

NGU Rapport 97.094

Kvalitetssikring / metodeutvikling : Sjeldne
jordartselementer (REE), ICP-MS analyser

Rapport nr.: 97.094		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Kvalitetssikring / metodeutvikling : Sjeldne jordartselementer (REE), ICP-MS analyser			
Forfatter: Belinda Flem		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke:		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 24	Pris: 45
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 23.05.97	Prosjektnr.: 022201	Ansvarlig: <i>Knut Erik Gjertsen</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>NGU har investert i et høyoppløselig induktivt koplet plasma massespektrometer (HR-ICP-MS), Finnigan MAT, <i>Element</i>. Denne type analyseinstrument gir mulighet for deteksjon av konsentrasjoner ned i ppq området (pg/kg). I likhet med andre måleoperasjoner vil også kjemiske analyser være påvirket av feilkilder. Mulige feilkilder kan oppstå i de fleste trinn i en analyseprosess. Systematiske feil vil påvirke metodens nøyaktighet. Nøyaktigheten til en metode er gitt ved analyseresultatenes overensstemmelse med virkelig verdi. Metodens nøyaktighet ved bestemmelse av de sjeldne jordartselementene (REE) i vannprøver har blitt undersøkt. Ved bruk av Meinhart nebulizer ble tretten av 24 undersøkte isotoper i en 10 ppb «sertifikatstandard» bestemt med en nøyaktighet bedre enn 1 %, der Yb174 har den beste verdien på 0.17 %. Elleve av 24 isotoper er bestemt med en nøyaktighet dårligere enn 1 % hvor Nd143 er dårligst med 2.46 %.</p> <p>I en 100 ppt «sertifikatstandard» ble alle isotoper bestemt med en nøyaktighet dårligere enn 2 %, men bedre enn 7 %, ved bruk av ultrasonic nebulizer (USN). Bare 8 av disse isotopene ble bestemt med en nøyaktighet dårligere enn 5%.</p> <p>Videre har oppnåelige deteksjonsgrenser med de to nevnte nebulizerene blitt sammenlignet. Ved bruk av Meinhart nebulizer har scandium45 de dårligste deteksjonsegenskapene, med en deteksjonsgrense på 22.2 ppt. De øvrige isotopene som er undersøkt har deteksjonsgrenser mellom 2 ppt og 700 ppq. De beste deteksjonsegenskapene er oppnådd for Gd158. De samme isotopene har deteksjonsgrenser mellom 300 ppq og 70 ppq ved bruk av USN. Laveste deteksjonsgrense er oppnådd for Ho165 og Er166. Ved bruk av USN forbedrer Sc45 sine deteksjonsegenskaper med en faktor 89.3 ganger.</p>			
Emneord: Vannanalyser	ICP-MS		Statistikk
REE			
			Fagrapport

INNHold

1 FORORD / INNLEDNING	5
2. EKSPERIMENTELT	5
2.1 Kalibreringsløsninger.....	5
2.2 Løsning for nøyaktighetstest , «sertifikatstandard».....	6
2.3 Oppsett av ICP-MS instrumentet.....	7
2.1.1 Meinhart nebulizer	7
2.1.2 Ultrasonic Nebulizer, USN	8
3. RESULTATER / DISKUSJON.....	8
3.1 Deteksjonsgrenser.....	8
3.1.1 Meinhart forstøver.....	9
3.1.2 Ultrasonic nebulizer	9
3.2 Nøyaktighet.....	11
3.2.1 Meinhart forstøver.....	11
3.2.2 Ultrasonic forstøver.....	12
4 KONKLUSJON.....	12
REFERANSER.....	13

TABELLER

Tabell 1	Innstillinger av «hardware» parametere for ICP-MS instrumentet.
Tabell 2	Sammenligning av deteksjonsgrenser : Meinhart og ultrasonic nebulizer

VEDLEGG

VEDLEGG 1 Måleprogram

VEDLEGG 2 Målte og beregnede resultater

Tabell 1a Målte intensiteter for to-punktskalibrering, 0 ppt og 10 000 ppt (10 ppb)

Tabell 1b Målte intensiteter for to-punktskalibrering, 0 ppt og 100 ppt

Tabell 2a Målte intensiteter av Sc45, Y89, Th232 og de sjeldne jordartselementene (REE) i 8 prøver med Milli-Q vann, surgjort med suprapure HNO₃, er gitt sammen med gjennomsnittet, ett og tre standardavvik og nedre deteksjonsgrense av de 8 prøvene (Meinhart forstøver).

Tabell 2b Konsentrasjoner av Sc45, Y89, Th232 og de sjeldne jordartselementene (REE) i 9 prøver med Milli-Q vann, surgjort med suprapure HNO₃, er gitt sammen med gjennomsnittet, ett og tre standardavvik og nedre deteksjonsgrense av de 9 prøvene (Ultralyd forstøver)

Tabell 3a Målte konsentrasjoner av 10 ppb multielement standard (SS-8319-1, Spectra Scan)

Tabell 3b Målte konsentrasjoner av 100 ppt multielement standard (SS-8319-1, Spectra Scan), ultralyd forstøver.

Tabell 4 Nøyaktighet av metoden; målte verdier sammenlignet med reell verdi av 10 ppb multielement standard (Meinhart forstøver) og 100 ppt (Ultralyd forstøver)

1 FORORD / INNLEDNING

NGU har investert i et høyoppløselig induktivt koplet plasma massespektrometer (HR-ICP-MS), Finnigan MAT, *Element*. Denne type analyseinstrument gir mulighet for deteksjon av konsentrasjoner ned i ppq området (pg/kg). Arbeidet med å lage metoder, fastsette deteksjonsgrenser osv. har nå begynt. I likhet med andre måleoperasjoner vil også kjemiske analyser være påvirket av feilkilder. Mulige feilkilder kan oppstå i de fleste trinn i en analyseprosess. Det skiller mellom tilfeldige og systematiske feil. Tilfeldige feil skyldes ukontrollerbare variasjoner og påvirker ikke resultatene i noen spesiell retning, mens systematiske feil vil påvirke resultatene i en retning. Det betyr at systematiske feil vil påvirke metodens nøyaktighet. Nøyaktigheten til en metode er gitt ved analyseresultatenes overensstemmelse med virkelig verdi. I denne rapporten vil metodens nøyaktighet ved bestemmelse av de sjeldne jordarts elementene (REE) i vannprøver bli vurdert ved bruk av Meinhart og ultrasonic nebulizer. Videre vil oppnåelige deteksjonsgrenser med de to nevnte nebulizerene bli sammenlignet.

2. EKSPERIMENTELT

I kapittel 2.1 og 2.2 er fremstilling av kalibreringsstandarder og «sertifikatstandard» beskrevet. Klargjøringen av ICP-MS instrumentet er beskrevet i kapittel 2.3.

2.1 Kalibreringsløsninger

Sertifiserte Spectrascan enkeltelement standardløsninger fra Teknolab A/S ble benyttet ved fremstilling av kalibreringsløsningene. En stamløsning på 1 ppm ble laget utfra følgende Spectrascan løsninger i 1000 ml målekolbe, tilsatt Milli-Q vann (B. Flem, 97.054) og 15 ml HNO₃ til merket:

1 ml 1000 µg Sc/ml (SS-8055-1,-2.5 % HNO₃)

1 ml 1000 µg Y/ml (SS-8070-1,-2.5 % HCl)

1 ml 1000 µg La/ml (SS-8037-1,-2.5 % HNO₃)

1 ml 1000 µg Ce/ml (SS-8021-1,-2.5 % HNO₃)

1 ml 1000 µg Pr/ml (SS-8046-1,-2.5 % HNO₃)

1 ml 1000 µg Nd/ml (SS-8074-1,-2.5 % HNO₃)

1 ml 1000 µg Sm/ml (SS-8057-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Eu/ml (SS-8027-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Gd/ml (SS-8029-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Tb/ml (SS-8061-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Dy/ml (SS-8025-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Ho/ml (SS-8033-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Er/ml (SS-8026-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Tm/ml (SS-8066-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Yb/ml (SS-8071-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Lu/ml (SS-8039-1,-2.5 % HNO₃)
1 ml 1000 µg Th/ml (SS-8063-1,-2.5 % HNO₃)

Ut fra 1 ppm stamløsningen ble det laget kalibreringsløsninger på 10 ppb og 100 ppt:

10 ppb kalibreringsløsning: 100 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann, 1 ml 1 ppm stamløsning og 1.5 ml HNO₃.

1 ppb 1000 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann, 1 ml 1 ppm stamløsning og 15 ml suprapure HNO₃.

100 ppt : 100 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann, 10 ml 1 ppb kalibreringsløsning og 1.5 ml HNO₃.

0 ppt kalibreringsløsning: 500 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann og 7.5 ml suprapure HNO₃.

2.2 Løsning for nøyaktighetstest , «sertifikatstandard»

Spectrascan multielementstandard SS-8319 inneholder 10 µg/ml av elementene Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm og Yb i en 2.5 % HNO₃ matrix.

En 10 ppb løsning og en 100 ppt løsning for nøyaktighetstest ble laget på følgende måte:

10 ppb : 100 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann, 1 ml SS-8319-1 (sertifisert multielement Spectrascan standardløsning fra Teknolab A/S) og 1.5 ml HNO₃ til merket.

1 ppb : 1000 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann, 0.1 ml SS-8319-1 (sertifisert multielement Spectrascan standardløsning fra Teknolab A/S) og 15 ml suprapure HNO₃.

100 ppt : 100 ml målekolbe fylles til merket med Milli-Q vann, 10 ml 1 ppb «sertifikatstandard» og 1.5 ml suprapure HNO₃.

2.3 Oppsett av ICP-MS instrumentet

ICP-MS instrumentet (Finnigan MAT-*Element*) ble tunet og kalibrert i henhold til prosedyre gitt av Finnigan. De viktigste hardware parameterene er gitt i tabell 1.

Tabell 1 Innstillinger av «hardware» parametere for ICP-MS instrumentet.

Parameter	Meinhart nebulizer	Ultrasonic nebulizer
Cool gas	13.40 l/min	13.50 l/min
Auxiliary	1.13 l/min	1.33 l/min
Sample gas	0.7 l/min	1.17 l/min
Plasma power	1350 Watt	1350 Watt
Focus	-854.3 V	-880.7 V
X-Deflection	-16.08 V	-16.03 V
Y-Deflection	7.69 V	2.29 V
Shape	174.68 V	160.34 V
Sample uptake	0.9 ml/min	2.5 ml/min
Sweep gas		2.4 l/min

2.1.1 Meinhart nebulizer

Standardene 0 og 10 ppb, 10 prøver med surgjort Milli-Q vann og tre prøver med 10 ppb løsning for nøyaktighetstest ble overført til målerør i prøveveksleren (CETAC ASX-500) etter at målerøret var skyllet med løsningen en gang. Multielementstandarden ble kjørt som prøve nr.1, 7 og 13

Opptakstiden, før «scanet», var satt til 90 sekunder og skylletiden mellom hver prøve var 30 sekunder.

Det ble ikke benyttet kjøler for Meinhard forstøverens spraykammer.

Måleprogrammet er gitt i vedlegg A.

2.1.2 Ultrasonic Nebulizer, USN

Med en USN vil sensitiviteten øke med 10 -30 ganger, S. Yamasaki og A. Tsumura (1992). Høyeste kalibreringsløsning endres derfor fra 10 ppb til 100 ppt for å unngå tellinger høyere enn 5 mill cps, da det kan ødelegge detektoren. Ved bruk av en USN forventes forbedrede deteksjonsegenskaper fordi sensitiviteten øker, plasmaen er tørrere og mulige masseinterferenser reduseres.

Samme måleprogram som ved bruk av Meinhart forstøver ble benyttet ved analysen (vedlegg A), men opptakstiden før scan ble øket til 120 sekunder og vasketiden til 60 sekunder.

3. RESULTATER / DISKUSJON

Det er tidligere vist at isotopene Sc45, Y89, Th232 og de sjeldne jordartselementene alle har lineære kalibreringskurver minst opp til 10 ppb, B. Flem (1997). Det vil derfor være tilstrekkelig å gjøre to-punktskalibrering i dette konsentrasjonsområdet. Det som da er vanlig er å kalibrere på null-løsning (blank) og en høy konsentrasjon, 10 ppb (med Meinhart forstøver). I vedlegg 2, tabell 1a og 1b, er de målte intensiteter for kalibreringsløsningene med de to nebulizerene gitt. Hver løsning blir «scannet» totalt 15 ganger, (3 runs × 5 passes), vedlegg 1.

3.1 Deteksjonsgrenser

Deteksjonsgrensene for de ulike isotopene vil være avhengig av hvilken forstøver som benyttes. I kapittel 3.1.1 er oppnådde deteksjonsgrenser med Meinhart nebulizer gitt, mens i kapittel 3.1.2 er oppnådde deteksjonsgrenser med USN gitt.

3.1.1 Meinhart forstøver

Ti blanke prøver ble kjørt etter samme måleprogram som standardene, vedlegg 1. I tabell 2a, vedlegg 2, er konsentrasjonen av 8 av disse gitt sammen med gjennomsnitt, ett standardavvik og 3 standardavvik. Blanke kjørt rett etter en 10 ppb løsning er tatt ut da de gav høyere respons enn de øvrige, «memory effect». En vanlig definisjon i litteraturen, J.C Miller og J.N. Miller (1988), er at deteksjonsgrensen er den analyttkonsentrasjonen som gir et instrumentsignal (y) signifikant høyere enn fra blank eller bakgrunnssignalet. Kriteriet settes ofte som:

$$y - y_{\text{Blank}} = 3\sigma_{\text{Blank}}$$

Nedre deteksjonsgrense «Limit of detection», LD, gitt i ppt settes da lik:

$$LD = \frac{3\sigma}{b}$$

Hvor b er stigningstallet til kalibreringskurven (cps/ppt).

Den siste kolonnene i tabell 2, vedlegg 2 gir deteksjonsgrensen til isotopene i ppt (10^{-9} g/kg). Scandium45 har de dårligste deteksjonsegenskapene med en deteksjonsgrense på 22.2 ppt. De øvrige isotopene som er undersøkt har deteksjonsgrenser mellom 2 ppt og 700 ppq. De beste deteksjonsegenskapene er oppnådd for Gd158.

Dersom man ønsker å forbedre deteksjonsgrensene kan dette bl.a. gjøres ved å senke temperaturen på spraykammeret. Det anbefales at spraykammeret har en stabil temperatur på ± 0.01 °C.

3.1.2 Ultrasonic nebulizer

Ti blanke prøver ble også analysert ved bruk av ultrasonic forstøver. I tabell 2b, vedlegg 2, er konsentrasjonen av 9 av disse gitt sammen med gjennomsnitt, ett standardavvik og 3 standardavvik. Blank kjørt etter en 100 ppt standardløsning er tatt ut da den gav høyere respons enn de øvrige, «memory effect».

Siste kolonne i tabell 2b, vedlegg 2 gir deteksjonsgrensen til isotopene. Laveste deteksjonsgrense har Ho165 og Er166 på 70 ppq.

I forhold til deteksjonsgrensen oppnådd med Meinhart forstøver har t.d. erbium167 forbedret sine deteksjonsgrenser med en faktor 11.6 ved bruk av USN, tabell 2. For scandium45 er forbedringen enda større, deteksjonsgrensen er endret fra 22.2 ppt med Meinhart nebulizer til 0.25 ppt med USN, det vil si med en faktor 89.3.

Tabell 2 Sammenligning av deteksjonsgrenser : Ultrasonic og Meinhart nebulizer

Isotop	USN [ppt]	Meinhart [ppt]	Meinhart/USN
Sc45(LR)	0.248	22.176	89.3
Y89(LR)	0.150	0.844	5.6
La139(LR)	0.165	1.175	7.1
Ce140(LR)	0.298	1.640	5.5
Pr141(LR)	0.141	1.497	10.6
Nd143(LR)	0.275	1.589	5.8
Nd146(LR)	0.225	2.008	8.9
Sm147(LR)	0.163	1.085	6.7
Sm149(LR)	0.197	1.217	6.2
Sm152(LR)	0.179	1.320	7.4
Eu151(LR)	0.113	0.997	8.8
Eu153(LR)	0.097	0.770	7.9
Gd157(LR)	0.298	1.224	4.1
Gd158(LR)	0.129	0.699	5.4
Tb159(LR)	0.073	1.003	13.8
Dy161(LR)	0.114	1.206	10.6
Dy163(LR)	0.113	0.868	7.7
Dy164(LR)	0.107	0.773	7.2
Ho165(LR)	0.070	0.827	11.8
Er166(LR)	0.070	0.817	11.6
Er167(LR)	0.099	1.217	12.2
Tm169(LR)	0.081	0.749	9.3
Yb172(LR)	0.126	0.904	7.2
Yb173(LR)	0.149	0.736	4.9
Yb174(LR)	0.138	0.877	6.4
Lu175(LR)	0.109	0.843	7.7
Th232(LR)	0.172	0.390	2.3

3.2 Nøyaktighet

En vanlig måte å presentere nøyaktigheten på er å presentere oppnådd resultat for en primær eller sekundærstandard sammen med sertifikatverdiene. Resultatet kan da presenteres som en absolutt feil (oppnådd resultat - sertifikat verdi) eller som en relativ feil i %:

$$\frac{\text{Oppnådd resultat - sertifikat verdi}}{\text{sertifikat verd}} \cdot 100 = \% \text{ nøyaktighet}$$

I de fleste tilfeller vil den relative feilen være mest informativ, G. Kateman og F.W Pijpers (1981).

3.2.1 Meinhart forstøver

«Sertifikatstandarden» på 10 ppb, kapittel 2.2, ble kjørt tre ganger. Måleresultatene er gitt i tabell 3a, vedlegg 2, sammen med gjennomsnittlig målt konsentrasjon, standardavvik og relativt standardavvik til gjennomsnittet.

«Sertifikatstandarden» er ikke sertifisert for elementene Sc, Y og Th disse elementene skal derfor foreligge i svært lave konsentrasjoner. I tabell 3a, vedlegg 2, ser man at dette stemmer da scandium45 er målt til en konsentrasjon lavere enn deteksjonsgrensen < 22.2 ppt, yttrium89 og thorium232 er målt til hhv. 3.24 ppt og 4.36 ppt som er litt over deteksjonsgrensene til elementene på hhv. 0.84 ppt og 0.39 ppt.

I tabell 4, vedlegg 2, er nøyaktigheten ved bestemmelse av isotopene / elementene gitt i %. Tretten av 24 isotoper er bestemt med en nøyaktighet bedre enn 1 %, der ytterbium174 har den beste verdien på 0.17 %. Elleve av 24 isotoper er bestemt med en nøyaktighet dårligere enn 1 % hvor neodymium143 er dårligst med 2.46 %.

3.2.2 Ultrasonic forstøver

«Sertifikatstandarden» på 100 ppt, kapittel 2.2, ble kjørt tre ganger. Måleresultatene er gitt i tabell 3b, vedlegg 2, sammen med gjennomsnittlig målt konsentrasjon, standardavvik og relativt standardavvik til gjennomsnittet.

I tabell 4, vedlegg 2, er nøyaktigheten ved bestemmelse av isotopene / elementene gitt i %. Alle isotoper er bestemt med en nøyaktighet dårligere enn 2 %, men bedre enn 7 %. Bare 8 av isotopene er bestemt med en nøyaktighet dårligere enn 5%.

4 KONKLUSJON

Ved bruk av ultrasonic forstøver forbedres deteksjonsgrensene opp til 89.3 ganger i forhold til hva som oppnås med en Meinhart forstøver.

Man bør ikke analysere på isotoper som har konsentrasjoner høyere enn 100 ppt ved bruk av ultrasonic forstøver, da men lett får «memory effecter».

Nøyaktigheten til metoden ved analyse av de sjeldne jordartselementene er svært god. Med Meinhart forstøver oppnår man en nøyaktighet bedre enn 2.5% for en 10 ppb løsning og med USN er det oppnådd en nøyaktighet bedre enn 7% for en 100 ppt løsning.

REFERANSER

- B. Flem, «Kvalitetssikring: Sammenligning av dobbeltdestillert ionebyttet vann og Milli-Q vann», NGU Rapport 97.054
- B. Flem, «Metodeutvikling : Deteksjonsgrenser REE, ICP-MS», NGU Rapport 97.080
- G. Kateman and F.W. Pijpers, «Quality Control in Analytical Chemistry», Chemical Analysis, vol 60, Wiley & Sons, New York, (1981)
- J.C. Miller and J.N. Miller, «Statistics for Analytical Chemistry», Ellis Horwood Limited, John Wiley & Sons, 2.ed, (1988)
- S Yamasaki and A. Tsumura, «Determination of Ultra-Trace Levels of Elements in Water by High Resolution ICP-MS with an Ultrasonic Nebulizer», Water Science and Technology, **25**, 205, (1993).

Vedlegg 1

Måleprogram

Runs/Passes (Meas.) : 3 * 5 + 0 * 0 + 0 * 0
 Runs/Passes (Eval.) : 3 * 5 + 0 * 0 + 0 * 0
 Resol. Idle Time [sec] : 2 , 2 , 2

Resolution	Isotope	Accurate Mass	Mass Window	Mass Range	Magnet Mass	Scan Type	Segment Duration	Settling Time	Sample Time	Samples per Peak	Detection Mode	Internal Standard	Integration Type	Search Window	Integration Window	Regression Type
Low	1 Li7	7.0160	150	6.998 - 7.034	7.016	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Counting		Average	60	80	Linear
	2 Sc45	44.9559	150	44.844 - 45.068	44.956	EScan	0.150	0.300	0.0100	10	Counting		Average	60	80	Linear
	3 Y89	88.9059	150	88.684 - 89.128	88.906	EScan	0.150	0.300	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	4 La139	138.9064	150	138.559 - 139.254	138.906	EScan	0.150	0.300	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	5 Ce140	139.9054	150	139.556 - 140.255	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	6 Pr141	140.9077	150	140.555 - 141.260	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	7 Nd143	142.9098	150	142.553 - 143.267	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	8 Nd146	145.9131	150	145.548 - 146.278	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	9 Sm147	146.9149	150	146.548 - 147.282	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	10 Sm149	148.9172	150	148.545 - 149.289	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	11 Sm152	151.9197	150	151.540 - 152.300	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	12 Eu151	150.9199	150	150.543 - 151.297	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	13 Eu153	152.9212	150	152.539 - 153.304	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	14 Gd157	156.9240	150	156.532 - 157.316	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	15 Gd158	157.9241	150	157.529 - 158.319	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	16 Tb159	158.9254	150	158.528 - 159.323	138.906	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	17 Dy161	160.9269	150	160.525 - 161.329	160.927	EScan	0.150	0.300	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	18 Dy163	162.9287	150	162.521 - 163.336	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	19 Dy164	163.9292	150	163.519 - 164.339	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	20 Ho165	164.9303	150	164.518 - 165.343	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	21 Er166	165.9303	150	165.515 - 166.345	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	22 Er167	166.9321	150	166.515 - 167.349	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	23 Tm169	168.9342	150	168.512 - 169.357	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	24 Yb172	171.9364	150	171.507 - 172.366	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	25 Yb173	172.9382	150	172.506 - 173.371	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	26 Yb174	173.9389	150	173.504 - 174.374	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	27 Lu175	174.9408	150	174.503 - 175.378	160.927	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Both		Average	60	80	Linear
	28 Th232	232.0381	150	231.458 - 232.618	232.038	EScan	0.150	0.300	0.0100	10	Counting		Average	60	80	Linear
	29 U238	238.0508	150	237.456 - 238.646	232.038	EScan	0.150	0.001	0.0100	10	Counting		Average	60	80	Linear

Vedlegg 2

I tabell 1-4 er målte og beregnede verdier gitt for kalibrering, bestemmelse av deteksjonsgrenser og nøyaktighet.

Tabell 1a Målte intensiteter for to-punktskalibrering, 0 ppt og 10 000 ppt (10 ppb)

Meinhart forstøver						
Isotop	0 ppt			10 000 ppt		
	Intensity [cps]	STD [cps]	RSD [%]	Intensity [cps]	STD [cps]	RSD [%]
Sc45(LR)	5668.4	621	10.96	387373.5	3892.9	1
Y89(LR)	148.3	5.2	3.51	588157	6180	1.05
La139(LR)	150.8	29.8	19.77	734396.7	19169	2.61
Ce140(LR)	475	95	20	685343	9083.6	1.33
Pr141(LR)	31.7	12.3	38.94	858377.3	4642.1	0.54
Nd143(LR)	10	2.5	25	108625.3	1789.1	1.65
Nd146(LR)	8	3.2	40.63	152312.5	711.3	0.47
Sm147(LR)	1	1.6	173.21	135035.1	793.4	0.59
Sm149(LR)	4.2	3.8	91.65	123609.1	939.7	0.76
Sm152(LR)	11.7	5.2	44.61	234667.8	3911.3	1.67
Eu151(LR)	8.5	4	47.36	420153.8	5368.1	1.28
Eu153(LR)	18.3	8	43.83	451693.7	3300.3	0.73
Gd157(LR)	2.3	2.2	96.25	157626	1312.4	0.83
Gd158(LR)	9.4	3.4	36.49	191737.4	1074.8	0.56
Tb159(LR)	85.8	40.2	46.81	729355.8	6359.7	0.87
Dy161(LR)	10.8	6.3	58.08	197608.4	854.6	0.43
Dy163(LR)	8.3	1.4	17.32	259965.4	4045.8	1.56
Dy164(LR)	6.8	3.6	53.42	315962.4	3074.7	0.97
Ho165(LR)	21.7	3.8	17.63	1015485.3	8035.7	0.79
Er166(LR)	3.6	1.9	51.96	343357.8	2465.1	0.72
Er167(LR)	8.3	3.8	45.83	234858.1	3929.9	1.67
Tm169(LR)	0.8	1.4	173.21	1003815.2	7233.2	0.72
Yb172(LR)	2.5	2.5	100	222017.7	10641.7	4.79
Yb173(LR)	2.5	2.5	100	166553	326.3	0.2
Yb174(LR)	1.7	1.5	88.61	330045	1977.7	0.6
Lu175(LR)	36.7	14.2	38.77	882258	1817	0.21
Th232(LR)	18.3	5.2	28.39	984148	21027.6	2.14

Tabell 1b Målte intensiteter for to-punktskalibrering, 0 ppt og 100 ppt

Ultralyd forstøver						
Isotope	0 ppt			100 ppt		
	Intensity [cps]	STD [cps]	RSD [%]	Intensity [cps]	STD [cps]	RSD [%]
Sc45(LR)	6689.2	283.2	4.23	230234.5	1241.9	0.54
Y89(LR)	8741.3	569.5	6.52	403833.2	11037.6	2.73
La139(LR)	19183.1	589.3	3.07	555958	9467.9	1.7
Ce140(LR)	17600.7	1012.3	5.75	528006.6	3297.8	0.62
Pr141(LR)	13232.4	601.3	4.54	619314.5	3417.7	0.55
Nd143(LR)	2583.3	159.6	6.18	73497.9	1298.4	1.77
Nd146(LR)	3433.3	165	4.81	101933.6	1845.5	1.81
Sm147(LR)	1627.5	97.4	5.99	84517.9	1562	1.85
Sm149(LR)	1355	161.4	11.91	75276.5	219.6	0.29
Sm152(LR)	2881.7	184.1	6.39	143294.8	3784.5	2.64
Eu151(LR)	4482.5	33.1	0.74	261704.4	7031.6	2.69
Eu153(LR)	4953.3	38.8	0.78	281475.1	7410.7	2.63
Gd157(LR)	1999.2	216.3	10.82	68176.5	1364.4	2
Gd158(LR)	1863.3	134.9	7.24	106515.6	1626.1	1.53
Tb159(LR)	6530.9	233	3.57	430459	3525.7	0.82
Dy161(LR)	2353.3	96.8	4.11	128695.4	1044.9	0.81
Dy163(LR)	3009.2	130.9	4.35	168685	2067.2	1.23
Dy164(LR)	3303.3	87.5	2.65	192702.3	1225.8	0.64
Ho165(LR)	9842.3	288.8	2.93	621454.3	3106.8	0.5
Er166(LR)	3525.8	107.1	3.04	201764.8	4407	2.18
Er167(LR)	2496.7	101	4.05	146364.1	1101.3	0.75
Tm169(LR)	9150.5	166.9	1.82	589444.7	17465.8	2.96
Yb172(LR)	2125	200.2	9.42	124376.9	1016.2	0.82
Yb173(LR)	1567.5	41.8	2.66	90973.5	1227.5	1.35
Yb174(LR)	3172.5	129.3	4.08	188777.7	2670	1.41
Lu175(LR)	8601.2	380.4	4.42	550457.5	9201.4	1.67
Th232(LR)	7812.8	279.6	3.58	680357.8	9092.3	1.34

Tabell 2a Målte intensiteter av Sc45, Y89, Th232 og de sjeldne jordartselementene (REE) i 8 prøver med Milli-Q vann, surgjort med suprapure HNO₃, er gitt sammen med gjennomsnittet, ett og tre standardavvik og nedre deteksjonsgrense for de 8 prøvene (Meinhart forstøver).

Isotope	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	AVG [cps]	STD [cps]	3STD [cps]	LD [ppt]
Sc45(LR)	4511.7	4700.0	4380.8	4919.2	5227.5	4902.5	4902.5	5076.7	4827.6	282.2	846.5	22.18	
Y89(LR)	145.0	129.2	105.0	102.5	110.0	106.7	130.8	100.0	116.2	16.5	49.6	0.84	
La139(LR)	125.0	134.2	66.7	67.5	95.0	111.7	67.5	65.8	91.7	28.8	86.3	1.18	
Ce140(LR)	336.7	335.0	296.7	323.3	338.3	370.8	257.5	275.0	316.7	37.4	112.3	1.64	
Pr141(LR)	54.2	50.0	20.0	78.3	89.2	147.5	24.2	28.3	61.5	42.8	128.5	1.50	
Nd143(LR)	6.1	11.7	8.5	20.8	20.0	16.1	9.2	7.5	12.5	5.8	17.3	1.59	
Nd146(LR)	16.1	19.6	7.2	10.6	22.8	35.6	8.3	5.1	15.7	10.2	30.6	2.01	
Sm147(LR)	5.8	8.3	1.7	10.0	9.2	15.0	0.8	2.5	6.7	4.9	14.6	1.08	
Sm149(LR)	10.6	0.7	5.8	1.6	10.8	15.8	5.8	7.5	7.3	5.0	15.0	1.22	
Sm152(LR)	41.7	13.3	15.8	18.3	35.8	27.5	15.8	23.3	23.9	10.3	31.0	1.32	
Eu151(LR)	37.5	24.2	20.8	19.5	41.7	52.5	21.7	10.4	28.5	14.0	41.9	1.00	
Eu153(LR)	43.3	40.0	24.2	24.2	50.0	53.3	33.3	26.2	36.8	11.6	34.8	0.77	
Gd157(LR)	30.0	20.0	25.0	14.2	28.3	20.8	25.8	12.2	22.0	6.4	19.3	1.22	
Gd158(LR)	16.4	12.5	8.3	9.7	17.5	20.8	12.5	9.2	13.4	4.5	13.4	0.70	
Tb159(LR)	122.5	88.3	63.3	71.9	112.5	93.3	64.2	55.8	84.0	24.4	73.1	1.00	
Dy161(LR)	19.2	20.8	8.3	5.0	24.2	11.7	11.7	1.7	12.8	7.9	23.8	1.21	
Dy163(LR)	11.3	11.1	8.3	8.3	30.0	18.3	10.5	8.3	13.3	7.5	22.6	0.87	
Dy164(LR)	18.9	12.7	6.1	5.7	28.3	14.2	10.4	3.6	12.5	8.1	24.4	0.77	
Ho165(LR)	58.3	31.7	17.5	20.8	90.8	65.8	33.3	9.7	41.0	28.0	83.9	0.83	
Er166(LR)	21.7	14.2	5.0	3.5	30.8	15.0	5.8	10.0	13.3	9.4	28.1	0.82	
Er167(LR)	15.0	7.5	2.5	3.5	30.8	9.2	12.5	1.8	10.4	9.5	28.6	1.22	
Tm169(LR)	50.0	33.3	15.8	11.7	79.2	49.2	14.2	8.3	32.7	25.1	75.2	0.75	
Yb172(LR)	13.3	3.4	5.0	0.0	20.0	6.7	7.4	0.8	7.1	6.7	20.1	0.90	

Isotope	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	Intensity [cps]	AVG [cps]	STD [cps]	3STD [cps]	LD [ppt]
Yb173(LR)	11.7	10.2	2.5	5.0	12.6	10.0	2.6	5.4	7.5	4.1	12.3	0.74
Yb174(LR)	27.5	11.2	8.3	4.8	27.5	19.4	7.9	4.2	13.9	9.6	28.9	0.88
Lu175(LR)	66.7	59.2	33.3	46.7	106.7	53.3	45.8	25.8	54.7	24.8	74.4	0.84
Th232(LR)	65.8	40.8	43.3	44.2	28.3	30.8	27.5	30.8	38.9	12.8	38.4	0.39

Tabell 2b Målte intensiteter av Sc45, Y89, Th232 og de sjeldne jordartselementene (REE) i 9 prøver med Milli-Q vann, surgjort med suprapure HNO₃, er gitt sammen med gjennomsnittet, ett og tre standardavvik og nedre deteksjonsgrense for de 9 prøvene (Ultralyd forstøver).

Isotope	SMP3 Intensity [cps]	SMP4 Intensity [cps]	SMP5 Intensity [cps]	SMP6 Intensity [cps]	SMP8 Intensity [cps]	SMP9 Intensity [cps]	SMP10 Intensity [cps]	SMP11 Intensity [cps]	SMP12 Intensity [cps]	AVG [cps]	STD [cps]	3STD [cps]	LD [ppt]
Sc45(LR)	6042.5	5870.4	5750.0	5775.8	5624.2	5632.5	5520.0	5675.8	5424.2	5701.7	185.0	555.1	0.248
Y89(LR)	8583.6	8292.0	8338.7	8123.7	8358.7	8307.9	8310.3	8802.2	8471.2	8398.7	197.0	591.1	0.150
La139(LR)	16319.5	15869.4	15931.9	16438.7	16694.6	16352.0	15792.8	16090.3	16200.3	16187.7	295.1	885.3	0.165
Ce140(LR)	12857.4	13284.9	12744.0	14283.4	13722.5	13272.9	12774.0	13651.6	13382.4	13330.3	506.3	1518.8	0.298
Pr141(LR)	10091.4	9812.2	9348.0	9743.1	10173.9	10158.9	9775.6	10117.3	9613.9	9870.5	285.6	856.7	0.141
Nd143(LR)	2173.3	2104.2	2116.7	2140.0	2250.8	2106.7	2287.5	2188.3	2135.8	2167.0	65.0	195.1	0.275
Nd146(LR)	2899.2	2838.3	2850.8	3047.5	3040.8	2893.3	2922.5	2929.2	2905.8	2925.3	73.7	221.2	0.225
Sm147(LR)	1137.5	1144.2	1101.7	1074.2	1169.2	1123.3	1155.8	1166.7	1232.5	1145.0	45.1	135.2	0.163
Sm149(LR)	1109.2	980.8	948.3	1045.8	1079.2	1046.7	1027.5	1055.0	1055.0	1038.6	48.6	145.8	0.197

Isotope	SMP3 Intensity [cps]	SMP4 Intensity [cps]	SMP5 Intensity [cps]	SMP6 Intensity [cps]	SMP8 Intensity [cps]	SMP9 Intensity [cps]	SMP10 Intensity [cps]	SMP11 Intensity [cps]	SMP12 Intensity [cps]	AVG [cps]	STD [cps]	3STD [cps]	LD [ppt]
Sm152(LR)	2104.2	1960.8	1794.2	1920.0	1961.7	1985.8	1956.7	2017.5	1908.3	1956.6	84.0	252.0	0.179
Eu151(LR)	3203.3	3053.3	2997.5	2945.0	3215.0	3098.3	3005.8	3180.0	3122.5	3091.2	97.3	291.8	0.113
Eu153(LR)	3340.8	3375.0	3159.2	3210.0	3419.2	3201.7	3205.8	3274.2	3234.2	3268.9	89.6	268.9	0.097
Gd157(LR)	1262.5	1272.5	1214.2	1180.0	1243.3	1089.2	1142.5	1145.8	1120.8	1185.6	65.7	197.2	0.298
Gd158(LR)	1380.0	1298.3	1348.3	1325.8	1406.7	1335.8	1249.2	1333.3	1341.7	1335.5	45.0	134.9	0.129
Tb159(LR)	4470.8	4356.7	4220.0	4374.2	4583.3	4420.0	4500.8	4417.5	4466.7	4423.3	102.4	307.3	0.073
Dy161(LR)	1605.0	1540.8	1560.8	1569.2	1666.7	1667.5	1603.3	1571.7	1652.5	1604.2	48.0	144.0	0.114
Dy163(LR)	2130.0	2025.8	2045.0	1971.7	2088.3	2072.5	2131.7	2116.7	2172.5	2083.8	62.2	186.6	0.113
Dy164(LR)	2417.5	2285.0	2338.3	2274.2	2287.5	2308.3	2254.2	2433.3	2402.5	2333.4	67.7	203.2	0.107
Ho165(LR)	6634.2	6445.9	6303.4	6307.5	6675.9	6372.6	6330.1	6344.2	6529.3	6438.1	142.9	428.7	0.070
Er166(LR)	2439.2	2404.2	2345.0	2376.7	2459.2	2430.8	2487.5	2464.2	2387.5	2421.6	46.5	139.6	0.070
Er167(LR)	1632.5	1646.7	1655.8	1664.2	1769.2	1666.7	1714.2	1682.5	1751.7	1687.1	47.7	143.1	0.099
Tm169(LR)	6265.0	5844.2	6065.0	5825.0	6198.4	6048.3	5846.7	6070.0	6009.2	6019.1	156.6	469.9	0.081
Yb172(LR)	1591.7	1537.5	1450.0	1455.0	1552.5	1597.5	1520.0	1527.5	1536.7	1529.8	51.4	154.1	0.126
Yb173(LR)	1124.2	1054.2	1130.8	1139.2	1209.2	1147.5	1172.5	1090.0	1137.5	1133.9	44.4	133.2	0.149
Yb174(LR)	2393.3	2400.0	2265.8	2201.7	2458.3	2259.2	2266.7	2265.0	2347.5	2317.5	85.2	255.6	0.138
Lu175(LR)	6183.3	5563.3	5531.7	5689.2	5913.3	5833.3	5699.2	5814.2	5705.0	5770.3	197.7	593.0	0.109
Th232(LR)	8599.6	8312.8	7943.6	7670.2	7813.6	7627.7	7492.7	7591.0	7495.1	7838.5	385.3	1155.8	0.172

Tabell 3a Målte konsentrasjoner av 10 ppb multielement standard (SS-8319-1, Spectra Scan), Meinhart forstøver

Isotop	SMP1			SMP7			SMP13			SMP1, SMP7, SMP13		
	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Gj.snitt [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]
Sc45(LR)	<22	2.01	7.37	<22	7.71	31.5	<22	1.94	8.21	<22	1.84	7.343
Y89(LR)	4.99	0.52	10.41	2.37	0.98	41.32	2.35	0.38	16.3	3.24	1.52	46.901
La139(LR)	10066	74	0.74	9807	153	1.56	9815	136	1.38	9896	147	1.487
Ce140(LR)	10052	95	0.94	9862	150	1.53	9991	82	0.82	9968	97	0.976
Pr141(LR)	10002	138	1.38	9787	62	0.63	9889	61	0.61	9893	107	1.086
Nd143(LR)	9920	75	0.76	9619	200	2.08	9724	163	1.67	9754	153	1.565
Nd146(LR)	9827	84	0.85	9703	77	0.79	9870	81	0.82	9800	86	0.882
Sm147(LR)	9931	85	0.85	9821	73	0.75	9886	25	0.25	9879	55	0.560
Sm149(LR)	9894	122	1.23	9755	85	0.87	9812	129	1.31	9821	70	0.709
Sm152(LR)	9846	57	0.58	9746	87	0.89	9757	55	0.57	9783	55	0.559
Eu151(LR)	9976	79	0.79	9884	35	0.35	9931	48	0.48	9930	46	0.460
Eu153(LR)	10066	59	0.59	9879	21	0.21	9853	71	0.72	9933	116	1.165
Gd157(LR)	10115	121	1.2	10007	126	1.26	10038	119	1.19	10053	56	0.553
Gd158(LR)	9981	169	1.7	9767	95	0.97	9940	158	1.59	9896	113	1.145
Tb159(LR)	10078	24	0.24	9789	159	1.63	9872	83	0.84	9913	149	1.499
Dy161(LR)	10220	77	0.75	10057	18	0.18	10075	61	0.6	10117	89	0.882
Dy163(LR)	10128	121	1.2	10011	29	0.29	9993	218	2.18	10044	73	0.727
Dy164(LR)	9992	66	0.66	9844	89	0.91	9923	115	1.16	9920	74	0.745
Ho165(LR)	10103	75	0.75	9942	85	0.86	10039	88	0.87	10028	81	0.807
Er166(LR)	10106	71	0.7	9948	86	0.87	10060	108	1.07	10038	81	0.812
Er167(LR)	10016	110	1.1	9866	24	0.24	9971	97	0.97	9951	77	0.778
Tm169(LR)	10073	26	0.26	9918	125	1.26	10097	80	0.79	10029	97	0.971
Yb172(LR)	10311	99	0.96	10162	27	0.27	10239	97	0.95	10238	74	0.724
Yb173(LR)	10144	82	0.8	9997	89	0.89	10176	19	0.19	10106	95	0.941

Isotop	SMP1			SMP7			SMP13			SMP1, SMP7, SMP13		
	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Gj.snitt [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]
Yb174(LR)	10068	78	0.78	9965	69	0.69	10018	117	1.17	10017	51	0.510
Lu175(LR)	10115	27	0.27	9918	87	0.88	10024	102	1.02	10019	98	0.981
Th232(LR)	7.88	1.38	17.58	2.67	0.74	27.62	2.55	0.28	11.11	4.36	3.04	69.700

Tabell 3b Målte konsentrasjoner av 100 ppt multielement standard (SS-8319-1, Spectra Scan), ultralyd forstøver.

Isotop	SMP1			SMP7			SMP13			SMP1, SMP7, SMP13		
	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Gj.snitt [ppt]	STD [ppt]	3*STD [ppt]
Sc45(LR)	<0.25	0.134	48.850	<0.25	0.025	3.030	<0.25	0.037	3.590	<0.25	0.392	1.176
Y89(LR)	<0.15	0.089	8.230	<0.15	0.026	2.000	<0.15	0.045	3.230	<0.15	0.157	0.471
La139(LR)	102.35	2.226	2.170	108.50	1.373	1.270	106.15	1.075	1.010	105.67	3.102	9.306
Ce140(LR)	103.78	1.760	1.700	107.58	2.389	2.220	107.93	2.512	2.330	106.43	2.300	6.899
Pr141(LR)	104.78	0.924	0.880	107.35	1.700	1.580	107.85	1.304	1.210	106.66	1.644	4.931
Nd143(LR)	103.71	2.015	1.940	105.69	1.307	1.240	105.92	1.049	0.990	105.11	1.215	3.645
Nd146(LR)	103.80	1.268	1.220	105.67	1.650	1.560	105.22	1.601	1.520	104.90	0.976	2.929
Sm147(LR)	103.47	1.807	1.750	105.91	2.951	2.790	105.77	0.565	0.530	105.05	1.370	4.111
Sm149(LR)	104.31	0.687	0.660	108.41	1.744	1.610	107.02	0.849	0.790	106.58	2.086	6.257
Sm152(LR)	101.44	1.023	1.010	104.25	1.968	1.890	104.71	1.937	1.850	103.47	1.772	5.317
Eu151(LR)	102.90	1.891	1.840	105.43	1.160	1.100	105.82	2.964	2.800	104.72	1.588	4.763
Eu153(LR)	100.80	1.585	1.570	105.28	1.390	1.320	105.91	1.853	1.750	104.00	2.786	8.359
Gd157(LR)	101.87	1.902	1.870	105.11	1.242	1.180	105.96	1.006	0.950	104.31	2.161	6.483
Gd158(LR)	99.71	1.327	1.330	103.81	1.470	1.420	103.51	1.898	1.830	102.34	2.281	6.844

Isotop	SMP1			SMP7			SMP13			SMP1, SMP7, SMP13		
	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Konsentrasjon [ppt]	STD [ppt]	RSD [%]	Gj.snitt [ppt]	STD [ppt]	3*STD [ppt]
Tb159(LR)	102.53	1.719	1.680	104.95	1.329	1.270	105.68	1.174	1.110	104.39	1.653	4.958
Dy161(LR)	101.93	1.885	1.850	105.61	1.340	1.270	105.39	1.493	1.420	104.31	2.063	6.188
Dy163(LR)	100.71	0.752	0.750	104.70	1.206	1.150	104.66	0.613	0.590	103.36	2.291	6.874
Dy164(LR)	98.93	1.279	1.290	102.92	1.408	1.370	104.29	2.081	2.000	102.04	2.787	8.361
Ho165(LR)	100.38	0.656	0.650	104.41	1.134	1.090	105.00	1.092	1.040	103.26	2.515	7.546
Er166(LR)	101.44	1.870	1.840	106.64	1.401	1.310	107.92	0.262	0.240	105.33	3.432	10.295
Er167(LR)	101.56	1.055	1.040	105.26	1.262	1.200	105.06	2.071	1.970	103.96	2.081	6.243
Tm169(LR)	101.25	1.340	1.320	106.11	1.020	0.960	105.82	1.839	1.740	104.39	2.727	8.181
Yb172(LR)	101.64	0.978	0.960	108.11	0.416	0.380	105.33	1.302	1.240	105.03	3.247	9.742
Yb173(LR)	100.67	1.663	1.650	106.33	1.726	1.620	106.11	1.257	1.180	104.37	3.208	9.624
Yb174(LR)	100.75	1.454	1.440	107.23	2.932	2.730	105.69	0.901	0.850	104.56	3.388	10.164
Lu175(LR)	100.76	1.307	1.300	104.54	1.006	0.960	103.50	1.174	1.130	102.93	1.951	5.852
Th232(LR)	0.35	0.077	21.920	<0.17	0.005	1.510	<0.17	0.029	5.370	<0.17	0.466	1.397

Tabell 4 Nøyaktighet av metoden; målte verdier sammenlignet med reell verdi av 10 ppb multielement standard (Meinhart forstøver) og 100 ppt (Ultralyd forstøver)

Isotop	Meinhart forstøver		Ultralyd forstøver	
	Målt verdi AVG [ppt]	Nøyaktighet [%]	Målt verdi AVG [ppt]	Nøyaktighet [%]
La139(LR)	9896	1.04	105.67	5.67 %
Ce140(LR)	9968	0.32	106.43	6.43 %
Pr141(LR)	9893	1.07	106.66	6.66 %
Nd143(LR)	9754	2.46	105.11	5.11 %
Nd146(LR)	9800	2.00	104.90	4.90 %
Sm147(LR)	9879	1.21	105.05	5.05 %
Sm149(LR)	9821	1.79	106.58	6.58 %
Sm152(LR)	9783	2.17	103.47	3.47 %
Eu151(LR)	9930	0.70	104.72	4.71 %
Eu153(LR)	9933	0.67	104.00	4.00 %
Gd157(LR)	10053	0.53	104.31	4.31 %
Gd158(LR)	9896	1.04	102.34	2.34 %
Tb159(LR)	9913	0.87	104.39	4.39 %
Dy161(LR)	10117	1.17	104.31	4.31 %
Dy163(LR)	10044	0.44	103.36	3.36 %
Dy164(LR)	9920	0.80	102.04	2.04 %
Ho165(LR)	10028	0.28	103.26	3.26 %
Er166(LR)	10038	0.38	105.33	5.33 %
Er167(LR)	9951	0.49	103.96	3.96 %
Tm169(LR)	10029	0.29	104.39	4.39 %
Yb172(LR)	10238	2.38	105.03	5.03 %
Yb173(LR)	10106	1.06	104.37	4.37 %
Yb174(LR)	10017	0.17	104.56	4.56 %
Lu175(LR)	10019	0.19	102.93	2.93 %