Halit	-9
	Quarz	-6
	Calcit	-5
	Feldspat	-5
	Plastik	-5
	Kaolinit	-2
paramagnetisch	Montmorillonit	50
	Lepidokrokit	70
	Illit	150
	Pyrit	300
	Biotit	50-950
	Pyroxen	50-1000
	Amphibol	160-1000
	Siderit	1000
	Olivin	10-1300
	ferromagnetisch	Haematit
Goethit		700
Ilmenit		2 000
Magnetit		500 000
Eisen		200 000 000

Tab. 3-1: Spezifische magnetische Suszeptibilität einiger Materialien, zusammengestellt nach (Thompson, R. & Oldfield, F. 1986).

In Fe-reichen Gesteinen, wie z.B. Basalten und Metabasalten, treten hohe Werte der magnetischen Suszeptibilität auf, während z.B. Karbonate meist sehr niedrige Werte aufweisen. Wichtig bei dem Vergleich mit Tabellenwerten von Gesteinen ist, dass diese Schwankungsbereiche oder Mittelwerte darstellen, die im Einzelfall erheblich von spezifischen Gesteinsproben eines Gebietes abweichen können.

Beispiel	$\chi \{10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ SI}\}$
Serpentinit	{310-17 000}
Basalt	1 800 {31 000}
Gabbro	1 000 {3 800-11 000}
Granit	200 {70-130}
Siltstein	200 {45}
Sandstein	100 {25-50}
Ton	100
Gneiss	50
Mergel	{20-40}
Quarzit	{-3}
Kalkstein	<1 {-4}

Tab. 3-2: Magnetische Suszeptibilität ausgewählter Gesteine, zusammengestellt nach (Thompson, R. & Oldfield, F. 1986); in {} Beispiele aus Dredge PS55/075 {Nordhang Molloy Deep, Grönland See}, (PIRRUNG, M., et al. 2004).

[Zurück zur Übersicht](#)

### 3.5 Anwendungen in der Paläoklima-Forschung

Die häufigste Anwendung von magnetischer Suszeptibilität liegt sicher in der Korrelation von Sedimentkernen. Bei den internationalen wissenschaftlichen Bohrprogrammen in den Ozeanen wie DSDP, <http://www.deepseadrilling.org/>, ODP, <http://www-odp.tamu.edu/>, und IODP, <http://www.iodp.org/>, aber auch auf den Kontinenten, wie ICDP, [http://www.icdp-online.org/front\\_content.php](http://www.icdp-online.org/front_content.php), wird dieser sedimentphysikalische Parameter, meist zusammen mit Dichte, Schalllaufzeiten von p-Wellen und Sedimentfarben mit Hilfe von Kernmessbänken, z.B. MultiSensorCoreLoggern (WEBER, M.E., et al. 1997), zur Korrelation von Kernen einer Bohrlokation und zum Verspleissen der Daten zu einem sogenannten composite log verwendet. Grundlage hierfür ist, dass die sedimentphysikalischen Daten als Hinweis auf Materialänderungen hochauflösend gemessen werden.

Darüberhinaus kann die magnetische Suszeptibilität auch zur Korrelation mehrerer Sedimentkerne in einem Ablagerungsbereich, einem Sedimentbecken, ggfs. auch benachbarter Becken mit ähnlichen klimatischen Bedingungen und Liefergesteinen, herangezogen werden. Werden z.B. Sauerstoffisotopen in Schalen von Foraminiferen gemessen, und die gegen die Sedimenttiefe aufgetragene Isotopenkurve an eine Masterkurve angepasst, z.B. im marinen Bereich die an orbitale Zyklizität ausgerichtete SPECMAP Kurve (IMBRIE, J., et al. 1993), lässt sich ein Altersmodell mit Alters-Tiefen-Beziehung erstellen. Dieses kann dann auf weitere Sedimentkerne übertragen werden, sofern in allen Kernen ähnliche Kurven der magnetischen Suszeptibilität auftreten, wie z.B. im pleistozänen Südatlantik (SCHMIEDER, F., et al. 2000). In lakustrinen Sedimenten kann ähnlich vorgegangen werden.

Im Gegensatz zu beispielsweise Sauerstoffisotopen und Jahreslagenmächtigkeiten in Gletschereis, also akkumulierten Paläoniederschlägen, siehe u.a. (JOHNSEN, S.J., et al. 2001), hat die magnetische Suszeptibilität nicht den Charakter von Stellvertreterdaten, sogenannten Proxies. Aus einzelnen Proxies, vor allem aber aus einer Kombination von Proxies, den Multiproxies, lassen sich nach Kalibration mit heutigen bzw. historischen atmosphärischen oder ozeanischen Daten klimatische Größen wie Paläo-Niederschlag, -Temperatur, -Luftfeuchte, -Luftdruck, -Windrichtung und -stärke berechnen. Diese paläoklimatischen Daten sind von großer Bedeutung für Klimamodellierungen, da Modelle zur Vorhersage künftiger klimatischer Verhältnisse in der Lage sein sollten, auch verschiedene klimatische Situationen der Erdgeschichte darzustellen.

In Kombination mit Proxies und weiteren materialcharakterisierenden Untersuchungen kann jedoch auch die magnetische Suszeptibilität wertvolle Hinweise auf das Paläoklima geben. So zeichnen sich äquatoriale atlantische Sedimente während der Glaziale durch erhöhten Staubeintrag aus der Sahara aus, der über erhöhte Werte der magnetischen Suszeptibilität nachweisbar ist und zusätzlich durch Karbonatlösung verstärkt wird (BLOEMENDAL, J., et al. 1992). Noch höher auflösende paläoklimatische Daten konnten aus Sedimenten zwischen den Faeroer und Shetland Inseln (RASMUSSEN, T.L., et al. 1996) bzw. in der Dänemarkstraße zwischen Ostgrönland und Island gewonnen werden (VOELKER, A., et al. 2000), wo während der etwa 1500 Jahre andauernden Weichsel-zeitlichen Warmphasen, den Interstadialen, hohe Werte der magnetischen Suszeptibilität mit leichten Sauerstoffisotopen korrespondieren im Gegensatz zu Kaltphasen, den Stadialen, mit geringen Suszeptibilitäten und schweren Sauerstoffisotopen. In lakustrinen Sedimenten können aufgrund der oft noch höheren Sedimentationsraten sogar dekadische Variabilitäten der magnetischen Suszeptibilität und Aschelagen von Vulkanausbrüchen beobachtet werden, z.B. im Holzmaar (ZOLITSCHKA, B. 1998) und Meerfelder Maar (BRAUER, A., et al. 1999) im quartären Vulkanfeld der Westeifel.

Interglaziale bzw. interstadiale Bodenbildungen in Lößprofilen lassen sich durch erhöhte Werte der magnetischen Suszeptibilität gut nachweisen (EVANS, M.E. & HELLER, F. 2001),

z.B. in Sachsen (MESZNER, S. 2008), und teilweise mit Phasen geringeren Staubgehalts in Eiskernen korrelieren (PETIT, J.R., et al. 1990).

Die magnetische Suszeptibilität von Oberflächensedimenten, z.B. im equatorialen und südlichen Atlantik (SCHMIDT, A.M., et al. 1999), kann helfen, den Variationen dieses Parameters in Sedimentkernen Änderungen in Transportpfaden und Strömungsgeschwindigkeiten zuzuordnen. Da umweltmagnetische Messungen selten mit direkten granulometrischen oder Rasterelektronen-mikroskopischen Messungen (VON DOBENECK, T., et al. 1987) verglichen werden, gehen die meisten Veröffentlichungen von Annahmen über relative Korngrößenänderungen aus, die an Reinsubstanzen von z.B. Magnetit gewonnen wurden. Untersuchungen an Oberflächensedimenten im Europäischen Nordmeer (FREDERICH, T. 1995; PIRRUNG, M., et al. 2002a) zeigen, dass entgegen häufigen Annahmen die vorherrschenden Korngrößen der Magnetminerale dort nicht im Ton- sondern im Siltbereich liegen. Dies ändert zwar grundsätzlich nichts an den aus umweltmagnetischen Messungen rekonstruierten Aussagen zu relativen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten, könnte aber für Modellrechnungen bedeutsam sein. Auch Driftpfade von Eisbergen lassen sich über Messungen der magnetischen Suszeptibilität an Oberflächensedimenten bei bekannter Zusammensetzung der Gesteine in potentiellen Liefergebieten rekonstruieren (PIRRUNG, M., et al. 2002b; WATKINS, S.J. & MAHER, B. 2003).

	<p>Idiomorphe Magnetit Oktaeder als isolierte Magnetminerale; PS2837-5, 5.0 m.</p>
	<p>„Lösungskarren“ auf einer Kristallfläche eines oktaedrischen Magnetit-Kristalls; PS2837-5, Teufe 1.62 m.</p>
	<p>Beginnende Kantenrundung an einem rhombendodekaedrischen Magnetitkristall; PS2837-5, Teufe 5.0 m.</p>

Abb. 3-1: Siltkorn-große Magnetite in Oberflächensedimenten der Framstraße, Kern PS2837-5, Expedition ARKXXV-III/2. Extraktion der Magnetminerale mit Permanentmagnet, Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Ute Bock, Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven.

[Zurück zur Übersicht](#)

### 3.6 Anwendungen in der Umweltforschung

Viele Anwendungen der magnetischen Suszeptibilität im Umweltsektor befassen sich mit der Frage der Schwermetallbelastung. Hierbei werden Messungen der magnetischen Suszeptibilität mit weiteren umweltmagnetischen Messungen und/oder Bestimmungen der Schwermineralgehalte bzw. Schwermetallgehalte kombiniert. Magnetische Kügelchen und Aggregate aus der Verbrennung von Braun- und Steinkohle, der Zement- und Koksproduktion sowie der Erzaufbereitung lassen sich weltweit in Oberböden nachweisen, z.B. bei Bitterfeld in Sachsen-Anhalt (FÜRST, C., et al. 2010), in Österreich (MAIER, G. & SCHOLGER, R. 2004) und in Polen (MAGIERA, T., et al. 2011). Andere Untersuchungen erfolgten an Oberflächensedimenten in Hafenbecken in England (VERSTEEG, K.J., et al. 1995), an Blättern von Laubbäumen entlang von Verkehrswegen in England (HANSARD, R., et al. 2011), an Kiefernnadeln im Schwarzwald und in Böden entlang von Straßen bei Tübingen, Baden-Württemberg, siehe <http://www.geophysics.uni-tuebingen.de/index.php?id=53>, von Staub auf Straßenbelägen und Dächern in Londons Umgebung (BECKWITH, P.R., et al. 1990), von Staub im Schnee entlang südfinnischer Straßen (BUCKO, M.S., et al. 2011), an Auspuffgasen in China (LU, S.-G., et al. 2005). Darüberhinaus werden Böden von archäologischen Objekten untersucht, siehe z.B. (KLEIN, T., et al. 2012).

Untersuchungen zum Schwermetallgehalt an Spinnweben, wie sie beispielsweise von (RACHOLD, V., et al. 1992) veröffentlicht wurden, können ebenfalls mit Messungen der magnetischen Suszeptibilität kombiniert werden, hierzu sind zusammen mit D. Merten bereits mehrere Projektmodule bzw. B.Sc. Arbeiten am Institut für Geowissenschaften der Friedrich-Schiller Universität Jena durchgeführt worden (GOLL, S. 2009; MEYER, J. 2009; PASALIC, S. 2009; WITT, R. 2009).

[Zurück zur Übersicht](#)

### 3.7 Zitierte Literatur

- BECKWITH, P.R., ELLIS, J.B. & REVITT, D.M. (1990): Applications of magnetic measurements to sediment tracing in urban highway environments. *The Science of the Total Environment*, 93: 449-463.
- BLACK, K.S., ATHEY, S., WILSON, P. & EVANS, D. (2007): The use of particle tracking in sediment transport studies: a review. In: BALSON, P.S. and COLLINS, M.B. (ed.); 73-91; Geological Society of London, Special Publications, London.
- BLOEMENDAL, J., KING, J.W., HALL, F.R. & DOH, S.-J. (1992): Rock magnetism of late Neogene and Pleistocene deep-sea sediments: relationship to sediment source, diagenetic processes, and sediment lithology. *Journal of Geophysical Research*, 97: 4361-4375.
- BRAUER, A., ENDRES, C., GUNTER, C., LITT, T., STEBICH, M. & NEGENDANK, J.F.W. (1999): High resolution sediment and vegetation responses to Younger Dryas climate change in varved lake sediments from Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary Science Reviews*, 18: 321-329.
- BUCKO, M.S., MAGIERA, T., JOHANSON, B., PETROVSKÝ, E. & PESONEN, L.J. (2011): Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical and micro-morphological analyses. *Environmental Pollution*, 159: 1266-1276.
- DEARING, J. (1994): Environmental magnetic susceptibility - using the Bartington MS2 system. 1. ed.; 1-104; Chi Publishing, Kenilworth, UK.



- DEARING, J.A., DANN, R.J.L., HAY, K., LEES, J.A., LOVELAND, P.J., MAHER, B.A. & O'GRADY, K. (1996): Frequency-dependant susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International*, 124: 228-240.
- EVANS, M.E. & HELLER, F. (2003): *Environmental magnetism - principles and applications of enviromagnetics*. 1. ed.; 1-299; Academic Press, Amsterdam, Boston etc.
- EVANS, M.E. & HELLER, F. (2001): Magnetism of loess / palaeosol sequences: recent developments. *Earth-Science Reviews*, 54: 129-144.
- FREDERICHS, T. (1995): Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis. *Berichte zur Polarforschung*, 164: 1-212.
- FREDERICHS, T., BLEIL, U., DÄUMLER, K., VON DOBENECK, T. & SCHMIDT, A.M. (1999): The magnetic view on the marine paleoenvironment: parameters, techniques and potentials of rock magnetic studies as a key to paleoclimate and paleoceanographic changes. In: FISCHER, G. and WEFER, G. (ed.); 575-599; Springer, Berlin, Heidelberg.
- FÜRST, C., ZIRLEWAGEN, D. & LORZ, C. (2010): Regionalization of Magnetic Susceptibility Measurements Based on a Multiple Regression Approach. *Water, Air, & Soil Pollution*, 208: 129-151.
- GOLL, S. (2009): *Schwermetalle im Schwebstaub im Stadtgebiet Jena*. Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität Jena.
- HANSARD, R., MAHER, B.A. & KINNERSLEY, R. (2011): Biomagnetic monitoring of industry-derived particulate pollution. *Environmental pollution*, 159: 1673-1681.
- HESLOP, D., WITT, A., KLEINER, T. & FABIAN, K. (2006): The role of magnetostatic interactions in sediment suspensions. *Geophysical Journal International*, 165: 775-785.
- IMBRIE, J., BERGER, A., BOYLE, E.A., CLEMENS, S.C., DUFFY, A., HOWARD, W.R., KUKLA, G., KUTZBACH, J., MARTINSON, D.G., MCINTYRE, A., MIX, A.C., MOLFINO, B., MORLEY, J.J., PETERSON, L.C., PISIAS, N.G., PRELL, W.L., RAYMO, M.E., SHACKLETON, N.J. & TOGGWEILER, J.R. (1993): On the structure and origin of major glaciation cycles - 2. the 100,000-year cycle. *Paleoceanography*, 8: 699-735.
- JOHNSEN, S.J., DAHL-JENSEN, D., GUNDESTRUP, N., STEFFENSEN, J.P., CLAUSEN, H.B., MILLER, H., MASSON-DELMOTTE, V., SVEINBJÖRNSDOTTIR, A.E. & WHITE, J. (2001): Oxygen isotope and paleotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science*, 16: 299-307.
- KLEIN, T., KRETSCHMER, S., STÄUBLE, H., TINAPP, C. & ZIELHOFER, C. (2012): Eine geophysikalisch-bodenkundliche Untersuchung des oberflächennahen Untergrundes im Grabungsumfeld einer linienbandkeramischen Siedlung des zukünftigen Braunkohleabbaufeldes Peres/Vereinigtes Schleenhain. *Gemeinsame Jahrestagung des AK Geoarchäologie und der AG Paläopedologie, Abstract Band*, 55-56.
- LU, S.-G., BAI, S.-Q., CAI, J.-B. & XU, C. (2005): Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates. *Journal of Zhejiang University Science*, 731-735.
- MAGIERA, T., JABLOŃSKA, M., STRZYSCZCZ, Z. & RACHWAŁ, M. (2011): Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts. *Atmospher. Environm.*, 45: 4281-4290.
- MAIER, G. & SCHOLGER, R. (2004): Demonstration of connection between pollutant dispersal and atmospheric boundary layers by use of magnetic susceptibility mapping, St. Jacob (Austria). *Physics and Chemistry of the Earth*, 29: 997-1009.
- MESZNER, S. (2008): *Lösse in Sachsen - Neue Untersuchungen zur Stratigraphie der weichseleiszeitlichen Lösse in der Region um Lommatzsch*. Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Institut für Geographie, Technische Universität Dresden.

- MEYER, J. (2009): Schwermetalle im Feinstaub im Stadtgebiet Jena. Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität.
- PASALIC, S. (2009): Schwermetalle in den Stäuben der Stadtluft von Jena. Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität Jena.
- PETIT, J.R., MOUNIER, L., JOUZEL, J., KOROTKEVICH, Y.S., KOTLYAKOV, V.I. & LORIUS, C. (1990): Palaeoclimatological and chronological implications of the Vostok core dust record. *Nature*, 343: 56-58.
- PIRRUNG, M., FÜTTERER, D., GROBE, H., MATTHIESSEN, J. & NIESSEN, F. (2002a): Magnetic susceptibility and ice-rafted debris in surface sediments of the Nordic Seas: Implications for Isotope Stage 3 oscillations. *Geo-Marine Letters*, 22: 1-11.
- PIRRUNG, M., HILLENBRAND, C.D., DIEKMANN, B., FÜTTERER, D., GROBE, H. & KUHN, G. (2002b): Magnetic Susceptibility and ice-rafted debris in surface sediments of the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Geo-Marine Letters*, 22: 170-180.
- PIRRUNG, M., KUNZ-PIRRUNG, M. & MATTHIESSEN, J. (2004): Ice-rafted material in box cores from the eastern Fram Strait. – In: Klages, M. (ed.): *The Expedition ARKTIS-XIX/3 of the Research Vessel POLARSTERN in 2003, Reports of Legs 3a, 3b and 3c. Rep. Polar Res.*, 488: 251-259.
- RACHOLD, V., HEINRICHS, H. & BRUMSACK, H.-J. (1992): Spinnweben: Natürliche Fänger atmosphärisch transportierter Feinstäube. *Naturwissenschaften*, 79: 175-178.
- RASMUSSEN, T.L., THOMSEN, E., VAN WEERING, T.C.E. & LABEYRIE, L. (1996): Rapid changes in surface and deep water conditions at the Faeroe margin during the last 58,000 years. *Paleoceanography*, 11: 757-771.
- SCHMIDT, A.M., VON DOBENECK, T. & BLEIL, U. (1999): Magnetic characterization of Holocene sedimentation in the South Atlantic. *Paleoceanography*, 14: 465-481.
- SCHMIEDER, F., VON DOBENECK, T. & BLEIL, U. (2000): The Mid-Pleistocene climate transition as documented in the deep South Atlantic Ocean: initiation, interim state and terminal event. *Earth and Planetary Science Letters*, 179: 539-549.
- THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. (1986): *Environmental magnetism*. 1. ed.; 1-227; Allen & Unwin, London.
- TRAUTH, M.H. (1995): Bioturbate Signalverzerrung hochauflösender paläozeanographischer Zeitreihen. *Berichte aus dem Geologisch-Paläontischen Institut, Universität Kiel*, 74: 1-167.
- VERSTEEG, K.J., MORRIS, W.A. & RUKAVINA, N.A. (1995): Distribution of contaminated sediment in Hamilton Harbour as mapped by magnetic susceptibility. *Geoscience Canada*, 22: 145-151.
- VOELKER, A., GROOTES, P.M., NADEAU, M.-J. & SARNTHEIN, M. (2000): Radiocarbon levels in the Iceland Sea from 25-53 kyr and their link to the earth's magnetic field intensity. *Radiocarbon*, 42: 437-452.
- VON DOBENECK, T., PETERSEN, N. & VALI, H. (1987): Bakterielle Mikrofossilien - palaeomagnetische und palaeontologische Spuren einer ungewöhnlichen Bakteriengruppe. *Geowissenschaften unserer Zeit*, 5: 27-35.
- WATKINS, S.J. & MAHER, B. (2003): Magnetic characterisation of present-day deep-sea sediments and sources in the North Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, 214: 379-394.
- WEBER, M.E., NIESSEN, F., KUHN, G. & WIEDICKE, M. (1997): Calibration and application of marine sedimentary physical properties using a multi-sensor core logger. *Marine Geology*, 136: 151-172.

- WILLIAMS, T., THOUVENY, N. & CREER, K.M. (1996): Paleoclimatic significance of the 300 ka mineral magnetic record from the sediments of Lac du Bouchet, France. *Quaternary Science Reviews*, 15: 223-235.
- WITT, R. (2009): Schwermetalluntersuchung im Stadtgebiet Jena aus Feinstaub in Spinnennetzen, Löss und Humus. Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität.
- ZOLITSCHKA, B. (1998): Paläoklimatische Bedeutung laminiertes Sedimente - Holzmaar (Eifel, Deutschland), Lake C2 (Nordwest-Territorien, Kanada) und Lago Grande di Monticchio (Basilicata, Italien). *Relief, Boden, Paläoklima*, 13: 1-176.