

DISS. ETH NO. 21697

**EARTH PALEOFIELD IN THE ALPINE REGION
DURING THE PAST 8000 YEARS**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
KATHRIN LISA KAPPER

Dipl.Ing., Technical University Graz, Austria
born on 8.9.1982
citizen of Austria

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Ann M. Hirt Examiner
Dr. Fabio Donadini Co-examiner
Prof. Dr. Andrew Jackson Co-examiner
Prof. Dr. Juan José Villalaín Co-examiner

2014

Abstract

Direct measurements of Earth's magnetic field exist only since the 16th century (e.g., *Merrill et al.*, 1996). Prior to these records, rocks, sediments or archeological artifacts are the only source of information on variations of the geomagnetic field. These materials are able to record the local magnetic field in the past, and to retain it until the present day. Specifically, lacustrine and marine sediments provide a long and continuous paleomagnetic record. However, their acquisition of magnetic remanence is (post)depositional and records only relative intensities of the ambient field. Declinations observed in these data are relative as well, because orienting drill cores is very expensive and difficult. In contrast, archeological artifacts provide absolute directional and intensity data, because they record thermoremanent magnetization (TRM) through heating. At present, archeomagnetic directional and intensity data prior to 1000 BC are scarce, especially in the Southern hemisphere, and the data distribution in Europe is mainly concentrated in the east (e.g., Bulgaria and Ukraine; *Pavón-Carrasco et al.*, 2010). This thesis investigates archeological artifacts from Central Europe such as pottery, slag, burned anthropogenic sediments and cherts, in order to reconstruct the direction and intensity of the geomagnetic field for the past 8000 years.

In recent studies, stratified burned sediments from fireplaces and hearths in rock shelters have been recognized as good recorders of geomagnetic field directions (e.g., *Carrancho et al.*, 2009; *Calvo-Rathert et al.*, 2012). The suitability of specific types of burned layers, which were produced during the firing process, is dependent on firing temperatures and the degree of preservation. These factors are investigated by linking rock magnetic data with geoarcheological findings. For example, layers of combusted material of the Riparo Gaban rock shelter, located in Italy, are identified as ash, rube-fied, and partially burned stratigraphic levels, or polygenic material. Rock magnetic investigations show that superparamagnetic to single-domain magnetite is the main carrier of the remanent magnetization. Parameters, such as the Koenigsberger ratio (*Koenigsberger*, 1938a,b) or the reversibility of thermomagnetic curves, are related to the degree of burning, while the precision parameter k , which is a measure of the scatter in the data, is related to the degree of preservation. Levels with high or medium degree of preservation have the best clustering of directions; this is indicated by high values of k . To eliminate scattering of directions on the specimen level due to post-burning disturbances, such as bioturbation, a weighted outlier rejection method was applied. This method attributes weights to each direction based on its distance from the Fisher mean (*Fisher*, 1953). The agreement of directional averages of thirteen levels of the Riparo Gaban with the paleosecular variation curve of the Balkan areas in the time period between 4900 – 4700 BC, is good.

Directions and intensities of archeological artifacts have been used as input for both global and regional geomagnetic models. This is because they provide absolute directions and intensities, and a high accuracy in recording the ancient magnetic field. They have been used to constrain models, such as the global CALS10k.1b and the regional

SCHA.DIF.3K and SCHA.DIF.8K (*Korte and Constable, 2011; Pavón-Carrasco et al., 2009, 2010, respectively*), as well as paleosecular variation curves, such as the European reference curve (*Carrancho et al., 2013*) or the Balkan curve (*Tema and Kondopoulou, 2011*). Field directions are determined from burned anthropogenic sediments from a site in Switzerland (Arconciel). These directional results are combined with directional data from Riparo Gaban, as well as approximately 360 other archeomagnetic data points from an area within 700 km of Arconciel, to obtain a penalized least square spline fit of geomagnetic variation over the past 9000 years. Generally, the agreement of the spline fit with other local compilations, such as the Balkan curve, the regional SCHA.DIF.8K model, along with lake sediments from the UK, Fennoscandia, and Switzerland, is good. In contrast to some European records, the new data show a time lag of several centuries for a declination maximum around 5900 BC. This time lag is also observed in the Swiss lake sediment record, and may represent a local feature of the Earth's magnetic field.

The determination of archeointensities is more complicated and time consuming than directional measurements of the geomagnetic field. Samples must fulfill stricter criteria to be suitable for archeointensity determination; for example, they must acquire a pure TRM at preferentially high temperatures. Spherical harmonic models require intensity, along with directional information, to provide a comprehensive picture of the geomagnetic field. Unfortunately, intensity data are scarce in Central Europe prior to 1000 BC. This investigation aims to fill this gap with archeointensity data from Switzerland and Italy for the time period between 5000 – 700 BC. To accomplish this, a set of four different archeological materials, i.e., ceramics, copper slag, burned sediments from fireplaces, and burned cherts as a novel material for paleointensity experiments, were investigated. In particular, burned cherts were tested, if they are a suitable material for paleomagnetic studies. Rock magnetic properties of these samples showed magnetite, along with small amounts of maghemite and hematite in the pseudosingle domain range, as the ferromagnetic carriers. The IZZI protocol was used for 96 specimens to obtain absolute intensity: 23 ceramic-, slag-, and burned chert-specimens passed the threshold criteria. Burned sediments did not pass, because they probably acquired a thermochemical remanent magnetization. To assist in choosing suitable cherts for future studies, several selection criteria are investigated. As a result, magnetic susceptibility and saturation isothermal remanent magnetization can be used to select cherts that are suitable for investigating paleointensity. Archeointensity data that were obtained in this study agree well with available models and other archeomagnetic data.

Zusammenfassung

Direkte Messungen des Erdmagnetfeldes gibt es erst seit dem 16. Jahrhundert (z.B. *Merrill et al.*, 1996). Die einzige Informationsquelle über Variationen des Erdmagnetfeldes vor diesen Aufzeichnungen, sind Gesteine, Sedimente oder archäologische Artefakte. Diese Materialien sind in der Lage, Informationen des Magnetfeldes zu einem Zeitpunkt in der Vergangenheit aufzunehmen und dauerhaft zu speichern. Insbesondere See- und Meeressedimente liefern lange und kontinuierliche paläomagnetische Datenreihen. Allerdings erfahren diese Materialien eine (post)detrinitische Magnetisierung und zeichnen daher nur relative Intensitäten des Erdmagnetfeldes auf. Auch die gemessenen Deklinationen liegen meist nur in Form relativer Werte vor, da die geographische Reorientierung von Bohrkernen sehr teuer und schwierig ist. Im Gegensatz dazu bieten archäologische Artefakte absolute Richtungen und Intensitäten, weil sie eine thermoremanente Magnetisierung (TRM) durch Erhitzen erlangen. Derzeit ist die Menge an archäomagnetischen Daten aus der Zeit vor 1000 v.Chr., vor allem in der südlichen Hemisphäre, sehr gering. Die Verteilung der Daten in Europa konzentriert sich hauptsächlich auf Regionen in Osteuropa (z.B. in Bulgarien und der Ukraine; *Pavón-Carrasco et al.*, 2010). Diese Dissertation untersucht archäologische Artefakte aus Zentraleuropa, wie z.B. Keramiken, Schlacke, verbrannte anthropogene Sedimente und Silices, um die Richtung und Intensität des Erdmagnetfeldes der vergangenen 8000 Jahre zu rekonstruieren.

Aktuelle Studien konnten geschichtete verbrannte Sedimente von Feuerstellen oder Herden in Höhlen als potenziell gute Archive der geomagnetischen Feldrichtung, identifizieren (z.B. *Carrancho et al.*, 2009; *Calvo-Rathert et al.*, 2012). Die Nützlichkeit für die Bestimmung von Magnetfeldrichtungen von bestimmten Arten von verbrannten Schichten, die während des Brennprozesses entstehen, hängt von der Verbrennungstemperatur und dem Erhaltungsgrad ab. Diese Faktoren werden in dieser Arbeit in Bezug auf die Verbindung von magnetischen Daten mit geoarchäologischen Erkenntnissen untersucht. Zum Beispiel werden unterschiedliche Schichten verbrannter Materialien aus der Riparo Gaban Nischenhöhle (Italien) als Asche, rubefizierte und 'partiell-verbrannte' stratigraphische Schichten, oder als polygenes Material, identifiziert. Gesteinmagnetische Untersuchungen zeigen, dass superparamagnetischer bis Single-Domain Magnetit der Hauptträger remanenter Magnetisierung ist. Parameter, wie das Königsberger Verhältnis (*Koenigsberger*, 1938a,b) oder die Reversibilität von thermomagnetischen Kurven, werden mit dem Verbrennungsgrad in Verbindung gebracht, während der Präzisionsparameter k , welcher ein Maß für die Streuung der Daten ist, mit dem Erhaltungsgrad in Beziehung gebracht wird. Schichten mit hohem oder mittlerem Erhaltungsgrad haben schmale Verteilungen der Richtungen; das wird durch hohe Werte von k angegeben. Um die Streuung von Richtungen einzelner Proben, hervorgerufen durch Bioturbationen nach der Verbrennung, zu verringern, wird eine gewichtete Ausreisseranalyse angewandt. In dieser Methode wird jeder Richtung ein Gewicht, in Abhängigkeit

des Abstands zum Fisher Mittelwert, zugewiesen (*Fisher, 1953*). Die Richtungsmittelwerte von dreizehn Schichten der Riparo Gaban stimmen sehr gut mit der paläosekulären Variationskurve der Balkangebiete in der Zeit zwischen 4900 – 4700 v.Chr. überein.

Die Richtungen und Intensitäten archäologischer Artefakte bilden eine der Grundlagen zur Konstruktion globaler und regionaler geomagnetischer Modelle. Da sie absolute Richtungen und Intensitäten speichern, liefern sie genaue Informationen über das Erdmagnetfeld. Sie werden verwendet, um geomagnetische Modelle zu verbessern, wie zum Beispiel im Fall des globalen Modells CALS10k.1b (*Korte and Constable, 2011*) oder der regionalen Modelle SCHA.DIF.3K und SCHA.DIF.8K Modelle (*Pavón-Carrasco et al., 2009, 2010*). Eine weitere Verwendung ist die Erstellung von Paläosekulär-Kurven, wie z.B. der Europäischen Referenzkurve (*Carrancho et al., 2013*) oder der Balkan-Kurve (*Tema and Kondopoulou, 2011*). Feldrichtungen werden aus anthropogenen verbrannten Sedimenten einer Fundstelle in der Schweiz (Arconciel) bestimmt. Die Ergebnisse werden mit den Felrichtungen der Riparo Gaban Fundstelle, sowie rund 360 anderen archäomagnetischen Daten aus einer Region innerhalb eines 700 km Radius um Arconciel, kombiniert, um einen sogenannten 'penalized Least-Squares Spline Fit' der geomagnetischen Variationen der letzten 9000 Jahre zu erhalten. Im Allgemeinen ist die Übereinstimmung des Spline-Fits mit anderen lokalen Datenreihen und Modellen, wie der Balkan-Kurve, dem regionalen SCHA.DIF.8K Modell, weiters mit Seesedimentreihen aus dem Vereinigten Königreich, Fennoskandien und der Schweiz, gut. Im Vergleich mit einigen europäischen Datenreihen, zeigen die neuen archäomagnetischen Daten eine Zeitverzögerung von mehreren Jahrhunderten bezüglich des Auftretens eines Deklinationsmaximums um 6000 v.Chr. Diese Verzögerung wird auch in Schweizer Seesedimenten beobachtet und könnte eine lokale Eigenschaft des Erdmagnetfeldes sein.

Die Bestimmung von Archäointensitäten ist komplizierter und zeitaufwändiger als Richtungsmessungen des Erdmagnetfeldes. Zur Bestimmung von Intensitäten müssen die Proben strengere Kriterien erfüllen; zum Beispiel müssen sie, bevorzugt bei hohen Temperaturen, eine reine TRM erworben haben. Um umfassende Sphärisch-Harmonische Modelle des Erdmagnetfeldes zu erstellen, werden neben Richtungsdaten auch Intensitäten des Feldes benötigt. Allerdings gibt es kaum Intensitätsdaten aus der Zeit vor 1000 v.Chr. in Mitteleuropa. Ein Ziel dieser Dissertation ist, diese Lücke mit Archäointensitätsdaten aus der Schweiz und Italien für den Zeitraum zwischen 5000 – 700 v.Chr., zu füllen. Um dies zu erreichen, werden vier unterschiedliche Typen archäologischer Materialien, nämlich Keramiken, Kupferschlacke, verbrannte Sedimente aus Höhlen und auch verbrannte Silices als neuartiges Material für paläomagnetische Experimente, untersucht. Insbesondere werden gebrannte Silices hinsichtlich ihrer Eignung für magnetische Intensitätsmessungen geprüft. Gesteinsmagnetische Messungen dieser Proben offenbaren Magnetit, zusammen mit kleinen Mengen von Maghemit und Hämatit im pseudosingle-Domain-Bereich, als die ferromagnetischen Hauptträger. Um absolute Intensitäten zu erhalten, wird das IZZI Protokoll auf 96 Proben angewendet: 23 Keramik-, Schlacke-, und verbrannte Feuerstein-Proben erfüllen die Qualitätskriterien. Gebrannte

Höhlensedimente erfüllen die Kriterien nicht, weil sie wahrscheinlich eine thermochemische remanente Magnetisierung erworben haben. Um die Auswahl geeigneter Silices für zukünftige Studien zu erleichtern, werden verschiedene Auswahlkriterien untersucht. Demzufolge werden magnetische Suszeptibilität und isotherme Sättigungsremanenz als Kriterien für die Auswahl geeigneter Paläointensitätsproben empfohlen. Die Archäointensitätsdaten, die in dieser Studie bestimmt wurden, stimmen gut mit den bisherigen Modellen und archäomagnetischen Daten überein.