

Magnetische Untersuchungen an künstlichen Sedimenten

Von W. H. Legat und F. Trey, Leoben

(Durch Herstellung künstlicher Sedimente mit an Korngröße und Menge variablen magnetischen Zusätzen wird bei sonst vollkommen gleichen Herstellungsbedingungen eine einzige Eigenschaft der Sedimente, ihr remanenter Magnetismus, isoliert und untersucht.)

(Artificial Sediments are produced with magnetic additions of varying grain size and quantity; they are produced under identical conditions, and only one single property — remanent magnetism — is isolated and investigated.)

(On avait fabriqué des sédiments artificiels avec des additions magnétiques en quantités et grandeurs de grains variantes; ils ont été fabriqués dans des conditions identiques; parmi les qualités seulement le magnétisme rémanent a été isolé et examiné.)

Einleitung

Die Entstehung der natürlichen Sedimente geht auf ganz verschiedene Weise vor sich und die Mannigfaltigkeit der dabei zusammenwirkenden Faktoren ist sehr groß. Trotzdem gibt es eine Eigenschaft der Sedimentgesteine, deren Erklärung und Beschreibung gesondert von den übrigen Eigenschaften möglich ist, nämlich ihr remanenter Magnetismus. Dieser kann nur von Beimengungen ferromagnetischer Substanzen stammen, die während des Absetzungsvorganges im magnetischen Feld der Erde eine Bewegungs- und damit Ausrichtungsmöglichkeit der magnetischen Körner hatten. Es erschien daher aussichtsreich, an künstlich hergestellten Sedimenten das Verhalten solcher Beimengungen und ihre magnetisierende Wirkung mit physikalischen Methoden zu untersuchen. Bei einer solchen künstlichen Sedimentation sind nur die Korngröße und die Menge der Zusätze variiert worden, während die anderen Faktoren konstant gehalten wurden. Dadurch konnte der Magnetismus der künstlichen Sedimente gesondert untersucht und Rückschlüsse auf die Ursachen des verschiedenen magnetischen Verhaltens der natürlichen Sedimente gezogen werden.

Herstellung der Probekörper

Um die Proben mit der für die Orientierung von Bohrkernen gebauten Apparatur untersuchen zu können, wurde ihnen eine zylindrische Form gegeben. Durchmesser und Länge betragen 4 cm. Nach Vorversuchen mit Zement und Paraffin, die keine befriedigenden Ergebnisse brachten, wurde als Grundstoff ein Gießharz gewählt, das eine Aushärtungszeit von etwa 5 Stunden hat. Um die Viskosität des Gießharzes zu erhöhen, wurde ihm in gleichbleibender Menge Gips beigemischt. Dadurch erreichte man, daß der als magnetische Beimengung beigefügte Magnetit nur eine geringe Absetzgeschwindigkeit hatte, so daß eine gleichmäßige Verteilung in der Probe gewährleistet und trotzdem noch eine genügende Bewegungsfreiheit vorhanden war.

Der Magnetit wurde gemahlen, in 4 Korngrößen ausgesiebt und in verschieden großer Menge in die Gießmasse, die annähernd die Konsistenz von zähflüssigem Teer hatte, eingerührt. Auf der Probenform war die Nordrichtung markiert. Während der Aus-

härtungszeit war also wie in der Natur die Möglichkeit vorhanden, daß sich die einzelnen Magnetitkörnchen infolge ihrer Eigenschaft als magnetische Dipole im Erdfeld ausrichten und so ein resultierendes magnetisches Moment der Probe liefern konnten. Die Abb. 2 bis 4 zeigen Anschliffe von drei Proben, aus denen man Größe, Form und Verteilung der Körner erkennen kann.

Die Meßergebnisse

Mit Hilfe der in (1) und (2) beschriebenen Apparatur wurde sowohl die Polarität, als auch die Stärke des magnetischen Momentes der Proben bestimmt. Daß die Polarität mit der des Erdfeldes übereinstimmen mußte, da sie ja nur durch dieses verursacht sein konnte, war von vornherein sicher und sei deshalb hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Als relatives Maß der Stärke des magnetischen Momentes der Proben diente die bei der Rotation unter gleichen Bedingungen (Abstand, Umdrehungsgeschwindigkeit) in derselben Spule induzierte Spannung. Die Ergebnisse der Messungen sind in der Tabelle 1 enthalten.

Bei allen Fraktionen zeigt sich übereinstimmend ein Ansteigen der Magnetisierung (magnetisches

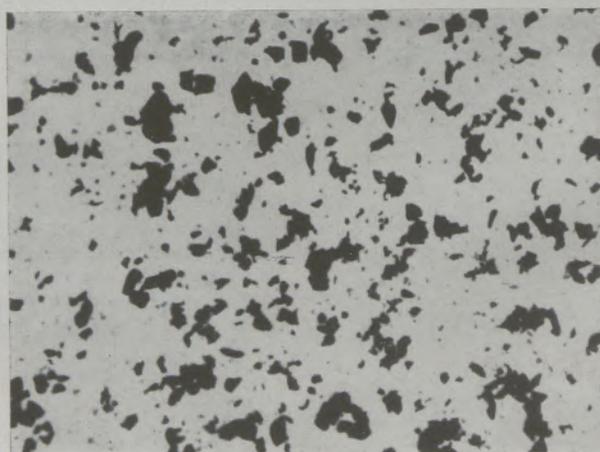


Abb. 1

Aufnahme einer Fraktion des Magnetitpulvers

Moment durch Volumen) mit steigendem Magnetitgehalt. In der graphischen Darstellung (Abb. 5) ist der Gang dieses Anstieges noch besser zu verfolgen. Wie man sieht, nimmt die Stärke der Magnetisierung nicht proportional mit dem Magnetitgehalt zu, sondern die Kurven werden mit zunehmendem Gehalt an magnetischer Substanz flacher. Bei den größeren Fraktionen ist die Magnetisierung bei gleichem Magnetitgehalt kleiner, als bei den feinen. Eine Ausnahme bildet nur die feinste Fraktion. Diese Abhängigkeit der Magnetisierung von der Korngröße ist in der Abb. 6 dargestellt. Man entnimmt ihr, daß die Magnetisierung gegen kleinere Korngrößen stark zunimmt. Außerdem ist festzustellen, daß bei einer kritischen Korngröße ein Maximum durchlaufen wird, von dem ab nach kleineren Kornradien zu, wieder ein Abfall eintritt.

Tabelle 1

Die Stärke der Magnetisierung der Proben bei verschiedenen Prozentgehalten der einzelnen Fraktionen. Die Korngröße ist in Mikron, die Magnetisierung in der bei gleichen Bedingungen induzierten Spannung angegeben

Korngröße	0—15	0—40	40—75	75—250
%	Millivolt			
0,005		10		
0,02		32		
0,10	100	160	30	10
0,15		235		
0,30		260		
0,40		310		
0,50	200	340	150	40
1,00	325	450	240	50
1,50	400	500	340	70

Deutung der Ergebnisse

Um die oben beschriebenen Ergebnisse zu deuten, muß man sich vor Augen halten, daß die beiden Diagramme drei verschiedene Effekte zeigen.

Aus der Abb. 5 erkennt man, daß der Grad der Ausrichtung der Magnetitkörner mit zunehmendem Gehalt abnimmt. Bei gleicher Ausrichtung wäre die Magnetisierung proportional zur Beimengung und die Kurven würden Gerade sein. Die Ursache dafür ist die gegenseitige Beeinflussung der Magnetitkörner, die durch ihre Eigenschaft als magnetische Dipole im Inneren der Probe eine Störung des Erdfeldes bewirken, da jeder Dipol, der sich in einem homogenen Feld (hier im Erdfeld) ausrichtet, in seiner Umgebung zusätzlich ein eigenes Feld erzeugt. Dieses

Feld bewirkt eine Störung des ursprünglichen Feldes, die aber für den einzelnen Dipol nur in dessen unmittelbarer Umgebung wirksam ist, da das Feld eines Dipols mit der dritten Potenz der Entfernung von ihm abnimmt. Sind jedoch mehrere Dipole in einem Volumen vorhanden, so werden sich ihre Felder um



Abb. 2

Anschliff einer Probe der Fraktion 0—40 Mikron. 1 Skalenteil entspricht 10 Mikron. Neben den dunklen Gipskörnern sieht man auf hellerem Untergrund die weißen Magnetitkörner

so mehr überlagern, je kleiner ihr Abstand, d. h. je größer ihre Anzahl pro Volumseinheit ist. In ihrer Gesamtheit bewirken sie dann eine Schwächung der ausrichtenden Wirkung des ursprünglichen Feldes.

Auf die vorliegenden Untersuchungen angewendet heißt das, daß das Erdfeld stellenweise im Inneren der Probe mit zunehmendem Magnetitgehalt immer mehr kompensiert wird. Die ausrichtende Kraft — genau genommen, das auf den Dipol wirksame Drehmoment — ist aber proportional zu der auf den



Abb. 3

Anschliff einer Probe der Fraktion 40—75 Mikron. Bei 5 ein teilweise angeschliffenes Korn von etwa 50 Mikron

Dipol wirkenden Feldstärke, weshalb sie mit zunehmendem Magnetitgehalt abnimmt. Infolge der Abstandsabhängigkeit dieses Effektes tritt er bei den feineren Fraktionen bereits eher in Erscheinung, da bei ihnen der durchschnittliche Abstand bei gleichem Prozentgehalt viel geringer ist.

Die Abb. 6 stellt die beiden anderen Effekte dar, die in der Abb. 5 implizit enthalten sind. Man erhält diese Darstellung, wenn man senkrechte Schnitte, — also bei gleichem Magnetitgehalt — durch die Abb. 5 legt. Die Kurven zeigen dann die Magnetisierung als Funktion der Korngröße. Die Zunahme der Magnetisierung gegen kleinere Kornradien hin wird dadurch erklärt, daß ein Magnetitkorn nur in kleinen Bereichen einheitlich magnetisiert ist. Je größer das Korn ist, um so mehr solcher Bereiche

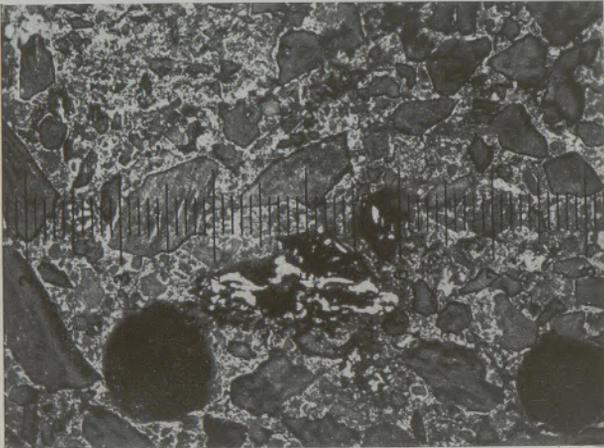


Abb. 4

Anschliff einer Probe der Fraktion 75—250 Mikron.
In der Mitte ein Korn von etwa 220 Mikron

enthält es, und durch deren gegenseitige Beeinflussung ergibt sich eine schwächere Magnetisierung. Wenn die Bereiche einheitlicher Magnetisierung beim Zerkleinerungsvorgang erhalten bleiben, so ist die Magnetisierung der kleineren Körner stärker, weil infolge der geringeren Anzahl der in ihnen enthaltenen Bereiche auch deren Beeinflussung sinkt. Die stärkste Magnetisierung hat daher ein Korn, das nur einen einzigen Bereich enthält. Werden diese unter dem Namen Weiss'sche Bezirke oder Domänen bekannten Bereiche auch noch von der Zerkleinerung erfaßt, so verschwindet der Magnetismus, da für ihn als Kristalleigenschaft eine Mindestgröße von ihrer Größenordnung Voraussetzung ist.

Diese beiden Ursachen bewirken den Verlauf der Kurven in der Abb. 6. Bis zu einer kritischen Korngröße ist der erste Effekt wirksam, der durch das Ansteigen der Magnetisierung gegen kleinere Korngrößen zu auch in der Probe ein größeres magnetisches Moment verursacht. Bei dieser Korngröße liegt das Maximum der Magnetisierung, und der Abfall nach noch kleineren Korngrößen hin erklärt sich aus dem Unterschreiten derselben. Das Maxi-

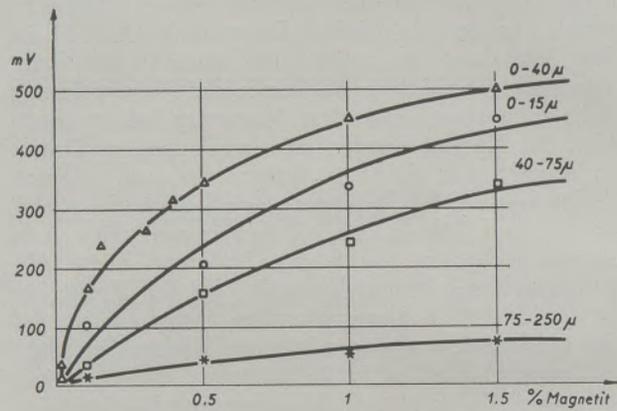


Abb. 5

Die Abhängigkeit der Magnetisierung der Proben vom Gehalt an Magnetit. Als (relatives) Maß der Magnetisierung dient die unter gleichen Bedingungen in einer Spule induzierte Wechselspannung

imum liegt in der Größenordnung von 15 Mikron. Obwohl dieser Wert nur als Durchschnittswert angesehen werden darf und auch noch kleinere Körner in der Fraktion enthalten sind, liegt er immer noch wesentlich über der Größenordnung der Weiss'schen Bezirke. Das wird so erklärt, daß für die spontane Magnetisierung der ungestörte Raum der Weiss'schen Bezirke von Randbezirken umgeben sein muß. In diesen Randbezirken sind jedoch die Voraussetzungen zum Auftreten eines ferromagnetischen Verhaltens nicht mehr vorhanden. Dadurch erhöht sich die kritische Korngröße über die der Weiss'schen Bezirke.

Es wird in diesem Zusammenhang auf die interessanten Untersuchungen von H. Torkar verwiesen, die der Erforschung dieses Problems dienen, welche soeben im „Archiv für das Eisenhüttenwesen“ veröffentlicht werden. Diese Untersuchungen über die Sättigungsmagnetisierung von ferromagnetischen Pulvern ergeben für Magnetit ebenfalls einen Abfall bei einer Korngröße von 15 Mikron.

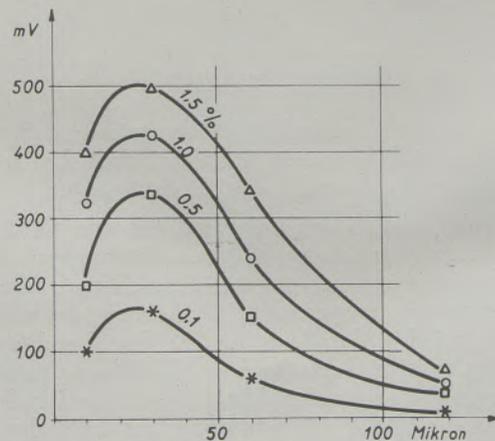


Abb. 6

Die Abhängigkeit der Magnetisierung von der Korngröße

Rückschlüsse auf den Magnetismus der natürlichen Sedimente

Infolge der Schwierigkeit, streng abgegrenzte Kornklassen herzustellen, da vor allem bei den größeren Fraktionen infolge des Magnetismus des Pulvers immer auch noch kleinere Körner enthalten sind, kann die angegebene Durchschnittsgröße mit einem kleinen Fehler behaftet sein. Die Ergebnisse sind jedoch so eindeutig, daß durch ihn lediglich eine geringe quantitative Verschiebung bewirkt werden kann. Dasselbe gilt auch für kleine, experimentell bedingte Schwankungen der Bedingungen beim Erhärtungsvorgang. So kann über den Magnetismus der natürlichen Sedimente folgendes gesagt werden:

Primär ist der Magnetismus der Sedimente von der beigemengten ferromagnetischen Substanz, deren Menge, Korngröße und Magnetisierung abhängig. Als sekundäre Ursache sind die Komponenten, welche die einheitliche Ausrichtung der magnetischen Körner beeinflussen, anzusehen.

Fördernd wirken alle Faktoren, die die Ausrichtung begünstigen, zum Beispiel eine starke Magne-

tisierung der Körner, eine kleine Absetzgeschwindigkeit, lange Verfestigungszeit und geringe Viskosität des Trägermediums. Hemmend wirkt eine große Absetzgeschwindigkeit, die im Verein mit der Kornform beim Absetzvorgang Dreh- oder Schwingbewegungen gegen die schwachen ausrichtenden Kräfte bewirken kann.

Die nachfolgende Übersicht soll einen Überblick über die wichtigsten Komponenten bringen.

F ö r d e r n d		H e m m e n d
groß	Anteil an magnetischer Substanz	klein
stark	Magnetisierung	schwach
klein	Korngröße	groß
rund	Kornform	stabförmig
klein	Absetzgeschwindigkeit	groß
klein	Viskosität	groß
lang	Verfestigungszeit	kurz

Zusammenfassung

Um das verschiedene magnetische Verhalten der Sedimente zu erklären, wurden mit Hilfe eines in 5 Stunden erstarrenden Gemisches aus Gießharz und Gips künstliche Sedimente in Zylinderform (4x4 cm) hergestellt, denen sowohl nach Menge als auch nach Korngröße variable Zusätze von Magnetit beigegeben wurden. Richtung und Stärke der durch das Erdfeld in den Proben hervorgerufenen Magnetisierung wurden bestimmt. Dadurch war es möglich, sämtliche Entstehungsbedingungen konstant zu halten und die magnetischen Eigenschaften dieser künstlichen Sedimente isoliert von störenden Nebenursachen zu beobachten.

Die Ergebnisse verlangen zur Erklärung der magnetischen Eigenschaften der natürlichen Sedimente zwei Voraussetzungen. Erstens eine nach Art, Korngröße und Menge variierende magnetische Beimengung, und zweitens eine Bewegungsfreiheit der beigemengten magnetischen Teilchen während des Sedimentationsvorganges. Die Stärke der Magnetisierung der Sedimente wächst, allerdings nicht linear, mit dem Magnetitgehalt, und gegen kleinere Korngrößen hin. Es gibt jedoch eine kritische Korngröße der Beimengung, bei welcher der Magnetismus der Sedimente wieder stark abnimmt. Diese liegt noch wesentlich über der Größe der Weiss'schen Bezirke.

Summary

In order to explain the variable magnetic comportment of the sediments, cylinders (4 x 4 cm) of artificial sediments, consisting of liquid resin and gypsum, which solidify within 5 hours were produced; variable quantities of magnetite of variable grain sizes were added. Direction and intensity of magnetization caused in these test pieces by the magnetic field of the earth were determined. In this manner it was possible to keep all conditions of production constant and to study the magnetic properties of these sediments isolated from all outside interference.

In order to interpret the magnetic properties of

the natural sediments two suppositions must be made; first: A magnetic addition of varying character, grain size and quantity and second: That the magnetic particles are free to move during the process of sedimentation. The intensity of magnetization of the sediments increases with the contents of magnetite (not in linear proportion) and with the decrease of grain size. However there is a critical grain size of the admixture, at which magnetization of the sediments decreases rapidly. This critical grain size lies far above the size of the Weiss range.

Résumé

Afin d'expliquer et interpréter le comportement magnétique variable des sédiments, on a préparé des cylindres (4 x 4 cm) en sédiments artificiels com-

posés de la résine liquide et du gypse qui se solidifient dans cinq heures; des quantités variables de magnétites en grandeurs variables de grains y

furent ajoutées. La direction et l'intensité de la magnétisation de ces échantillons causée par le champ magnétique terrestre sont déterminées. Il était donc possible de maintenir les conditions constantes de production et d'examiner les qualités magnétiques de ces sédiments isolés de toutes les interférences extérieures. Afin d'interpréter les caractéristiques magnétiques des sédiments naturels il fallait faire deux suppositions; une addition magnétique de nature, de grandeur de grain et de quantité variantes

et puis que les particules magnétiques puissent se mouvoir librement pendant la sédimentation. L'intensité de la magnétisation des sédiments augmente avec les teneurs en magnétite, mais non dans une proportion linéaire et avec la diminution de la grandeur de grains. Toutefois il existe une grandeur de grain critique de l'addition où la magnétisation des sédiments diminue rapidement. Cette grandeur critique de grain se situe bien au-dessus de la grandeur de domaine de Weiss.

Literaturverzeichnis

1. Legat, W. H., Orientierung von Bohrkernen mit Hilfe ihres remanenten Magnetismus, Glückauf, Jahrg. 90 (1954), H. 43/44, S. 1414.
2. Legat, W. H., Über die Anwendbarkeit der elektromagnetischen Bohrkernorientierung, Radex-Rundschau, 1957, H. 2, S. 508.
3. Nagata, Takesi, Rock-Magnetism, Maruzen Co., Ltd., 1953, Tokyo.