

Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering

Karin Walheim

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 514
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2017

Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering

Kandidatarbete
Karin Walheim

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2017

Innehåll

1 Inledning	7
2 Syfte och hypotes	7
3 Bakgrund	7
3.1 Luminiscens	7
3.1.1 Optisk Stimulerad Luminiscens	7
3.1.2 Egenskaper för lyckad luminiscens	7
3.2 LA-ICP-MS - laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry	8
3.3 Kvartsmineral	8
3.3.1 Mineralstruktur och uppbyggnad	8
3.3.2 Spårämnen	9
4 Material och metoder	9
4.1 Prover	9
4.2 OSL	9
2.2 LA-ICP-MS	10
5 Resultat	10
5.1 OSL-analys	10
5.2 LA-ICP-MS	12
6 Diskussion	16
6.1 OSL	16
6.2 LA-ICP-MS	17
7 Slutsats	18
8 Tack	18
9 Referenser	18
Bilaga 1	20
Bilaga 2	21
Bilaga 3	23
Bilaga 4	24

Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering

KARIN WALHEIM

Walheim, K., 2017: Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 514, 24 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Optisk stimulerad luminiscens-analys (OSL-analys) är en metod som används för att datera bl.a. sediment från senkvartär tid. Det är av intresse för att ta reda på när geologiska händelser ägde rum och när isarna rört sig under senaste glaciationen och deglaciationen. Ett mineral som kan användas för åldersbestämning med OSL är kvarts. OSL åldersbestämmer inte kvartskornet utan avsättningsåldern för sedimentet där kvartskornet ingår. Det händer att kvalitén på OSL-analysers resultat inte är till belåtenhet vilket beror på kvartsens känslighet. Kvarts med hög känslighet är bättre på att avge luminiscensenergi med en dominerande snabb signalkomponent vilket är nödvändigt för en lyckad OSL-datering.

I den här rapporten undersöks om kvartsens känslighet beror på spårelement som finns i kvartsens kristallgitter. Kvarts från prover som analyserats med OSL analyseras med LA-ICP-MS för att få fram dess kvantitativa kemiska sammansättning. Resultaten från de tidigare genomförda OSL-analyserna jämfördes med resultaten från LA-ICP-MS-analysen. Ingen tydlig koppling mellan spårämnen och kvartsens känslighet kunde observeras.

Nyckelord: Luminiscens, Optiskt stimulerad luminiscens (OSL), LA-ICP-MS, kvartsmineralogi, åldersdatering.

Handledare: Helena Alexanderson, Tomas Naeraa och Anders Scherstén.

Ämnesinriktning: Kvartärgeologi

Karin Walheim, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: Karin_walheim@hotmail.com

The importance of Quartz mineralogy for a successful luminescence dating

KARIN WALHEIM

Walheim, K., 2017: The importance of Quartz mineralogy for a successful luminescence dating. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 514 , 24 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: Optically stimulated luminescence analysis (OSL analysis) is a method used to date sediments from late Quaternary. The method is useful to find out when geological events took place and when the ice sheets moved during the recent glaciation and deglaciation. A mineral that can be used for determination of age with OSL is quartz. The OSL dating method does not determine the age of the individual quartz grain, but rather the settling age of the sediment in which the quartz is included. However, the quality of the OSL results are not always satisfactory, which depends on the quartz sensitivity. Quartz with high sensitivity is better at releasing luminescence energy with a dominant fast signal component, which is necessary for successful OSL dating.

This report examines whether the quartz sensitivity depends on trace elements found in the quartz crystals' grid. Quartz from samples previously analysed by OSL were analysed by LA-ICP-MS to obtain its quantitative chemical composition. The results from the previously conducted OSL analysis were compared with the results of the LA-ICP-MS analysis. No clear association between trace elements and quartz sensitivity could be observed.

Keywords: Luminescence, Optically stimulated luminescence (OSL), quartz, LA-ICP-MS, age determination.

Supervisors: Helena Alexanderson, Tomas Naeraa och Anders Scherstén.

Subject: Quaternary Geology

Karin Walheim, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: Karin_Walheim@hotmail.com

1 Inledning

Optiskt stimulerad luminiscens (eng. optically stimulated luminescence), OSL, är en metod som kan åldersbestämma kvartskorn genom att mäta deras luminiscens. Det används inom kvartärgeologi då man t.ex. vill datera sedimentära formationer som bildats under sen kvartär för att förstå hur och vid vilka tidpunkter inlandsisarna växt fram och dragit sig tillbaka.

Problemet med denna metod är att resultaten inte alltid är till belåtenhet då luminiscenssignalens styrka skiljer sig mellan olika prov. Kvartsens känslighet, förmågan att avge en stark luminiscenssignal, är avgörande för kvalitén på en OSL-analys. Då signalen är för svag blir dateringen av det provet mer osäker, kvalitén på analysen av provet är dålig. Varför signalstyrkan skiljer sig mellan sediment är inte helt fastställt men en hypotes är att det skulle kunna bero på kvartsens innehåll av spårämnen.

2. Syfte och hypotes

Syftet med studien är att undersöka samband mellan spårämnen i kvarts och kvaliteten på resultat från OSL-analyser.

Hypotesen är att vissa spårämnen i kvarts påverkar kvartsens känslighet och därmed har en avgörande inverkan på OSL-analysers kvalitet. Kvarts från fyra sedimentprover med olika luminiscensgenskaper kommer att analyseras geokemiskt för att få fram deras kvantitativa kemiska sammansättning.

3. Bakgrund

3.1 Luminiscens

Preusser et al. (2009) beskriver luminiscens som en energi som bildas/ansamlas inuti vissa typer av mineral till följd av naturlig joniserande strålning. Energin ansamlas i form av fria elektroner i defekter i mineralets kristallgitter och frigörs, i form av ljusenergi, då materialet utsätts för ljus eller värme (Preusser et al. 2009). Eftersom luminiscensenergin bildas av naturlig strålning från sönderfall av radioaktivt material är energin som ett mineral ansamlat proportionerlig mot tid och kan därför räknas om till hur länge mineralet varit isolerat från ljus och värme. Kvarts är ett sådant mineral. Därför är luminiscensdatering ett verktyg som används för att bedöma åldrar på sediment och fornlämningar som innehåller kvarts från kvartär (Duller 2008). I den här studien används ljus för att aktivera och frigöra luminiscensenergin genom en optisk stimulerad luminiscensanalys (OSL-analys).

3.1.1 Optisk Stimulerad Luminiscens

OSL-analys är då en datering görs genom att provet utsätts för ljus och mängden lagrad energi som frigörs mäts. Preusser et al. (2009) nämner både kvarts och fältspat som mineral som besitter egenskapen att ansamlar luminiscensenergi i sina kristallgitter. Den här studien fokuserar på kvarts egenskaper för en lyckad

OSL-datering.

Provet som ska analyseras bör inte ha utsatts för solljus vid eller efter provtagning eftersom det bleker provet (eng. bleaching) vilket innebär att OSL-signalen reduceras (Duller 2008). Detta resulterar i provet kommer uppvisa felaktig ålder i en luminiscensdatering. I en OSL-analys utsätts provet för blått ljus från light emitting diodes (LED) med en synlig våglängd. OSL-signalen som då sänds ut mäts av en ljusförstärkare (eng. photomultiplier tube) som mäter i ultraviolettera våglängder (Bøtter-Jensen et al. 2002; Duller 2008). Resultaten går att få fram i diagramform i analysverktyget Risø analys v 4.45.

Ifall provet utsätts för blekning men det sedan tidigare finns data över stråldosens storlek genom tidigare mätningar går det att "ladda upp" provet med en laboreriedos som motsvarar de elektroner som fanns i mineralgittret innan provet blektes. Detta kan göras med hjälp av betastrålning i OSL-Reader Risø TL/OSL DA-20 (Bøtter-Jensen et al. 2002).

3.1.2 Egenskaper för lyckad luminiscens

Sensitivitet (eng. sensitivity) är luminiscensens signalintensitet per absorberad strålningsdos per enhet (Fitzsimmons 2011). Kvartsens OSL-sensitivitet är avgörande för hur säker OSL-dateringen blir. Låg sensitivitet ger en svagare luminiscenssignal och därmed osäkrare resultat i en OSL-mätning.

Det finns studier som visar att transporten av sedimenten kan ha en inverkan på hur hög sensitiviteten är hos sedimentens kvartskorn (Preusser et al. 2009). I studien av Preusser et al. (2009) diskuteras även ifall defekter i kvartsen kan ha en inverkan, men är det är något som bör undersökas närmare.

En OSL-signal innehåller flera olika komponenter, Preusser et al. (2009) nämner att signalerna kan delas i in "snabb", "medel" och "långsam" komponent (fig. 1). För lyckade OSL-dateringar krävs att det är en snabb komponent som är den som är dominerande (Preusser et al. 2009; Gi Young & Jeong-Heon 2012). En bra OSL-analys har en snabbt fallande kurva där OSL signalen är stark och frigörs snabbt (fig. 1). Medan en luminiscenssignal som domineras av medel till långsamma komponenter (fig. 1) ger en mindre definierad topp och svajigare kurva och därmed en mer osäker OSL-analys.

Vilken komponent som är dominerande i OSL beror på vilken komponent ett korn/prov avger. Det innebär att kvartsen som ska dateras måste ha egenskapen att avge OSL-signaler som är dominerade av den snabba OSL-komponenten för att dateringen ska ge ett bra analysresultat.

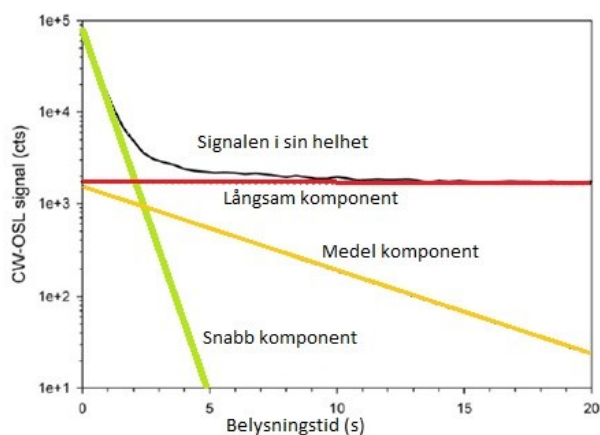


Fig 1. Luminiscenssignal uppdelad i olika komponenter: Långsam (röd kurva), medel (orange kurva) och snabb (grön kurva) komponent. Den svarta kurvan visar hur signalen ser ut då alla dessa komponenter ingår. Modifierad från Preusser et al. (2009).

3.2 LA-ICP-MS

LA-ICP-MS (laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry) är en metod som används för att bestämma den kemiska sammansättningen av mineral och dess spårämnen ner till mycket små koncentrationer (Liu et al. 2008; Thomas 2013).

Provet beskjuts av en laserstråle som kontrolleras av en dator som är kopplad till maskinen. Laserstrålen sänder ut pulser som värmer upp provet så att det sker ablation och beståndsdelarna smälter och tas upp i vätska. Den förs vidare till en nebulisator som omvandlar provet till gasform (plasma) (Thomas 2013). Plasman transporterar provet vidare till en spraykammare som fördelar plasmans gas till mindre droppar innan den passerar ICP-facklan (Thomas 2013) där ämnena finfördelas så att alla beståndsdelar bildar joner (Liu et al. 2008). I ICP-facklan är det meningen att få fram positivt laddade joner då fotoner genererar störningar vid mätningarna. Plasman förs sedan vidare till masspektrometern (MS-delen), innan kvantifieringen kan genomföras separeras jonerna från plasman. Efter det kan provets elementkoncentrationer bestämmas i masspektrometern (Thomas 2013).

För att kontrollera att mätningarna blir rätt används ett referensmaterial med känt innehåll. I det här arbetet används referensmaterial från National Institute of Standards and Technology (NIST).

3.3 Kvartsmineral

3.3.1 Mineralstruktur och uppbyggnad

Kvarts är ett av kontinentalskorpans vanligast bergartsbildande mineral och består av nästintill ren kiseloxid (SiO_2) (Klein & Dutrow 2007; Preusser et al. 2009; Klein & Philpotts 2012). Mineraliet ingår i många olika bergarter med vitt skilda ursprung (Gi

Young & Jeong-Heon 2012). Ursprunget påverkar till stor del vilka spårämnen som återfinns i kvartskristallerna (Klein & Philpotts 2012).

Kvartsmineralet är uppbyggt av kisel-tetraedrar, där en kisel (Si^{4+}) omges med fyra syrejoner (O^{2-}). Kisel-tetraedern fäster med nästa tetraeder i hörnen och har därmed mesodesmiska bindningar. Dess prisma är hexagonalt och strukturen lutandes mot c axeln är romboedrisk. Kisel-tetraederna fäster i varandra i sina hörn och bildar ett spiralmönster parallellt med kristallens c-axel (figur 2). I spiralens mitt bildas ett hålrum som Preusser et al. (2009) kallar "c-axelkanaler" (figur 3).

Alfa och beta-kvarts, även kallad low and high-quartz, bildas vid olika temperatur och innebär en omorganisation i kristallisationen. Alfakvarts bildas vid atmosfäriskt tryck då temperaturen överstiger 573°C . Denna typ av kvarts har något lägre densitet än beta-kvarts som bildas då temperaturen går under 573°C . Alfa-kvartsens har c-axelkanalen med en 6-rotationsymmetri, medan beta-kvartsens c-axelkanal har en 4-axelsymmetri (Klein & Dutrow 2007).

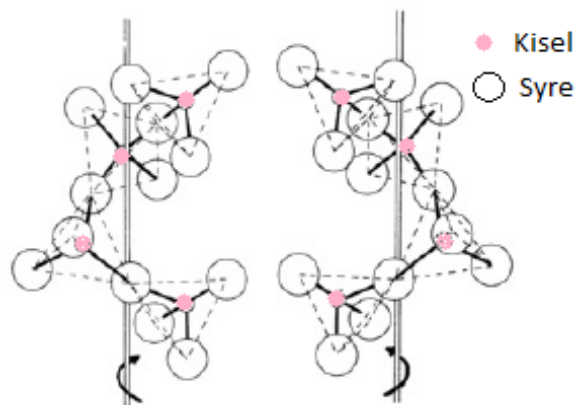


Fig 2. Kisel-tetraedrar som vrider sig som en spiral runt c-axeln. Modifierad från Preusser et al. (2009).

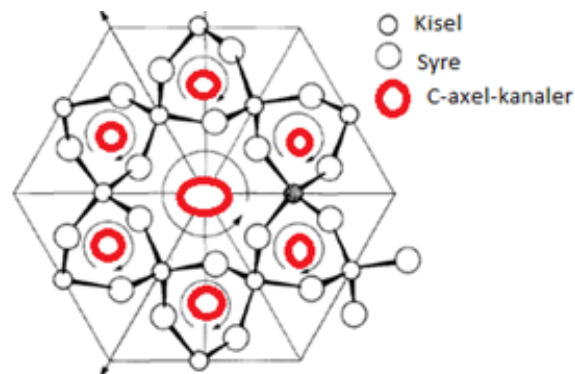


Fig 3. Genomsnitt vinkelrätt mot kvartskristallens c-axel. C-axelkanalerna är utmärkta i rött. Modifierad från Weil (1984).

3.3.2 Spårämnen

Kisel och syre sitter inte alltid där de bör i kvartsens kristall. Ett mineral är sällan 100 % rent utan har tagit in små mängder av något annat ämne än dess rena beståndsdelar. För att ett ämne ska substituera med ett annat krävs att de har samma, eller liknande, laddning och jonradie (Klein & Philpotts 2012). Det spelar också roll vilken temperatur mineralet har och vilka ämnen som finns att tillgå.

Avsaknaden av en syreatom i en kvartskristall gör att två kiselatomer istället fäster i varandra och bildar något som kallas ”neutral O vacancy” (neutral syrevakans) (Preusser et al. 2009). Detta kan även ske för kiselatomer, då en kiselatom saknas och lämnar en direkt kontakt mellan två syreatomer. Det är dock vanligt och det finns mindre kunskap om hur kiselvakanscenter fungerar och bildas. Ofta är inte dessa bindningar stabila i kvarts (Preusser et al. 2009).

Ämnen som vanligen substituerar mot kvartsens kisel är aluminium (Al), titan (Ti), germanium (Ge), fosfor (P), järn (Fe) och gallium (Ga).

Väte (H), litium (Li), och natrium (Na) är exempel på spårämnen som kan återfinnas i kanalerna parallellt till kvartsens c-axlar (Preusser et al. 2009). Dessa joner har svagare bindningar (Erбетта et al. 2000) och kan under vissa omständigheter, då de tillsätts energi, röra sig längs med kanalen (Preusser et al. 2009).

4. Material och metod

4.1 Prover

Arbetet utgår ifrån fyra sedimentprover med tillhörande resultat från en OSL-analys (tabell 1). Proverna har genomgått mekanisk och kemisk preparering i Lunds luminiscenslaboratorium; proceduren beskrivs i Alexanderson & Bernhardson (2016) och sammanfattas här. Proverna har våtsiktats och fraktionen 180-250 µm har valt ut för analys. Fraktionen har sedan behandlats med HCl (saltsyra) för att avlägsna karbonater från provet samt med 10% H₂O₂ (väteperoxid) för att ta bort organiskt material. Sedan har fältspat eliminerats från provet med en densitetsseparation på 2,62g/cm³. Efter densitetsseparationen är tanken att enbart kvarts ska finnas kvar. Kvartsfraktionen behandlades sedan med fluorvätesyra i 60 minuter. Sista steget i behandlingen är avlägsna fluorider som kan ha bildats i fluorvätesyran. Detta gjordes genom att behandla kvartsproverna med 10% HCl i 40 minuter (Alexanderson & Bernhardson 2016).

Tre av proverna kommer från olika delar av Sverige och ett från Norge. Prov 15012 är taget från området Skorgenes nära Molde i västra Norge. Där består berggrunden av dioritisk till granitisk gnejs (Norges Geologiske Undersøkelse 2017).

12057 är taget från Rauvospakka, 26 km norr om Junosuando i Pajala kommun (Sigfúsdóttir 2013). Omgivande berggrund består främst av granitiska bergarter men även underordnat diorit och gabbro förekommer (Sveriges Geologiska Undersökning 2017).

Prov 15064 är ifrån Skogalund, 10 km nordväst om

Skara (Alexanderson et al. 2016). Den omgivande berggrunden består främst av migmatitisk gnejs (Sveriges Geologiska Undersökning 2017).

Prov 13031 är taget från Skattungheden utanför Orsa (Alexanderson & Bernhardson 2016) där berggrunden består av kalksten i områden, sandsten med skiffer och konglomerat samt basalt (trakybasalt), ryolit och granit (Sveriges Geologiska Undersökning 2017).

Tabell 1. Provnummer med tillhörande resultat från OSL-analys och referens till originalpublikation med lokal- och OSL-information

Provnummer	Kvalitet på resultat	Referens
15012	Mycket låg sensitivitet	Anjar et al. (under utgiv.)
12057	Låg sensitivitet	Sigfúsdóttir (2013)
15064	Medel hög sensitivitet	Alexanderson et al. (2016)
13031	Mycket hög sensitivitet	Alexanderson & Bernhardson (2016)

Tabell 2. Prover med tillhörande betastrålningsdos. Laboratordosen motsvarar provets naturliga dos.

Prov	Stråldos (Gy)	Förvärmning (°C)	Referens
15012	28	200	Anjar et al. (under utgiv.)
12057	37	220	Sigfúsdóttir (2013)
15064	153	240	Alexanderson et al. (2016)
13031	70	220	Alexanderson & Bernhardson (2016)

4.2 OSL

För att få OSL-data från samma material som analyseras med LA-ICP-MS (se nedan) så plockades 20 korn ut från varje prov med hjälp av pincett under ett mikroskop. Det visades sig att alla korn i proven inte bestod av kvarts, men endast kvartskorn plockades ut för analys.

Kornen placerades på metallbrickor som var behandlade med silikonspray för att få kornen att fästa bättre. Totalt var det åtta brickor med 10 korn på vardera bricka. Brickorna placerades i analysinstrumentet

Risø TL/OSL model DA-20 (Bøtter-Jensen et al. 2002).

Då sedimentproverna utsatts för ljus i samband med att de plockades och placerades på brickorna har kvartsens luminiscensenergi blivit nollställd. De ”laddades upp” igen genom att bestrålas med betastrålning med doshastigheten 0,17 Gy/s. Varje prov fick en strålmängd motsvarande deras naturliga dos (tabell 2) som tidigare bestämts vid OSL-datering av proverna.

När proven sedan blivit bestrålade till samma mängd som de tidigare ansamlat i naturen utfördes en OSL-analys. Proven förvärms för att frigöra elektroner som sitter i grunda defekter i kvartsen kristallgitter, s.k. ostabila elektroner (Duller 2008). Förvärmningstemperaturen för varje prov finns i tabell 2. Inställningar finns att se i bilaga 4. Proven strålades med blå LED och OSL-signalen/fotonerna som frigjordes mättes i ljusförstärkaren.

4.3 LA-ICP-MS

För prepareringen av proven klipptes två trekantiga bitar ut från en CD-skiva. På vardera trekant ritades en ring med ett plaströr som mall på skivans undersida. Trekanterna kläddes med dubbelhäftande tejp för att kornen skulle fastna. Från varje sedimentprov har 40-50 kvartskorn plockats ut med pincett under mikroskop. Kornen placerades metodiskt i rader inom ringen som målats på CD-skivan. Varje provs rad hade en egen form för att lätt kunna skilja dem åt vid analysen. Sedan göts proven in i epoxymassa med hjälp av ett rör som placerades på den tidigare ritade cirkeln. När massan stelnat, efter ungefär 12 timmar, hade kornen fastnat i massan och följde med röret då det avlägsnades från skivan. Röret avlägsnades från epoxyn och proven sågades ut till puckar som slipades med sandpapper och polerades på en roterande platta med poleringsmedel i storlek 3 µm. Efter detta var proven redo att analyseras i LA-ICP-MS.

Laserablationen utfördes i Photon machines, Ana-

lyse G2 excimer laser med en våglängd på 193 nm och en pulsvidd på mindre än 4 ns som var kopplat till ICP-MS instrumentet Bruker Aurora Elite Quadrupole ICP-MS. Laserstrålen hade en fluens på 10 J/cm² och en frekvens på 6 Hz. Träffytan för ablationen var på 40x90 µm och ablationen pågick i 20 s med en återställningstid på 10 s. Bärgasen in till plasmatet var 0.75 l He/min och 4 ml N₂/min och 0,95 l argon/min blev tillfört nedströms provkammaren.

Ämnena som detekterades var ⁷Li, ²⁴Mg, ²⁷Al, ²⁹Si, ³¹P, ⁴⁷Ti, ⁴⁹Ti, ⁵²Cr, ⁵³Cr, ⁵⁵Mn, ⁵⁶Fe, ⁶⁵Cu, ⁷²Ge, ⁸⁸Sr, ⁹³Nb, ¹⁰³Rh, ¹⁰⁷Ag, ¹³⁷Ba, ¹³⁹La, ¹⁴⁶Nd, ¹⁶³Dy, ¹⁷²Yb, ¹⁹⁷Au, ²⁰⁸Pb, ²³²Th och ²³⁸U. Mättid för varje element var 15 ms per svep. Som första standardreferens material användes NIST612 och som andra standard referens användes NIST 614 (Jochum et al. 2011). Resultaten behandlades i Iolite software. Tabeller av resultaten togs fram i Excel. Alla inställningar för LA-ICP-MS finns i bilaga 1.

5 Resultat

5.1 OSL-analys

För varje prov utfördes två analyser. Jag har valt att visa det resultatet som har uppvisat snabbast signal-komponenter av dom två genomförda analyserna. Alla resultat finns att se i bilaga 2. För alla prover låg signalens topp mellan 100-500 fotoner/0,16 s. Prov 13031 gav bäst resultat (fig 4) med högst signal intensitet (topp) och uppvisade en dominerande snabb komponent då kurvan snabbt går ner. Prov 15064 gav näst bäst resultat (figur 5) då kurvan börjar i en hög topp som sedan går ner. Den lite flackare lutningen visar på mer inslag av långsamma och medel komponenter i signalen. Prov 12057s kurva har inte en tydlig topp i början och sjunker långsamt vilket tyder på dominerande långsamma och medel signalkomponenter och ger därför ett dåligt resultat (fig 6). Prov 15012 uppvisade minst lyckade analysen då kurvan inte hade en topp och aldrig går ner utan svajade mellan 100-40

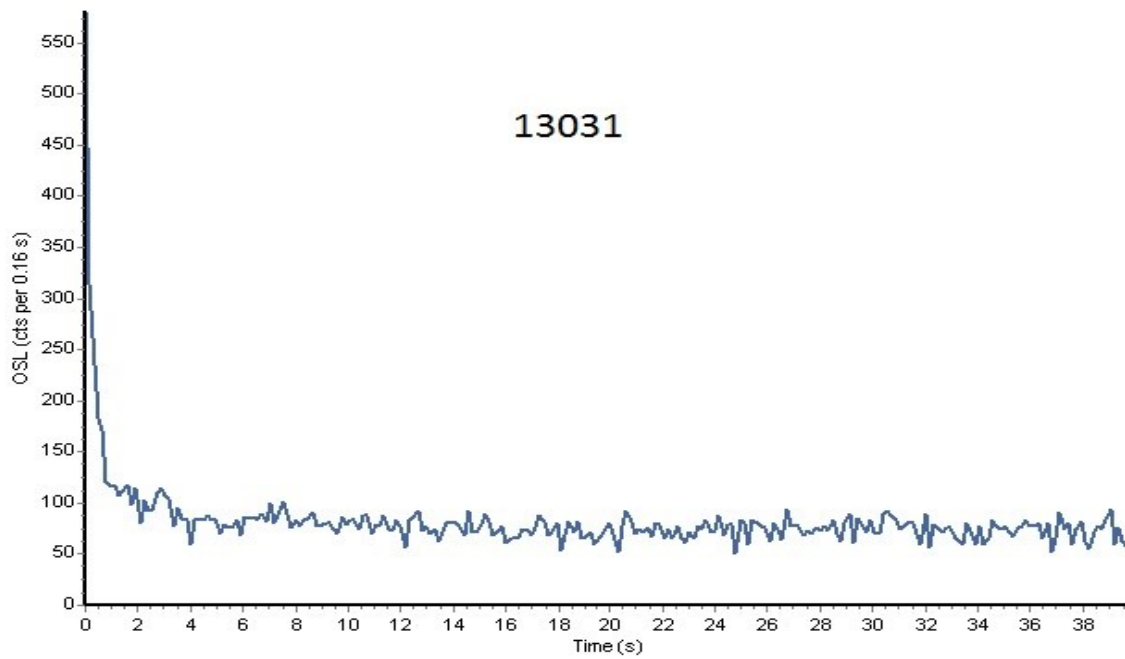


Fig 4. Resultat från OSL-analysen av prov 13031.

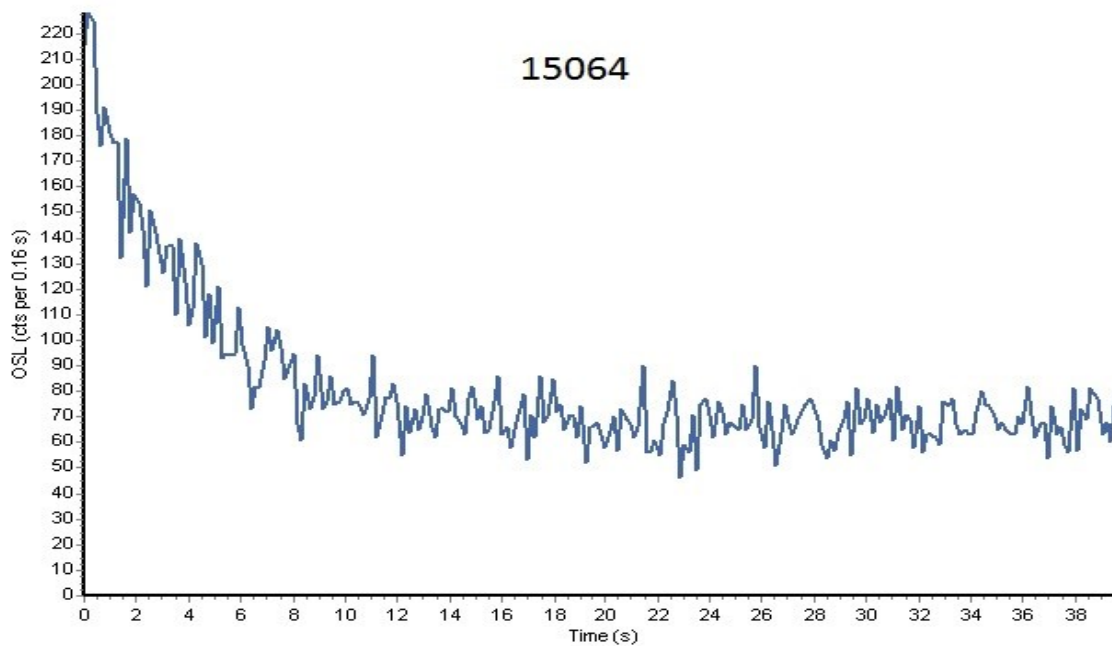


Fig 5. Resultat från OSL-analysen av prov 15064.

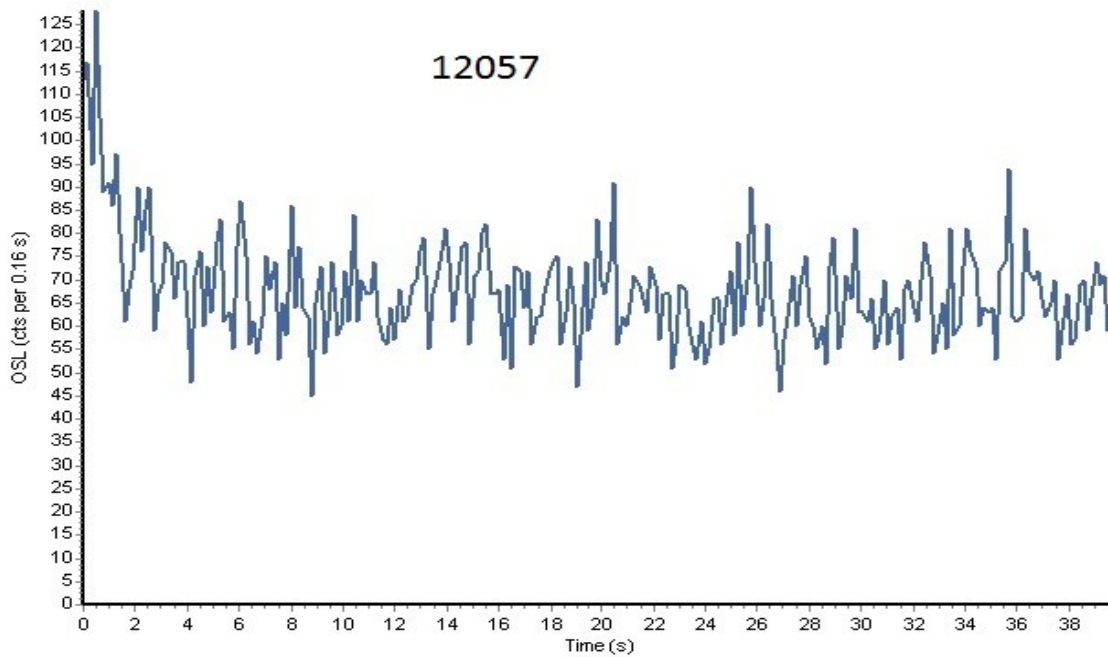


Fig 6. Resultat från OSL-analysen av prov 12057.

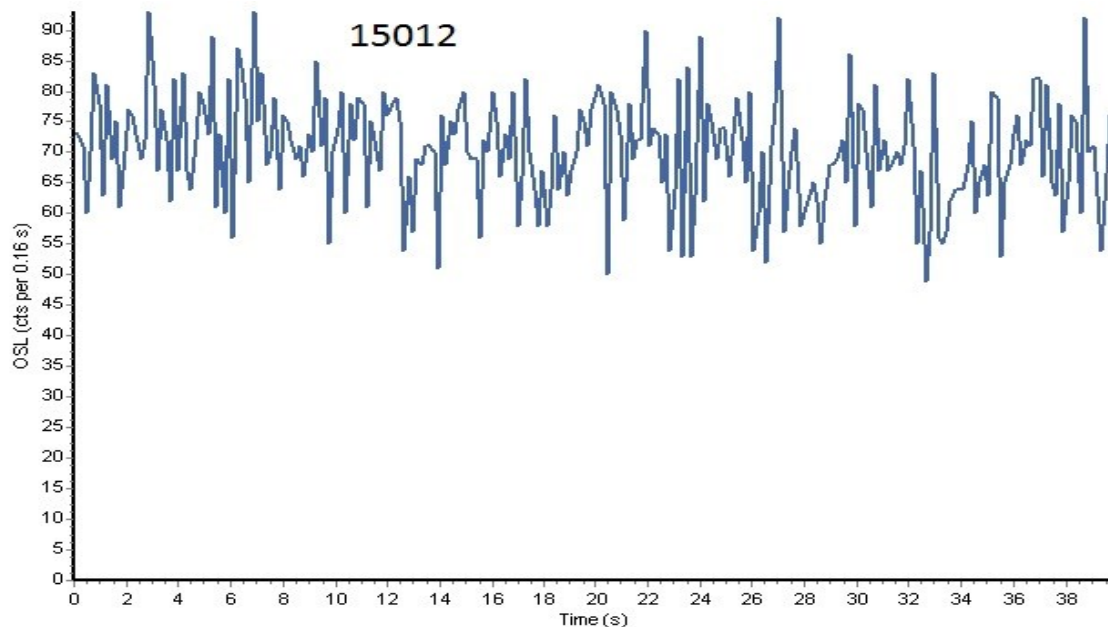


Fig 7. Resultat från OSL-analysen av prov 15012.

5.2 LA-ICP-MS

Spindeldiagrammen (fig. 8-11) visar halterna för varje ämne i enhet ppm normaliserat till prov 15012 och har en logaritmisk skala. Resultat av halter för varje mätning av varje ämne finns i bilaga 3. Läses resultaten av i bilaga 3 är det tydligt att halterna av vissa spårämnen skiljer sig kraftigt mellan kornen inom samma prov.

Prov 13031 var det prov som är mest likt prov 15012 i sin kemiska sammansättning (fig.8-9).

Det finns inget tydligt samband när något av ämnena faller med eller stiger med OSL-analysernas kvalitet. Dock går det att observera att medelhalterna av mangan och bly var högre i prov 13031 än i de övriga. I övrigt är innehållet av spårämnen för varje prov relativt likvärdiga.

A-13031

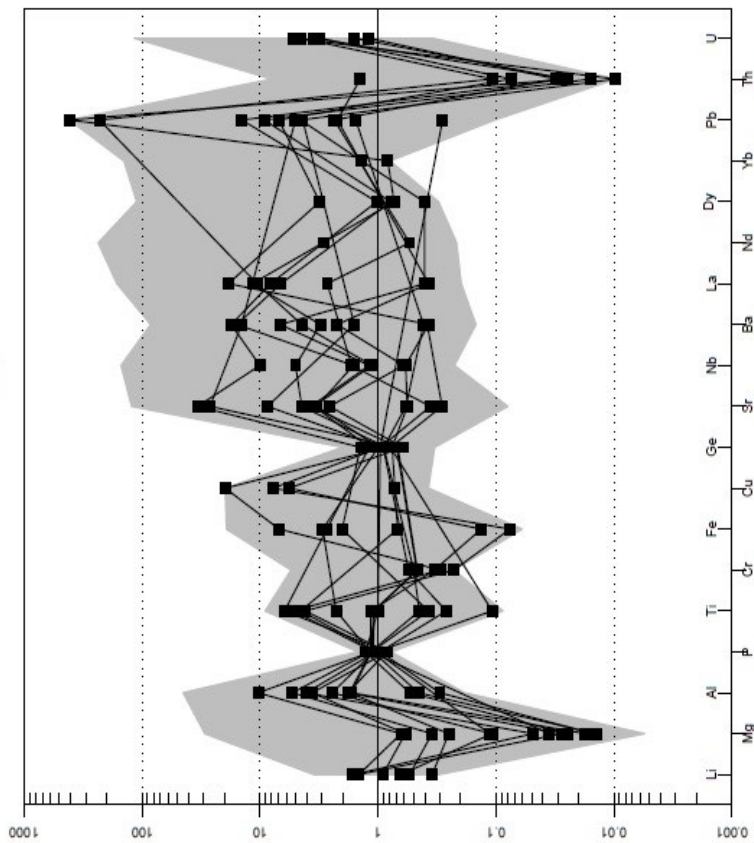


Fig 8. Kvantitativ beräkning av spårämnen i prov 13031, normaliserat till prov 15012, i enhet ppm. Y-axeln är i logaritmisk skala.

D-15064

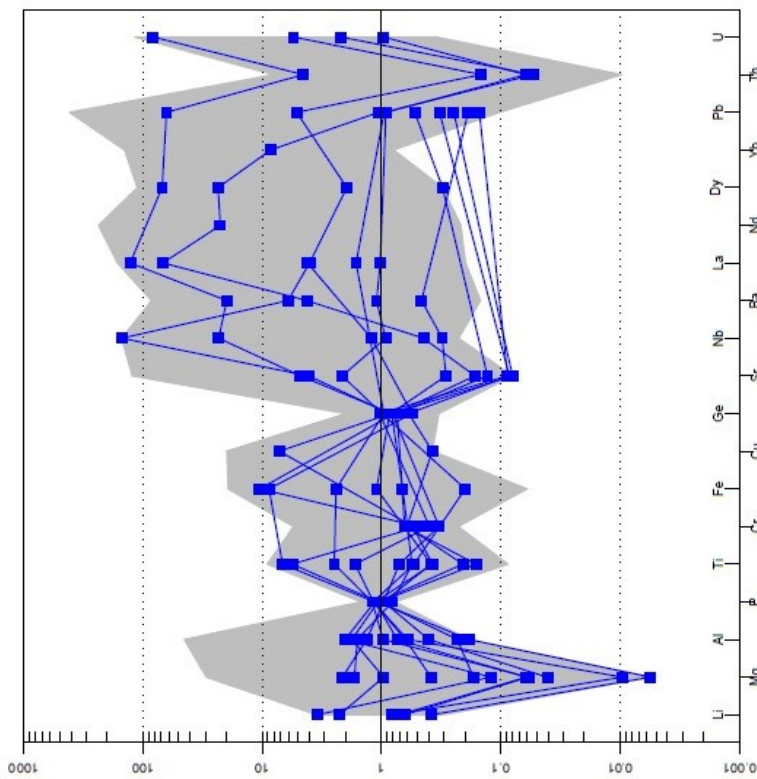


Fig 9. Kvantitativ beräkning av spårämnen i prov 15064, normaliserat till prov 15012, i enhet ppm. Y-axeln är i logaritmisk skala.

C-12057

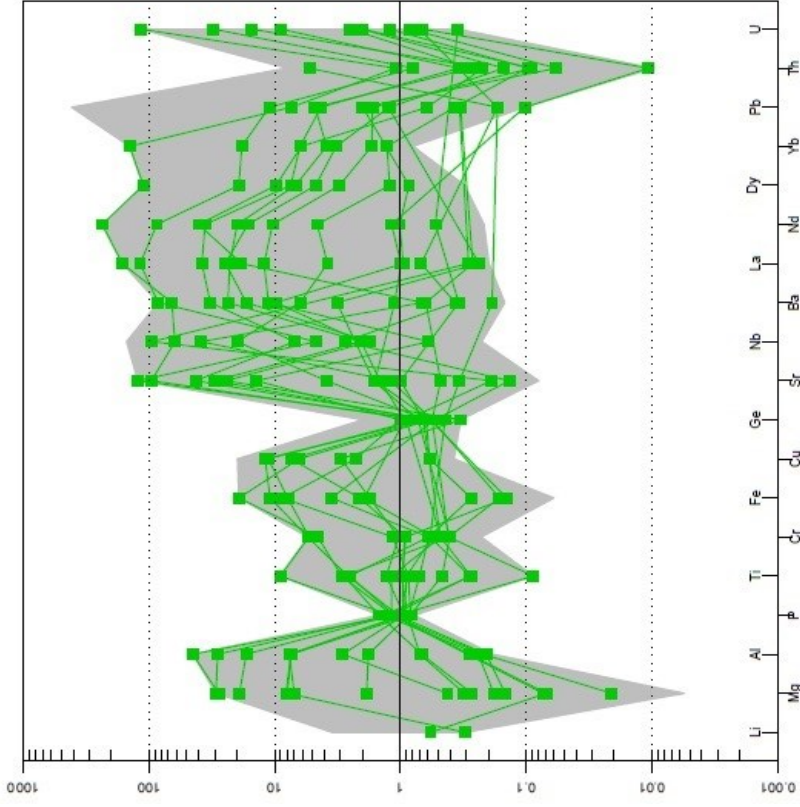


Fig 10. Kvantitativ beräkning av spårämnen i prov 12057, normaliserat till prov 12057, i enhet ppm. Y-axeln är i logaritmisk skala.

B-15012

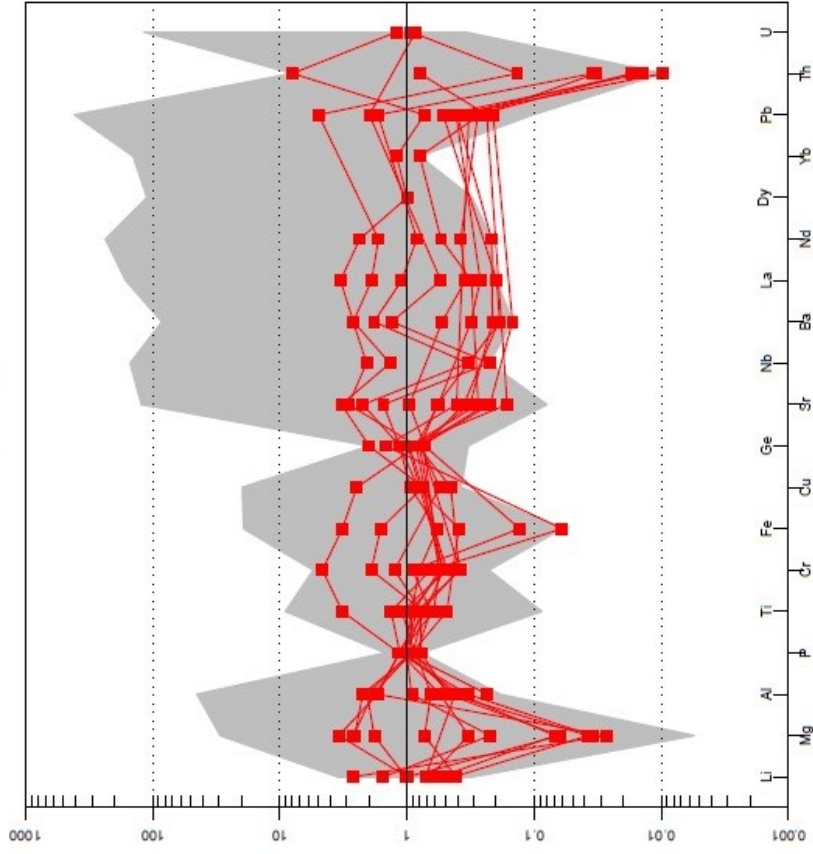


Fig 11. Kvantitativ beräkning av spårämnen i prov 15012 i enhet ppm. Y-axeln är i logaritmisk skala.

Det var problem med kvantifieringen i sekvens 2 och 3. Värdena för ^{53}Cr var för höga i både sekvens 2 (fig 12) och sekvens 3 (fig 13), där ^{52}Cr var långt över referensvärdet men ^{53}Cr fungerar bättre och kan användas. Det är även problem med kvantifieringen av P, Mn och Fe. Felmargi-

naler för dessa ämnen är mindre och kan ändå vara värda att ha med i bestämningarna av halterna, men då ha i beaktande att det kan vara en viss felmarginal. Nedan är diagram över felmarginalerna från analysen där NIST614 (Jochum et al. 2011) använts som referensunderlag.

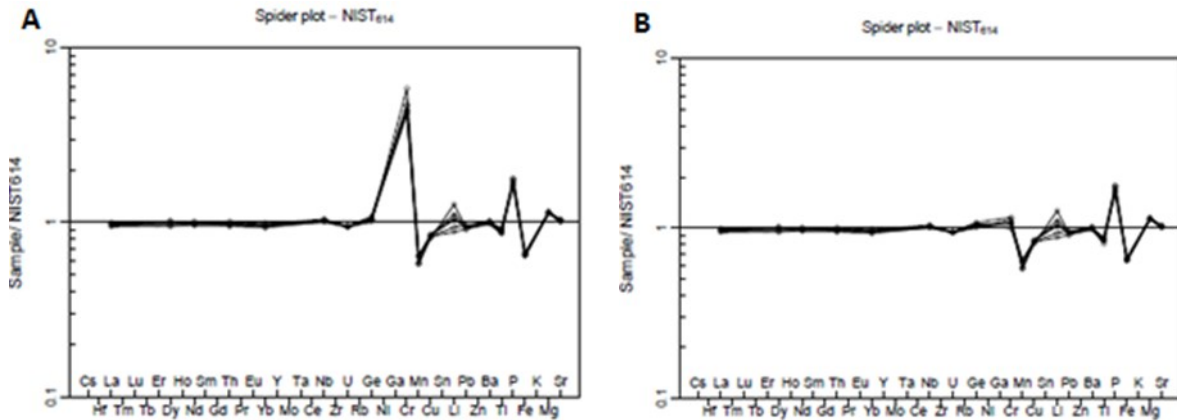


Fig 12. Felmarginaler i kvantifieringen för sekvens 2 som innefattar prov 13031 och 15064. A visar ^{53}Cr som är långt över referensvärdet. B visar ^{52}Cr som är lägre än referensvärdet men med mindre felmarginal än för ^{53}Cr .

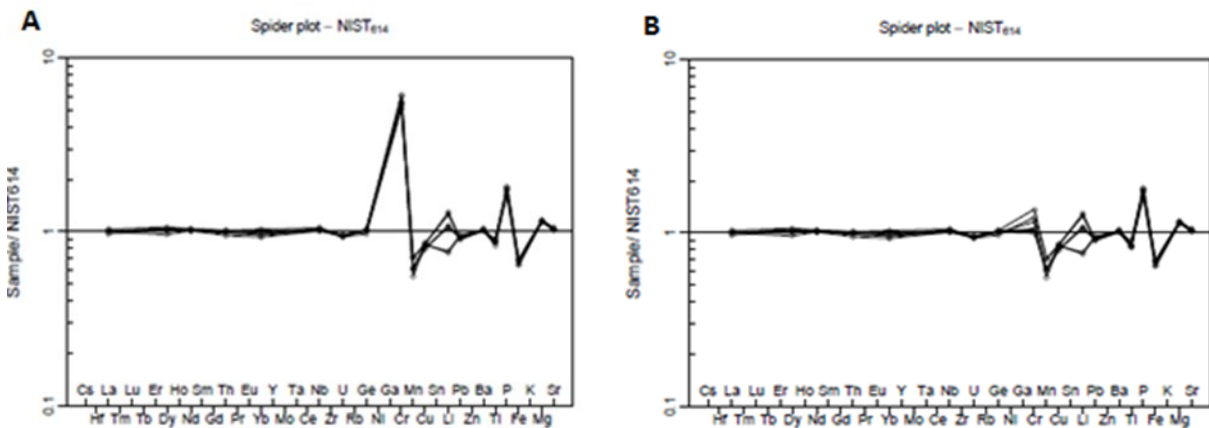


Fig 13. Felmarginaler i kvantifieringen för sekvens 3 som innefattar prov 15012 och 12057. A visar ^{53}Cr som är långt över referensvärdet. B visar ^{52}Cr som är lägre än referensvärdet men med mindre felmarginal än för ^{53}Cr .

6. Diskussion

6.1 OSL

OSL-signalen i mina mätningar (fig. 4-7) var svagare än de som gjorts tidigare (fig. 14b-18b). Detta kan ha flera förklaringar.

Det kan delvis bero på slump, att de kvartskorn som plockades ut hade en sämre förmåga att avge OSL med en snabb komponent vilket är en egenskap som skiljer sig mellan korn i samma sediment som nämns i artikeln av Preusser et al. (2009). En annan förklaring kan vara att det var 10 korn som analyserades och i de första analyserna var det minst tio gånger så många (Helena Alexanderson, Lunds universitet, pers. kom. 2015-05-16) vilket gör att den sammanlagda fotonmängden som avges blir högre i de tidigare analyserna. Ju fler korn som är med och bidrar till OSL-signalen

desto starkare blir den. I de äldre analyserna var det inte heller enbart kvarts som analyserades utan även andra mineral, t.ex. fältspat (Preusser et al. 2009) som nämns i avsnitt 3.1.1, som kan ha avgett den luminiscenssignal som registrerades.

Om man bortser från OSL-signalens styrka, alltså bortser från antalet fotoner som kan bero på mängden korn i provet, är kurvornas form relativt likadana ut för samtliga prover (fig. 14-17). Det tyder på att andelen snabba, medel och långsamma komponenter är densamma för båda analyserna. Därför kan mätningen anses ha givit samma kvalitet på resultaten som tidigare mätningar. Utifrån resultaten är det inte lönsamt att lägga tid på att plocka ut provmaterial för hand från sandprov inför en OSL-analys för att få ett helt rent kvartsprov.

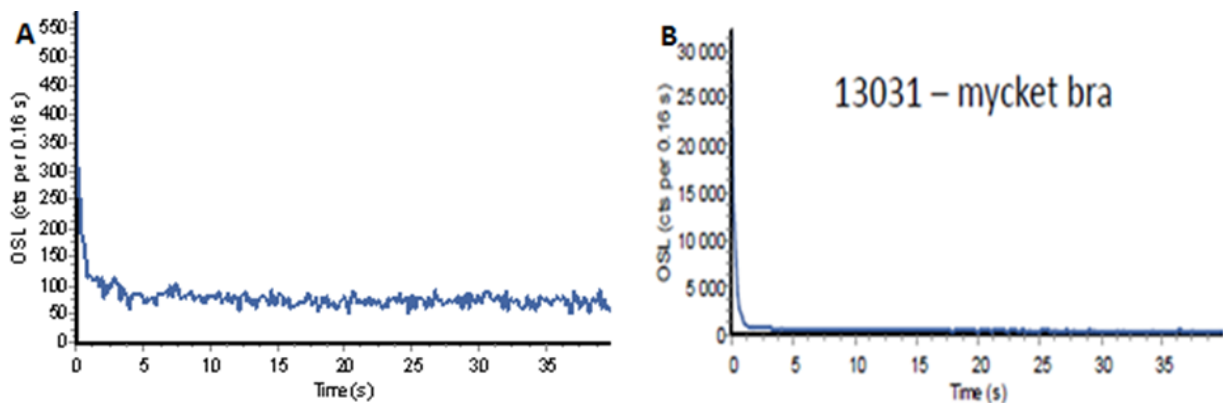


Fig 14. OSL-signal från prov 13031. A OSL-analys av 10 korn kvarts (den här studien). B OSL-signal från några hundra korn av mestadels kvarts (Helena Alexanderson, Lunds universitet, pers. kom. 2015-05-16).

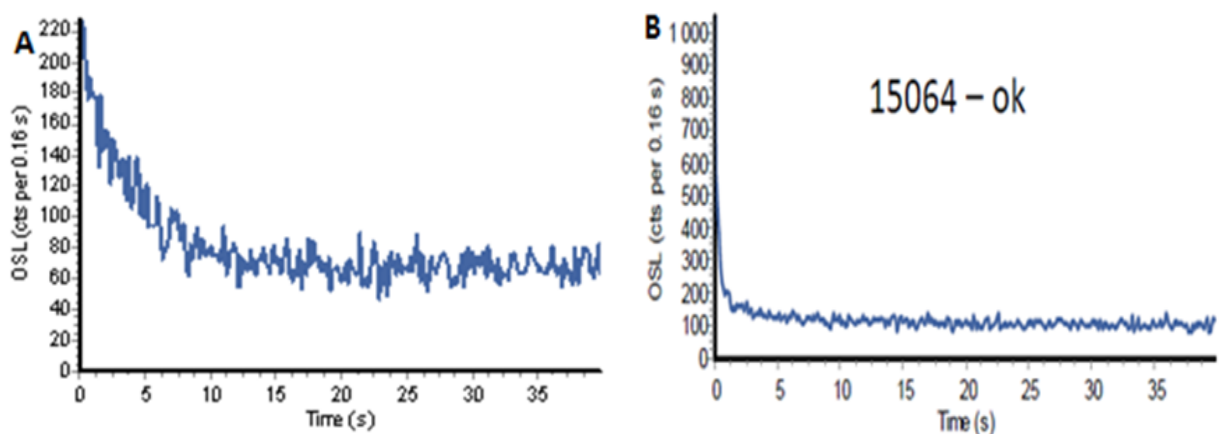


Fig 15. OSL-signal från prov 15064. A OSL-analys av 10 korn kvarts (den här studien). B OSL-signal från några hundra korn av mestadels kvarts (Helena Alexanderson, Lunds universitet, pers. kom. 2015-05-16).

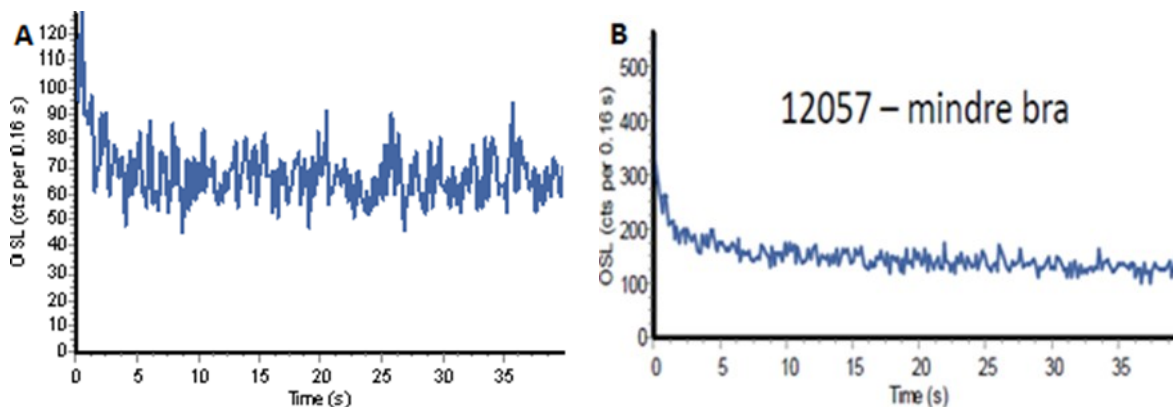


Fig 16. OSL-signal från prov 12057. A OSL-analys av 10 korn kvarts (den här studien). B OSL-signal från några hundra korn av mestadels kvarts (Helena Alexanderson, Lunds universitet, pers. kom. 2015-05-16).

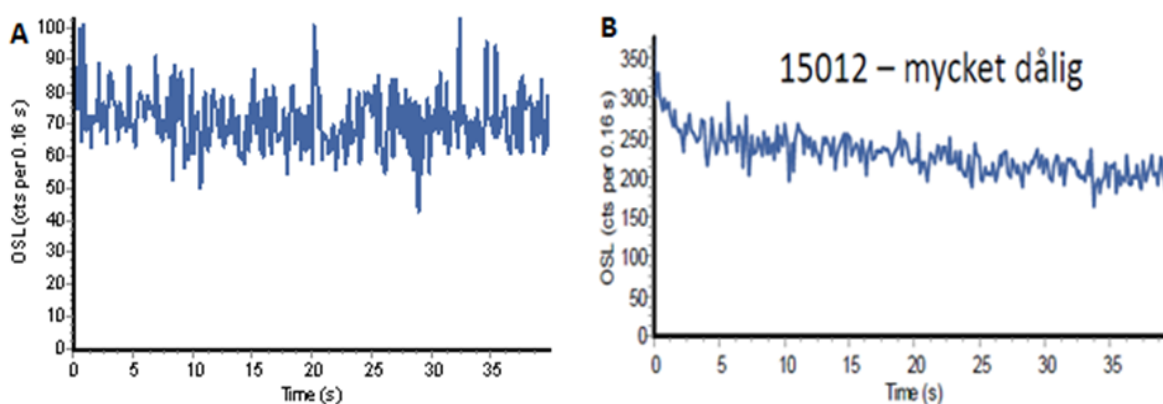


Fig 17. OSL-signal från prov 15012. A OSL-analys av 10 korn kvarts (den här studien). B OSL-signal från några hundra korn av mestadels kvarts (Helena Alexanderson, Lunds universitet, pers. kom. 2015-05-16).

6.2 LA-ICP-MS

Halterna av Mn och Pb var högre i prov 13031 som är det prov med bäst OSL-kvalité enligt OSL-analysen (fig. 7). Det kan bero på att något av dessa spårämnen gynnar kvartsens förmåga att avge en OSL-signal med en dominerande snabb komponent. Skillnaden i halterna för Mn och Pb var dock små och halterna var inte fallande med minskad kvalité för OSL-analyserna då prov 12057, som hade en svagare OSL-signal, hade högre halter av båda ämnena än prov 15064 som hade en starkare OSL-signal. Dessa ämnen kan dock vara värda att titta närmare på i framtida undersökningar.

Utifrån mina data går det inte att utesluta att skillnaden på kvartsens egenskaper att avge en OSL-signal med dominerande snabb komponent inte beror på spårämnena. I LA-ICP-MS analysen valdes ett antal ämnen ut och det kan vara så att något spårämne som inte detekterades kan

vara med och påverka OSL-signalen. Det kan även vara en kombination av olika spårämnena som inte går att tyda i data från den här undersökningen som ligger bakom egenskaper för bättre OSL-mätningar.

Artikeln av Preusser et al. (2009) kommer fram till att defekter i kvartsen måste undersökas närmare. Ur mina resultat från LA-ICP-MS kan utläsas att medelhalten av Li, som är ett spårämne som främst påträffas i C-axelkanalerna, ligger på 1,79–4,21 ppm för alla prov vilket är relativt stabilt. Medan ämnen som byter ut Si i kvartsen, som t.ex. Al och Fe har en mycket större spridning i medelhalt mellan proverna.

Resultaten från LA-ICP-MS analysen visar att kvartsens spårämnen varierar kraftigt mellan korn från samma prov. Preusser et al. (2009) säger i sin artikel att även luminiscensegenskap-

er varierar mellan korn inom samma sediment. Därför anser jag att det vore lämpligt att analysera både kvartsens kemi och OSL-egenskaper för samma korn. Götze et al. (2004) artikel nämns att det inte är möjligt att få en korrekt kvantifiering av spårämnen med endast en analysmetod och därför borde även ytterligare metoder som kan undersöka kvartsens kemiska sammansättning användas i en framtida studie i ämnet.

7. Slutsats

Utifrån data som tagits fram i studien går inte hypotesen att spårämnena i kvarts skulle påverka kvartsens känslighet, och därmed ha en avgörande inverkan på OSL-analyser kvalitet, att varken styrka eller att förkasta.

Halterna av olika spårämnen som detekterades i LA-ICP-MS kunde inte visa något samband med kvartsens luminiscensegenskaper. Något som observerades var variationen av spårämnena i kvarts-korn inom samma prov (taget från samma sediment) vilket tidigare studier visat att även kvarts-korns luminiscensegenskaper gör. För att komma vidare bör man undersöka och jämföra både luminiscensegenskaper och kemisk sammansättning för samma korn.

8. Tack

Jag vill rikta stort tack till mina handledare, professorerna Helena Alexanderson, Tomas Naeraa och Anders Scherstén. Jag vill tacka er för den tid och det engagemang ni lagt ner under arbetets gång.

Jag vill tacka Britta Smångs för att hon alltid, med ett leende på läpparna, tagit sig tid att hjälpa mig med problem som uppstått i hanteringen av referensmaterial.

9. Referenser

Alexanderson, H. & Bernhardson, M., 2016: OSL dating and luminescence characteristics of aeolian deposits and their source material in Dalarna, central Sweden: *Boreas* 45, 876-893. doi: 10.1111/bor.12197

Alexanderson, H., Bernhardson, M. & Kalińska-Nartiša, E., 2016: Aeolian activity in Sweden. [Elektronisk resurs] : an unexplored environmental archive. Lund : Department of Geology, Lund University 2016.

Anjar, J., Alexanderson, H., Larsen, E. & Lyså, A., under utgiv.: OSL dating of Weichselian ice-free periods at Skorgenes, western Norway. Opublicerat manuskript.

Bøtter-Jensen, L., Bulur, E., Murray, A. S. & Poolton, N. R. J., 2002: Enhancements in luminescence measurement techniques. 1 ed. Place of Publication: Athens, Greece. Country of Publication: UK., Nuclear Technology Publishing. 119-124 s.

Duller, G. A. T., 2008: Luminescence dating. Guidelines in using luminescence dating in archaeology. Swindon, English Heritage. 43 s.

Erbetta, D., Ricci, D. & Pacchioni, G., 2000: Simplified embedding schemes for the quantum-chemical description of neutral and charged point defects in SiO₂ and related dielectrics: *Journal of Chemical Physics* 113, 10744-10752. doi: 10.1063/1.1323957

Fitzsimmons, K., 2011: An assessment of the luminescence sensitivity of Australian quartz with respect to sediment history: *Geochronometria: Journal on Methods & Applications of Absolute Chronology* 38, 199-208. doi: 10.2478/s13386-011-0030-9

Gi Young, J. & Jeong-Heon, C., 2012: Variations in quartz OSL components with lithology, weathering and transportation: *Quaternary Geochronology* 10, 320-326. doi: DOI: 10.1016/j.quageo.2012.02.023.

Götze, J., Plötze, M., Graupner, T., Hallbauer, D. K. & Bray, C. J., 2004: Trace element incorporation into quartz: A combined study by ICP-MS, electron spin resonance, cathodoluminescence, capillary ion analysis, and gas chromatography 11Associate editor: U. W. Reimold: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68, 3741-3759. doi: 10.1016/j.gca.2004.01.003

Jochum, K. P., Weis, U., Stoll, B., Kuzmin, D., Yang, Q., Raczek, I., Jacob, D. E., Stracke, A., Birbaum, K., Frick, D. A., Günther, D. & Enzweiler, J., 2011: Determination of reference values for NIST SRM 610-617 glasses following ISO guidelines: *Geostandards and Geoanalytical Research* 35, 397-429. doi: 10.1111/j.1751-908X.2011.00120.x

- Klein, C. & Dutrow, B., 2007: The manual of mineral science. Wiley, New York.
- Klein, C. & Philpotts, A. R., 2012: Earth materials : introduction to mineralogy and petrology. Cambridge : Cambridge University Press, 2012.
- Liu, Y., Hu, Z., Gao, S., Günther, D., Xu, J., Gao, C. & Chen, H., 2008: In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard: *Chemical Geology* 257, 34-43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Norges Geologiske Undersøkelse, 2017: Kart Berggrunn. Hämtad 2017-05-15, från <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?lang=Norsk&Box=-214586:6452754:1270610:7939800&map=Berggrunn%2EN250%2Emed%2Elineamenter>.
- Preusser, F., Chithambo, M. L., Goette, T., Martini, M., Ramseyer, K., Sendezera, E. J., Susino, G. J. & Wintle, A. G., 2009: Quartz as a natural luminescence dosimeter: *Earth-Science Reviews* 97, 184-214. doi: 10.1016/j.earscirev.2009.09.006
- Sigfúsdóttir, T., 2013: A sedimentological and stratigraphical study of Veiki Moraine in northernmost Sweden. Lund : Department of Geology, Lund Univ., 2013.
- Sveriges Geologiska Undersökning, 2017: Kartvisaren Berggrund 1:1 miljon. Hämtad 2017-05-15, från <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berggrund-1-miljon.html>.
- Thomas, R. J., 2013: Practical guide to ICP-MS : a tutorial for beginners. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.
- Weil, J. A., 1984: A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz: *Physics and Chemistry of Minerals* 10, 149-165. doi: 10.1007/BF00311472

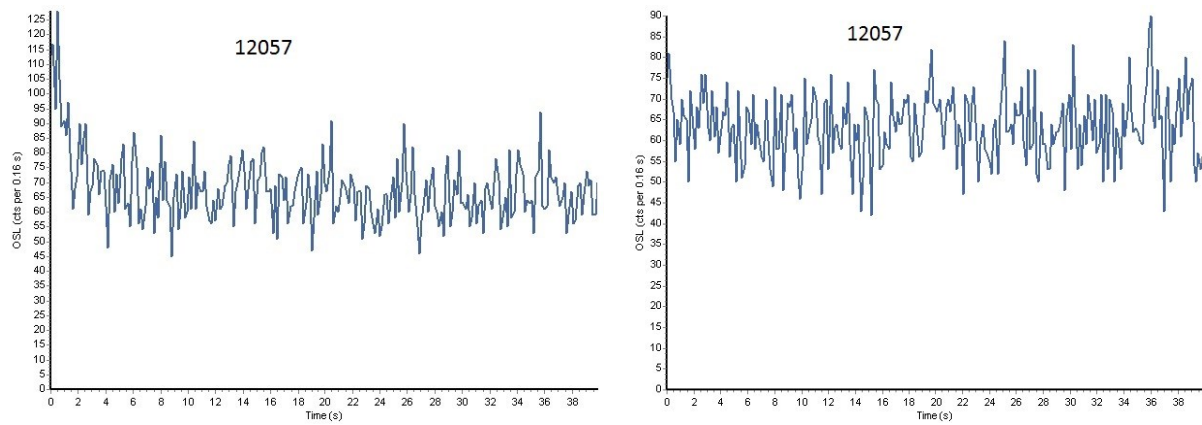
Bilaga 1

Inställningar för LA-ICP-MS.

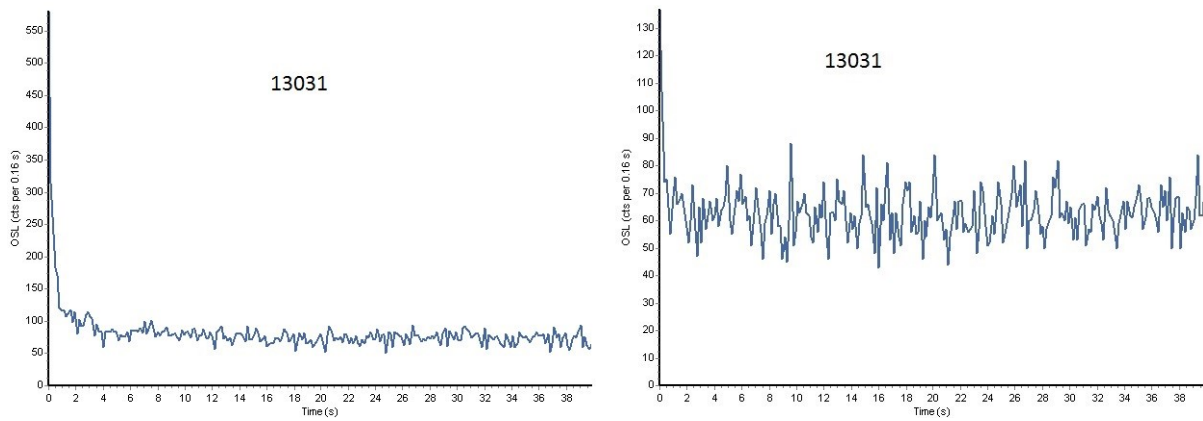
Laboratory & Sample Preparation	
Laboratory name	Department of geology LA-ICP-MS laboratory
Sample type / mineral	Quartz
Sample preparation	Mounted in epoxy
Imaging	
Laser ablation system	
Make, Model & type	Photon machines, Analyte G2 excimer laser
Ablation cell & volume	HelEx 2 sample cell
Laser wavelength	193 nm
Pulse width	<4 ns
Fluence	10 J/cm ²
Repetition rate	6 Hz
Spot size	40x90 µm
Sampling mode / pattern	40x90 µm single spot analyses
Carrier gas	He and N ₂ . Ar make-up gas combined using a Y-connector down-stream from sample chamber.
Background collection	20 seconds
Ablation duration	20 seconds
Wash-out delay	10 seconds
Cell carrier gas flow	0.75 l/min He and 4ml/min N ₂
ICP-MS Instrument	
Make, Model & type	Bruker Aurora Elite Quadrupole ICP-MS
Sample introduction	Via conventional tubing with insert "squid"
RF power	1300 W
Make-up gas flow	0.95 l/min Ar
Detection system	Single collector discrete dynode electron multiplier or DDEM
Masses measured (dwell time in milliseconds)	Li7(15), Mg24(15), Al27(5), Si29(5), P31(15), Ti47(15), Ti49(15), Cr52(15), Cr53(15), Mn55(15), Fe56(15), Cu65(15), Ge72(15), Sr88(15), Nb93(15), Rh103(15), Ag107(15), Ba137(15), La139(15), Nd146(15), Dy163(15), Yb172(15), Au197(15), Pb208(15), Th232(15), U238(15)
Total scan time	420 milliseconds
Data Processing	
Gas blank	20 second
Calibration strategy	NIST612 as primary standard reference, NIST614 as secondary standard reference
Internal standard	Si29 with following concentrations: NIST612 (33.6 wt. %), NIST614 (33.6 wt. %) and quartz (47.6 wt. %)
Reference Material info	GeoRem preferred values (Jochum et al. 2011, Geostandards and Geoanalytical Research 35, 397-429)
Data processing	lomite software (Paton et al. 2011, Journal of Analytical Atomic Spectrometry 26, 2508-2518.

Bilaga 2

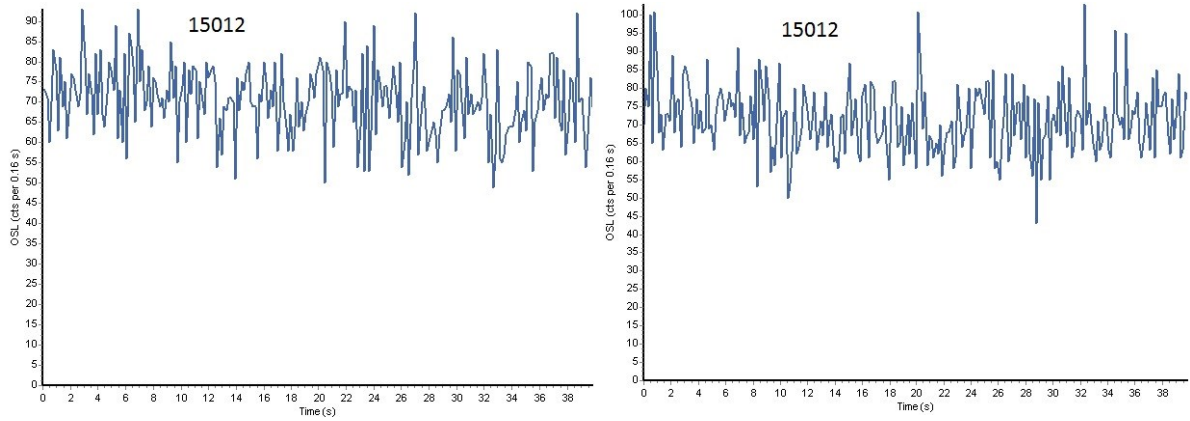
Alla resultat från OSL-analys



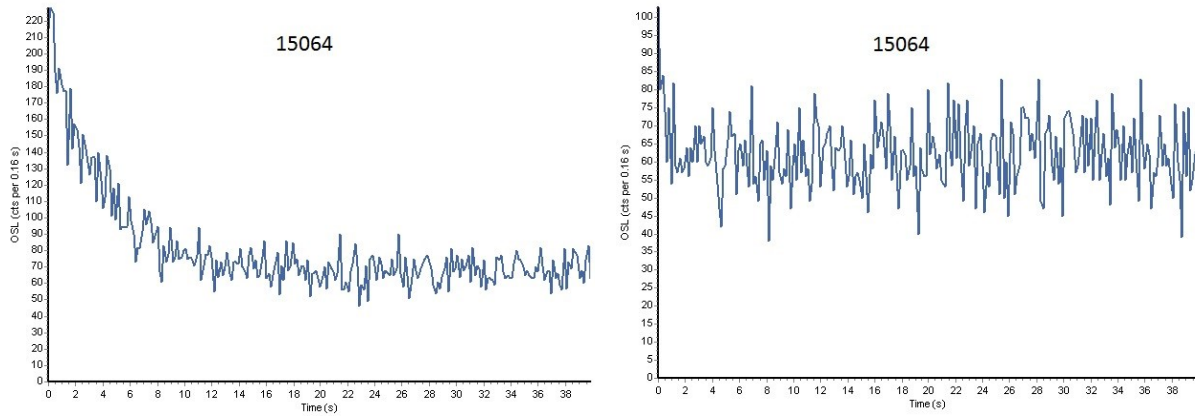
Figur 19. Resultat från analyserna av prov 12057.



Figur 20. Resultat från analyserna av prov 13031.



Figur 21. Resultat från analyserna av prov 15012.



Figur 22. Resultat från analyserna av prov 15064.

Bilaga 3

Elektroniska länkar till LA-ICP-MS resultaten för alla sekvenser i Excel-filer.

Sekvens 1: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8914195/file/8914260.xlsx>


Sekvens 2: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8914195/file/8914262.xlsx>

Sekvens 3: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8914195/file/8914264.xlsx>

Bilaga 4.
 Inställningar för OSL-analys

Sequence Editor: C:\Users\rebec\Downloads\7054-q.SEQ

File Edit Options Seq Control Help



↓ ↓ ↓	Samples	Run 1
Set 1	1-2	Beta 880s
Set 2	3-4	Beta 210s
Set 3	5-6	Beta 400s
Set 4	7-8	Beta 160s
Set 5	1-2	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 6	3-6	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 7	7-8	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 8	1-8	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%
Set 9	1-2	Beta 880s
Set 10	3-4	Beta 210s
Set 11	5-6	Beta 400s
Set 12	7-8	Beta 160s
Set 13	1-2	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 14	3-6	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 15	7-8	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 16	1-8	OSL 125°C IR diodes;100s;5°C/s;90.0%
Set 17	1-8	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%
Set 18		
Set 19		
Set 20		
Set 21		
Set 22		
Set 23		

<

TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s

Tidigare skrifter i serien

”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

462. Lundberg, Frans, 2016: Cambrian stratigraphy and depositional dynamics based on the Tomten-1 drill core, Falbygden, Västergötland, Sweden. (45 hp)
463. Flindt, Anne-Cécile, 2016: A pre-LGM sandur deposit at Fiskarheden, NW Dalarna - sedimentology and glaciotectonic deformation. (45 hp)
464. Karlatou-Charalampopoulou, Artemis, 2016: Vegetation responses to Late Glacial climate shifts as reflected in a high resolution pollen record from Blekinge, south-eastern Sweden, compared with responses of other climate proxies. (45 hp)
465. Hajny, Casandra, 2016: Sedimentological study of the Jurassic and Cretaceous sequence in the Revinge-1 core, Scania. (45 hp)
466. Linders, Wictor, 2016: U-Pb geochronology and geochemistry of host rocks to the Bastnäs-type REE mineralization in the Ridderhyttan area, west central Bergslagen, Sweden. (45 hp)
467. Olsson, Andreas, 2016: Metamorphic record of monazite in aluminous migmatitic gneisses at Stensjöstrand, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
468. Liesirova, Tina, 2016: Oxygen and its impact on nitrification rates in aquatic sediments. (15 hp)
469. Perneby Molin, Susanna, 2016: Embryologi och tidig ontogeni hos mesozoiska fisködlor (Ichthyopterygia). (15 hp)
470. Benavides Höglund, Nikolas, 2016: Digitization and interpretation of vintage 2D seismic reflection data from Hanö Bay, Sweden. (15 hp)
471. Malmgren, Johan, 2016: De mellankambriska oelandicuslagren på Öland - stratigrafi och facietyper. (15 hp)
472. Fouskopoulos Larsson, Anna, 2016: XRF-studie av sedimentära borrhärdar - en metodikstudie av programvarorna Q-spec och Tray-sum. (15 hp)
473. Jansson, Robin, 2016: Är ERT och Tidsdomän IP potentiella karteringsverktyg inom miljögeologi? (15 hp)
474. Heger, Katja, 2016: Makrofossilanalys av sediment från det tidig-holocena undervattenslandskapet vid Haväng, östra Skåne. (15 hp)
475. Swierz, Pia, 2016: Utvärdering av vattenkemisk data från Borgholm kommun och dess relation till geologiska förhållanden och markanvändning. (15 hp)
476. Mårdh, Joakim, 2016: WalkTEM-undersökning vid Revingehed provpumpningsanläggning. (15 hp)
477. Rydberg, Elaine, 2016: Gummigranulat - En litteraturstudie över miljö- och hälsopåverkan vid användandet av gummigranulat. (15 hp)
478. Björnfors, Mark, 2016: Kusterosion och äldre kustdyners morfologi i Skälderviken. (15 hp)
479. Ringholm, Martin, 2016: Klimatutlöst matbrist i tidiga medeltida Europa, en jämförande studie mellan historiska dokument och paleoklimatarkiv. (15 hp)
480. Teilmann, Kim, 2016: Paleomagnetic dating of a mysterious lake record from the Kerguelen archipelago by matching to paleomagnetic field models. (15 hp)
481. Schönström, Jonas, 2016: Resistivitets- och markradarmätning i Ängelholmsområdet - undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar. (15 hp)
482. Martell, Josefín, 2016: A study of shock-metamorphic features in zircon from the Siljan impact structure, Sweden. (15 hp)
483. Rosvall, Markus, 2016: Spår av himlakroppskollisioner - bergarter i nedslagskratrar med fokus på Mien, Småland. (15 hp)
484. Olausson, My, 2016: Resistivitets- och IP-mätningar på den nedlagda deponin Gustavsfält i Halmstad. (30 hp)
485. Plan, Anders, 2016: Markradar- och resistivitetsmätningar - undersökningar utav korrosionsförhöjande markegenskaper kring fjärrvärmeledningar i Ängelholm. (15 hp)
486. Jennerheim, Jessica, 2016: Evaluation of methods to characterise the geochemistry of limestone and its fracturing in connection to heating. (45 hp)
487. Olsson, Pontus, 2016: Ekologiskt vatten från Lilla Klåveröd: en riskinventering för skydd av grundvatten. (15 hp)
488. Henriksson, Oskar, 2016: The Dynamics of Beryllium 10 transport and deposition in lake sediments. (15 hp)
489. Brådenmark, Niklas, 2016: Lower to Middle Ordovician carbonate sedimentology and stratigraphy of the Pakri peninsula,

- north-western Estonia. (45 hp)
490. Karlsson, Michelle, 2016: Utvärdering av metoderna DCIP och CSIA för identifiering av nedbrytningszoner för klorerade lösningsmedel: En studie av Färgaren 3 i Kristianstad. (45 hp)
491. Elali, Mohammed, 2016: Flygsanddyners inre uppbyggnad – georadarundersökning. (15 hp)
492. Preis-Bergdahl, Daniel, 2016: Evaluation of DC Resistivity and Time-Domain IP Tomography for Bedrock Characterisation at Önnelöv, Southern Sweden. (45 hp)
493. Kristensson, Johan, 2016: Formation evaluation of the Jurassic Stø and Nordmela formations in exploration well 7220/8-1, Barents Sea, Norway. (45 hp)
494. Larsson, Måns, 2016: TEM investigation on Challapampa aquifer, Oruro Bolivia. (45 hp)
495. Nylén, Fredrik, 2017: Utvärdering av borrhålskartering avseende kalksten för industriella ändamål, File Hajdarbrottet, Slite, Gotland. (45 hp)
496. Mårdh, Joakim, 2017: A geophysical survey (TEM; ERT) of the Punata alluvial fan, Bolivia. (45 hp)
497. Skoglund, Wiktor, 2017: Provenansstudie av detritala zirkoner från ett guldförande alluvium vid Ravlunda skjutfält, Skåne. (15 hp)
498. Bergcrantz, Jacob, 2017: Ett fönster till Kattegatts förflutna genom analys av botenlevande foraminiferer. (15 hp)
499. O'Hare, Paschal, 2017: Multiradionuclide evidence for an extreme solar proton event around 2610 BP. (45 hp)
500. Goodship, Alastair, 2017: Dynamics of a retreating ice sheet: A LiDAR study in Värmland, SW Sweden. (45 hp)
501. Lindvall, Alma, 2017: Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden? (15 hp)
502. Sköld, Carl, 2017: Analys av stabila isotoper med beräkning av blandningsförhållande i ett grundvattenmagasin i Älvkarleby-Skutskär. (15 hp)
503. Sällström, Oskar, 2017: Tolkning av geofysiska mätningar i hammarborrhål på södra Gotland. (15 hp)
504. Ahrenstedt, Viktor, 2017: Depositional history of the Neoproterozoic Visingsö Group, south-central Sweden. (15 hp)
505. Schou, Dagmar Juul, 2017: Geometry and faulting history of the Long Spur fault zone, Castle Hill Basin, New Zealand. (15 hp)
506. Andersson, Setina, 2017: Skalbärande marina organismer och petrografi av tidigcampanska sediment i Kristianstadsbassängen – implikationer på paleomiljö. (15 hp)
507. Kempengren, Henrik, 2017: Förorenings-spridning från kustnära deponi: Applicering av Landsim 2.5 för modellering av lakvattentransport till Östersjön. (15 hp)
508. Ekborg, Charlotte, 2017: En studie på samband mellan jordmekaniska egenskaper och hydrodynamiska processer när erosion påverkar släntstabiliteten vid ökad nederbörd. (15 hp)
509. Silvé, Björn, 2017: LiDARstudie av glaciala landformer sydväst om Söderåsen, Skåne, Sverige. (15 hp)
510. Rönning, Lydia, 2017: Ceratopsida dinosauriers migrationsmönster under krittiden baserat på paleobiogeografi och fylogeni. (15 hp)
511. Engleson, Kristina, 2017: Miljökonsekvensbeskrivning Revinge brunnsfält. (15 hp)
512. Ingered, Mimmi, 2017: U-Pb datering av zirkon från migmatitisk gnejs i Delsjöområdet, Idefjordenterrängen. (15 hp)
513. Kervall, Hanna, 2017: EGS - framtidens geotermiska system. (15 hp)
514. Walheim, Karin, 2017: Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund