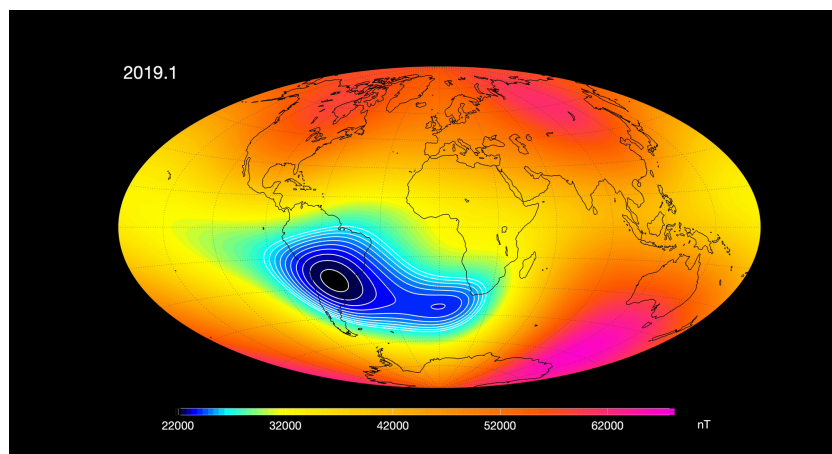


En analys av magnetiska data från sedimentborrkärnor från Kerguelen

Lea Palm

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet
Kandidatarbete, nr. 745
(15 hp/ECTS credits)



En analys av magnetiska data från sedimentborrkärnor från Kerguelen

Kandidatarbete
Lea Palm

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2026

Innehåll

1	Introduktion	7
2	Teoretisk bakgrund	7
2.1	Kerguelen	7
2.2	Geologi	8
2.3	Paleomagnetism	8
2.3.1	Naturlig Remanent Magnetisering	8
3	Metod	9
3.1	Fältarbete	9
3.2	Preliminär åldersdatering	9
3.3	Magnetisk analys	9
3.4	Dataanalys	10
4	Resultat	11
4.1	MAD	11
4.2	Inklination	13
5	Diskussion	13
5.1	Kompletterande studier	14
5.2	Slutsatser	15
6	Tack	15
	Referenser	15

Omslagsbild: Magnetfältets styrka baserat på SWARM-satellitkonstellationen (NASA, 2020). Den blå regionen visar den sydatlantiska anomalin.

LEA PALM

Palm, L., 2026: En analys av magnetiska data från sedimentbörnkärnor från Kerguelen. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 745, 17 sid. 15 hp.

Sammanfattning

Den sydatlantiska anomalin (SAA) är ett fenomen som innebär en försvagning av magnetfältets intensitet, vilket får konsekvenser för rymdinfrastruktur som påverkas av förhöjd strålning vid låg omloppsbana. De senaste 200 åren, tack vare moderna satellitdata, konstateras att anomalin rör sig västerut mot sydatlanten. Anomalin har även föreslagits vara en indikator på en framtida polomvändning. Idag begränsas en dåtida och framtida modellering av SAA av brist på paleomagnetiska data. Omkring 1100 CE visar paleomagnetiska modeller att anomalin befann sig över den subantarktiska ön Kerguelen, vilket gör regionen till ett intressant studieområde för att uppdatera globala magnetfältsm modeller. I denna studie analyseras magnetiska data från sediment från sjön Athena på Kerguelen i syfte att korrigera dataserier från fel orsakat av borrning och fastställa den paleomagnetiska riktningen. Jämförelser mellan studiens korrigerade data och rådande referensmodeller visar på betydande skillnader, till exempel vid den magnetiska sydpolen. Enligt nya mätdata var den magnetiska sydpolen belägen i närheten av Kerguelen runt år 1100 CE. Detta stämmer inte överens med anomalin i Indiska oceanen vid denna tid, vilket tyder på att nuvarande rekonstruktioner av den SAA historia behöver revideras.

Nyckelord: Paleomagnetism, sydatlantiska anomalin, magnetfält, paleomagnetiska rekonstruktionsmodeller, naturlig remanent magnetisering, Kerguelen

Handledare: Andreas Nilsson

Ämnesinriktning: Kvartärgeologi

*Lea Palm, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.
E-post: lea.palmen@gmail.com*

LEA PALM

Palm, L., 2026: En analys av magnetiska data från sedimentborrkärnor från Kerguelen. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 745, 17 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

Abstract

The South Atlantic Anomaly (SAA) is characterized by a weakening of the magnetic field intensity and is a phenomenon that has consequences for space infrastructure affected by elevated radiation in low orbit. Over the past 200 years, thanks to modern satellite data, the anomaly has been observed to move westward towards the South Atlantic. The anomaly has also been suggested to be an indicator of a future pole reversal. Today, past and future modelling of the SAA is limited by a lack of paleomagnetic data. Around 1100 CE, paleomagnetic models suggest that the anomaly was located above the subantarctic island of Kerguelen, making the region an interesting study area to better understand the long-term evolution of the anomaly. In this study, magnetic data from sediments of Lake Athena on Kerguelen are analyzed with the aim of correcting data series for coring induced errors and determining the paleomagnetic direction. Comparisons between the study's corrected data and current reference models highlight significant differences, for example in the location of the South magnetic pole. According to the new measurement data, the South Pole was located close to Kerguelen around 1100 CE. This is inconsistent with the anomaly in the Indian Ocean around this time, suggesting that current reconstructions of the history of the SAA need to be revised.

Keywords: Paleomagnetism, south atlantic anomaly, magnetic field, paleomagnetic reconstruction models, natural remanent magnetization, Kerguelen

Supervisor: Andreas Nilsson

Subject: Quaternary geology

*Lea Palm, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: lea.palmen@gmail.com*

1 Introduktion

Jordens magnetfält förändras konstant, men det är som tydligast och mest problematiskt vid den Sydatlantiska anomalin (SAA). Den SAA definieras som ett område där det geomagnetiska fältet har ovanligt svag intensitet. Detta fenomen har direkta konsekvenser för modern teknologi då förhöjd strålning utgör en risk för rymdteknologi i låg omloppsbana (Heirtzler, 2002). Dessutom har det spekulerats kring att den SAA även är en tänkbar indikator på en framtida polomvändning (Pavón-Carrasco & De Santis, 2016). Trots dess betydelse är orsakerna bakom anomalins utveckling och dess långsiktiga beteende fortfarande inte fullständigt klarlagda.

I en studie av Finlay et al. (2020) används CHAOS-7 modellen, en geomagnetisk modell baserad på satellitdata, för att undersöka förändringar i det geomagnetiska fältet och för att studera utvecklingen av den SAA sedan 2014. Studien visar på en tillväxt av ett sekundärt minimum i magnetfältet som utvecklas sydväst om Afrika, medan huvudanomalin försvagas samt rör sig västerut (Finlay et al. 2020).

Kerguelen i södra Indiska oceanen har en nyckelroll för att ta reda på mer om den SAA. Områdets geografiska läge är strategiskt viktigt eftersom det finns indikationer på att den SAA tidigare har varit positionerad i samma region (Nilsson et al. 2022). Genom att analysera paleomagnetiska arkiv från Kerguelen kan vi få en inblick i hur magnetfältet har varierat på den södra hemisfären, där dataunderlaget i nuläget är oerhört begränsat.

Tidigare forskning har framgångsrikt använt liknande metoder på sediment från norra hemisfären, till exempel från Gyltigesjön i Sverige (Snowball et al. 2013). Här analyserades den naturliga remanenta magnetiseringen (NRM) i syfte att rekonstruera paleomagnetfältet i norra Europa. Sedimentbörnkärnor insamlade från sjöar på Kerguelen har i en annan studie använts för att studera glaciala processer (Sleire et al. 2025). I den här studien fokuserar vi på magnetiska mätdata från två sedimentbörnkärnor från sjön Athena.

Ett centralt problem med dataserierna är

att sedimenten som bär på magnetiseringen har störts vid borrningen, vilket innebär att de inte sammanhänger naturligt. Detta leder till osäkerheter i tolkningen av den magnetiska riktningen och begränsar informationens tillförlitlighet. Syftet med denna studie är därför att undersöka om deformation av sedimenten från borrprovtagningen kan förklara skillnader mellan dataserierna. Målet är att omvandla i nuläget opålitlig data till en tillförlitlig dataserie av den paleomagnetiska riktningen vid tiden för sedimentens bildning. Förhoppningen är att de korrigerade dataserierna uppvisar enhetliga magnetiska variationer, vilket skulle indikera att metoden reducerar effekterna av felkällor och därmed möjliggör en mer tillförlitlig paleomagnetisk tolkning. Frågan är i vilken utsträckning den valda korrektionsmetoden kan reducera osäkerheter i den magnetiska riktningen och bidra med data som kan användas för att rekonstruera utvecklingen av den SAA.

2 Teoretisk bakgrund

2.1 Kerguelen

Kerguelen består av en grupp vulkaniska öar belägna i Indiska oceanen (Fig. 1) och är en del av de Franska sydterritorierna. Öarnas avlägsenhet från mänsklig påverkan gör dem till bra exempel på biologisk evolution och unika terrängmarker för forskning UNESCO (2019), vilket var en anledning till att utse Kerguelen till en UNESCO World Heritage site 2019. Kerguelen är så avlägsen och landskapet

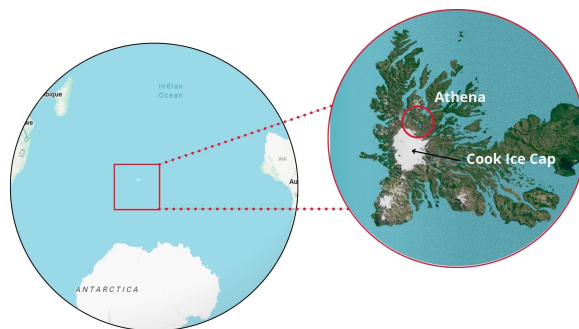


Fig. 1: Satellitfoto över Kerguelen tagen av satelliten Copernicus sentinel-2, (EUSPA, 2021) Cook ice cap och sjön Athena är markerade på kartan

så kargt att de har smeknamnet "Desolation Islands" (NASA, 2007). Grand Terre är den största ön där branta fjordar och halvöar omringas av många mindre öar med en total landyta på cirka 7 215 kvadratkilometer (NASA, 2007). Kerguelen saknar permanent civil befolkning och bebos huvudsakligen av tillfälligt stationerade forskare, militär och statlig personal (Bakke et al. 2020). Ögruppens vulkaniska ursprung samt isolerade position i en region med lite data, bidrar till dess relevans för paleomagnetiska rekonstruktioner.

2.2 Geologi

Kerguelen befinner sig på Kerguelplatån i den antarktiska oceanplattans domän och är en stor magmatisk provins (Cottin et al. 2011). Regionen består av mäktiga sekvenser av basaltiska lavaflöden som stiger 2000 till 3000 meter över havsbotten och genereras av aktiviteten i en hot spot (Cottin et al. 2011). Själva ön Kerguelen har formats under miljoner år av lavaflöden (NASA, 2007), där vulkaniska processer har skapat förutsättningar för bildning av magnetiska mineral, vilka senare har transporterats och avlagrats i sjö- och marina sediment. I denna studie riktas fokuset mot sjön Athena belägen i norra Kerguelen nära glaciären Cook Ice cap (Fig. 1). Sjön är belägen 100 m.ö.h. intill en kedja av distala glaciärmatade sjöar nedströms utloppsglaciären Chamonix (Sleire et al. 2025). Athena, såsom de andra närliggande sjöarna har kvartära sediment bildade tack vare den glaciala avrinningen (Sleire et al. 2025).

2.3 Paleomagnetism

Sediment utgör ett centralt verktyg för att rekonstruera det geomagnetiska fältets historiska utveckling (Torsvik, 2005). Genom att analysera magnetiska egenskaper i geologiska material kan det så kallade paleomagnetiska fältet återskapas, vilket ger information om både magnetfältet och indirekt jordens inre processer som skapar det. Riktningen av jordens magnetfält på en plats brukar beskrivas med parametrarna inklinations och deklination. Inklinations avser vinkeln mellan magnetfältet och jordytan, medan deklinationen beskriver avvi-

kelsen mellan magnetisk och geografisk norr. Inklinations varierar systematiskt med latitud och vid nordpolen är den $+90^\circ$ (nedåtriktad), vid ekvatorn 0° (horisontell) och vid sydpolen -90° (uppåtriktad). Det geomagnetiska fältet kan beskrivas som en dipol placerad i jordens centrum med en lutning på $11,5^\circ$ i förhållande till jordens rotationsaxel (Torsvik, 2005). Denna magnetiska axel varierar över tid, men sammanfaller i genomsnitt relativt väl med rotationsaxeln över längre tidsperioder (Torsvik, 2005).

På grund av att berggrunden på Kerguelen till stor del består av basaltiska bergarter bidrar detta till ett innehåll av magnetit i sjösedimenten som kan användas för paleomagnetiska studier. Sediment innehållande magnetiska mineral utgör arkiv för att rekonstruera jordens historiska magnetfält, då dessa mineral kan bevara information om fältets riktning vid tiden för sedimentets avsättning. Paleomagnetiska studier baserade på sådana sediment bidrar därmed till en ökad förståelse av jordens magnetfält och dess variationer över tid.

2.3.1 Naturlig Remanent Magnetisering

Det finns tre olika typer av NRM, varav en är detritisk remanent magnetisering (DRM), som uppstår vid deposition och litrifiering av sedimentära bergarter (Butler, 1992). Det är denna typ av NRM denna studie bygger på. Förutom DRM finns termoremanent magnetisering och kemisk remanent magnetisering.

Magnetiska mineral registrerar magnetfältets riktning vid tiden för deras bildning eller avlagring. Ferro- eller ferrimagnetiska mineral har en förmåga att bli magnetiserade när de utsätts för ett externt fält, till exempel jordens magnetfält, en så kallad naturlig remanent magnetisering (NRM) och representerar den magnetiska riktningen innan laboratorisk behandling (Butler, 1992).

NRM av till exempel ett sedimentprov representerar den sammanlagda magnetiseringen (riktningen och intensiteten) av alla ferromagnetiska mineralkorn i provet, oftast magnetit. I en avsättningsmiljö med minimala störningar, utan starka vattenströmmar, kommer de mag-

netiska mineralkornen i genomsnitt vara orienterade i linje med det rådande magnetfältet när de avsätts. Den sammanlagda magnetiseringen av sedimenten kommer därför att reflektera magnetfältet vid deposition (Butler, 1992). Datakvaliteten utvärderas med hjälp av maximum angular deviation (MAD) som avser den största tillåtna eller fysiskt möjliga vinkeln med vilken mätvärden avviker från sitt ursprungliga mål eller referenslinje. Lägre MAD-värden indikerar mer tillförlitliga mätningar och värden under 5° accepteras (Heslop & Roberts, 2025).

3 Metod

3.1 Fältarbete

Vid Kerguelen har Bakke et al. (2020) tagit upp sedimentborrkärnor från sjösediment i den norra delen av ögruppen för 10 år sedan. 127 meter sedimentborrkärnor och 110 bergartsprover togs vid 6 sjöar under 27 dagar i fält. De sedimentkärnor som analyseras i denna studie kommer från sjön Athena och togs upp i totalt 5 meter långa borrhärlor. Två kärnor med benämning (AT21904 och AT2P0219) används i denna studie.

3.2 Preliminär åldersdatering

En preliminär åldersdatering av sedimentkärnan AT21904 (Fig.2) skapades baserat på kol-14-dateringar utförda av (Sleire et al. 2025). En åldersmodell framtagen av Jarle Børve Sleire användes som referens vid skapandet av en ny modell (personlig kommunikation, 2026).

3.3 Magnetisk analys

Efter provtagning delades sedimentkärnorna på mitten längs deras längdaxlar och så kallade u-channels användes för att extrahera material från kärnornas centrala del för vidare laboratorisk analys (Fig. 3). Vid Paleo- and Environmental Magnetism Laboratory, Oregon State University, analyserades de två sedimentkärnorna med avseende på NRM av Hanna Kjellson. Vid borrhärlingen fastnade sedimen-

ten i kontakt med borrhärlen och drogs neråt i takt med att röret trycktes ner i sedimenten. Detta skapar en konformad deformation som illustreras i figur 3. Varför material extraherades från den centrala delen var att sedimenten i teorin var minst deformerade på grund av borrhärlingen och kunde potentiellt ge bättre mätningar vid analys. I figur 4 illustreras u-channeln med extraherat material samt hur de magnetiska koordinaternas riktningar ser ut i förhållande till borrhärlan.

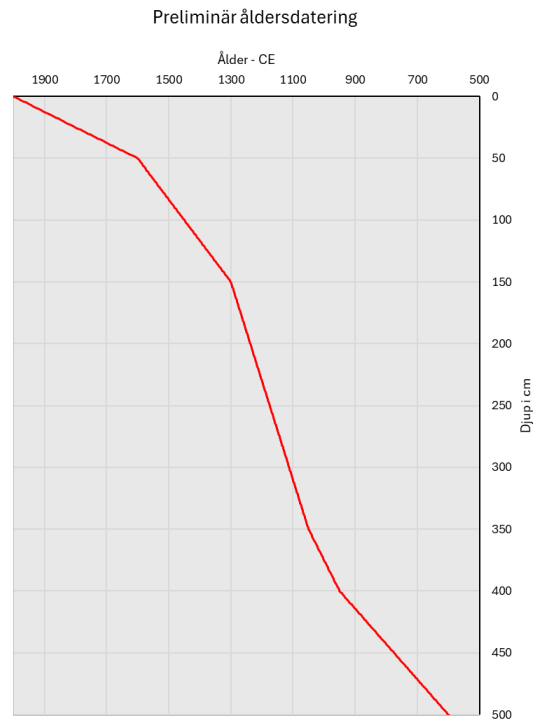


Fig. 2: Preliminär åldersbestämning av AT21904. Y-axeln visar djup [cm] och x-axeln visar ålder (CE).

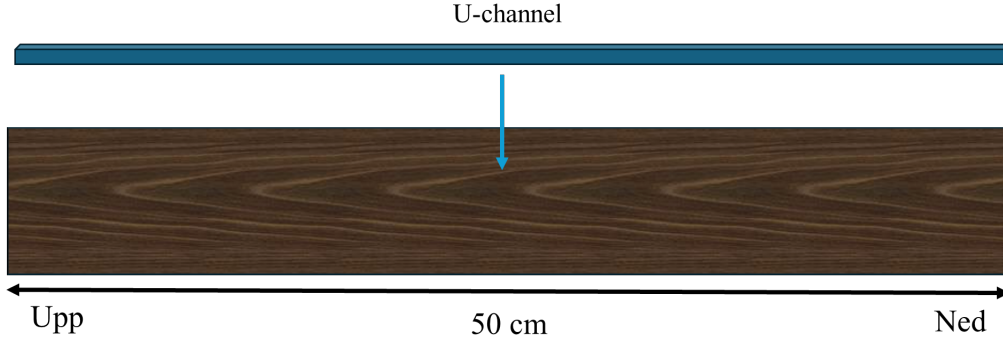


Fig. 3: Illustrering av ett segment av en borrhärna med en längd på 50 cm, där en u-channel placeras i borrhärnans centrala del. Strukturen i den illustrerade borrhärnan beskriver deformation av sedimentlager.

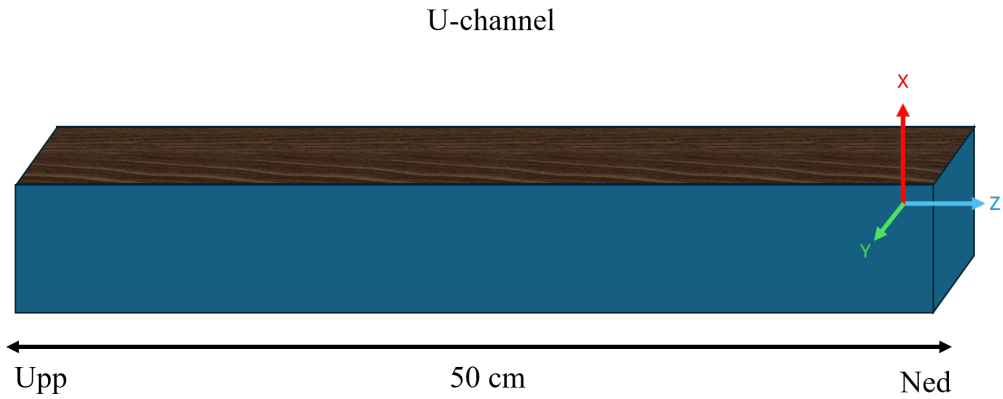


Fig. 4: Koordinaterna x (röd), z (blå) och y (grön) är utmarkerade. Z -koordinaten går längs med sedimentkärnans yta in mot jordens mitt i verkligheten, y -koordinaten går längs med sidan på borrhärnan snett ned i förhållande till x och y . och x -koordinaten pekar upp i förhållande till borrhärnan.

3.4 Dataanalys

Koordinaterna x , y och z måste rotera för att de olika segmenten av dataserierna ska kunna sammankopplas korrekt. På grund av hur u-channelprovet tagits påverkar deformationen av sedimenten främst orienteringen av de magnetiska mineralen i riktningar längs med x - och z -axeln (Fig. 4). Deformationen medför att de ursprungligen horisontella sedimentlagren lutar mot z -riktningen. Genom att rotera tillbaka data kring y -axeln kan vi rekonstruera den ursprungliga orienteringen av de magnetiska mineralen vid avsättning. Eftersom data roteras kring y -axeln förblir koordinaterna i y -led oförändrade. Ekvationer har tagits fram för att beräkna rotationen av dataserierna i Excel. I Excel omvandlades först de uppmätta värdena för inklinations och deklination från grader till radianer med ekvationerna (1) (2).

$$D_{rad} = D \frac{\pi}{180} \quad (1)$$

$$I_{rad} = I \frac{\pi}{180} \quad (2)$$

Utifrån ekvation (3), (4) och (5) omvandlades D och I till kartesiska koordinater x , y , z med hjälp av följande trigonometriska samband:

$$x = \cos I_{rad} \cos D_{rad} \quad (3)$$

$$y = \cos I_{rad} \sin D_{rad} \quad (4)$$

$$z = \sin I_{rad} \quad (5)$$

För att korrigera orienteringen mellan data-serierna användes en rotationsvinkel, θ , vilken omvandlades till radianer. Rotationerna beräknades för x, y och z där X_{rot} och Y_{rot} bestämdes med hjälp av ekvation (6) respektive (7). Den roterade y-koordinaten förblir oförändrad. (Fig.5 illustreras rotationen schematiskt.

$$x_{rot} = x \cos \theta + z \times \sin \theta \quad (6)$$

$$y_{rot} = y \quad (7)$$

$$z_{rot} = -x \sin \theta + z \times \cos \theta \quad (8)$$

Baserat på de roterade koordinaterna beräknades sedan korrigerad deklination och inklinations enligt ekvation 9 och 10.

$$D_{rot} = \text{atan2}(Y_{rot}, X_{rot}) \frac{180}{\pi} \quad (9)$$

$$I_{rot} = \arctan\left(\frac{Z_{rot}}{\sqrt{X_{rot}^2 + Y_{rot}^2}}\right) \frac{180}{\pi} \quad (10)$$

Data från de översta och nedersta 5 cm från varje datasekvens användes inte och raderades manuellt innan analys. Mätningarna har påverkats av så kallade ändeffekter, som ger oanvändbar data. Eftersom mätvärden raderades, justerades därför djupskalan för

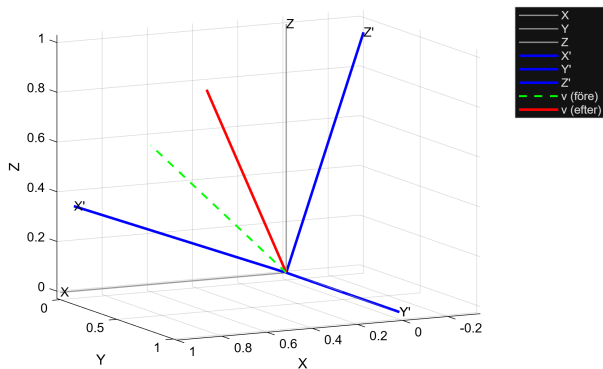


Fig. 5: Schematisk bild av rotation. Den gröna streckade linjen uppvisar vinkeln före rotation, den röda uppvisar efter -20° rotation.

AT2P0219 genom att lägga till 70 cm i borrhäns djup för att datan skulle överensstämma bättre med AT21904. Justeringen är subjektiv, men det är också vanligt att delar av de översta sedimenten missas vid borrhning genom att till exempel missbedöma vattendjupet eller att sedimenten förs bort när borrhäns borraras ned.

4 Resultat

Resultaten i detta segment redovisar MAD-data och inklinationsdata. Deklinationsdatan redovisas inte då studien främst baseras på inklinationsvärdena.

4.1 MAD

Plottade MAD-värden (Fig. 6) som togs i samband med NRM vid den magnetiska analysen för AT21904 och AT2P0219 visar datans kvalitet. I graf (a) har värdena en tydlig ökning vid 280 cm djup och i (b) vid 440 cm djup. De högsta uppmätta värdena är $2,5^\circ$ i AT21904 och $1,8^\circ$ i AT2P0219, men alla värden hålls under 5° .

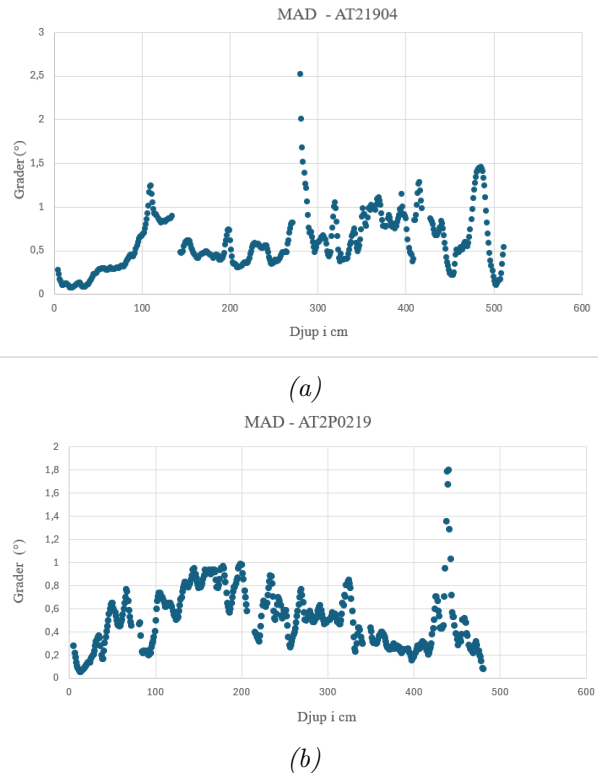
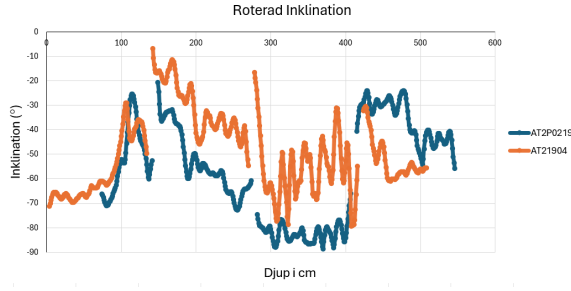
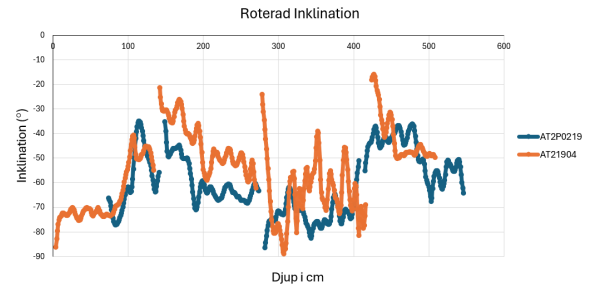


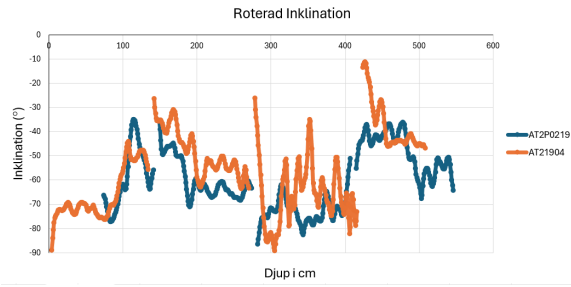
Fig. 6: Plottade MAD-värden.



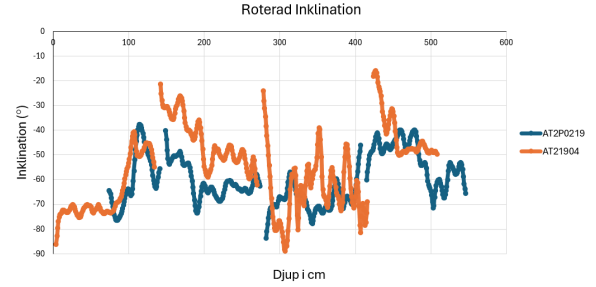
(a) Rotation 0;0



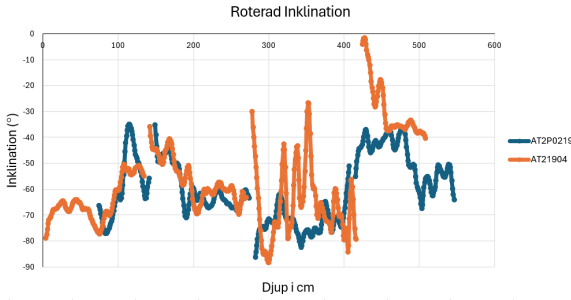
(b) Rotation -15;-15



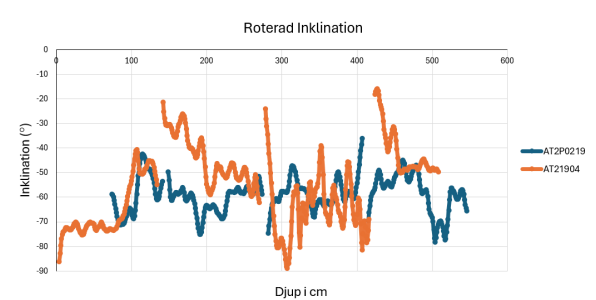
(c) Rotation -20;-15



(d) Rotation -15;-20



(e) Rotation -30;-15



(f) Rotation -15;-30

Fig. 7: Jämförelse av uppmätt inklination mellan AT2P0219 (blå) och AT21904 (orange) vid olika rotationskorrigeringar. Rotationen anges i grader i ordningen (AT2P0219 : AT21904). Figur (a) visar okorrigerade data (0;0), medan graferna (b) till (f) visar olika kombinationer av rotationsvinklar för de två dataserierna. x-axeln representerar djup [cm] och y-axeln visar inklination [°].

4.2 Inklination

Genom att kombinera olika (θ) mellan -10° och -30° för borrhärdarnas inklination matchades graferna för båda kärnorna med varandra. Justeringar gjordes för att komma fram till vilken rotationsgrad som uppvisade den bästa korrelationen mellan de två dataserierna.

För att testa överensstämmelsen mellan de två dataserierna (AT2P0219 och AT21904) testades ett urval av rotationskorrigeringar (Fig. 7). Vid ursprungsläget i figur 7a uppvisar serierna en tydlig offset, särskilt vid djupintervallet 250-400 cm.

Genom applicering av successiva rotationer (Fig. 7b-f) kan en tydlig förändring i kurvornas passform observeras. Vid en rotation på -15° (Fig. 7b) minskar det vertikala gapet jämfört med ursprungsläget. Vid justeringar där den ena vinkeln hålls konstant medan den andra ökar, syns en förbättring eller försämring av korrelationen som i (Fig. 7c och 7e).

Den mest visuellt sammanfallande korrelationen finns i (Fig. 7e), där svängningarna i inklinationen följer varandra med minst avvikelse över hela x-axeln. I dataserien varierar inklinationen mellan -90° till 0° . Vid 280 cm är inklinationsvärdet -30° och vid 300 cm är det -90° . Vid 420 cm finns en klyfta där värdet går från -80 till nära 0 i AT21904. Den största variationen i AT2P0219 går från -38° till -70° vid 280 cm. Vid 150 cm och vid 280 cm syns tydliga trenderbrott i båda kurvorna. Samtliga grafer visar orimliga svängningar i inklinationen för AT21904 från 300 cm djup efter den branta kurvan nedåt mot -90° .

5 Diskussion

För att säkerställa att observerade avvikelser i inklinationsvärdena är tillförlitliga och inte endast beror på mätbrus, granskades MAD-värdena (Fig. 6). Även om dessa värden varierar och uppvisar två tydliga toppar, har detta ingen signifikant negativ betydelse för studien. Värdena hålls under 5° , vilket innebär att datakvaliteten är accepterad.

Utifrån uppmätta inklinationsvärden i graferna (Fig. 7) uppvisas den bäst roterade inklinationen vara -30° i AT21904 och -15° i

AT2P0219. Variationer i inklination observeras i materialet mellan 280 och 410 cm djup enligt diagrammen (Fig. 7). Detta kan tyda på att deformationen i dessa segment inte kan korrigeras med en enkel rotation, eller så beror skillnaderna runt 350 cm på andra orsaker, som exempelvis störningar i sedimenten efter deposition. Variationer bedöms inte heller vara enbart naturliga utan tros till stor del bero på deformation vid borrhning, vilket i sin tur påverkar mätningarna.

Vad mätdata faktiskt visar är att när inklinationskurvan närmar sig -90° indikerar detta att den magnetiska sydpolen är nära Kerguelen. När mätvärdena istället närmar sig 0° innebär det att magnetfältet rör sig bort från Kerguelen. I (Fig. 7) i diagram (7e), går inklinationskurvorna ner mot -80 till -90 grader för AT21904 och indikerar att den magnetiska Sydpolen befann sig närmare ögruppen.

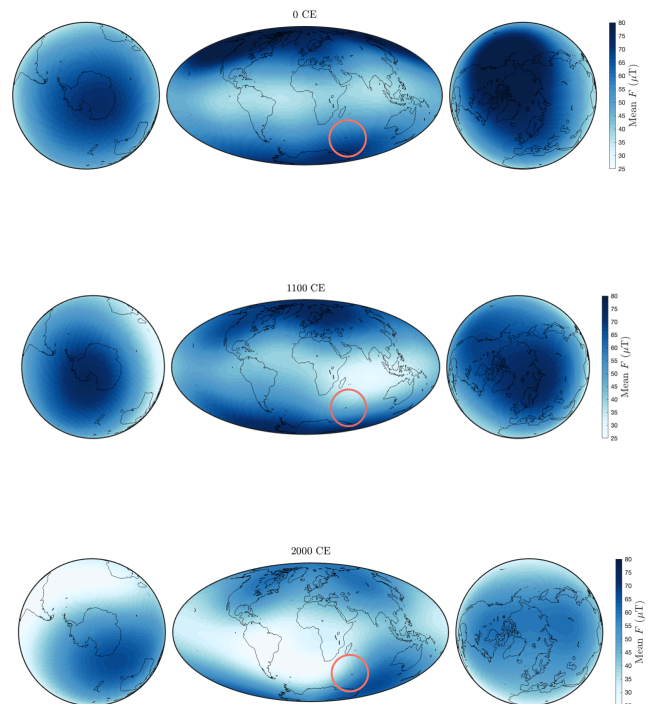


Fig. 8: Paleomagnetiska modeller som visar den magnetiska intensiteten från 0-2000 CE baserat på pfm9k.2 (Nilsson et al. 2022). Kerguelen är inringat i rött.

Trots den acceptabla datakvaliteten framträder avvikelser vid jämförelser mellan inklinationsdatan och oberoende referensdata (Fig. 10) som baseras på modellen pfm9k.2 (Nilsson et al. 2022). Pfm9k.2 (Fig. 11) visar att den SAA vid 1100 CE befann sig vid Kerguelen och har rört sig västerut till sitt nuvarande läge 2000 CE. Inklination och deklinationsvärden (Fig. 9) indikerar att den sydpolen ska ha funnits längre ifrån Kerguelen vid 1100, och att det ska ha funnits en svag anomali. Detta motsvaras av en inklination runt -50 grader, en låg vinkel som indikerar att sydpolen är långt bort. Inklinationen förväntas bli mindre brant då magnetiska Sydpolen rör sig längre bort från Kerguelen och brantare när den rör sig närmare. Enligt inklinationsdatan (Fig. 9) visas en motsatt trend jämfört med modellens förväntade utveckling runt år 1100-1000 CE eftersom värdena för AT21904 och

ATP0219 generellt går brant ned och indikerar att den magnetiska sydpolen är närmare Kerguelen. Sydpolen har en starkare intensitet, vilket inte är förenat med att det också finns ett svagt magnetfält. Om resultaten är korrekta, innebär det en avsevärt annorlunda utveckling av den SAA och magnetiska sydpolens rörelse än vad nuvarande modeller föreslår.

Nästa steg i arbetet är att genomföra fördjupande studier som kan bekräfta resultaten. Computed tomography, (CT scans) ska användas för att analysera och korrigera deformationen, samt att data kommer att inkorporeras i modeller för att bättre förstå hur SAA utvecklats.

5.1 Kompletterande studier

Orimliga variationer i inklinationen vid större djup tros bero på deformation orsakat av borrh-

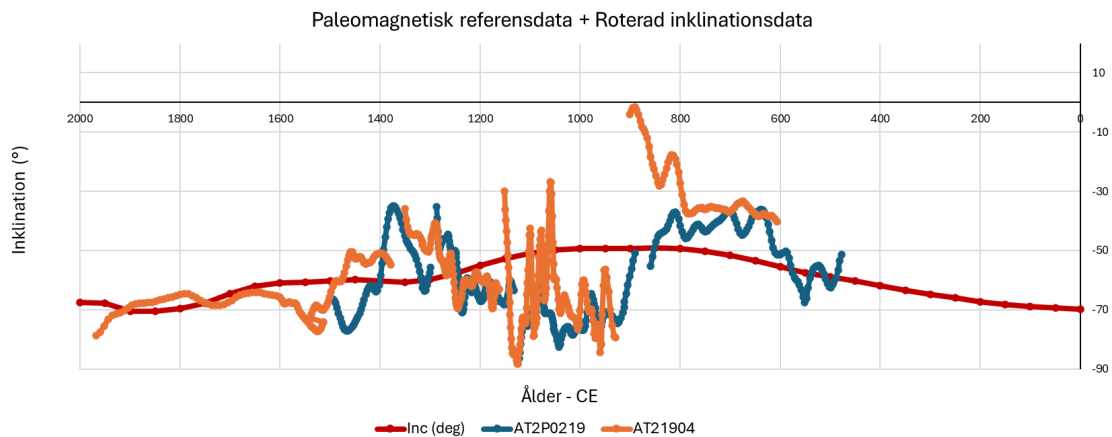


Fig. 9: Inklinationsvärden för AT2P0219 och AT21904 tillsammans med referensvärden för inklination.

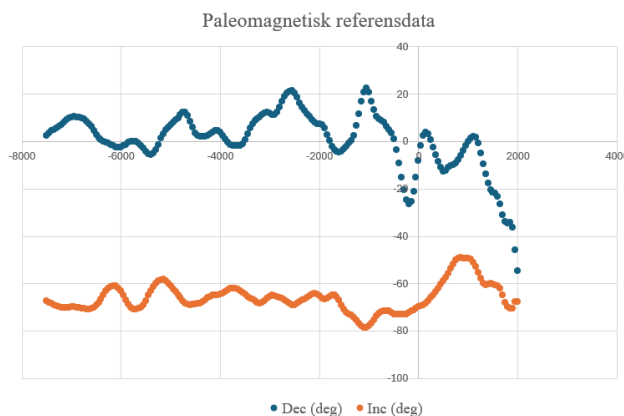


Fig. 10: Referensdata av inklination och deklination från en modellpredikt från pfm9k.2 (Nilsson et al. 2022). X-axeln visar ålder (CE) och y-axeln visar grader.

ningen. När sedimenten deformeras förändras de ursprungliga koordinaterna och därmed förändras den ursprungliga NRM:n innan borrning. Ytterligare orsaker till brus i datan, särskilt i de djupare lagerna, kan vara resuspension eller massflöden vid sjöbotten. För att bättre korrigera rotationen pågår arbete för att ta fram CT-scans av u-channelproverna som tar 3D-bilder av sedimentbörnkärnorna för att kunna analysera sedimentens interna struktur. Genom att lokalisera var kärnan är mer eller mindre deformationerad, är det möjligt att korrigera rotationen på ett mer korrekt sätt.

Att vidare analysera deklinationsvärdena skulle ge mer information om den magnetiska riktningen i ett annat plan och bidra med en vidgad bild av den magnetiska sydpolens och anomalins rörelse sett ut i ett annat plan. För att göra detta måste deklinationen roteras ytterligare, vilket genomförs bäst utefter resultat från CT-scans på grund av börnkärnornas deformation.

En fullbordad åldersdatering av sedimentbörnkärnorna skulle bidra med exakt information om när den tydliga förändringen i datan skedde och därmed ge information om när den sydatlantiska anomalin samt den magnetiska sydpolen befann sig i förhållande till Kerguelen. Analys av fler börnkärnor vid fler sjöar med mindre deformation skulle behövas för att jämföra och bekräfta om den nuvarande datan stämmer. Även om resultaten i denna studie är lovande och rotationskorrigeringen uppvisar goda resultat att arbeta vidare med, skulle ytterligare paleomagnetiska data underlätta arbetet med att uppdatera rekonstruktionsmodeller.

5.2 Slutsatser

- Korrelationsmetoden och matchning av data fungerar väl i de yngre sedimentlagren, men vid större djup uppstår orimliga variationer i inklinationsvärdena. Detta kan bero på att deformation inte har skett på samma sätt som i de yngre lagren eller andra felkällor som exempelvis massflöden.
- När studiens korrigerade data jämförs med oberoende referensmodeller uppvi-

sas en tydlig avvikelse. Enligt korrigerade data befann sig SAA inte vid Kerguelen runt 1100 CE.

- Datan visar fortfarande osäkerheter efter korrektion och kan i nuläget inte integreras i rekonstruktionsmodeller. Det krävs vidare studier, såsom CT-scanning, fullbordad åldersdatering och möjligen fler provtagningar för att säkerställa att studiens resultat stämmer.
- Om studiens resultat kan bekräftas i framtiden utgör de ett mycket viktigt dataunderlag som kan användas för att uppdatera och förbättra globala paleomagnetiska rekonstruktionsmodeller.

6 Tack

Jag vill tacka min handledare Andreas Nilsson som har bidragit med sin expertis och har gjort det möjligt för mig att fullfölja detta arbete. Ett varmt tack till mina vänner, min partner och min familj för ert stöd och engagemang under min utbildning.

Referenser

- Bakke, J., Arnaud, F., Deline, P., Guiguet-Covex, C., Linge, H., Ravel, L., Støren, E., & Van Der Bilt, W. (2020, 23. mars). *Late glacial and holocene glacier fluctuations at the sub-antarctic island kerguelen in the southern indian ocean*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-17953>
- Butler, R. F. (1992). *Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes*. Blackwell Scientific Publications.
- Cottin, J.-Y., MiChon, G., & DelpeCh, G. (2011). The kerguelen volcanic plateau: The second largest oceanic igneous province (LIP) on earth and a witness of the indian ocean opening.

- EUSPA. (2021, 22. september). *New infrastructure in kerguelen islands, key for the continued galileo service provision — EU agency for the space programme*. Hämtad 13 maj 2026, från <https://www.euspa.europa.eu/newsroom-events/news-archive/new-infrastructure-ker-guelen-islands-key-continued-galileo-service-provision>
- Finlay, C. C., Kloss, C., Olsen, N., Hammer, M. D., Tøffner-Clausen, L., Grayver, A., & Kuvshinov, A. (2020). The CHAOS-7 geomagnetic field model and observed changes in the south atlantic anomaly. *Earth, Planets and Space*, 72(1), 156. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01252-9>
- Heirtzler, J. (2002). The future of the south atlantic anomaly and implications for radiation damage in space. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64(16), 1701–1708. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(02\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00120-7)
- Heslop, D., & Roberts, A. P. (2025). Establishing a statistical framework for assessing paleomagnetic data quality: A significance test based on maximum angular deviation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 130(6), e2025JB031417. <https://doi.org/10.1029/2025JB031417>
- NASA. (2007, 6. mars). *Kerguelen islands - NASA science* [Section: Earth Observatory]. Hämtad 13 maj 2026, från <https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/kerguelen-islands-7465/>
- NASA. (2020). *Development of the south atlantic anomaly*. Hämtad 13 maj 2026, från https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/05/Development_of_the_South_Atlantic_Anomaly
- Nilsson, A., Suttie, N., Stoner, J. S., & Muscheler, R. (2022). Recurrent ancient geomagnetic field anomalies shed light on future evolution of the South Atlantic Anomaly. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(24), e2200749119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2200749119>
- Pavón-Carrasco, F. J., & De Santis, A. (2016). The South Atlantic Anomaly: The Key for a Possible Geomagnetic Reversal. *Frontiers in Earth Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00040>
- Sleire, J. B., Bakke, J., Arnaud, F., Sabatier, P., & Van Der Bilt, W. G. (2025). Multiple late holocene glacier advances on the sub-antarctic kerguelen (49°s) islands: Evidence from a 1200 yr sediment core from a glacial threshold basin. *Quaternary Science Reviews*, 347, 109106. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.109106>
- Snowball, I., Mellström, A., Ahlstrand, E., Haltia, E., Nilsson, A., Ning, W., Muscheler, R., & Brauer, A. (2013). An estimate of post-depositional remanent magnetization lock-in depth in organic rich varved lake sediments. *Global and Planetary Change*, 110, 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.005>
- Torsvik, T. (2005). PALAEOMAGNETISM. I *Encyclopedia of geology* (s. 147–156). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B012-369396-9/00106-4>
- UNESCO. (2019). *Five sites inscribed on UNESCO's world heritage list* [UNESCO world heritage centre]. Hämtad 13 maj 2026, från <https://whc.unesco.org/en/news/2002/>

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

692. Andersson, Jacob, 2024: The Cerithium limestone Member at Stevns Klint reflecting the carbonate production recovery after the K/Pg mass-extinction. (45 hp)
693. Adler, Linus, 2024: Petrografisk pilotstudie av en högmetamorf epidotrik bergart från Harbak, västra gnejsregionen i Norge. (15 hp)
694. Fält, Smilla, 2024: Dateringsmetoder för terrestriska nedslagskratrar med fokus på Siljan. (15 hp)
695. Kowal Johnson, Gloria, 2024: Traces of industrialization in a Baltic Sea sediment core with particular emphasis on marine traffic in Bornholmsgattet. (15 hp)
696. Riad, Musa, 2024: Bergkross som filtermedium i artificiell infiltration. (15 hp)
697. Gleisner, Lovisa, 2024: Unravelling primary $\delta^{18}\text{O}$ signatures of the 1730-36 Timanfaya parental magmas on Lanzarote. (45 hp)
698. Johansson, Robin, 2024: Instrumentation of multilevel systems with transducers to characterize hydrogeological conditions at a PCE and TCE contaminated site in Helsingborg, Sweden. (45 hp)
699. Neumann, Daniel, 2025: Hydrogeological Dynamics of the Dalköpinge River: Investigating the Dry Spell Anomaly in a Hydrogeological Context. (45 hp)
700. Durdek, Madeleine, 2025: Risk for water shortage in Ystad municipality - An evaluation of aquifer vulnerability to human impact. (45 hp)
701. Bouhal, Farah, 2025: Evolution of calcareous nannoplankton in the Late Triassic: Insights at Eiberg Basin (Austria). (45 hp)
702. Barreby, Linn, 2025: Petrographic Analysis of the Loftarstone Resurge Deposit in the Lockne Impact Structure, Sweden. (45 hp)
703. Dyson, Sarah, 2025: Environmental change in the Late Weichselian on the Kullen Peninsula. (45 hp)
704. Kardakos, Nikolaos, 2025: Caprock and reservoir assessment for CO₂ storage in Lower Palaeozoic Formations of the Baltic Sea subsurface: Textural, structural and mineralogical characterization using X-ray Computed Tomography, geochemistry and microscopy. (45 hp)
705. Filbà i Serra, Laura, 2025: Weichselian ice dynamics in Jämtland: Lithostratigraphic study of the Köttsjön till deposits. (45 hp)
706. Bäckeberg, Kristoffer, 2025: Petrografisk studie av pseudotachylitisk breccia från nedslagskratern Siljan. (15 hp)
707. Zellman, Oskar, 2025: Karaktärisering av laminerade marina sediment under ett globalt utdöende (silur, Gotland). (15 hp)
708. Jögi, Amanda, 2025: En partiell hjärnskål från Åsens krita och dess koppling till den svenska svanödlefaunan. (15hp)
709. Rasmusson, Isak, 2025: Behovet av geologisk kunskap inom utbildning och samhälle: En översikt av geologiskt innehåll i gymnasiets ämnesplaner, antagningar till svenska högskole- och universitetsutbildningar inom geovetenskap och arbetsmarknadens behov av personer med geologisk kompetens. (15hp)
710. Brede, Anton, 2025: Integrating Geological Models and Geophysics to Estimate Hydraulic Properties - Providing a Foundation for Hydrogeophysics Research. (15 hp)
711. Zimmermann, Moa, 2025: Utdöda organisms diet: Karaktärisering av en vertebratkoprolit från Skånes krittida. (15hp)
712. Popa, Alexandra, 2025: Aqueous alteration in Martian meteorite Northwest Africa 11013: An analysis of its extent and origin. (15 hp)
713. Jónsdóttir, Svava Kristin, 2025: Grounding zone wedges in the Nyköping area, southeastern Sweden. (45hp)
714. Heim, Emelie, 2025: Den sen- och postglaciala landskapsutvecklingen i Tvååker, Halland. (15 hp)
715. Schieman, Erik, 2025: Pollen och mikrofossil i en borrhäla från nedslagsstrukturen Hummeln. (15 hp)
716. Blomberg, Hampus, 2025: Vegetationsutvecklingen i Halland och Tvååker: sammanställning av underlag till informationsskyltar vid Naturplats Tvååkers Mosse. (15 hp)
717. Östman, Adrian, 2025: En litteraturstudie om grundvattendata och modeller som möjliga verktyg inom mineralprospektering. (15 hp)
718. Belcher, Carl Nils, 2025: Systematiska felkällor i deklinationsdata från sedimentära borrhälar. (15 hp)
719. Raas, Valérie, 2025: Cosmogenic Radionuclide Evidence for a Solar Particle Storm at 14,300 BP. (45 hp)
720. Bjarkadóttir, Anna Briet, 2025: Barometry of Clinopyroxene in Xenoliths from the Anaga Region in Tenerife – Constraints on the Magmatic Plumbing System. (45 hp)
721. Grönberg, Joel, 2025: Kan vulkanismen på Kanarieöarna ha uppkommit till följd av en hetfläck?. (15 hp)
722. Cordes, Beatrix, 2025: A review of the

- contaminant situation of groundwater aquifers in Europe – A historical retrospective and future outlook. (45 hp)
723. Alkasser, Shefaa, 2025: En litteraturstudie om mantelplymhypotesens eventuella tillkortakommanden utifrån ett kanariskt perspektiv. (15 hp)
724. Grönberg, Joel, 2026: Optically stimulated luminescence in Scania: An investigation into its applicability of determining provenance of coastal deposits. (45 hp)
725. Langkjaer, Henrik, 2026: Esker formation during deglaciation of the Scandinavian Ice Sheet, northeast Skåne and Blekinge, Sweden. (45 hp)
726. Corshammar, Johannes, 2026: Petrologisk -petrografisk studie av ankaramitbergarter på Teneriffa. (15 hp)
727. Sonesson, Ville, 2026: BC-koncentrationer i sjösediment: en jämförelse mellan Kina, Schweiz och Finland. (15 hp)
728. Schönherr, Lara, 2026: Structural and petrographic characterization of the Mien impact structure, Sweden. (45 hp)
729. Meret, Ellison, 2026: Characterization of storm-surge deposits: A multi-proxy approach along the northern Halland coast with implications for organic carbon storage. (45 hp)
730. Ólafsdóttir Arnholtz, Edda, 2026: Constraining Weichselian high relative sea-level events in Basissletta, northeastern Spitsbergen. (45 hp)
731. Persson, Frida, 2026: Windows of Mars: Impact Craters Along the Martian Dichotomy as Markers for Planetary Evolution. (15 hp)
732. Frödin, Anna, 2026: Industriella utsläpp till Östersjön - En kartläggning av utsläpp och effekter från pappers- och massaindustrin. (15 hp)
733. Österberg, Agnes, 2026: Från sund till ljung: Falsterbonäsets uppkomst och historisk skogsförekomst på Skanörs ljung. (15 hp)
734. Ründla, Karoliina, 2026: Utveckling av markanvändning och vegetation i Söderåsens Nationalpark från senare delen av jägarstenåldern till nutid. (15 hp)
735. Pålsson, Malin, 2026: A Changing Foraminiferal Landscape in the Öresund: Cataloguing the Potentially Invasive *Nonionella* sp. T1 and Assessing Deep Learning for Species Identification. (45 hp)
736. Magnell, Ylva, 2026: Intracrustal partial melting of garnet amphibolite from south-western Sweden - a possible analogue for TTG formation. (15 hp)
737. Lindqvist Lindström, Noah, 2026: Petrographic analysis and palaeoenvironmental reconstruction of density flow deposits in the Orbuklukeli section, Mersin Mélange, Southern Turkey. (15 hp)
738. Landahl, Gustaf, 2026: Skånska stränder - Nyckeln till framtida stormar: En sedimentologisk och morfologisk undersökning av överspolnings sediment vid Dalköpinge ängar, Trelleborg. (15 hp)
739. Holmberg, Olle, 2026: Utvärdering av en metod för automatiserad analys av fossila pollen. (15 hp)
740. Lindow, Wilma, 2026: Shock metamorphic microstructures in quartz from drill core samples in the Lockne impact structure, central Sweden: clues to emplacement of impactites in a marine setting. (45 hp)
741. Berggren, Josefin, 2026: GIS som verktyg för att identifiera lokaler för bevarade stormflodsspår. (15 hp)
742. Dong, Shengliang, 2026: Establishment, history and internal architecture of Kolbacken, the former beacon at Falsterbo, southern Sweden. (60 hp)
743. Munck af Rosenschöld, Jacob, 2026: Magma Dynamics and Eruption Triggers of a Post-Flank-Collapse Ankaramite in the Teno Massif, Tenerife: Insights from Clinopyroxene Zonation. (15 hp)
744. Münger, Hilma, 2026: Dendrokronologisk undersökning av bokskogens sentida historia i Söderåsens nationalpark. (15 hp)
745. Palm, Lea, 2026: En analys av magnetiska data från sedimentbörnkärnor från Kerguelen. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Institutionen för miljö- och geovetenskap
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund