

Ressurskartlegging i Nord-Salten og Ofoten

Geokjemisk undersøkelse av sjeldne jordartsmetallforekomster i løsmasser

Ingvild Marthinussen

Lektorutdanning med master i realfag

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Trond Peder Flaten, IKJ

Medveileder: Rolf Tore Ottesen, Norges Geologiske Undersøkelse (NGU)

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en del av masterprogrammet Lektorutdanning i realfag, fordypning i kjemi. Arbeidet med denne masteroppgaven ble utført ved Institutt for kjemi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse (NGU), i tidsperioden januar 2013 til juni 2013.

Først vil jeg gjerne takke min hovedveileder Trond Peder Flaten for gode råd, konstruktive tilbakemeldinger og for at du alltid stiller opp med åpen dør, og tar deg tid til å lytte til frustrasjoner og svare på spørsmål. Tusen takk til min biveileder Rolf Tore Ottesen som har vært min inspirasjonskilde for å skrive oppgaven innen dette spennende fagfeltet. På grunn av ditt smittende humør, dine faglige innspill og ditt engasjement har jeg ikke angret et sekund på at jeg valgte å fordype meg innen geokjemi.

En stor takk rettes til Tor Erik Finne for alle nyttige innspill du har gitt til oppgaven min, og for all hjelp og god faglig veiledning du har gitt underveis i skriveprosessen. Uten deg tror jeg ikke oppgaven hadde kommet i mål. Takk! Jeg vil også takke Ola Anfin Eggen for hjelp med kartlagingsprogrammet arcGIS og det statistiske dataverktøyet "R". Du tok deg tid til å hjelpe meg med en gang en endring ble gjort i oppgaven, din uendelige tålmodighet er beundringsverdig. Takk til Bjørn Willemoes-Wissing for opplæring, og all annen hjelp som omhandlet arbeidet med skanning elektronmikroskopet (SEM). Alle dine faglige innspill og tips rundt SEM kom godt med i oppgaven min.

Takk til Kjell Fredriksen som var så snill og lot meg få bruke et av hans fotografier som er tatt i Nord-Salten som forsidefoto.

Tusen takk til mine medstudenter, Ailin Falkmo Hansen og Silje Sæther Karlsen for korrekturlesing av oppgaven min, spesielt Ailin Falkmo Hansen som fikk det ærefulle oppdraget mer enn en gang.

Stor takk til alle de nye vennene jeg har fått i løpet av studietiden, hyggelige kaffepauser og godt samhold, studietiden min ville ikke blitt den samme uten dere.

Til slutt vil jeg takke familien min for at dere alltid har troen på meg og har støttet meg gjennom hele studietiden. Takk for at dere har alltid vært der for meg, i medgang som i motgang.

Ingvild Marthinussen
Trondheim, 7. juni 2013

Sammendrag

Sjeldne jordartsmetaller og niob har en rekke viktige bruksområder og for tiden pågår det omfattende leting etter nye forekomster av disse. Målet for denne oppgaven er å tolke og diskutere resultatene fra den geokjemiske kartleggingen av niob- og de sjeldne jordartsmetallforekomstene i løsmasser i Nord-Salten og Ofoten. Hensikten med dette er å gi en vurdering av om det finnes drivverdige forekomster i dette området og om det bør gjøres videre undersøkelser av området.

Prøver av løsmasser fra 877 lokaliteter i et 2x2 km rutenett ble innsamlet, tørket, siktet til mindre enn 2 mm og ekstrahert i kongevann før analysering ved bruk av ICP-AES, ICP-MS og SEM.

Sju områder utpekte seg med høye konsentrasjoner i prøvetakingsområdet. Disse var følgende; Kjeldebotn/Vargfjellet i Ofoten, området rundt Straumen, Buvåg i ytre Hamarøy, Sommarset, Storeide, Kobbskarmoen ikke langt unna Kobbelva og ved fjellet Gasskatjåhkkå, alle i Nord-Salten. Ved bruk av SEM var det ikke mulig å finne ut hvilke mineraler REE hovedsakelig befinner seg i.

Ut fra konsentrasjonene funnet i både niob og sjeldne jordartsmetaller, er det ingen grunn til å gå videre med ytterligere undersøkelser her.

Abstract

There are currently an extensive search for new deposits of rare earth elements and niobium because of all the important uses they have. The aim of this masters thesis is to interpret and discuss the results of the geochemical survey of rare earth elements in surficial deposits in Nord-Salten and Ofoten. The purpose of this is to provide an evaluation of whether there are commercial deposits in this area and whether further surveys should be done here.

Samples of surficial deposits from 877 sites with a distance of 2x2 km were collected, dried, sieved to less than 2 mm and extracted in aqua regia before analysed by ICP-AES, ICP-MS and SEM.

Seven clusters of high rare earth elements concentrations were found in the sampling area. These were; Kjeldebotn/Vargfjellet in Ofoten, the area close to Straumen, Buvåg in Hamarøy, Sommarset, Storeide, Kobbskarmoen not far from Kobbelva and close to the mountain Gasskatjåhkkå, all in Nord-Salten. It was not possible through SEM analysis to determine which minerals the rare earth elements most often occurs with.

There is no reason to proceed with further geochemical surveys in this area based on the findings of the concentrations of niobium and the rare earth metals.

Forkortelser og definisjoner

BSE	tilbakespredte elektroner
Cut-off	nivået av mineralet i en malm under der det ikke er økonomisk lønnsomt å utvinne det
ICP-AES	induktivt koblet plasma atomemisjonsspektrometer
ISP-MS	induktivt koblet plasma massespektrometer
MINN	Mineralressurser i Nord-Norge
Placer	sedimentære avsetninger i store elver eller på strender
QC	kvalitetskontroll
REE	sjeldne jordartsmetaller
REO	sjeldne jordartsoksider
SE	sekundær-elektron
SEM	skanning elektronmikroskop
Splitt	prosess som skal gi en representativ todeling av et materiale

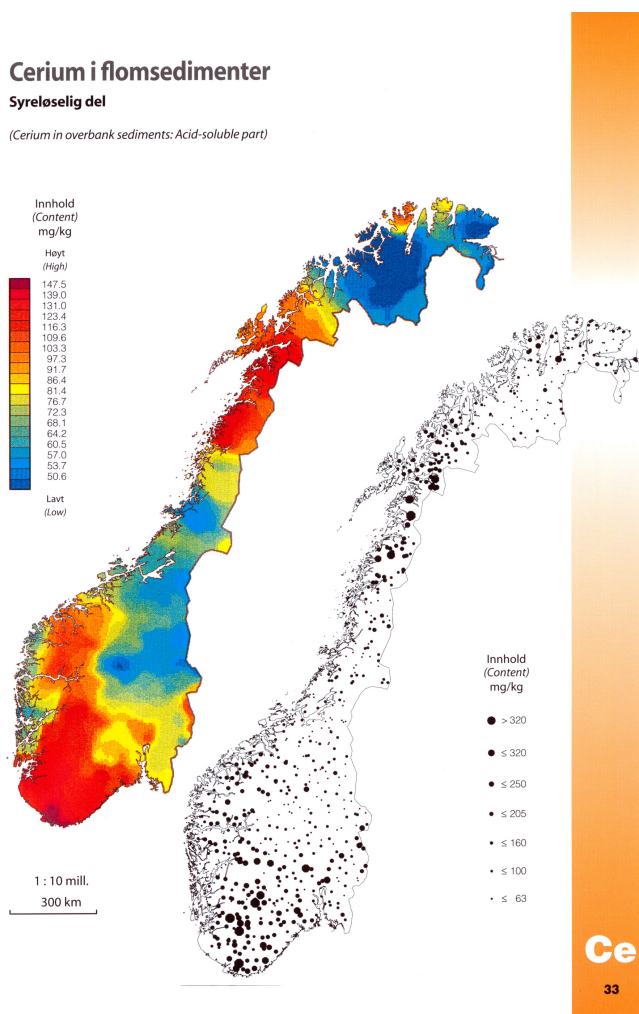
Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	III
Abstract.....	V
Forkortelser og definisjoner.....	VII
1.0 Introduksjon.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål for oppgaven.....	2
2.0 Sjeldne jordartsmetaller.....	3
2.1 Generelt.....	3
2.1.1 Oppdagelsen av REE.....	4
2.2 Forhistorie for dagens REE-situasjon.....	5
2.3 Mineralogi.....	6
2.3.1 Forekomsttyper og ressurser.....	7
2.3.2 Fensfeltet.....	14
2.4 Bruksområder.....	16
2.5 De tre mest utbredte REE - cerium, neodym og lantan.....	16
2.6 Avsluttende kommentarer.....	17
3.0 Materialer og metoder.....	19
3.1 Planleggingsarbeid og feltarbeid.....	19
3.2 Bilder fra prøvetakingsområdet.....	20
3.3 Prøvepreparering.....	23
3.4 Grunnstoff analyser.....	24
3.5 Skanning elektronmikroskop.....	24
3.5.1 Topografisk kontrast i BSE-bilder.....	25
3.6 Statistisk analyse.....	26
4.0 Resultater.....	29
4.1 Konsentrasjonskart, kumulative frekvensfordelinger og boksplokk.....	30
4.2 SEM-bilder.....	70
5.0 Diskusjon.....	81
5.1 SEM-bilder.....	81
5.2 Konsentrasjonskart, kumulativ frekvensfordeling og boksplokk.....	83
5.2.1 LREE.....	85
5.2.2 HREE.....	86
6.0 Konklusjon.....	89
7.0 Referanseliste.....	91

1.0 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Det har blitt et større fokus på sjeldne jordartsmetaller på verdensbasis de siste årene. Dette er blant annet grunnet at de sjeldne jordartsmetallene har fått flere kommersielle og militære bruksområder nå enn før. De finnes blant annet i mobiltelefoner, PC-skjermer og elbiler. Siden den vestlige verden har blitt mer og mer likt et høyteknologisk samfunn, øker etterspørselen av disse metallene med omtrent 8 % årlig. I dag foregår 95-100 % av markedets sjeldne jordartsmetallproduksjon i Kina og landet har derfor monopol på dem. I tillegg har Kina nå satt eksportavgift og kvotebegrensninger på eksport av sjeldne jordartsmetaller til andre land. Det har også vært snakk om å stoppe eksporten helt på grunn av landets egen industrielle etterspørsel. Derfor har resten av verden nå startet letingen etter sjeldne jordartsmetaller. Niob er et annet grunnstoff som har mange viktige bruksområder, blant annet blir det brukt i superlegeringer. Nå skjer produksjonen hovedsakelig i Brasil og Canada. Per 2013 kontrollerer et brasiliansk firma hele 85 % av verdens niobproduksjon. Derfor er det også her ønskelig for andre land å finne niobforekomster for å slippe og være avhengig av eksport fra Brasil.



Figur 1: Cerium i flomsedimenter løst i salpetersyre (Ottesen et al., 2000)

1.2 Mål for oppgaven

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har tidligere undersøkt konsentrasjonen av grunnstoffer i flomsedimenter i Norge, også sjeldne jordartsmetaller. Figur 1 viser resultatet av cerium, som er et av de sjeldne jordartsmetallene, som ble detektert i denne undersøkelsen. Her ser en at området Nord-Salten og Ofoten er rødt på dette kartet, noe som indikerer høy konsentrasjon av cerium. I tillegg er det også blitt gjort en prøvetaking tidligere av Nord-Norge, da med en prøvetakingstetthet på 1 prøve / 40 km². I senere tid har Trond Giske gitt fritt disponible penger til NGU. Da valgte NGU å gjøre ytterligere undersøkelser i Nord-Norge med en mindre prøvetetthet (2x2) og dermed få ny informasjon relativt til tidligere undersøkelser. Nord-Salten og Ofoten virket da som et naturlig startpunkt.

Målet for denne oppgaven er å tolke og diskutere resultatene fra den geokjemiske kartleggingen av niob- og de sjeldne jordartsmetallforekomstene i løsmasser i Nord-Salten og Ofoten. Hensikten med dette er å gi en vurdering av om det finnes drivverdige forekomster i dette området og om det bør gjøres videre undersøkelser av området.

2.0 Sjeldne jordartsmetaller

Dette kapitlet starter med en generell introduksjon av de sjeldne jordartsmetallene (REE), inkludert forekomst av de ulike REE i jordskorpen. Videre blir oppdagelsen av REE og forhistorien for dagens REE-situasjon tatt opp. Deretter presenteres et delkapittel om hvilke mineraler og forekomsttyper som inneholder økonomisk drivverdige forekomster av REE og et eksempel der det er kartlagt REE-forekomster i Norge. Dette gjøres for å kunne sette resultatene i denne masteroppgaven i perspektiv. Til slutt presenteres de tre REE med størst forekomst omtalt, deres bruksområder og noen avsluttende kommentarer om dagens REE-situasjon.

2.1 Generelt

REE er en gruppe av 17 kjemisk og fysisk like metalliske grunnstoffer som består av de 15 lantanoidene, scandium og yttrium (British Geological Survey, 2010). Disse metallene er ikke så sjeldne som navnet tilsier, og enkelte av dem, blant annet cerium, er mer utbredt i jordskorpa enn for eksempel bly og kobber (Long et al., 2012). Det er derimot oppkonsentreringen av REE fra malmen og de store mengdene (farlig) avfall som genereres ved separasjon, samt de tekniske vanskelighetene ved utvinning som gjør dem "sjeldne" (Southeast Alaska Conservation Council, 2011). REE blir ofte inndelt i to kategorier; de lette sjeldne jordartsmetallene (LREE) og de tunge sjeldne jordartsmetallene (HREE). Av disse er LREE de mest dominerende. LREE har atomnumre 57-63 og består av cerium, neodym, praseodym, lantan, prometium, europium og samarium, samt scandium med atomnummer 21. HREE har atomnumre 64-71 og består av gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium og lutetium, i tillegg til yttrium med atomnummer 39 (Hurst, 2010). På grunn av at REE har svært like oksidasjonstilstander og ioneradius, kan de substituere for hverandre i ulike krystallstrukturer, noe som gjør at det i et enkelt mineral kan være flere ulike REE samtidig (British Geological Survey, 2010). De mest vanlige mineralene som er rike på REE, er monazitt og bastnäsitt. Begge mineralene inneholder mer LREE enn HREE, men monazitt inneholder to til tre ganger mer HREE enn det bastnäsitt gjør (Hurst, 2010).

I tabell 1 presenteres gjennomsnittlig naturlig REE-forekomst i jordskorpa. Mer om naturlig REE-forekomst i delkapittel 2.3. Prometium fins kun i svært små mengder i jordskorpa da grunnstoffet ikke har noen stabile eller isotoper med lang levetid og i tillegg er det radioaktivt (Emsley, 2011, Castor og Hedrick, 2006). Dette grunnstoffet blir derfor ikke tatt med i analysene.

Tabell 1: Gjennomsnittlig naturlig REE-forekomst i jordskorpa (Reimann og Caritat, 1998).

Grunnstoff	Kjemisk tegn	Atomnummer	Naturlig forekomst (mg/kg)
Scandium	Sc	21	11
Yttrium	Y	39	22
Lantan	La	57	30
Cerium	Ce	58	64
Praseodym	Pr	59	7,1
Neodym	Nd	60	26
Prometium	Pm	61	≈ 0
Samarium	Sm	62	4,5
Europium	Eu	63	0,88
Gadolinium	Gd	64	3,8
Terbium	Tb	65	0,64
Dysprosium	Dy	66	3,5
Holmium	Ho	67	0,8
Erbium	Er	68	2,3
Thulium	Tm	69	0,33
Ytterbium	Yb	70	2,2
Lutetium	Lu	71	0,32
Thorium	Th	90	10,7
Uran	U	92	2,8

2.1.1 Oppdagelsen av REE

I 1787 fant løytnant Karl Axel Arrhenius en merkelig svart stein nær Ytterby i Sverige. Arrhenius sendte steinen til den finske kjemikeren Johan Gadolin som jobbet ved universitetet i Åbo. Gadolin fant ut at steinen inneholdt en ny ”jordart”. Alle oksidene som ikke kunne bli redusert av kull til metall, som var en vanlig metode på den tiden, ble navngitt jordarter. Mineralet ble oppkalt etter plassen der det ble funnet og fikk navnet yttria (i dag yttrium). Det var først i år 1828 metallet ble fullstendig isolert av den tyske kjemikeren Friedrich Wöhler. Wöhler varmet kalium og yttriumklorid og fikk da dannet metallisk yttrium og kaliumklorid. Silikat-mineralet som yttrium ble utvunnet fra, fikk navnet gadolinit og det viste seg senere at det inneholdt flere grunnstoffer. Carl Gustav Mosander studerte yttriumoksidet detaljert 15 år senere og fant at i tillegg til det hvite yttriumoksidet inneholdt prøven rødfarget erbiumoksid og gult terbiumoksid. De nye grunnstoffene fikk navnene terbium og erbium, som også er navn fra Ytterby (Stølen, 2013).

2.2 Forhistorie for dagens REE-situasjon

Fra 1960-tallet da den amerikanske gruva i Mountain Pass i California ble åpnet, frem til begynnelsen av 1990-tallet var gruva dominerende på markedet innen REE-produksjon. Økende miljø- og sikkerhetsreguleringer, samt stigende produksjonskostnader begrenset driften (Trigaux, 2012). Da Kina startet produksjon i Indre Mongolia-regionen kunne de selge REE på markedet svært billig på grunn av få miljøreguleringer, billig arbeidskraft og god valutakurs, i motsetning til USA som blant annet hadde større vekt på helse, miljø og sikkerhet (HMS). En konsekvens av Kinas lave REE-priser var at konkurrerende gruvedrifter, som Mountain Pass, ikke kunne holde tritt med Kina og gikk dermed konkurs (Southeast Alaska Conservation Council, 2011, Trigaux, 2012). Nedleggelsen av Mountain Pass-gruva ble ikke bemerkelsesverdige nyheter USA, mens kineserne jublet derimot. Kinas statsminister, Deng Xiaoping, så på dette som en mulighet for å få dominans på markedet når det gjaldt REE og en mulighet for økonomisk vekst i landet. Andre gruvedrifter ble utkonkurrert av lave REE-priser og Kina fikk dermed monopol på markedet. De økte så prisene på mineralene og slik ble Kinas økonomiske situasjon betraktelig forbedret. Xiaoping mente at REE var et av virkemidlene for Kina å komme seg opp og frem, fra å gå fra et land med hungersnød og fattigdom, til å bli et høyteknologisk samfunn (Trigaux, 2012).

Xiaoping fikk det som han ville. Kina har i dag monopol på REE-produksjon i verden og hele 95-100 % av all REE-produksjon foregår her. Kina har nå satt både eksportavgift og kvotebegrensning på eksport av REE til andre land. I tillegg har det nå blitt tatt opp i en offisiell plan for de kommende årene i Kina (2009-2015) at på grunn av landets egen industrielle etterspørsel, vil Kina nesten bli tvunget til å avslutte eksporten til andre land helt (Hsu, 2010, Trigaux, 2012). På grunn av begrenset eksport fra Kina står resten av verdens utvikling innen grønn teknologi og fornybar energi i fare, da REE benyttes i disse. Istedenfor å investere i alternativer som vil løse REE-forsyningsproblemet som for eksempel resirkuleringsteknologier for REE som allerede er utvunnet og tilgjengelig på jorda er alternativet gruvedrift foreløpig løsning. Kina har ikke monopol når det gjelder REE-forekomster, kun 37% finnes her. Det er derfor startet spekulasjoner om innenlandske REE-kilder i USA. De best egnede stedene er Prince of Wales, øya som ikke ligger langt unna tidligere nevnte Mountain Pass. Bokan Mountain i Alaska har i tillegg også skilt seg ut. Nødvendigheten for å starte opp gruvedrift andre plasser i verden er stor, for å forsikre at Kina ikke har monopol og full kontroll over resten av verdens REE-forbruk (Southeast Alaska Conservation Council, 2011, Trigaux, 2012).

2.3 Mineralogi

Det fins mange mineraler som inneholder signifikante mengder REE, men omtrent all REE-produksjon kommer fra mindre enn 10 mineraler, se Tabell 2. Tabell 2 lister opp de mineralene som har potensial for produksjon i fremtiden og de som har gitt REE-utbytte kommersielt. En potensiell økonomisk REE-ressursutvinning er svært avhengig av mineralogien til REE. Før i tiden ble produksjonene begrenset til de REE-ressursene som var relativt enkle å oppkonsentrere. De mineralene som er lett nedbrytbare er de som er mest ønskelig, for eksempel karbonatbastnäsitt, fremfor for eksempel silikatallanitt som er svært vanskelig å separere. En tidligere viktig REE-ressurs som nå er blitt avvirket på grunn av dens høye thoriuminnhold er placermonazitt. I senere tid har adsorberte REE-mineraler på leirpartikler blitt en viktig kilde i Kina, som nevnt blir over 95% av verdensforbruket av REE produsert der i dag (Castor og Hedrick, 2006, Trigaux, 2012).

Tabell 2: Mineraler som inneholder REE og som kan utgjøre økonomiske eller potensielt økonomiske forekomster (Castor og Hedrick, 2006).

Mineral	Formel	*REO wt%
Aeschynitt	$(Ln,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$	36
Allanitt	$(Ca,Ln)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$	30
Anatas	TiO_2	3
Ankylitt	$SrLn(CO_3)_2(OH) \cdot H_2O$	46
Apatitt	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	19
Bastnäsitt	$LnCO_3F$	76
Branneritt	$(U,Ca,Ln)(Ti,Fe)_2O_6$	6
Britholitt	$(Ln,Ca)_5(SiO_4,PO_4)_3(OH,F)$	62
Cerianitt	$(Ce,Th)O_2$	81
Cheralitt	$(Ln,Ca,Th)(P,Si)O_4$	5
Churchitt	$YPO_4 \cdot H_2O$	44
Eudialytt	$Na_{15}Ca_6(Fe,Mn)_3Zr_3(Si,Nb)Si_{25}O_{73}(OH,Cl,H_2O)_5$	10
Euxenitt	$(Ln,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$	< 40
Fergusonitt	$Ln,(Nb,Ti)O_4$	47
Florençitt	$LnAl_3(PO_4)_2(OH)_6$	32
Gadolinit	$LnFeBe_2Si_2O_{10}$	52
Huanghoitt	$BaLn(CO_3)_2F$	38
Hydroksylbastnäsitt	$LnCO_3(OH,F)$	75
Kainositt	$Ca_2(Y,Ln)_2Si_4O_{12}CO_3 \cdot H_2O$	38
Loparitt	$(Ln,Na,Ca)(Ti,Nb)O_3$	36
Monazitt	$(Ln,Th)PO_4$	71
Mosandritt	$(Ca,Na,Ln)_{12}(Ti,Zr)_2Si_7O_{31}H_6F_4$	< 65
Parisitt	$Ca,Ln_2(CO_3)_3F_2$	64
Samarskitt	$(Ln,U,Fe)_3(Nb,Ta,Ti)_5O_{16}$	12
Synchysitt	$CaLn(CO_3)_2F$	51
Thalenitt	$Y_3Si_3O_{10}(OH)$	63
Xenotim	YPO_4	61
Yttrototalitt	$(Y,U,Fe)(Ta,Nb)O_4$	< 24

2.3.1 Forekomsttyper og ressurser

De mest utbredte forekomstklassene

I REE-mineralforekomster finnes et bredt spekter av metamorfe, sedimentære og magmatiske bergarter. Bergdanning og hydrotermale prosesser påvirker konsentrasjonen og fordelingen av REE i mineraler. Andre faktorer som påvirker er separasjon som gir utfellinger og mineralfaser, og deretter omrokking av konsentrasjonen gjennom overflateprosesser som for eksempel forvitring. REE-forekomster kan grovt inndeles i to kategorier: primære forekomster som er assosiert med hydrotermale og vulkanske prosesser og sekundære forekomster oppkonsentrert fra forvitring og sedimentære prosesser. Innad i disse gruppene kan REE-forekomstene igjen deles i flere undergrupper avhengig av deres mineralogi, forekomst og genetiske assosiasjon (British Geological Survey, 2010). På grunn av uklare genetiske assosiasjoner og/eller medvirkning fra flere geologiske prosesser er klassifisering av enkelte forekomster noe komplisert. Et eksempel på dette er forekomster som er assosiert med karbonatitter, disse kan inndeles i de som stammer fra krystalliseringer og magmatiske prosesser, mens andre stammer fra overflate- og residuforvittringsforekomster og åre/utbyttingstyper eller en kombinasjon av disse. De største REE-forekomstene er opplistet i Tabell 4 og Tabell 5. De kommersielt viktigste REE-forekomstene assosieres med magmatiske prosesser og er relatert til og funnet i karbonatitt og alkaline magmatiske bergarter (British Geological Survey, 2010).

Tabell 3: Viktige egenskaper og eksempler over de viktigste primære REE-forekomststypene. Spesifikke forekomster kan falle inn i mer enn en mineralforekomsttype (British Geological Survey, 2010).

Forekomststype	Kort beskrivelse	*Antall dokumenterte	Typisk grad og tonnasje	Viktige eksempler
Karbonatitt-assosiert	Forekomster assosiert med karbonittrike magmatiske steiner assosiert med alkaline magmatiske provinser og soner av store forkastninger	107	Noen 10 tusen tonn til flere hundre millioner tonn, 0,1 - 10% REO f.eks. Bayan Obo: 750 millioner tonn med 4,1% REO	Mountain Pass, USA; Bayan Obo, Kina; Okorusu, Namibia; Amba Dongar, India; Barra do Itapirapuã, Brasil; Iron Hill, USA
Assosiert med alkaline magmatiske bergarter	Forekomster assosiert med magmatiske bergarter karakterisert ved rikelighet av alkalimineraler og anrikelse i HFSE	122	Typisk <100 millioner tonn (Lovozero >1000 millioner tonn), grad varierer, typisk 5% REO f.eks. Thor Lake: 64,2 millioner tonn med 1,96% REO	Ilimaussa, Grønland; Khibina and Lovozero, Russland; Thor Lake and Strange Lake, Canada; Weishan, Kina; Brockman, Australia; Pajarito Mountain, USA
Jern-REE-forekomster (jernoksid-kobber-gull forekomster)	Kobber-gull forekomster rik på jernoksid og mangfoldig i karakter og form	4	f.eks. den olympiske demningen: 2000 millioner tonn med 0,3295% REO	Den olympiske demningen, Australia; Pea Ridge, USA
Hydrotermale forekomster (urelatert til alkaline magmatiske bergarter)	Typisk kvarts, fluoritt, polymetalliske årer og pegmatitter og mangfoldig opprinnelse	63(a)	Typisk <1 million tonn, sjeldent opptil 50 millioner tonn, graden varierer, typisk 0,5-4,0%, sjeldent opp til 12% REO f.eks. Lemhi Pass: 39 millioner tonn med 0,51% REO	Karonge, Burundi; Naboomspruit and Steenkampskraal, Sør Afrika; Lemhi Pass and Snowbird and Bear Lodge, USA; Hoidas Lake, Canada

(a) Inkluderer typisk vulkanske, metamorfe, andre fluoritt og blyforekomster (Orris og Grauch, 2002)

Tabell 4: Viktige egenskaper og eksempler over de viktigste sekundære REE-forekomsttypene. Spesifikke forekomster kan falle inn i mer enn en mineralforekomsttype (British Geological Survey, 2010).

Forekomststype	Kort beskrivelse	* Antall dokumentert	Typisk grad og tonnasje	Viktige eksempler
Marine placere	Akkumuleringer fra resistente, tunge mineraler, konsentrert ved kystprosesser og funnet langs eller nært eksisterende kystlinjer	264(b)	Svært varierende tonnasje, vanligvis i størrelsesorden ti til 1-3 hundre millioner tonn, generelt <0,1% monazitt f.eks. Jangardup 30 millioner tonn med 0,046% monazitt	Eneabba, Jamgardup, Capel, WIM 150, Australia; Green Cove Springs, USA; Richards Bay, Sør Afrika; Chavara, India
Alluviale placere	Konsentrasjoner av resistente, tunge mineraler i elvekanaler	78(b)	10 til <200 millioner tonn, typisk <0,1% monazitt f.eks. Horse Creek: 19 millioner tonn med 0,041% monazitt	Perak, Malaysia; Chavara, India; Carolina monazite belt and Horse Creek, USA; Guangdong, Kina
Paleoplacere	Fortidsplacere forekomster typisk dannet i forente og sammenklemte bergarter	13(b)	10 millioner tonn opp til 100 millioner tonn, typisk <0,1% REO	Elliot Lake, Canada; Bald Mountain, USA
Lateritt forekomst	Resterende overflateforekomster sannet fra intens kjemisk forvitring av REE-anrike magmatiske bergarter	42(c)	Noen få titusen tonn til flere hundre millioner tonn, 0,1-10% REO f.eks. Mt Weld: 12,24 millioner tonn med 9,7% REO (opp til 40% REO)	Mount Weld, Australia; Araxá, Brasil; Kangankunde, Malawi
Ion-adsorpsjonsleire	Resterende leireforekomster dannet fra forvitringen av REE-anrike granitter	>100	Mest <10000 tonn, lav grad (0,03-0,35% REO)	Longnan, Xunwu, Kina

(b) Fjorten placere av "usikker opprinnelse" er ekskludert

(c) Klassifisert som "karbonatitter med residu-økning" av Orris og Grauch (2002)

2.3.1.1 Primære forekomster

Fortrinnsvis er REE beriket i delvis væske eller fra smelte øverst i mantelen og smelte fra jordskorpens opprinnelse, dette på grunn av deres store ioneradius. Innad det hydrotermale og magmatiske miljøet kan REE-mineralene assosieres med fluoritt- og kvartsbærende årer og brekkasjer, pegmatitter og skarn. En REE-forekomst sterkt påvirket av de geologiske prosessene hvor de ble dannet og deres mineralogi. Forekomstene minner noe om alkaline magmatiske bergarter og kan videre deles i to, en med peralkaline magmatiske bergarter og den andre med relaterte magmatiske bergarter og karbonatitter (British Geological Survey, 2010).

Karbonatittassosierte forekomster

Karbonatitt er av magmatisk bergart og inneholder mer enn 50 % karbonatittmineraler. Bergtypen er antatt å stamme fra silikafattig og karbondioksidrik magma fra den øvre mantelen. Magmatiske provinser og forekomster i stabile kratonregioner blir karbonatittene ofte assosiert med, vanligvis i sammenheng med områder som har store forkastninger, særlig i store riftstrukturer. De største konsentrasjonene, av de mer enn 500 karbonatittforekomstene som er dokumentert på verdensbasis, befinner seg i Øst-Afrikas riftsoner, den nordlige delen av Skandinavia, den østlige delen av Canada, på Kola-halvøya i Russland og sør i Brasil (Woolley og Kjarsgaars, 2008), som sitert i British Geological Survey (2010).

Karbonatittene kan ha flere former og kan dermed trenge seg inn i både isolerte demninger og terskler, alkaliske komplekser, irregulære masser eller små pluggar, disse må ikke assosieres med andre alkaline bergarter. En vanlig form for disse er pipelignende, og den kan bli opp mot 3-4 km i diameter. Normalt er karbonatittene omgitt av en sone metasomatisk endret berg beriket på kalium og/eller natrium. Som et resultat av reaksjoner mellom natrium-kaliumrike væsker som er produsert fra karbonatittinntrengningen blir disse desilisifiserte sonene, mer kjent som fenitt, utviklet. Karakteristisk er karbonatittene i tillegg til karbondioksid, magnesium, kalsium og jern, beriket av en rekke grunnstoffer blant annet barium, fluor, strontium, niob, uran, REE, fosfor og thorium (British Geological Survey, 2010).

Det er nesten bare LREE i karbonatittene og forekommer som oftest i mineraler som allanitt, monazitt, bastnäsitt og apatitt. Siden REE-mineralene utfolder seg på et sent stadium i karbonatittets plassering er det ofte vanskelig å bestemme om mineralene er utfelt fra hydrotermale væsker eller direkte fra karbonatittmagmaen. Ofte er sjeldne, økonomiske REE-bærende mineraler konsentrert av krystalliseringsprosesser alene. Det meste av REE inngår i apatitt og kalsitt ettersom karbonatittmengden krystalliserer. Kalsitten kan delvis utbyttes av andre mineraler ved senere avkjøling og REE blir frigitt. Da kan REE ved et senere stadie innlemmes i andre REE-mineraler som bastnäsitt, monazitt og parisitt da disse krystalliserer fra væsker (British Geological Survey, 2010).

Et viktig eksempel på dette er forekomsten Mountain Pass som er dannet ved magmatiske prosesser. Denne forekomsten består av granitter, gneiser og migmatitter som en tubulær urtidssintrengning til metamorfe bergarter. Kaliumrike lavabergarter fra samme alder assosieres ofte karbonatittene med. I de områdene malmen typisk inneholder 65 % dolomitt eller kalsitt, 20-25 % barytt og 10-15 % bastnäsitt forekommer REE-mineralene. Selv om galenitt er vanlig lokalt er sulfidmineraler svært sjeldent. I det sene stadiet hvor mineraliseringsutbygging og årer innad i omkringliggende vertsbeararter eller i selve karbonatittene skjer, assosieres ofte med REE-forekomster. Som følge av etterfølgende prosesser som metamorfisme og/eller forvitring kan væsken i stor grad stamme fra karbonatitter eller inntrengning. Hydrotermal REE-mineralisering former seg gjerne etter hulromsfillinger eller fra brudd eller finkornspredninger og dermed overtrykker tidligere mineraler som har blitt dannet. Nedbrytning av primære mineraler og påfølgende endringer fra lavere temperaturvæsker kan friggi REE som har potensiale for senere å danne sekundære REE-mineraler.

Jern-REE-niob forekomster

Ved Bayan Obo i Indre Mongolia i Kina ligger jern-REE-niobforekomstene som regnes som verdens største REE-forekomst. På den nordlige kanten av Nord-Kina er disse forekomstene lokalisert ved et kraton, hvor et utvidelsesbrudd i miljøet skjedde i et midtproterozoisk område. De tre viktigste malmene Bayan Obo består av, ligger langs en øst-vest-retningssone og er mer enn 18 km lang. Midtproterozoiske metasedimentære bergarter fra Bayan Obo-gruppen inneholder lagbunnede forekomster stort sett i en dolomittmarmor. I distriktene er flere karbonatittdemninger gjenkjent og noen alkaligabbro og gabbro forekomster er funnet både sør og nord for malmområdet. Mer enn 170 mineraler har blitt identifisert, siden mange mineraliseringssteg er åpenbare. Primært forekommer REE som bastnäsitt eller monazitt, men det fins også mange andre REE-mineraler som parisitt, cerianitt og huanghoitt. Niobmineraler som inneholder REE er også vanlig, hvor columbitt er mest utbredt på verdensbasis. Magnetitt og hematitt blir ansett som de viktigste jernmineralene. Bayan Obo forekomsten er et tema i en uendelig debatt. Flere forslag har kommet opp, både hydrotermal jernoksid-kobber-gull-(REE-uran)mineralisering og karbonatittmagmatisme relatert til genetiske modeller. Karbonatmineraler ved Bayan Obo stammer fra sedimentære karbonatittbergarter metasomatisk av væske som mest sannsynlig stammer fra en karbonatittmagma, beriket på REE (British Geological Survey, 2010).

Forekomster assosiert med alkaline lavabergarter.

Dannelse av alkaline lavabergarter skjer i magma som er så beriket med alkalimetaller at de utfeller kalium- og natriumbærende mineraler (som alkalipyroksen, feltspat og amfiboler) som normalt ikke blir funnet i andre bergarter. Sammensetningen i disse bergartene er varierende, alt fra ultramafisk til felsisk. Dersom de har høyere molekylær andel av kjemisk bundet kalium eller natrium i stedet for aluminium blir bergartene klassifisert som peralkaline. Disse bergartene blir først og fremst

karakterisert ved berikelse av alkaline metaller for eksempel titan, zirkonium, niob, yttrium og REE. Peralkaline bergarter med REE-forekomster har typisk berikelse i HREE og yttrium, men er likevel av relativt lavgrad (British Geological Survey, 2010).

Forekomster urelatert til alkaline lavabergarter

REE-forekomster i en mangfoldiggruppe er ikke nødvendigvis relatert til alkaline lavabergarter. Jern-REE-forekomstene er den mest åpenbare gruppen av disse og blir gjerne også kalt jernoksid-kobber-gullforekomsten eller den olympiske demningsarten. I disse forekomstene har spesielt ikke REE-forekomstene en definert karakter, da de er fraværende i flere tilfeller. Flere ulike bergarter er verter for dem, det er alt fra vulkanske til inntrengende magmatiske- og i flere sedimentære bergarter. Jernmineralene (hematitt og magnetitt) danner en vesentlig komponent i mineraliseringen i disse forekomstene. Vanligvis er kobbersulfat tilstede og noen andre mineraler inkludert apatitt, kvarts, REE-mineraler (inkludert monazitt, allanitt, bastnäsitt, parisitt, ytterspat og apatitt), thoritt og uranitt. Typisk skjer forekomstene i form av spredning til årer, brekkasjesoner og massive mengder (British Geological Survey, 2010).

REE blir vanligvis introdusert i to stadier av mineraliseringen i slike forekomster. Forekomstdannelse som er det første stadiet der REE forekommer i apatitt i sammenheng med magnetitt mineralisering. På grunn av den generelt lave mengden apatitt som gjerne har et lavt innhold av REE, blir dette stadiet av mineraliseringen mindre betydningsfullt fra et økonomiske perspektiv. Det andre stadiet er derimot viktigere. I de olympiske demningsforekomstene skjer mineraliseringsstadiet i bastnäsitt i assosiasjon med kvartsserisitt, barytt, hematitt og bornitt. Florencitt, ytterspat og monazitt er andre REE-bærende mineraler. Den massive forekomsten av kobber-uran-sølv-gull i den olympiske demningen inneholder opp til 90% hematitt. Malmen har omkring 0,5% REO og går under gruppen lavgrad (British Geological Survey, 2010).

2.3.1.2 Sekundære forekomster

Placerforekomster

Disse forekomstene er konsentrasjoner av tunge, resistente mineraler som har blitt deponert og transportert med grus og sand nedover elver og/eller ulike prosesser langs kysten. Disse detritale mineralene stammer fra en rekke primære kilder, og stadig inkluderes mineraler rik på zirkonium, titan og REE. Betydelige mengder av REE-mineraler er tertiære eller kvartære i alder, dette er de viktigste i placerforekomsten. I noen få land finnes det noen forekomster som er like gamle som prekambrium, disse blir kalt paleoplacere. På verdensbasis har det blitt identifisert over 360 placerforekomster. Monazitt er det viktigste REE-bærende mineralet i placerforekomster, med mindre konsentrasjoner av fergusonitt, samarskitt, ytterspat, loparitt, allanitt, pyroklor, euxenitt og knopitt (British Geological Survey, 2010).

Placerforekomsten som er viktigst har marint opphav, og har blitt utviklet i nærheten eller langs nåværende strandlinjer. Forekomstene med disse mineralene har blitt oppkonsentrert av tidevann, bølgebevegelse og strøm. Stort sett er disse tunge mineralforekomstene utnyttet for deres zirkonium- og titaninnhold. En av de viktigste kildene for REE ligger i Australia, hvor det på 1980-tall ble brukt titan-zirkonstrand-placere for å produsere monazitt og ytterapat. Dette er historisk viktig, men dagens REE-produksjon stammer sjeldent fra slike monazitt-bærende placere, på grunn av dets høye nivå radioaktivitet og høye thoriuminnhold (British Geological Survey, 2010). Tabell 6 viser størrelsen og status for utvalgte REE-prosjekter.

Tabell 5: Størrelse og status for utvalgte REE-prosjekter. *Historisk data (British Geological Survey, 2010).

Forekomst	Selskap	REO-reserve (millioner tonn)	Malm- reserve (millioner tonn)	Grad (% REO)	Prosjektstatus
Mountain Pass, USA	Molycrop minerals	4,3	50	8-9 (5% cut- off)	Prosjektstudie, forventet produksjon for 2010- 2011
Mount Weld, Australia	Lynas Corporation Ltd.	1,18	12,24	9,7 (2,5% cut-off)	Konstruksjon. Gruvedriften begynte i 2007, forventet produksjon for 2011
Nolas Bore, Australia	Arafura Resources Ltd.	0,85	30,3	2,8 (1% cut-off)	Prosjektstudie, forventet produksjon for 2012
Dubbo Zirconia, Australia	Alkane Resources Ltd.		35,7	0,745% REO, 0,14% Y ₂ O ₃	Prosjektstudie, forventet produksjon sent i 2011
Kvanefjeld, Grønland	Greenland Minerals and Energy Ltd.	4,91	457	1,07	Før-gjennomførbarhet. Konstruksjon skal starte i 2013, produksjon innen 2015
Hoidas Lake, Canada	Great Western Minerals Group Ltd.	0,07	2,6	2,43 (1,5% cut-off)	Pre-gjennomførbarhet
Bull Hill Sørvest (Bear Lodge), USA	Rare Element Resources Ltd.		9,8	4,1 (1,5% cut-off)	Avansert utforskning
Kangankunde Hill, Malawi	Lynas Corporation Ltd.	0,12	2,53	4,24 (3,5% cut-off)	Avansert utforskning
Nechalacho (Thor Lake - Lake Zone), Canada	Avalon Rare Metals Inc.		64,2	1,96	Pre-gjennomførbarhet

Teori

Cummins Range, Australia	Navigator Resources Ltd.	0,07	4,17	1,72 (1% cut-off)	Avansert utforskning
Steenkampskraal, Sør Afrika	Rare Earth Extraction Co. Ltd. & Great Western Minerals Group Ltd.	0,03*	0,25*	17*	Stengt, på grunn av aktsomhet
Strange Lake, Canada	Quest Uranium		52*	1,3 REO, 0,66 Y ₂ O ₃ *	Avansert utforskning
Kutessay II, Kirgisistan	Stans Energy Corp.	0,06*		0,41*	Avansert utforskning
Eco Ridge, Canada	Pele Mountain Resources	hovedsakelig et uranprosjektet, men betydelige konsentrasjoner av REO er identifisert			Prosjektstudie
Archie Lake, Canada	Quantum Rare Earth Development Corp.	Tidlig utforskningsstadiet har nyere chip-prøvetaking ga en gjennomsnittsgard på 3,8% REE + Y.			
Deep Sands, USA	Great Western Minerals Group Ltd.	Tidlig utforskningsstadiet overflateprøvetaking ga en grad i område 0.14% til 0.8% REO			
Lofdal, Namibia	Etruscan Resources Inc.	Tidlig utforskningsstadiet overflateprøvetaking ga en gjennomsnittsgard på 0,7% REE + Y			
Yangibana, Australia	Artemis Resources	Tidlig utforskningsstadiet har bergchip-prøvetaking ga en gjennomsnittsgard på 2,84% REO			
Machinga, Malawi	Globe Metals and Mining	Tidlig utforskningsstadiet har bergchip-prøvetaking ga en maksimumsverdi på 2,64% REO			

2.3.2 Fensfeltet

Fensfeltet er en mineralforekomst i Nome kommune i Telemark. Feltet består av en rekke ulike, sjeldne og spesielle bergarter med flere økonomisk interessante grunnstoffer som scandium, niob, thorium og REE (Raanes et al., 2009). Bergartene her har en særegen karakter da de er karbonatrike og inneholder det som kalles karbonatitter. Geologien i Fensfeltet er svært kompleks og inneholder konsentrasjoner av uvanlige mineraler og grunnstoffer. Feltet inneholder høye konsentrasjoner av thorium i bergartene ankerittkarbonatitt og rødberg. De bergartene som inneholder thorium har som oftest enda høyere konsentrasjon av REE, og dette bør derfor tas i betraktning ved et eventuelt uttak av thorium (Dahlgren, 2012).

Det er blitt beregnet at det er opptil 40 kg REE per tonn malm i Fensfeltet. Dette betyr at hele 960 kg masse går til deponi. Malmen inneholder både thorium og uran som begge er radioaktive og de blir derfor regulert av FOR-2004-06-01-931 "forurensningsforskriften" og FOR-2004-06-01-930 "avfallsforskriften", og under

disse ”forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall”. Det blir derfor satt store krav til prosjektør for sikker håndtering av avgangsmaterialene ved utvinning av REE (Ottesen et al., 2012). Tabell 3, viser innholdet av REE, uran, thorium og niob i Fensfeltet.

Tabell 6: Innhold av REE, uran, thorium og niob i Fengruver (mg/kg) (Ottesen et al., 2012).

Grunnstoff	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 4
Cerium	5000	890	440	360
Dysprosium	63	12	14	12
Erbium	24	4	6	5
Europium	80	12	10	8
Gadolinium	510	71	36	35
Holmium	11	2	2,4	2,1
Lantan	2900	430	170	200
Lutetium	3	0,5	0,7	0,7
Neodym	3100	330	180	160
Niob	1100	17000	19000	750
Praseodym	660	90	45	40
Samarium	420	50	32	30
Terbium	100	12	9	8
Thulium	3	0,4	0,7	0,6
Ytterbium	30	5	6	5
Thorium	1500	890	730	70
Uran	11	510	100	6

Det ble produsert niobmalm fra Søve-gruvene i Fensfeltet i perioden 1953-1963 og det ble årlig fremstilt mellom 350 og 400 tonn av Norsk Hydro på Herøya, som den gangen utgjorde omtrent 15-20 % av verdensproduksjonen. Senere ble produksjonen eksportert videre til USA. Det antas enda å være ressurser av niob igjen i Fensfeltet, samt REE, uran og thorium, men foreløpig foreligger ingen dokumentasjon på gehalter, tonnasje og mineralogi av mineraliseringen mot dypet (Boyd, 2011). Siden Fensfeltet har såpass eksotiske bergarter og ganske kompleks geologi, bør en helhetlig mineralressursforvaltning av området gjøres. Det er blant annet ikke blitt boret for å kunne avgrense og definere eventuelle malmer. Det er heller ikke blitt gjort undersøkelser av mineralogien til de potensielle malmene som vil kunne bekrefte eller avkrefte og det er mulig å benytte slike forekomster (Raanes et al., 2009). Derimot foreligger det bedre dokumentasjon av Sæteråsen-forekomsten i Larvik kommune. ”*et grovt estimat av mulige malmreserver i Sæteråsen basert på analyser av fire diamantborhull gir en total tonnasje på ca. 8 mill. tonn med 0,245% Nb, 0,18% Ce, 0,11% La, 0,075% Y, 0,069% Nd og 0,049% Th. Mulighetene for å finne lignende forekomster innenfor Vestfoldts lavaplatå er gode*” (Boyd, 2011).

2.4 Bruksområder

REE har ulike bruksområder og de deles gjerne igjen i to hovedgrupper, kommersielle og militære bruksområder. Innen gruppen for kommersielle bruksområder er det flere grønne teknologier som sparepærer, vindturbiner, hybrid- og elbiler. Andre forbruksvarer hvor REE benyttes er for eksempel i mobiltelefoner, PC-skjermer og flatskjermer til TV, harddisker til MR-maskiner og katalysatorer i petroleumsforedling og i metallurgisk industri (Hurst, 2010, Levkowitz og Beauchamp-Mustafaga, 2010, Southeast Alaska Conservation Council, 2011). REE inngår blant de militære bruksområdene i både kontrollsystemer og missile veiledningssystemer. De fins i stråledeteksjonsutstyr og radarer, og avanserte kommunikasjonssystemer, nattsynsbriller, ekkoloddsensorer, smartbombe og innen kjernekraft (Levkowitz og Beauchamp-Mustafaga, 2010, Southeast Alaska Conservation Council, 2011).

2.5 De tre mest utbredte REE - cerium, neodym og lantan

Cerium er det vanligste REE da det kan bli funnet høyt i jordskorpa og er derfor lett tilgjengelig (Trigaux, 2012). Cerium finnes i mineraler som allanitt, ceritt, samarskitt, monazitt og bastnäsitt, hvor de to sistnevnte er de vanligste (Hurst, 2010). Behandlings- og foredlingsprosessen til cerium er relativt enkel i forhold til mange av de andre REE, noe som er en stor fordel. De overnevnte faktorene har resultert i lave priser på cerium på råvaremarkedet (Trigaux, 2012). Cerium har et bredt spekter av bruksområder og er benyttet i alt fra ulike typer katalysatorer til selvrensende ovner til ulike militære anvendelser (Hurst, 2010, Trigaux, 2012).

Neodym er det nest vanligste REE. Det mest kjente bruksområdet er i neodym-jernbor (NdFeB) permanentmagneter. Disse magnetene er så sterke at de egner seg godt i ulik militærteknologi, men de har også mange andre bruksområder blant annet i medisinsk utstyr og ABS-bremser for å nevne et par. Neodym er spesielt viktig innen grønn teknologi og det er antatt at etterspørselen etter neodym vil øke eksponentielt med overgangen til et mer miljøvennlig samfunn (Hurst, 2010, Trigaux, 2012).

Lantan er det tredje vanligste REE og derfor heller ingen mangelvare. Da lantan har svært mange bruksområder vil denne rikeligheten kunne endre seg ganske raskt. I dag står lantan for mellom tjue og førti prosent av hele REE bidraget (Trigaux, 2012). Metallet blir funnet i mineraler som bastnäsitt, monazitt og ceritt, og dets mest utbredte bruksområder er innen grønn teknologi og energiproduksjon, som for eksempel oppladbare batterier for hybridbiler (Hurst, 2010, Trigaux, 2012).

2.6 Avsluttende kommentarer

Produksjonen av REE-legeringer, oksider og permanentmagneter som har militære og kommersielle bruksområder ble også flyttet da utvinningen av REE ble overtatt av Kina. Det er blitt antatt at etterspørselen for REE vil stige med omtrent 8 % per år fremover. Dette kommer av at det fins mer avanserte teknologiske produkter nå enn før og flere bruksområder innen forbruksvarer. REE erstatter fossilt brennstoff i flere nye teknologier, disse gir økt effektivitet og energi (Levkowitz og Beauchamp-Mustafaga, 2010, Long et al., 2012).

En konsekvens av Kinas monopol på REE-produksjonen er at det fins en god del smuglevirksomhet innad i landet. En tredjedel av totalmengden REE som eksporteres ut av Kina skjer via smugling (British Geological Survey, 2010). Dette gjør at ressursene utarmes og prisene blir holdt nede. En annen konsekvens av den store REE-utvinningsvirksomheten som foregår i Kina er de enorme miljøskadene dette påfører landet. Flere millioner tonn kjemisk skadelig avrenning, avløpsvann og radioaktive biprodukter blir produsert og hvis ikke det blir behandlet forsvarlig, vil nærliggende jordbruksareal og vann kontamineres (Levkowitz og Beauchamp-Mustafaga, 2010). Radioaktiv thorium og REE blir ofte funnet sammen og er en av årsakene for problematikk ved utvinningsprosessen av REE, da dette blir et avfallsbiprodukt ved utvinningen. Flere av de industrielle tiltakene som kreves for å oppkonsentrere REE fra malmen danner både radioaktivt avfall og syre, og dette avfallet trenger både riktig behandlingsprosedyre og riktig oppbevaring før det eventuelt sendes vekk til egnet deponi, for den unike kjemiske sammensetningen (Southeast Alaska Conservation Council, 2011). I dag benyttes REE innen flere rene energibruksområder og de fleste land med unntak av USA har i en større grad begynt å investere i gjenvinning, gjenbruk og resirkulering av REE fremfor å investere i ny gruvedrift da dette er svært miljøskadelig. I tillegg er gruvedrift en kortsiktig og svært dårlig bærekraftig løsning, da ressursmangelen av REE som er blitt et aktuelt tema i dagens lys har lite med mengde tilgjengelig å gjøre men heller om hvordan den allerede tilgjengelige ressursen blir håndtert (Southeast Alaska Conservation Council, 2011).

3.0 Materialer og metoder

I dette delkapitlet blir først planleggingsarbeid og feltarbeid presentert. Videre blir bilder fra prøveområdet, prøvepreparering og analytiske metoder lagt fram. Til slutt presenteres statistisk analyse. Delkapitlet er hovedsakelig hentet og oversatt fra NGU-rapport 2013.015 - "Soil geochemical data from Nord-Salten, Nordland" (Finne og Eggen, 2013), med unntak av bilder fra prøveområdet, SEM og statistisk analyse.

3.1 Planleggingsarbeid og feltarbeid

Det var flere faktorer som bidro til valg av prøvetakingsområdet: Tidligere regionale studier (Reimann et al., 2011) pekte til "Tysfjordgranitten" som gunstig for en REE-oppfølgning. I tillegg har Miljødepartementet planlagt en stor nasjonalpark i dette området, og det er derfor ønskelig å ha geokjemiske kunnskaper om området. Feltarbeidet måtte bli utført på et tidspunkt uten snødekke. Det ekstremt ulendte terrenget gjorde det nødvendig å benytte helikoptertransport for store deler av prøvetakingen. Nær 900 planlagte prøvepunkter som dekker granitt, ispedd kaledonske sedimentære bergarter, samt de mest fjerntliggende sedimentene mot nordøst ble prioritert. Et rutenett for prøvepunktene på 2x2 km ble ansett som et mulig kompromiss mellom størrelsen på området av interesse og tilgjengelige ressurser til prosjektet, og en prøvetakingstetthet som ga ny informasjon relativt til dataene i 1prøve/40 km² - undersøkelsen (Reimann et al., 2011).

Prøvegropene i feltet ble gravd med en lakkfri stålspade ned til godt inn i mineraljordlaget. Breelvavsetning og områder med marine avsetninger ble bevisst unngått under prøvetaking. Prøvene ble samlet inn i og oppbevart i RILSAN® plastposer ved hjelp av en liten plantespade. Figur 2 viser en typisk prøvegrop, utstyret som ble brukt og en typisk prøve.

Prøvevekt på en prøve var i gjennomsnitt 1,2 kg. Kontaminering av prøvene ble minimert ved at feltmannskapet ikke hadde på seg noen metallholdige gjenstander (for eksempel smykker, ringer eller armbåndsurer) under prøvetakingen, og utstyret ble tørket godt av før neste prøve ble tatt. Om lag 40 % av prøvestedene var tilgjengelig til fots fra veien, de resterende 60 % ved hjelp av helikoptertransport. De fire involverte kommunene innvilget fritak fra de strenge reglene for bruk av motorisert ferdsel i utmark. Grunneierne som eide områder større enn 4 km², ble kontaktet og ga tillatelse til prøvetaking på eiendommene sine.



Figur 2: Viser en prøvegrop, utstyr som ble brukt og en prøve (Finne og Eggen, 2013) .

Totalt 877 lokaliteter ble prøvetatt. Prøvetakerne jobbet individuelt. I gjennomsnitt var en prøvetaker i stand til å samle inn maksimalt seks prøver per dag uten helikopterstøtte. Den daglige prøvetakingshastigheten ble tidoblet når helikopter ble benyttet, men samtidig ble kostnaden per prøve nesten fordoblet. Alt i alt, var den gjennomsnittlige daglige prøvetakingsfrekvens 10. Feltarbeidet ble gjennomført i perioden 31.07.2012 - 22.08.2012, med mannskap fra NGU som varierte mellom 2 og 7 personer. Kart med prøvepunkter er i resultatdel fra og med Figur 12.

På hvert 25. prøvetakingssted ble en feltduplikatprøve tatt, noe som resulterte i tilsammen 34 par feltduplikater.

3.2 Bilder fra prøvetakingsområdet

Noen bilder fra prøvetakingen er tatt med for å vise hvordan dette området ser ut (Figur 3-7). Det finnes både områder med mye vegetasjon og noen områder der det derimot er mye bart berg og fjell.



Figur 3: Utsikt over prøvetakingsområdet.



Figur 4: Utsikt over prøvetakingsområdet.



Figur 5: Utsikt over prøvetakingsområdet.



Figur 6: Utsikt over prøvetakingsområdet.



Figur 7: Utsikt over prøvetakingsområdet.

3.3 Prøvepreparering

Ved ankomst til NGUs laboratorier ble prøvene tørket i sin opprinnelige prøvetakingspose i tre uker ved temperaturer under 40 °C. Når prøvene akkurat hadde tørket ble de siktet til mindre enn 2 mm (9 mesh), der to mengder, hver på minst 90 g ble tatt ut. Overskuddsmateriale mindre enn 2 mm, samt det materialet større enn 2 mm ble tatt vare på for et eventuelt senere bruk. Av alle feltduplikater ble det lagd en ekstra splitt.

Nylonsikter ble brukt under prepareringsarbeidet, også her ble ingen metallholdige gjenstander benyttet for å unngå kontaminering. For å unngå kontaminering via prøvestøv under siktingen, ble en prøve siktet om gangen i avtrekksskap. Alt sikteutstyret ble rengjort med en støvsuger mellom hver prøve. Etter prøveprepareringen, ble en serie av alle prøver ordnet i en tilfeldig rekkefølge, slik at for hver 25. prøve som ble sendt til laboratoriet ble en feltduplikat, dens splitt og dens ordinære prøve, samt en splitt fra prosjektstandarden Mineralressurser i Nord-Norge (MINN) inkludert. Kontrollprøvene hadde varierende posisjon innen sekvensen. Laboratoriet inkluderte ytterligere 33 splitter av sine egne kvalitetskontrollprøver (QC) DS9. Laboratoriet utarbeidet også analytiske duplikater av 51 prøver. Prøveprepareringen ble gjennomført av studenter.

3.4 Grunnstoff analyser

Den randomiserte serien med prøver (≥ 90 g) ble sendt til ACME-laboratoriet i Vancouver, Canada. MINN 2011-kampanjen (Reimann et al., 2012) samt reanalyser på Nordland-Troms prøvene (Reimann et al., 2011) fulgte samme prosedyre med vellykket kvalitetsvurdering ved det navngitte laboratoriet. En prøve (15 g) ble brukt for ekstraksjon. Prøvene ble oppsluttet ved å tilsette kongevann (90 mL) (blanding av salpetersyre, HNO_3 og saltsyre, HCl i volumforhold 1+3) til prøvene, som deretter ble satt i et vannbad (95°C) i en time. Etter avkjøling ble løsningen fortynnet til sluttvolum på 300 mL med HCl (5%). Forholdet mellom prøvevekt og løsningsvolum var 1 g per 20 mL. Løsningene ble analysert ved hjelp av induktivt koplet plasma atomemisjonsspektrometer (ICP-AES) og Perkin Elmer Elan 6000/9000 induktivt koplet plasma massespektrometer (ICP-MS). De analytiske resultatene ble returnert fra laboratoriet innen en måned etter innsendelse. Det resterende prøvematerialet ble lagret i tilfelle det skjedde uhell under den første veiingen og for mulig kommende analyser med bruk av alternative prosedyrer. Resultater i form av en datafil er nedlastbart fra NGUs nettsider www.ngu.no på <http://www.ngu.no/no/tm/Om-NGU/Prosjekter/Mineralressurser-i-Nord-Norge-MINN/>.

3.5 Skanning elektronmikroskop

Skanning elektronmikroskop (SEM) er et mikroskop som bruker elektroner for å lage bilder, i motsetning til andre tradisjonelle mikroskoper som benytter lys. SEM består hovedsakelig av en elektronkilde og en linse for å fokusere elektronene til en stråle. Den har også utstyr for å få strålen inn i en raster, og har muligheter for å detektere mange ulike signaler fra prøven, blant annet elektroner og et bildeskjermssystem (Purdue University, 2013, Reed, 2005). Det fins ulike typer SEM, den vanligste er sekundælektron (SE)-bilder, som viser prøvens karakteristiske topografiske egenskaper. En annen type er tilbakespredte-elektron (BSE)-bilder, denne benyttes hovedsakelig for å kunne undersøke variasjoner i sammensetning i mineraler (Reed, 2005). Sistnevnte ble benyttet i oppgaven.

Hovedfunksjonen til SEM er å lage bilder av tredimensjonale objekter. For å se topografiske kontraster blir det anvendt vanlige SE-bilder, mens for å vise sammensetningsforskjeller blir BSE-bilder mest brukt. BSE kan i tillegg inneholde topografisk informasjon (Reed, 2005).

SEM har mange fordeler, blant annet oppløsning, forstørrelse og dybdeskarphet. Ved å justere på kontrollspaken oppnås riktig fokusering, fortrinnsvis med forstørrelse satt til en høy verdi, for å oppnå små, fine, skarpe detaljer i prøven. Sammenlignet med et optisk mikroskop er dybdeskarpheten i SEM stor, dette er grunnet små konvergensvinkler fra strålen, som gjør at alle deler av prøven vil ha tilstrekkelig skarphet samtidig. Blir riktig deteksjonsmodus valgt, kan en oppnå god kontrast av grunnstoffsammensetningen. Enkelt grunnstoffer kan ikke skilles fra hverandre i denne type analyse, derfor blir sammensetning i dette tilfellet referert til hvilke

grunnstoffer som er i prøven, og ikke hvor mange som er der (Purdue University, 2013, Reed, 2005).

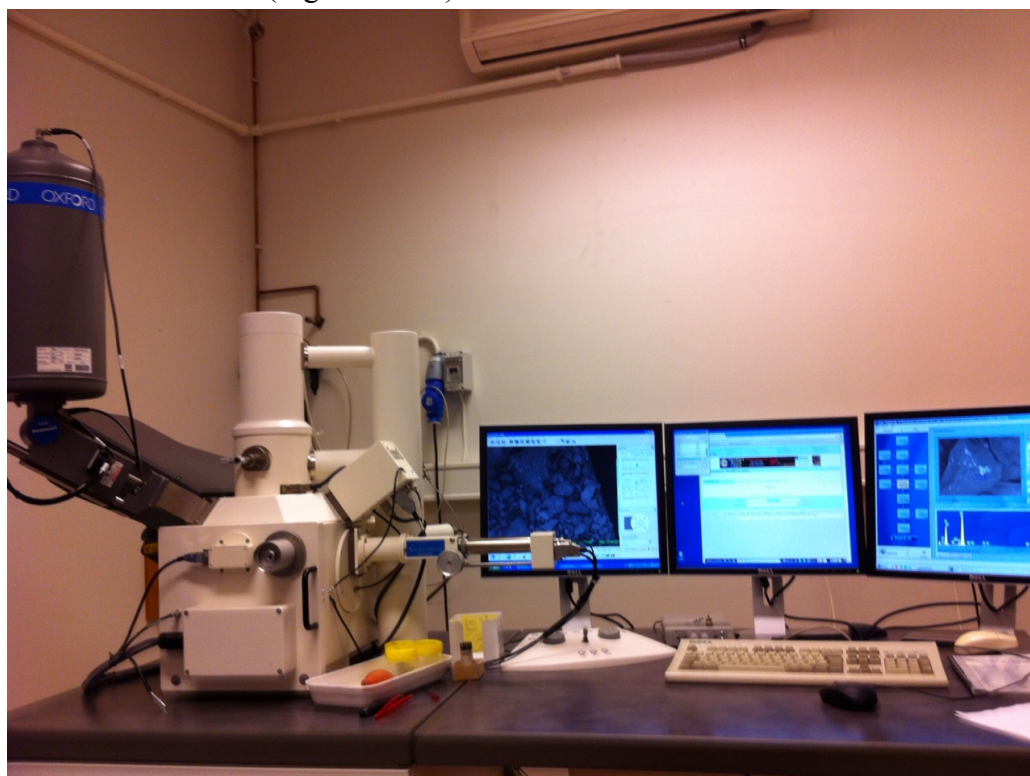
Oppløsningen blir definert utfra størrelsen på den minste detaljen som er synlig i bildet, slik at oppløsningen er begrenset av både interaksjonen mellom prøve og elektroner samt diameteren til elektronstrålen (Reed, 2005). SEM har mye høyere oppløsning enn det tradisjonelle mikroskoper har (1-2 nm er mulig), og dette gjør at prøver plassert nært hverandre kan forstørres til mye høyere nivåer (Purdue University, 2013). Ulike instrumentelle faktorer bestemmer strålediameteren, som i prinsippet kan reduseres til noen få nanometer. I mange tilfeller vil den ultimate oppløsningen være unødvendig og det blir benyttet en større strålediameter som igjen er en fordel da mer strøm er tilgjengelig. Grunnstoffsammensetning kan oppnå en romlig oppløsning på opptil 100 nm med den dybdeskarpheten i SEM-bilder som er mest relevant i de fleste bruksområder (Reed, 2005, Purdue University, 2013).

Forstørrelse på et skannet bilde blir definert ved lik ratio mellom bildet slik en ser det uten forstørrelse av brukeren til hvordan det ser ut da det rasterskannes av strålen på prøven (Reed, 2005). Minimum forstørrelse avhenger av arbeidsavstanden og bestemmes av den maksimale vinkelen som strålen kan bøye av. For eksempel et skanningsområde på størrelse med 1 cm², vil gi en typisk forstørrelse på rundt 10x. Ved å redusere amplituden til skanner-svingningsformen kan forstørrelsen økes. Istedenfor å bruke linser, benytter SEM elektromagneter, på den måten oppnås det bedre kontroll på grad av forstørrelse benyttet på prøven (Muir og Boysen, 2013, Reed, 2005, Purdue University, 2013).

3.5.1 Topografisk kontrast i BSE-bilder

BSE er relativt upåvirket av positive skjevheter fra elektrondetektoren Everhart-Thornley (E-T detektoren), på grunn av deres relativt høye energi og går derfor omtrent i rette linjer. BSE emittert fra den ene siden av ”haugen” som vender vekk fra detektoren blir ikke detektert siden det oppstår en kraftig skyggeeffekt da det kun er lokalisert en detektor på den ene siden av prøven. BSE viser i tillegg til skyggeeffekt en avhengighet av vinkelen mellom strålen og prøveoverflaten, utbyttet øker med minkende vinkel mellom stråle og prøveoverflaten, (resultatet av dette blir svært likt et som dannes ved belysning av et fastobjekt med delvis diffust og delvis bestemt lys, som gjør det lett å assimilere intuitivt den bevarte topografiske informasjonen i slike bilder). Ringformede detektorer og storareal-scintillatorer er relativt retningsfri, men med en ringformet detektor inndelt i to sektorer kan sammensetningskontrasten dempes ved å bruke differansen i signaler fra motsatte sektorer og topografisk kontrast bli fremhevet. På grunn av variasjoner i overflatevinkler fins det også en topografiskeffekt i sammensetningsmodus. Disse effektene er kombinert i slike situasjoner som illustrert i Figur 72 - 81 i resultatdel, der prinsippet er følgende: Lysere korn/større refleksivitet - høyere atomnummer. Figur 8 viser et oversiktsbilde av SEM-apparaturen ved NGU.

Fra hver ferdigtørkede prøve utvalgt for skanning, ble en liten prøvemengde tatt ut og over i en zip-lock pose. Hver pose ble ristet for å oppnå en homogen prøve. En prøveholder med dobbeltsidig teip festet til seg, ble dyppet en tilfeldig plass ned i prøvemengden. Overflødig prøvemateriale på teipen ble blåst av med en pipette festet til en ballong. Prøven ble deretter nummerert. Dette ble gjentatt for samtlige prøver. Åtte prøver ble deretter satt på en prøveholder (Figur 9), for så å bli kjørt inn i SEM for skanning og analysing. Alle prøvene var uten belegg. Prøvene ble skannet og analysert med en SEM LEO 1450VP, Energi dispersiv detektor (EDS) Oxford modell 7366 med 10 mm² detektorareal og akselerasjonsspenning 15 kV. Alle prøvene som ble skannet vises i Figur 10. I resultatdelen er et utvalg av de mest interessante SEM-bildene som ble tatt (Figur 72 - 81).

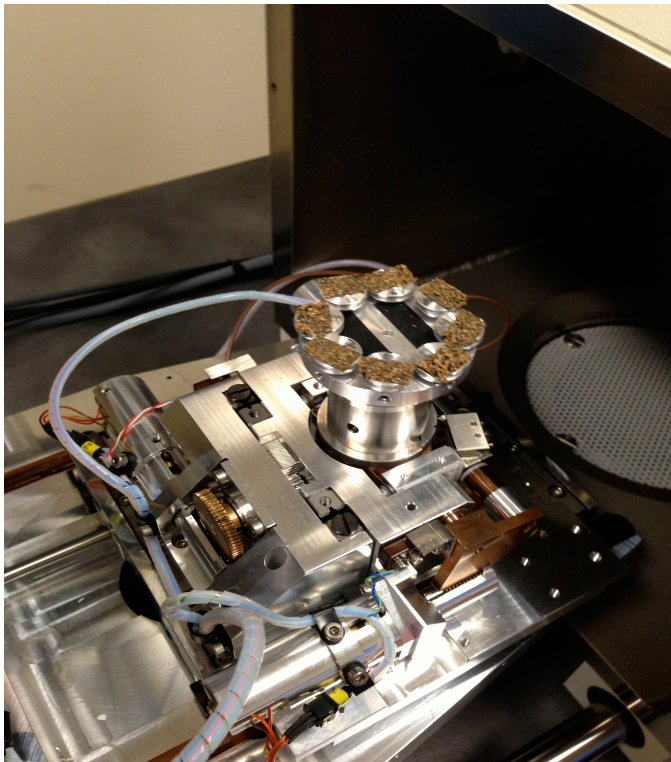


Figur 8: Oversiktsbilde av skanning elektronmikroskopet benyttet i denne undersøkelsen.

Prøvene som ble analysert i SEM ble valgt ut basert på tre ulike kriterier. De første prøvene ble valgt på grunnlag av høyest sum14REE-konsentrasjon i kongevann. Videre ble de neste prøvene valgt på grunnlag av at kjemien stemte dårlig mellom duplikatene. Mens de siste prøvene ble valgt på grunnlag av dårlig ekstraksjonsutbytte i kongevann sammenlignet med tall for totaloppslutning.

3.6 Statistisk analyse

Det statistiske dataverktøyet "R" ble benyttet for å lage kumulativ frekvensfordeling og boksploott for hvert av grunnstoffene som blir sett på i oppgaven. For å lage kartene fremstilt i oppgaven, for de tilhørende data, ble kartlagingsprogrammet arcGIS benyttet.



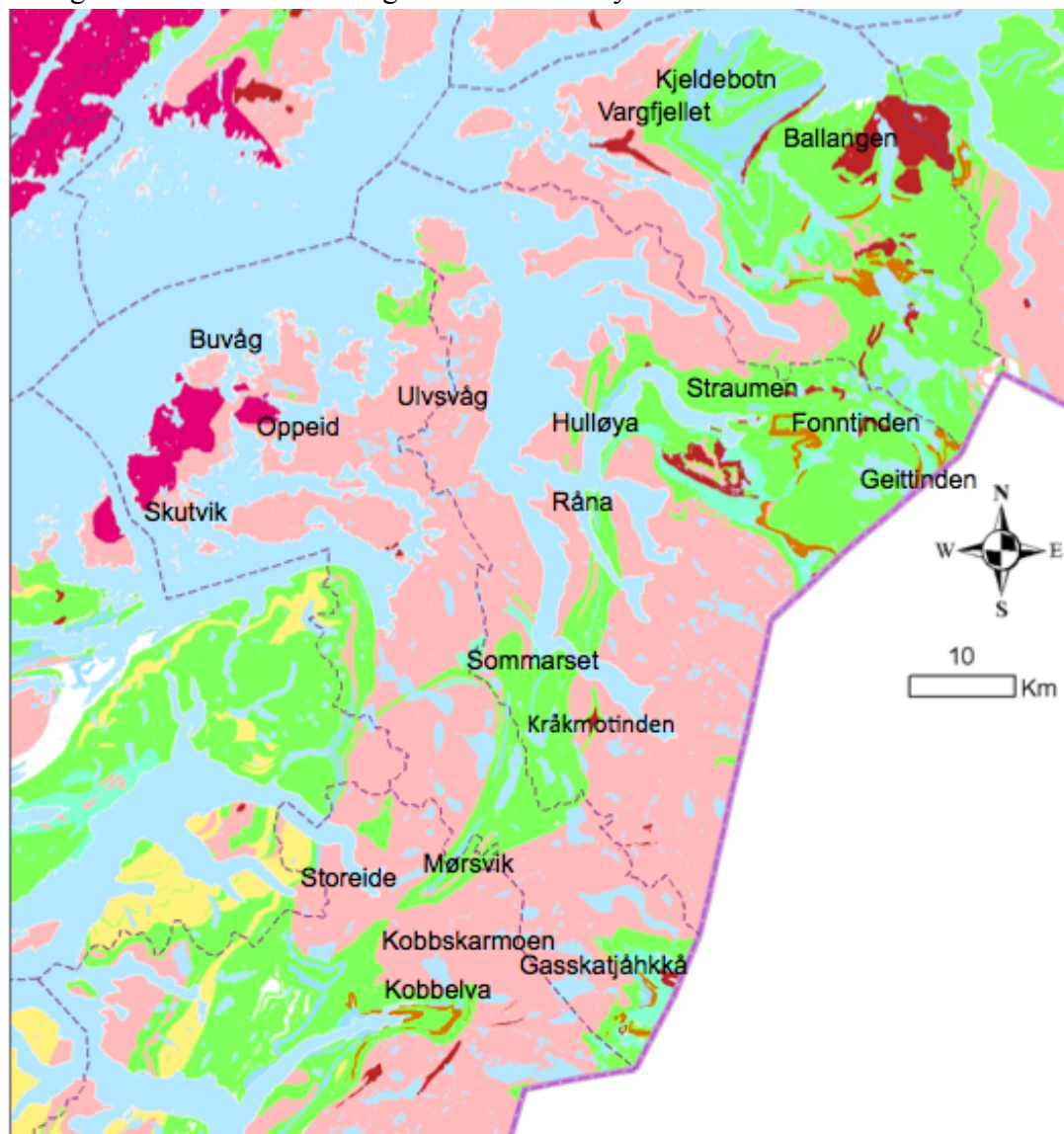
Figur 9: Prøver klar for skanning.



Figur 10: Oversikt over prøvene som ble analysert.

4.0 Resultater

Figur 11 viser en oversikt over berggrunnstypene i området hvor prøvetakingen har funnet sted og tilhørende stedsnavn der de høyeste konsentrasjonene av REE er detektert. Konsentrasjonskart, kumulativ frekvensfordeling og boksploott for hvert REE og niob blir presentert i Figur 12 - 71. Videre blir et utvalg av de mest interessante bildene fra SEM presentert i Figur 72 - 81, med tilhørende tabeller som viser grunnstoffsammensetning for de ulike analysene i Tabell 7 - 16.

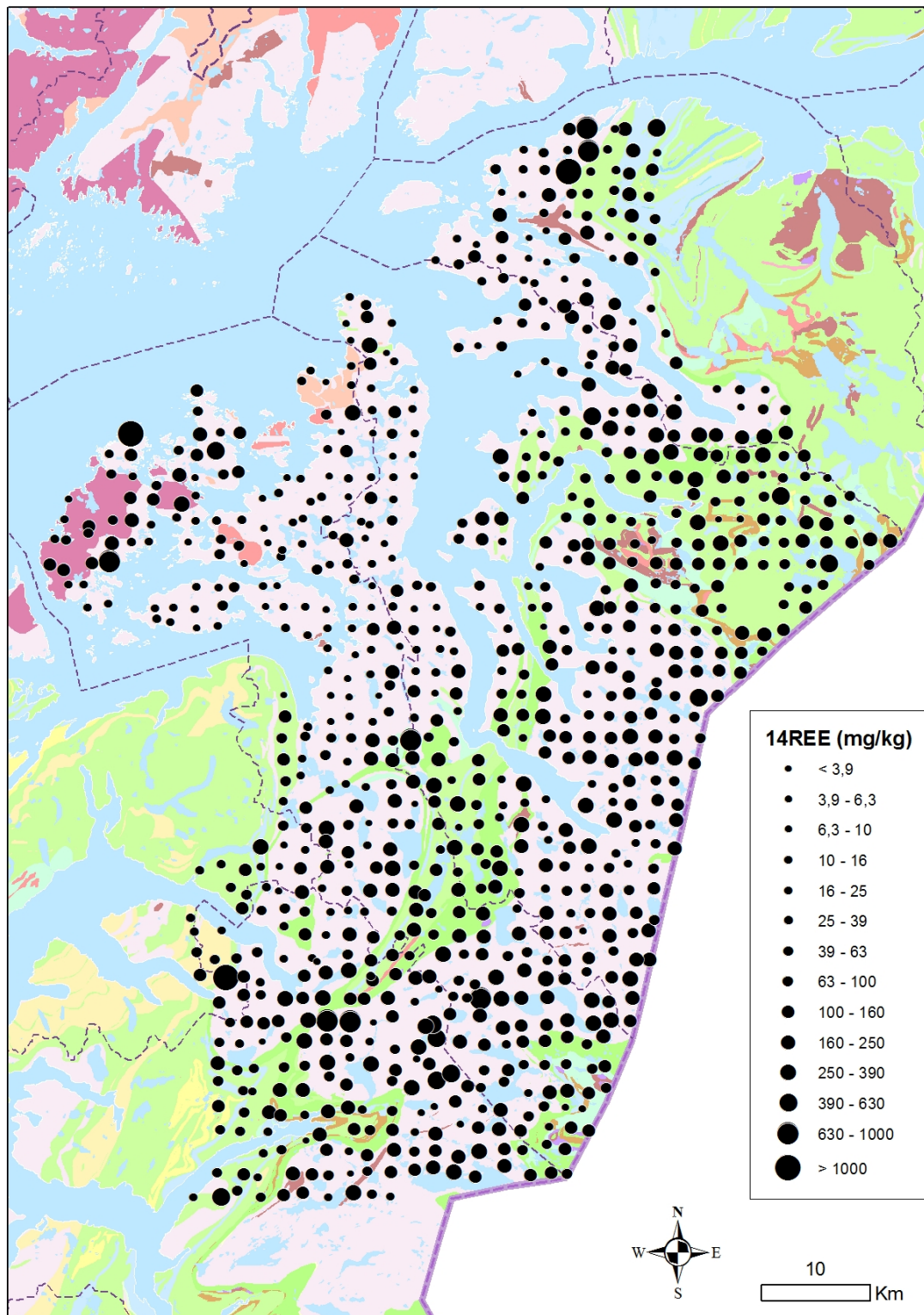


Berggrunn

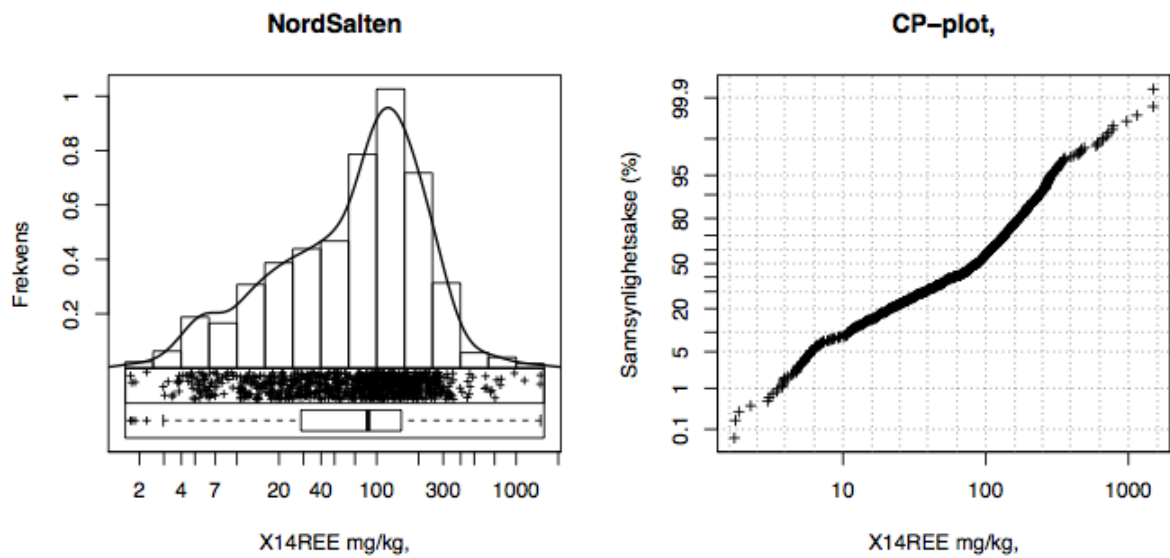
- | | |
|--------------------------------|---|
| 21, 82 - Granitt, granodioritt | 60 - Metasandstein |
| 25 - Mangerittsyenitt | 62,65,87 - Glimmerskifer, fyllitt, amfibolitt |
| 35 - Gabbro, amfibolitt | 66 - Kalkglimmerskifer, kalksilikatgneis |
| 55 - Grønnstein, amfibolitt | 70 - Kalkspatmarmor |

Figur 11: Oversikt over de ulike berggrunnstypene i området og stedsnavn der de største forekomstene av REE ble funnet under prøvetaking.

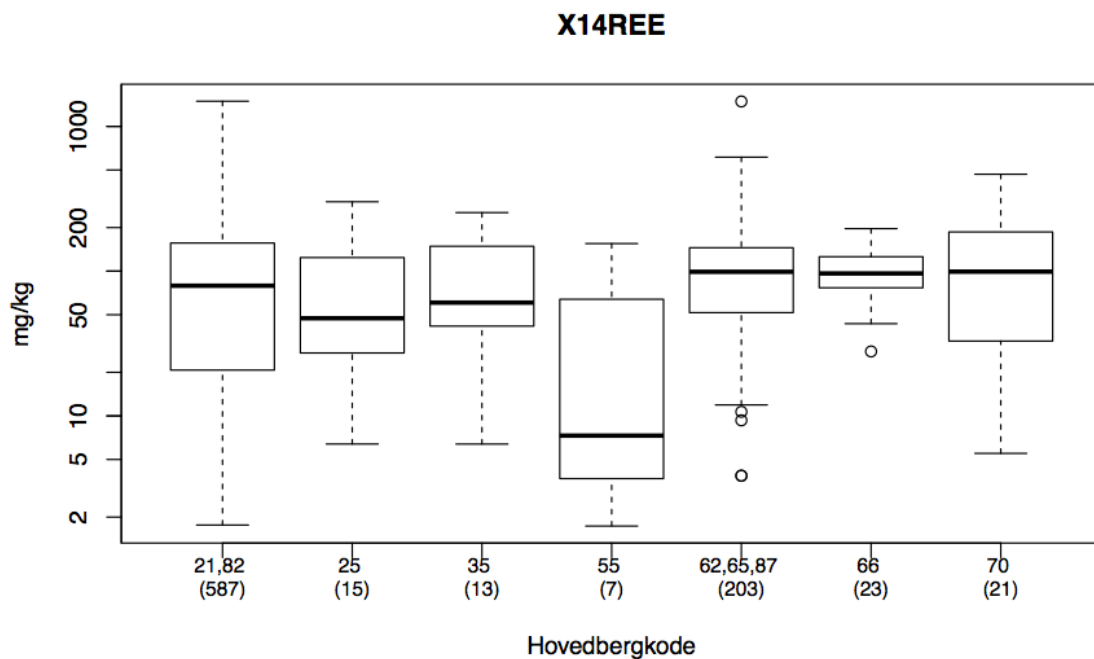
4.1 Konsentrasjonskart, kumulative frekvensfordelinger og boksploott



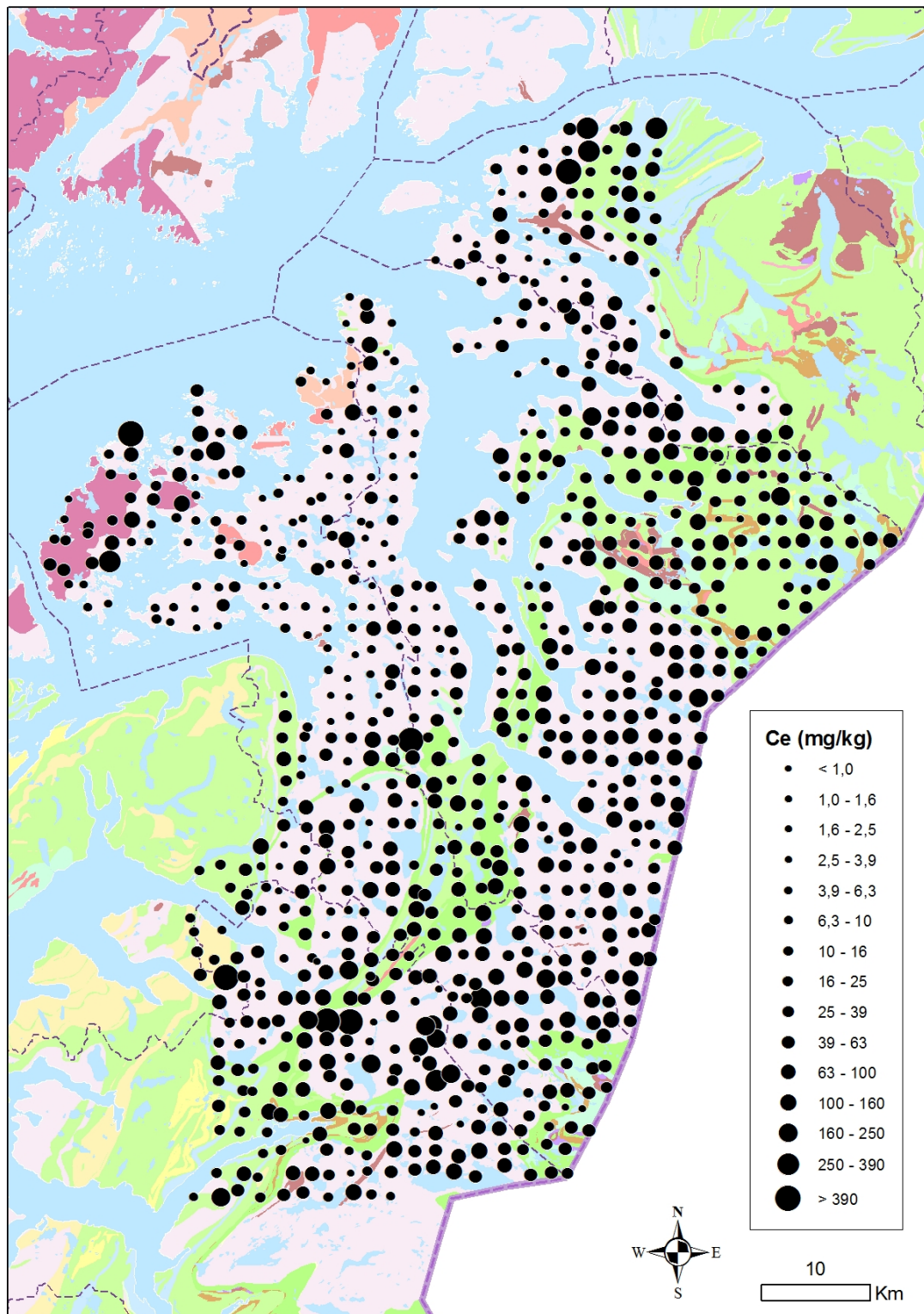
Figur 12: Totalkonsentrasjonen av alle 14 REE i Nord-Salten og Ofoten.



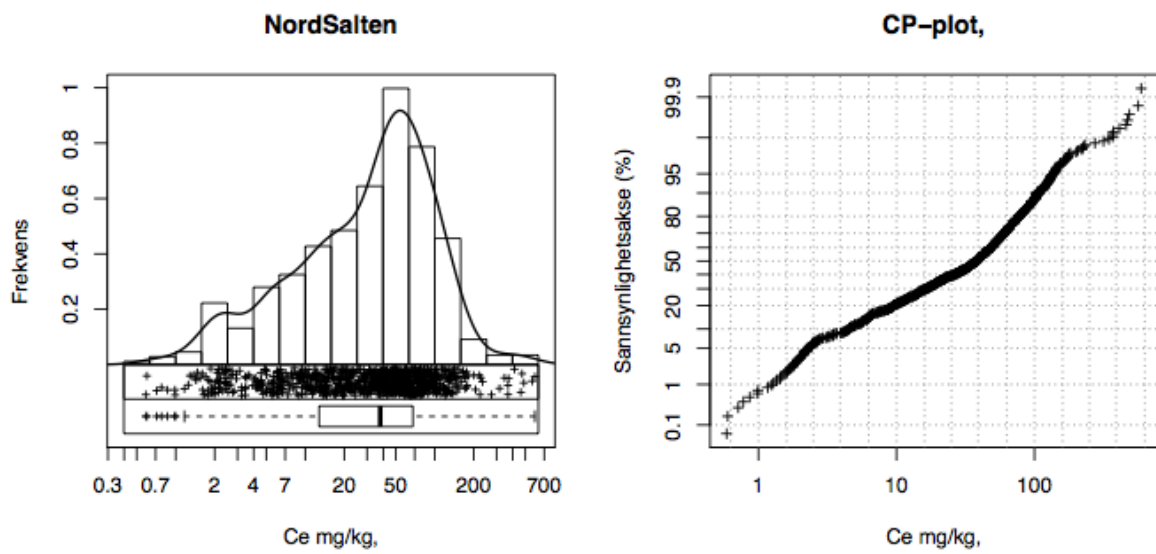
Figur 13: Kumulativ frekvensfordeling for summen av konsentrasjonene av alle 14 REE.



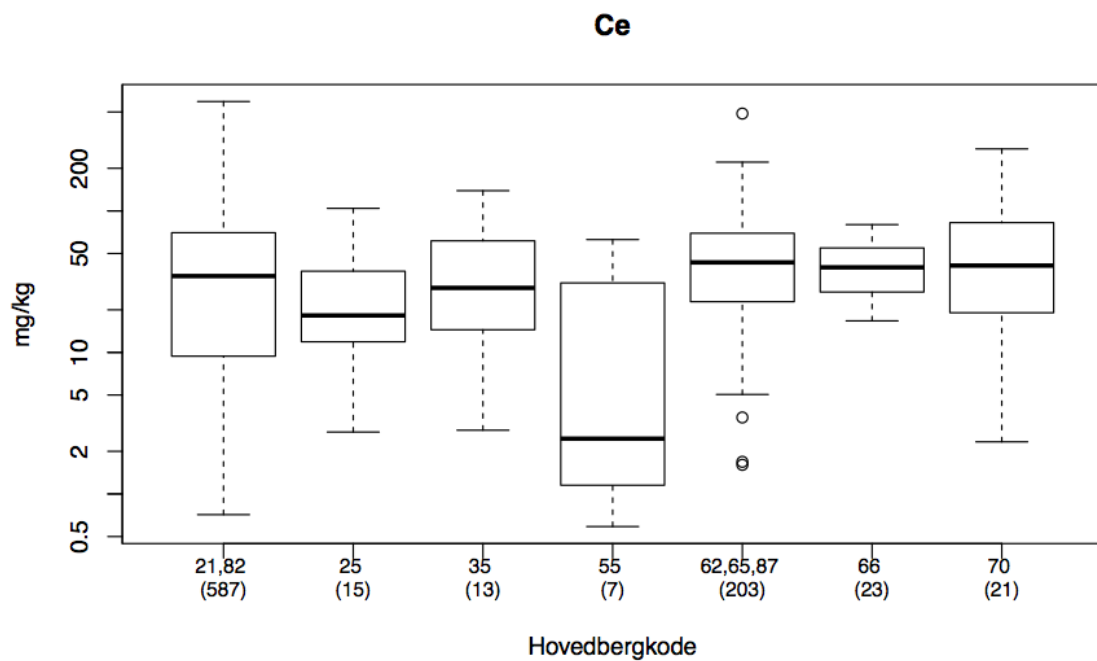
Figur 14: Boksplott over de ulike bergartene til alle 14 REE. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



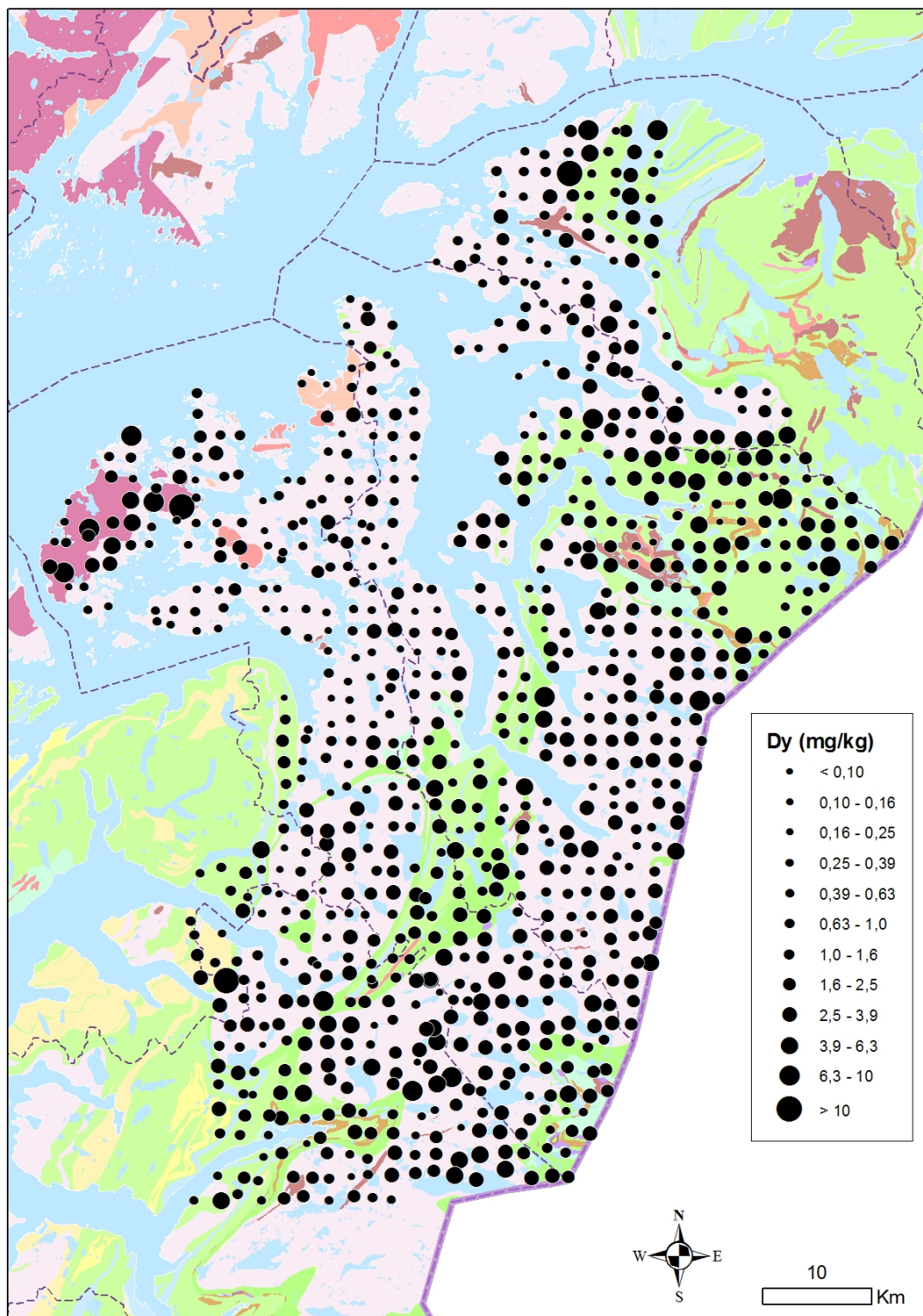
Figur 15: Oversiktsbilde av ceriumkonsentrasjon i Nord-Salten og Ofoten.



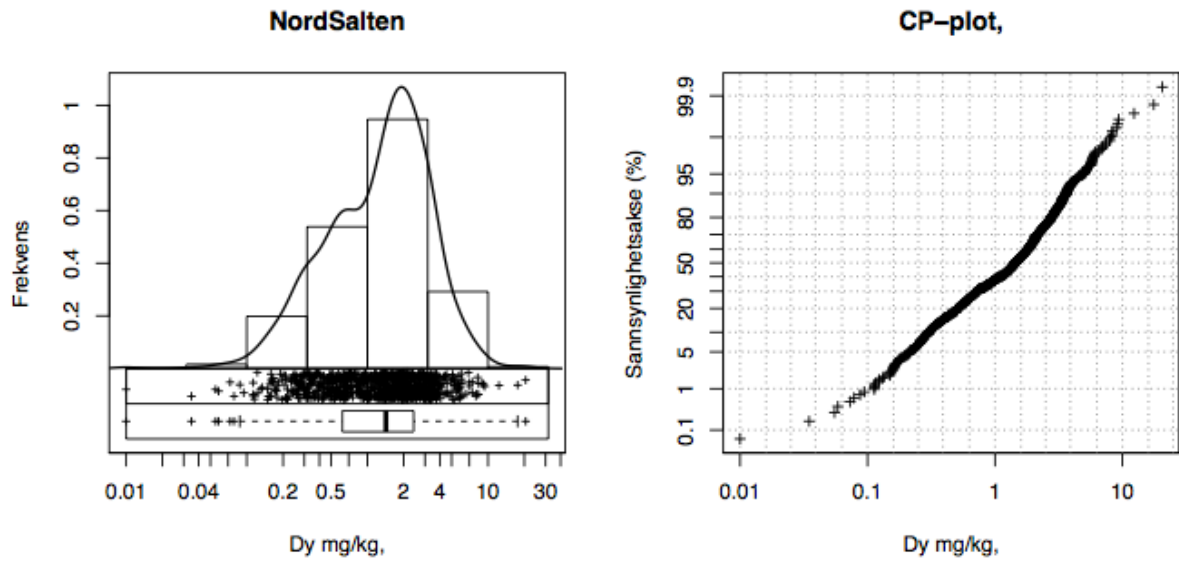
Figur 16: Viser kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av cerium.



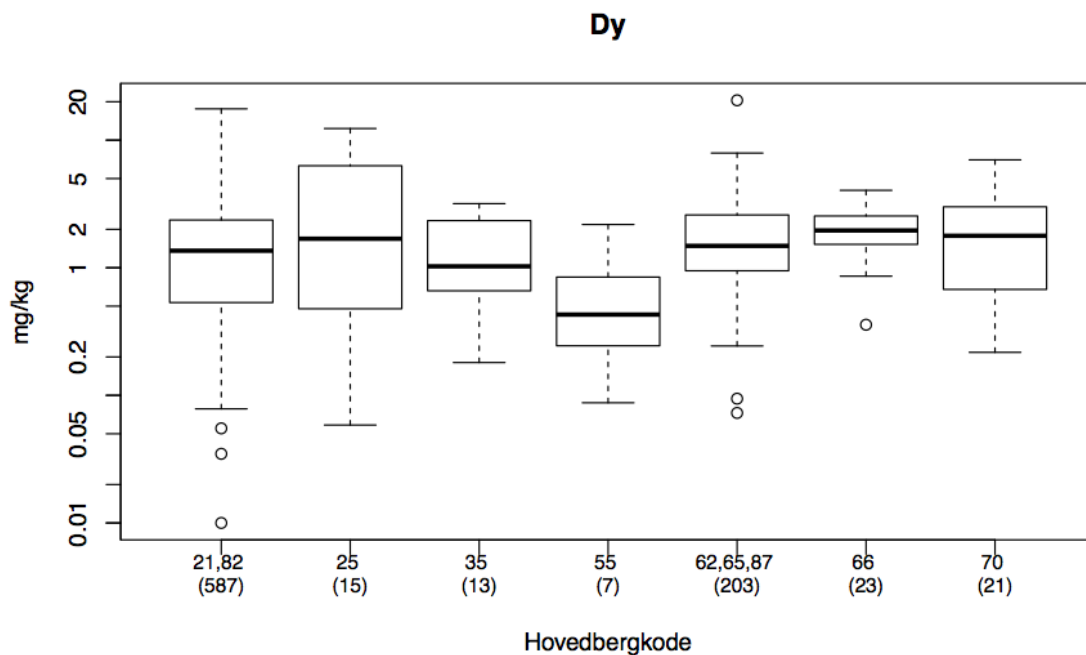
Figur 17: Boksplott av ceriumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



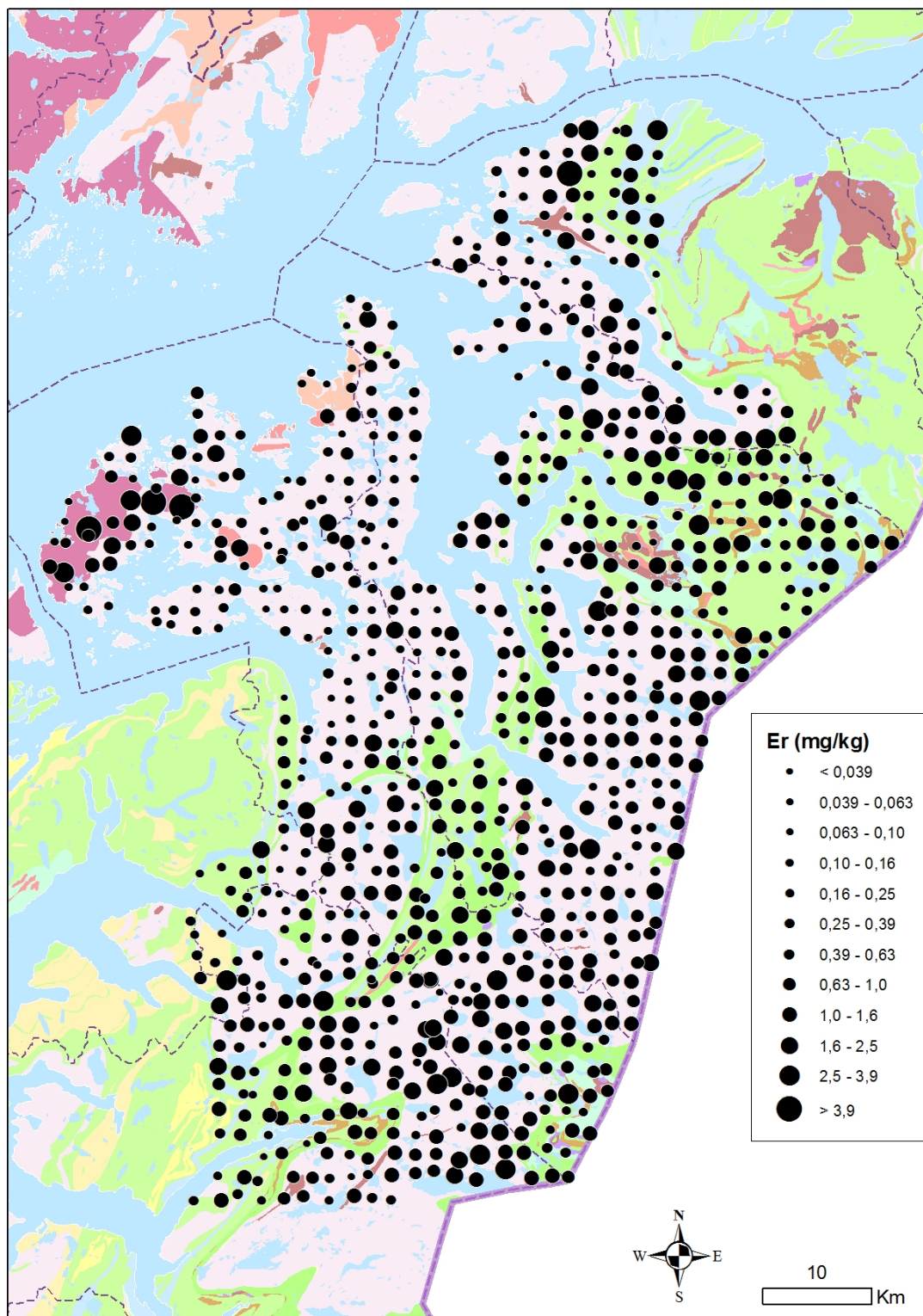
Figur 18: Oversiktsbilde av dysprosiumkonsentrasjon i Nord-Salten og Ofoten.



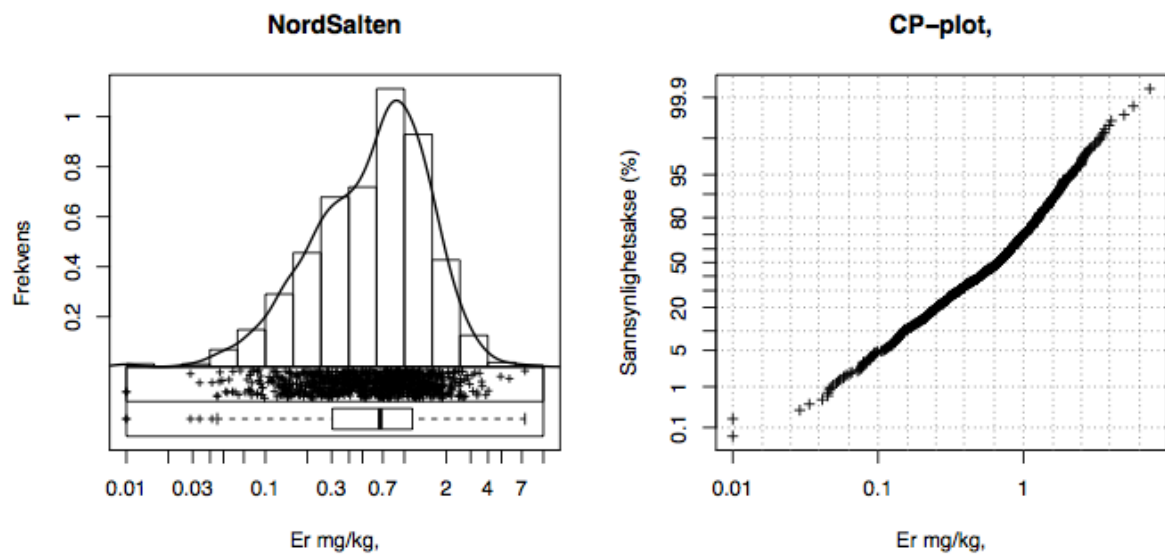
Figur 19: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av dysprosium.



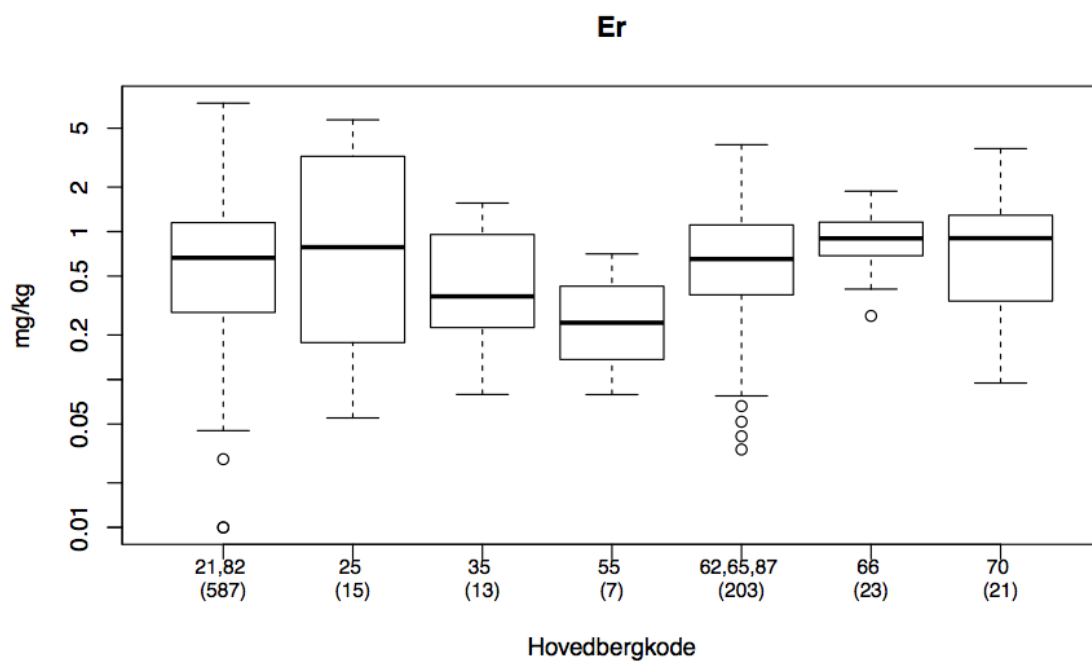
Figur 20: Boksploott av dysprosiumfordeling i bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



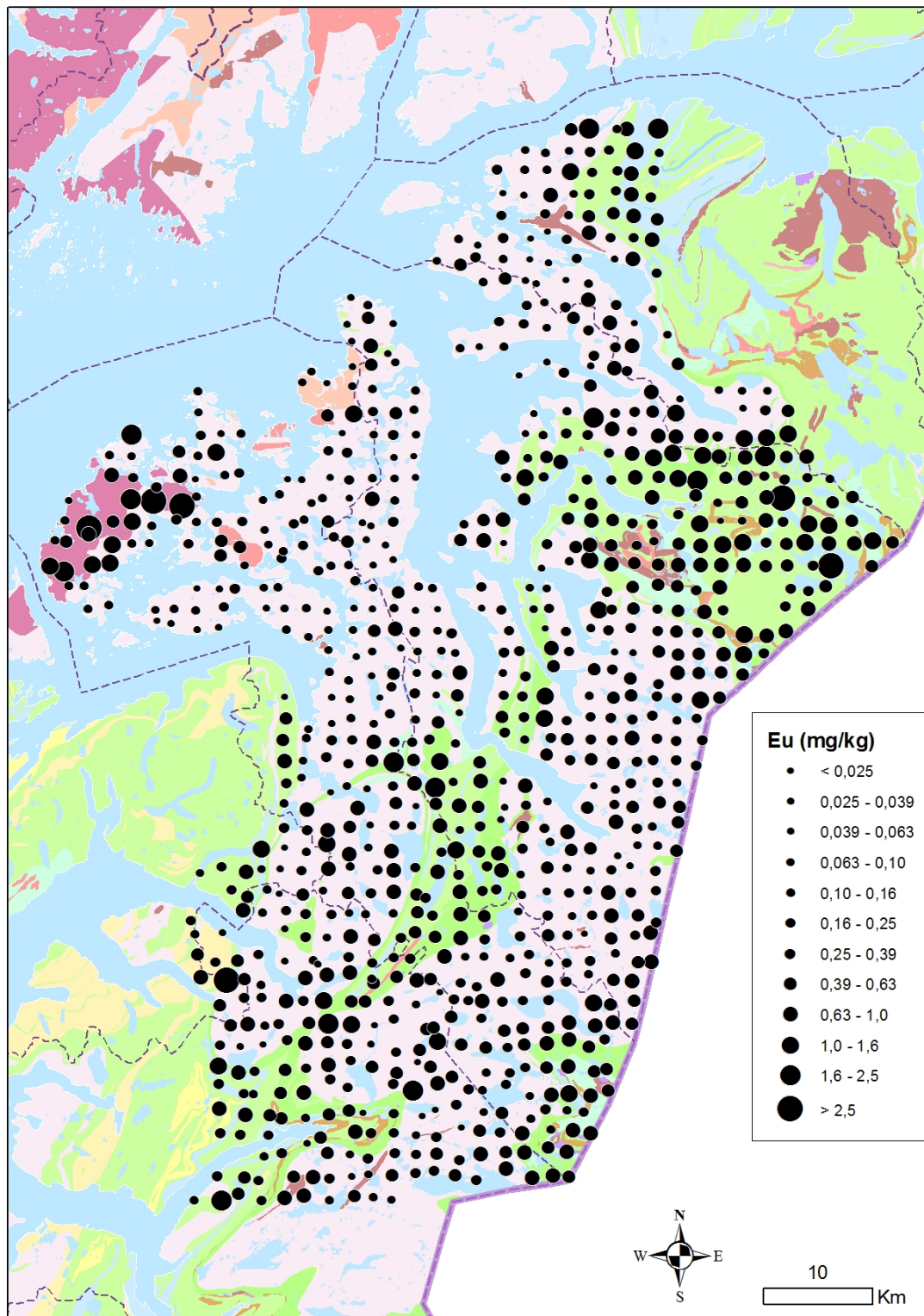
Figur 21: Oversiktsbilde av erbiumkonsentrasjon i Nord-Salten og Ofoten.



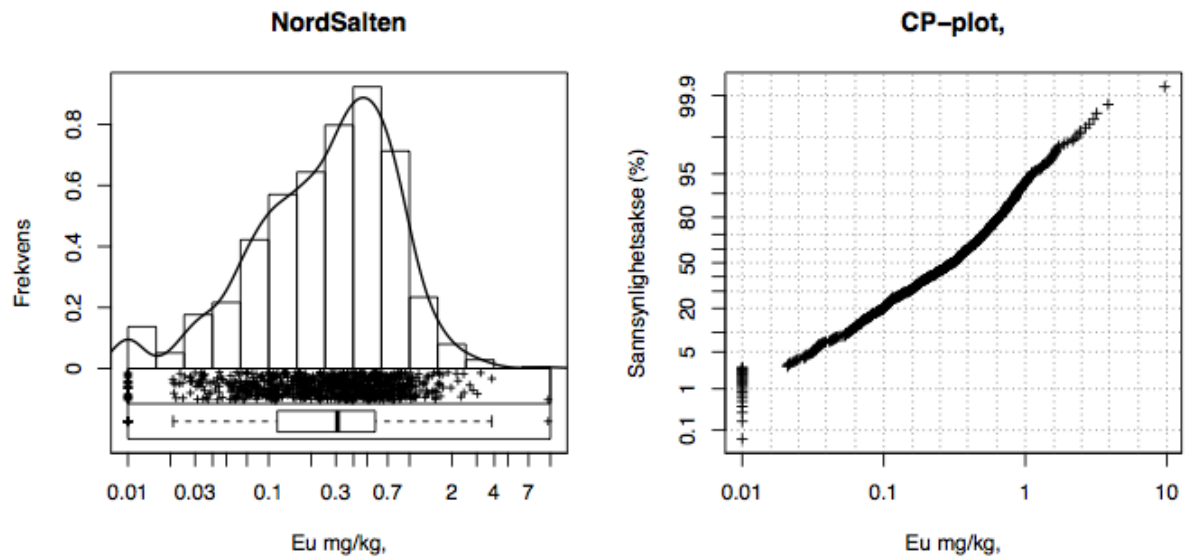
Figur 22: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av erbium.



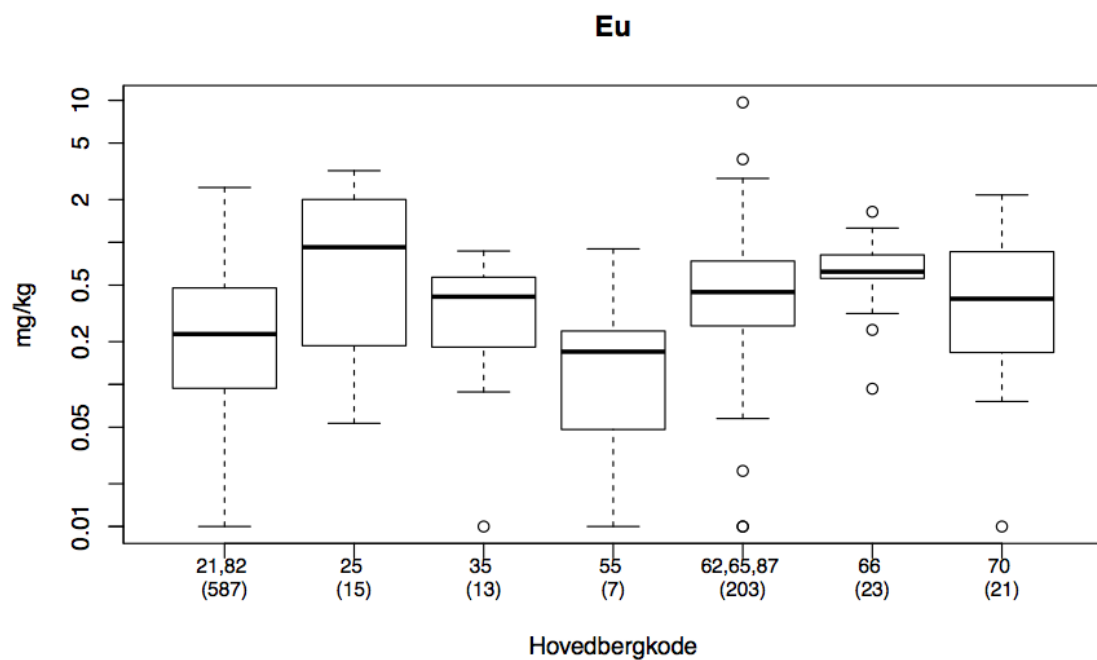
Figur 23: Boksplott for erbiumfordeling i bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



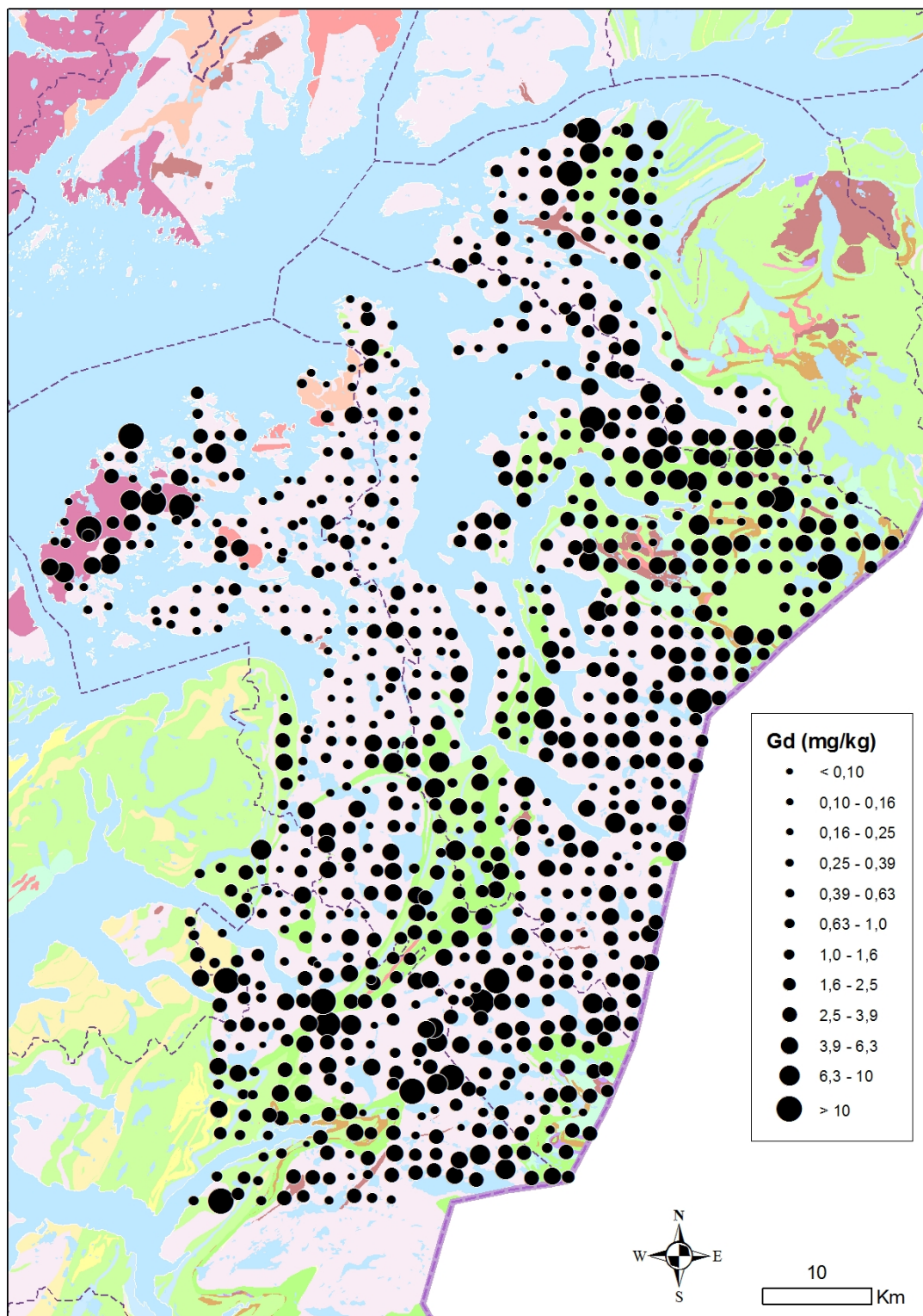
Figur 24: Oversiktsbilde av europiumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



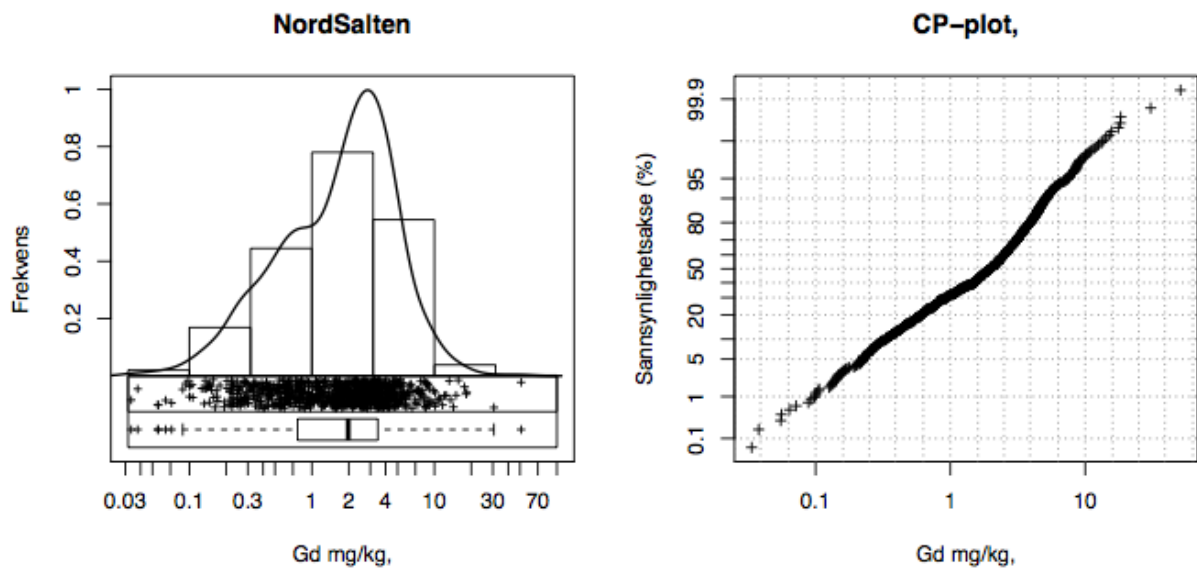
Figur 25: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av europium.



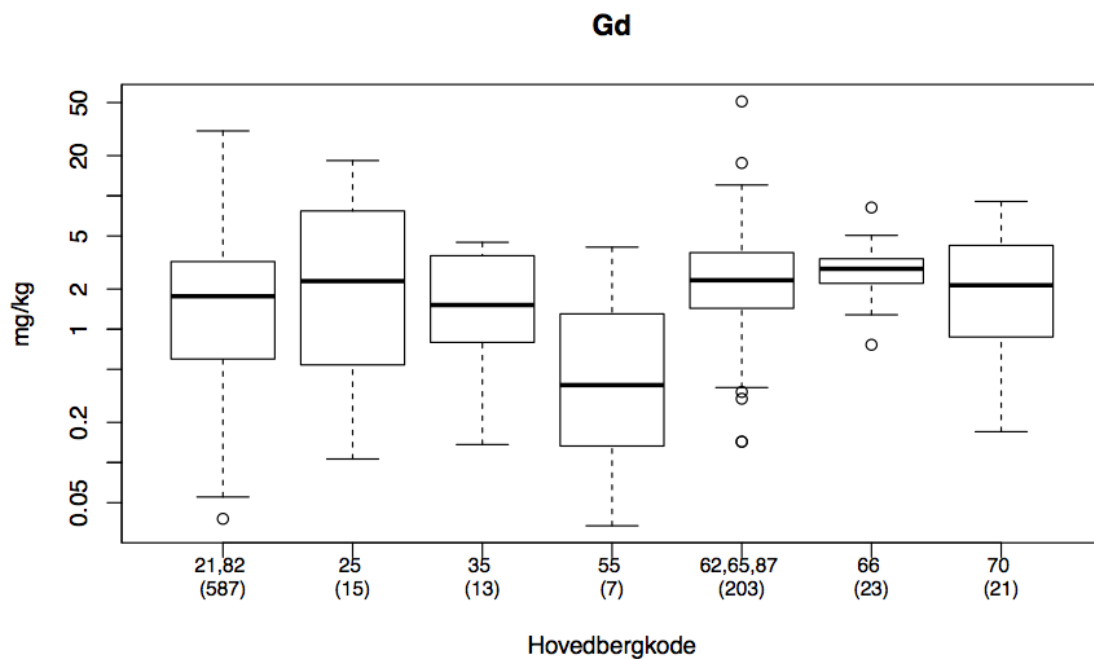
Figur 26: Boksplott for europiumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



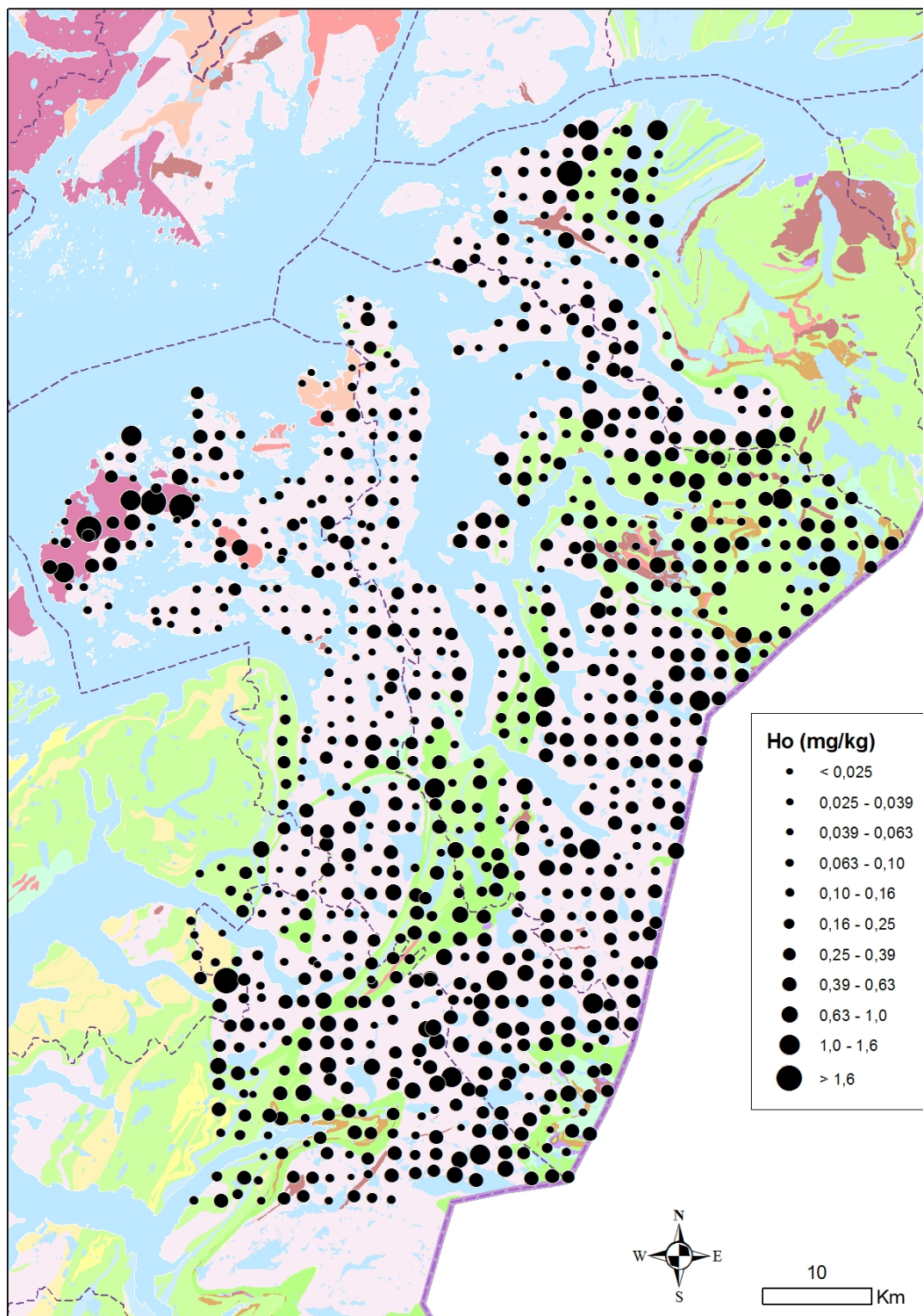
Figur 27: Oversiktsbilde av gadoliniumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



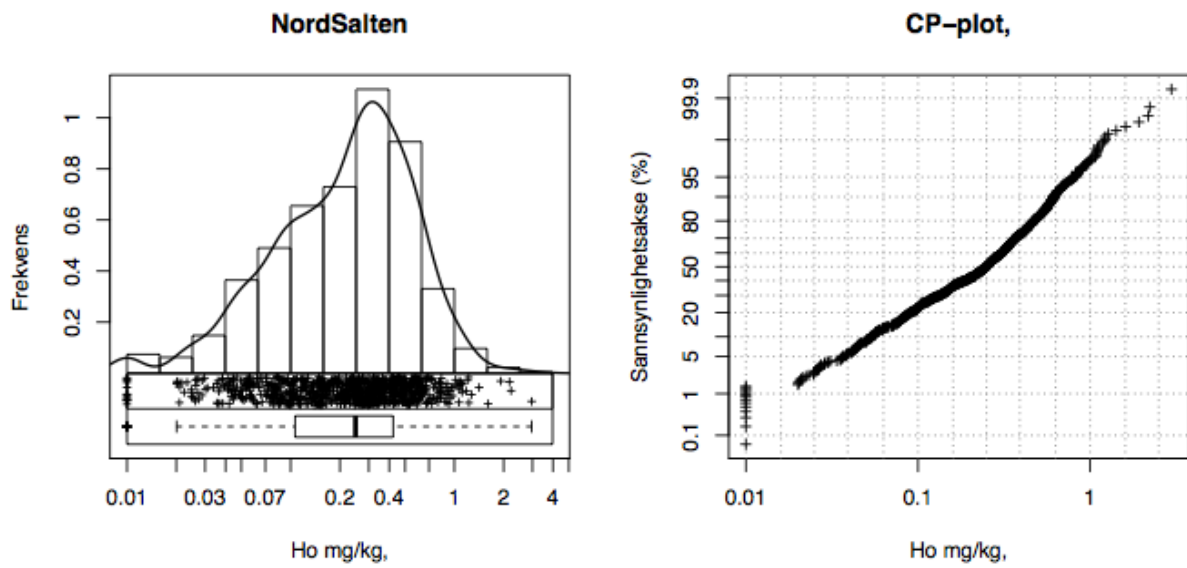
Figur 28: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av gadolinium.



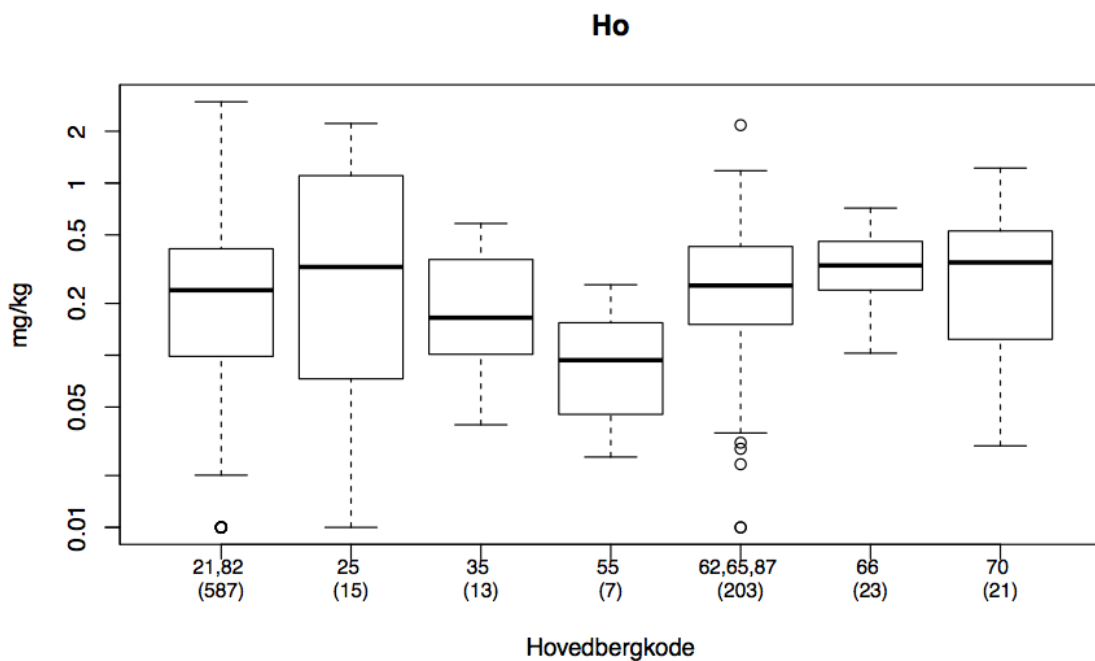
Figur 29: Boksploott for gadoliniumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



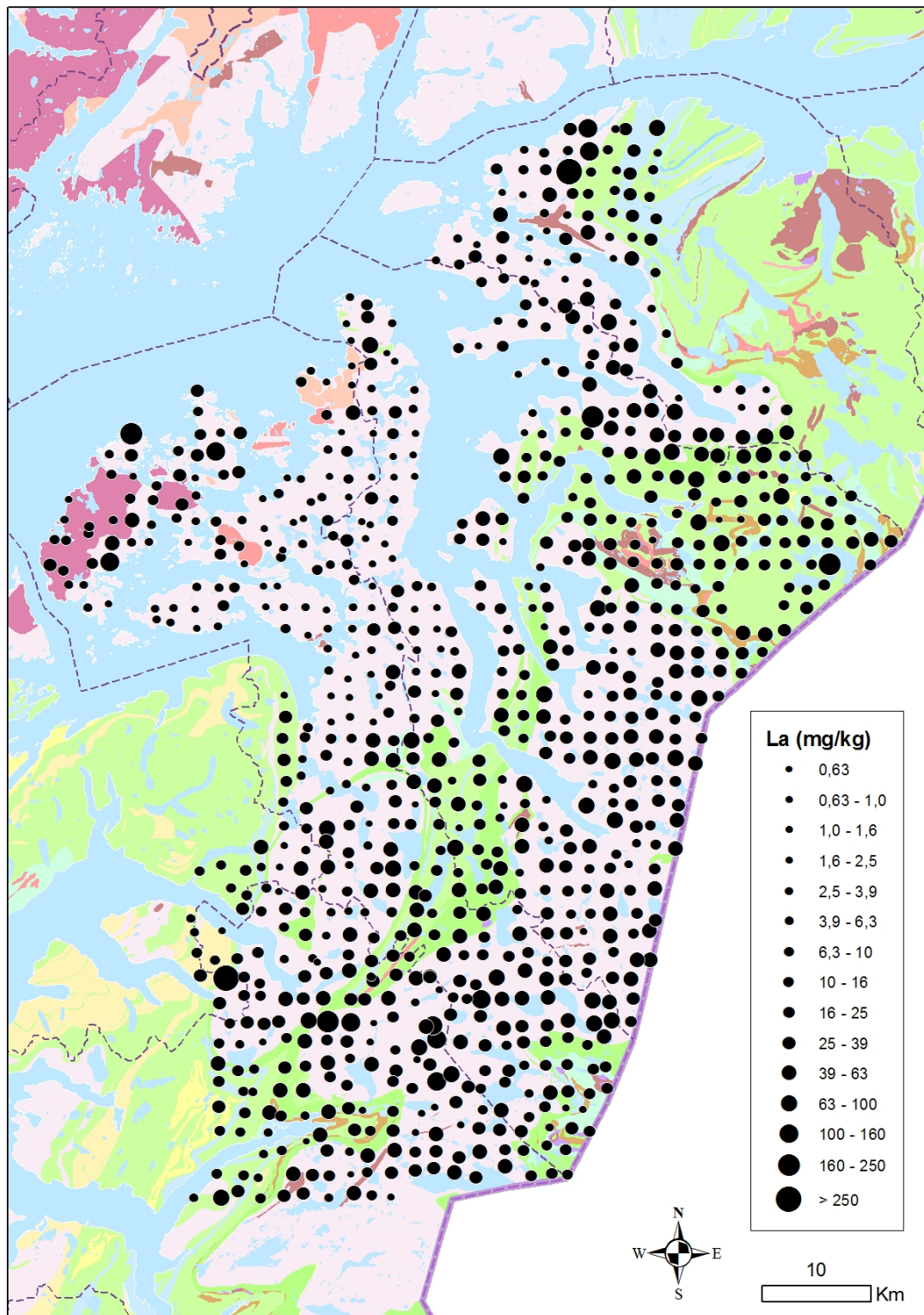
Figur 30: Oversiktsbilde av holmiumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



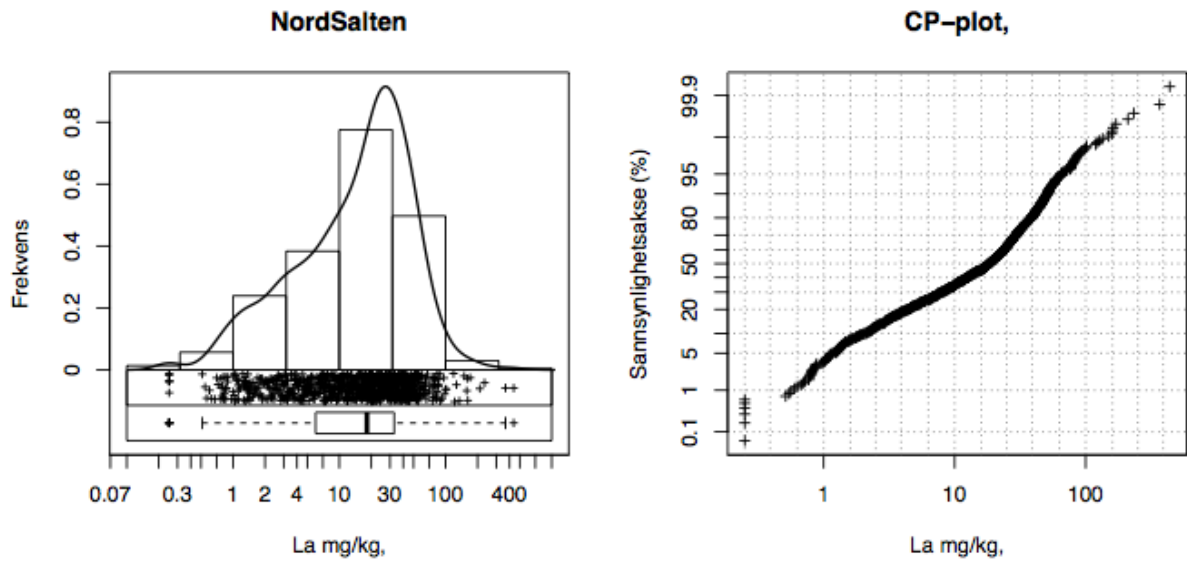
Figur 31: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av holmium.



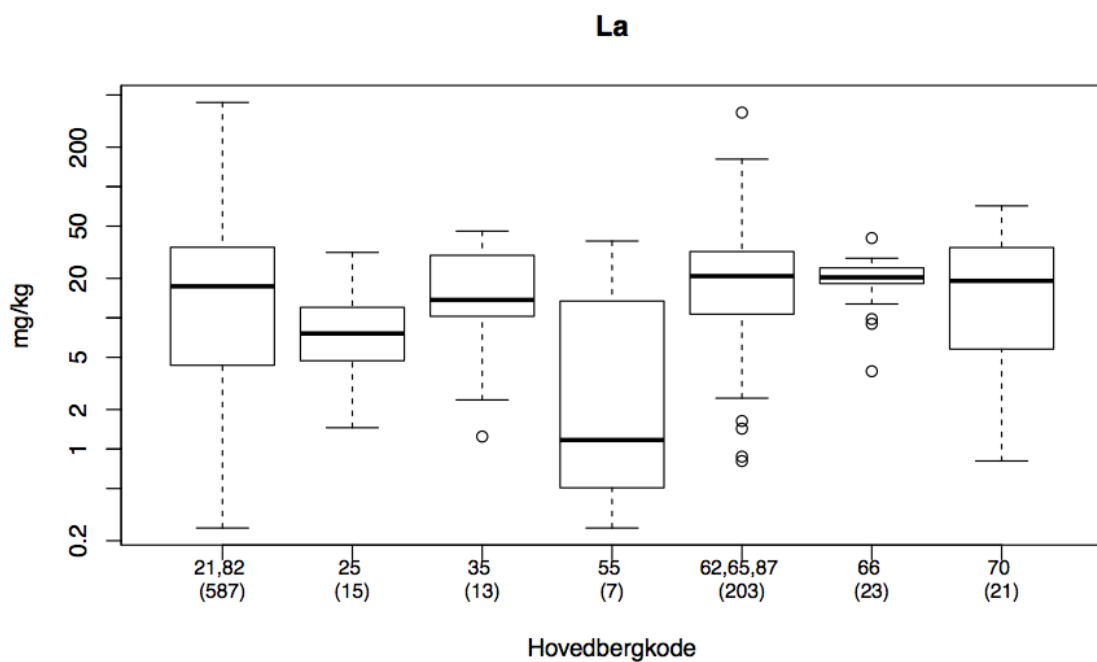
Figur 32: Boksplott for holmiumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



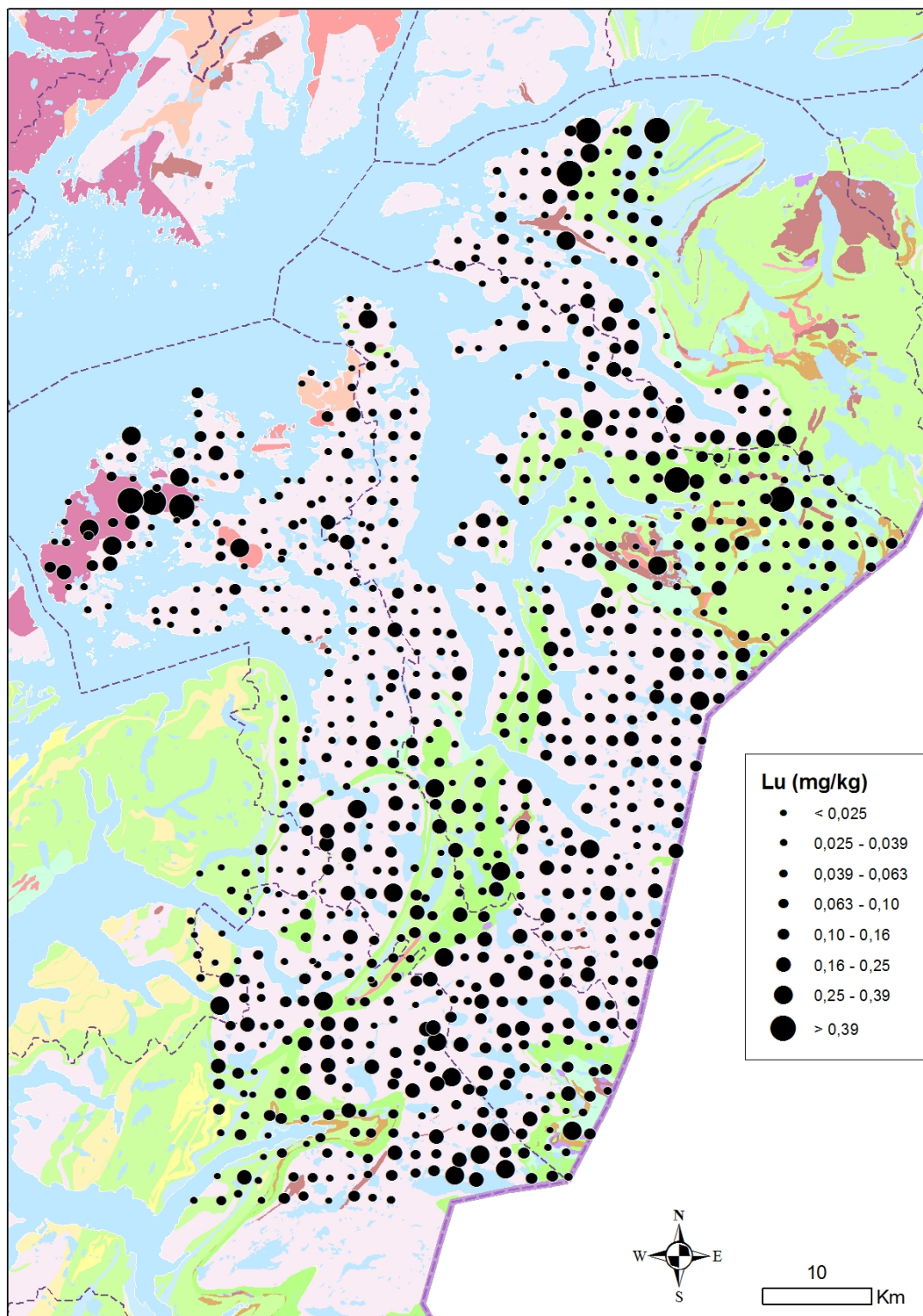
Figur 33: Oversiktsbilde av lantankonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



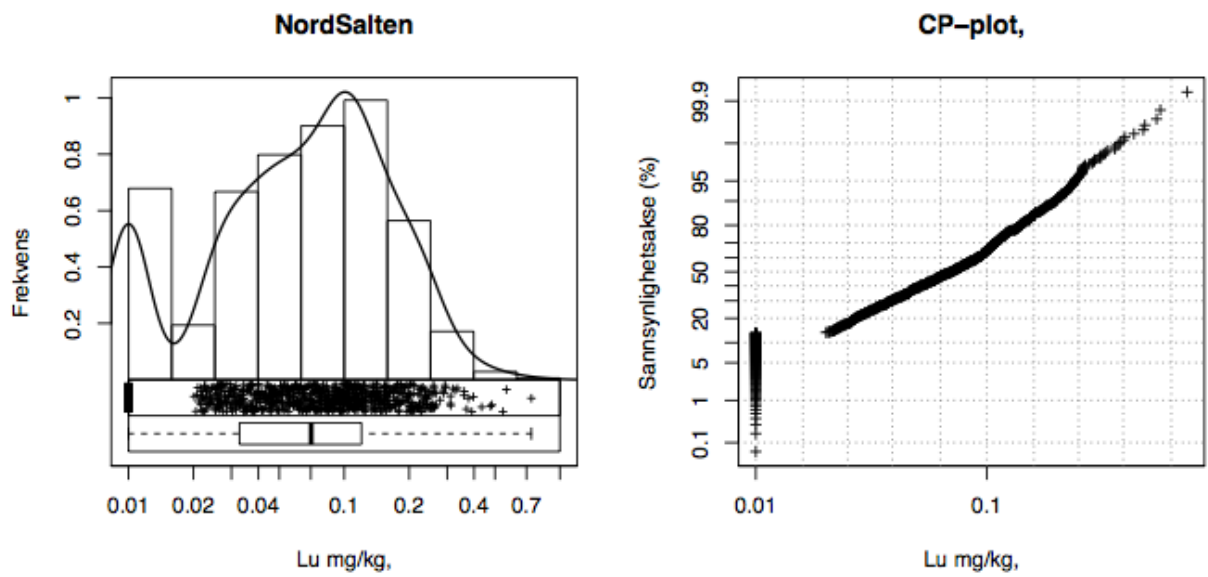
Figur 34: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av lantan.



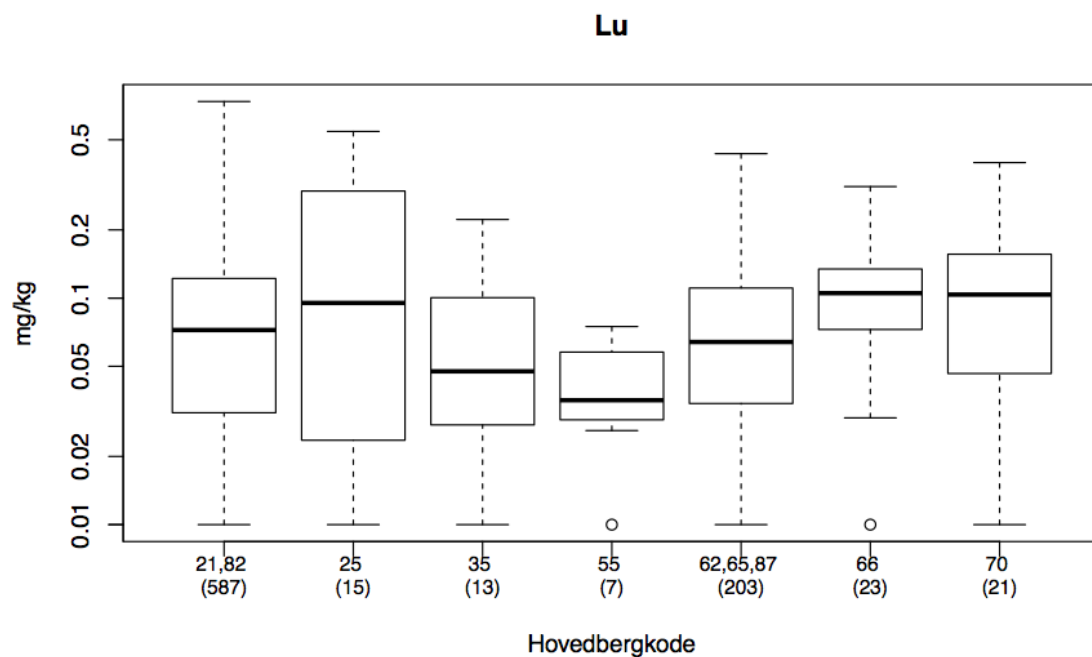
Figur 35: Boksplott for lantanfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



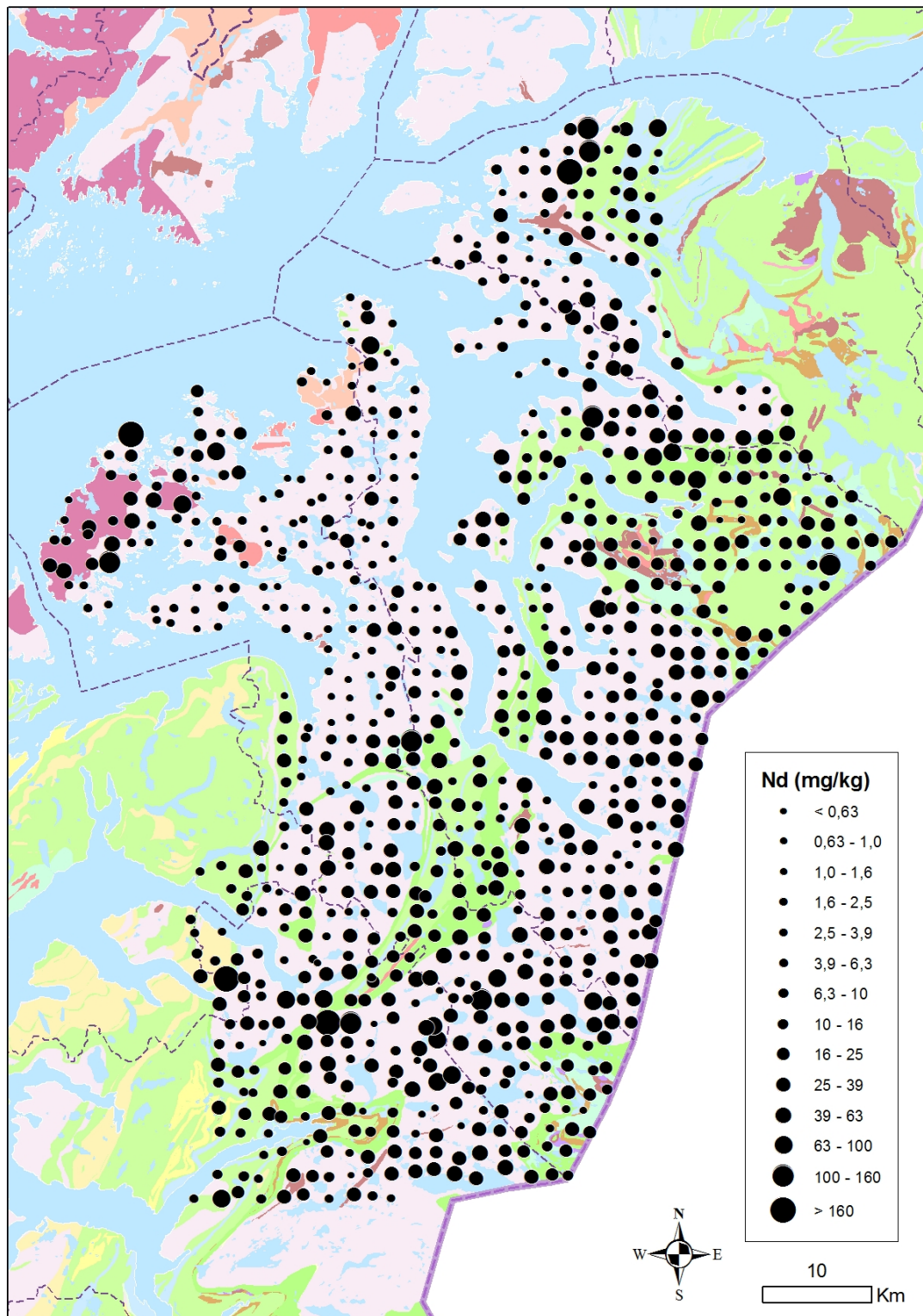
Figur 36: Oversiktsbilde av lutetiumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



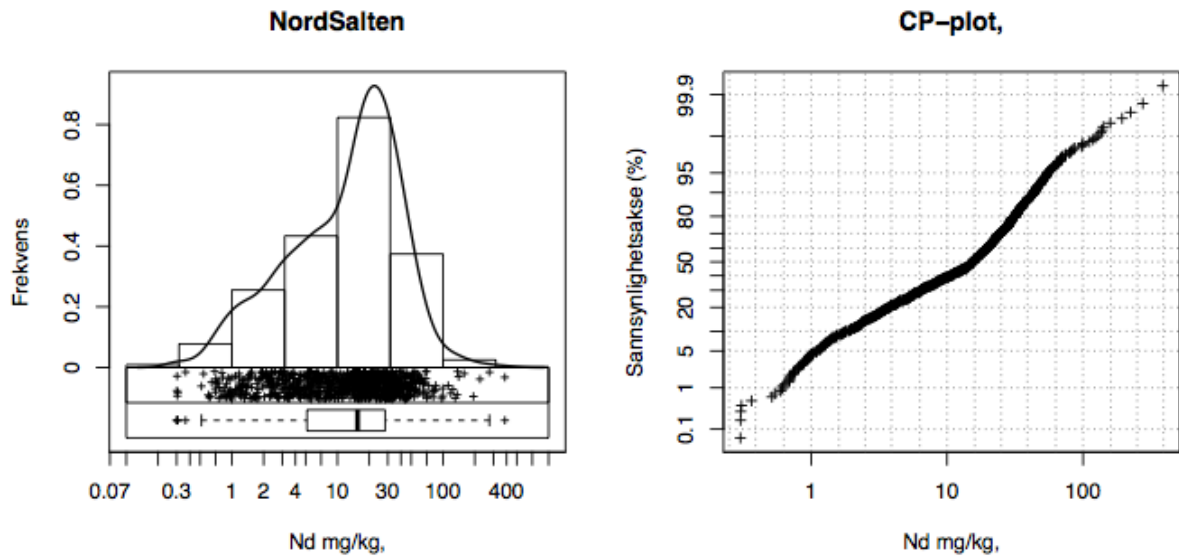
Figur 37: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av lutetium.



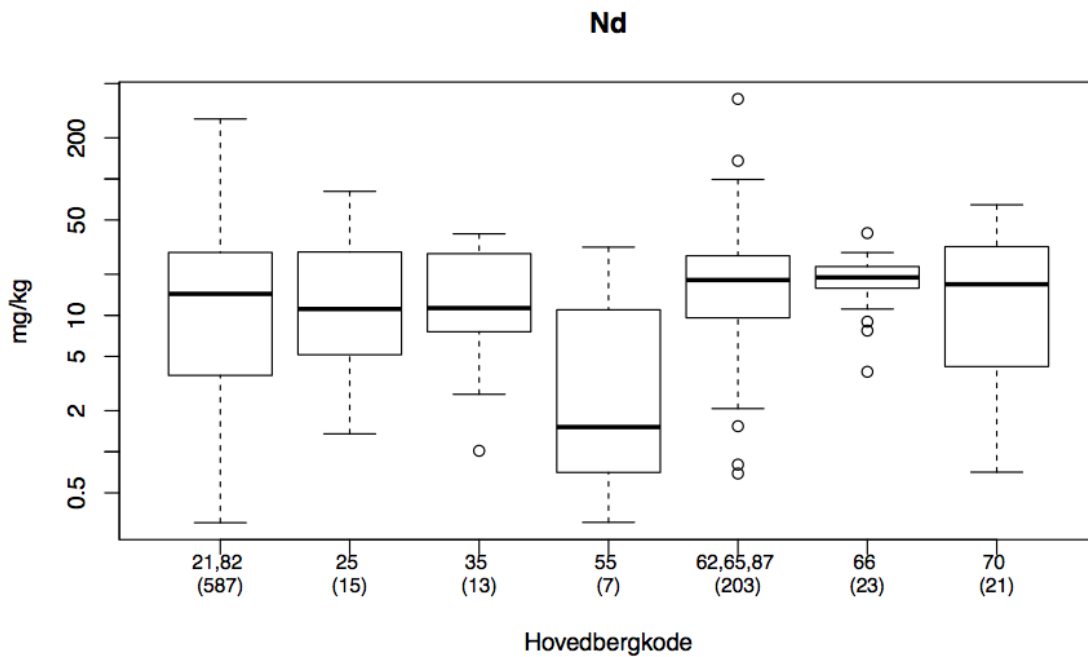
Figur 38: Boksploott for lutetiumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



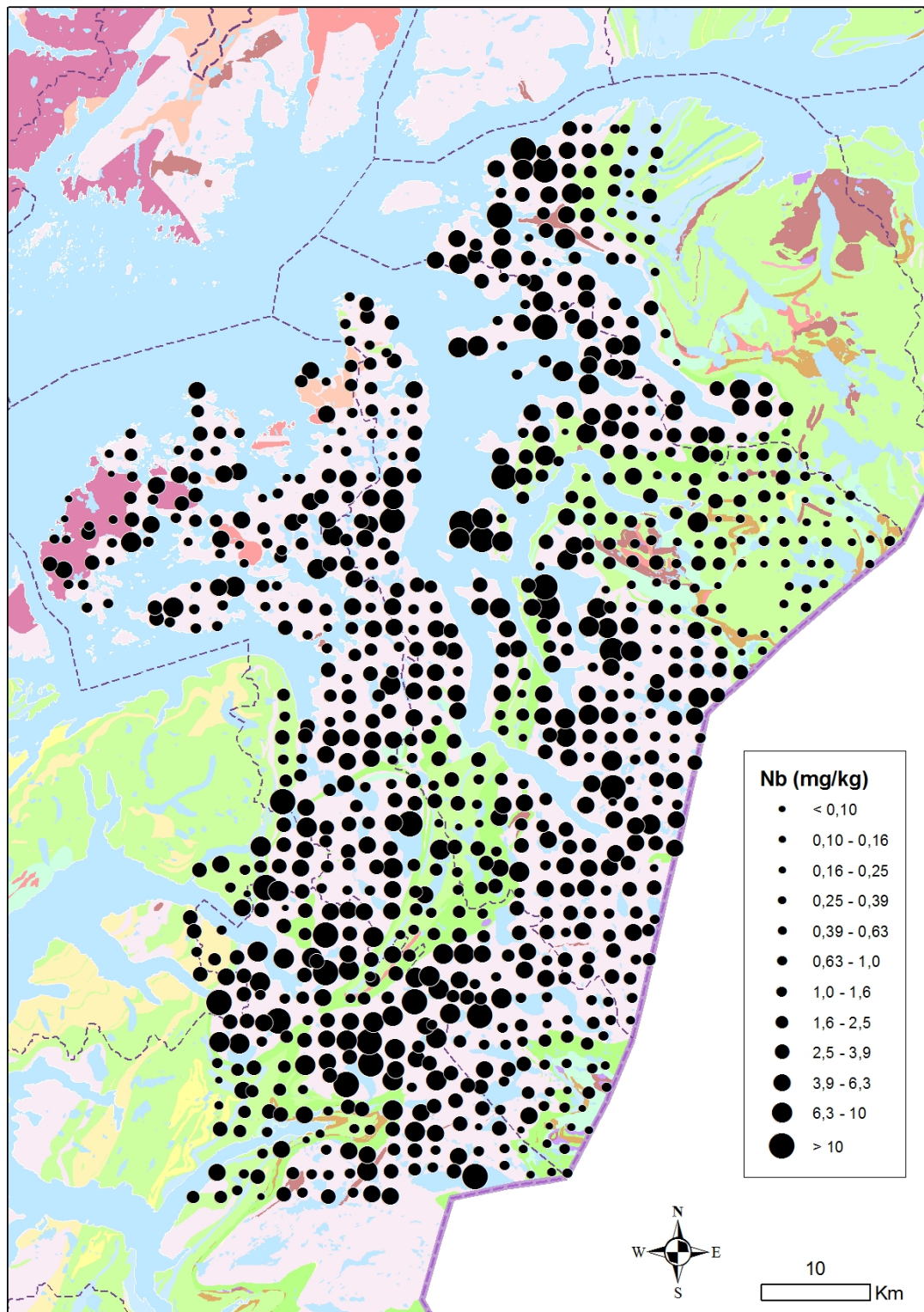
Figur 39: Oversiktsbilde av neodymkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



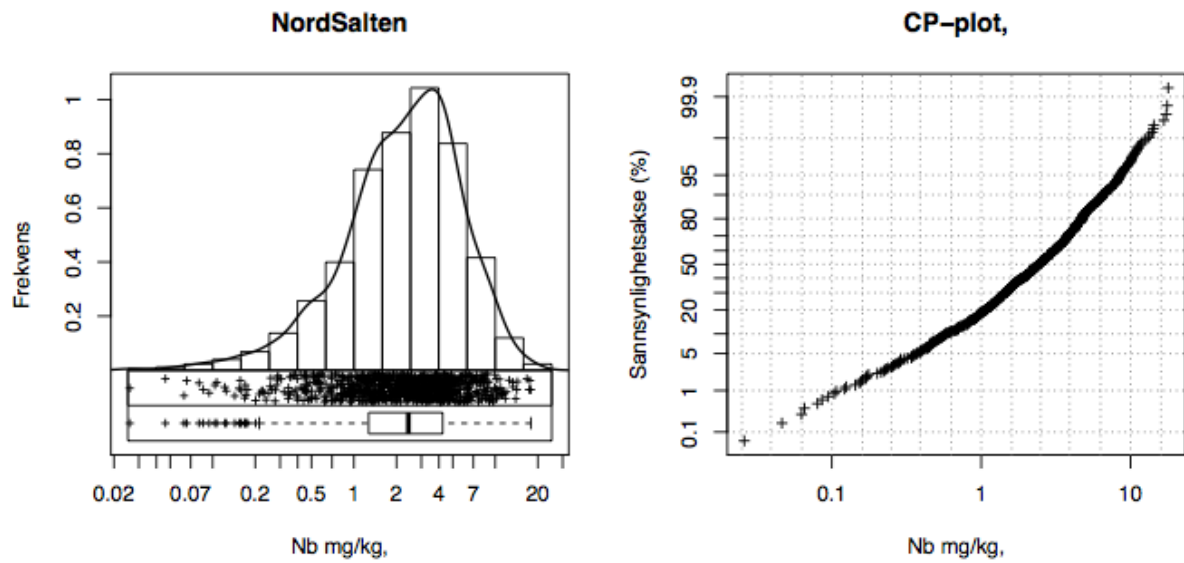
Figur 40: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av neodym.



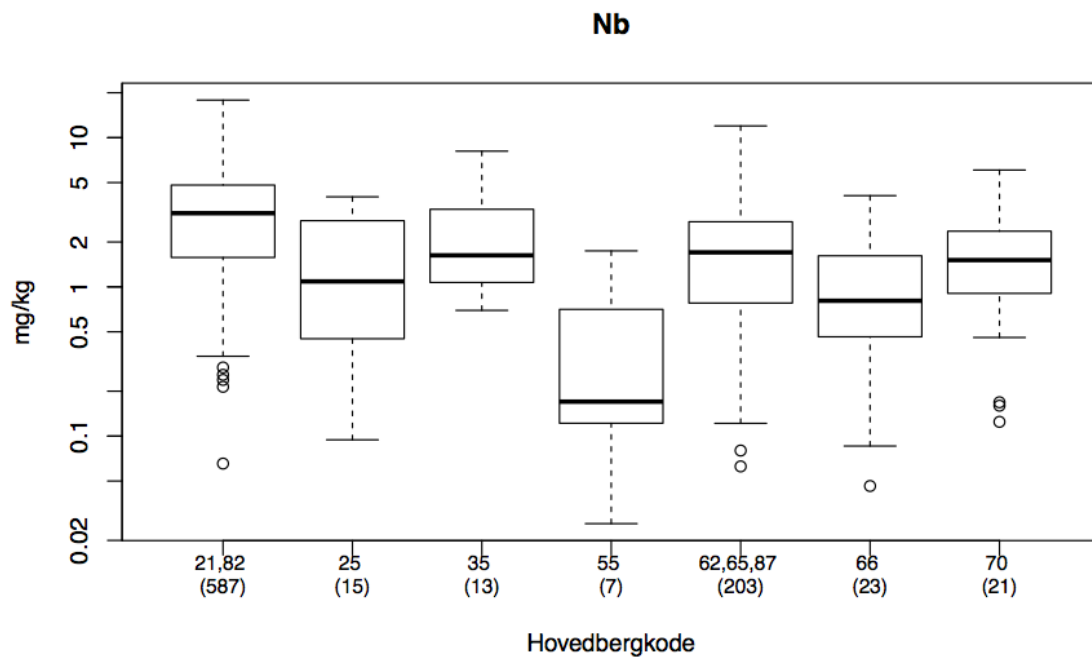
Figur 41: Bokplott for neodymfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



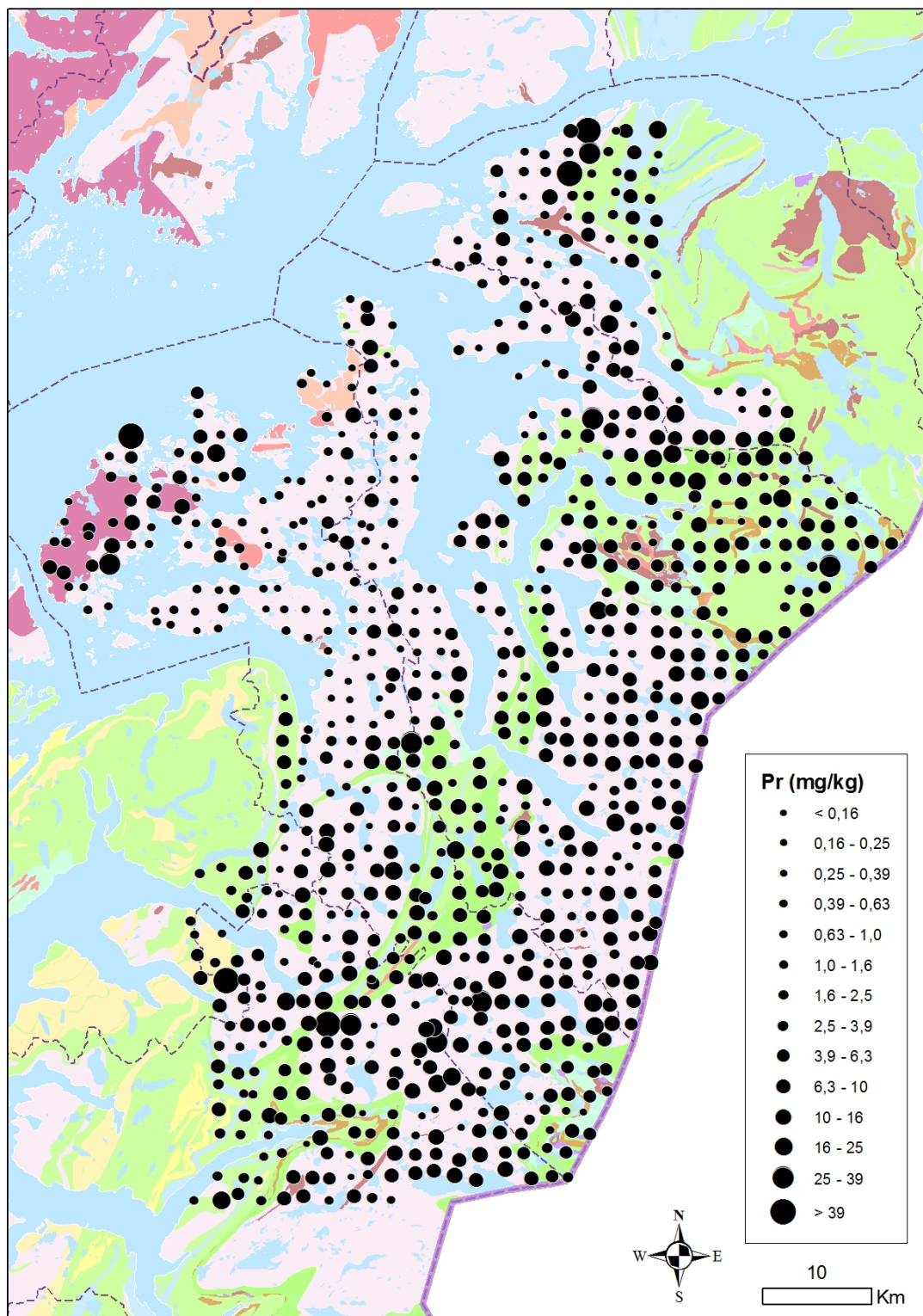
Figur 42: Oversiktsbilde av niobkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



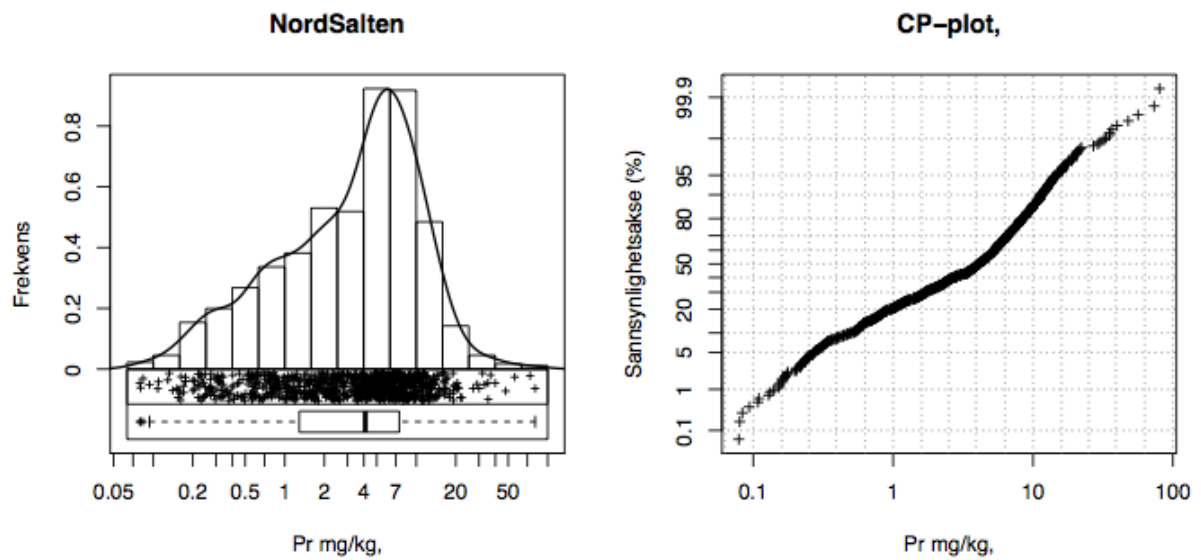
Figur 43: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av niob.



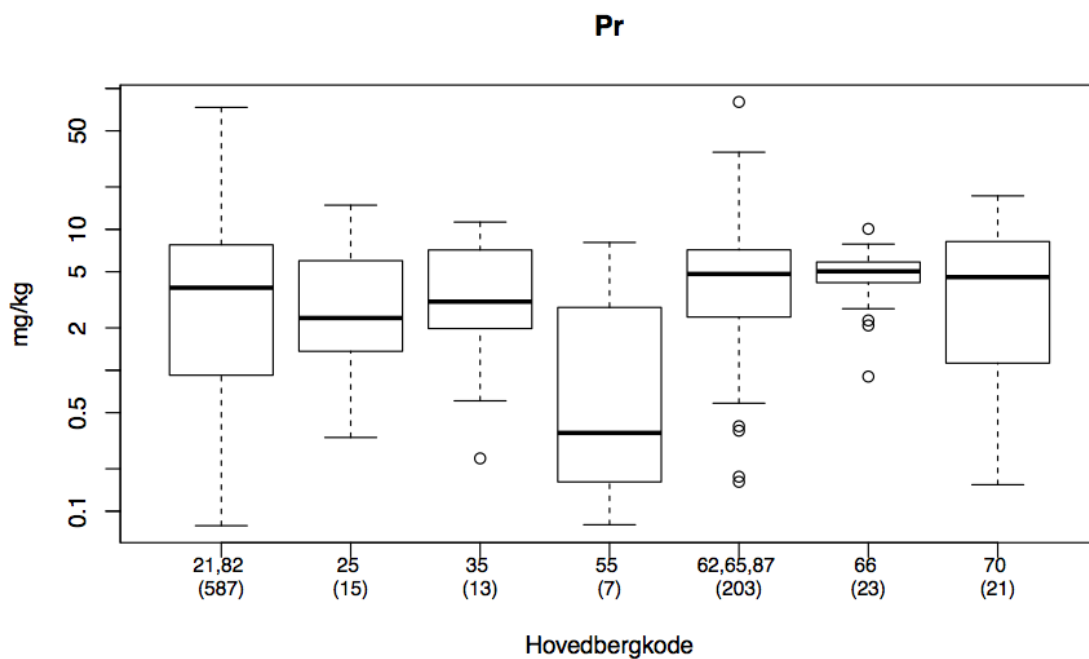
Figur 44: Boksploott for niobfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



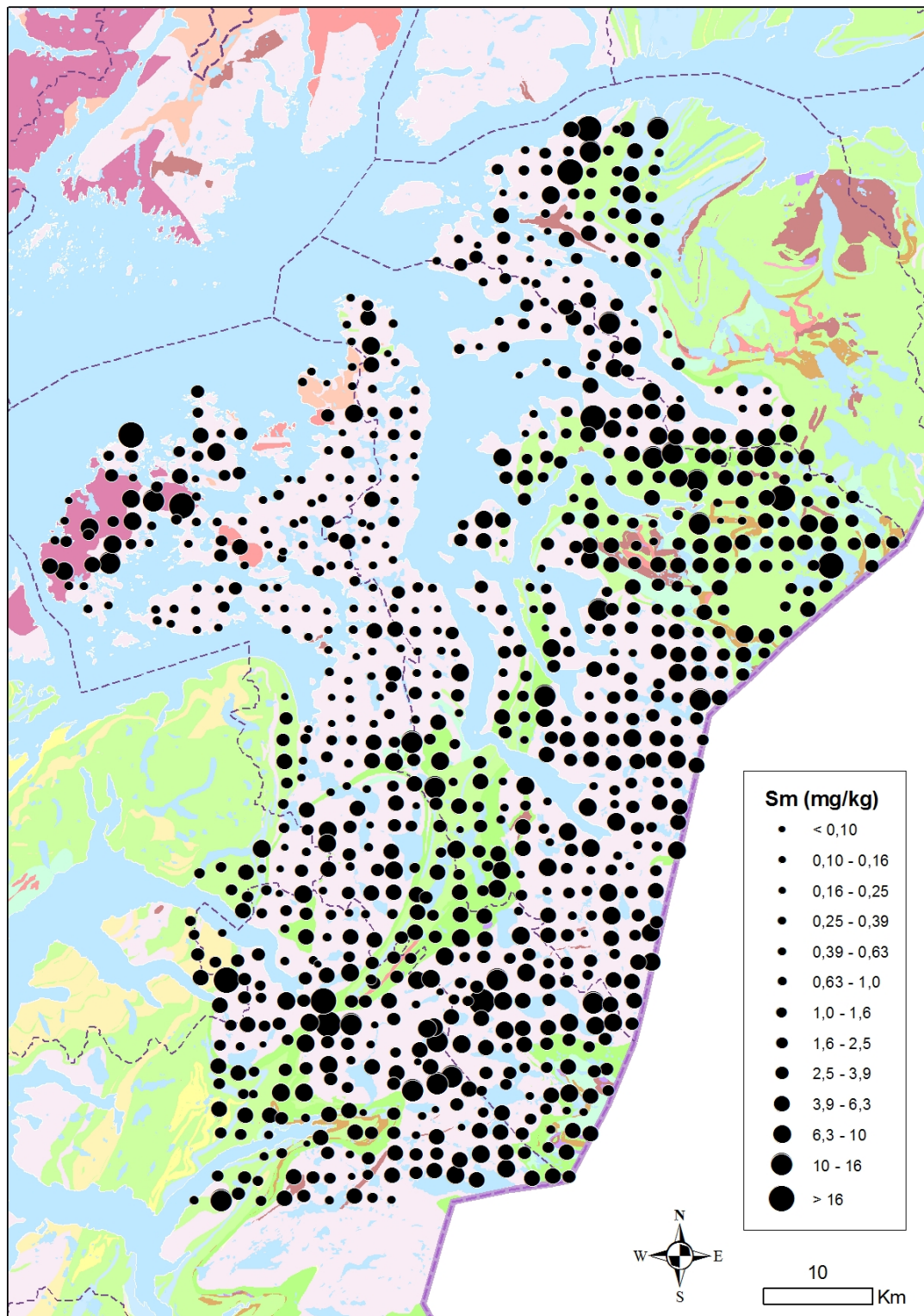
Figur 45: Oversiktsbilde av praseodymkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



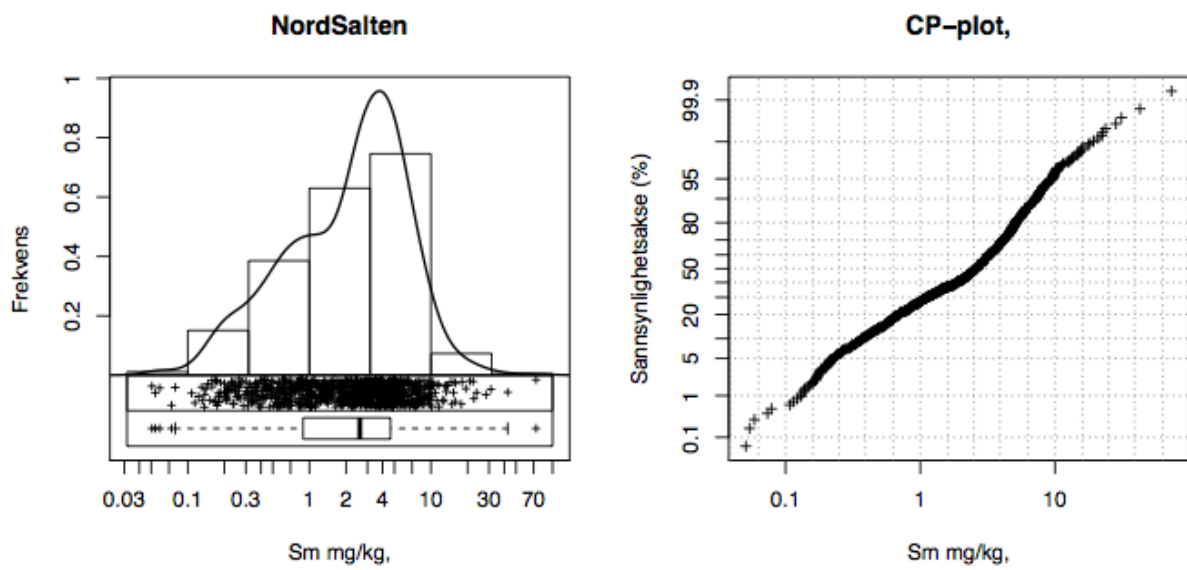
Figur 46: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av praseodym.



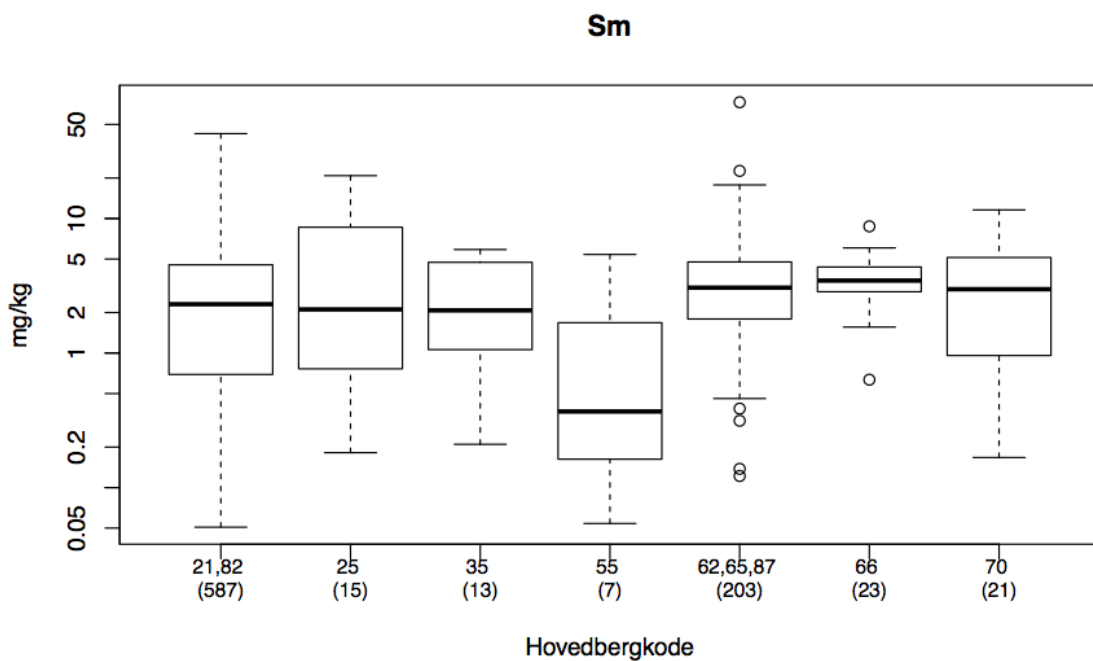
Figur 47: Boksplott for praseodymfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



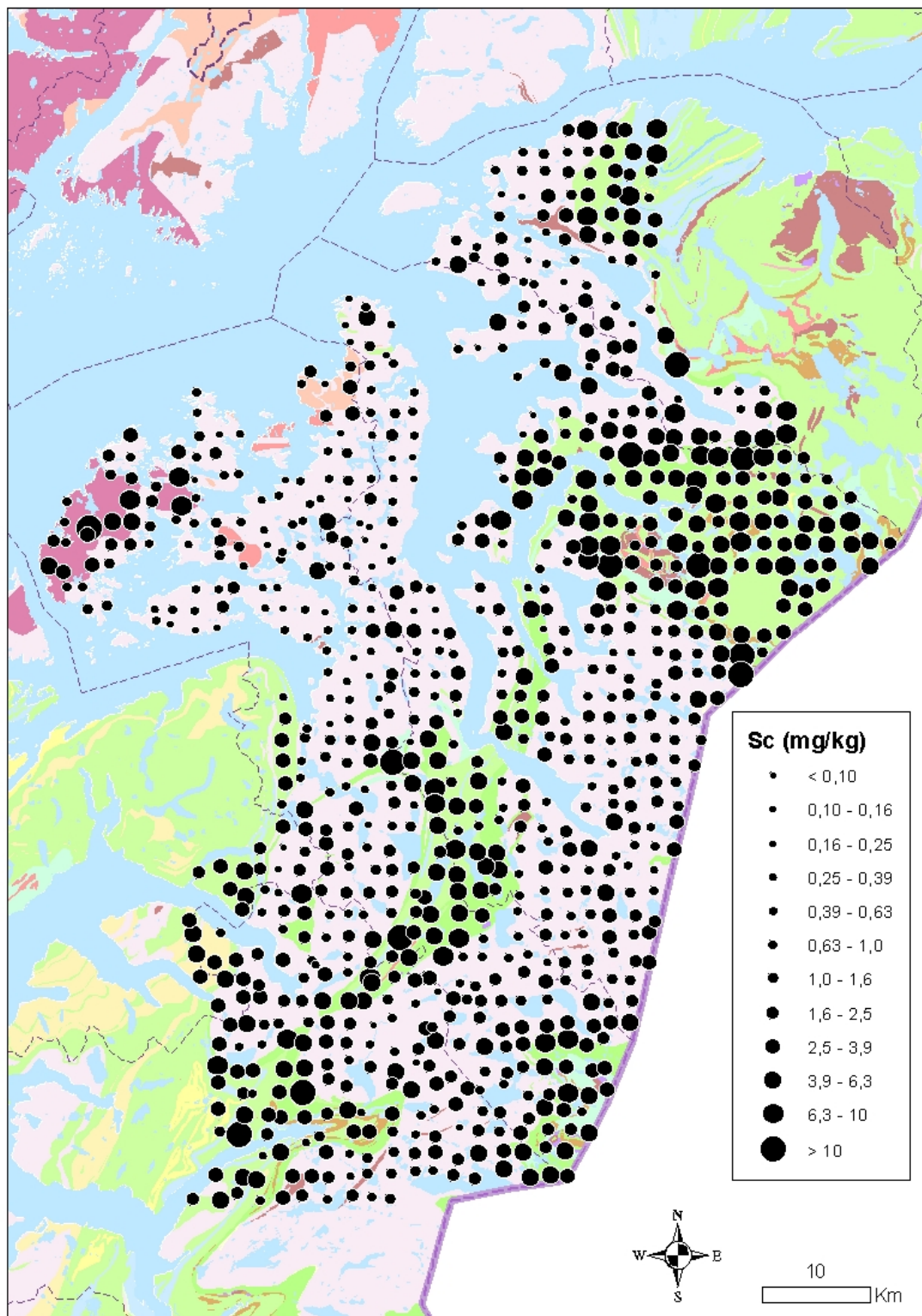
Figur 48: Oversiktsbilde av samariumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



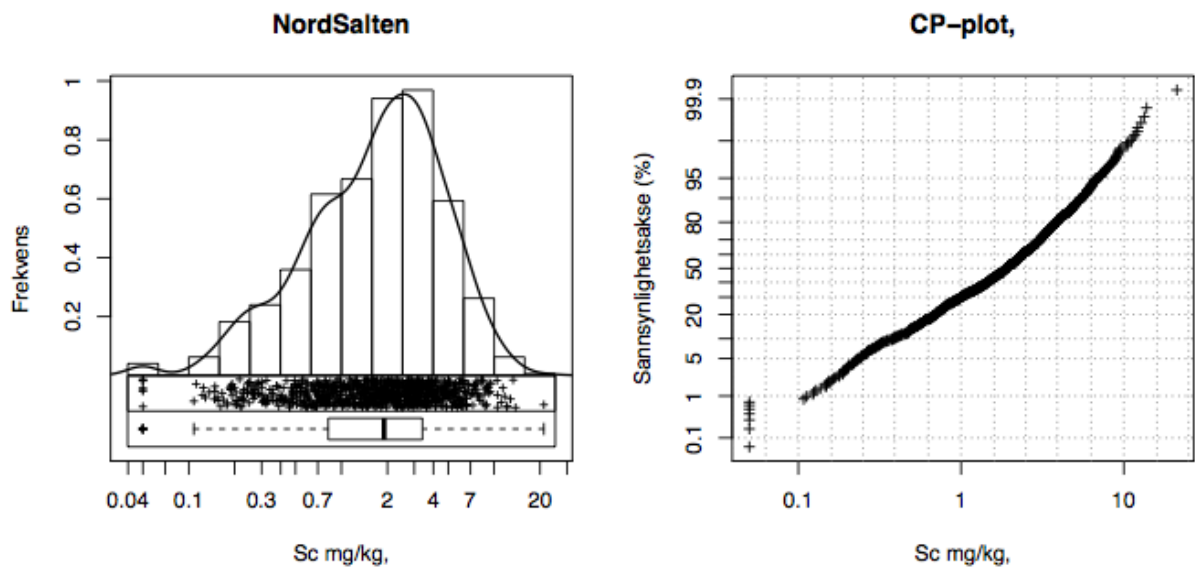
Figur 49: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av samarium.



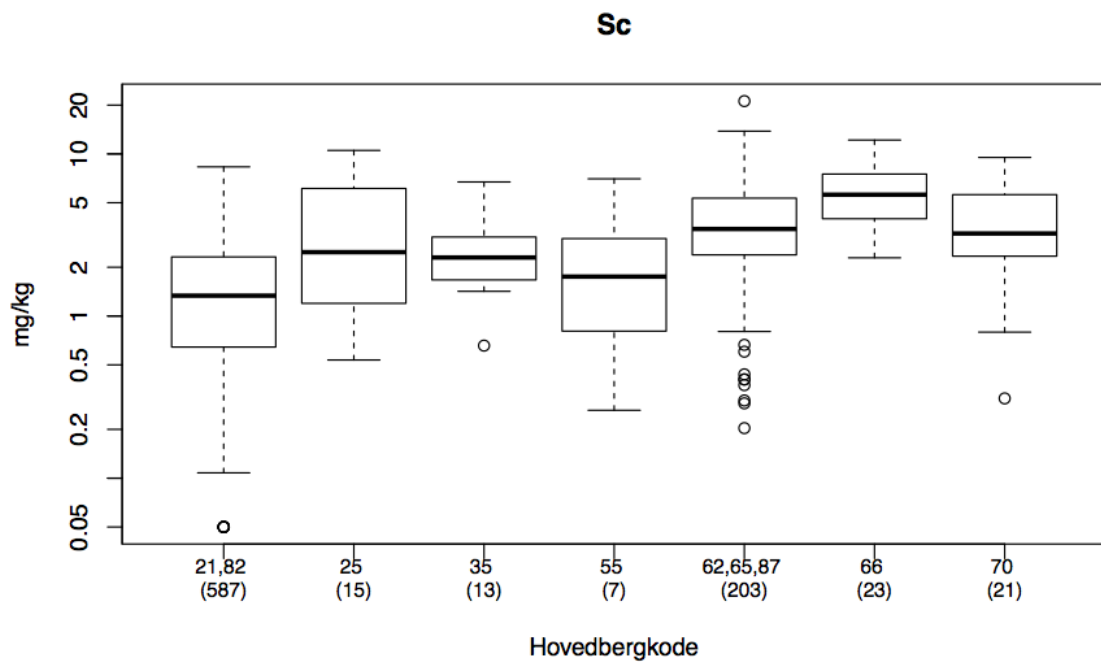
Figur 50: Boksploott for samariumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



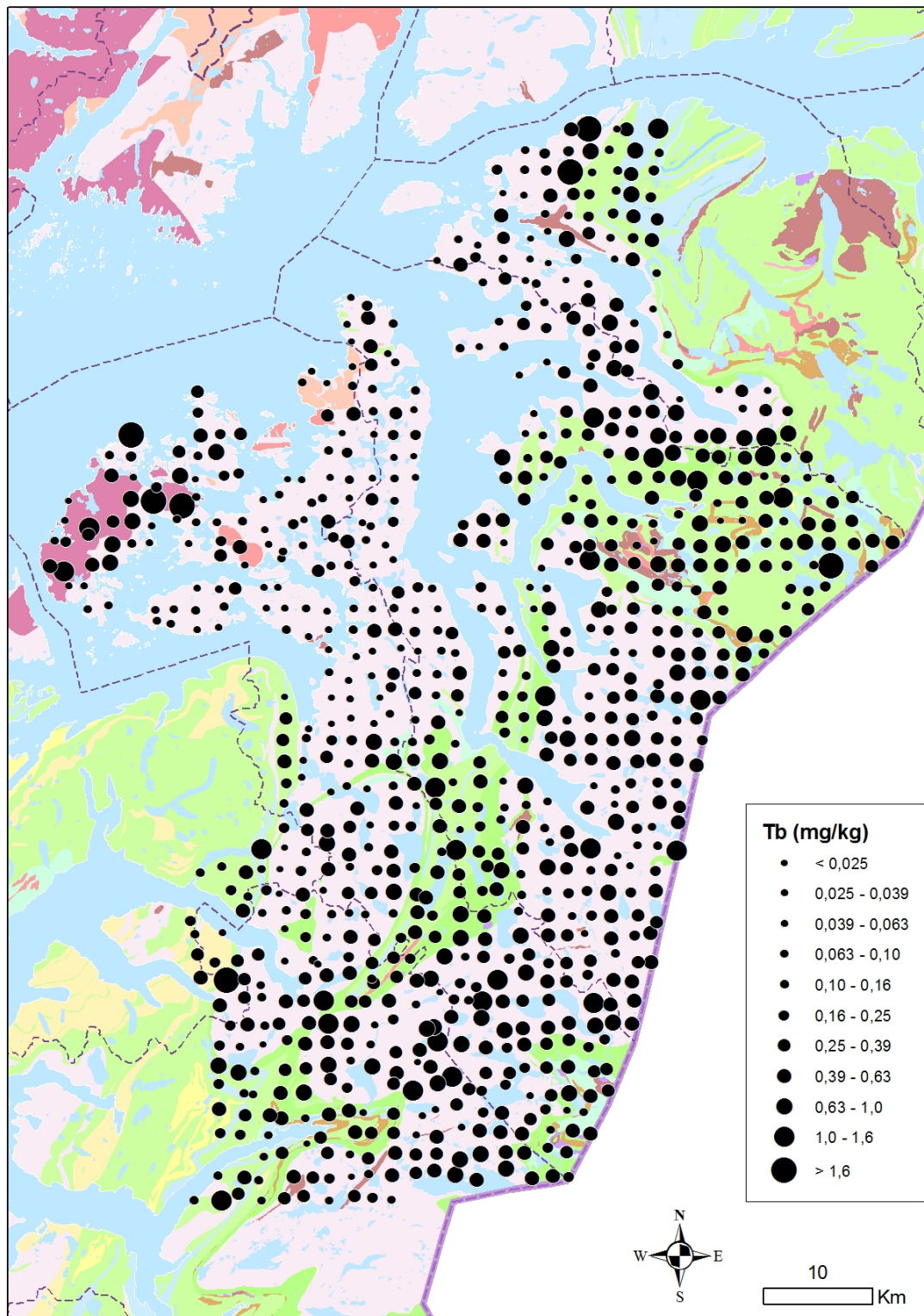
Figur 51: Oversiktsbilde av scandiumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



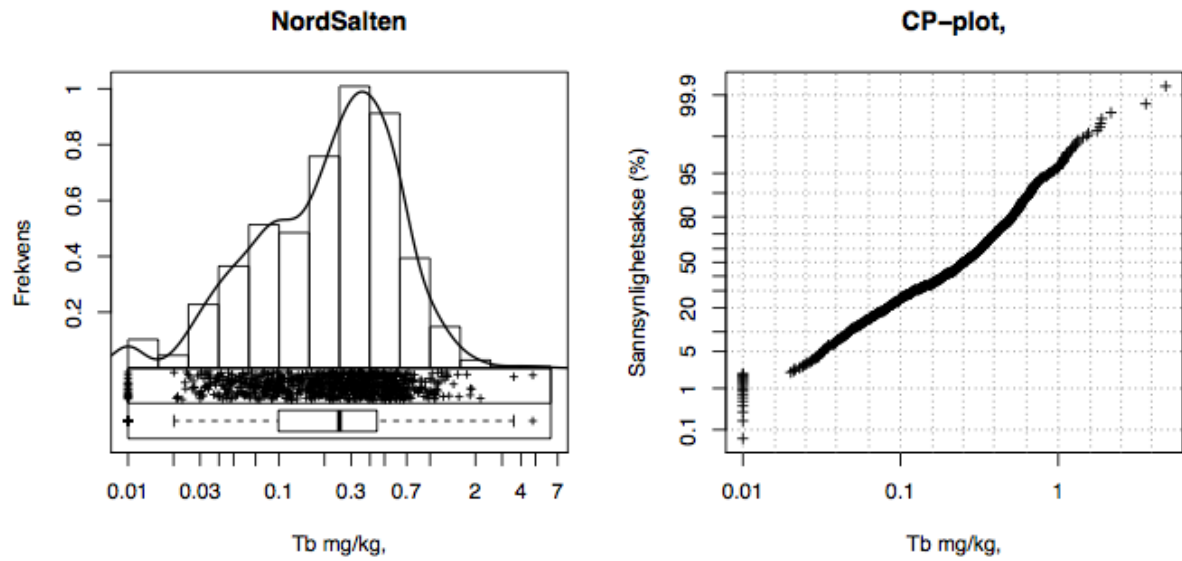
Figur 52: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av scandium.



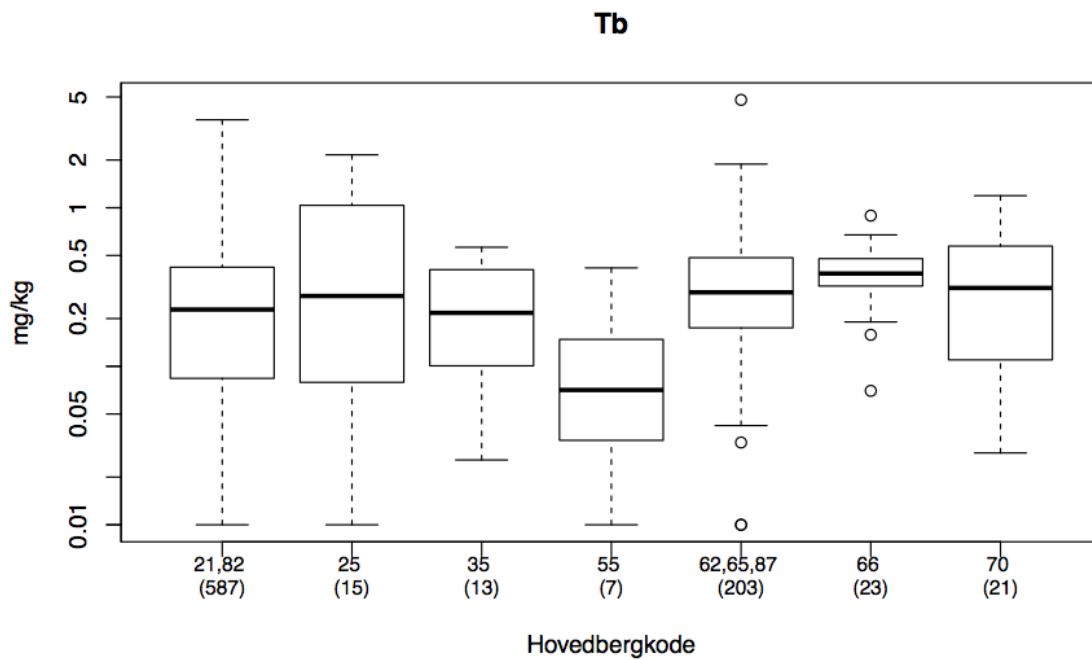
Figur 53: Boksplott for scandiumfordelingen i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



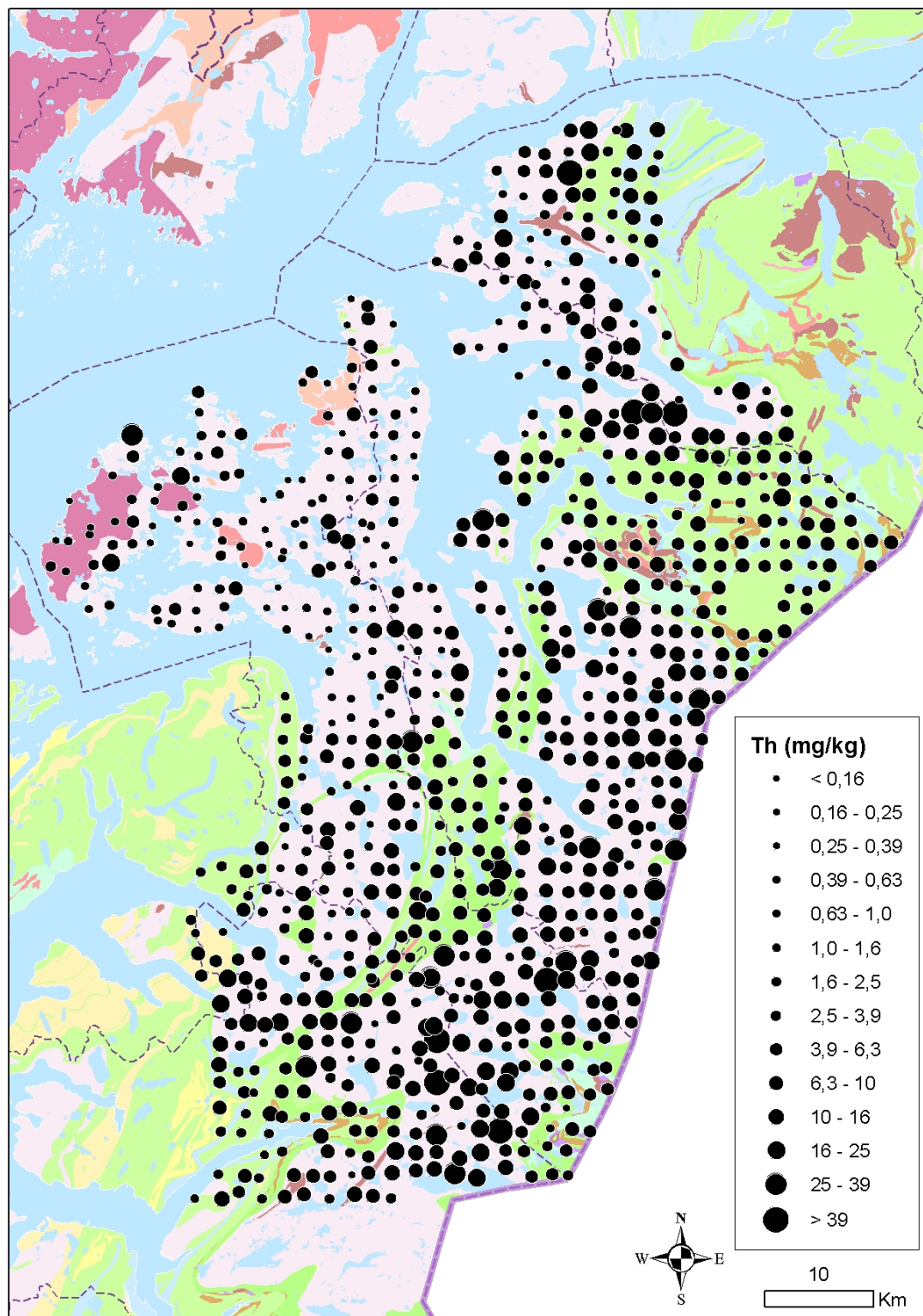
Figur 54: Oversiktsbilde av terbiumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



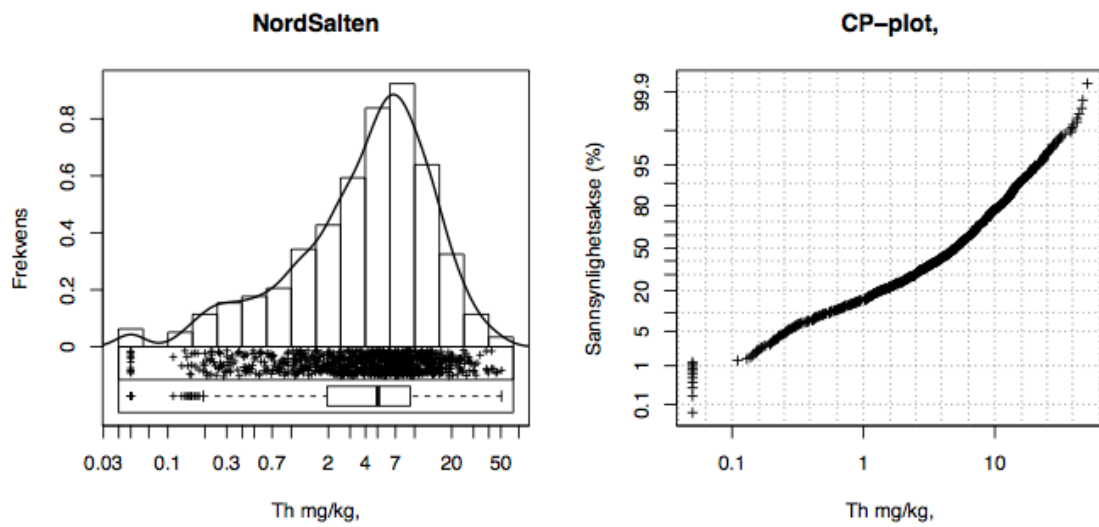
Figur 55: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av terbium.



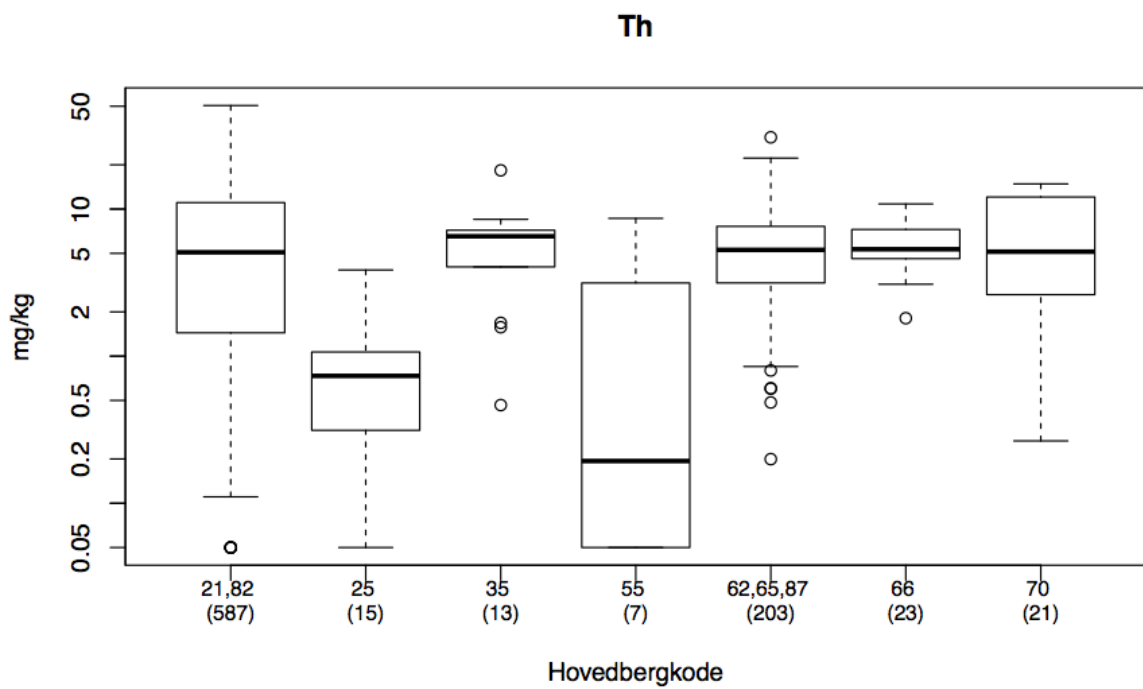
Figur 56: BoksploTT for terbiumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



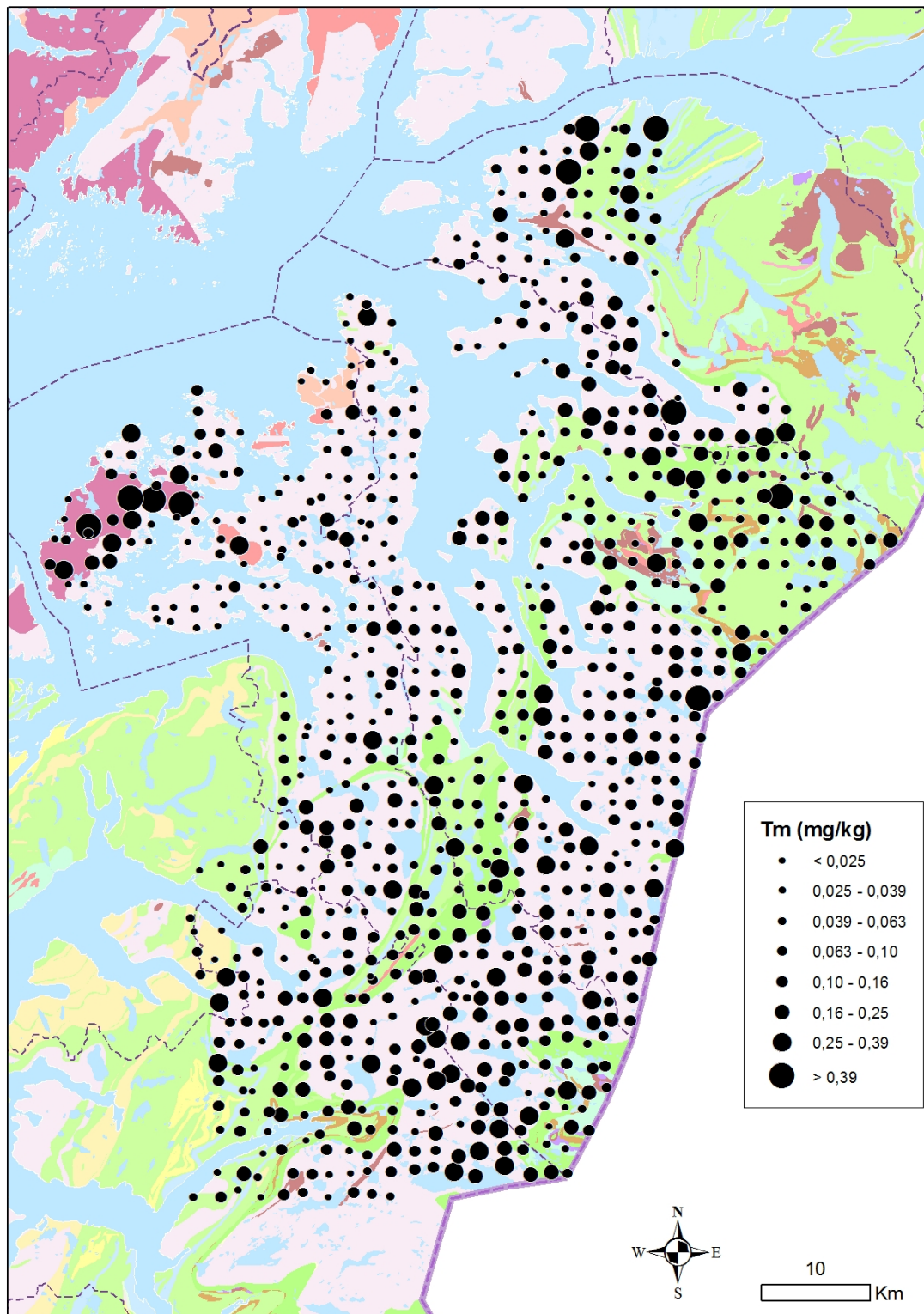
Figur 57: Oversiktsbilde av thoriumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



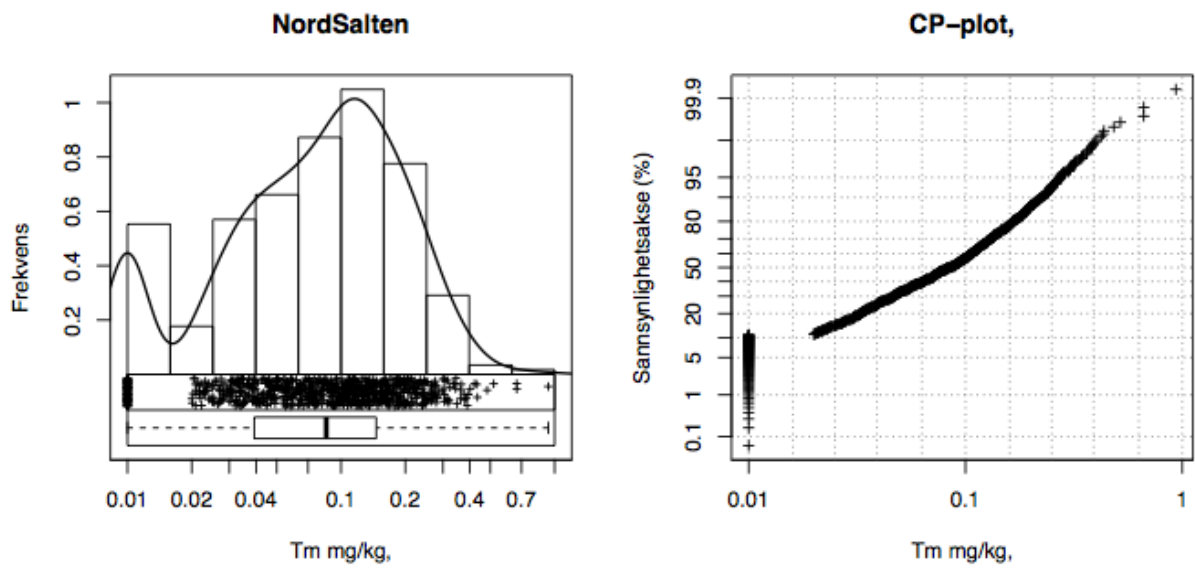
Figur 58: Kumulative frekvensfordeling for konsentrasjonen av thorium.



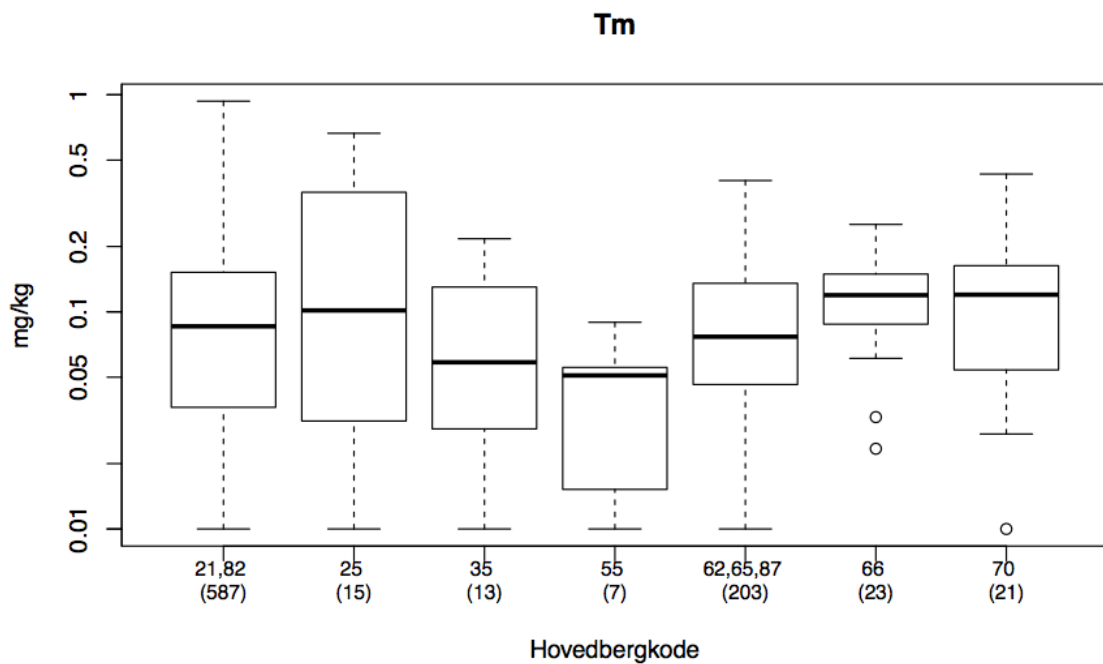
Figur 59: Boksplott for thorium i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



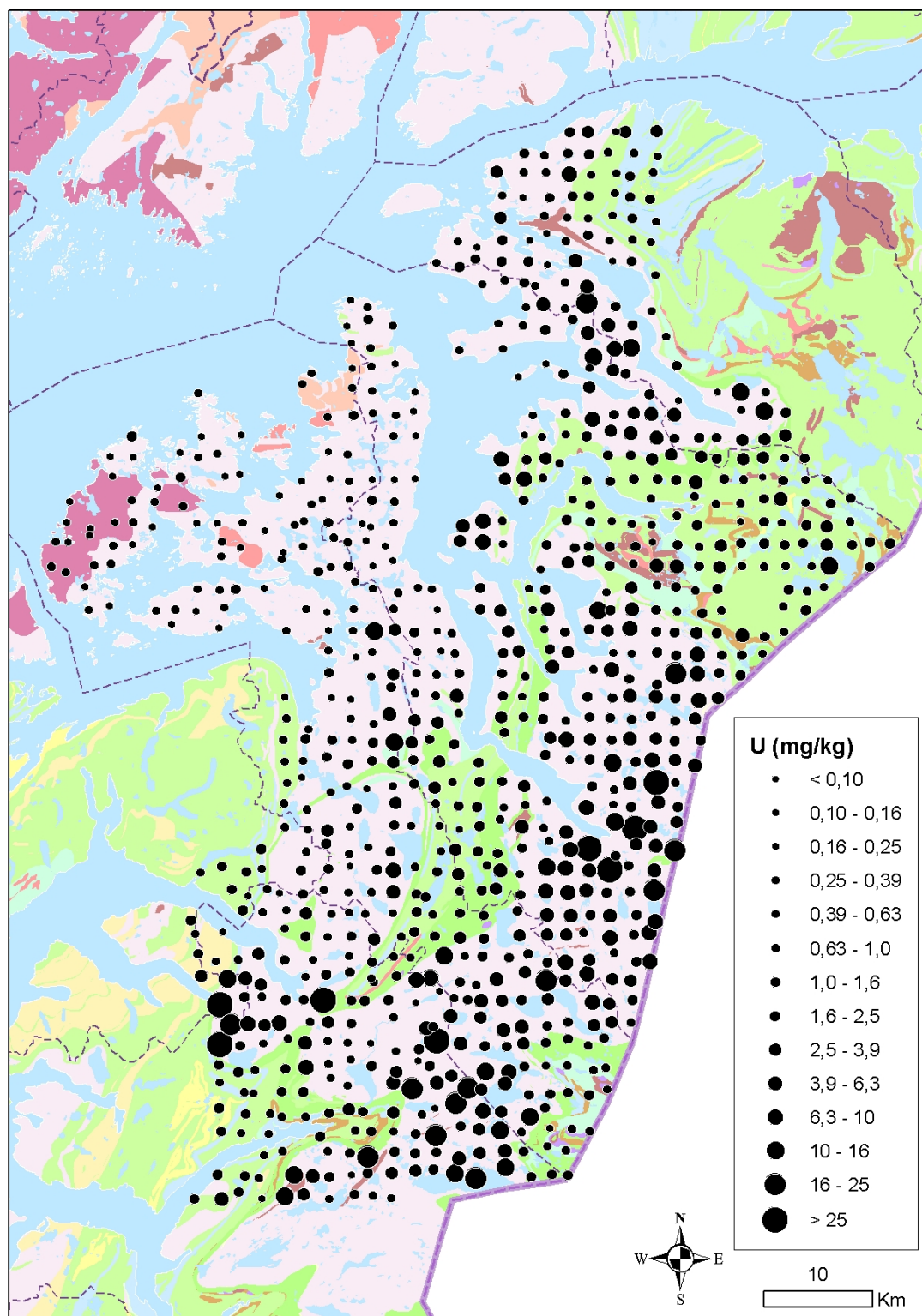
Figur 60: Oversiktsbilde av thuliumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



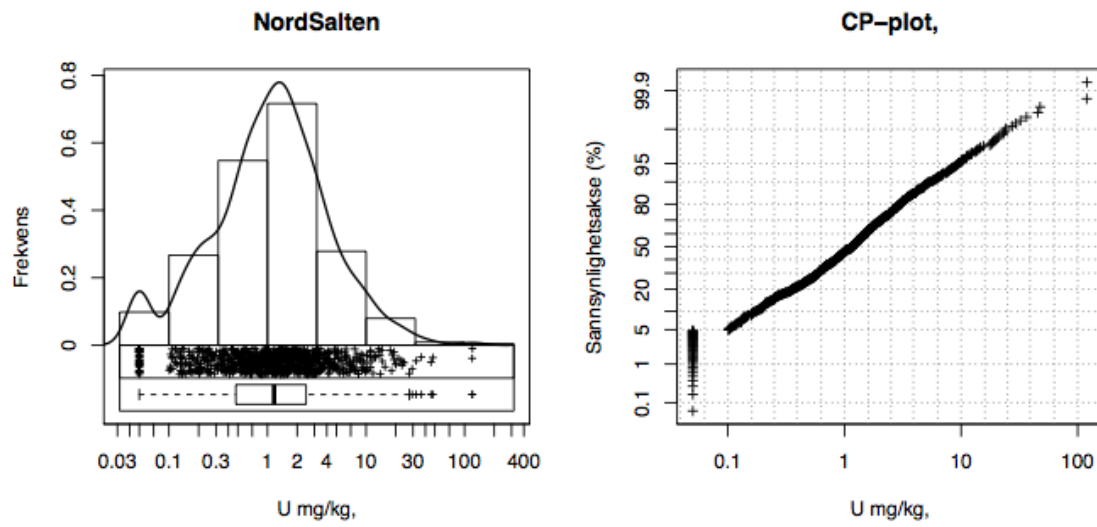
Figur 61: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av thulium.



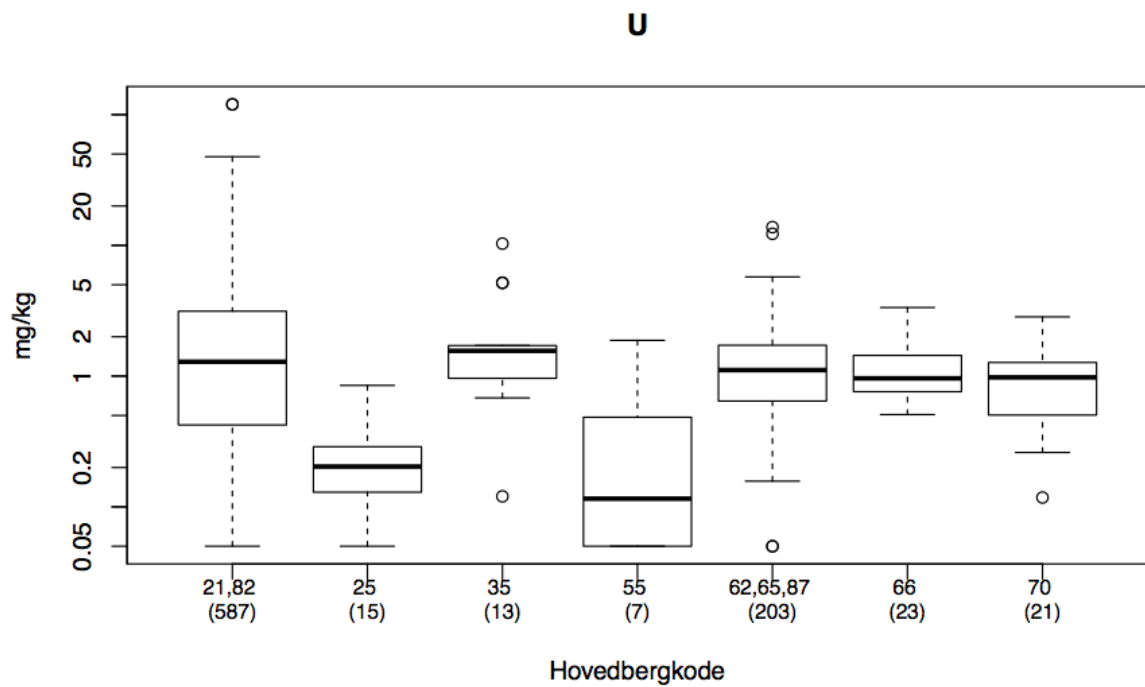
Figur 62: Boksploott for thuliumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



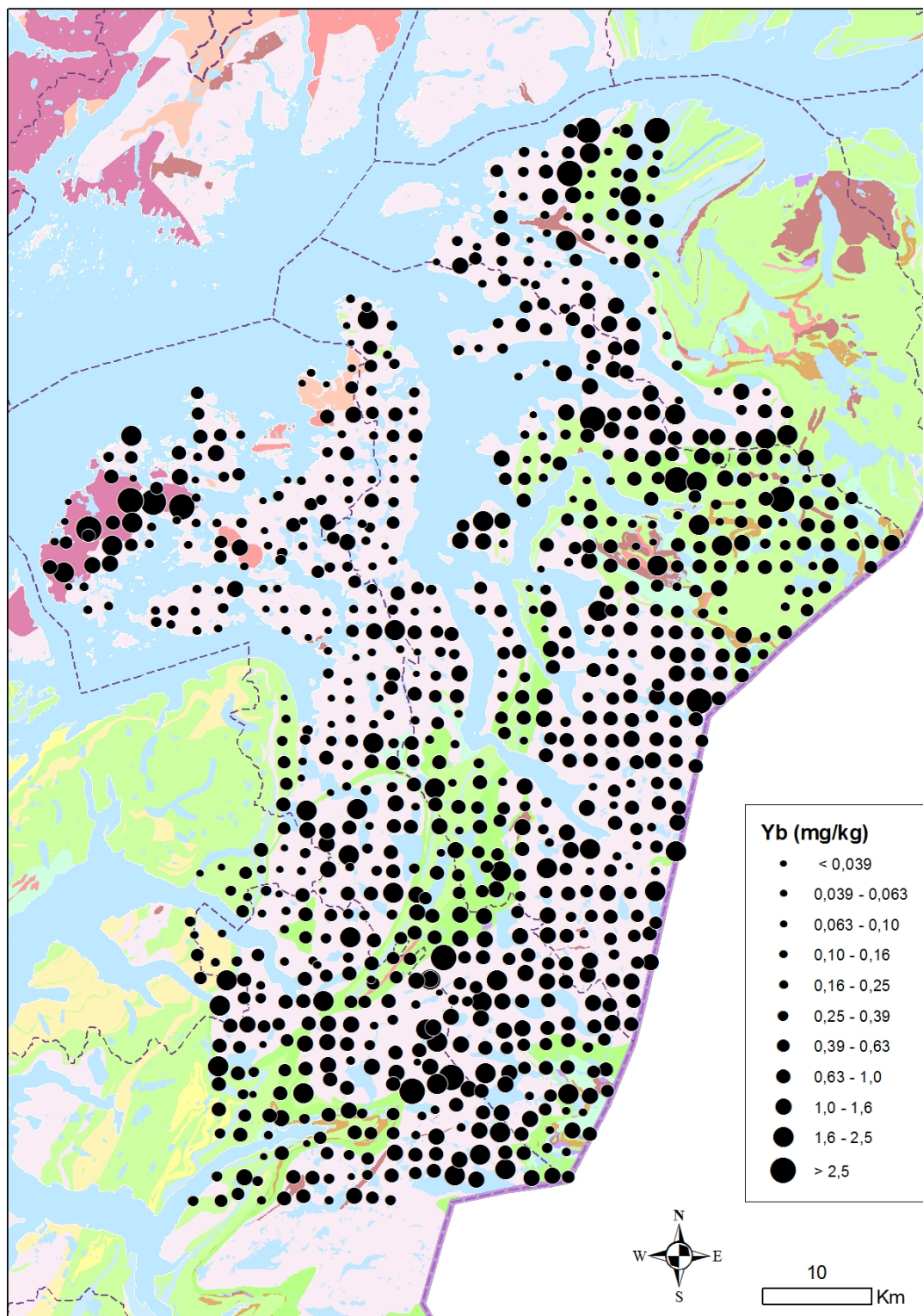
Figur 63: Oversiktsbilde over urankonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



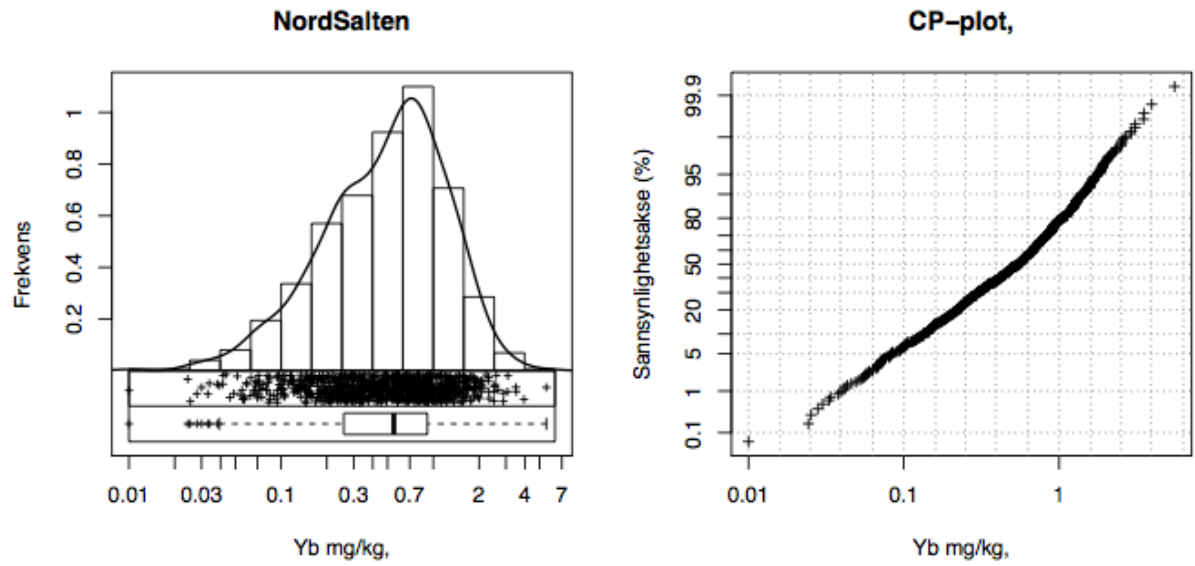
Figur 64: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av uran.



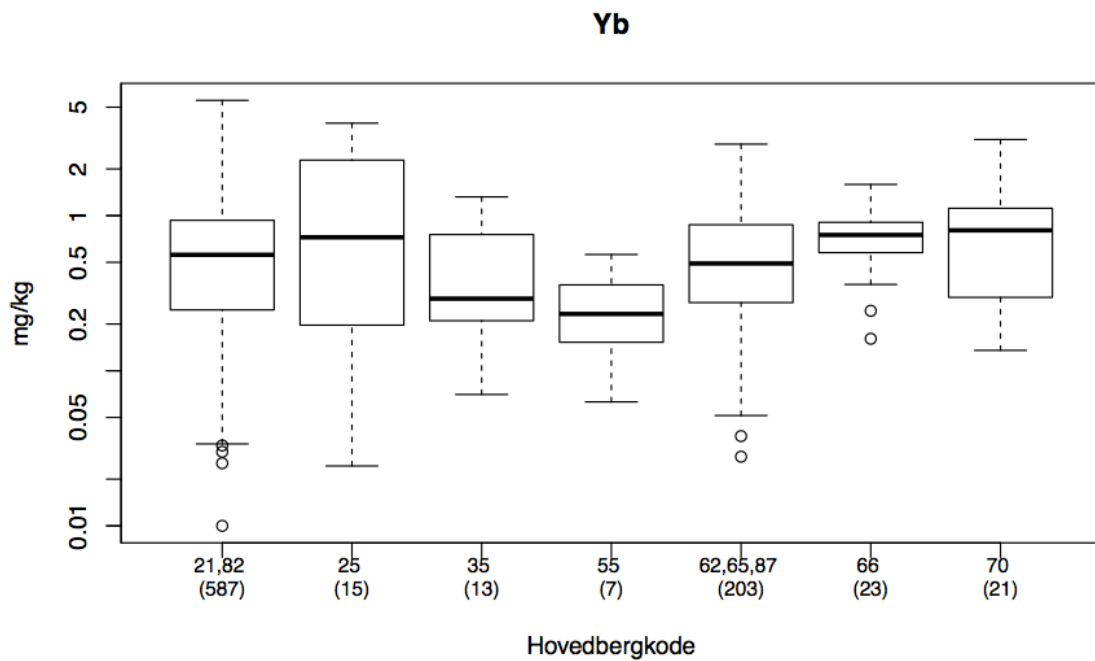
Figur 65: Boksplott for fordelingen av uran i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



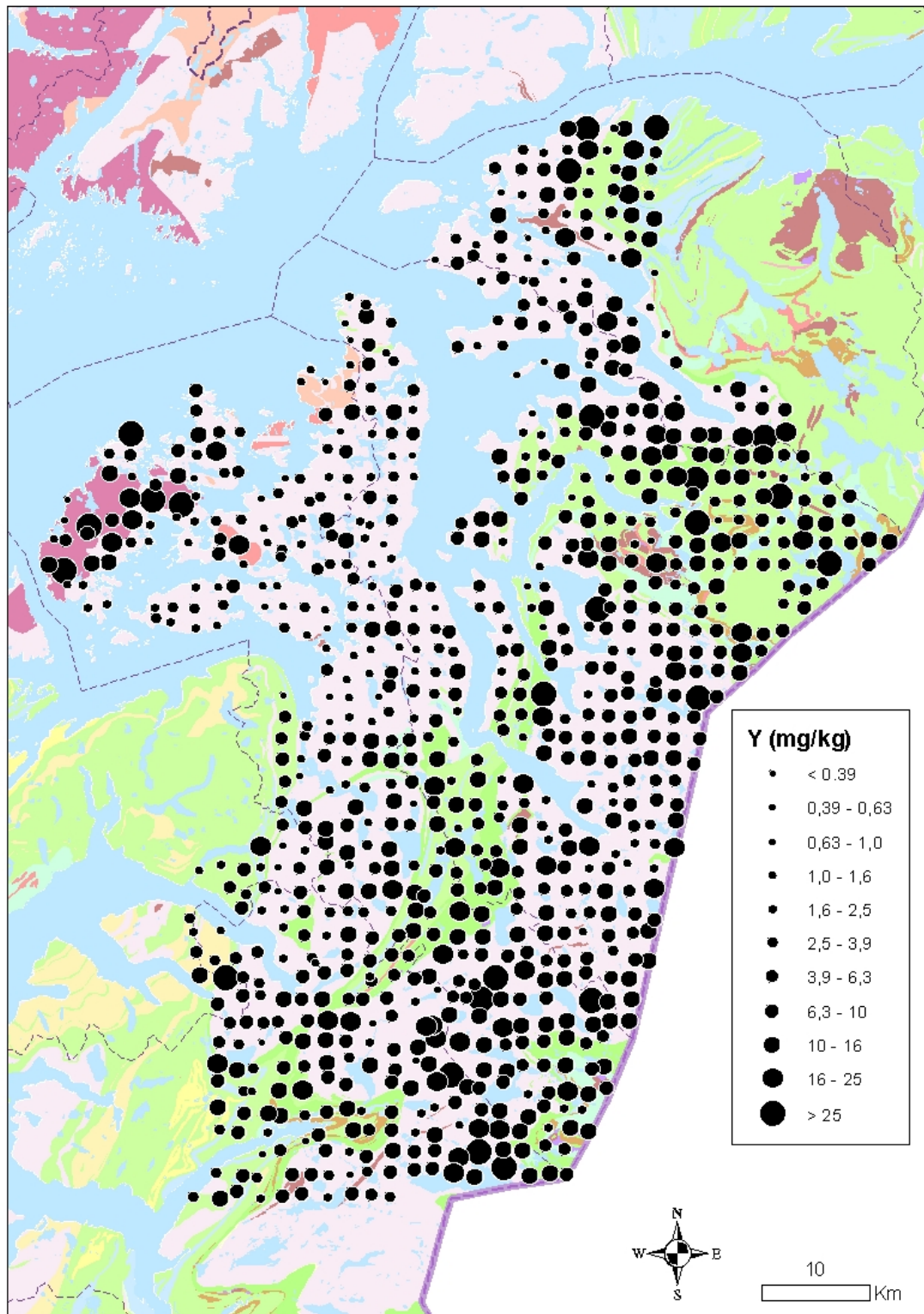
Figur 66: Oversiktsbilde av ytterbiumkonsentrasjonen i Nord-Salten i Ofoten.



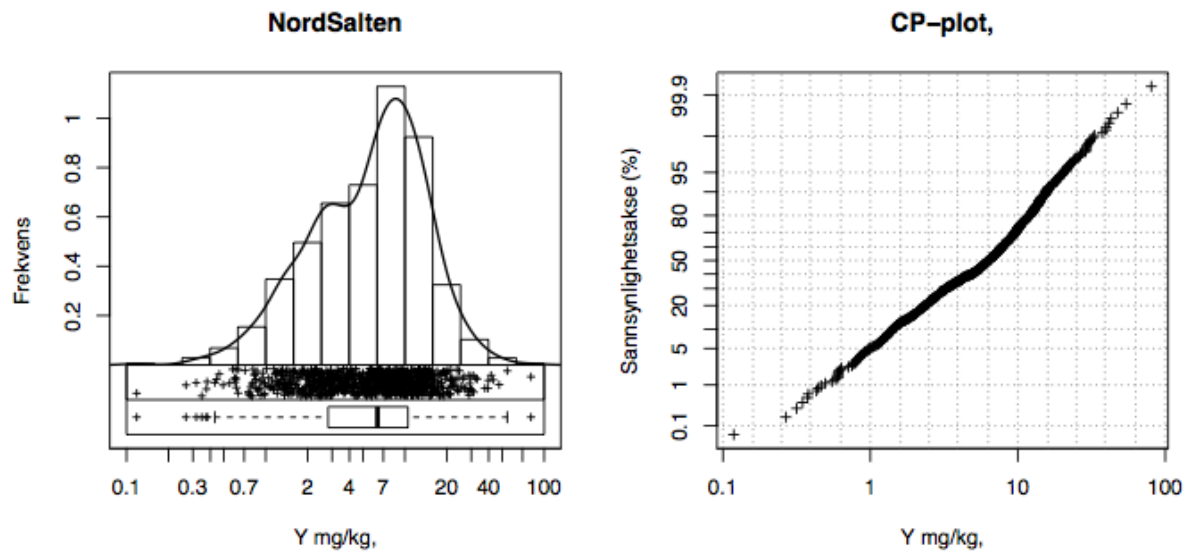
Figur 67: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av ytterbium.



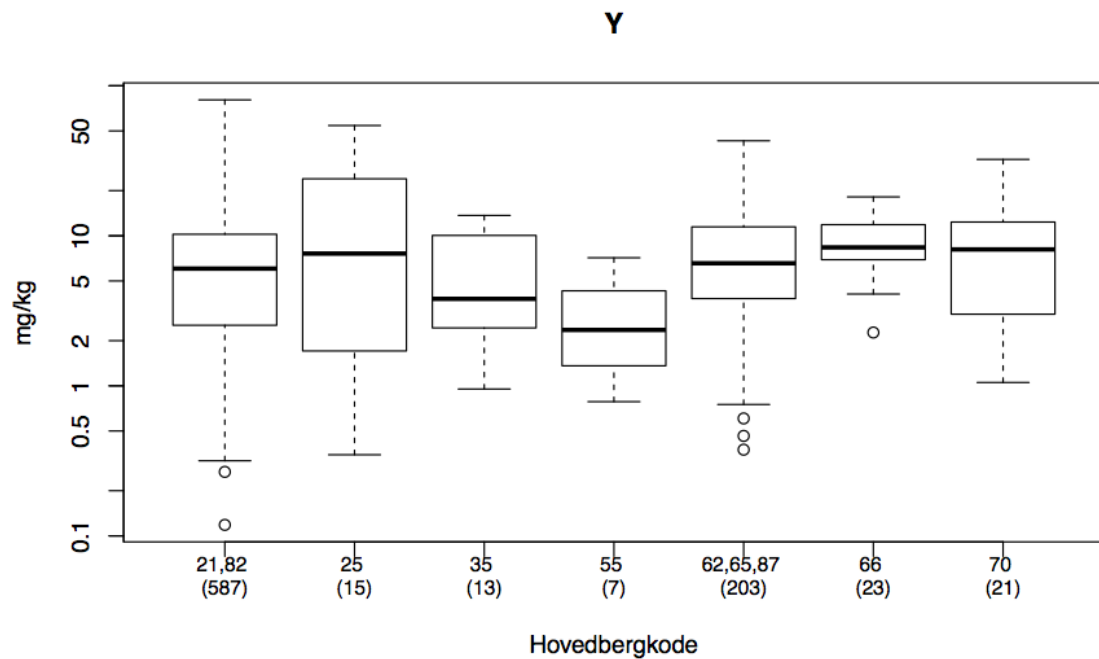
Figur 68: Boksplott for ytterbiumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.



Figur 69: Oversiktsbilde over yttriumkonsentrasjonen i Nord-Salten og Ofoten.



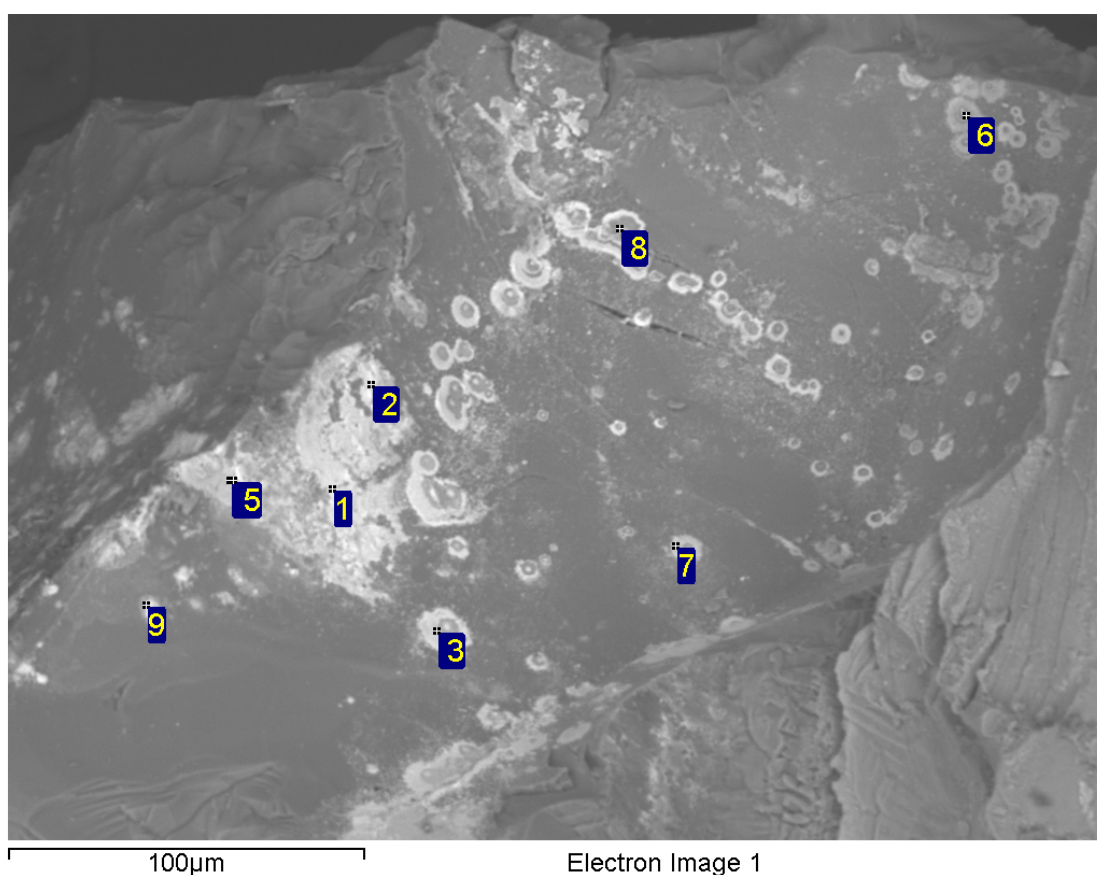
Figur 70: Kumulativ frekvensfordeling for konsentrasjonen av yttrium.



Figur 71: Boksploott for yttriumfordeling i ulike bergarter. Se Figur 11 for forklaring av bergartskodene.

4.2 SEM-bilder

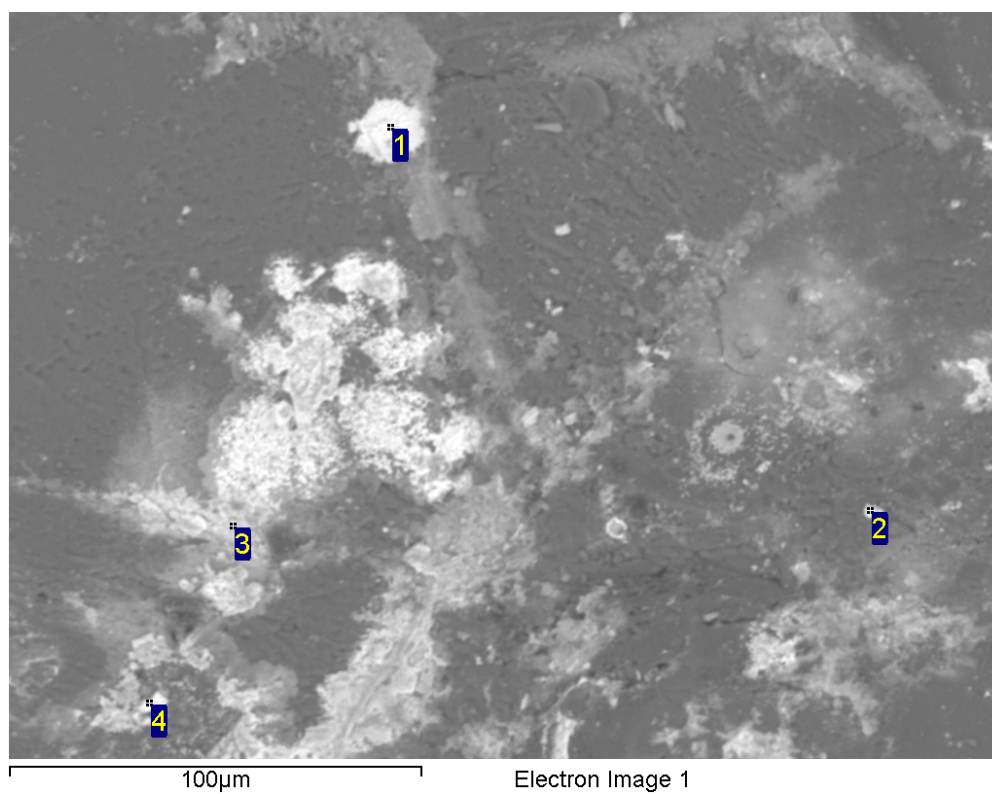
Figur 72-81 viser er de mest interessante funnene som ble gjort ved SEM-analysene. Tilhørende tabeller (Tabell 7-16) viser en oversikt over de detekterte grunnstoffene i hver av prøvene (Figur 72-81). Sum av alle de detekterte grunnstoffene er 100% (har blitt normalisert). Spekternummereringene vist i venstre kolonne i disse tabellene er tallene avbildet i Figur 72-81. Disse viser hvor i figurene analysemålingene er utført.



Figur 72: Prøve 2633-2, SOI 4.

Tabell 7: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2633-2, SOI 4.

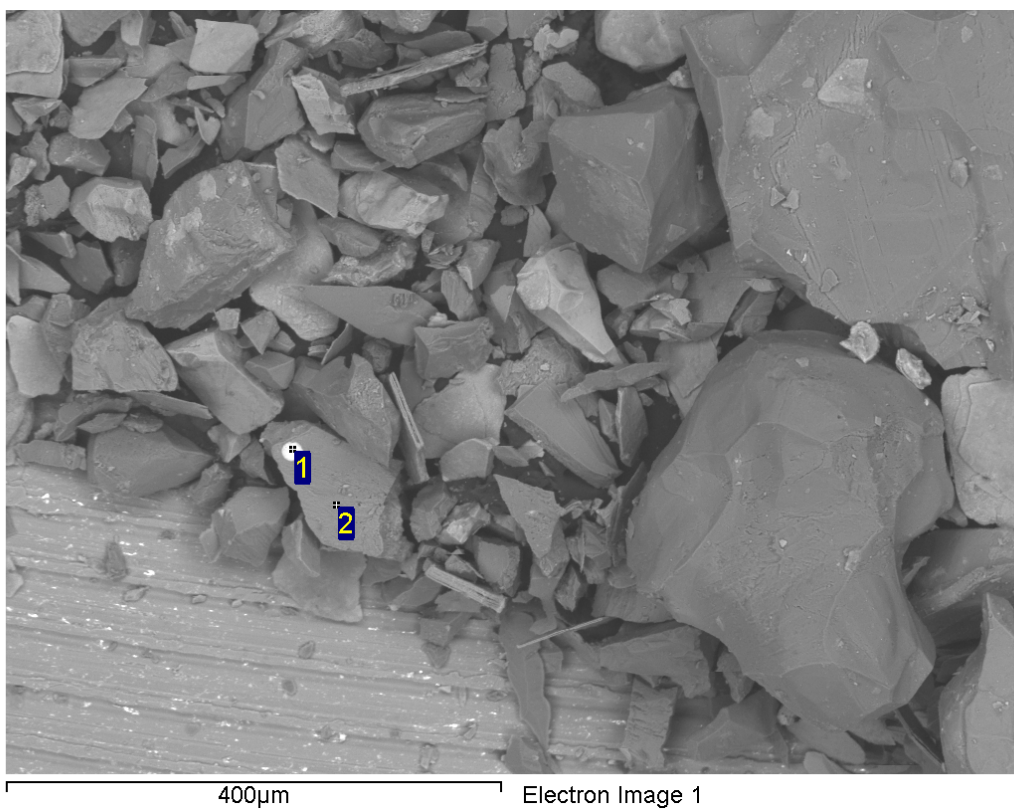
Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	K	Fe	Ce	Total
1	No	14.76	48.83	6.66	19.22	4.58	5.95		100.00
2	No	4.04	26.70	5.30	12.87	2.78	6.08	42.24	100.00
3	No	10.82	50.10	6.97	21.27	4.74	6.11		100.00
4	No	9.29	31.09	6.89	15.87	3.47	7.22	26.17	100.00
5	No	6.72	33.14	6.43	15.98	3.21	6.34	28.18	100.00
6	No		47.77	8.86	25.68	7.96	1.46	8.28	100.00
7	No	12.50	48.68	7.46	20.04	4.74	6.58		100.00
8	No	13.66	47.32	7.39	20.00	5.27	6.36		100.00
9	No	2.38	21.81	5.15	12.31	3.22	6.32	48.81	100.00



Figur 73: Prøve 2633-2, SOI 1.

Tabell 8: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2633-2, SOI 1.

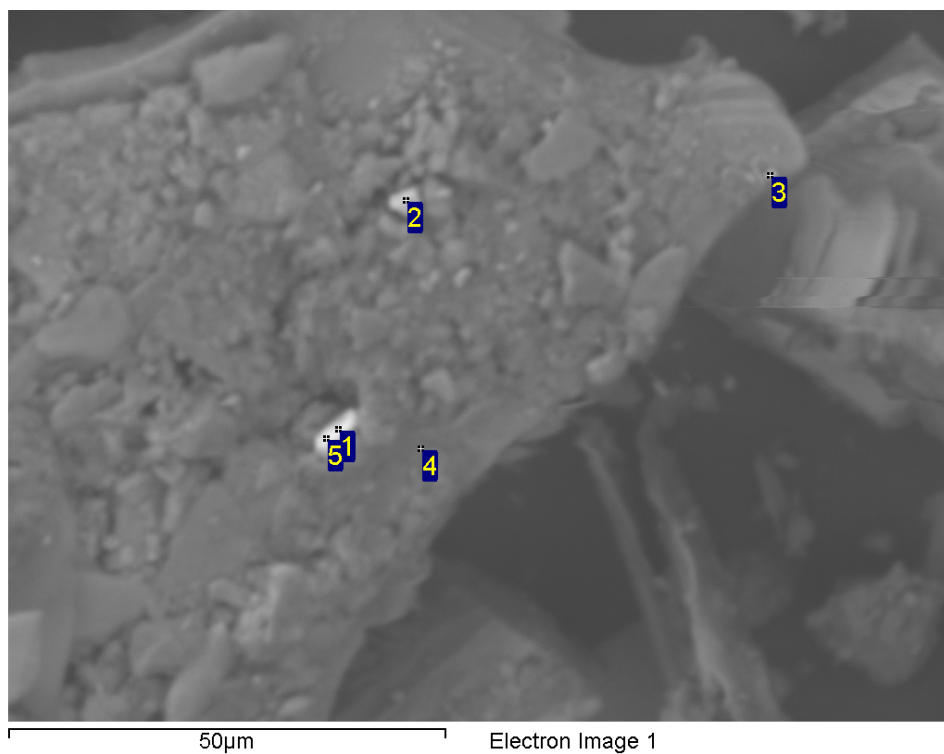
Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	P	Mn	Fe	Ce	Total
Spectrum 1	No	2.86	33.67	1.97	13.70	1.29		3.23	43.28	100.00
Spectrum 2	No	2.40	28.33	2.17	21.77	0.81	3.14	3.56	37.82	100.00
Spectrum 3	No	2.51	39.52	3.08	20.11	0.59	4.21	6.94	23.03	100.00
Spectrum 4	No	1.79	23.81	2.35	11.71	0.81	3.77	2.02	53.76	100.00



Figur 74: Prøve 2129, SOI 1.

Tabell 9: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2129, SOI 1.

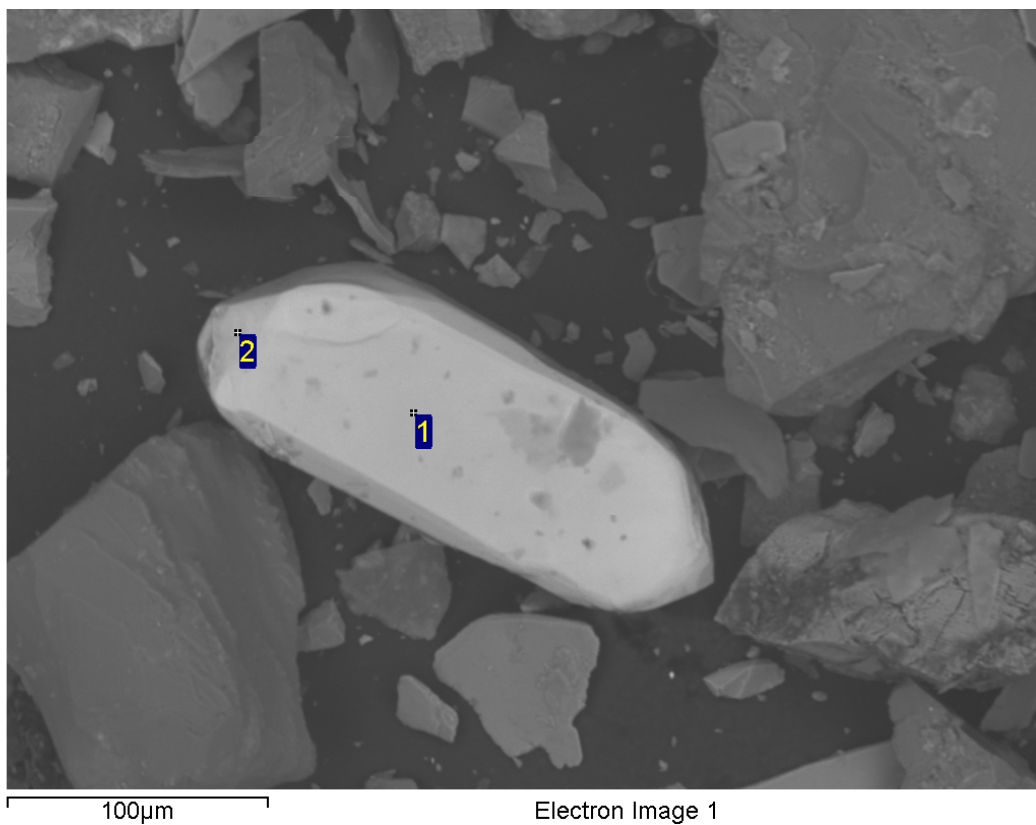
Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	P	K	Fe	Ce	Total
Spectrum 1	No	2.60	45.56	7.90	17.03	1.22	4.92	4.34	16.44	100.00
Spectrum 2	No		48.93	11.37	30.21		9.49			100.00



Figur 75: Prøve 2758, SOI 4.

Tabell 10: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2758, SOI 4.

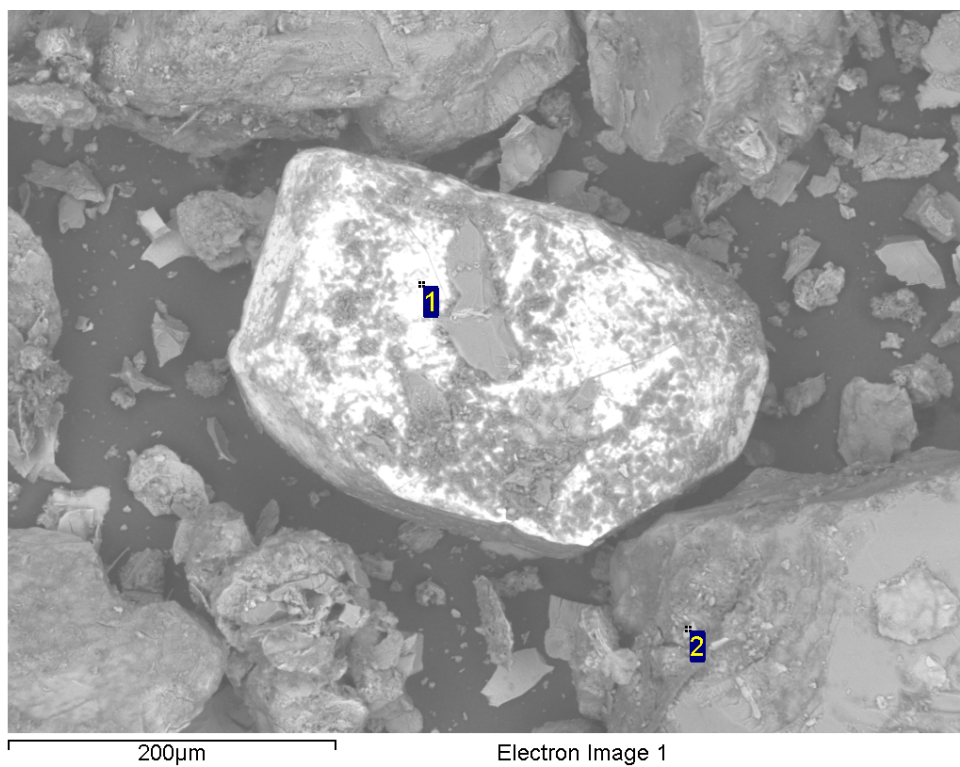
Spectrum	In stats.	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ti	Fe	Co	Br	Y	Er	Ir
1	Yes	4.11	42.48				2.47	0.61		1.51		2.21	14.90		31.72
2	Yes	3.72	40.52			3.23	2.52	0.42	1.83	47.35	0.41				
3	Yes		51.37	0.55	0.88	14.82	15.81	3.90	2.47	10.20					
4	Yes	18.77	34.54		0.52	14.10	10.75	4.40	1.34	15.58					
5	Yes	3.28	42.52				2.27	0.43		1.35		2.51	13.57	2.25	31.81



Figur 76: Prøve 2747, SOI 1.

Tabell 11: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2747, SOI 1.

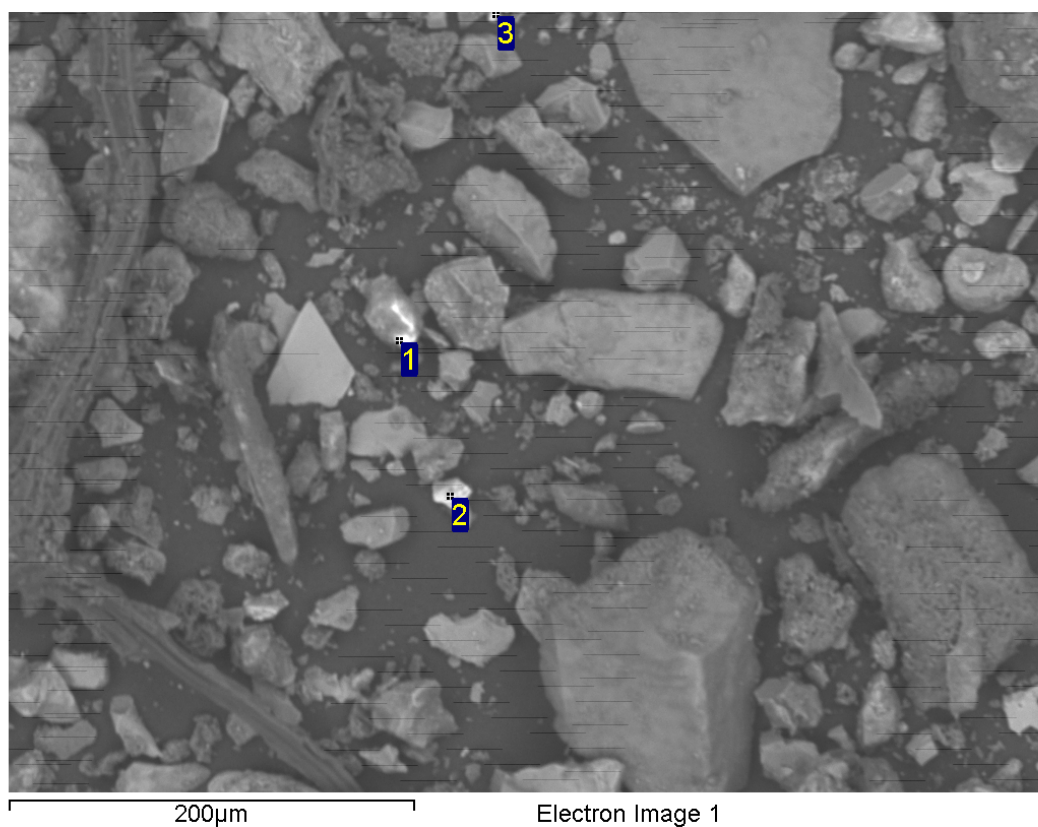
Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Fe	Zr	Total
Spectrum 1	No	3.39	41.81		16.43	0.66	37.72	100.00
Spectrum 2	No	4.42	42.24	0.50	15.79	0.75	36.30	100.00



Figur 77: Prøve 2306, SOI 2.

Tabell 12: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2306, SOI 2.

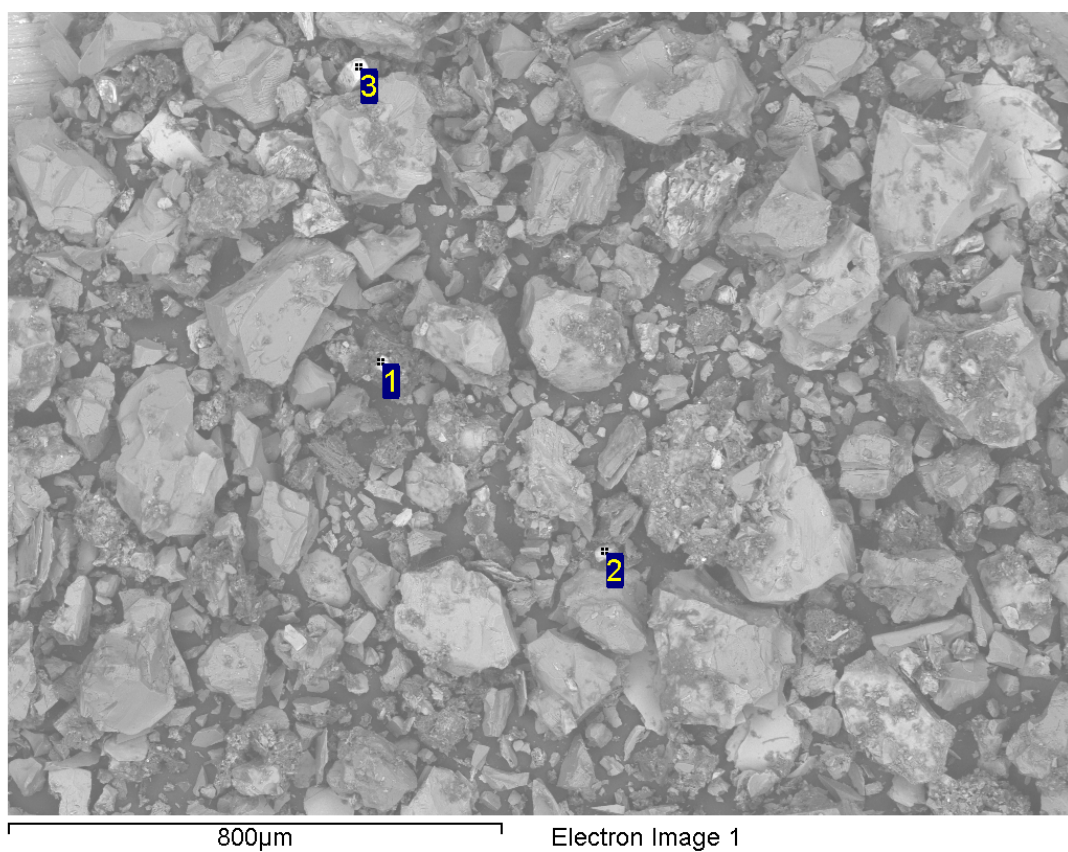
Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	P	K	Ti	Fe	Zr	Total
Spectrum 1	No	15.49	34.49		1.69	13.58				2.37	32.37	100.00
Spectrum 2	No	15.32	49.67	1.97	7.79	15.01	0.35	1.78	0.80	7.30		100.00



Figur 78: Prøve 2746, SOI 6.

Tabell 13: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2746, SOI 6.

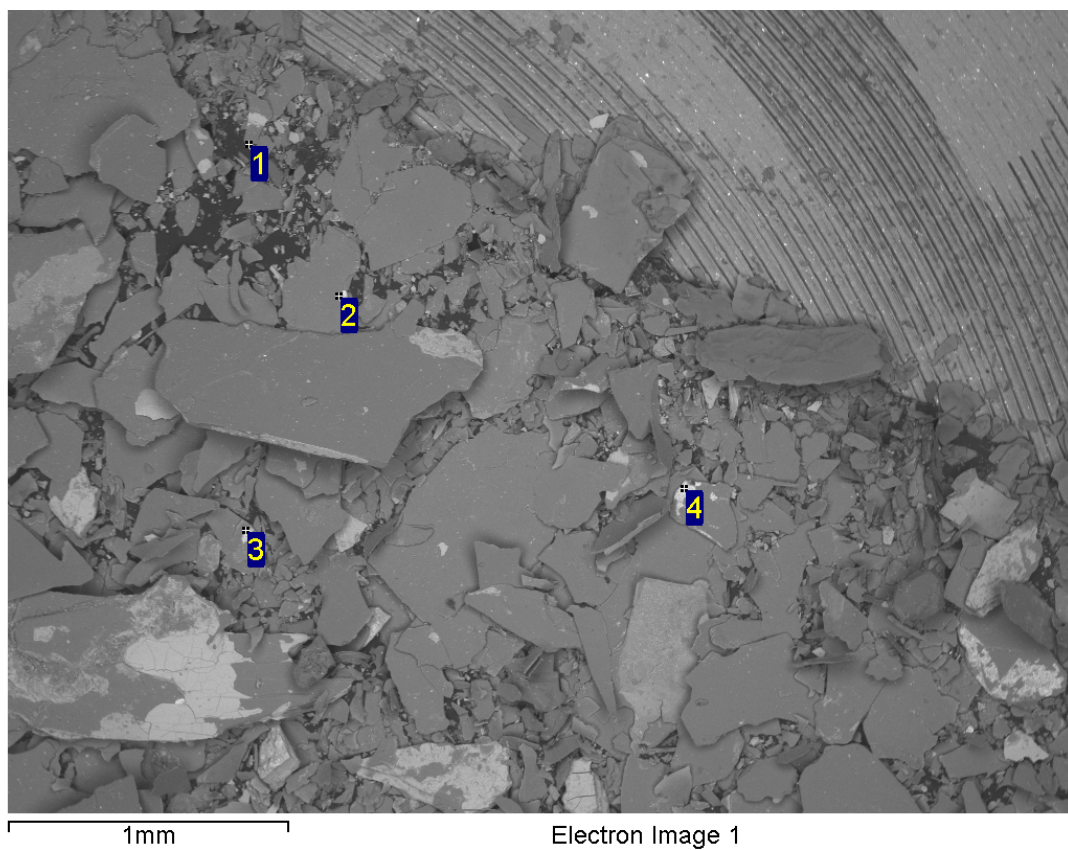
Spectrum	In stats.	C	O	F	Al	Si	P	Ti	Fe	La	Ce	Nd	Total
Spectrum 1	No	17.97	43.93	-0.52	1.61	5.18	7.80		2.08	4.41	12.50	5.04	100.00
Spectrum 2	No	9.61	33.42		1.22	1.47		2.83	51.45				100.00
Spectrum 3	No	19.89	21.52		2.91	3.69		4.25	47.74				100.00



Figur 79: Prøve 2309, SOI 7.

Tabell 14: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2309, SOI 7.

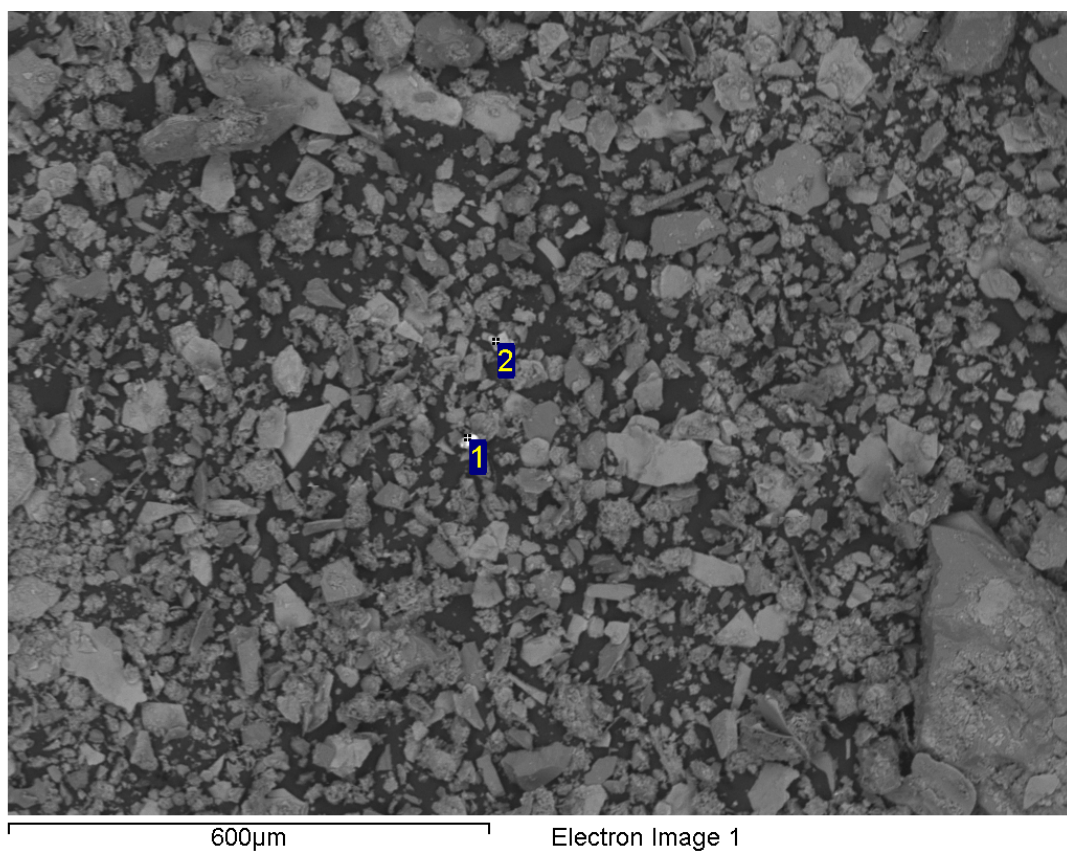
Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Zr	Ce	Nd	Total
Spectrum 1	No	10.85	42.80	10.02	17.71	7.22		5.00		3.82	2.58	100.00
Spectrum 2	No	24.74	34.61	2.00	7.99	14.66	16.01					100.00
Spectrum 3	No	23.93	33.60	1.16	12.89				28.42			100.00



Figur 80: Prøve 2851, SOI 1.

Tabell 15: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2851, SOI 1.

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	S	K	Fe	Zr	Total
Spectrum 1	No	51.34	32.89	7.22	6.44		2.10			100.00
Spectrum 2	No	8.84	38.70	3.65	14.32		0.89	2.09	31.52	100.00
Spectrum 3	No			100.00						100.00
Spectrum 4	No	5.82	16.22	15.01	9.03	1.18	5.38	47.36		100.00



Figur 81: Prøve 2407, SOI 1.

Tabell 16: Oversikt over grunnstoff (i %) detektert ved analyse av prøve 2407, SOI 1.

Spectrum	In stats.	C	N	O	Al	Si	P	K	Ti	Fe	Total
Spectrum 1	No	15.56		45.31	6.30	11.24	2.79	2.98		15.83	100.00
Spectrum 2	No	4.73	-2.49	42.45		1.53			26.21	27.56	100.00

5.0 Diskusjon

I dette kapittelet blir først SEM-bildene (vist i delkapittel 4.2) diskutert opp mot teorien beskrevet i delkapittel 3.5, i tillegg til mulige opphav og hvilke mineraler de er festet til. Deretter sammenlignes de geokjemiske konsentrasjonskartene, deres kumulative frekvensfordeling og tilhørende boksplokk opp mot verdier tatt fra analyser av totalinnhold i bergart fra nedlagte Fen gruve, for å se om det vil være grunnlag for å gjøre ytterligere undersøkelser på stedet. Resultatene blir videre inndelt i to grupper; LREE og HREE for å se etter trender i forekomstene innad i gruppene.

5.1 SEM-bilder

Det ble benyttet SEM i denne oppgaven for å studere variasjoner i grunnstoffsammensetning i mineralene og forsøke å finne ut hvilke mineraler REE hovedsakelig befinner seg i. Siden SEM kan vise prøven tredimensjonalt, samt dens karakteristiske topografiske egenskaper (delkapittel 3.5) ble dette vurdert til å være en god metode for å undersøke dette. Av REE ble det nesten kun gjort funn av cerium, neodym og lantan i spektrene etter analyseringen, dette gjenspeiles og i utvalget av SEM-bilder og tilhørende analyser som er tatt med i oppgaven. Disse tre grunnstoffene ble derfor også naturlig nok utdypet noe mer i teorien (delkapittel 2.5). Prinsippet i SEM er at dess høyere atomnummer et grunnstoff har, dess lysere og større refleksivitet har det. Utvalget av hvilke prøver som skulle skannes og videre analyseres ble gjort på tre kriterier nevnt i slutten av delkapittel 3.5. De prøvene som ble tatt med i selve masteroppgaven ble valgt på grunnlag av interessante funn av REE, andre tungmetaller og mineralkorn som lyste opp i SEM, og til slutt noen oversiktsbilder for å vise vesentlige ulikheter i form på kornene som ble skannet.

Figur 79, 80, og 81 illustrerer noen oversiktsbilder hvor størrelse og form på mineralkornene er veldig ulike. Noen av prøvene hadde store, skarpe, kantete mineralkorn (Figur 79), mens andre var nesten helt flate (Figur 80). De tilhørende tabellene (14, 15 og 16) viser at de tre mest utbredte REE; cerium, lantan og neodym er til stede i prøvene. Ut fra disse tabellene 7-16, ser en den prosentvise totalsum av hvert grunnstoff, ikke enkelt grunnstoff, som stemmer godt overens med teorien (delkapittel 3.5).

Først var tanken å undersøke hvilke mineralkorn REE befant seg i, men ved nærmere studiering av prøvene, var det svært få hele REE-mineralkorn i disse. Det ble derfor vanskelig og konkludere hvilke mineraler REE opptrer i. De eneste REE-kornene som ble funnet var svært små, for et eksempel, se Figur 75. Det eneste hele mineralkornet som ble funnet av betydningsfull størrelse av lys karakter, var det hele zirkonkornet avbildet i Figur 76. I dette mineralkornet er det også små mengder jern og aluminium (se Tabell 11), som er med å danne kornets lyse karakter og dermed øke dets refleksjon som samsvarer med teorien.

REE fremsto i SEM-bildene på fire helt forskjellige måter. Det er tatt med et eksempel på hver av dem i denne oppgaven. De fire ulike måtene REE forekom på var følgende; på en dråpelignende form, en annen hvor REE er smurt utover et mineralkorn som et tynt lag, en tredje hvor REE ligger som en klatt opp mineralet og en siste der små REE-korn ligger inne i større mineralkorn. Mengden REE i de ulike prøvene varierte veldig.

Den prøven som viste høyest sum14REE-konsentrasjon i kongevann var prøve 2633, dette gjenspeilet seg også under SEM-analysen. Det ble gjort ti parallelle analyser av denne prøven for å sjekke at det ikke bare var tilfeldig at SEM-analysene samsvarte med sum14REE-konsentrasjonen i kongevann. Samtlige av disse parallellene viste et relativt høyt REE-innhold i forhold de resterende prøvene (se Tabell 7 og 8). Det ble i tillegg gjort et par interessante funn i denne prøven som er grunnen til at det er valgt ut to ulike bilder fra samme prøve som er tatt med i resultatdelen (Figur 72 og 73).

I Figur 72 har de opplyste områdene av cerium på bildet form som en inntørket dråpe som har en størrelse mellom 3 - 12 μm . Disse inntørkede dråpene har en fasong som minner noe om krepsdyret "fjærerur" og det ser ut som disse kan ha blitt dannet i nyere tid. Det er vanskelig å si med sikkerhet hvordan disse dråpene har fått denne formen, da det ut fra vår kjennskap ikke har blitt beskrevet tidligere. Trolig kan løsmassene ha vært i nærheten av mikroorganismer eller de kan ha vært i kontakt med vann. Dersom sistnevnte stemmer kan dette være fra etter siste istid, og kan ha skjedd ved at løst REE har tørket på overflaten av mineralkornene. Disse dråpene lå oppå mineralet feltspat. Dette ble sett på noen av bildene som ble tatt, men spesielt store, markante dråper ble kun funnet i prøve 2633 (alle parallellene).

Et tynt lag cerium som et belegg utover et korn av monazittmineral er vist i Figur 73. Dette funnet er svært interessant da det ut fra vår kjennskap ikke er sett noe lignende tidligere. Det er trolig fra en fersk prosess, altså en primær forekomst se delkapittel 2.3.2.1. Ganske mange av prøvene så ut til å foreligge på denne formen, men det er analysert for få antall prøver for å kunne si at noe om det er en trend at et slikt funn tilhører en type kornselskap hvor det kun er skarpe korn.

Den tredje måten REE fremsto på er det vist eksempel på i Figur 74. Her ligger cerium som en klatt på overflata til mineralet monazitt. Et slikt tilfelle er den vanligste måten REE opptrer på i prøvene som ble analysert. Tidligere utvinning av REE fra placer-monazitt ble avvirket på grunn av malmens høye innhold av thorium, som beskrevet i delkapittel 2.3. Tabell 9 gir en oversikt over grunnstoffene som ble funnet under analysen av mineralkorn i Figur 74. Ser ut fra denne tabellen at det ikke er blitt detektert thorium i disse analysene. Monazitt er et Cerium-REE-fosfat, og det trenger ikke inneholde thorium, selv om det ikke kan utelukkes da thorium kan være tilstede under deteksjonsgrensen, som for SEM-analysene er 0,1-0,3 % av et grunnstoff i spekteret.

I Figur 75 er et av de få hele REE-kornene som ble funnet under billedtakingen på SEM (spekter 1 og 5). Kornet er svært lite, og noe utydelig i bildet da forstørrelsen inn mot kornet er svært høy. Kornene er så små i størrelse at analysene farges av mineralene rundt, noe som gjør det vanskelig å kunne gi en endelig konklusjon. Kornene som ligger i nærheten av REE-kornet er også hvite korn, spekter 2, 3 og 4, disse viste seg etter analysering å være jerntitanoksid (FeTiO_3), med mineralnavn ilmenitt. Mineralkorn fra dette mineralet ble ofte tatt for å være REE, da de lyste kraftig opp og har ganske høy refleksjon slik som REE-korn og har.

Det var flere metaller enn REE som så veldig lovende ut da de lyste opp, mineraler med både zirkonium, jern og aluminium ble gjentatte ganger tatt for å være REE og ble derfor scannet og analysert, som i Figur 77 (se Tabell 12 for oversikt av detekterte grunnstoff). Figur 78 viste seg å ha både et korn med jern og et med REE. Dette bildet illustrerer at det ikke alltid er så lett å se forskjell mellom de tunge metallene. Derimot når de ligger rett ved siden av hverandre, kan en se at REE lyser opp noe mer kraftig enn det jern gjør, da REE er en del tyngre enn det jern er.

Det ble også valgt ut prøver på grunnlag av dårlig samsvar mellom duplikatprøver. Til tross for god oppløsning, forstørrelse, dybdeskarphet i SEM (som nevnt i delkapittel 3.5) og at det gikk an å se visuell forskjell i farge mellom noen av duplikatene, var det ikke mulig å se noen bemerkelsesverdig kjemisk forskjell mellom duplikatprøvene i SEM-analysene. Dette er altså ingen egnet metode for å forklare ulikheter mellom duplikatprøver med dårlig samsvar når det gjelder kjemisk sammensetning.

5.2 Konsentrasjonskart, kumulativ frekvensfordeling og boksplokk

Ut fra kartet som viser konsentrasjonen av alle 14 REE i Nord-Salten og Ofoten (Figur 12), ser en at det er spesielt sju områder som utmerker seg med høye konsentrasjoner. Disse områdene er stedsnavn gitt i Figur 11; Kjeldebotn/Vargfjellet i Ofoten, området rundt Straumen, Buvåg i ytre Hamarøy, Sommarset, Storeide, Kobbskarmoen ikke langt unna Kobbelva og ved fjellet Gasskatjåhkkå, alle i Nord-Salten. Dette kommer og klart frem ved å studere hvert enkelt grunnstoffs konsentrasjonskart. Ser også at det hovedsakelig er i (Tysfjord)granitten REE har størst konsentrasjoner (se Figur 14 for tilhørende boksplokk, tegnforklaring i Figur 11). Ved å se på den kumulative frekvensfordelingen for det tilhørende konsentrasjonskartet ser en at det er to knekkpunkter i kurven som indikerer at det er mer enn en populasjon (berggrunnstype) i dette datasettet, i dette tilfellet er det tre. Der disse berggrunnstypene er granitt, glimmerskifer og mangerittsyenitt.

Nb.

Niobkonsentrasjonene i dette området følger ikke helt samme trender som REE. Ut fra konsentrasjonskartet i Figur 42 er det høye konsentrasjoner av niob i omtrent hele området, men aller mest langt kystlinjen. De største forekomstene ligger ved Hulløya, Gasskatjåhkkå, Mørsvik, Storeide og ved Vargfjellet. Ser også at niob nesten

utelukkende kun har forekomst i Tysfjordgranitten, dette gjenspeiles i dets kumulative frekvensfordeling, Figur 43. Denne kurven inneholder ingen form for knekkpunkt og er dermed bare en populasjon. Sammenlignet med niobverdier i Fensfeltet (Tabell 3), er konsentrasjonene svært lave og det vil derfor ikke være lønnsomt å utvinne niob på grunnlag av resultatene fra denne analysen.

Th.

Figur 57 viser konsentrasjonskartet over thorium, her kan en se at det er svært små konsentrasjoner av thorium på hele Hamarøy med unntak av Buvåg. Ser av thorium samsvarer godt med konsentrasjonskartet som viser summen av alle REE. De største konsentrasjonene er størst nordvest for Straumen, området rundt Gasskatjåhkkå og ved Kjeldebotn. Ser at de høye konsentrasjonene kun holder seg til Tysfjordgranitten akkurat slik som REE og niob gjør. Noen mindre konsentrasjoner er det også i glimmerskifter, dette ser en og i den kumulative frekvensfordelingen i Figur 58, der det er en liten krumning først på kurven. Høye konsentrasjoner av thorium spiller inn som en viktig faktor for å kunne si om det er realistisk å prøve og ta ut REE fra dette området. Dersom konsentrasjonen av thorium er høy et sted hvor også REE forekommer, må konsentrasjonene av viktige REE være enda høyere hvis det skal være grunnlag for å prøve og få tatt ut REE. Sammenlignet med Fengruveprøvene (Tabell 3) skal ikke thoriumkonsentrasjonene fra dette prøveområdet ha så mye innvirkning. Laveste thoriumkonsentrasjon fra Fensfeltet ligger på 70 mg/kg, mens i datasettet fra Nord-Salten og Ofoten ligger høyeste prøve på omtrent 50 mg/kg (se Figur 58).

U.

Uran er også et grunnstoff som på samme måte som thorium har mye og si for om det er gunstig å ta ut REE fra området som er prøvetatt (Figur 63). Også dette grunnstoffet har høyest konsentrasjoner i Tysfjordgranitten. De områdene med mest uran der prøvetakingen har funnet sted, ligger helt sør i Tysfjord kommune, litt øst for Kråkmotinden, i de nordligste områdene i Sørfold kommune, rundt Gasskatjåhkkå og Storeide. Det er konsentrasjoner her som kan ha stor påvirkning på om det bør tas ut REE herifra sammenlignet med konsentrasjonene målt i Fensfeltet (Tabell 3). Ganske mange prøver fra Nord-Salten og noen i Ofoten viser høyere urankonsentrasjoner enn 6 mg/kg, som er den minste målte verdien av uran i Fensfeltet. Dermed må de respektive REE-konsentrasjonene være ganske høye om uttak skal være lønnsomt. Både uran og thorium konsentrasjonene fra Fensfeltet er ikke helt sikre, slik at disse verdiene kan være enda høyere enn det som er oppgitt i Tabell 3.

5.2.1 LREE

Ce.

Lokalitetene hvor de høyeste konsentrasjonene av cerium er funnet ved Buvåg, Kjeldebotn/Vargfjellet, Sommarset, Storeide, Kobbskarmoen og Gasskatjåhkkå. Kan se ut fra konsentrasjonskartet i Figur 15, og den kumulative frekvensfordelingen (Figur 16) at ceriumkonsentrasjonene holder seg stort sett innen tre ulike berggrunnstyper; granitt, glimmerskifer og mangerittsyenitt. Ved sammenligning med konsentrasjoner fra Fensfeltet (Tabell 3), ser en at det er for få høye konsentrasjoner (minimum 20) for at cerium alene vil være interessant for utvinning. I tillegg ligger de høyeste konsentrasjonene akkurat i samme område som de høyeste urankonsentrasjonene gjør, dermed burde ceriumkonsentrasjonene vært enda høyere om dette skulle vurderes videre utredning på dette grunnlaget.

Eu.

Europium har en litt annen trend for hvor de høyeste konsentrasjonene er samlet (Figur 24). I dette tilfellet er de fleste samlet utenfor Skutvik, Hamsund, Oppeid og Presteid på Hamarøy, med to til tre høye enkeltkonsentrasjoner ved Storeide, Geittinden og Fonntinden. Den minste konsentrasjonen av europium funnet i prøvene i Fengruvene (Tabell 3) er 8 mg/kg. I disse prøvene er det funnet seks prøver med verdi høyere enn 2,5 mg/kg. Ved å studere den tilhørende kumulative frekvensfordelingen (Figur 25) ser en at kun en av prøvene ligger på en konsentrasjonsverdi rundt 9 mg/kg. Her kan en også se at europium også forekommer i de samme tre berggrunnstypene som det cerium gjør.

La.

Den samme trenden som vises i konsentrasjonskartet og den kumulative frekvensfordelingen for cerium, kan en også se i konsentrasjonskartet og den kumulative frekvensfordelingen for lantan (Figur 33 og 34). De høye konsentrasjonene av lantan foreligger og i de samme områdene som cerium. Her er det kun åtte prøver som viser konsentrasjoner over 160 mg/kg, som er minste konsentrasjon av lantan i Fengruvene (Tabell 3), slik at det er også her altfor få prøver med høy nok konsentrasjon for utvinning. Tilsvarende er også neodymkonsentrasjonen (Figur 39) og fordelingen i berggrunnstyper lik den for cerium og lantan. En kan se på kurven for neodym (Figur 40) at også denne har to krumninger som indikerer at grunnstoffet holder til i tre populasjoner. Kun fire prøver viser en konsentrasjon over 160 mg/kg, som er minste konsentrasjonen funnet i prøve 4 i Fengruvene (Tabell 3). Sju prøver lå på en konsentrasjon mellom 100 - 160 mg/kg. Ved nærmere studering ser en fra den kumulative frekvensfordelingen at det kun er noen få prøver i det øverste sjiktet i dette intervallet. Dermed har heller ikke neodym et godt grunnlag for å gå videre med disse prøvene.

Pr.

Praseodym følger også denne trenden godt og dets kumulative frekvensfordeling (Figur 46) er så å si identisk med den for neodym. Forekomstene av praseodym ligger også på de samme stedene i de samme berggrunnstypene, som det gjør for cerium, lantan og neodym. Fem konsentrasjoner over 39 mg/kg er registrert fra analysene, der et par av dem ligger på en konsentrasjon rundt 80 mg/kg. Den minste konsentrasjonen målt i Fensfeltet, Tabell 3, for praseodym er 40 mg/kg. Selv om noen av prøvene viser høyere konsentrasjon enn den minste fra Fensfeltet er det fortsatt for få prøver for at det skal lønne seg å gjøre ytterligere undersøkelser.

Sm.

Figur 48 viser samariumkonsentrasjonen i området prøvetatt. Her kan en se flere likheter med europium, da forekomstene inntreffer i de samme områdene. Ut fra kartet opptrer også samarium i de samme berggrunnstypene som de andre REE omtalt. Det er 10 analyser som ligger i konsentrasjonsintervallet over 16 mg/kg, men ved å studere den kumulative frekvensfordelingen ser en at kun fire av de respektive prøvene ligger på en verdi rundt 30 mg/kg, som er minstekonsentrasjonen av samarium målt i Fensfeltet. Dermed blir det også her for få høye nok konsentrasjoner til et eventuelt videre arbeid.

Sc.

Scandiums konsentrasjonskart (Figur 51) har også flere likhetstrekk med europium og samarium. Noe større konsentrasjoner av scandium nært Geittinden, Straumen og Fonntinden, og noe mindre konsentrasjoner mellom Skutvik og Oppeid, enn det det er i europiumkartet. Her kan en se at det hovedsakelig er store konsentrasjoner i berggrunnstypen glimmerskifer og mindre konsentrasjoner i granitt og mangerittsyenitt. Dette gjenspeiles i den kumulative frekvensfordelingen (Figur 52), der en så vidt kan skimte to svake krumninger på kurven.

5.2.2 HREE

Dy.

Dysprosium (Figur 18) viser en høy analyseverdi mellom Skutvik og Oppeid, ved Vargfjellet og i nærheten av Storeide. Kun tre prøver er funnet til å være over 10 mg/kg, mens 14 ligger mellom 6,3 mg/kg og 10 mg/kg, der seks av disse ligger nærme 10 mg/kg i konsentrasjon. Ved sammenligning med Fengruvenes konsentrasjonsverdier ligger dens dysprosiumkonsentrasjonsverdier mellom 12 mg/kg og 14 mg/kg (se Tabell 3). Også her vil det være for få prøver som grunnlag for videre undersøkelser for å vurdere eventuell gruve drift. Ut fra Figur 19 kan en også se at dysprosium foreligger i mer enn en populasjon, kurven har to svake krumninger til som gir en indikasjon på at tre ulike berggrunnstyper inneholder dysprosiumkonsentrasjoner. Dette kan også sees på grunnstoffets konsentrasjonskart i Figur 18.

Er.

Erbiumkonsentrasjonskartet (Figur 21) er svært likt det for dysprosium. De hyppigste analyseverdiene for erbium er fordelt på akkurat samme lokaliteter i de samme berggrunnstypene som de er for dysprosium. Fensfeltprøvene (Tabell 3) viser konsentrasjoner på 4,5 mg/kg og 6 mg/kg. Prøvene tatt i Nord-Salten og Ofoten viser 4 prøver med konsentrasjon over 3,9 mg/kg og 16 prøver med konsentrasjon mellom 2,5 mg/kg og 3,9 mg/kg, der seks av disse ligger på en konsentrasjon rundt 3,0 mg/kg. Dette gir 10 prøver med omtrent høy nok konsentrasjon, som er for få prøver for en eventuell utvinning.

Gd.

Gadolinium (Figur 27) har hele 18 prøver med høyeste konsentrasjon (>10 mg/kg), men kun to av disse har konsentrasjon over 25 mg/kg. Den prøven med lavest målt konsentrasjon i Fensfeltet viste en konsentrasjon på 35 mg/kg (se Tabell 3). Dermed vil prøvene fra dette prøvetakingsområdet ha for lave verdier til at det er noe poeng i å gå videre med dem. Også disse prøvene foreligger med konsentrasjoner i berggrunnstypene mangerittsyenitt, glimmerskifer og granitt, og de høyeste konsentrasjonene er ganske nevnt fordelt mellom alle disse tre. Men forekomstene holder seg til de samme stedene som for dysprosium og erbium. Dets kumulative frekvensfordeling viser i tillegg krumninger som indikasjon på forekomst i mer enn en bergart noe som og kommer tydelig frem ved se på konsentrasjonskartet i Figur 27.

Ho.

Samme trend som vises i de tidligere konsentrasjonskartene for HREE, er også å se i konsentrasjonskartet for holmium (Figur 30). De klart største konsentrasjonene er å finne i mellom Skutvik og Oppeid/Presteid på Hamarøy, ved Kjeldebotn/Vargfjellet og Storeide. Minste registrerte konsentrasjon i Fensfeltet ligger på 2,0 mg/kg (se Tabell 3), men den høyeste konsentrasjoner fra Nord-Salten/Ofoten er registrert til rundt 3,0 mg/kg (se Figur 31). Det var kun registrert fem prøver over konsentrasjon 1,6, der kun fire av disse hadde konsentrasjon 2,0 mg/kg eller høyere. Så heller ikke dette grunnstoffet har mange nok prøver med høy konsentrasjon for videre utforskning av dette området.

Lu.

I motsetning til mange av de andre REE viser lutetium (Figur 36) svært små konsentrasjoner i berggrunnstypen (Tysfjord)granitt, med unntak av området rundt Vargfjellet. De største konsentrasjonene er ellers å finne i mangerittsyenitt rundt Oppeid (Hamsund og Presteid), og glimmerskifer et lite stykke nordøst for Straumen. Dette kan også sees i formen på kurven i den kumulative frekvensfordelingen. Hele sju prøver viser konsentrasjoner over 0,39 mg/kg men kun tre av disse viser en konsentrasjon rundt 0,5 mg/kg som er minste registrerte konsentrasjon av lutetium i Fensfeltet (se Tabell 3).

Tb.

Også terbium har høye konsentrasjoner på Buvåg og i Oppeid og omegn, samt i nærheten av Kjeldebotn, Storeide og ved Geittinden. Konsentrasjonskartet (Figur 54) samsvarer godt med det for dysprosium, erbium og holmium. Også her er det tre berggrunnstyper som bemerker seg med tanke på forekomst av terbium, disse er; granitt, mangerittsyenitt og glimmerskifer akkurat som for alle de andre REE. Heller ikke her er det nok prøver med høy konsentrasjon for videre arbeid.

Tm.

De registrerte thuliumkonsentrasjonene fra Fensfeltet ligger hovedsakelig mellom 0,4 mg/kg og 0,7 mg/kg (se Tabell 3). I prøvetakingsområdet er det hele 10 prøver med konsentrasjoner over 0,39 mg/kg, og mer enn 20 prøver med konsentrasjoner mellom 0,25-0,39 mg/kg der omtrent halvparten av disse ligger på en konsentrasjon over 0,3. Dette kan være svært interessant sett i et malmselskaps perspektiv. Her bør muligens et eventuelt malmselskap gjøre ytterligere undersøkelser for å sjekke om thulium lar seg utvinne fra berget det er sitter i, og videre foredles til et rent produkt. Her er forekommer thulium hovedsakelig i Tysfjordgranitt og i mangerittsyenitt (se Figur 60). De største konsentrasjonene av thulium er konsentrert på Oppeid og i området rundt.

Yb. og Y.

Konsentrasjonskartet for ytterbium (Figur 66) virker med første øyekast like lovende som thuliums konsentrasjonskart. Hele 13 prøver er målt med konsentrasjoner over 2,5 mg/kg. Derimot ligger konsentrasjonene for ytterbium i Fengruvene på en konsentrasjon mellom 5 mg/kg og 6 mg/kg. Bare to prøver fra Nord-Salten og Ofoten området har verdier over 3,9 mg/kg (se Figur 67), dermed vil heller ikke ytterbium være av stor interesse for et malmselskap på grunnlag av disse prøvene. Yttrium viser og svært høye konsentrasjoner fra Skutvik og helt forbi Oppeid, til Presteid (se Figur 69). Også Vargfjellet og Kjeldebotn viser store konsentrasjoner samt, Storeide, området rundt Gasskatjåhkkå, Råna og området rundt, Straumen, Fonntinden og Geittinden. Flere av disse områdene viste og en del konsentrasjoner av thorium som bør tas til ettertanke. 22 av prøvene her viser konsentrasjoner på mer enn 25 mg/kg. Disse konsentrasjonene forekommer i hovedsakelig tre ulike berggrunnstyper; granitt, mangerittsyenitt og glimmerskifer, som gjenspeiles i dets kumulative frekvensfordeling (Figur 70).

Som oftest er REE fortynnet i løsmassene, derfor er det godt mulig at konsentrasjonene egentlig er enda høyere enn det som er vises i disse resultatene. Sammenlignet med LREE er det HREE som er mest økonomisk interessant, derfor er dette er ganske spennende funn.

6.0 Konklusjon

Det ble funnet ut at SEM ikke er en egnet metode for å forklare ulikheter mellom duplikatprøver med dårlig samsvar når det gjelder kjemisk sammensetning. De eksisterende hele REE-mineralkornene var svært få i antall og analysen av sammensetning påvirkes av nærliggende mineraler på grunn av de lave mengdene.

Til tross ble det gjort to interessante funn under SEM-analysene. Der et av dem var de ”inntørkede dråpene” i Figur 72, trolig fra løst REE som har tørket på overflaten av mineralkornene etter siste istid. Det andre var det tynne belegget med cerium som lå utover et korn av monazittmineral (Figur 73). Trolig stammer dette fra en fersk prosess, altså en primær forekomst. Sistnevnte er svært interessant da det ut fra vår kjennskap ikke er sett noe lignende tidligere.

Felles for REE virker det som alle hovedsakelig kommer fra granitten og noe fra mangerittsyenitt og glimmerskifer. Sju områder utmerket seg med høye konsentrasjoner i prøvetakingsområdet. Ut fra resultatene på de analyserte prøvene kom det frem at LREE stort sett følger hverandre i en tydelig trend. Samme trend ser en og for HREE, med et par unntak. Videre kom det frem at både niob- og LREE-konsentrasjonene var for lave for at det er grunnlag for å gjøre ytterligere undersøkelser i området. Det samme gjelder også for nesten alle HREE, men det er et unntak, thulium. Dette metallet hadde nok antall prøver med konsentrasjoner som var tilnærmet lik prøvene som var tatt i Fensfeltet. Prøvene fra Fensfeltet er faste berggrunnprøver. Da løsmasser som oftest vil REE være noe fortynnet, er det mulig at konsentrasjonene til thulium egentlig er enda høyere enn det som er vist i disse resultatene.

NGU har tidligere undersøkt løsmasser fra Nordkinn i Finnmark, der ble det detektert høyere konsentrasjoner av REE enn det er blitt i Nord-Salten og Ofoten. Det ble ikke anbefalt videre oppfølging av NGU på Nordkinn, etter upublisert oppfølging i 2012 (Reimann et al., 2012). Derfor blir endelig konklusjon i denne oppgaven og at det ikke er grunnlag for ytterligere undersøkelser av Nord-Salten og Ofoten basert på disse resultatene.

7.0 Referanseliste

- Boyd, R. 2011. *NGU-rapport - Mineral- og metallressurser i Norge; potensial og strategisk betydning*. s. 20 og 23.
- British Geological Survey. 2010. *Rare Earth Elements*. Lastet ned 15.04.2013 fra: <http://www.MineralsUK.com>.
- Castor, S. B. & Hedrick, J. B. 2006. *Rare Earth Elements. Industrial Minerals volumn, 7th edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, Colorado*, s. 769-792.
- Dahlgren, S. 2012. *Thorium i Fensfeltet - Ressursanslag. Regiongeologen - Buskerud, Telemark og Vestfold fylkeskommuner*, s. 5-7.
- Emsley, J. 2011. *Nature's building blocks*, Oxford University Press.
- Finne, T. E. & Eggen, O. A., 2013, *NGU-rapport 2013.015 - Soil geochemical data from Nord-Salten, Nordland*, NGU - Geological Survey of Norway.
- Hsu, J. 2010. *U.S. Military Supply of Rare Earth Elements Not Secure*. Lastet ned 26.04.13 fra: <http://www.livescience.com/10978-military-supply-rare-earth-elements-secure.html>.
- Hurst, C. 2010. *China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?* Institute for the Analysis of Global Security (IAGS). Lastet ned 06.05.13 fra: <http://fmso.leavenworth.army.mil/documents/rareearth.pdf>.
- Levkowitz, L. & Beauchamp-Mustafaga, N. 2010. *China's Rare Earths Industry and its Role in the International Market*.
- Long, K. R., Van Gosen, B. S., Foley, N. K. & Cordier, D. 2012. *The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States: A summary og Domestic Deposits and a Global Perspective*.
- Muir, N. C. & Boysen, E. 2013. *See at the Nano Level with Electron Microscopy*. For Dummies, Making Everything Easier. Lastet ned 15.04.2013 fra: <http://www.dummies.com/how-to/content/see-at-the-nano-level-with-electron-mikroskopy.html>.
- Orris, G. J. & Grauch, R. I., 2002, *Rare Earth Element Mines, Deposits, and Occurrences: US*, Geological Survey Open-File Report 02-189, U.S. Geological Survey Tucson, Az.
- Ottesen, R. T., Bogen, J., Bølviken, B., Volden, T. & Haugland, T. 2000. *Geokjemisk atlas for Norge - Del 1: Kjemisk sammensetning av flomsedimenter*, NGU - Norges geologiske undersøkelse.
- Ottesen, R. T., Flem, B., Rusti, E. H. & Blomli, J. 2012. *NGU-rapport 2012.031 - Urban mining - utvinning av metaller i elektrisk og elektronisk avfall*. s. 9 og 11.
- Purdue University. 2013. *Radiological & Environmental Management - Scanning Electron Microscope*. Lastet ned 15.04.2013 fra: <http://www.purdue.edu/rem/rs/sem.htm>.
- Raanes, A., Ihlen, P., Korneliussen, A., Bjerkgård, T., Gautneb, H., Sandstad, J. S. & Wanvik, J. E. 2009. *NGU-rapport2009.009 - Evaluering av framtidig behov og tilgang på industrimetaller og metaller i Buskerud, Telemark og Vestfold*. s. 15, 17 og 42.
- Reed, S. J. B. 2005. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Reimann, C. & Caritat, P. 1998. *Chemical elements in the environment: factsheet for the geochemist and environmental scientist*, Springer-Verlag.

- Reimann, C., Finne, T. E. & Filzmoser, P., 2011, *New geochemical data from a collection of till samples from Nordland, Troms and Finnmark*, Norges geologiske undersøkelse.
- Reimann, C., Finne, T. E. & Filzmoser, P., 2012, *Soil geochemical data from the Nordkinn peninsula, Finnmark*, Norges geologiske undersøkelse.
- Southeast Alaska Conservation Council. 2011. *Rare Earth Elements in Alaska - Trade our Salmon for "clean" energy* Lastet ned 25.03.2013 fra: <http://seacc.org/mining/bokan-mountain-mine/RareEarthElementswebsitegarfsFINAL.pdf/view>.
- Stølen, S. 2013. *Yttrium - historie*. Universitetet i Oslo, Kjemisk institutt - Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet. Lastet ned 08.05.2013 fra: <http://www.mn.uio.no/kjemi/tjenester/kunnskap/periodesystemet/vis.php?e=Y&id=281>.
- Trigaux, D. 2012. *"The U.S., China and Rare Metals" The Future Of Green Tehnology, Military Tech, and a Potential Achilles' Heel to American Hegemony*.
- Woolley, A. R. & Kjarsgaars, B. A., 2008, *Carbonatite occurrences of the world: map and database*, Geological Survey of Canada, Open file report 5796.