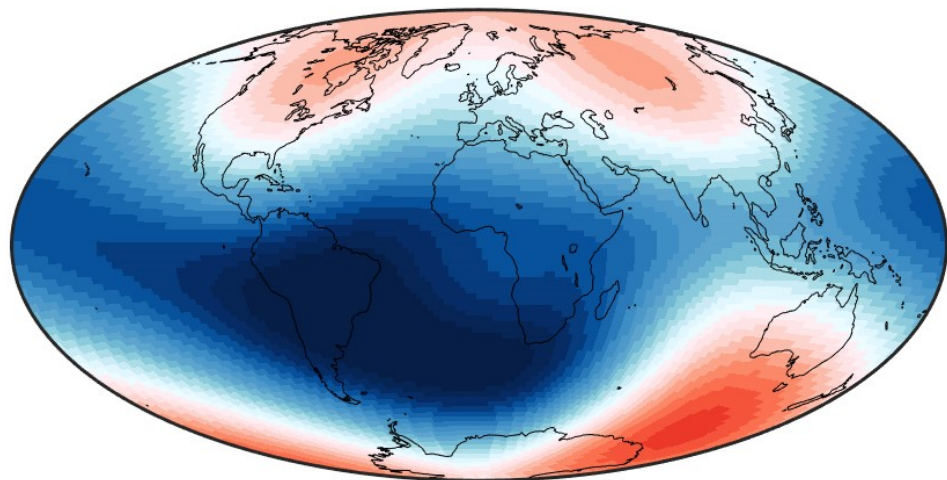


# Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen?

***Nils Friberg***

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 590  
(15 hp/ECTS credits)

---



Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2020



# **Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen?**

Kandidatarbete  
Nils Friberg

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2020

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>7</b>
1.1	Syfte	7
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>7</b>
2.1	Magnetfältet	7
2.2	Sydatlantiska anomalin	8
2.3	Barombi Mbo	9
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>11</b>
4.1	Åldersmodellering med BM6 datering	11
4.2	Åldersmodellering med B14 datering	12
4.3	Globala intensitetsmodeller	13
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>15</b>
5.1	Åldersmodeller	15
5.2	Malawisjön	15
5.3	Global intensitetsmodellering	15
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Tack</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>16</b>

## Bilaga 1 — Digitaliserad paleomagnetisk data för BM2 samt BM6

# Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen?

Nils Friberg

Friberg, N., 2020: Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 590, 17 sid. 15 hp.

**Sammanfattning:** Den sydatlantiska anomalin (SAA) är området med svagt magnetfält som sträcker sig från Afrikas västra kust in över Brasilien. Under det senaste 160 åren har området som omfattar den SAA växt i storlek samtidigt som området långsamt har rört sig västerut. Då SAA sammanfaller med en generell avsänkning i magnetfältets intensitet har det spekulerats i att den SAA kan vara inledningen på ett större skifte i magnetfältets polaritet. Rekonstruktioner av magnetfält bakåt i tiden har dock visat att ”SAA-liknande” magnetiska strukturer kan vara ett återkommande fenomen som ej är kopplat till polaritetsskiften. Modellerna som utgör grunden till dessa rekonstruktioner kräver paleomagnetisk data med en global spridning för att man ska kunna rekonstruera magnetfältet så representativt som möjligt. Brist av paleomagnetisk data är i dagsläget den stora problematiken för dessa modeller, framförallt från den södra hemisfären. För att lösa denna problematik krävs nya data samt att data från äldre studier revideras. I denna studie kommer jag att analysera och uppdatera paleomagnetisk data från sjön Barombi Mbo, i västra Afrika, då lokalen är strategiskt placerad i förhållande till den SAA och i ett stort område med bristande paleomagnetisk data. Den ursprungliga studien utfördes år 1988 och omfattar paleomagnetiska analyser av två borrhärdar. Kronologin behöver revideras eftersom de kol-14-dateringarna som utfördes på de två borrhärdarna är baserad på en föråldrad teknik och ger troligen för gamla åldrar. För att uppdatera kronologin konstrueras en ny åldermodell med hjälp av dateringar från en borrhärda som togs fram 2015. Paleomagnetisk data från ursprungsstudien används med den uppdaterade ålderskurvan för modellering av jordens magnetfält de senaste 9000 åren. Från den nya magnetfältsmodellen observeras ett område, som uppträder ~3300 år BP, vilket har generella drag i utseende likt den SAA och sammanfaller med en liknande minskning i magnetfältets styrka. Från denna uppdaterade magnetfältmodell, med dessa två likheter till den SAA, görs tolkningen att området som uppträder år 3300 BP är en anomali likt den SAA, vilket indikerar att intensiteten av magnetfältet sannolikt kommer att återhämta sig och att den SAA kan vara ett återkommande fenomen.

**Nyckelord:** sydatlantiska anomalin, magnetfält, magnetiska reversaler, magnetiska exkursioner, magnetfältsmodellering, Barombi Mbo.

**Handledare:** Andreas Nilsson

**Ämnesinriktning:** Kvärtärgeologi

*Nils Friberg, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: nils.friberg03@hotmail.com*

# Is the South Atlantic magnetic anomaly a recurring phenomenon?

Nils Friberg

Friberg, N., 2020: Is the South Atlantic magnetic anomaly a recurring phenomenon?. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 590, 17 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

**Abstract:** The South Atlantic Anomaly (SAA) is the area with a weak magnetic field that extends from the western coast of Africa to inland Brazil. During the last 160 years, the area that covers the SAA has had an increase in size with a simultaneous, slow westward movement. The development of the SAA coincides with a generally decreasing intensity of the magnetic field. This has led to speculations that the SAA could be a precursor of a major shift in Earth's magnetic field, a so-called polarity reversal. Reconstructions of the past magnetic field have shown that signals of repeating magnetic field structures similar to the SAA could be a recurring phenomenon of the field that's not connected to polarity reversals. The models that constitute the base of these reconstructions require a global spread of paleomagnetic data so the reconstruction can be as accurate and representative as possible. The major problem with these models derives from a lack of paleomagnetic data, especially in the southern hemisphere. To solve this problem, data from new studies and revisions of outdated studies are required. In this study, I will analyze, and update paleomagnetic data from the lake Barombi Mbo, in western Africa, because the strategic location of the lake covers a large area lacking with paleomagnetic data. The original study was done in 1988 and comprises a paleomagnetic analysis of two cores. The chronology of these two cores needs a revision due to the radiocarbon dating that was performed and was done with an obsolete dating method that most likely has given too old ages. To create an updated chronology a new age-model is constructed, with dates from a new core, collected in 2015. Paleomagnetic data from the original study is modelled with the updated age-curve of Earth's magnetic field during the last 9000 years. From this new model of the magnetic field, an area is observed, ~3300 years BP, that generally looks like the SAA and coincides with a similar decrease of the magnetic field strength. From this updated magnetic field model, with these two similarities to the SAA, the area that occurs at ~3300 years BP is interpreted as an anomaly like the SAA, which indicates that the magnetic field strength likely will recover and that the SAA could be a recurring phenomenon.

**Keywords:** south atlantic anomaly, magnetic fields, magnetic reversals, magnetic excursions, magnetic field models, Barombi Mbo

**Supervisor:** Andreas Nilsson

**Subject:** Quaternary Geology

*Nils Friberg, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: nils.friberg03@hotmail.com*

# 1 Introduktion

Jordens magnetfält är en av anledningarna till att liv på jorden är möjligt. Detta då magnetfältet bland annat skyddar planeten från farlig strålning och skadliga partiklar som kommer från solen och yttre rymden (Panovska et al. 2019). Det har även spelat en viktig roll från den punkten i människlighetens utveckling man uppfann metoder att avläsa magnetfältets riktningar, vilket har lett till att man har kunnat utnyttja magnetfältet för navigation runt jorden. Men det är inte bara vi människor som har lärt oss att nyttja magnetfältet. Fåglar, vissa fiskar och sköldpaddor är några exempel av djur som tillämpar magnetfältet för orientering. Magnetfältet utgör då en viktig komponent som möjliggör säsongsmigrationen för dessa djur (Drake 2018).

År 1832 uppfann den tyska matematikern och naturvetaren Johann Frederich Gauss en metod att mäta intensiteten av jordens magnetfält (Encyclopaedia Britannica u.å.). Efter detta har det visats att intensiteten kontinuerligt har minskat med  $\sim 5\%$  per sekel (Brown et al. 2018). Avsänknigen i magnetfältets intensitet har sammanfallit med uppkomsten av området, som är känt som den sydatlantiska anomalin (SAA), där de lägsta värdena av magnetfältets intensitet vid ytan påträffas (Terra-Nova et al. 2017; Trindade et al. 2018). Den magnetiska anomalin har växt fram under det senaste 160 åren och har sedan första observationen haft en långsam tillväxt och migration i västlig riktning (Brown et al. 2018; Trindade et al. 2018). Den SAA omfattar i dagsläget ett område från Afrikas västra kust, ut över södra delarna av Atlanten och in över Brasilien (Fig. 1). Anomalins uppkomst och utveckling har karakteristiska drag av större magnetiska förändringar som magnetiska reversaler, då magnetfältets poler helt byter plats, eller magnetiska exkursioner, då magnetfältets poler vandrar för att byta plats för att sedan återvända till ursprunglig polaritet (Brown et al. 2018). Detta eftersom man ser en generell minskning i intensiteten innan en reversal/exkursion inleds (Brown et al. 2018). Men från rekonstruktioner av jordens magnetfält under de senaste 50,000 åren har det även visat att den SAA kan vara ett återkommande fenomen (Brown et al. 2018). Sådana rekonstruktioner baseras på indirekta observationer av magnetfältet, så kallade paleomagnetiska data, vilket kommer från geologiska och arkeologiska material som blivit magnetiserade av jordens magnetfält vid någon tidpunkt. I dagsläget finns det en brist av data från den södra he-

misfären, då majoriteten av studierna är utförda från den norra hemisfären (Shah et al. 2016; Trindade et al. 2018).

## 1.1 Syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att presentera data och testa hypotesen att den SAA kan vara ett återkommande fenomen. Genom en litteraturbaserad studie ska jag undersöka möjligheten att uppdatera kronologin av paleomagnetiska data från sedimentbörkärnor tagna från sjön Barombi Mbo, i västra Afrika (Thouveny & Williamson 1988). Området har stor relevans för rekonstruktion av jordens magnetfält på grund av dess strategiska läge i anslutning till den SAA, där det annars är stor brist av paleomagnetisk data. Paleomagnetiska data med uppdaterad kronologi från Barombi Mbo kommer att tolkas med hjälp av globala magnetfältmodeller för att försöka utvärdera om SAA kan vara ett återkommande fenomen.

## 2 Bakgrund

### 2.1 Magnetfältet

Jordens magnetfält alstras från konvektionsströmmar i den yttre, flytande delen av jordens kärna. Kärna som till störst del består av järn och nickel kommer, likt en dynamo, skapa elektriska strömmar när dessa viskösa metaller cirkulerar i stora strömmar (British Geological Survey u.å.). Jordens magnetfält kan till 90% beskrivas som ett dipolfält. Detta dipolfält motsvarar det magnetfält som bildas om en mycket stark stavmagnet, med nord- och sydpol, placeras i mitten av jorden, mer eller mindre parallellt med rotationsaxeln (Fig. 2). Den magnetiska nordpolen, vilket i detta fall motsvarar stavmagnetens södra pol, påträffas där de resulterande fältlinjerna pekar rakt in från jordens yta (Butler 1992).

Magnetfältets intensitet har minskat med totalt  $\sim 12\%$  sedan år 1832. Denna avsänkning i magnetfältets intensitet kan dock ha pågått så lång tillbaka som 1600-talet (Brown et al. 2018). Källan till intensitetsavsänknigen är förändringar vid kärnan, men vad avsänknigen innebär är ännu oklart. Det spekuleras att detta kan vara inledningsförloppet till en större förändring hos magnetfältet, såsom en magnetisk reversal, eller magnetisk exkursion (Brown et al. 2018). Magnetfältet har genom jordens historia genomgått upprepade förändringar i polaritet. Från studier av geo-

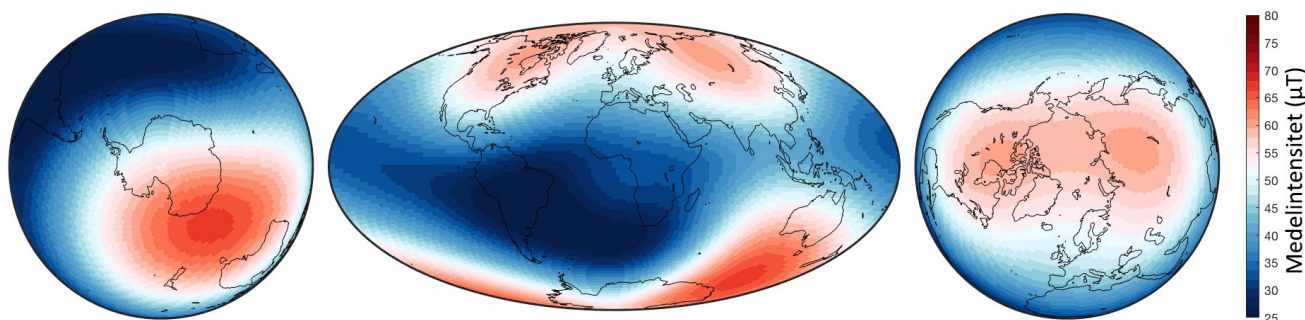


Fig. 1. Karta över jordens magnetfältintensitet år 2000, baserat på pfm9k.2 (Andreas Nilsson, personlig kommunikation).

logiska och arkeologiska material har man sett att magnetfältets poler har bytt plats vid flertal tillfällen. Man har uppskattat att reversaler har varit återkommande fenomen med ungefär 4–5 reversaler per årmiljon under det senaste 10 - 20 miljoner åren (NASA 2011; British Geological Survey u.å.). Dock, är den senaste årmiljonen en avvikelse eftersom den senaste magnetiska reversalen, den så kallade Matuyama-Brunhes reversalen, skedde för ~785,000 år sedan (Brown et al. 2013). Två större magnetiska händelse som har skett mer i närtid är Laschamp och Mono Lake exkursionerna, som skedde för 41,000- samt 34,000 år sedan (Brown et al. 2018). Båda dessa har varit viktiga för att studera dynamiken i större magnetiska förändringar då man har kunnat studera hur dessa händelser kan initieras samt hur händelseförloppet ser ut.

För insamling av magnetiska data kan man exempelvis studera material som magmatiska bergarter, sediment samt brända arkeologiska material, vilka uppvisar en förmåga att bli magnetiserade (Butler 1992). Sediment innehåller ofta korn, eller partiklar, exempelvis magnetit, som är ferromagnetiska och kommer, om inga andra krafter verkar på dem, att orientera sig i den vertikala samt horisontella riktningen (inklination samt deklination) av jordens magnetfält. Orienteringen bevaras i takt med att sediment avvattas och kornen kilas fast i varandra, vilket ger en avspiegling av magnetfältet vid den plats och tidpunkt då sedimentet avsattes. Denna efterlämnade magnetisering kallas "Natural Remanent Magnetization" (NRM) och för att studera dessa är det vanligt att analysera sedimentbörnkärnor, som man kan använda för att rekonstruera en kronologisk utveckling av magnetfältet. Över tid kan partiklarna även tillföras en så kallad "viskös" remanent magnetisering. Denna typ av magnetisering tillkommer för en del partiklarna, till exempel under transport eller lagring av börnkärnorna, då de påverkas av svaga, externa magnetfält (Butler 1992). Den viskösa magnetisering behöver man avlägsna för att studera den primära NRM. Primär NRM

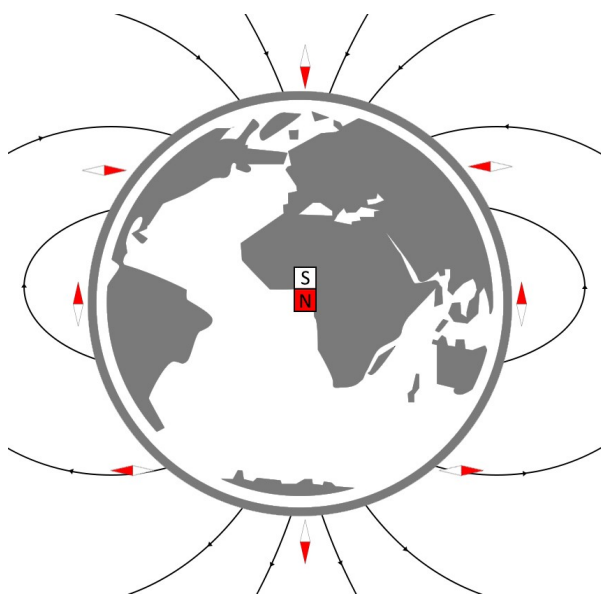


Fig. 2. Illustration av jordens dipolfält med magnetfältslinjer, magnetfältslinjernas riktningar samt en representativ magnet i jordens kärna.

isoleras vanligtvis genom att man successivt avmagnetiserar proven med alternerande fält (AF). I metoden kan man avlägsnas sekundära magnetiseringar, eftersom dessa generellt sätt är mindre stabila och avmagnetiseras med lägre AF än primära magnetiseringar. Genom att studera förändringar i magnetiseringens riktning bedömer man vid vilket milliTesla (mT) intervall all sekundär magnetisering är avlägsnad. Det man har kvar efter avmagnetiseringen, vars riktning förblir oförändrad av ytterligare AF, antas vara den primära magnetiseringen. Vinkeln mellan den horisontella och den vertikala komponenten från provets NRM motsvarar magnetfältets inklination (Fig. 3). Deklinationen beräknas som vinkeln mellan den horisontella komponenten och geografiskt norr (Butler 1992).

## 2.2 Sydatlantiska anomalin

Den SAA är en stark avvikelse från jordens "normala" dipolfält (Terra-Nova et al. 2015; Panovska et al. 2019) och kännetecknas som det området på jordens yta där magnetfält är som svagast (Terra-Nova et al. 2017; Trindade et al. 2018). Anomalin har sedan sin uppkomst haft en långsam tillväxt och en långsam väststriktad transport. Den SAA har som konsekvens att den släpper in mer laddade partiklar från solen, vilket normalt blockeras av magnetfältet med "normal" intensitet. Partiklarna som tränger igenom kan skada utrustningen på satelliter som befinner sig över området (Brown et al. 2018; Trindade et al. 2018). Uppkomsten av den SAA kan spåras till ett område på kärnan under södra Atlanten, där magnetfältet polaritet har motsatt riktning och rör sig långsamt mot sydpolen

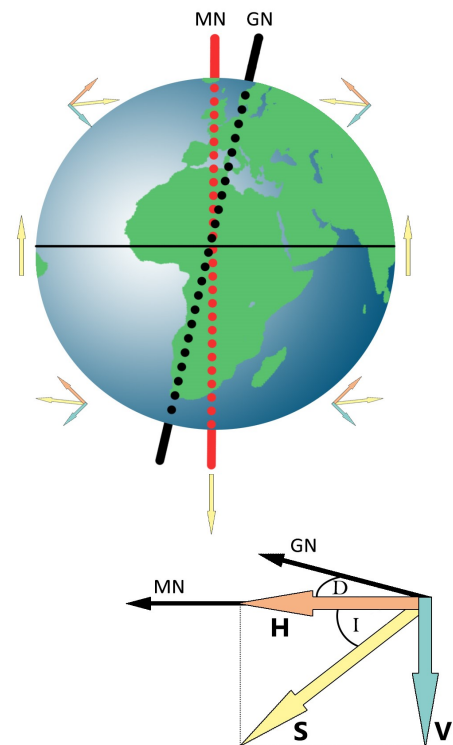


Fig. 3. Förhållandet mellan magnetiska komponenter som används för att beräkna inklination samt deklination. MN: Magnetiskt norr. GN: Geografisk nordpol. D: Deklination. I: Inklination. H: Horisontell komponent. V: Vertikal komponent. S: Magnetfältet.



sedan dess uppkomst (Campuzano et al. 2019). Detta skulle kunna förklara den recenta, generella degradationen av magnetfältets intensitet (Terra-Nova et al. 2017). Det har spekulerats i att detta område, under södra Atlanten skulle kunna kopplas till avvikande, förmodligen långlivade strukturer i nedre manteln under södra Afrika. Dessa områden som ligger vid gränsen mellan manteln och kärnan kännetecknas av låga hastigheter av seismiska vågor som passerar, vilket tros beror på högre temperaturer. Den regionala temperaturskillnaden som detta ger upphov till kommer att påverka värmeutväxlingen mellan kärnan och manteln, vilket i sin tur kommer att påverka magnetfältet. Detta skulle kunna innebära att anomalier likt den SAA preferentiellt uppkommer under södra Atlanten (Brown et al. 2018; Hare et al. 2018). För tolkning av SAA är det i dagsläget två hypoteser som dominerar:

- Anomalier, likt den SAA, är återkommande och kan eventuellt kopplas till sydatlanten.
- Den SAA kommer fortsätta att växa, vilket kommer leda till en magnetisk reversal eller exkursion.

För att kunna tolka den SAA och dess utveckling kan man rekonstruera magnetfältet med hjälp av paleomagnetiska data samt matematiska modeller. Sådana rekonstruktioner har utförts för de senaste 2 – 14,000 åren (Nilsson et al. 2014). Med dessa modeller kan man studerat globala intensitetsförändringar och ifall fenomen likt den SAA har uppkommit vid andra tidpunkter.

## 2.3 Barombi Mbo

För sammanställning och modellering av globala magnetiska data behövs insamling av flertalet datapunkter, spridda över jorden. Dock, är det i dagsläget obalans i antal studier som finns tillgängliga globalt. Obalansen är en följd av att merparten av forskningen som finns till förfogande är utförd på norra hemisfären, vilket har lett till bristande antal analyser från södra hemisfären (Shah et al. 2016; Trindade et al. 2018). Med rådande brist i paleomagnetiska data är det viktigt med uppdateringar av nya- samt revideringar av tidigare studier.

Thouveny & Williamson (1988) utförde paleomagnetiska studier vid sjön Barombi Mbo, i Kamerun. I studien sex borrhämlor från sjöns centrala delar. Inklination- samt deklinationsdata mäts och presenteras från två av borrhämlorna, BM2 samt BM6, som båda är tagna från 100 meters djup i sjön (Fig. 4). Tydliga signaler, på ungefär 4,5 meters djup, antyder att det har skett en markant förändring i magnetfältet (bilaga 1). De uppmätta variationerna i deklinationen liknar de variationer som är associerade med tillväxten av den SAA. Nuvarande modeller över jordens magnetfält, under de senaste 10,000, visar inga tecken på liknande förändringar i magnetfältet från västra Afrika. Variationen uppvisas inte även fast data från Barombi Mbo har använts för att konstruera modellerna, vilket delvis kan förklaras med dateringsosäkerheter som medfört att data från Barombi Mbo varit inkompatibla med modellerna. Dateringarna utfördes på sammanlagt 9 olika punkter i borrhämlorna, där 2 dateringar utförs på BM2 och 7 på BM6 (Tabell 1). Dateringar från Thouveny & Williamson (1988), har utökats med fler dateringar i efterföljande studier (Giresse et al. 1991; Le-

Tabell 1. Dateringar av totalt- samt organiskt kol för djupintervallet 0-11 meter på BM6 samt BM2, med motsvarande "event free depth" överfört enligt figur 5. G91: (Giresse et al. 1991). L12: (Lebamba et al. 2012). T&W88: (Thouveny & Williamson 1988).

Hämtad från:	Djup (m):	"Event-free depth" (m):	Kol-14 dateringar BM2 (år BP):	Kol-14 dateringar BM6 (år BP):	Standardavvikelse (år BP):
L12	0,25	0,22	-	770	100
G91	1	0,83	-	1650	215
L12	2,05	1,81	-	2200	285
T&W88	3,48	3,14	-	*3690	320
L12	3,55	3,18	-	3690	315
T&W88	**4,5	-	1650	-	215
T&W88	**5,76	-	2200	-	305
L12	6,75	5,64	-	6520	645
G91	8	6,69	-	6710	935
L12	9,9	8,33	-	8690	475
T&W88	9,97	8,39	-	*8480	430
			-	8850	485
L12	10,8	9,12	-	9900	2500

\* Dateringar av totalt kol i bulkproven.

\*\* Djupen för dateringar på BM2 är överförda från BM6 enligt en, troligtvis felaktig, djupkorrelation (se 2.3).

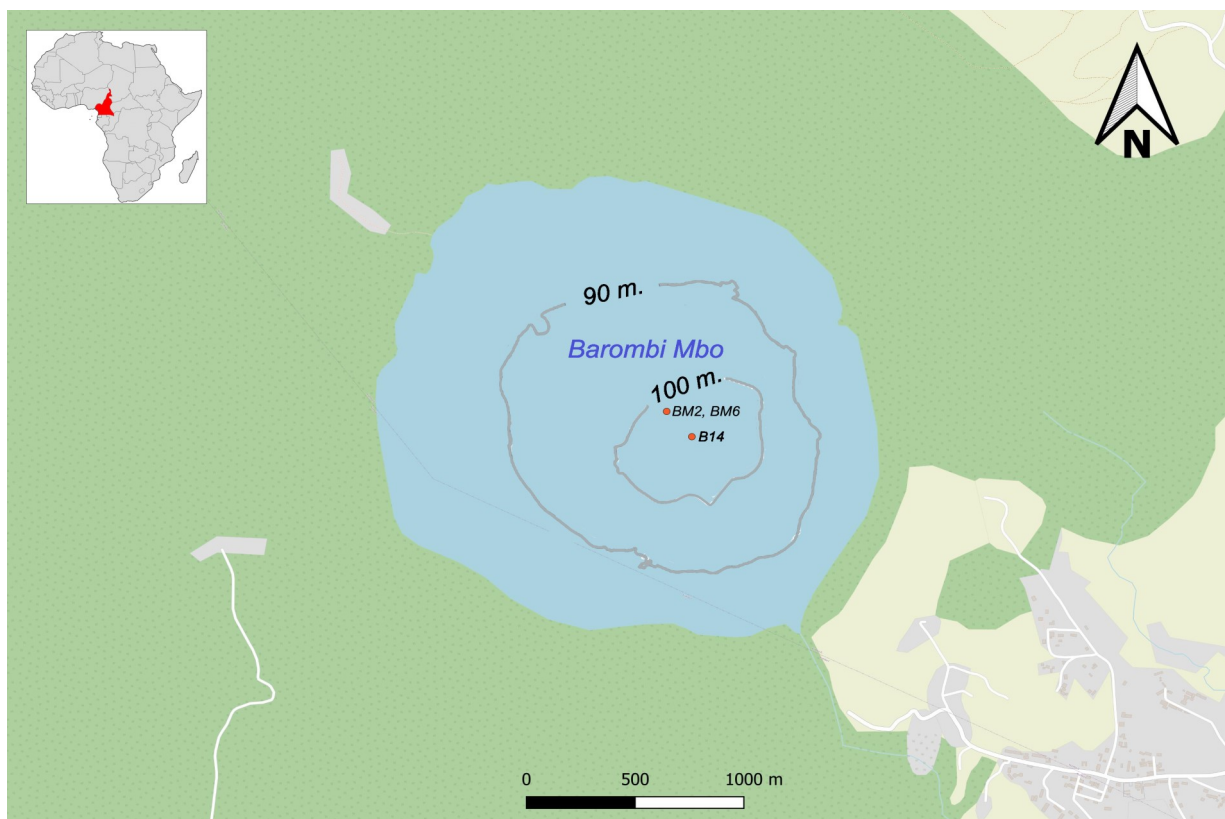


Fig. 4. Karta över Barombi Mbo med utmarkerade punkter där borrhämnarna BM2, BM6 samt B14 togs. Punkterna, samt djupdata är extrapolerade från Maley et al. (1990), Lebamba et al. (2012) samt Garcin et al. (2018). ©OpenStreetMaps.

bamba et al. 2012). Det går dock att misstänka systematiska felkällor i dateringarna från Thouveny & Williamson (1988), eftersom dessa är utförda med så kallad bulkprovtagning av organiskt- samt totalt kol i proven. Bulkprovtagning var standardmetoden för kol-14 dateringar vid studiens tidpunkt. Problematiken med dessa bulkdateringar är att man mäter allt kol som påträffas i sedimentprovet, vilket kan leda till att dateringarna får en förskjutning mot äldre åldrar. Orsaken till den äldre förskjutningen av åldern kan vara att löst kol, exempelvis från berggrund i omnejd, har kommit med i provet (Grimm et al. 2009; Nilsson et al. 2014). Med felkällor i dateringarna är det givet att modellerna som utförs med den paleomagnetiska data från platsen kommer att placeras in för fel tidsintervall och dessa blir därmed inkompatibla med andra dataset. Felkällorna för dateringar med kol-14-metoden har minskats betydligt under de senaste åren, då utvecklingar av tekniken har ökat mätprecisionen markant (Grimm et al. 2009). Denna utveckling i teknik har öppnat för möjligheter att åtminstone använda den paleomagnetiska data som har utförts vid Barombi Mbo. Om en ny åldersmodell kan överföras och appliceras på den paleomagnetiska data från Barombi Mbo, kan man testa om de extrema variationerna i deklination är kompatibla med nya magnetfältsmodeller.

Thouveny & Williamson (1988) försökte även bestämma kronologin mellan BM2 och BM6 med hjälp av korrelationer mellan borrhämnarnas paleomagnetiska data. En misstanke att denna kronologin är felaktig uppkommer eftersom dateringarna från BM2 överförs till motsvarande djup på BM6 med hjälp av korrelationerna (tabell 1), vilket har lett till att deklinations-

förändringen på 4,5 meters djup bestämdes till ~2000 år BP. I artikeln Frank et al. (2019) gör man en ny tolkning av korrelationen mellan BM6 och BM2. BM2 som tidigare korrelerades till intervallet ~4–9 meter på BM6 (Thouveny & Williamson 1988), korreleras nu till det övre 4,5 metrarna i Frank et al. (2019). På grund av osäkerheter i hur BM2 förhåller sig till BM6, samt att intresset i denna studie främst är deklinationsvariationen vid 4,5 meter, kommer jag framöver endast att fokusera på data från BM6.

2015 utfördes även nya provtagningar vid Barombi Mbo (Garcin et al. 2018). I undersökningen tog man fram en ny 12 meter lång borrhämn (B14), som man utförde nya dateringar på. Dessa nya dateringar utfördes främst på organiskt material i bulkprov, men man daterade även ett fåtal makrofossil från växter. I Garcin et al. (2018) konstrueras först en djupserie där omlagrat sediment, från till exempel turbiditströmmar, avlägsnas ("event-free depth") (fig. 5). En ny åldersmodell konstrueras med hjälp av mjukvaran BACON (Blaauw & Christen 2011), där bulkprover korrigerats för äldre, iblandat kol, baserat på de enstaka makrofossildateringarna. Dock, väntas ännu studier med nya paleomagnetiska provtagningar för dessa borrhämnar.

### 3 Metod

I denna litteraturstudie uppdateras äldre data från Barombi Mbo i Thouveny & Williamson (1988), genom att samla nyare studier med uppdaterad data och revidera åldersmodellering. För insamling till litteraturstudien har akademiska databaser som: Web of Science, Scopus, med flera tillämpats. För åldersmodellering

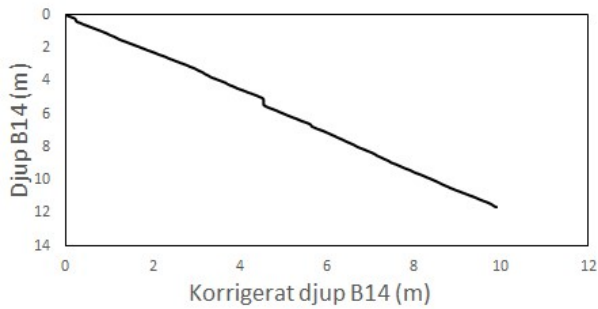


Fig. 5. Förhållandet mellan uppmätt djup och djup, korrigerat för avvikande intervall ("event-free depth"). Digitaliserad från Garcin et al. (2018).

har data från Thouveny & Williamson (1988) samt Garcin et al. (2018) digitaliserats med programvaran: Digiteizelt. Ursprungliga dateringar (Thouveny & Williamson 1988; Giresse et al. 1991; Lebamba et al. 2012) av BM6 har kalibrerats med programvara: CALIB REV7.1.0 (Stuvier et al. 2020). Alla modelleringar som visas i resultat och diskussion är baserad på en ny, ännu ej publicerad modelleringsmetod som håller på att utvecklas av Andreas Nilsson.

## 4 Resultat

### 4.1 Åldersmodellering med BM6 dateringar

I figur 6 visas alternativa åldersmodeller för BM6, baserade på dateringar från Lebamba et al. (2012) samt paleomagnetisk data från BM6 (pfm9k2.BM6). I figur 6b visas paleomagnetisk data från BM6 samt resultat från två magnetfältsmodeller: pfm9k.2 utan data från Barombi mbo och pfm9k.2.BM6 med data från BM6. Även en åldersmodell med dateringarna på B14 har överförts till djupskalan för BM6.

För att deklinationsavvikelsen, på 4,5 meters djup, ska bli så kompatibel som möjlig med magnetfältsvari-

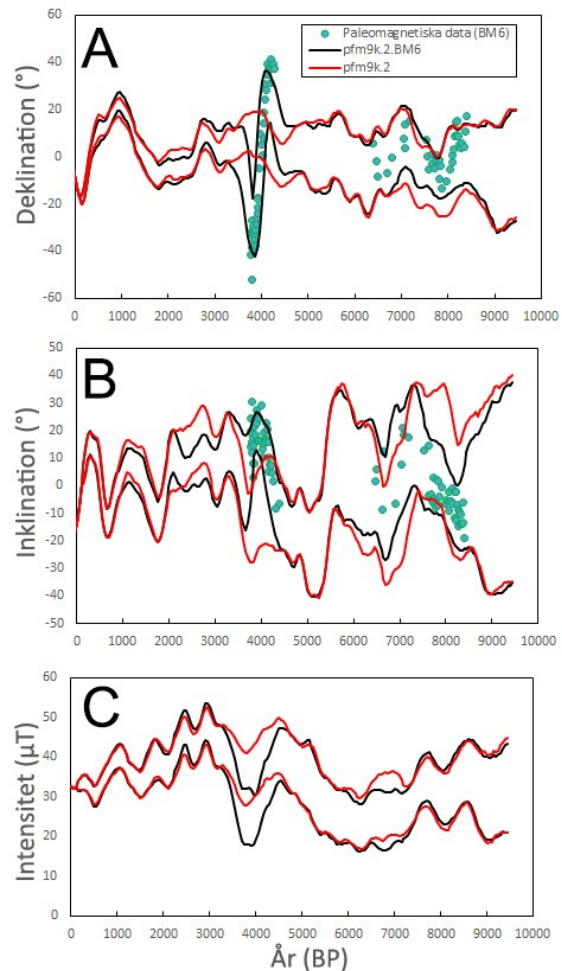


Fig. 6b. Jämförelse av variationer i deklination (A), inklination (B) samt intensitet (C) i Barombi Mbo över de senaste 10,000 åren mellan pfm9k.2.BM6 och pfm9k.2, och paleomagnetisk data från BM6.

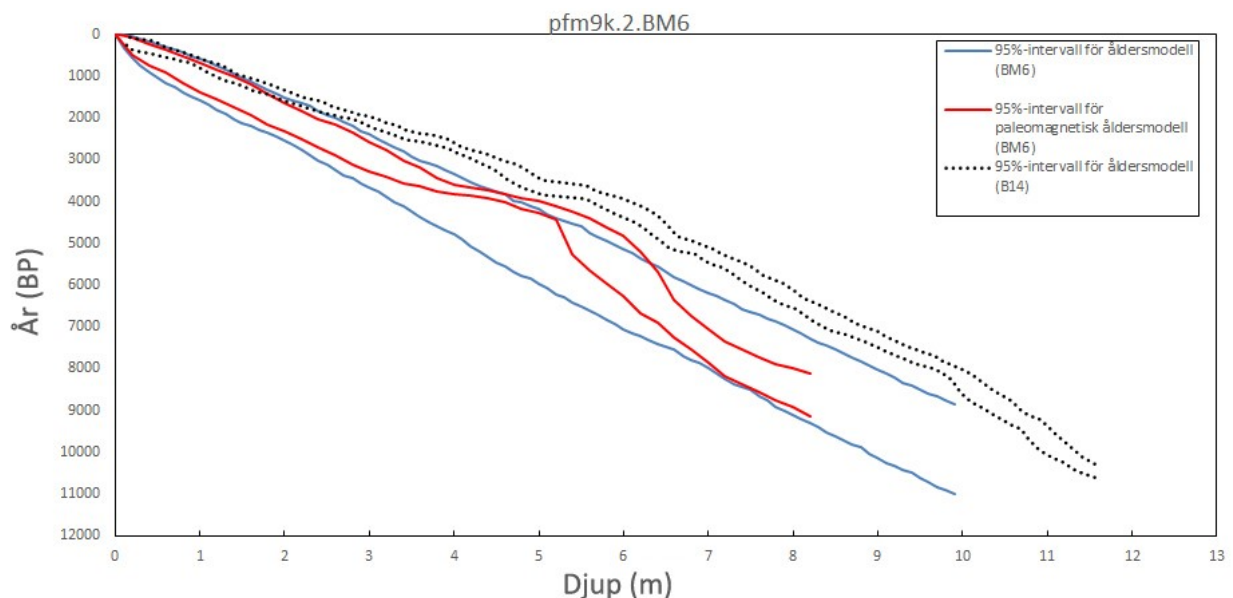


Fig. 6. Åldersmodeller för BM6: (blå linjer) 95% intervallet för åldersmodell enbart baserad på kol-14 dateringar från BM6, (röda linjer) 95% intervall för åldersmodell baserad på kol-14 dateringar samt paleomagnetiska data från BM6 och (svart streckade linjer) 95% intervall för åldersmodell baserad på kol-14 dateringar från B14 (Garcin et al., 2018) överförd till BM6 djup enligt figur 5.

ationer rekonstruerade från oberoende data (pfm9k.2) har den paleomagnetiska modellen placerat avviken vid ~4000 år BP (fig. 6b). Detta innebär att den paleomagnetiska åldersmodellen, i figur 6, förskjuts mot de yngsta möjliga åldrarna, som tillåts av kol-14 dateringarna. En jämförelse av inklinationsdata samt modellerad inklination runt 4000 år BP antyder att den paleomagnetiska data från BM6 hade varit ännu mer kompatibel med pfm9k.2 om åldersmodellen runt 4.5 meter hade förskjutits ytterligare ~500 år mot yngre åldrar.

Inklinationsdata samt modellerad inklination mellan 7000-8000 år BP ger indikation om att det finns två möjliga kompatibla variationer med pfm9k.2. En variation, med inklinationsmaximum ~7500 år BP och en annan, till synes lika kompatibel variation, med inklinationsmaximum ~6000 år BP. Dessa två kompatibla variationer ger antydning på att inklinationsdata kommer vara lika kompatibel med pfm9k.2 om åldersmodellen vid ~7 meter hade förskjutits 1500 år mot yngre åldrar. Pfm9k.2.BM6 visar även ett djupare intensitetsminimum än pfm9k.2 vid 3800 år BP.

## 4.2 Åldersmodellering med B14 dateringar

Den uppdaterade åldersmodellen (fig. 7) har modellerats med dateringarna för B14 (Garcin et al. 2018) samt paleomagnetisk data från BM6. Djupet för samtliga dateringarna är korrigerade till "event-free depth" enligt figur 5. För att illustrera den systematiska avviken som uppträder mellan åldersmodellen B14 och dateringarna för BM6, jämförs den uppdaterade åldersmodellen med samtliga dateringar mellan 0-11 meter från BM6 (Thouveny & Williamson 1988; Giresse et al. 1991; Lebamba et al. 2012). Dateringarna för BM6 har kalibrerats till kalenderår med CALIB REV7.1.0 (Stuvier et al. 2020) och har korrigerats till samma djupskala som åldersmodellen.

I figur 7b jämförs paleomagnetisk data från BM6 med resultat från två magnetfältsmodeller: pfm9k.2 utan data från Barombi Mbo och pfm9k.2.B14 med

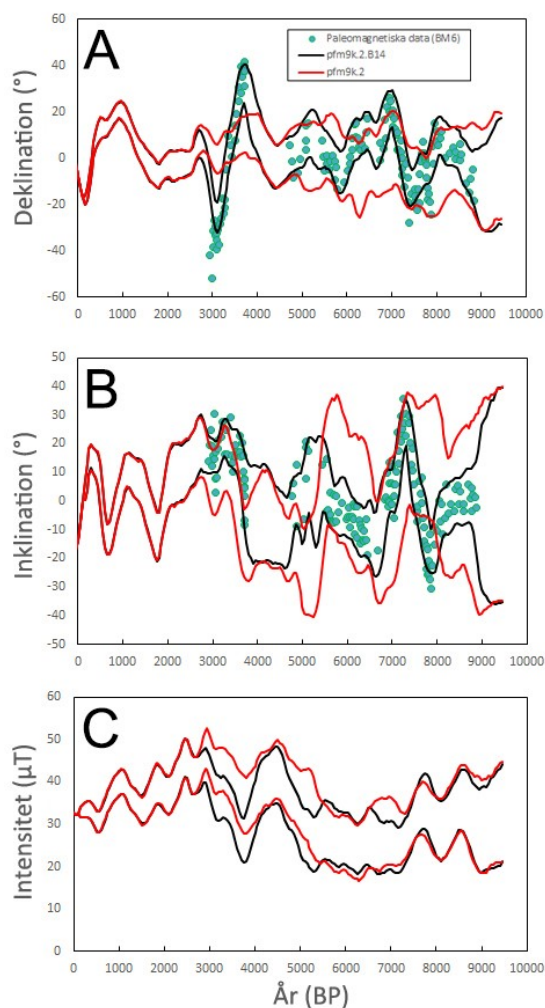


Fig. 7b. Jämförelse av variationer i deklination (A), inklination (B) samt intensitet (C) i Barombi Mbo över de senaste 10,000 åren mellan pfm9k.2.B14 och pfm9k.2 och paleomagnetiska data från BM6. Deklinationstopparna 1, 2 och 3, i modell pfm9k.2.B14, är större avvikelser i deklinationsdata.

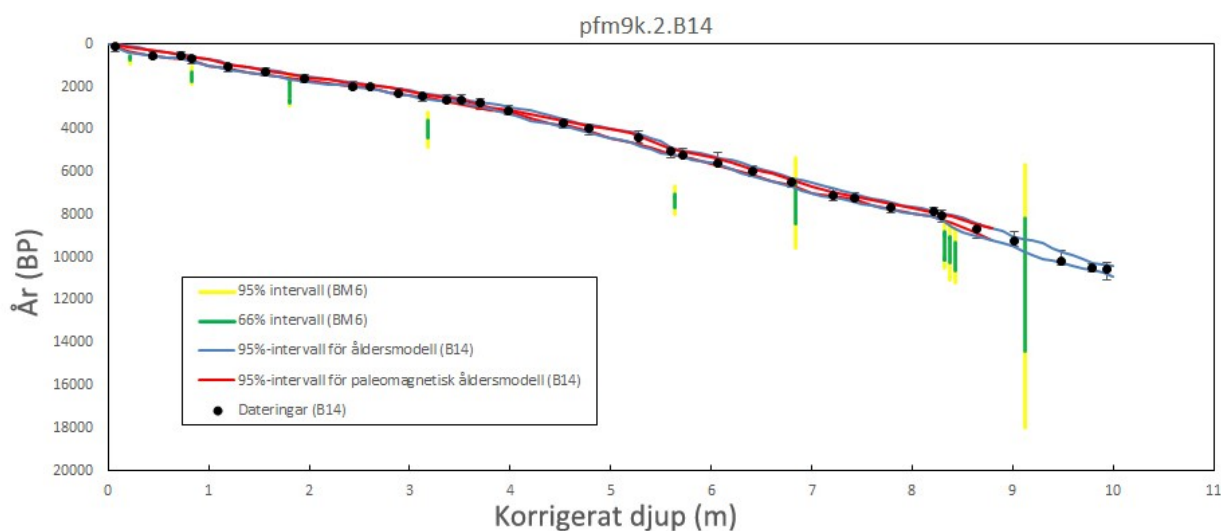


Fig. 7. Åldersmodeller för B14: (blå linjer) 95% intervallet för åldersmodell enbart baserad på kol-14 dateringar från B14, (röda linjer) 95% intervallet för åldersmodell baserad på kol-14 dateringar (B14), (svarta prickar) dateringar av organiskt material och makrofossil i B14 samt paleomagnetiska data från BM6 och (gula samt gröna linjer) 95%- och 66%-intervall för BM6 baserade på dateringar för BM6 (enligt tabell 1), vilka har kalibrerats med CALIB REV7.1.0 (Stuvier et al. 2020) och överförts till B14 djup enligt figur 5.

data från BM6 med den uppdaterade åldersmodellen. Eftersom åldersmodellen för pfm9k.2.B14 ger systematisk yngre åldrar relativt pfm9k.2.BM6, innebär det också att paleomagnetisk data från större djup används i pfm9k.2.B14. Den nya magnetfältsmodellen, pfm9k.2.B14, är i stort sett kompatibel med pfm9k.2 (inom osäkerhetsintervallen) men tre toppar för deklinationen har markerats (1, 2 och 3), där deklinationsvariationerna för pfm9k.2.B14 avviker från pfm9k.2. Deklinationsavvikelsen vid 4,5 meters djup hamnar för pfm9k.2.B14 vid ~3500 år BP, vilket är en förändring på ~500 år relativt pfm9k.2.BM6. Åldersmodellen runt 5.5 meter korrigerat djup (motsvarande ~7m ursprungligt djup) har i sin tur förskjuts närmare 1500 år mot yngre åldrar. Även för pfm9k.2.B14 uppvisas ett djupare lokalt intensitetsminimum runt 3800 år BP relativt pfm9k.2.

### 4.3 Globala intensitetsmodeller

I figur 8 visas styrkan av jordens dipolfält, för det senaste 9000 åren, enligt de modeller som har presenterats. Variationerna visar att det den SAA uppträder då dipolfältet snabbt minskar i styrka. Med nya uppsättningar av data från Barombi Mbo uppträder även ett område vid ~3300 år BP, som har avvikande magnetisk intensitet och andra likheter med den SAA. En av dessa likheter för anomalin vid 3300 år BP är att den inleds med en liknande reduktion av dipolfältets styrka. Reduktion av dipolfältets styrka följs dock, för anomalin vid 3300 år BP, av en ännu mer markant ökning i styrkan. Vad som är värt att notera från det lokala intensitetsminimat, ~3800 år BP, för pfm9k.2.BM6 samt pfm9k.2.B14 (fig. 6b och 7b) är att dessa inte sammanfaller med det globala intensitetsminimat runt 3300 år BP. Detta tyder på att anoma-

lin rört sig i västlig riktning.

Med de nya åldersmodellerna, pfm9k.2.B14 och pfm9k.2.BM6, presenteras en uppdaterad magnetfältsmodell vid 3300 år BP (fig. 9), där magnetisk intensitet vid ytan samt dess uppskattade osäkerhet (baserat på spridning från olika modeller) visas. För att illustrera skillnaden ett dataset kan ha, presenteras även magnetfältsmodellen för pfm9k.2 vid 3300 år BP. Jämförelser mellan magnetfältsmodellerna, pfm9k.2.B14 och pfm9k.2.BM6, och den SAA (fig. 1) är:

- Lägsta intensitetsvärden för samtliga modeller uppträder runt södra Atlanten, dock med en västlig förskjutning relativt den SAA.
- En magnetfältsasymmetri i södra Atlanten och området med högre intensitet vid sydpolen uppträder i samtliga modeller.

Spridningen av intensitet representerar standardavvikelsen för antal mätpunkter av intensitet. Från båda modellerna syns det tydligt att spridningen av data är tydligt förhöjd mot höga latituder på södra hemisfären.

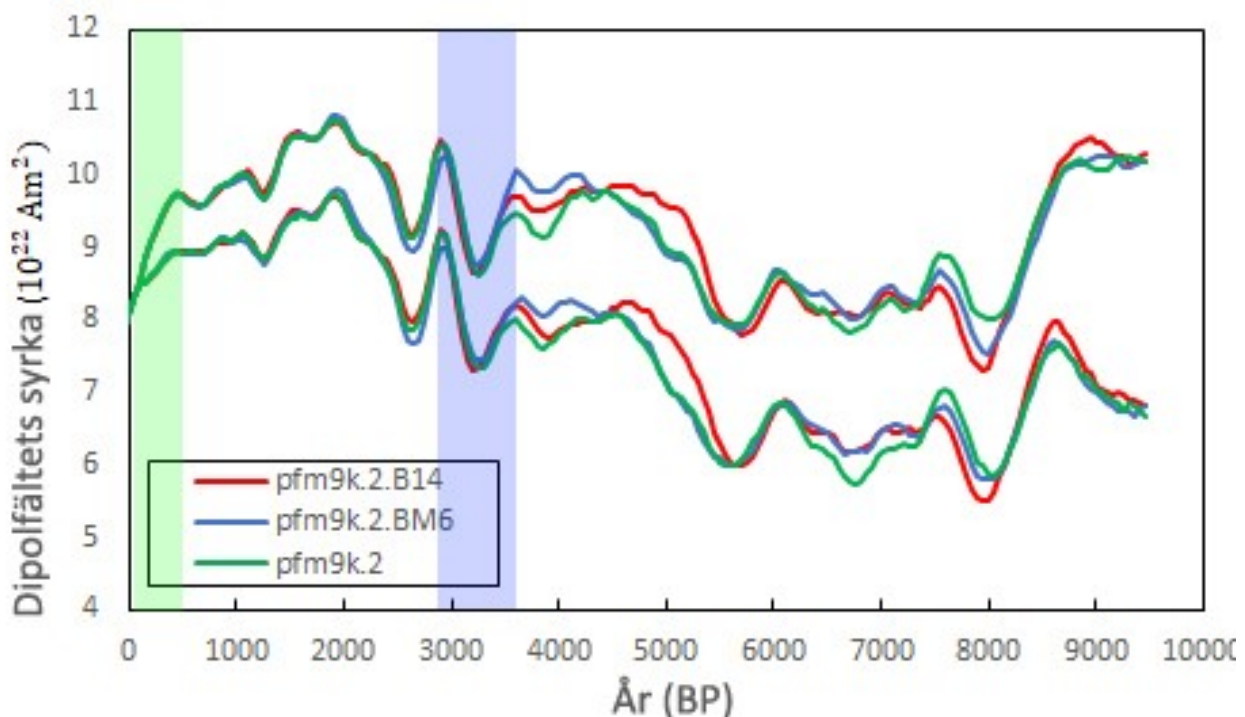


Fig. 8. Variationer i styrkan av jordens dipolfält för modellerna pfm9k.2, pfm9k.2.BM6 samt pfm9k.2.B14. Grönt intervall: SAA. Blått intervall: Anomali vid 3300 BP.

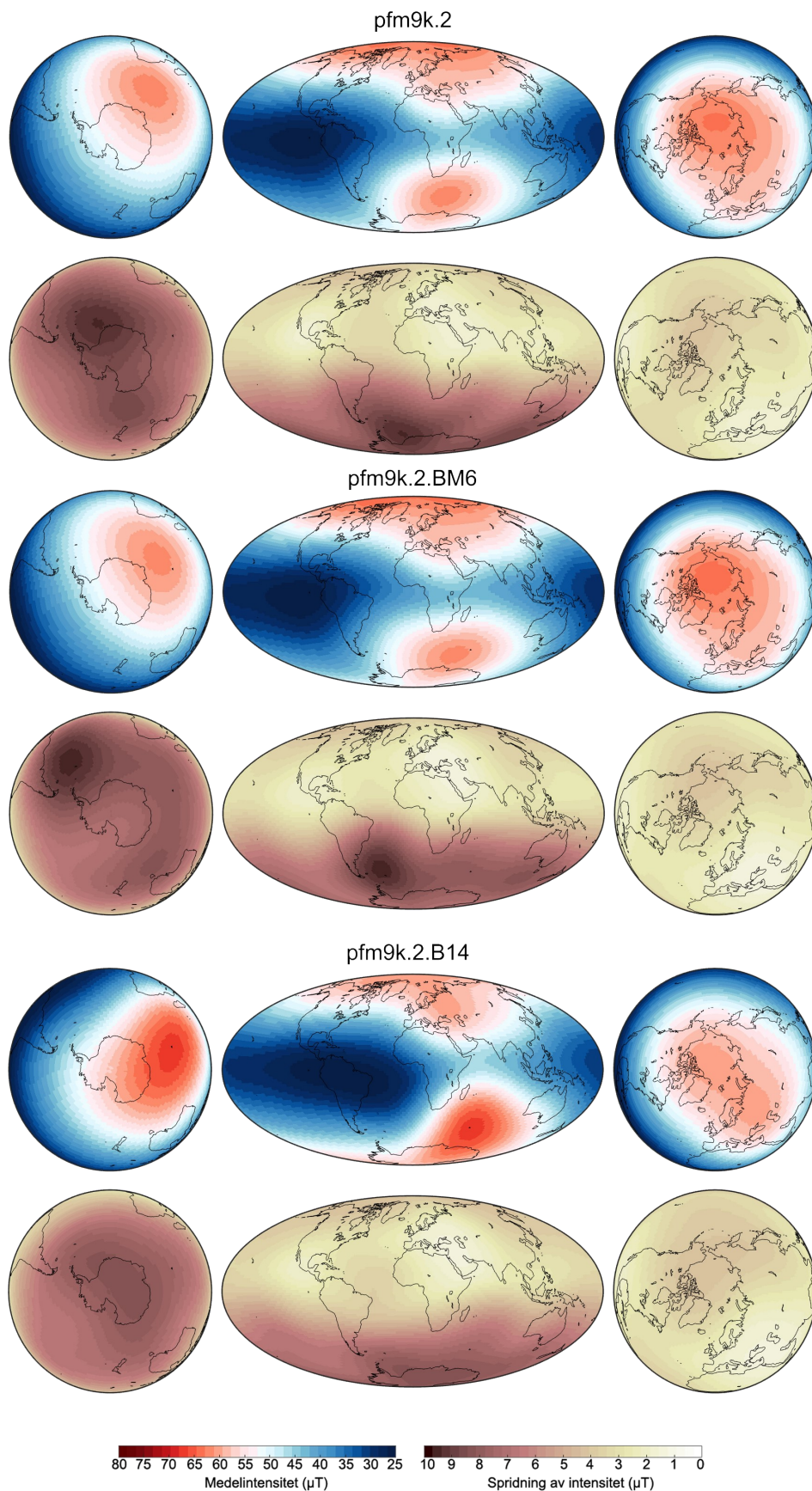


Fig. 9. Kartor över magnetisk intensitet vid jordens yta för år 3300 BP för modellerna: pfm9k.2, pfm9k.2.BM6 samt pfm9k.2.B14. Enskilda modellens övre panelen: Medelvärde baserat på N=996 olika modeller. Enskilda modellens nedre panelen: Standardavvikelse baserat på N=996 olika modeller.

## 5 Diskussion

### 5.1 Åldersmodelleringar

Dateringen av deklinationsavvikelsen samt den associerade inklinationsstoppen runt 4,5 meter (ursprungligt djup) är relativt likartad i både pfm9k.2.BM6 (~4000 år BP) och pfm9k.2.B14 (~3500 år BP). Skillnaden mellan dessa inklinationsstopp är ~500 år, vilket ungefärligt motsvarar skillnaden mellan 95%-intervallen för åldersmodellerna, baserade endast på kol-14 dateringar (se figur 6). Det är tydligt att skillnaden i ålder antingen beror på osäkerheter som ej är medräknade i kol-14 dateringarna (troligtvis för BM6) eller överföringen av BM6 djup till korrigerat B14 djup. De närmsta kol-14 dateringar som finns för djupet 4,5 meter i BM6, är två dateringar på 3,48 samt 3,55 meter (se tabell 1). Då dessa två dateringar har samma kol-14 ålder (3690 år BP) samt att dessa är hämtade från olika publikationer (Thouveny & Williamson 1988 ; Le-bamba et al. 2012), är det troligt att dessa utgör samma datering och ej separata. I Thouveny & Williamson (1988) är datering vid 3,48 meter utförd på totalt kol, vilket även ökar risken för att dateringen har fått en för gammal ålder. Eftersom att denna osäkerhet finns med i dateringarna för BM6, samt att åldersmodellen pfm9k.2.B14 är kompatibel med pfm9k.2 föredras åldersmodellen med dateringarna för B14 (pfm9k.2.B14).

### 5.2 Malawisjön

Deklinationsavvikelserna (fig. 7b) i pfm9k.2.B14 visar stora förändringar i deklination, från västra Afrika. Dock, är dessa avvikelser endast baserat på ett dataset (BM6). För att undersöka om det finns stöd för sådana dramatiska variationer i magnetfältet, jämförs resultaten med andra, tidigare publicerade paleomagnetiska data från likartade lokaler. Lund et al. (2016) presenterar paleomagnetiska data från sjön Malawi, vid Afrikas östkust. I undersökningen har paleomagnetiska data från 6 stycken borrhämnor, som togs och daterades 1998 (Barry 2001), studerats. Dateringarna tycks ha samma problematik som vid Barombi Mbo, där vissa av borrhämnorna har oregelbundna dateringar. Dock, kan man se likheter till pfm9k.2.B14 i Malawi-modellen för borrhämnorna M98-6P (Lund et al. 2016). Borrhämnorna M98-6P har tre dateringar där den yngsta dateringen, som har utförts vid ~4 meter, har kalibrerats till ~8000 år BP. Inom intervallet ser man tre tydliga deklinationstopp i östlig riktning numrerade: 8, 10 och 12, som presenteras i figur 6 i Lund et al. (2016). Dessa deklinationstopp skulle eventuellt kunna korreleras till topparna **1**, **2** och **3** som observeras i pfm9k.2.B14. Vad som är av större intresse är amplituden för deklinationstopparna, vilka rör sig inom samma intervall (-40° till 50°) som deklinationsvariationerna i data från BM6.

### 5.3 Global intensitetsmodellering

Paleomagnetiska data från Barombi Mbo och två alternativa åldersmodeller har använts för att konstruera två nya magnetfältmodeller (pfm9k.2.BM6 och pfm9k.2.B14). Den resulterande modellen (fig. 9) visar att en anomali i magnetfältet uppträder, med sin kulmen, vid ~3300 år BP. Jämförs utseendet av denna

anomali med den SAA, kan man se tydliga likheter. Anomalin vid 3300 år BP, täckte ett område över södra Atlanten där det globala intensitetsminimum uppträder. Likt den SAA uppträder anomalin vid 3300 år BP först under Afrika och rör sig västerut samtidigt som den växer. Det uppträder även ett område nära sydpolen, där högre intensitetsvärden uppträder, vilket skapar en magnetfältsasymmetri likt dagens SAA. I figur 9, visas även samma intensitetskarta för pfm9k.2, det vill säga utan det nya datauppsättningen. Vad denna figur illustrerar är att samma generella drag för anomalin 3300 år BP uppträder. Men efter att endast ett dataset läggs till i magnetfältmodellen kommer relativt stora förändringar uppträda. Figur 9 visar även den tydligt större spridningen av intensitetsdata över den södra hemisfären, vilket ytterligare markerar vikten av uppdaterad data i dessa rekonstruktioner. En annan komponent av de utförda magnetfältmodellerna är dipolfältet. I figur 8 visas variationer av dipolfältets styrkan för samtliga modeller som har presenterats i denna rapport (fig. 6 och fig. 7). Variationerna i dipolfältets styrka visar hur anomalin, vid 3300 år BP, initieras med en snabb minskning i styrkan, följt av en lika snabb återhämtning. Det intressanta i detta är att inledningen av anomalin vid 3300 år BP har en liknande minskning i dipolfältets styrka som man kan se idag. Tar man denna jämförelse mellan anomalierna ihop med att även det generella utseendet av dipolfälten har stora likheter, kan detta ge indikationer på att den SAA kommer att återhämta sig till "normala" värden. Tolkning skulle även innebära att den SAA skulle kunna vara ett återkommande fenomen och anomalier likt den SAA kan ha uppträtt vid andra tidpunkter, utan efterföljande reversaler eller exkursioner.

## 6 Slutsats

- Åldersmodell för BM6 har en systematisk avvikelse från åldersmodellen till B14.
- Paleomagnetiska data är kompatibla med båda modellerna, men B14 tolkas vara mer kompatibel.
- Magnetfältmodeller, med data från Barombi Mbo, visar signaler av en anomali lik den SAA vid 3300 år BP.
- Signalen från anomalin vid 3300 år BP uppträder även i den oberoende magnetfältmodellen (pfm9k.2), men signalen blir starkare i de uppdaterade magnetfältmodellerna.
- Spridningen av data från den södra hemisfären förbättras för modellerna som har inkluderat dataset från Barombi Mbo. Dock, kvarstår en klart större osäkerhet över södra hemisfären i samtliga modeller.
- Variationer i dipolfältets styrka visar att anomalin vid 3300 år BP har en inledning som liknar dagens minskning i dipolfältets styrka.
- Från det generella utseendet samt den associerade minskningen av dipolfältet skulle anomalin, vid 3300 år BP, kunna tolkas vara en anomali likt den SAA.
- Med tolkningen att anomalin vid 3300 år BP är en anomali likt den SAA, ger det indikationer på att den SAA kommer att återhämta sig utan

att inleda en reversal eller exkursion.

## 7 Tack

Jag vill passa på att tacka min handledare Andras Nilsson för all hjälp och vägledning som jag har fått under detta arbete. Jag vill även tacka min familj och vänner som har varit behjälpliga under processen att utföra detta arbete.

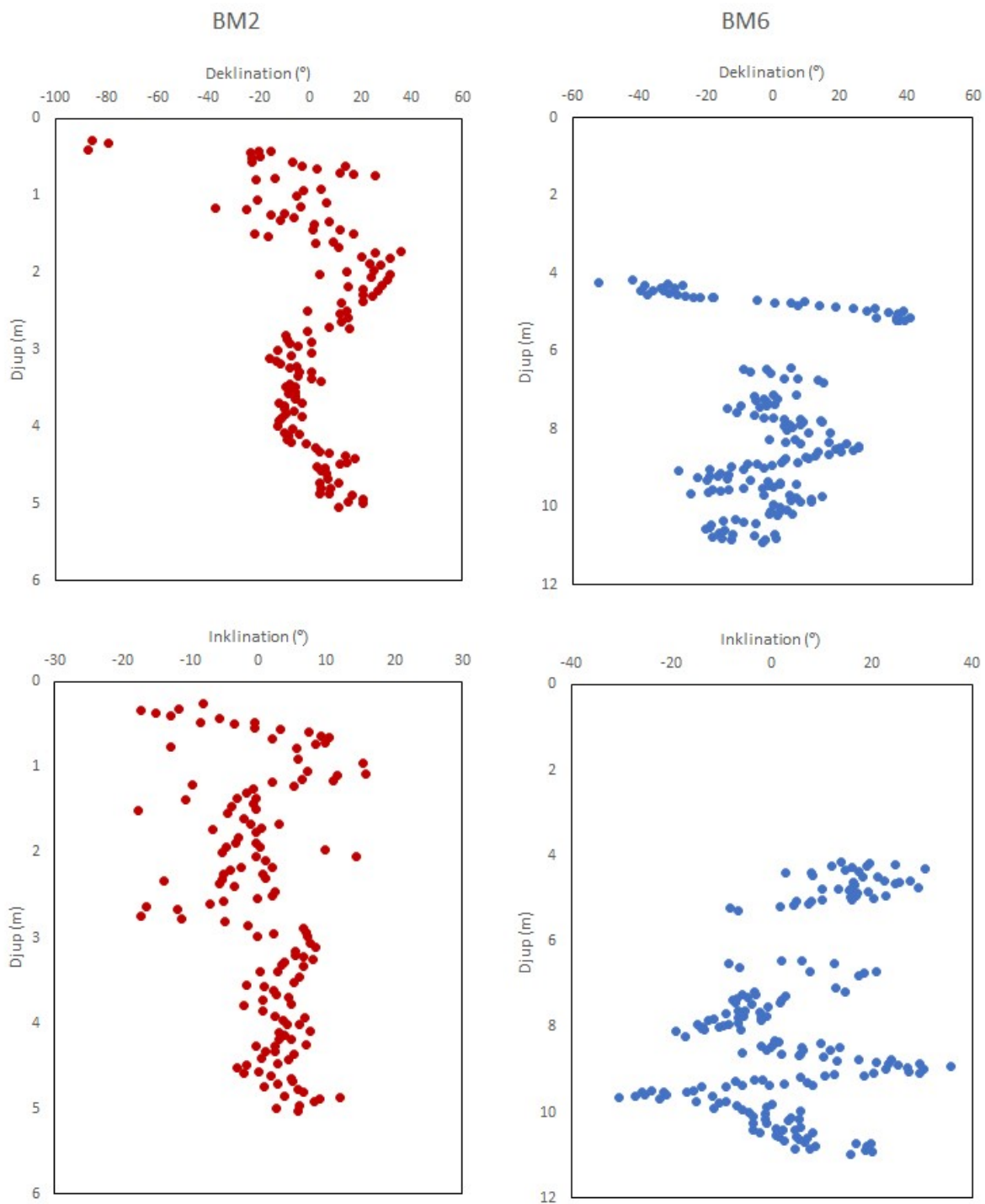
## 8 Referenser

- Barry, S. L., 2001: *Stratigraphic Correlation and Geochronology of Varved Sediments from Lake Malawi, East Africa*. University of Minnesota Duluth. 80 pp.
- Blaauw, M. & Christen, J., 2011: Flexible Palaeoclimate Age-Depth Models Using an Autoregressive Gamma Process. *Bayesian Analysis* 6, 457-474.
- British Geological Survey, u.å.: Reversals: Magnetic Flip. Hämtad 05-11 2020, från <http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/reversals.html>.
- Brown, M., Korte, M., Holme, R., Wardinski, I. & Gunnarson, S., 2018: Earth's magnetic field is probably not reversing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115, 5111-5116.
- Brown, M. C., Jicha, B. R., Singer, B. S. & Shaw, J., 2013: Snapshot of the Matuyama-Brunhes reversal process recorded in 40Ar/39Ar-dated lavas from Guadeloupe, West Indies. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 14, 4341-4350.
- Butler, R. F., 1992: *PALEOMAGNETISM: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Blackwell Scientific Publications, Boston. 319 sid.
- Campuzano, S. A., Gómez-Paccard, M., Pavón-Carrasco, F. J. & Osete, M. L., 2019: Emergence and evolution of the South Atlantic Anomaly revealed by the new paleomagnetic reconstruction SHAWQ2k. *Earth and Planetary Science Letters* 512, 17-26.
- Drake N., 2018: No, We're Not All Doomed by Earth's Magnetic Field Flip. Hämtad 2020-05-01, från <https://www.nationalgeographic.co.uk/science/2018/02/no-were-not-all-doomed-earths-magnetic-field-flip>.
- Encyclopaedia Britannica, u.å.: Magnetometer. Hämtad 2020-04-27, från <https://www.britannica.com/technology/magnetometer>.
- Frank, U., Nowaczyk, N. R., Frederichs, T., Liu, J. & Korte, M., 2019: Palaeo- and rock magnetic investigations of Late Quaternary sediments from the Upper Congo deep-sea fan: on the difficulty in obtaining palaeomagnetic secular variation records from low latitudes. *International Journal of Earth Sciences* 108, 267-285.
- Garcin, Y., Deschamps, P., Ménot, G., de Saulieu, G., Schefuß, E., Sebag, D., Dupont, L. M., Oslisly, R., Brademann, B., Mbusnum, K. G., Onana, J.-M., Ako, A. A., Epp, L. S., Tjallingii, R., Strecker, M. R., Brauer, A. & Sachse, D., 2018: Early anthropogenic impact on Western Central African rainforests 2,600 y ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 3261.
- Giresse, P., Maley, J. & Kelts, K., 1991: Sedimentation and palaeoenvironment in crater lake Barombi Mbo, Cameroon, during the last 25,000 years. *Sedimentary Geology* 71, 151-175.
- Grimm, E. C., Maher, L. J. & Nelson, D. M., 2009: The magnitude of error in conventional bulk-sediment radiocarbon dates from central North America. *Quaternary Research* 72, 301-308.
- Hare, V. J., Tarduno, J. A., Huffman, T., Watkeys, M., Thebe, P. C., Manyanga, M., Bono, R. K. & Cottrell, R. D., 2018: New Archeomagnetic Directional Records From Iron Age Southern Africa (ca. 425–1550 CE) and Implications for the South Atlantic Anomaly. *Geophysical Research Letters* 45, 1361-1369.
- Lebamba, J., Vincens, A. & Maley, J., 2012: Pollen, vegetation change and climate at Lake Barombi Mbo (Cameroon) during the last ca. 33 000 cal yr BP: a numerical approach. *Climate of the Past* 8, 59-78.
- Lund, S., Platzman, E. & Johnson, T., 2016: Full-vector paleomagnetic secular variation records from latest quaternary sediments of Lake Malawi (10.0°S, 34.3°E). *Quaternary Science Reviews* 144, 16-27.
- Maley, J., Livingstone, D. A., Giresse, P., Thouveny, N., Brenac, P., Kelts, K., Kling, G., Stager, C., Haag, M., Fournier, M., Banded, Y., Williamson, D. & Zogning, A., 1990: Lithostratigraphy, volcanism, paleomagnetism and palynology of Quaternary lacustrine deposits from Barombi Mbo (West Cameroon): Preliminary results. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 42, 319-335.
- NASA, 2011: 2012: Magnetic Pole Reversal Happens All The (Geologic) Time. Hämtad 2020-05-16, från <https://www.nasa.gov/>



- topics/earth/features/2012-poleReversal.html.
- Nilsson, A., Holme, R., Korte, M., Suttie, N. & Hill, M., 2014: Reconstructing Holocene geomagnetic field variation: new methods, models and implications. *Geophysical Journal International* 198, 229-248.
- Panovska, S., Korte, M. & Constable, C. G., 2019: One Hundred Thousand Years of Geomagnetic Field Evolution. *Reviews of Geophysics* 57, 1289-1337.
- Shah, J., Koppers, A. A. P., Leitner, M., Leonhardt, R., Muxworthy, A. R., Heunemann, C., Bachtadse, V., Ashley, J. A. D. & Matzka, J., 2016: Palaeomagnetic evidence for the persistence or recurrence of geomagnetic main field anomalies in the South Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters* 441, 113-124.
- Stuvier, M., Reimer, P. J. & Reimer, R. W., 2020: CALIB 7.1 [WWW program]. Hämtad 2020-05-06, från <http://calib.org>.
- Terra-Nova, F., Amit, H., Hartmann, G. & Trindade, R., 2015: The time-dependence of reversed archeomagnetic flux patches. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 120.
- Terra-Nova, F., Amit, H., Hartmann, G. A., Trindade, R. I. F. & Pinheiro, K. J., 2017: Relating the South Atlantic Anomaly and geomagnetic flux patches. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 266, 39-53.
- Thouveny, N. & Williamson, D., 1988: Palaeomagnetic study of the Holocene and Upper Pleistocene sediments from Lake Barombi Mbo, Cameroun: first results. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 52, 193-206.
- Trindade, R. I. F., Jaqueto, P., Terra-Nova, F., Brandt, D., Hartmann, G. A., Feinberg, J. M., Strauss, B. E., Novello, V. F., Cruz, F. W., Karmann, I., Cheng, H. & Edwards, R. L., 2018: Speleothem record of geomagnetic South Atlantic Anomaly recurrence. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 13198-13203.

# Bilaga 1 — Digitaliserad paleomagnetiska data för BM2 samt BM6



**Tidigare skrifter i serien  
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds  
universitet”:**

536. Fägersten, Andreas, 2018: Lateral variability in the quantification of calcareous nannofossils in the Upper Triassic, Austria. (15 hp)
537. Hjertman, Anna, 2018: Förutsättningar för djupinfiltration av ytvatten från Ivösjön till Kristianstadbassängen. (15 hp)
538. Lagerstam, Clarence, 2018: Varför svalde svanödlor (Reptilia, Plesiosauria) stenar? (15 hp)
539. Pilser, Hannes, 2018: Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperaturer nära 0°C. (15 hp)
540. Christiansen, Emma, 2018: Mikroplast på och i havsbotten - Utbredningen av mikroplaster i marina bottensediment och dess påverkan på marina miljöer. (15 hp)
541. Staahlacke, Simon, 2018: En sammanställning av norra Skånes prekambrika berggrund. (15 hp)
542. Martell, Josefin, 2018: Shock metamorphic features in zircon grains from the Mien impact structure - clues to conditions during impact. (45 hp)
543. Chitindingu, Tawonga, 2018: Petrological characterization of the Cambrian sandstone reservoirs in the Baltic Basin, Sweden. (45 hp)
544. Chonewicz, Julia, 2018: Dimensionerande vattenförbrukning och alternativa vattenkvaliteter. (15 hp)
545. Adeen, Lina, 2018: Hur lämpliga är de geofysiska metoderna resistivitet och IP för kartläggning av PFOS? (15 hp)
546. Nilsson Brunlid, Anette, 2018: Impact of southern Baltic sea-level changes on landscape development in the Verkeån River valley at Haväng, southern Sweden, during the early and mid Holocene. (45 hp)
547. Perälä, Jesper, 2018: Dynamic Recrystallization in the Sveconorwegian Frontal Wedge, Småland, southern Sweden. (45 hp)
548. Artursson, Christopher, 2018: Stratigraphy, sedimentology and geophysical assessment of the early Silurian Halla and Klinteberg formations, Altajme core, Gotland, Sweden. (45 hp)
549. Kempengren, Henrik, 2018: Att välja den mest hållbara efterbehandlingsmetoden vid sanering: Applicering av beslutsstödsverktyget SAMLA. (45 hp)
550. Andreasson, Dagnija, 2018: Assessment of using liquidity index for the approximation of undrained shear strength of clay tills in Scania. (45 hp)
551. Ahrenstedt, Viktor, 2018: The Neoproterozoic Visingsö Group of southern Sweden: Lithology, sequence stratigraphy and provenance of the Middle Formation. (45 hp)
552. Berglund, Marie, 2018: Basaltkuppen - ett spel om mineralogi och petrologi. (15 hp)
553. Hernnäs, Tove, 2018: Garnet amphibolite in the internal Eastern Segment, Sveconorwegian Province: monitors of metamorphic recrystallization at high temperature and pressure during Sveconorwegian orogeny. (45 hp)
554. Halling, Jenny, 2019: Characterization of black rust in reinforced concrete structures: analyses of field samples from southern Sweden. (45 hp)
555. Stevic, Marijana, 2019: Stratigraphy and dating of a lake sediment record from Lyngsjön, eastern Scania - human impact and aeolian sand deposition during the last millennium. (45 hp)
556. Rabanser, Monika, 2019: Processes of Lateral Moraine Formation at a Debris-covered Glacier, Suldenferner (Vedretta di Solda), Italy. (45 hp)
557. Nilsson, Hanna, 2019: Records of environmental change and sedimentation processes over the last century in a Baltic coastal inlet. (45 hp)
558. Ingered, Mimmi, 2019: Zircon U-Pb constraints on the timing of Sveconorwegian migmatite formation in the Western and Median Segments of the Idefjorden terrane, SW Sweden. (45 hp)
559. Hjorth, Ingeborg, 2019: Paleomagnetisk undersökning av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, för att bestämma dess utbrottshistoria. (15 hp)
560. Westberg, Märta, 2019: Enigmatic worm-like fossils from the Silurian Waukesha Lagerstätte, Wisconsin, USA. (15 hp)
561. Björn, Julia, 2019: Undersökning av påverkan på hydraulisk konduktivitet i förorenat område efter in situ-saneringsförsök. (15 hp)
562. Faraj, Haider, 2019: Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln - Gullringen i Kalmar län. (15 hp)
563. Bjermo, Tim, 2019: Eoliska avlagringar och vindriktningar under holocen i och kring Store Mosse, södra Sverige. (15 hp)
564. Langkjaer, Henrik, 2019: Analys av Östergötlands kommande grundvattenresurser ur ett klimtperspektiv - med fokus på förstärkt grundvattenbildning. (15 hp)
565. Johansson, Marcus, 2019: Hur öppet var landskapet i södra Sverige under Atlantisk tid? (15 hp)
566. Molin, Emmy, 2019: Litologi, sedimen-

- tologi och kolisotopstratigrafi över krita-paleogen-gränsintervallet i borrhningen Limhamn-2018. (15 hp)
567. Schroeder, Mimmi, 2019: The history of European hemp cultivation. (15 hp)
568. Damber, Maja, 2019: Granens invandring i sydvästa Sverige, belyst genom pollenanalys från Skottenesjön. (15 hp)
569. Lundgren Sassner, Lykke, 2019: Strandmorfologi, stranderosion och stranddeposition, med en fallstudie på Tylösand sandstrand, Halland. (15 hp)
570. Greiff, Johannes, 2019: Mesozoiska konglomerat och Skånes tektoniska utveckling. (15 hp)
571. Persson, Eric, 2019: An Enigmatic Cerapodian Dentary from the Cretaceous of southern Sweden. (15 hp)
572. Aldenius, Erik, 2019: Subsurface characterization of the Lund Sandstone – 3D model of the sandstone reservoir and evaluation of the geoenery storage potential, SW Skåne, South Sweden. (45 hp)
573. Juliusson, Oscar, 2019: Impacts of subglacial processes on underlying bedrock. (15 hp)
574. Sartell, Anna, 2019: Metamorphic paragenesis and P-T conditions in garnet amphibolite from the Median Segment of the Idefjorden Terrane, Lilla Edet. (15 hp)
575. Végvári, Fanni, 2019: Vulkanisk inverkan på klimatet och atmorsfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud. (15 hp)
576. Gustafsson, Jon, 2019: Petrology of platinum-group element mineralization in the Koillismaa intrusion, Finland. (45 hp)
577. Wahlquist, Per, 2019: Undersökning av mindre förkastningar för vattenuttag i sedimentärt berg kring Kingelstad och Tjutebro. (15 hp)
578. Gaitan Valencia, Camilo Esteban, 2019: Unravelling the timing and distribution of Paleoproterozoic dyke swarms in the eastern Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
579. Eggert, David, 2019: Using Very-Low-Frequency Electromagnetics (VLF-EM) for geophysical exploration at the Albertine Graben, Uganda - A new CAD approach for 3D data blending. (45 hp)
580. Plan, Anders, 2020: Resolving temporal links between the Högberget granite and the Wigström tungsten skarn deposit in Bergslagen (Sweden) using trace elements and U-Pb LA-ICPMS on complex zircons. (45 hp)
581. Pilser, Hannes, 2020: A geophysical survey in the Chocaya Basin in the central Valley of Cochabamba, Bolivia, using ERT and TEM. (45 hp)
582. Leopardi, Dino, 2020: Temporal and genetical constraints of the Cu-Co Vena-Dampetorp deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hp)
583. Lagerstam Lorien, Clarence, 2020: Neck mobility versus mode of locomotion – in what way did neck length affect swimming performance among Mesozoic plesiosaurs (Reptilia, Sauropterygia)? (45 hp)
584. Davies, James, 2020: Geochronology of gneisses adjacent to the Mylonite Zone in southwestern Sweden: evidence of a tectonic window? (45 hp)
585. Foyn, Alex, 2020: Foreland evolution of Blåisen, Norway, over the course of an ablation season. (45 hp)
586. van Wees, Roos, 2020: Combining luminescence dating and sedimentary analysis to derive the landscape dynamics of the Velická Valley in the High Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
587. Rettig, Lukas, 2020: Implications of a rapidly thinning ice-margin for annual moraine formation at Gornergletscher, Switzerland. (45 hp)
588. Bejarano Arias, Ingrid, 2020: Determination of depositional environment and luminescence dating of Pleistocene deposits in the Biely Váh valley, southern foothills of the Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
589. Olla, Daniel, 2020: Petrografisk beskrivning av Prekambriska ortognejser i den undre delen av Särsvskollan, mellersta delen av Skollenheten, Kaledonska orogener. (15 hp)
590. Friberg, Nils, 2020: Är den sydatlantiska magnetiska anomalien ett återkommande fenomen? (15 hp)



# LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund