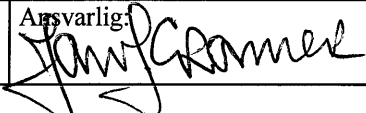


NGU Rapport 99.099

Fordeling av sporelementer i grunnvann fra 476
borebrønner i fast fjell, analysert med ICP-MS.

Rapport nr.: 99.099		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Fordeling av sporelementer i grunnvann fra 476 borebrønner i fast fjell, analysert med ICP-MS.			
Forfatter: Midtgård Aa.K., Frengstad, B., Banks, D., Krog, J.R., Siewers, U., Strand, T. og Lind, B.		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Alle unntatt Aust-Agder		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 169	Pris: 190,- kroner
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: 1996-97	Rapportdato: 2007-03-15	Prosjektnr.: 2720.00	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag:</p> <p>"Landsomfattende kartlegging av kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell" er et samarbeid mellom Statens strålevern (NRPA) og Norges geologiske undersøkelse (NGU). Næringsmiddeltilsynene har stått for prøvetakingen i vannverk og hos private brønneiere og for utfylling av prøvetakingsskjema. Der skjemaet har inneholdt tilstrekkelige opplysninger, er de prøvetatte brønnene stedfestet med koordinater i datasettet og deretter koplet til et digitalt berggrunnskart i målestokk 1:3 millioner.</p> <p>Et mest mulig litologisk og geografisk representativt utvalg på 476 prøver er analysert for innholdet av en lang rekke sporelementer ved ICP-MS teknikk. Rapporten behandler kort de ulike sporelementene, hvordan de opptrer, hvilken helsemessig betydning de kan ha ved inntak og hvilke grenseverdier som gjelder i Norge og andre land. Resultatene er presentert grafisk etter inndeling i henholdsvis fylker og bergartsgrupper og hovedtrekkene er beskrevet i tekst.</p> <p>Det er mange sporstoff hvor det ikke er fastsatt noen grenser for konsentrasjonen i drikkevann i Norge. I de tilfeller grenser er fastsatt i andre land, er disse benyttet for sammenlikning. Imidlertid kan det være store nasjonale forskjeller. 18 % av prøvene overskrider den foreslåtte amerikanske grensen for uran på 20 µg/l, mens den kanadiske grenseverdien på 100 µg/l overskrides av 3 %. 7 % av prøvene overskrider den russiske grensen for beryllium på 0,2 µg/l, mens bare 1 av 476 prøver er utenfor den amerikanske normen på 4 µg/l. ICP-MS-analysene viser at 8 % av aluminiumskonsentrasjonene er høyere en maksimalt tillatte verdi på 200 µg/l (tilsvarende tall er 4,4 % for ICP-AES analysene). Andelen av overskridelse for de øvrige analyserte sporstoffene er mellom 0 og 3 %.</p>			
Emneord: Geokjemi	Hydrogeologi	Borebrønn	
Berggrunn	Grunnvann	Helse	
Kartlegging	ICP-MS	Sporstoffer	

INNHold

1.	INNLEDNING	9
2.	BAKGRUNN	10
3.	HVORFOR FÅR VI OPPLØSTE STOFFER I GRUNNVANN.....	11
3.1	Nedbør	11
3.2	Prosesser i jordsmonnet.....	11
3.3	Forurensning.....	12
3.4	Marine salter.....	12
3.5	Reaksjoner med mineraler i berggrunnen	13
3.6	Reaksjoner i brønn og ledningsnett.....	14
4.	GRUNNVANN OG HELSE	15
4.1	Sølv (Ag).....	15
4.2	Arsen (As)	15
4.3	Bor (B).....	15
4.4	Barium (Ba).....	16
4.5	Beryllium (Be).....	16
4.6	Vismut (Bi).....	16
4.7	Brom (Br)	16
4.8	Kadmium (Cd).....	17
4.9	Kobolt (Co)	17
4.10	Krom (Cr).....	17
4.11	Cesium (Cs).....	17
4.12	Kobber (Cu).....	18
4.13	Jern (Fe).....	18
4.14	Gallium (Ga)	18
4.15	Germanium (Ge)	18
4.16	Hafnium (Hf).....	19
4.17	Kvikksølv (Hg).....	19
4.18	Jod (I)	19
4.19	Indium (In)	19
4.20	Litium (Li).....	19
4.21	Mangan (Mn).....	20
4.22	Molybden (Mo)	20
4.23	Niob (Nb)	20
4.24	Nikkel (Ni)	20
4.25	Bly (Pb)	20
4.26	Rubidium (Rb).....	21
4.27	Antimon (Sb).....	21
4.28	Scandium (Sc)	21
4.29	Selen (Se)	21
4.30	Tinn (Sn)	22
4.31	Strontium (Sr).....	22

4.32	Tantal (Ta).....	22
4.33	Tellur (Te).....	22
4.34	Thorium (Th).....	22
4.35	Titan (Ti).....	23
4.36	Thallium (Tl).....	23
4.37	Uran (U).....	23
4.38	Vanadium (V).....	23
4.39	Wolfram (W).....	24
4.40	Yttrium (Y).....	24
4.41	Sink (Zn).....	24
4.42	Zirkon (Zr).....	24
4.43	Sjeldne jordarter.....	24
5.	METODE.....	25
5.1	Prøvetaking.....	25
5.2	Analyser.....	25
5.3	Databearbeiding.....	26
5.4	Feilkilder.....	31
5.5	Vurdering av analytisk kvalitet.....	31
5.5.1	Ionebalanse.....	31
5.5.2	ICP-MS og ICP-AES.....	32
5.5.3	Duplikatprøver.....	32
5.6	Datafremstilling.....	40
5.6.1	Boksplott.....	40
6.	RESULTATER.....	42
6.1	Hovedelementkjemi, pH og radon.....	42
6.2	Kartfremstilling med frekvensfordeling av parametere.....	42
6.3	Litologisk og geografisk fordeling av parametere.....	42
6.4	Sølv (Ag).....	44
6.5	Aluminium (Al).....	44
6.6	Arsen (As).....	48
6.7	Bor (B).....	48
6.8	Barium (Ba).....	52
6.9	Beryllium (Be).....	52
6.10	Vismut (Bi).....	56
6.11	Brom (Br).....	56
6.12	Kalsium (Ca).....	60
6.13	Kadmium (Cd).....	60
6.14	Kobolt (Co).....	63
6.15	Krom (Cr).....	63
6.16	Cesium (Cs).....	67
6.17	Kobber (Cu).....	67
6.18	Jern (Fe).....	71

6.19	Gallium (Ga)	71
6.20	Germanium (Ge)	75
6.21	Hafnium (Hf)	75
6.22	Kvikksølv (Hg)	79
6.23	Indium (In)	79
6.24	Jod (I)	83
6.25	Kalium (K)	83
6.26	Litium (Li)	86
6.27	Magnesium (Mg)	86
6.28	Mangan (Mn)	89
6.29	Molybden (Mo)	89
6.30	Natrium (Na)	93
6.31	Niob (Nb)	93
6.32	Nikkel (Ni)	96
6.33	Bly (Pb)	96
6.34	Rubidium (Rb)	100
6.35	Antimon (Sb)	100
6.36	Scandium	104
6.37	Selen (Se)	104
6.38	Tinn (Sn)	106
6.39	Strontium (Sr)	107
6.40	Tantal (Ta)	110
6.41	Tellur (Te)	111
6.42	Thorium (Th)	115
6.43	Titan (Ti)	115
6.44	Thallium (Tl)	119
6.45	Uran (U)	119
6.46	Vanadium (V)	123
6.47	Wolfram (W)	123
6.48	Yttrium (Y)	127
6.49	Sink (Zn)	127
6.50	Zirkon (Zr)	131
6.51	Sjeldne jordarter	134
6.51.1	Lantan (La)	134
6.51.2	Cerium (Ce)	134
6.51.3	Praseodym (Pr)	138
6.51.4	Neodym (Nd)	138
6.51.5	Samarium (Sm)	141
6.51.6	Europium (Eu)	142
6.51.7	Gadolinium (Gd)	145
6.51.8	Terbium (Tb)	146
6.51.9	Dysprosium (Dy)	149

6.51.10	Holmium (Ho)	150
6.51.11	Erbium (Er)	154
6.51.12	Thulium (Tm).....	154
6.51.13	Ytterbium (Yb).....	158
6.51.14	Lutetium (Lu)	158
7.	KONKLUSJONER	162
8.	REFERANSER.....	165

FIGURER

Figur 1	Fordelingen av prøvepunkter for beryllium analysert med ICP-AES for hele datasettet (Fjell_korr, n = 1604) og analysert med ICP-MS for det representative datasettet (Fjell_rep, n = 476)
Figur 2a	xy-plott av analyseresultater fra ICP-AES (x-akse) mot analyseresultater fra ICP-MS (y-akse) for utvalgte parametere. Alle konsentrasjoner i mg/l.
Figur 2b	xy-plott av analyseresultater for Sc (ICP-MS) mot Si (ICP-AES), As (ICP-MS) mot Cl (IC), V (ICP-MS) mot Cl (IC), Cr (ICP-MS) mot Cl (IC), Fe (ICP-MS) mot Ca (ICP-AES) og Ni (ICP-MS) mot Ca (ICP-AES) for å sjekke eventuelle interferenser. Alle konsentrasjoner i mg/l.
Figur 3a	xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Ag – Co. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.
Figur 3b	xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Cr – La. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.
Figur 3c	xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Li – Se. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.
Figur 3d	xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Sn – Zn. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.
Figur 3e	xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Zr – Yb. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.
Figur 4	Grafisk forklaring av klassisk boksplokk
Figur 5	Kumulative frekvensfordelinger for hovedelementer og enkelte utvalgte elementer for hele datasettet (Fjell_korr n = 1604). Pilene markerer norske drikkevannsgrenser.
Figur 6 a, b	Presentasjon av resultat for sølv i boksplokk og i kart
Figur 7 a, b	Presentasjon av resultat for aluminium i boksplokk og i kart
Figur 8 a, b	Presentasjon av resultat for arsen i boksplokk og i kart
Figur 9 a, b	Presentasjon av resultat for bor i boksplokk og i kart
Figur 10 a, b	Presentasjon av resultat for barium i boksplokk og i kart
Figur 11 a, b	Presentasjon av resultat for beryllium i boksplokk og i kart
Figur 12 a, b	Presentasjon av resultat for vismut i boksplokk og i kart
Figur 13 a, b	Presentasjon av resultat for brom i boksplokk og i kart
Figur 14 a	Presentasjon av resultat for kalsium i boksplokk

Figur 15 a, b Presentasjon av resultat for kadmium i boksplott og i kart
Figur 16 a, b Presentasjon av resultat for kobolt i boksplott og i kart
Figur 17 a, b Presentasjon av resultat for krom i boksplott og i kart
Figur 18 a, b Presentasjon av resultat for cesium i boksplott og i kart
Figur 19 a, b Presentasjon av resultat for kobber i boksplott og i kart
Figur 20 a, b Presentasjon av resultat for jern i boksplott og i kart
Figur 21 a, b Presentasjon av resultat for gallium i boksplott og i kart
Figur 22 a, b Presentasjon av resultat for germanium i boksplott og i kart
Figur 23 a, b Presentasjon av resultat for hafnium i boksplott og i kart
Figur 24 a, b Presentasjon av resultat for kvikksølv i boksplott og i kart
Figur 25 a, b Presentasjon av resultat for indium i boksplott og i kart
Figur 26 a, b Presentasjon av resultat for jod i boksplott og i kart
Figur 27 a Presentasjon av resultat for kalium i boksplott
Figur 28 a, b Presentasjon av resultat for litium i boksplott og i kart
Figur 29 a Presentasjon av resultat for magnesium i boksplott
Figur 30 a, b Presentasjon av resultat for mangan i boksplott og i kart
Figur 31 a, b Presentasjon av resultat for molybden i boksplott og i kart
Figur 32 a Presentasjon av resultat for natrium i boksplott
Figur 33 a, b Presentasjon av resultat for niob i boksplott og i kart
Figur 34 a, b Presentasjon av resultat for nikkel i boksplott og i kart
Figur 35 a, b Presentasjon av resultat for bly i boksplott og i kart
Figur 36 a, b Presentasjon av resultat for rubidium i boksplott og i kart
Figur 37 a, b Presentasjon av resultat for antimon i boksplott og i kart
Figur 38 a, b Scandiumresultatene er ikke vist pga analysefeil (interferens med silisium)
Figur 39 a, b Presentasjon av resultat for selen i boksplott og i kart
Figur 40 a, b Presentasjon av resultat for tinn i boksplott og i kart
Figur 41 a, b Presentasjon av resultat for strontium i boksplott og i kart
Figur 42 a, b Presentasjon av resultat for tantal i boksplott og i kart
Figur 43 a, b Presentasjon av resultat for tellur i boksplott og i kart
Figur 44 a, b Presentasjon av resultat for thorium i boksplott og i kart
Figur 45 a, b Presentasjon av resultat for titan i boksplott og i kart
Figur 46 a, b Presentasjon av resultat for thallium i boksplott og i kart
Figur 47 a, b Presentasjon av resultat for uran i boksplott og i kart
Figur 48 a, b Presentasjon av resultat for vanadium i boksplott og i kart
Figur 49 a, b Presentasjon av resultat for wolfram i boksplott og i kart
Figur 50 a, b Presentasjon av resultat for yttrium i boksplott og i kart
Figur 51 a, b Presentasjon av resultat for sink i boksplott og i kart
Figur 52 a, b Presentasjon av resultat for zirkon i boksplott og i kart
Figur 53 a, b Presentasjon av resultat for lantan i boksplott og i kart
Figur 54 a, b Presentasjon av resultat for cerium i boksplott og i kart
Figur 55 a, b Presentasjon av resultat for praseodym i boksplott og i kart
Figur 56 a, b Presentasjon av resultat for neodym i boksplott og i kart

- Figur 57 a, b Presentasjon av resultat for samarium i boksplokk og i kart
Figur 58 a, b Presentasjon av resultat for europium i boksplokk og i kart
Figur 59 a, b Presentasjon av resultat for gadolinium i boksplokk og i kart
Figur 60 a, b Presentasjon av resultat for terbium i boksplokk og i kart
Figur 61 a, b Presentasjon av resultat for dysprosium i boksplokk og i kart
Figur 62 a, b Presentasjon av resultat for holmium i boksplokk og i kart
Figur 63 a, b Presentasjon av resultat for erbium i boksplokk og i kart
Figur 64 a, b Presentasjon av resultat for thulium i boksplokk og i kart
Figur 65 a, b Presentasjon av resultat for ytterbium i boksplokk og i kart
Figur 66 a, b Presentasjon av resultat for lutetium i boksplokk og i kart

TABELLER

- Tabell 1: Fordelingen av grunnvannsprøver innenfor de 19 litologiske gruppene i det representative datasettet Fjell_rep (n=476).
- Tabell 2: Median- og maksimumsverdier ($\mu\text{g/l}$) for sporelementene i datasettet Fjell_rep (n=476).
- Tabell 3: Oppsummering av andel fjellborebrønner (Fjell_rep) som overskrider de norske (når gitt), amerikanske eller russiske drikkevannsnormene for elementer av helsemessig betydning.

VEDLEGG

- Vedlegg 1. Nedre deteksjonsgrense for de analyserte elementene.
- Vedlegg 2. Koder for bergartsgrupper som er representert

1. INNLEDNING

NGU-prosjekt nr. 2720.00 «Landsomfattende kartlegging av kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell» er et samarbeid mellom Statens strålevern og NGU.

Tidligere undersøkelser har antydnet at en betydelig andel av Norges borebrønner i fast fjell gir vann som ikke tilfredsstillende drikkevannsnormene for enkelte uorganiske-kjemiske parametere og/eller inneholder grunnstoffer i konsentrasjoner som kan ha helsemessig betydning.

Noen av disse tidligere undersøkelsene har blitt kritisert for å være fokusert på landsdeler hvor bergartene ville ventes å gi høye konsentrasjoner av mange uønskede stoffer. Man mente derfor at undersøkelsene overvurderte risikoen hvis man ukritisk brukte resultatene som representative for andre landsdeler.

På grunn av stor etterspørsel etter radonmålinger og for å skaffe en bedre oversikt over radonnivåer i vann fra borebrønner, gikk Statens strålevern ut sommeren 1996 med et tilbud om samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsynene vedrørende prøvetaking av grunnvann i fjell. De kommunale næringsmiddeltilsynene som gikk inn i dette samarbeidet organiserte prøveinnsamlingen i sine områder. NGU så at dette gav en unik anledning til å hente inn vannprøver til analyse av andre oppløste grunnstoffer og avtalte derfor med Statens strålevern at 500 ml plastflasker skulle sendes ut sammen med flaskene for radonprøvetaking. Disse ble sendt direkte til NGU for analyse. Statens strålevern og NGU hadde ingen innvirkning på prøvetakingens geografiske fordeling, fordi innsending av prøvene var basert på initiativ fra den enkelte brønneier etter tilbud fra det lokale næringsmiddeltilsyn.

Alle innsendte prøver ble analysert på NGU for:

- pH, alkalitet
- anioner ved bruk av ionekromatografi
- en rekke kationer og metalliske elementer ved bruk av ICP-AES

Resultatene fra disse analytiske undersøkelsene, på 1604 prøver, er dokumentert og diskutert i NGU rapport nr. 98.058.

ICP-AES (Induktivt koblet plasma atomemisjonspektrometri) er en relativt billig analytisk metode hvor en rekke elementer kan analyseres samtidig på ett og samme utstyr.

Deteksjonsgrensene er typisk i området 1-50 ppb. Imidlertid er det mange sporelementer som forekommer i meget små mengder i vann. Noen av disse kan ha helsemessige virkninger selv ved lave konsentrasjoner (f.eks. uran, thallium, beryllium (USEPA, 1999)). Ved hjelp av ICP-MS (Induktivt koblet plasma massespektrometri) er det mulig å analysere et bredt utvalg av elementer helt ned til ppt-nivå (ng/l).

Metoden er forholdsvis dyr, og derfor kunne ikke alle innsendte prøver analyseres for sporelementer med ICP-MS. En gjorde da et utvalg på i utgangspunktet 480 prøver som var mest mulig representative for norske bergarter. Disse ble sendt til den tyske geologiske undersøkelsen (BGR) sitt laboratorium i Hannover for ICP-MS-analyse av sporelementer.

I denne rapporten presenteres disse resultatene gjennom statistiske oversikter og kart i grov målestokk. Enkeltresultater gjengis ikke av hensyn til personvernet. Resultatene fra det totale datasettet er rapportert fylkesvis i rapportene NGU 97.157 til 97.169, samt i landsomfattende rapporter som omhandler grunnvann fra fjell (NGU 98.058) og grunnvann fra løsmasser (NGU 98.089). I tillegg er det skrevet en rapport om utjevningsbassengs innvirkning på grunnvannets radoninnhold (NGU 98.097).

2. BAKGRUNN

Det har tidligere vært utført flere studier av hydrokjemien til grunnvann fra krystalline bergarter i Norge (Strand & Lind, 1992, Sæther m.fl., 1995). I mange av disse har det inngått ICP-MS analyser av en rekke sporelementer (Banks m.fl. 1995 a,b, 1998 a, 1999, Reimann m.fl. 1996, 1999, Doherty 1996, Morland m.fl. 1997). Det er flere av disse sporelementene som det ikke finnes drikkevannsnormer for i Norge. Når en sammenligner observerte konsentrasjoner med normene i USA, Canada og Russland, er det flere element, inkludert U og Be, som synes å ha uønskede høye konsentrasjoner i grunnvann i fjell i Norge. Det var derfor ønskelig å analysere slike sporelementer ved hjelp av ICP-MS metoden på de prøvene som ble hentet inn i forbindelse med NGU-prosjekt nr. 2720.00 «Landsomfattende kartlegging av kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell».

I Norge er det størst tetthet av borebrønner i fast fjell rundt Oslofjorden og i Bergensområdet. Fordelingen av prøver i prosjektet «Landsomfattende kartlegging av kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell» utført i 1996-97 gjenspeiler dette og må derfor kunne sies å være representativ i forhold til fordelingen av borebrønner. Fordelingen i forhold til litologiske regioner (bergartsgrupper) er imidlertid skjev.

Siden kostnadsrammene for prosjektet ikke tillot analyser for alle de 1924 innsendte vannprøvene med ICP-MS metoden, ble det gjort et utvalg på 480 kvalitetskontrollerte prøver fra datasettet. I utvelgelsesprosessen ble det lagt vekt på få et datasett som var mer litologisk og geografisk representativt.

3. HVORFOR FÅR VI OPPLØSTE STOFFER I GRUNNVANN

Grunnvann er ikke bare vann. Det inneholder små konsentrasjoner av oppløste stoffer med ulik opprinnelse.

Grunnvann er som regel dannet ved at nedbør siger gjennom jordsmonnet og fyller porerom og sprekker i løsmasser og fjell.

Grunnvannets kjemiske sammensetning vil derfor ofte gjenspeile nedbør, prosesser i jordsmonnet, forurensning, marine salter og reaksjoner med mineraler i berggrunnen. I tillegg kan det skje reaksjoner i brønn og ledningsnett.

3.1 Nedbør

Nedbør er heller ikke bare vann, men inneholder oppløste naturlige gasser (f.eks. CO₂) og forurensning fra industri (sur nedbør). I tillegg kan nedbøren inneholde oppløste stoffer fra vindblåst støv og sjøsalter (natriumklorid - Na⁺Cl⁻). Sjøsaltinnholdet avtar med økende avstand fra kysten.

Grunnvannets kjemiske sammensetning vil i utgangspunktet gjenspeile nedbørens. Sjøsaltinnholdet i grunnvann avtar derfor ofte med avstand fra kysten. Sulfatinnholdet i grunnvann i Sør-Norge kan tenkes å være litt høyere enn i Nord-Norge, grunnet nedfall av svovelforbindelser i sur nedbør (selve syren i sur nedbør blir som regel effektivt nøytralisert i grunnen, slik at sur nedbør sjelden forårsaker surt grunnvann).

Når nedbør faller på vegetasjon eller på jord, vil en del av vannet fordampe eller brukes opp av planter. Dette medfører at saltene i gjenværende vann oppkonsentreres. Saltene i grunt, nydannet grunnvann har derfor samme innbyrdes forhold som i nedbøren, men konsentrasjonene er flere ganger høyere.

3.2 Prosesser i jordsmonnet

Jordsmonnet er et meget aktivt og levende miljø. Planter suger ut noen næringssalter fra porevannet; f.eks. nitrat og kalium. Selv om sur nedbør er forurenset av nitrat, vil man som oftest ikke finne nitraten igjen i grunnvannet - det er brukt opp av plantene.

Organiske syrer kan vaskes ut fra jordsmonnet (humus). Det gir den karakteristiske brunfargen som overflatevann og grunt grunnvann i Norge har enkelte tider på året. Organiske stoffer kan kompleksbinde andre stoffer (f.eks. tungmetaller) og kan derfor være viktige for vannets kjemiske sammensetning.

Jordsmonnet inneholder en rekke mikroorganismer som respirerer. De bruker opp oksygen og produserer karbon i form av CO₂ som løses opp i porevannet og gir en syrlig løsning (kullsyre). Det er CO₂-innholdet i nydannet grunnvann som gjør det aggressivt, slik at det er i stand til å forvitte mineralkorn som det kommer i kontakt med.

3.3 Forurensning

Menneskeskapt forurensning kan påvirke grunnvannskvaliteten. Borebrønnene i fast fjell som denne studien omhandler, er for det meste boret på landlige steder; ved hytter og gårdsbruk. Man forventer at de fleste prøvene er upåvirket av forurensning fra storbyaktiviteter og industri. Mulige forurensningskilder som likevel kan påvirke grunnvannets kvalitet her er bl.a.:

- (i) jordbruk - spesielt bruk av gjødsel og/eller frigjøring av næringssalter ved pløying av beitemark.
- (ii) lekkasje/avrenning fra septiktank eller kloakksystem
- (iii) veisalt
- (iv) lekkasje av olje og oljederivater fra lagringstanker

I de to første tilfellene er nitrat en god indikator på mulig forurensning selv om tarmbakterier eller spesifikke indikatorbakterier er det sikreste beviset på disse forurensningstypene.

3.4 Marine salter

Det er nevnt i 3.1 at sjøsalter kan komme inn i grunnvann i små konsentrasjoner med nedbør. Større konsentrasjoner av sjøsalter (bl.a. natriumklorid) kan forekomme i kystnære områder på grunn av:

- (i) inntrenging av sjøvann fra havet. Dette kan forekomme hvis brønnen er boret for nær sjøkanten slik at den suger inn sjøvann.
- (ii) inntrenging av fossilt sjøvann, som kan ligge på dypt nivå i fast fjell, som resultat av sjøvann som ble «fanget» i sprekker og hulrom i berggrunnen under landhevningen etter slutten av siste istid.
- (iii) utvasking av salter fra marine avsetninger (f.eks. marin leire) som dekker berggrunnen i kystnære strøk. Avsetninger har blitt hevet opp over nåværende havnivå som følge av landhevningen ved slutten av siste istid.

3.5 Reaksjoner med mineraler i berggrunnen

Nydannet grunnvann er surt (inneholder CO₂) og oksiderende (inneholder O₂). De fleste bergartene består av mineraler som er basiske og reduserende. Det er derfor ikke overraskende at nydannet grunnvann reagerer aktivt med berggrunnen og frigjør en del oppløste stoffer.

Løsmasser består av bergartspartikler som allerede er sterkt forvitret. Løsmasseavsetninger består ofte nesten utelukkende av kvarts, som er meget motstandsdyktig mot forvitring. Mineralkorn i løsmasser reagerer derfor mindre med grunnvann enn de gjør i fast fjell. Den kjemiske sammensetningen til grunnvannet fra løsmasser er derfor ofte «mindre spennende» enn kjemien til vannet fra fast fjell.

Reaksjonene som finner sted mellom vann og bergart er av fem hovedtyper:

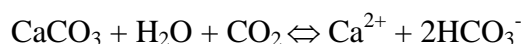
3.5.1 Rene oppløsningsreaksjoner.

Noen mineraler går i oppløsning i vann på samme måte som salt går i oppløsning i vann. De fleste mineraler er langt tyngre løselig enn vanlig salt, og reaksjonene går langt saktere. F.eks. går mineralet fluoritt (CaF₂) i oppløsning og frigjør kalsiumioner og fluoridioner:



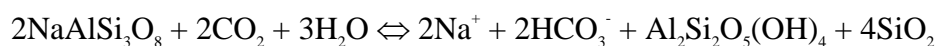
3.5.2 Syre-base reaksjoner

Noen reaksjoner går langt fortere hvis vannet er surt (dvs. inneholder CO₂). For eksempel: kalsitt (kalk, CaCO₃) løses opp i surt vann (H₂O + CO₂):



Denne reaksjonen er en av de vanligste i grunnvannssammenheng. Reaksjonen frigjør kalsium og bikarbonat (dvs. alkalitet). Derfor er grunnvann i kalkfjell som regel hardt og alkalisk.

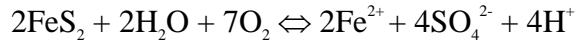
I bergarter som ikke inneholder mye kalk, kan silikatmineraler, slik som feltspat, angripes på lignende måte:



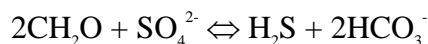
Den reaksjonen frigjør natriumioner, alkalitet og silisium, og produserer kaolinitt (leire) som fast forvittringsprodukt. Grunnvann med natriumbikarbonat-preg er typisk i granitt som inneholder mye natriumfeltspat.

3.5.3 Oksidasjon-reduksjon (redoks) reaksjoner

Oppløst oksygen i vannet kan reagere med noen reduserende mineraler, slik som metallsulfider, for å frigjøre sulfat, metall og syre. F.eks. svovelkis:

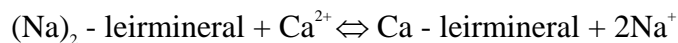


Motsatt reaksjon kan selvfølgelig også forekomme i meget oksygenfattig vann, hvor sulfat blir redusert av organisk stoff (CH_2O) til hydrogensulfid (H_2S). Denne oppløste gassen gir den karakteristiske lukten av «råtne egg» som finnes i enkelte borebrønner:

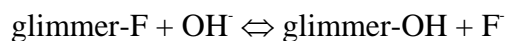


3.5.4 Ionebytte-reaksjoner

Noen mineraler, f.eks. zeolitt eller leirmineraler, opptrer som naturlige ionebyttere. Disse kan f.eks. fjerne kalsiumioner fra grunnvann og erstatte dem med natriumioner. Det er akkurat samme reaksjon som finner sted i ionebyttere som brukes til å behandle hardt vann.



Man finner også mineraler som fungerer som ionebyttere for negativt-ladete ioner (anioner), slik som fluorid. Glimmer, apatitt og amfiboler opptrer trolig på den måten:



I alkalisk vann innebærer denne reaksjonen at hydroksydionet adsorberes på glimmerkornet og erstatter fluoridionet som frigis til vannet.

3.6 **Reaksjoner i brønn og ledningsnett**

Vannet som er prøvetatt i denne undersøkelsen er som regel ikke tatt direkte fra brønnen, men fra en kran et eller annet sted på ledningsnettet. Mye kan hende under overføring fra brønn til kran:

- (i) Overflatevann kan trenge inn i brønnen.
- (ii) Mineraler kan felles ut i brønn eller ledningsnett.
- (iii) Grunnstoffer, slik som kobber, kan løses ut fra rør i ledningsnettet.
- (iv) Vannet kan være behandlet. (Dette har vi bedt om opplysninger om fra brønneieren. Prøver av kjemisk behandlet vann skal derfor ikke ha kommet inn i datasettet som omtales i denne rapporten).

4. GRUNNVANN OG HELSE

I dette kapittelet gis en kort oppsummering av beviste og antatte sammenhenger mellom helse og drikkevannets kjemiske innhold, vesentlig basert på ulike drikkevannsforskrifter, veiledningshefter og internettsider (SIFF 1987, Sosial- og helsedepartementet 1995, Statens strålevern 1995, 1996, USEPA 1999, Health Canada 1996) samt på miljøgeokjemisk atlas over Kola (Reimann m. fl. 1998). For ytterligere spørsmål av helsemessig art, bør en ta kontakt med kommunelege eller næringsmiddeltilsyn.

Det eksisterer en rekke sporelementer som potensielt kan ha negative helsevirkninger. De kan leilighetsvis forekomme i grunnvann i bergarter som er anrikt på sporelementer og/eller i grunnvann hvor pH og redoksforholdene gjør stoffene mer løselige.

4.1 Sølv (Ag)

Verdens Helseorganisasjonen (WHO 1993) anser ikke sølv som særlig giftig. Sølv absorberes i liten grad i kroppen, men bundet til svovelkomponenter i mat øker absorpsjonen, og sølv kan akkumuleres i vevene, særlig i huden. Sosial- og helsedepartementet (1995) har satt en høyeste tillatte konsentrasjon for sølv i drikkevann på 10 µg/l. I Canada er 50 µg/l satt som høyeste tillatte konsentrasjon (Leeden m. fl. 1990), mens USEPA (1999) har foreslått 100 µg/l som drikkevannsgrense i USA.

4.2 Arsen (As)

Arsen er et essensielt grunnstoff i svært små mengder. Arsen er kreftfremkallende og enkelte As^{3+} -forbindelser er sterkt giftige. Arsen er et problem i grunnvann mange steder i verden (Taiwan, Sør Amerika, Mexico, Ghana, India, Bangladesh og Thailand), og kronisk forgiftning med hudforandringer, sår og kreft er dokumentert (Edmunds og Smedley 1996). Sosial- og helsedepartementet (1995) har satt en høyeste tillatte konsentrasjon på 10 µg/l for arsen i drikkevann. Dette er i tråd med WHO's anbefalinger. I USA, Canada og Russland er høyeste tillatte konsentrasjon satt til 50 µg/l.

4.3 Bor (B)

Inntak av store mengder bor kan påvirke sentralnervesystemet (SIFF 1987). Veiledende verdi for borkonsentrasjon i drikkevann følger WHO (1993) sin anbefaling og er satt til 300 µg/l av Sosial- og helsedepartementet (1995). I Russland er største tillatte verdi satt til 500 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993), mens det i Canada (Leeden m. fl. 1990) opereres med en største tillatte konsentrasjon på 5000 µg/l.

4.4 Barium (Ba)

Barium kan ha negative helseeffekter på hjerte, blodkar og nerver (SIFF 1987). Bariumsulfat har liten løselighet og barium forekommer derfor i grunnvann med lite sulfat (f.eks. i reduserende grunnvann hvor sulfat er omdannet til sulfid). Sosial- og helsedepartementet (1995) har satt en veiledende grenseverdi på 100 µg/l for barium i drikkevann. Høyeste tillatte konsentrasjon er satt til 2000 µg/l i USA (USEPA 1999), 1000µg/l i Canada (Leeden m. fl. 1990) og 100 µg/l i Russland (Kirjuhin m. fl. 1993). WHO (1993) anbefaler en grenseverdi på 700 µg/l

4.5 Beryllium (Be)

Beryllium står listet opp under helseskadelige stoffer i den norske drikkevannsforskriften (Sosial- og helsedepartementet, 1995), men det er ikke satt noen grense for beryllium i Norge. USEPA (1999) har funnet at langvarig eksponering i drikkevann kan medføre skade på beinvevet og lungene og kan være kreftfremkallende. Maksimumsgrense i USA er derfor satt til 4 µg/l beryllium. Beryllium forekommer oftere i sure enn i basiske bergarter og gjerne i forbindelse med feltspatminerale og pegmatittganger. Elementet er forholdsvis uløselig og forekommer sjelden over 1 µg/l. WHO (1993) anser ikke de tilgjengelige data som tilstrekkelige for å anbefale grenseverdier. I Russland er største tillatte konsentrasjon satt til 0,2 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993).

4.6 Vismut (Bi)

Vismut regnes som et ikke-essensielt grunnstoff. Vismut danner vanligvis uløselige forbindelser og mobiliteten er lav under oksiderende forhold og svært lav under reduserende forhold (Reimann m. fl. 1998). I Russland er høyeste tillatte konsentrasjon for vismut i drikkevann satt til 100 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993).

4.7 Brom (Br)

Brom er essensielt for noen organismer, men regnes også som giftig, spesielt i endel organiske forbindelser (bromacil, bromadiolon, bromkloridfluormetan, brommetan). Brom anses som uønsket i forbindelse med vannbehandling, hvor slike bromorganiske forbindelser kan dannes. I naturlig vann, forekommer oftest brom som anionet bromid (Br⁻). Mobiliteten og løseligheten er høy under de fleste forhold. I Russland er høyeste tillatte konsentrasjon for brom i drikkevann satt til 200 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993).

4.8 Kadmium (Cd)

Kadmium akkumuleres i kroppen og har giftvirkning på en rekke organer. Det er mistanke om at elementet er kreftfremkallende (SIFF 1987). Kadmium kan komme fra gamle armaturer på ledningsnettet eller i noen tilfeller fra kadmiummineralisering i bergrunnen. Kadmium er særlig løselig i bløtt, surt vann. Største tillatte konsentrasjon av kadmium i drikkevann i Norge, USA og Canada er 5 µg/l, mens den i Russland er satt til 1 µg/l. WHO (1993) anbefaler en grense på 3 µg/l.

4.9 Kobolt (Co)

Kobolt er essensielt og et viktig grunnstoff i vitamin B 12. Det er giftig ved store doser og antatt å være kreftfremkallende. Løseligheten er størst under sure og oksiderende forhold. Verdens helseorganisasjon (WHO 1993) har ikke satt noen norm for kobolt i drikkevann. I Russland er det imidlertid satt en toksikologisk begrunnet grense for kobolt i drikkevann på 1000 µg/l. I den norske drikkevannsforskriften er kobolt listet under uønskede stoffer, men uten at noen grense er spesifisert.

4.10 Krom (Cr)

Krom forekommer i vann i treverdig og seksverdig form (Cr^{III} og Cr^{VI}). I upåvirket grunnvann forventes Cr^{III} å være den dominerende formen. Under oksiske forhold og basisk pH vil Cr^{VI} dominere ved likevekt (Allard 1995). Cr^{VI} kan skade lever og nyrer og er registrert å være kreftfremkallende. Største tillatte totalkonsentrasjon av krom i drikkevann er satt til 50 µg/l av Sosial- og helsedepartementet (1995) i tråd med WHO (1993) sin foreløpige anbefaling. I USA er største tillatte konsentrasjon satt til 100 µg/l. I Russland er 100 µg/l satt som største tillatte konsentrasjon for Cr^{VI} , mens det tillates inntil 500 µg/l Cr^{III} i drikkevannet. Cr^{III} er relativt lite løselig under alle forhold, mens Cr^{VI} er mer mobil (Reimann m.fl. 1998)

4.11 Cesium (Cs)

Cesium regnes som et ikke-essensielt grunnstoff. Cesium er assosiert med kalium i silikatbergarter (Reimann og de Caritat 1998). Bare den stabile isotopen Cs-133 forekommer naturlig, men 30 kunstig framstilte isotoper er kjent. Cesium kan være kjemisk giftig ved at det går inn i stedet for livsviktige makrokationer i kroppen (Kabata-Pendias & Pendias 1984). Det er ikke satt noen grenser for cesium i drikkevann.

Det understrekes at vi omtaler naturlig cesium i denne rapporten, og *ikke* den kunstige radioaktive cesium som oftest forbindes med atomulykker o.l.

4.12 Kobber (Cu)

Kroppen trenger beskjedne mengder kobber. Høye doser kan, ifølge USEPA (1999) skade flere organer i kroppen og dødelig forgiftning av små barn fra drikkevann er blitt rapportert (Reimann m.fl.1998). Personer med Wilsons sykdom kan være spesielt utsatt for ugunstige virkninger fra kobber. Kobber i drikkevann kommer i hovedsak fra kobberrør i ledningsnettet og løseligheten er høy ved lav pH. Mindre mengder kan komme fra berggrunnen. Russland og Canada opererer med en maksimum tillatt konsentrasjon på 1000 µg/l, USEPA har satt 1300 µg/l som høyeste tillatte konsentrasjon. WHO (1993) anbefaler en grense på 2 mg/l (2000 µg/l). Den norske grensen er satt til 300 µg/l.

4.13 Jern (Fe)

Jern er et essensielt grunnstoff for alle organismer. Inntak av jern i normale konsentrasjoner fra drikkevann har ingen helseskadelige effekter (giftig ved konsentrasjoner over 200 mg/l). Derimot vil utfelt jern i vannet kunne redusere desinfeksjonseffekten i UV-anlegg ved at jernpartiklene skjerme for UV-strålene, og mikroorganismer slipper gjennom anlegget. Jern kan gi vekstmuligheter for jernbakterier. Disse er ikke sykdomsfremkallende, men vekst av slike bakterier kan føre til at det dannes store mengder rustslam i ledninger og bassenger. Vann som er grumsete av jernutfellinger, er lite estetisk og smaker dårlig. Jernholdig vann kan være sterkt farget. Vann med høyere jerninnhold enn 0,2 mg/l (200 µg/l), kan misfarge klær ved klesvask og føre til brune utfellinger på sanitærutstyr. Jern har lav løselighet under oksiderende forhold ved normalt pH. Løseligheten er høyere under reduserende forhold.

4.14 Gallium (Ga)

Gallium spiller ingen kjent rolle i det biologiske kretsløpet og grunnstoffet regnes som moderat giftig. Det er ikke satt noen grenser for gallium i drikkevann.

4.15 Germanium (Ge)

Germanium spiller ingen kjent rolle i det biologiske kretsløpet og grunnstoffet regnes som lite giftig. Det er ikke satt noen grenser for germanium i drikkevann.

4.16 Hafnium (Hf)

Hafnium regnes som ikke-essensielt. Grunnstoffet er vanligvis assosiert med granitter og pegmatitter og er nærmest ufravikelig knyttet til zirkonmineralet (Reimann m. fl. 1998). Det er ikke satt noen grenser for hafnium i drikkevann.

4.17 Kvikksølv (Hg)

Kvikksølv er et sterkt giftig tungmetall som akkumuleres i kroppen. Nyrer og nervesystem er mest utsatt for skader. I Norge (Sosial- og helsedepartementet 1995) og i Russland (Kirjuhin m. fl. 1993) er største tillatte verdi i drikkevann satt til 0,5 µg/l. I Canada er største tillatte verdi satt til 1 µg/l, mens den i USA er satt til 2 µg/l. WHO's anbefalte verdi for total kvikksølvkonsentrasjon i drikkevann er 1 µg/l.

4.18 Jod (I)

Jod er et essensielt grunnstoff. Anbefalt daglig inntak er 0,15-0,2 mg. Ved for lave inntak kan struma utvikles. Allergi mot jod er ikke uvanlig. Mobiliteten av jod er svært høy under alle forhold (Reimann og de Caritat 1998). Jod er vanligvis assosiert med evaporitter, og den viktigste kilden i Norge er sjøsalter i nedbøren. Helseskadelige, radioaktive jod-isotoper frigjøres ved atomprøvesprengninger og kjernekraftulykker, men det er *ikke* slike radioaktive former som omtales i denne rapporten.

4.19 Indium (In)

Indium regnes som essensielt i små mengder, men kan også være noe toksisk i større mengder. Grunnstoffet forekommer vanligvis som sporstoff i sinkblende (Reimann og de Caritat 1998). Det er ikke satt noen grenser for indium i drikkevann.

4.20 Litium (Li)

Litium regnes som et essensielt grunnstoff, og det er påvist en korrelasjon mellom lave litiumnivå i drikkevannet og forhøyet forekomst av mentale lidelser (Reimann m. fl. 1998). Litium anses for å være lite giftig og det er ikke satt noen drikkevannsgrenser i vest. Russland opererer med en høyeste tillatte konsentrasjon på 0,03 mg/l eller 30 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993). Litium er et løselig element og følger ofte natrium på grunn av liknende kjemiske egenskaper.

4.21 Mangan (Mn)

Mangan er et essensielt grunnstoff for alle organismer og mangel er et vanligere problem enn toksisitet (Reimann m. fl. 1998). Inntak av mangan i drikkevannet har ingen direkte helseeffekter, men utfelt mangan i vannet kan på samme måte som jern redusere desinfeksjonseffekten i UV-anlegg og medføre estetiske problemer (se kapittel 4.13). Utfellinger av mangan er vanligvis svarte. Høyeste tillatte konsentrasjon i drikkevann i Norge er 0,05 mg/l (50 µg/l) mens veiledende verdi er 0,02 mg/l (20 µg/l) (Sosial- og helsedepartementet 1995).

4.22 Molybden (Mo)

Molybden er et essensielt grunnstoff for de aller fleste organismer, men regnes også som potensielt giftig. WHO har anbefalt en grense på 0,07 mg/l (70 µg/l), mens Russland (Kirjuhin m. fl. 1993) opererer med en høyeste tillatte konsentrasjon på 0,25 mg/l (250 µg/l). Det er ikke satt noen grense for molybden i drikkevann i Norge.

4.23 Niob (Nb)

Niob regnes for å være uten betydning i det biologiske kretsløp og toksisiteten er ansett å være relativt lav. Det er ikke satt noen grenser for niob i drikkevann i Vesten, mens det i Russland opereres med en største tillatte konsentrasjon i drikkevann på 0,01 mg/l eller 10 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993).

4.24 Nikkel (Ni)

Nikkel er et essensielt grunnstoff. Toverdige nikkelforbindelser er relativt lite giftige, mens andre forbindelser kan være ekstremt giftige og/eller kreftfremkallende (Reimann m. fl. 1998). I Norge er høyeste tillatte konsentrasjon i drikkevann satt til 0,05 mg/l eller 50 µg/l (Sosial- og helsedepartementet 1995). WHO anbefaler en grense på 0,02 mg/l (20 µg/l). I USA og Russland er høyeste tillatte konsentrasjon satt til 0,1 mg/l eller 100 µg/l (USEPA 1999, Kirjuhin m. fl. 1993). Ved konsentrasjoner over dette anser USEPA (1999) at det ikke foreligger noen helseeffekt på kort sikt, men at høye nikkelkonsentrasjoner på lengre sikt kan gi redusert kroppsvekt, skader på hjerte og lever, samt hudirritasjon.

4.25 Bly (Pb)

Bly akkumuleres i kroppen og kan ha negative virkninger på nervesystemet, bloddannelse og nyrene, spesielt hos små barn (SIF, 1987). Bly kan komme fra ledningsnett, men blyrør er

lite utbredt i Norge. Bly kan i noen tilfeller komme fra blymineralisering i berggrunnen. Bly er spesielt løselig i bløtt, surt vann. Høyeste tillatte konsentrasjon i Norge er 0,02 mg/l eller 20 µg/l (Sosial og helsedepartementet 1995). Andre drikkevannsgrenser er henholdsvis 0,015 mg/l (15 µg/l) i USA (US EPA), 0,05 mg/l (50 µg/l) i Canada (Health Canada 1996) og 0,03 mg/l (30 µg/l) i Russland (Kirjuhin m. fl. 1993). WHO (1993) anbefaler en grense på 0,01 mg/l (10 µg/l).

4.26 Rubidium (Rb)

Rubidium regnes som verken essensielt eller giftig. Det forekommer som substitutt for kalium i silikater og salter (Reimann m. fl. 1998). Det er ikke satt noen grense for rubidium i drikkevann.

4.27 Antimon (Sb)

Antimon er et ikke-essensielt grunnstoff. Største tillatte konsentrasjon i Norge er 0,01 mg/l (10 µg/l). I USA (USEPA 1999) er drikkevannsgrensen satt ved 0,006 mg/l (6 µg/l), mens WHO (1993) har anbefalt en grense for antimon på 0,005 mg/l (5 µg/l). For høye konsentrasjoner av antimon vil på kort sikt gi kvalme, oppkast og diaré. Det er mistanke om at inntak av antimon gjennom drikkevann på lengre sikt er kreftfremkallende (USEPA 1999).

4.28 Scandium (Sc)

Scandium er ansett for å være et ikke-essensielt grunnstoff, og det eksisterer lite kunnskap om eventuell giftighet. Det er ikke satt noen grenser for scandium i drikkevann.

4.29 Selen (Se)

Selen er et essensielt grunnstoff for mange organismer, men er også giftig i litt høyere konsentrasjoner. Største tillatte konsentrasjon i Norge er 0,01 mg/l (10 µg/l). I USA (USEPA 1999) er drikkevannsgrensen satt ved 0,05 mg/l (50 µg/l), mens WHO (1993) har anbefalt en grense for selen i drikkevann på 0,01 mg/l (10 µg/l). Den russiske grensen (Kirjuhin m.fl. 1993) er strengere og satt ved 0,001 mg/l (1 µg/l). På kort sikt gir forhøyede konsentrasjoner av selen i drikkevann endringer i hår og fingernegrer, skader på det perifere nervesystem, trøtthet og irritabilitet. Inntak av vann med for høy selenkonsentrasjon over lengre tid, kan medføre tap av hår og negler, nyre- og leverskade og skade på nervesystemet (USEPA 1999)

4.30 Tinn (Sn)

Uorganiske tinnforbindelser er ikke spesielt giftige, mens organiske forbindelser (som bl.a. har blitt benyttet i båtmalning) som trimetyltinn og trietyltinn er sterke nervegifter (Chang og Cockerham 1994). WHO (1993) anser det ikke som nødvendig å ha noen grense for tinn i drikkevann.

4.31 Strontium (Sr)

Strontium regnes som et ikke-essensielt grunnstoff for de fleste organismer. Det er ikke satt noen grense for strontium i drikkevann i Norge, men i Russland opereres det med en største tillatte konsentrasjon på 7 mg/l. Den radioaktive isotopen ^{90}Sr som oppstår som følge av atomprøvesprengninger og kjernekraftulykker er svært farlig fordi strontium kan tas opp i kroppen istedenfor kalsium. I Russland er det satt en grense på 4×10^{-10} mg/l for ^{90}Sr . Den radioaktive isotopen er imidlertid *ikke* omtalt i denne rapporten, som omhandler kun naturlig strontium.

4.32 Tantal (Ta)

Tantal antas å ikke ha noen funksjon i det biologiske kretsløpet og har svært lav toksisitet. Grunnstoffet opptrer alltid sammen med niob i naturen og mobiliteten er svært lav under alle forhold (Reimann og de Caritat 1998). Det er ikke satt noen grenser for tantal i drikkevann.

4.33 Tellur (Te)

Tellur regnes som et ikke-essensielt grunnstoff. Det er ikke satt noen grense for tellur i drikkevann i Norge. I Russland er det fastsatt en største tillatte konsentrasjon på 10 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993).

4.34 Thorium (Th)

Thoriums helseeffekter i drikkevann er lite kjent. Thorium er, som uran, et svakt radioaktivt, naturlig forekommende element. Thorium er, i motsetning til uran, svært uløselig under de fleste forhold og forekommer derfor vanligvis i langt mindre konsentrasjoner. Derimot er thorium sannsynligvis noe mer giftig enn uran, og vi kan ikke uten videre si at de små konsentrasjonene som finnes i grunnvann ikke har noen helsevirkning. Det er ikke satt noen drikkevannsgrense for thorium.

4.35 Titan (Ti)

Titan har ingen kjent rolle i det biologiske kretsløpet og regnes heller ikke som giftig. Det er ikke satt noen grenser for titan i drikkevann.

4.36 Thallium (Tl)

Thallium er et metall som forekommer i malmer sammen med kobber, sink, kadmium og gull. Det finnes i mindre mengder i andre bergarter, spesielt i kalium- og rubidiumrike mineraler. Thallium i drikkevann kan forårsake ubehag i tarmkanalen og skade på nerver, blod, lever, nyrer og testikler, samt hårtap. USEPA (1999) har definert en veiledende verdi på 0,5 µg/l og en tillatt maksimumskonsentrasjon på 2 µg/l i USA. I Russland er grensen satt til 0,1 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993). Thallium ble tidligere brukt som rottegift, og akutt dødelig dose for voksne mennesker er cirka 1 gram.

4.37 Uran (U)

Uran er et svakt radioaktivt, naturlig element. Det er lite løselig i oksygenfritt, reduserende miljø, men kan være lett løselig i oksiderende vann, spesielt hvis vannet har lav pH (surt vann). Løseligheten øker ytterligere ved kompleksdannelse med andre kjemiske grunnstoffer og forbindelser. Man har funnet mer enn 14 mg/l uran i grunnvann i granitt i Helsinki-området i Finland (Asikainen & Kahlos 1979).

Naturlig uran har, i motsetning til kunstig anriket uran, nokså beskjeden radioaktivitet. Sannsynligvis er urans kjemiske giftighet noe høyere enn den skadevirkningen som strålingen kan medføre (Milvy & Cothorn 1990). Det er ikke satt noen drikkevannsgrense for uran i Norge, men USEPA (1999) har foreslått en grense på 20 µg/l (0,02 mg/l) i USA. Canada har hevet sin grense fra 20 µg/l til 100 µg/l (Health Canada 1996). Det kan være av interesse at den russiske drikkevannsgrensen for uran er satt til 1700 µg/l eller 1,7 mg/l (Kirjuhin m.fl. 1993, dersom dette ikke er en ren trykkfeil). WHO (1993) anser at det ikke finnes adekvate data som tillater å sette en anbefalt grense basert på helsevurderinger.

4.38 Vanadium (V)

Vanadium er essensielt for noen organismer, men regnes også som potensielt giftig. Vanadium står på listen over uønskede stoffer i den norske drikkevannsforskriften (Sosial- og helsedepartementet 1995), men ingen grenseverdi er gitt. I Russland er maksimum tillatte konsentrasjon 0,1 mg/l eller 100 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993). Noen typer naturlig olje kan inneholde ikke-ubetydelige mengder vanadium.

4.39 Wolfram (W)

Wolfram (tungsten) antas å være et ikke-essensielt grunnstoff, og det eksisterer lite kunnskap om giftighet. Det er ikke satt noen grenser for wolfram i drikkevann i Norge. I Russland er maksimum tillatte konsentrasjon for wolfram i drikkevann 0,05 mg/l eller 50 µg/l (Kirjuhin m. fl. 1993).

4.40 Yttrium (Y)

Yttrium anses for å være et ikke-essensielt og lite giftig grunnstoff. Det er ikke satt noen grenser for yttrium i drikkevann.

4.41 Sink (Zn)

Beskjedne mengder sink er nødvendig for kroppen. Det er ikke påvist negative helsemessige virkninger fra sink i drikkevann, ifølge SIFF (1987). Meget høye konsentrasjoner med sink kan forårsake dårlig smak på vannet. Den norske drikkevannsforskriften (Sosial- og helsedepartementet 1995) har satt en anbefalt verdi på 0,3 mg/l (300 µg/l). WHO (1993) anbefaler en grenseverdi på 5 mg/l (5000 µg/l), mens største tillatte konsentrasjon er satt til 1 mg/l (1000 µg/l) i Russland.

4.42 Zirkon (Zr)

Zirkon anses for å være et ikke-essensielt og lite giftig grunnstoff. Det er ikke satt noen grenser for zirkon i drikkevann.

4.43 Sjeldne jordarter

Sjeldne jordarter (REE = rare earth elements) er en samlebetegnelse på grunnstoffene lantan (La), cerium (Ce), praseodym (Pr), neodym (Nd), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb) og lutetium (Lu). Alle sammen anses å ha liknende kjemiske egenskaper. De anses å ikke være essensielle for noen organismer. Sjeldne jordarter som blir tatt opp via drikkevann, akkumuleres i skjelettet, tenner, lunger, lever og nyrer. Det finnes relativt lite kunnskap om hvilke helsemessige effekter de sjeldne jordartene kan ha, men de ser ut til at de generelt er lite giftige. Elementene med høyere atomnummer ser ut til å være mindre giftige enn de med lavere atomnummer. Det er ikke satt grenser for noen av grunnstoffene som tilhører denne gruppen. Løseligheten er lav under alle forhold.

5. METODE

5.1 Prøvetaking

Prøvene ble i de fleste tilfellene tatt av næringsmiddeltilsynene i en ny 500 ml polyeten plastflaske og sendt med post til NGU. Prøvetakingspunktet var vanligvis tappekran i huset eller ved brønnhodet. Det ble anbefalt å la springen renne i minst 5 minutter før prøvetaking. Vannprøvene ble ikke filtrert av to årsaker:

- (i) for å gjøre det enkelt for personer som var ukjent med denne type vannprøvetaking
- (ii) for å få et mål på totalinnhold av forskjellige elementer i drikkevann i oppløst, kolloidal og partikulær form.

5.2 Analyser

Ved ankomst på NGU ble prøvene registrert og lagret i et mørkt kjølerom ved 4°C. Vannets farge ble vurdert (K = ingen farge, B = noe brunt, BB = ganske brunt vann). Dette gir et kvalitativt mål på humusstoffer og/eller utfelt jernhydroksid i vannet. Partikkelinnholdet ble registrert på lignende måte. Så snart som mulig etter ankomst ble prøven rystet forsiktig og ca. 100 ml vann ble dekantert til en ny polyetenflaske. De resterende 400 ml vann i den opprinnelige flasken ble tilsatt 4 ml 65% konsentrert Suprapur salpetersyre for å holde metaller i løsning (og løse opp allerede adsorberte/utfelte metaller).

Vannprøven i 100 ml flasken ble ikke behandlet på noen måte og ble benyttet for bestemmelse av:

- (i) pH ved kalibrert pH-elektrode av type pH-C 2701.
- (ii) alkalitet ved titrering mot saltsyre til pH 8,2 (p-alkalitet) og 4,3 (t-alkalitet)
- (iii) bestemmelse av 7 anioner (Cl^- , Br^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , F^- og PO_4^{3-}) ved ionekromatografi (IC)

Resterende 400 ml surgjort prøve ble brukt til analyse av ca. 30 elementer med induktivt koblet plasma atomisk emisjonsspektroskopi (ICP-AES) (NGU-SD 3.1, 1997). Fra 480 av disse surgjorte prøvene ble det tatt ut 100 ml og dekantert over i en ren polyetenflaske og sendt med ekspresspost til laboratoriet ved «Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) i Hannover, Tyskland. Her ble prøvene analysert med ICP-MS teknikk for en rekke sporelementer.

Duplikatanalyser av hver 12. prøve ble kjørt som kontroll. Analyseusikkerhet og nedre deteksjonsgrense er gjengitt i vedlegg 1.

5.3 Databearbeiding

Et regneark ble opprettet ved NGU. Regnearket inneholder opplysninger fra innsendte skjemaer om bl.a. gårds-/bruksnummer, prøvenummer, brønndyp, grunnforhold samt analyseresultater. Kommunenummer og fylke ble identifisert og lagt inn.

Noen data måtte forkastes på grunn av mangelfullt utfylte skjema, eller uoverensstemmelser i prøvenummerering.

27 prøver som ble tatt i Trøndelag sommeren 1996 av student Janice Doherty fra Universitetet i Sheffield, Storbritannia ble inkludert i datasettet (Doherty, 1996).

Vannprøvene som kom fra brønner eller kilder i fast fjell ble skilt ut fra et fåtall prøver fra brønner i løsmasser eller overflatevann. Etter at alle registreringer var lagt inn, hadde man opplysninger om 1924 vannprøver.

De fleste registreringsskjemaene inneholdt opplysninger om kommune, gårdsnummer og bruksnummer. En fil med disse dataene ble sendt til Statens Kartverk v/Jon Kaasa for konvertering til UTM-koordinater i sone 32. Basert på en feltkontroll i Egersundområdet, må nøyaktigheten sies å være bra. I noen tilfeller var ikke konverteringen vellykket, sannsynligvis på grunn av feil oppgitt gårds-/bruksnummer.

UTM-koordinatene ble koblet opp i Arcview-software mot NGUs digitale berggrunnskart over Norge i målestokk 1:3 000 000 (Sigmond m.fl. 1992). Den koblingen ga hvert prøvetakingspunkt en bergartskode som tilsvarete tegnforklaringen på kartet. Bergartskodene er gjengitt i vedlegg 2.

Brønnene ble tildelt ulike koder:

Kode 0: brønn/kilde i løsmasse

Kode 1: brønn/kilde i fjell

Kode 2: overflatevann

Kode 3: grunnforhold ikke oppgitt, men brønndyp større enn 20 m er antatt å være i fjell

Kode 4: oppgitt løsmasse, men brønndyp større enn 20 m er antatt å være i fjell
(med løsmassedekke)

Kode 5: ikke oppgitt dyp eller fjell/løsmasse

Prøver fra overflatevann ble forkastet fra datasettet. Prøver fra løsmassebrønner og prøver der brønntype ikke lot seg identifisere fra registreringsskjemaet ble også skilt ut før den videre statistiske behandlingen. Det ble igjen 1756 prøver av grunnvann fra brønner eller kilder i fast fjell (Datasett «**Fjell_tot**»). Deretter skilte man også ut prøver med et betydelig partikkelinnhold og prøver av vann som hadde blitt utsatt for noen form for behandling. Man

satt da igjen med et korrigerende datasettet («**Fjell_korr**») som inneholdt 1604 prøver, hvorav 1337 hadde UTM koordinat og 1334 kunne gis en bergartskode.

NGU-rapport 98.158 gir en nøye omtale av dette datasettet med 1604 prøver.

Av økonomiske grunner, kunne en bare analysere ca. 480 av disse 1604 prøvene med ICP-MS metoden. Vi ville derfor velge ut et mest mulig pålitelig, samt geografisk- og litologisk representativt undersett av disse dataene og forkastet derfor følgende prøver:

- prøver av vann som hadde passert en eller annen form for oppholds-
/utjevningsbasseng
- prøver uten UTM-koordinat eller bergartskode

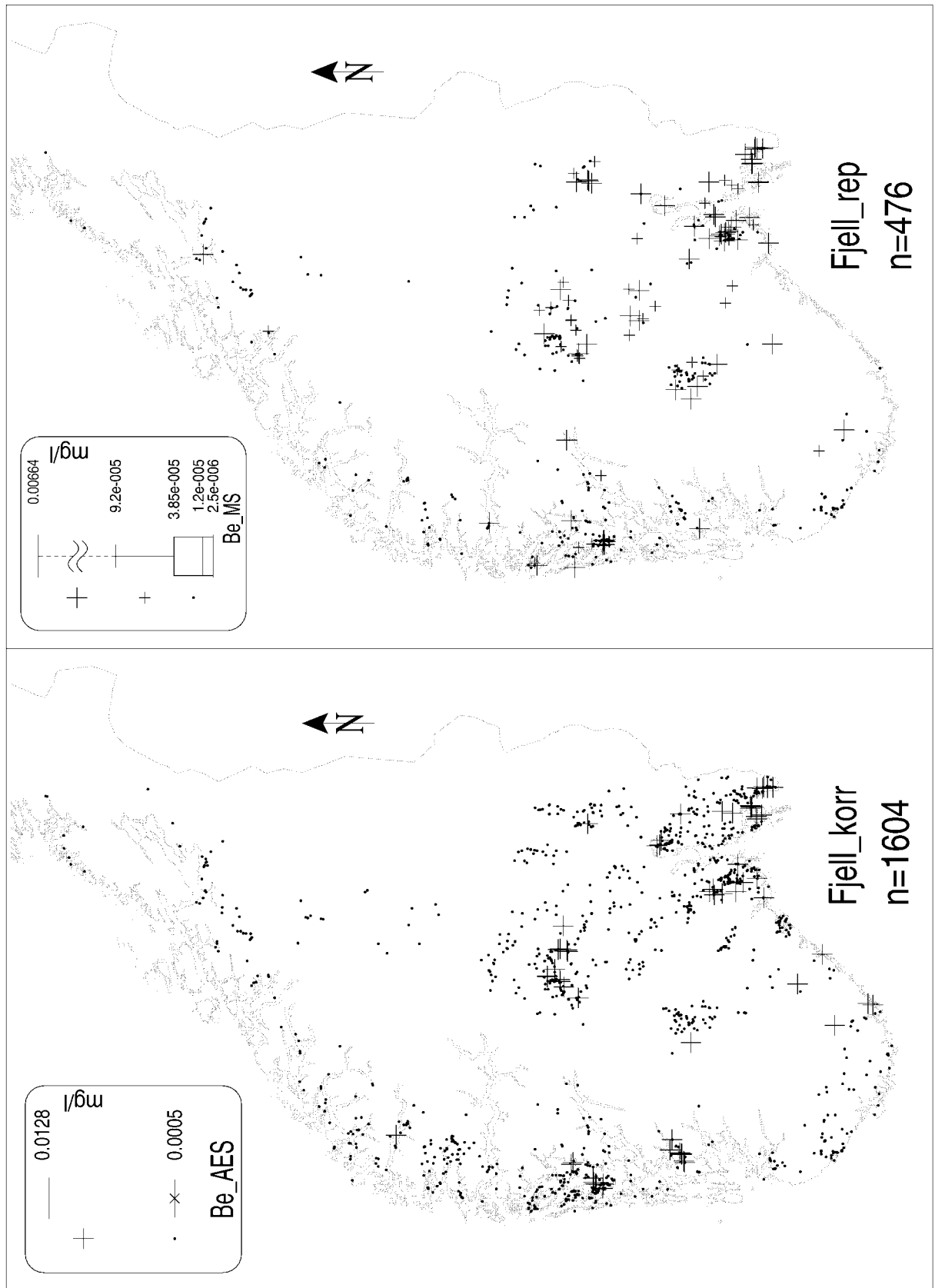
og ble sittende med et datasett som inneholdt 1215 prøver.

For å velge ut 480 prøver for ICP-MS analyse blant disse, ble følgende prosedyre fulgt:

- 1) bare litologiske grupper med > 5 godkjente prøver ble tatt i betraktning for utvelgelse til dette datasettet. 19 bergartsgrupper ble representert (nr. 54, 57, 71, 72, 74, 76, 80, 85, 86, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 og 98) med tilsammen 1201 prøver.
- 2) ideelt sett skulle en ha valgt ut 25 prøver ($480/19=25$) fra hver litologiske gruppe. Siden flere av de litologiske gruppene inneholdt mindre enn 25 prøver, ble bare totalt 425 prøver valgt ut på denne måten.
- 3) de resterende 55 prøvene ble fordelt likt innen hver av de andre litologiske gruppene som inneholdt mer enn 25 prøver. Dette var tilsammen 11 bergartsgrupper: 54, 57, 74, 76, 86, 91, 92, 93, 95, 96 og 97. Slik ble det valgt ut tilsammen 30 prøver fra hver av disse gruppene. Siden 2 av de utvalgte prøveflaskene ikke inneholdt tilstrekkelig mengde vann til å foreta analysen, ble disse prøvene erstattet med prøver fra andre bergartsgrupper. Dette resulterte i at 2 av bergartsgruppene er representert med 31 prøver hver (nr: 74 og 98).
- 4) innenfor hver litologiske gruppe som inneholder mer enn 25 prøver, ble de 30 utvalgte prøvene fordelt likt, så langt det var mulig, mellom de ulike bergartsenhetene (underinndeling i hver bergartsgruppe, tilsvarende forekomster av bergartsgruppen). Etter at det var valgt ut et likt antall prøver fra hver bergartsenhet, (tilsvarende antallet i den bergartsenheten med færrest prøver) ble de resterende prøvene valgt ut blant de gjenværende bergartsenhetene.
- 5) innen hver bergartsenhet ble prøvene distribuert etter UTM-koordinater for å oppnå størst mulig geografisk fordeling (Frengstad et al. 2000).

Det viste seg i ettertid at det manglet en eller flere opplysninger på 4 av de 480 utvalgte prøvene, disse 4 ble derfor fjernet og det endelige datasettet inneholder 476 prøver. Dette datasettet blir heretter referert til som «**Fjell_rep**».

Hensikten med utvelgelseskriteriene var å få en representativ berggrunnsgeologisk fordeling og deretter en representativ geografisk fordeling. Som et eksempel, er fordelingen av prøvepunkter for beryllium både med ICP-AES for hele datasettet og ved ICP-MS for datasettet med 476 prøver vist i figur 1. Tabell 1 viser fordelingen av prøver innenfor de ulike litologiske gruppene for datasettet; n=476.



Figur 1 Fordelingen av prøvepunkter for beryllium analysert med ICP-AES for hele datasettet (Fjell_korr, n = 1604) og analysert med ICP-MS for det representative datasettet (Fjell_rep, n = 476)

Tabell 1 Fordelingen av grunnvannsprøver innenfor de 19 litologiske gruppene i det representative datasettet; Fjell_rep (n=476). Gruppenavnene er basert på tegnforklaringen til berggrunnskart over Norge, 1: 3 000 000 (Sigmond 1992).

Gruppe- kode	Antall prøver	Litologi
54	30	Dyp- og gangbergarter av permisk alder (Oslofeltet)
57	30	Vulkanske og stedvis sedimentære bergarter av karbon/permisk alder (Oslofeltet)
71	24	Granitt til tonalitt i den kaledonske fjellkjede
72	23	Gabbro, dioritt og ultramafiske bergarter i den kaledonske fjellkjede.
74	31	Omdannede sedimentære bergarter av kambrosilurisk alder (Kaledonske fjellkjede og Oslofeltet).
76	29	Grønnstein, grønnskifer, amfibolitt og meta-andesitt av kambrosilurisk alder.
80	15	Sandstein, skifer og konglomerat av senprekambrisk alder.
85	17	Prekambriske bergarter av forskjellig opprinnelse i de kaledonske dekkene.
86	30	Charnockittiske til anortosittiske bergarter i den kaledonske fjellkjede.
88	7	Amfibolitt og gneis av prekambrisk alder.
90	19	Omdannede sedimentære og vulkanske bergarter samt gneis av prekambrisk alder.
91	29	Gneis, migmatitt, foliert granitt og amfibolitt av prekambrisk alder (Nordvestre gneisregion).
92	29	Stedegen granitt til tonalitt av prekambrisk alder.
93	30	Stedegen charnockitt til anortositt av prekambrisk alder.
94	20	Stedegen gabbro, amfibolitt og ultramafiske bergarter av prekambrisk alder.
95	30	Metasandstein, glimmerskifer, konglomerat og gneis av prekambrisk alder.
96	30	Metabasalt, meta-andesitt og amfibolitt av prekambrisk alder.
97	22	Metaryolitt og metaryodacitt av prekambrisk alder.
98	31	Gneis, migmatitt, foliert granitt og amfibolitt av prekambrisk alder.

5.4 Feilkilder

De viktigste feilkildene er som følger:

- (i) Kontaminering av prøver ved prøvetaking. Dette har vi ikke hatt oversikt over, men prøvene har for det meste vært tatt av fagfolk fra næringsmiddeltilsynene som antas å ha vist forsiktighet under prøvetakingen.
- (ii) Feilregistrering av prøver, spesielt feilnummerering. Hos noen næringsmiddeltilsyn har prøvetakeren ikke forstått at nummeret på radonflasken skal tilsvare nummeret på vannflasken. I de fleste tilfellene mener vi å ha oppdaget dette og foretatt en riktig kobling. En kan selvfølgelig ikke utelukke at noen tilfeller har gått uoppdaget.
- (iii) Uforsvarlig lang lagringstid. Dette gjelder i hovedsak parametrene alkalitet, pH og nitrat. Nitritt (NO_2^-) er en ustabil parameter som krever umiddelbar analyse. Denne parameteren er derfor forkastet fra datasettet.
- (iv) Unøyaktigheter i forbindelse med konvertering av gårds-/bruksnummer til UTM. Feltkontroll i Egersundområdet viser god nøyaktighet. Statens Kartverks konverteringsprogram tar brukets sentrum som referansepunkt. Ved større eiendommer, vil brønnen ikke nødvendigvis ligge i sentrum, noe som gir en viss feil. Brønner nær kysten og på små øyer kan derfor bli plottet i sjøen.
- (v) Unøyaktigheter ved kobling til bergartskode. Det digitale kartets målestokk er grov og det kan ha oppstått feil i kartets digitalisering. For å kontrollere unøyaktigheter, ble NGUs 1:250.000 kartblad Oslo valgt ut som kontroll. Alle prøvetakingspunkt ble plottet manuelt på dette detaljerte kartet og bergrunnen registrert. En uoverensstemmelse på maksimum 7% ble registrert i bergartskode mellom digital kobling og manual plottning. Ved fornuftig bruk av statistiske teknikker er dette til å leve med.

5.5 Vurdering av analytisk kvalitet

5.5.1 Ionebalanse

Ionebalansen til prøvene fra det totale datasettet «Fjell_korr» er vurdert som god (NGU Rapport 98.058). 91,5 % av prøvene hadde en ionebalansefeil på ≤ 5 %, mens 97,4 % hadde en ionebalansefeil på ≤ 10 %.

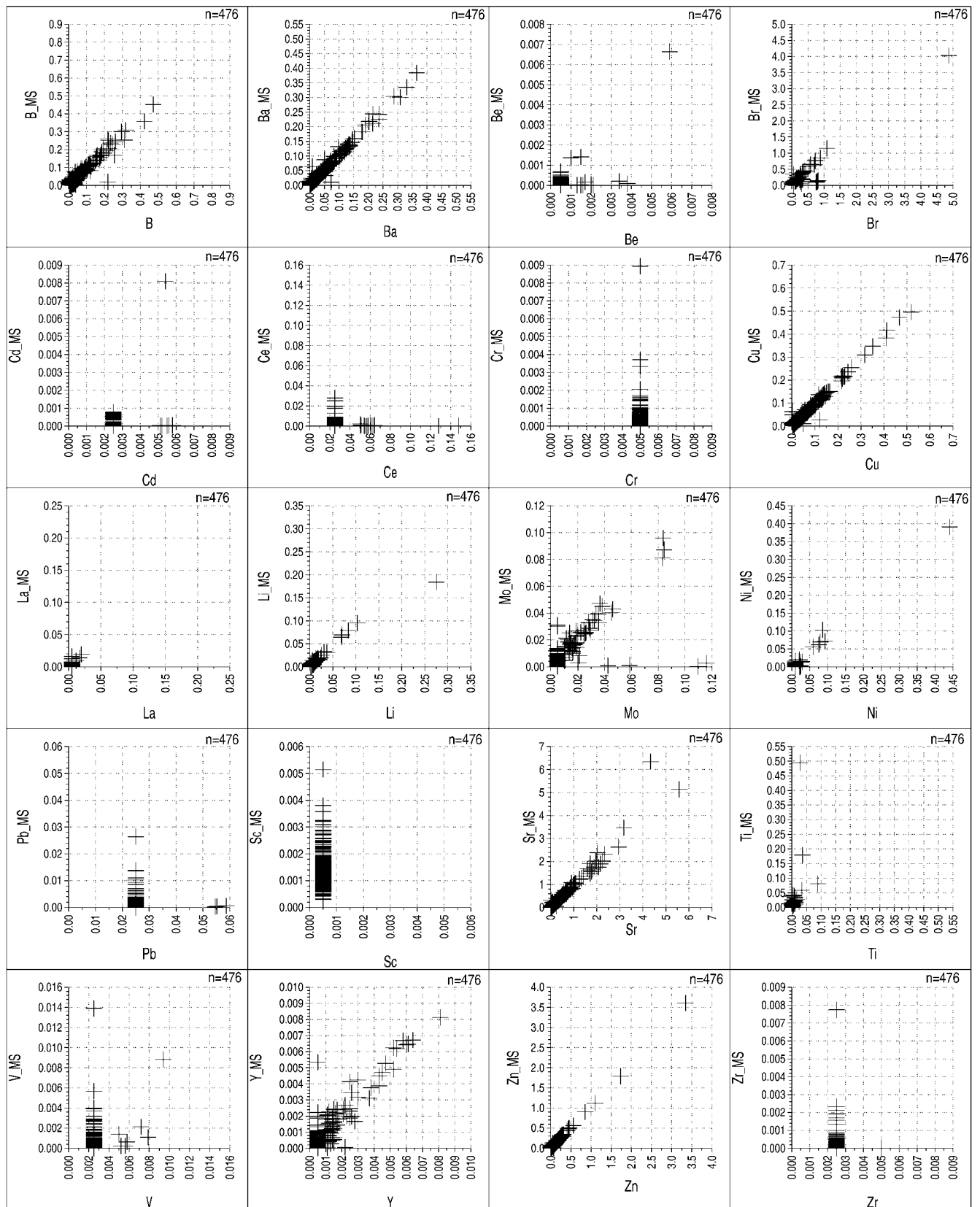
5.5.2 ICP-MS og ICP-AES

Flere av parametere som er analysert med ICP-MS er også analysert med ICP-AES, men med mye høyere analytisk deteksjonsgrense. Alle analyseresultater som er lavere enn den analytiske deteksjonsgrensen blir plottet som en verdi lik halve deteksjonsgrensen. I figur 2a er det sammenlignet resultater fra ICP-AES og ICP-MS for utvalgte parametere. Siden det er brukt forskjellige deteksjonsgrenser ved de to analysemetodene, kan dette, ved første øyeblikk, synes å gi et stort avvik i et XY-diagram. Resultatene fra de ulike målemetodene er stort sett i samsvar med hverandre. Unntaket er vanadium, cerium og beryllium, hvor en forholdsvis liten andel prøver viser dårlig reproduserbarhet mellom metodene.

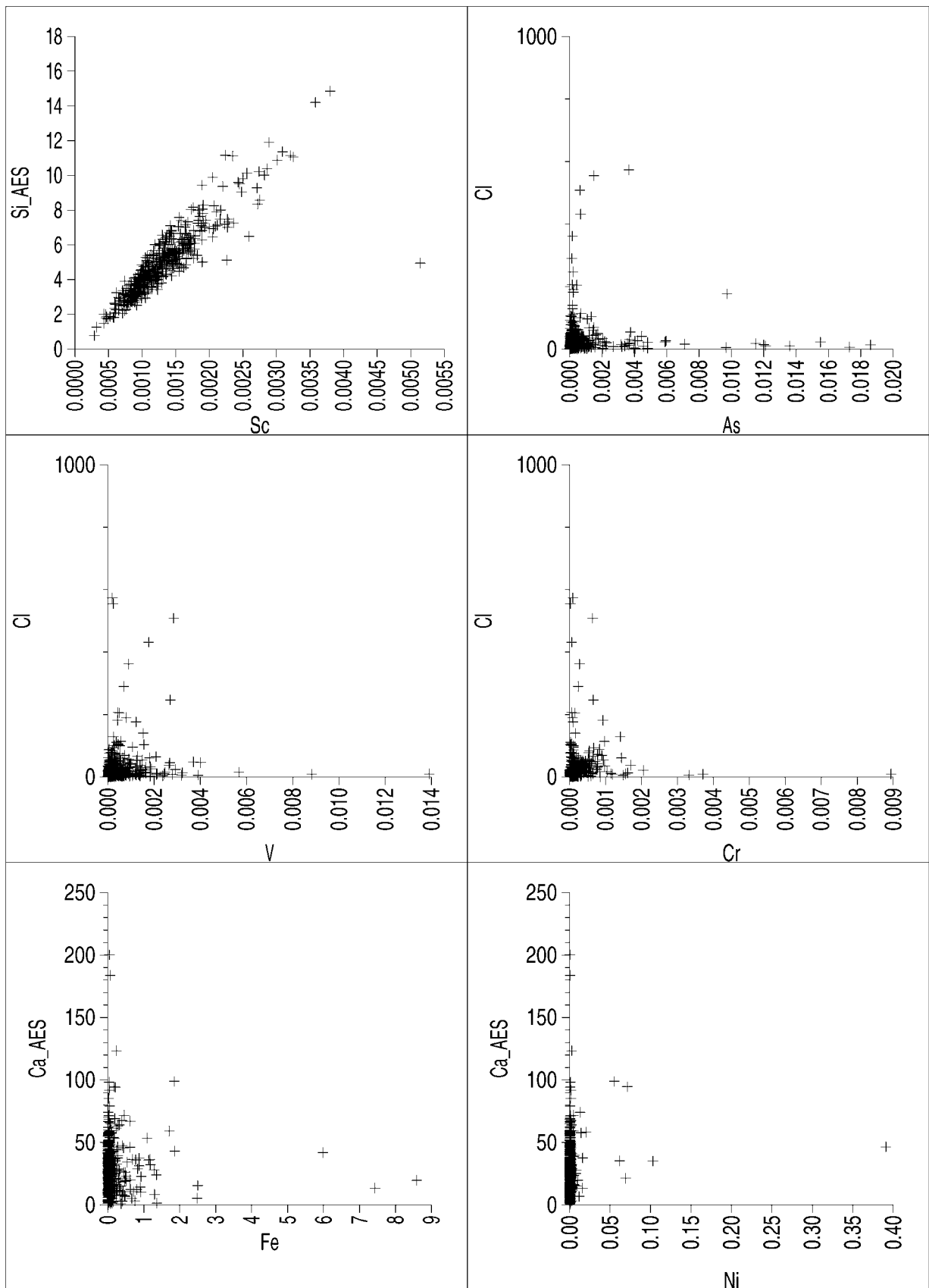
Noen grunnstoff er kjent for å kunne interferere med andre grunnstoff ved analyse med ICP-MS. I figur 2b er det sjekket for de vanligste. Scandium interferer sterkt med silisium på ICP-MS analysene, slik at ingen konklusjoner kan trekkes på grunnlag av de gitte verdiene. Scandium diskuteres derfor ikke videre i denne rapporten. Forøvrig ser det ikke ut til at analysene av arsen, vanadium eller krom interferer med klorid eller at analysene av jern eller nikkel interferer med kalsium

5.5.3 Duplikatprøver

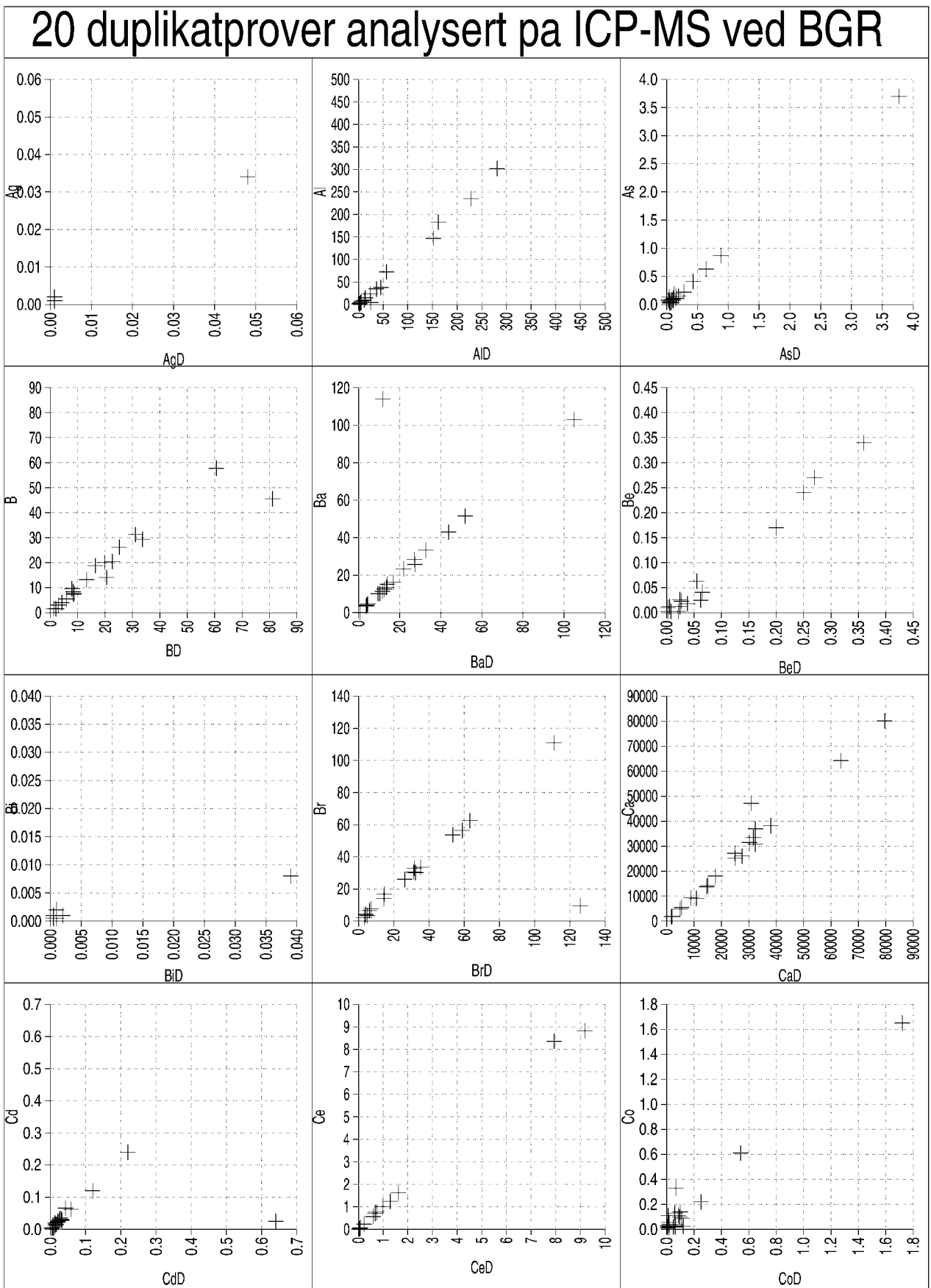
20 tilfeldig valgte duplikatprøver fra prøveserien og 4 duplikater av prøver med kjent løsning ble plassert spredt i datasettet. Analyseresultatene av henholdsvis duplikatprøvene og originalprøvene er plottet mot hverandre i figurene 3a-e. Reproduserbarheten er svært god for de aller fleste element, men hafnium (Hf), kvikksølv (Hg), tantal (Ta) og i mindre grad vismut (Bi), krom (Cr), niob (Nb), selen (Se), tinn (Sn) og tellur (Te) har dårlig reproduserbarhet mellom duplikatprøvene.



Figur 2a xy-plott av analyseresultater fra ICP-AES (x-akse) mot analyseresultater fra ICP-MS (y-akse) for utvalgte parametere. Alle konsentrasjoner i mg/l.

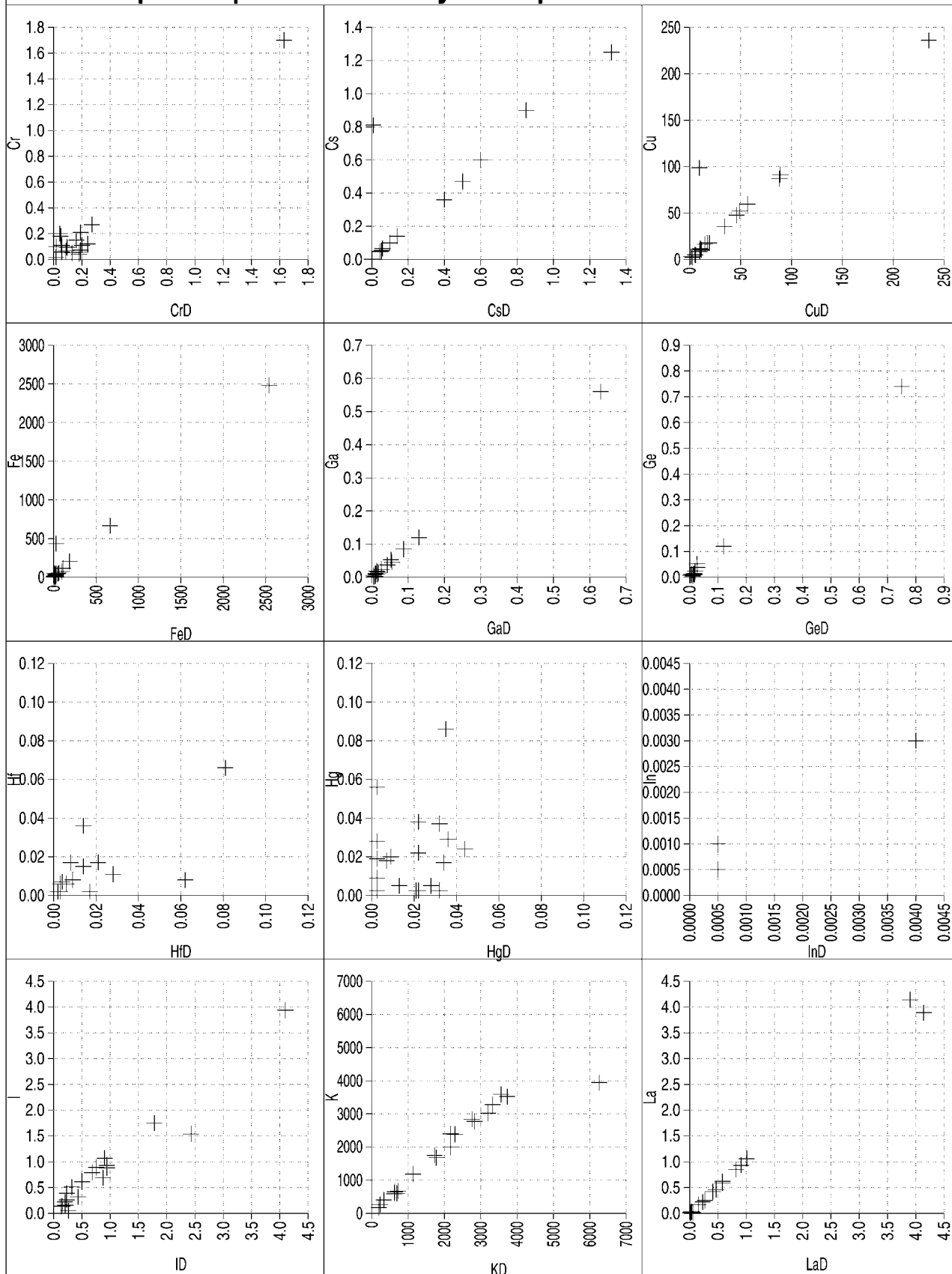


Figur 2b xy-plott av analyseresultater for Sc (ICP-MS) mot Si (ICP-AES), As (ICP-MS) mot Cl (IC), V (ICP-MS) mot Cl (IC), Cr (ICP-MS) mot Cl (IC), Fe (ICP-MS) mot Ca (ICP-AES) og Ni (ICP-MS) mot Ca (ICP-AES) for å sjekke eventuelle interferenser. Alle konsentrasjoner i mg/l.



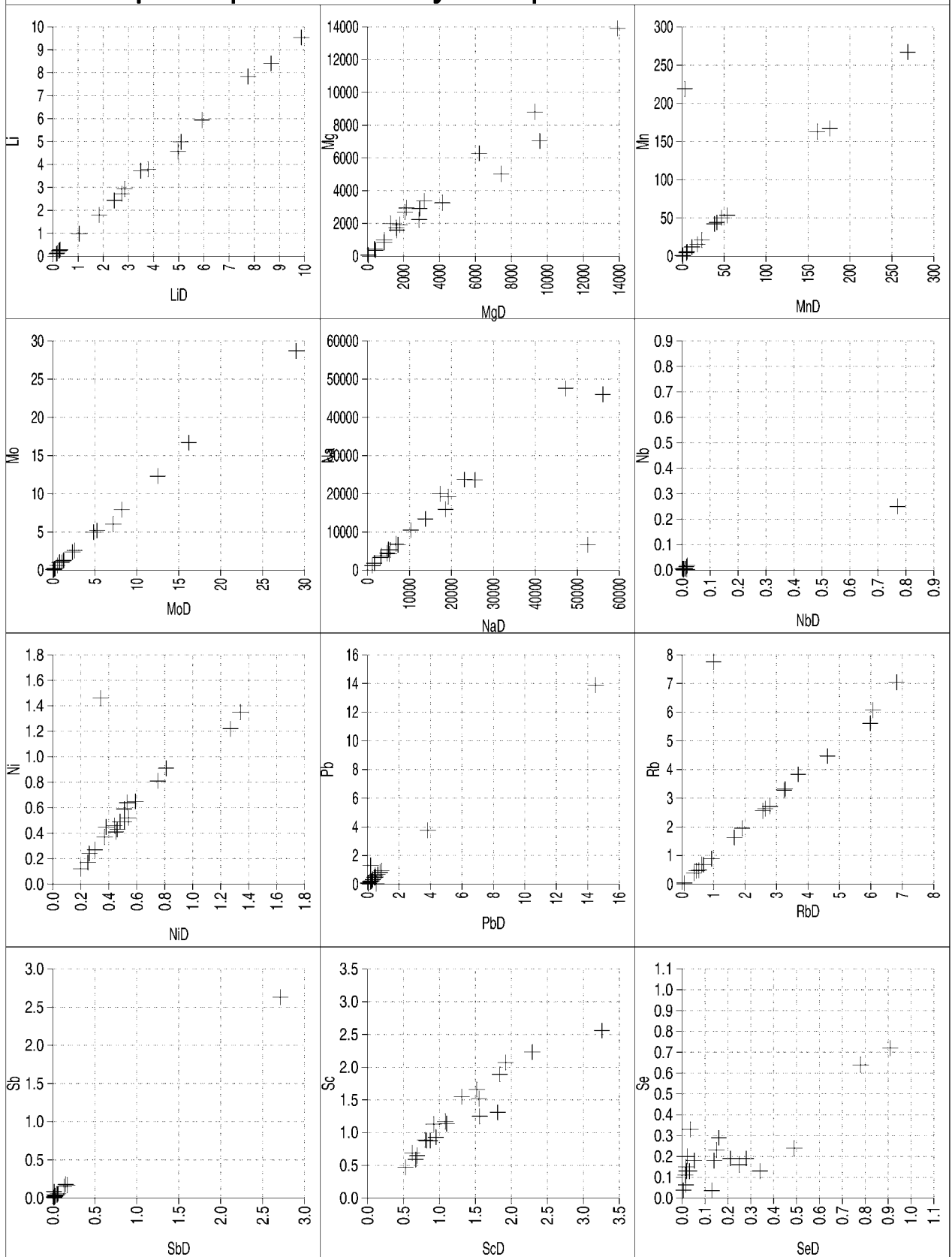
Figur 3a xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Ag – Co. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.

20 duplikatprover analysert på ICP-MS ved BGR



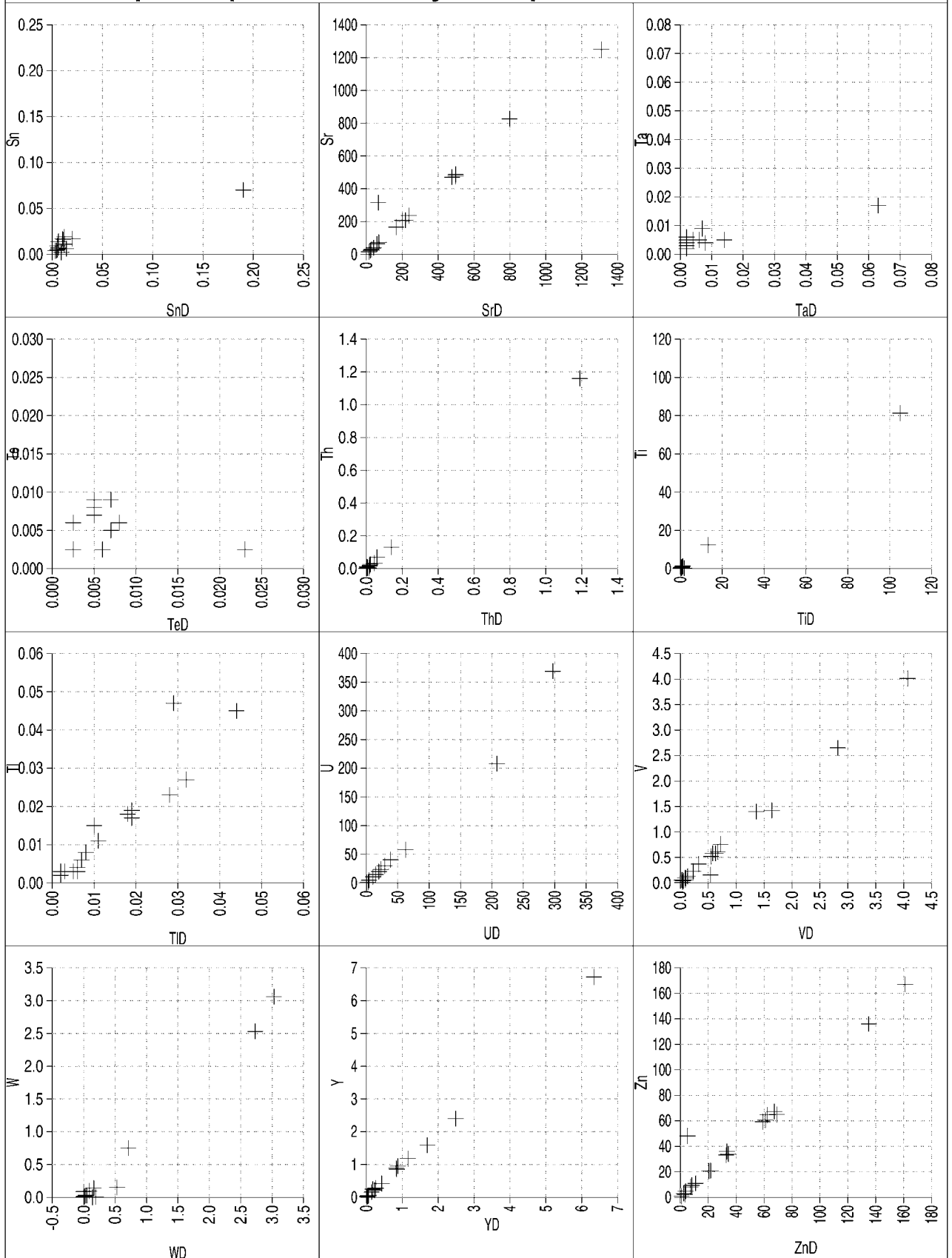
Figur 3b xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Cr – La. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.

20 duplikatprøver analysert på ICP-MS ved BGR



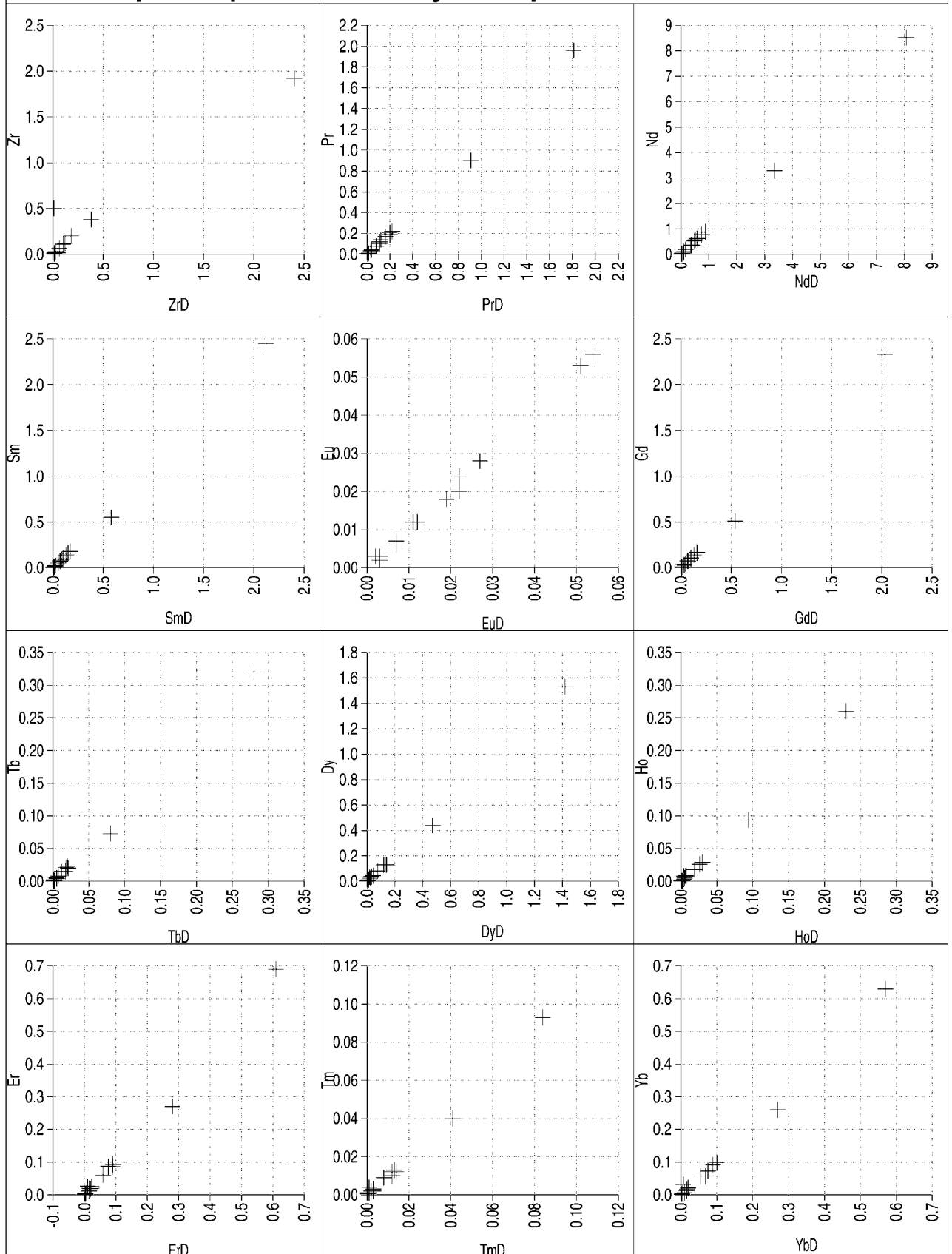
Figur 3c xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Li – Se. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.

20 duplikatprøver analysert på ICP-MS ved BGR



Figur 3d xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Sn – Zn. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.

20 duplikatprøver analysert på ICP-MS ved BGR



Figur 3e xy-plott av analyseresultater av duplikatprøver mot originalprøver Zr – Yb. ICP-MS analyse. Konsentrasjoner i mg/l.

5.6 Datafremstilling.

Alle analyseresultater lavere enn den analytiske deteksjonsgrensen er plottet som en verdi lik halve deteksjonsgrensen på alle kart og boksplott (dvs. $<0,1$ mg/l er plottet som 0,05 mg/l).

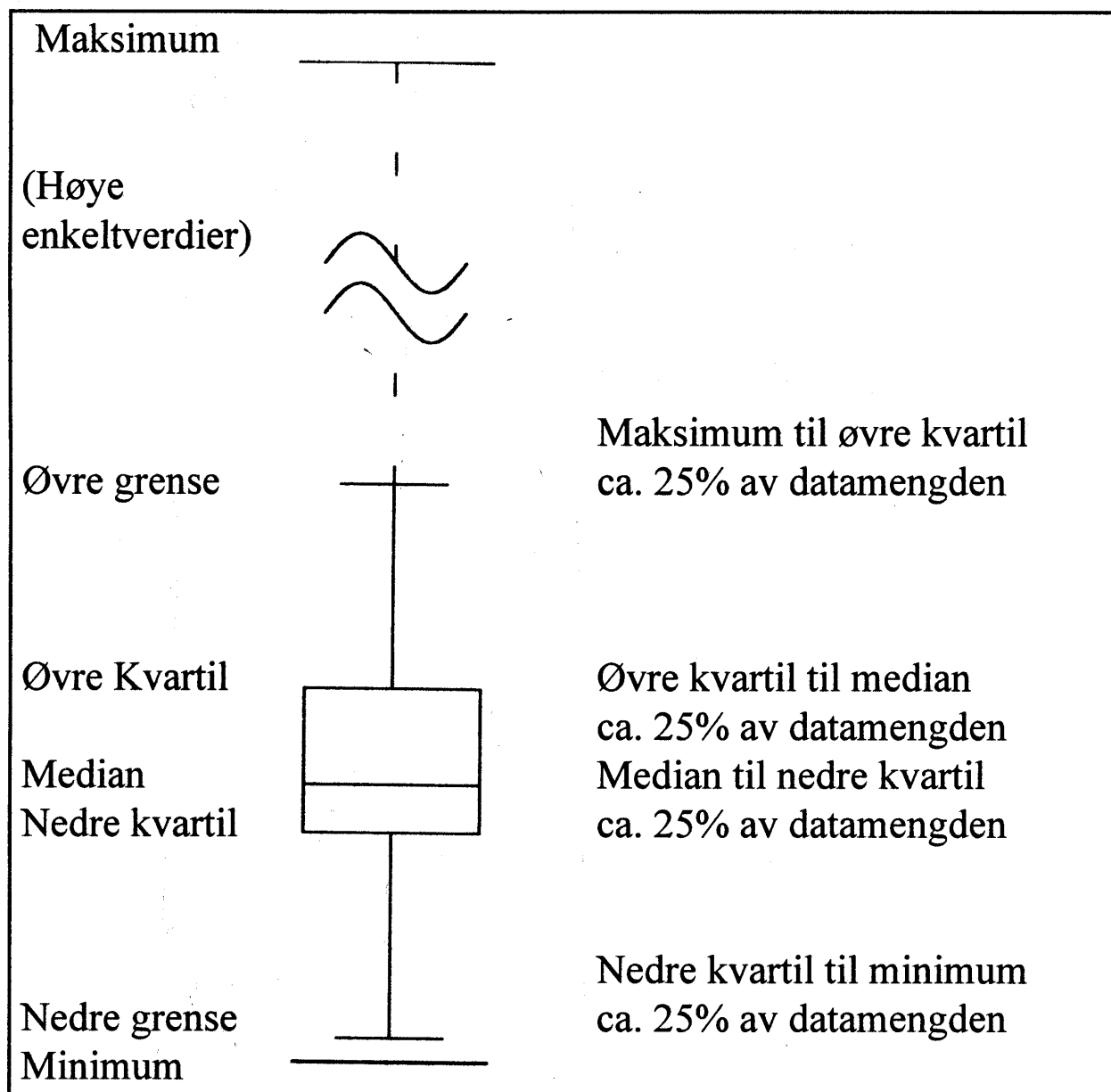
Leseren bør bruke disse resultatene forsiktig. Resultatene for mange fylker/bergarter bygger på et noe spinkelt statistisk grunnlag, og bør derfor ikke brukes til å trekke generelle konklusjoner. Konsentrasjoner har ofte stor spredning; i de fleste bergarter vil det være mulig å både bore brønner som overskrider drikkevannsgrensene og brønner som tilfredsstill dem.

5.6.1 Boksplott

Boksplott er en fremstillingsmåte som gir en rask oversikt over dataenes fordeling og sentrale statistiske parametere. Den egner seg derfor meget godt der en ønsker å sammenligne to eller flere datasett. For at et boksplott skal kunne lages og for at betydningsfulle medianverdier kan sammenlignes, kreves det minst 5 verdier i datasettet. For enkelte kommuner og bergarter er ikke dette kravet oppfylt, og dataene er da presentert som enkeltpunkter. I figur 4 neste side vises de viktigste parametrene som kan leses ut av et boksplott.

Medianen er den midterste verdien i tallsettet, dvs at halvparten av verdiene er høyere og halvparten er lavere. Medianen angis ved en strek som deler selve boksen i to. Ved sammenlikning av data fra ulike fylker, er medianen et bedre sammenlikningsgrunnlag enn f.eks. høyeste enkeltmåling eller et gjennomsnitt av datasettet. Hakeparentesene omkring medianen viser medianens 95 % konfidensintervall, dvs at det er 95 % sannsynlig at medianen ligger innenfor det området som hakeparentesene avgrensner.

Øvre kvartil representerer den verdien i datasettet der 75 % av verdiene er lavere og 25% er høyere. Tilsvarende er 75 % av verdiene høyere og 25% av verdiene lavere enn **nedre kvartil**. Øvre og nedre kvartil fremstilles som henholdsvis toppen og bunnen av selve boksen. Boksen inneholder dermed de midtre 50% av datasettets verdier og størrelsen på boksen gir et bilde av spredningen i disse verdiene.



Figur 4: Grafisk forklaring av boksplott

Strekene (kalt «whiskers» dvs. værhår) viser spredningen av dataene utenfor boksen. I geokjemiske data er det vanlig at noen få verdier er mye høyere (eller eventuelt mye lavere) enn de midterste 50%. I boksplott settes det en **øvre grense** for streken når verdien plottes lengre fra øvre kvartil enn 1,5 ganger boksens lengde. Høyere verdier plottes som enkle punkt og utelukkes av og til fra grafiske fremstillinger fordi de trekker ut skalaen og reduserer oppløsningen. Tilsvarende er **nedre grense** for streken satt 1,5 ganger boksens lengde fra nedre kvartil, og lavere verdier enn dette vil bli plottet som enkle punkt. Boksplott er nyttig til å avsløre asymmetri i datasettet og tilstedeværelsen av verdier som ligger mye høyere eller mye lavere enn medianen.

6. RESULTATER

6.1 Hovedelementkjemi, pH og radon

Resultatene av ICP-AES analyse (30 kationer) og IC-analyse (7 anioner) samt pH, alkalitet og radon for det totale datasettet (n=1604) er presentert i Banks m.fl. 1998bcd. For å gi et inntrykk av hovedtrekkene i vannkjemien, er det i figur 5 vist diagram med frekvensfordeling for utvalgte hovedparametere (og Rn) for det representative datasettet (Fjell_korr, n=1604). Piler på diagrammene angir relevante internasjonale drikkevannsnormer. Diagrammene vil ikke bli kommentert i detalj her, men følgende informasjon kan leses ut fra plottene:

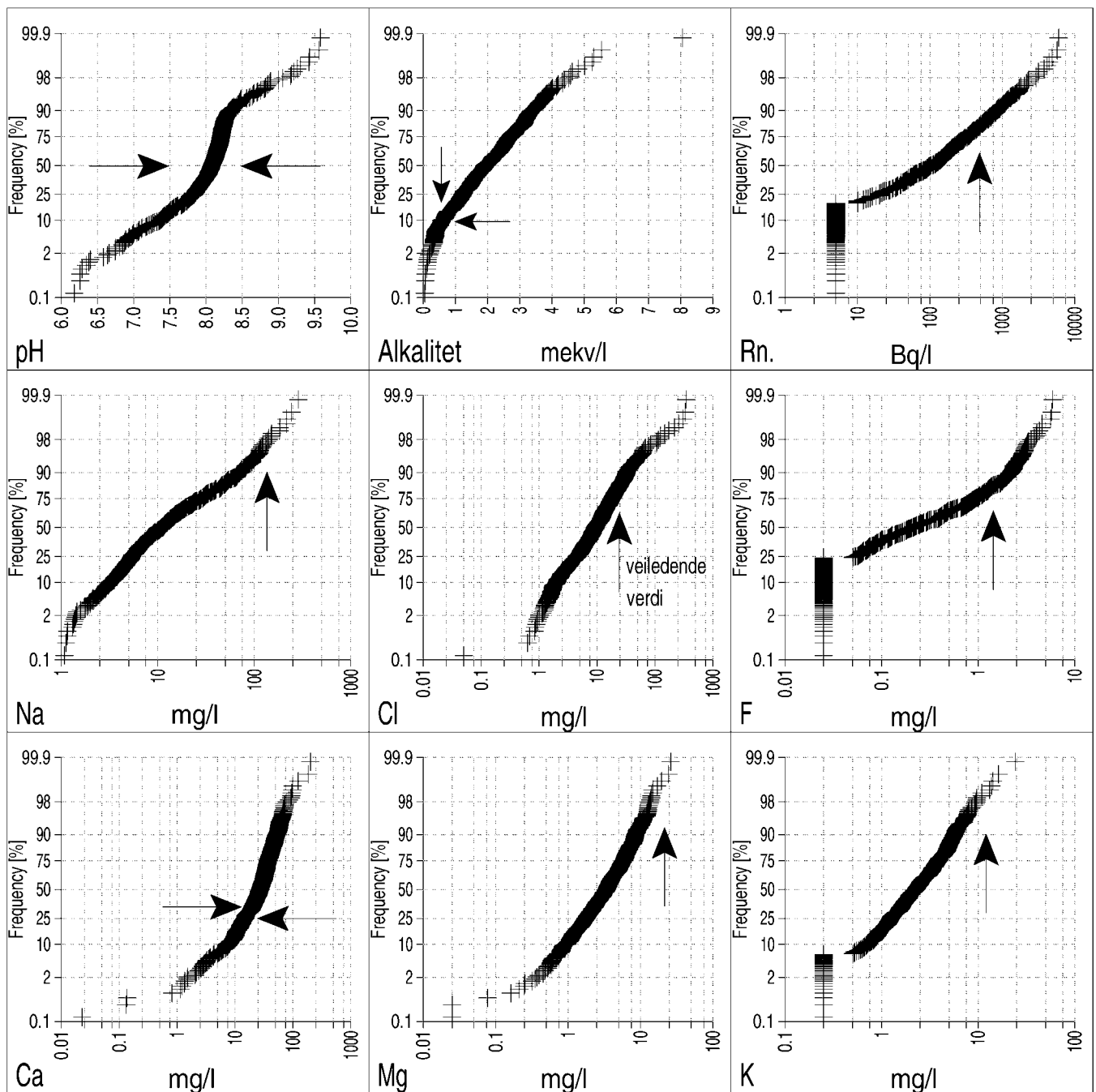
- i) lineariteten til plottene gir et inntrykk av hvor nær fordelingen er til en ideell lognormalfordeling
- ii) antall log-sykler på x-aksen gir et inntrykk av variansen til datasettet (dvs. hvor stor spredning som finnes i konsentrasjonene for parameteren)
- iii) ved å sammenligne fordelingene med pilene som viser drikkevannsnormer kan man se i hvilken grad grunnvannsprøvene overskrider normen.

6.2 Kartfremstilling med frekvensfordeling av parametere

Figurene 6a til 66a viser kart over Sør-Norge med fordelingen av de ulike grunnstoffene i grunnvann i borebrønner i fjell. Det var relativt få prøver fra de tre nordligste fylkene, noe som gjenspeiler utbredelsen av borebrønner i Norge. Symbolene og inndelingen i grupper er basert på prosentiler som vist med boksploTT i diagrammet nede til høyre. Nede til venstre er gitt et diagram med frekvensfordeling for de 476 vannprøvene som gir et bilde av den prosentvise fordelingen av de ulike konsentrasjonene. Nede i midten vises et diagram sammenstilt av histogram, scatter plot og boksploTT.

6.3 Litologisk og geografisk fordeling av parametere

Figurene 6b til 66b viser boksploTT med den statistiske fordelingen av analyseresultatene innen hvert fylke (unntatt Aust-Agder og Finnmark) og innen hver av de representerte bergartsgruppene. For en kort innføring i tolkning av boksploTT-diagrammer vises det til avsnitt 5.6.1 og figur 4.



Figur 5 Kumulative frekvensfordelinger for hovedelementer og enkelte utvalgte elementer for hele datasettet (Fjell_korr n = 1604). Pilene markerer norske drikkevannsgrenser. I dette diagrammet er Na, Ca, Mg og K analysert ved ICP-AES metoden, Cl⁻ og F⁻ ved ionekromatografi (data fra NGU Rapport 98.058).

6.4 Sølv (Ag)

433 av 476 (91 %) av grunnvannsprøvene i det utvalgte datasettet Fjell_rep har konsentrasjoner av sølv under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l. Samtlige bergartsgrupper representert har også mediankonsentrasjon for sølv under deteksjonsgrensen (Figur 6a). Bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) er den eneste gruppen som har 25 prosent av vannprøver med sølvkonsentrasjoner over deteksjonsgrensen (og dette skyldes det lave antallet prøver i denne gruppen)..

Figur 6a viser at Østfold er det eneste fylket som har 25 prosentil høyere enn deteksjonsgrensen.

Maksimumsverdien (0,034 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt til tonalitt) i Østfold. Ingen av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 10 µg/l for sølv.

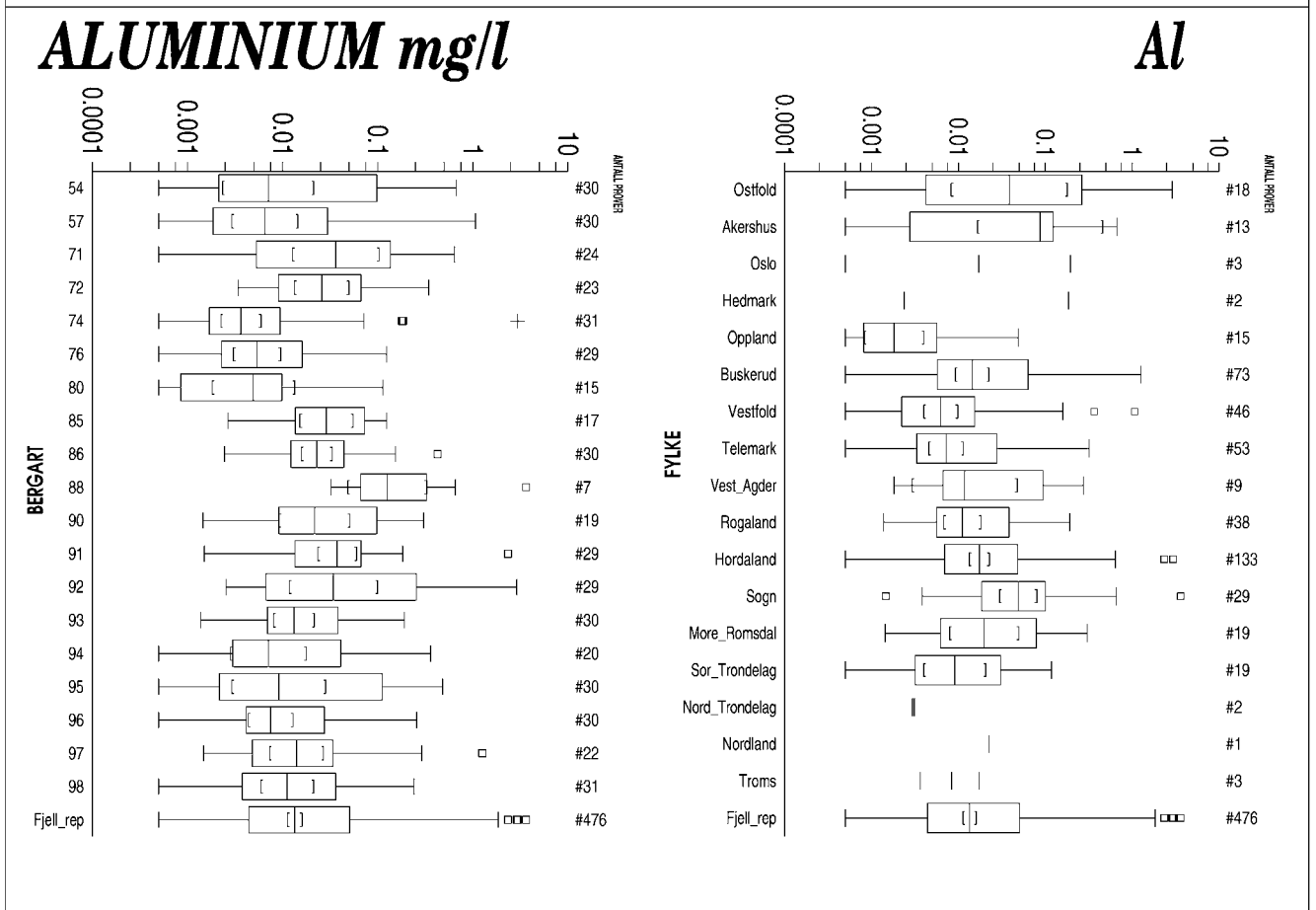
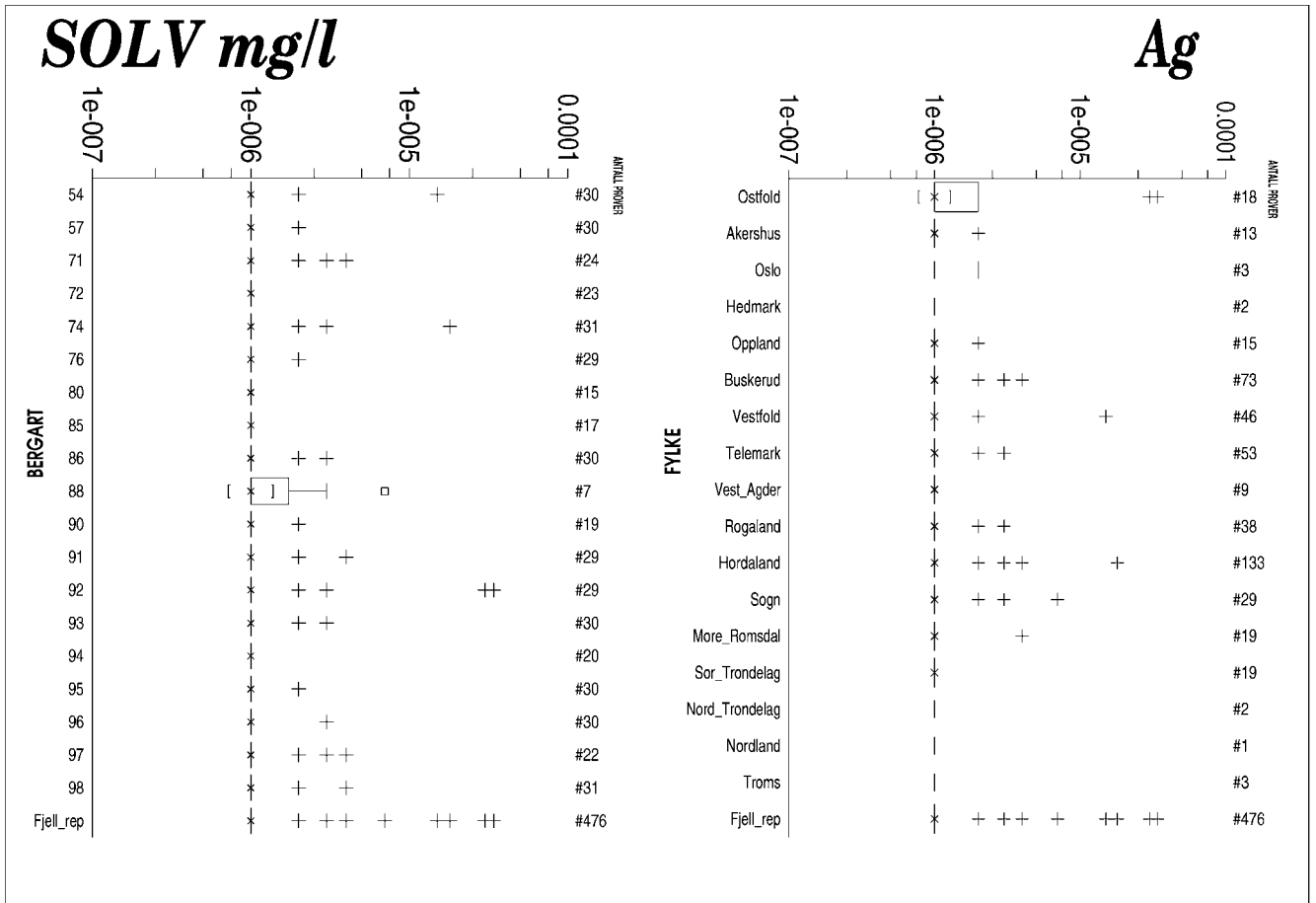
6.5 Aluminium (Al)

ICP-MS analysene av aluminium gir vesentlig høyere konsentrasjoner enn ICP-AES analyse av samme prøver. Resultatene må derfor brukes med ekstra forsiktighet. Utfra ICP-MS analyse av de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for aluminium på 126 µg/l. Bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) har den laveste mediankonsentrasjonen for aluminium på 3,65 µg/l

Figur 7a indikerer at Sogn og Fjordane fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for aluminium i grunnvann fra fjellbrønner (48,7 µg/l). Laveste medianverdi (1,82 µg/l) forekommer i Oppland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 13,5 µg/l. Maksimumsverdien (3600 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) i Sogn og Fjordane. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 1 µg/l) finnes i 20 av de 476 fjellborehullene.

8 % (38 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 200 µg/l for aluminium.

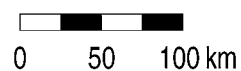
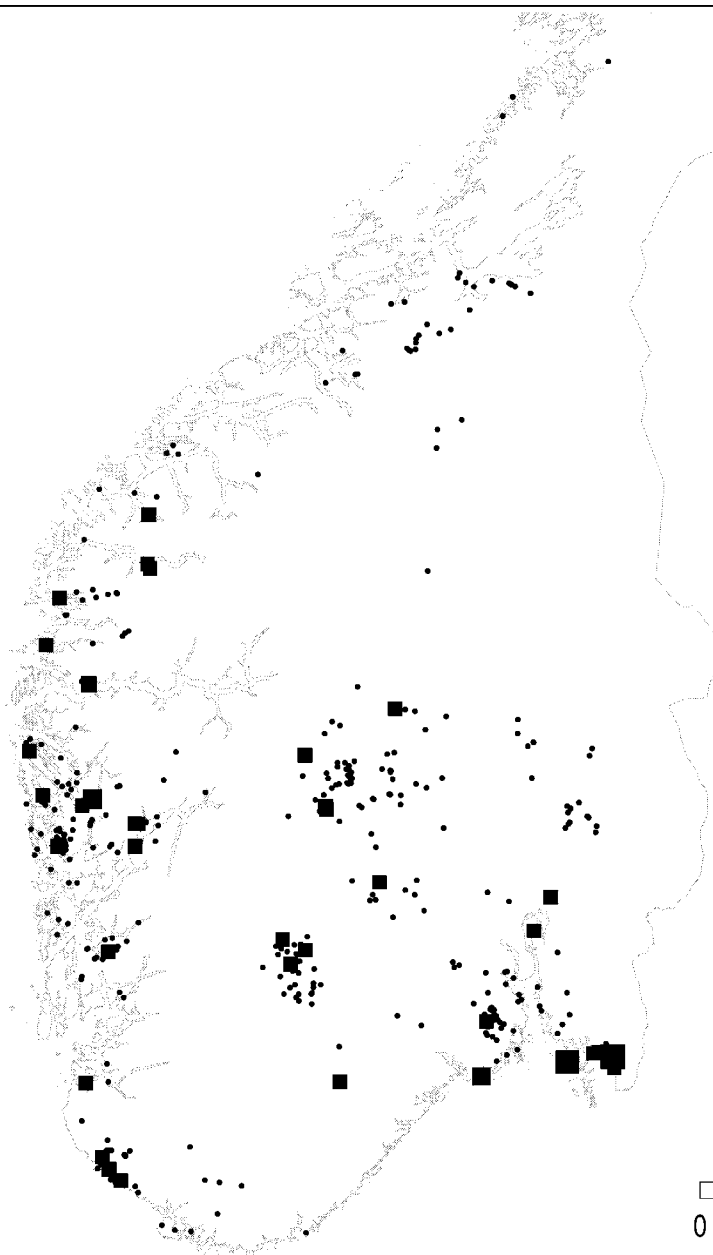


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

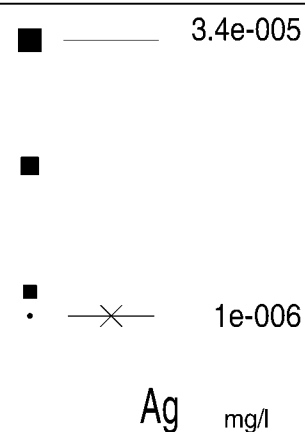
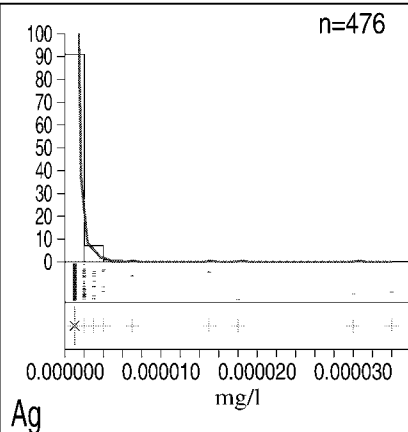
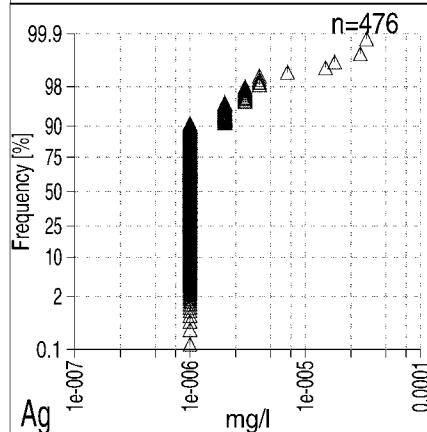
SOLV

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

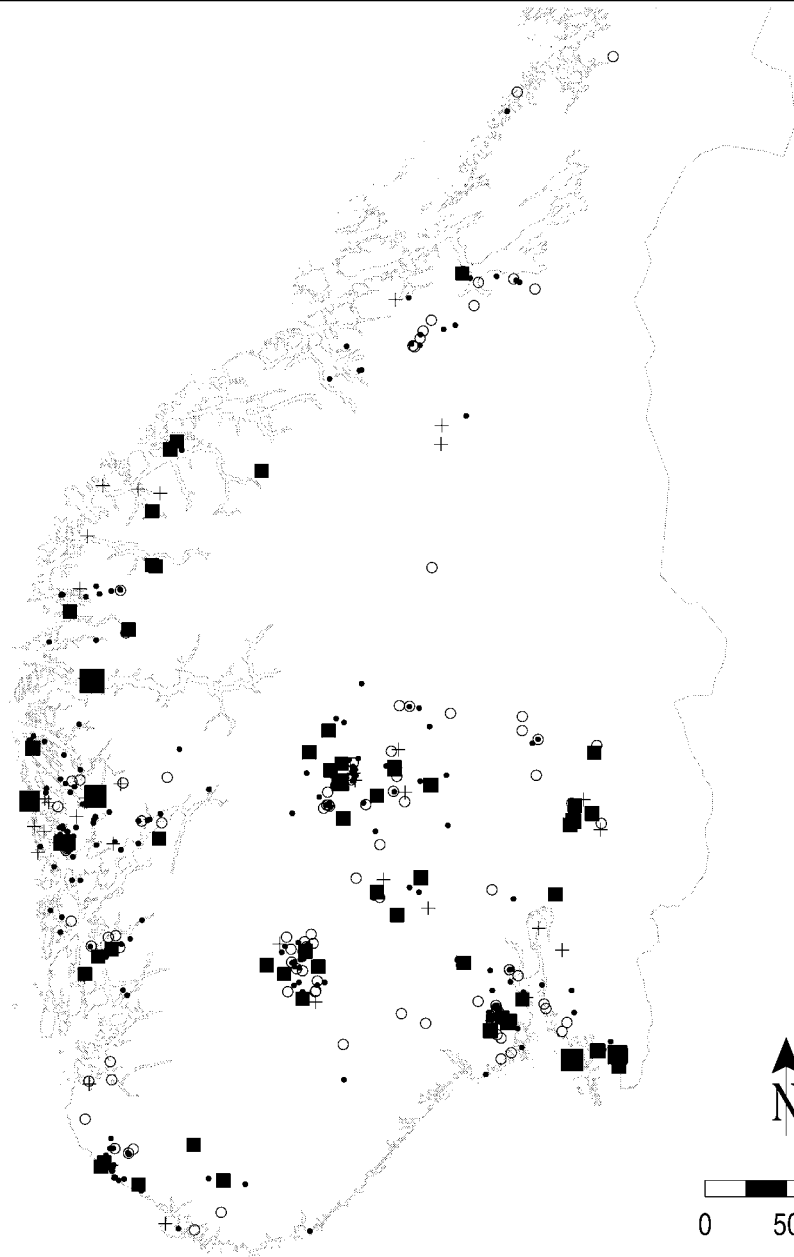


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

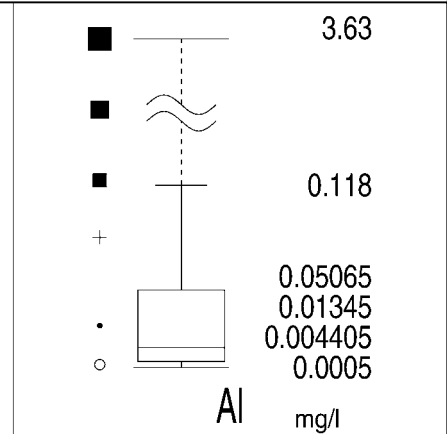
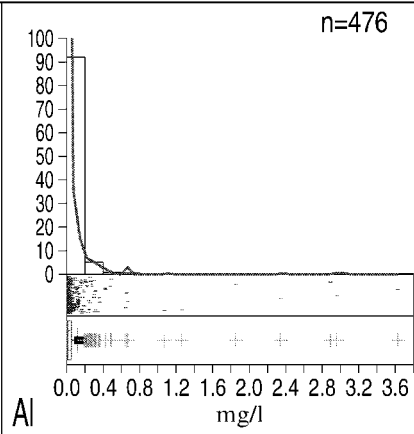
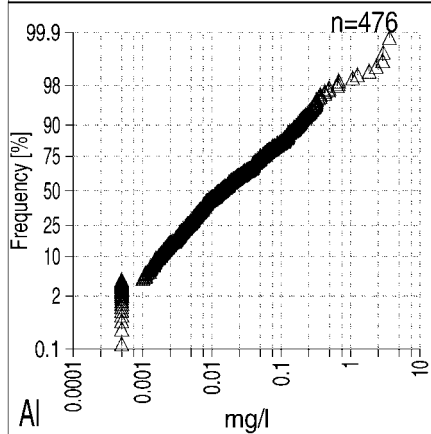
ALUMINIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.6 Arsen (As)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro, dioritt og ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for arsen på 1,02 µg/l. Bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) har også en høy mediankonsentrasjon for arsen (0,91 µg/l). Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for arsen på 0,076 µg/l.

Figur 8a indikerer at Hordaland fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for arsen i grunnvann fra fjellbrønner (0,53 µg/l). Laveste medianverdi (0,042 µg/l) forekommer i Vest-Agder fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,18 µg/l. Maksimumsverdien (19 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 76 (kaledonsk grønnstein/grønnskifer/meta-andesitt/amfibolitt) i Møre og Romsdal. Minimumsverdien på 0,011 µg/l finnes i bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt til tonalitt) i Vest-Agder fylke.

1,5 % (7 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 10 µg/l for arsen.

6.7 Bor (B)

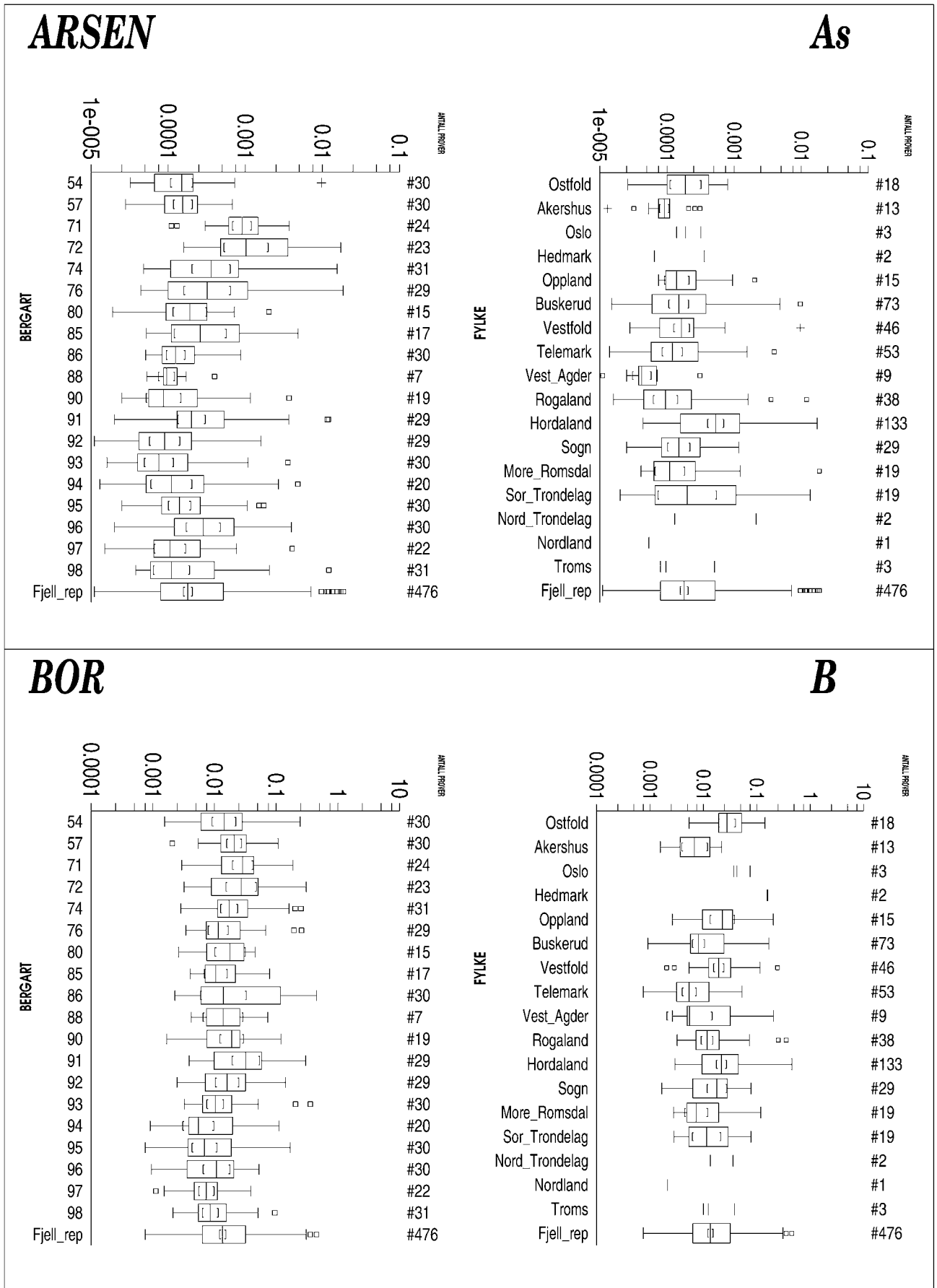
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 91 (prekambrisk gneis/migmatitt/amfibolitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for bor på 32,2 µg/l. Bergartsgruppene 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) og 72 (kaledonsk gabbro, dioritt og ultramafiske bergarter) har også høye mediankonsentrasjoner for bor (henholdsvis 28,7 µg/l og 27,0 µg/l). Bergartsgruppe 94 (prekambrisk gabbro, amfibolitt og ultramafiske bergarter) har den laveste mediankonsentrasjonen for bor på 5,51 µg/l.

Figur 9a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for bor i grunnvann fra fjellbrønner (27,6 µg/l). Laveste medianverdi (5,44 µg/l) forekommer i Telemark fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 14 µg/l. Maksimumsverdien (450 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 86 (kaledonsk charnockitt til anortositt) i Hordaland. Minimumsverdien (0,75 µg/l) finnes i bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) i Telemark.

0,6 % (3 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider veiledende verdi i drikkevannsnormen på 300 µg/l for bor.

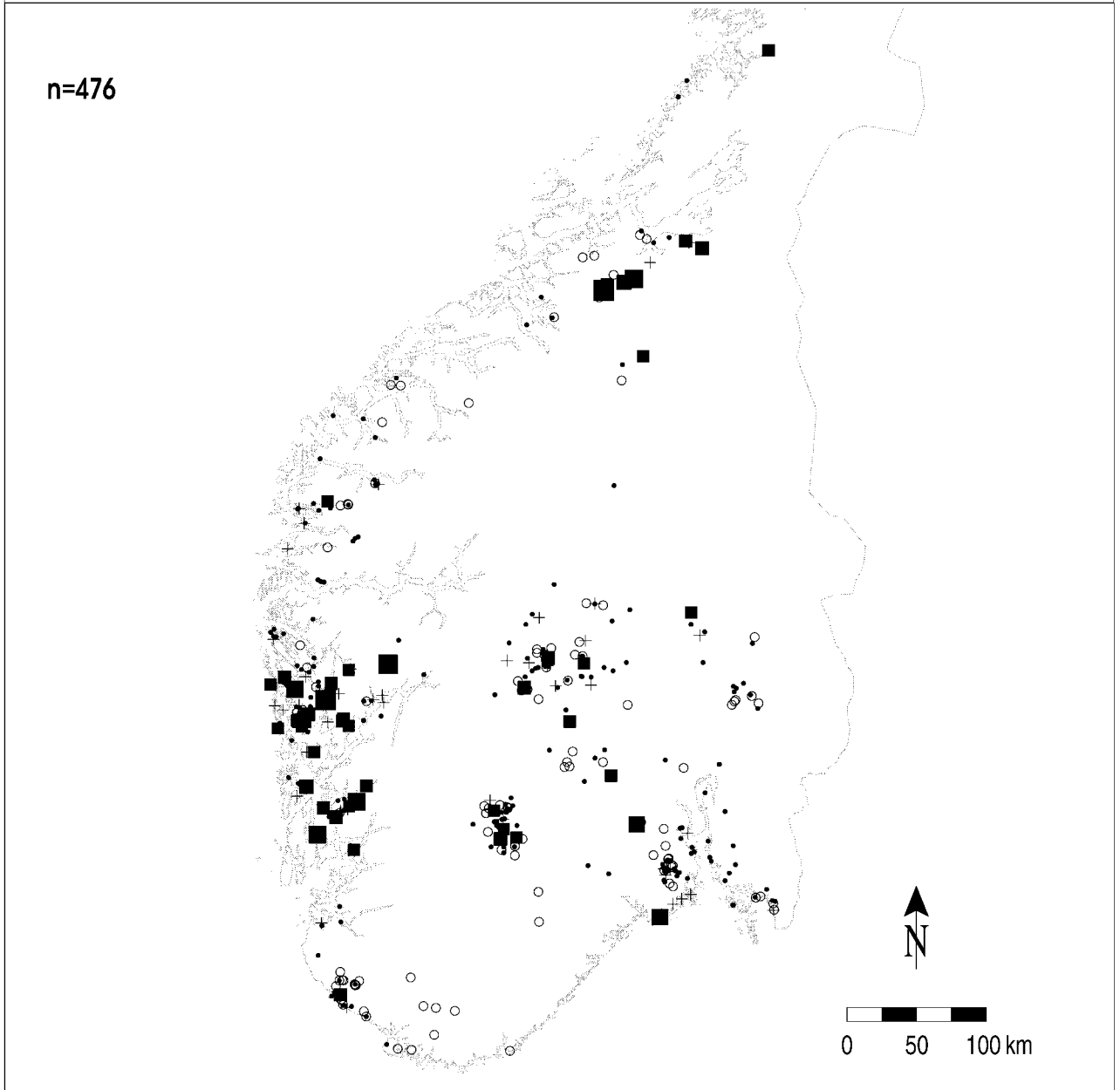
Figur 8a og 9a



NORGE

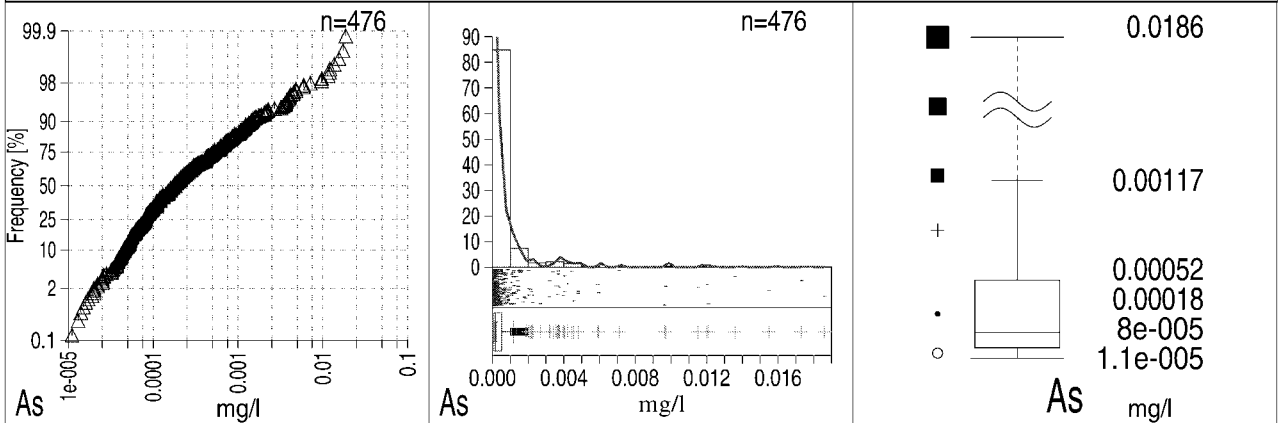
Grunnvannskjemi i fjellbronner

ARSEN



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

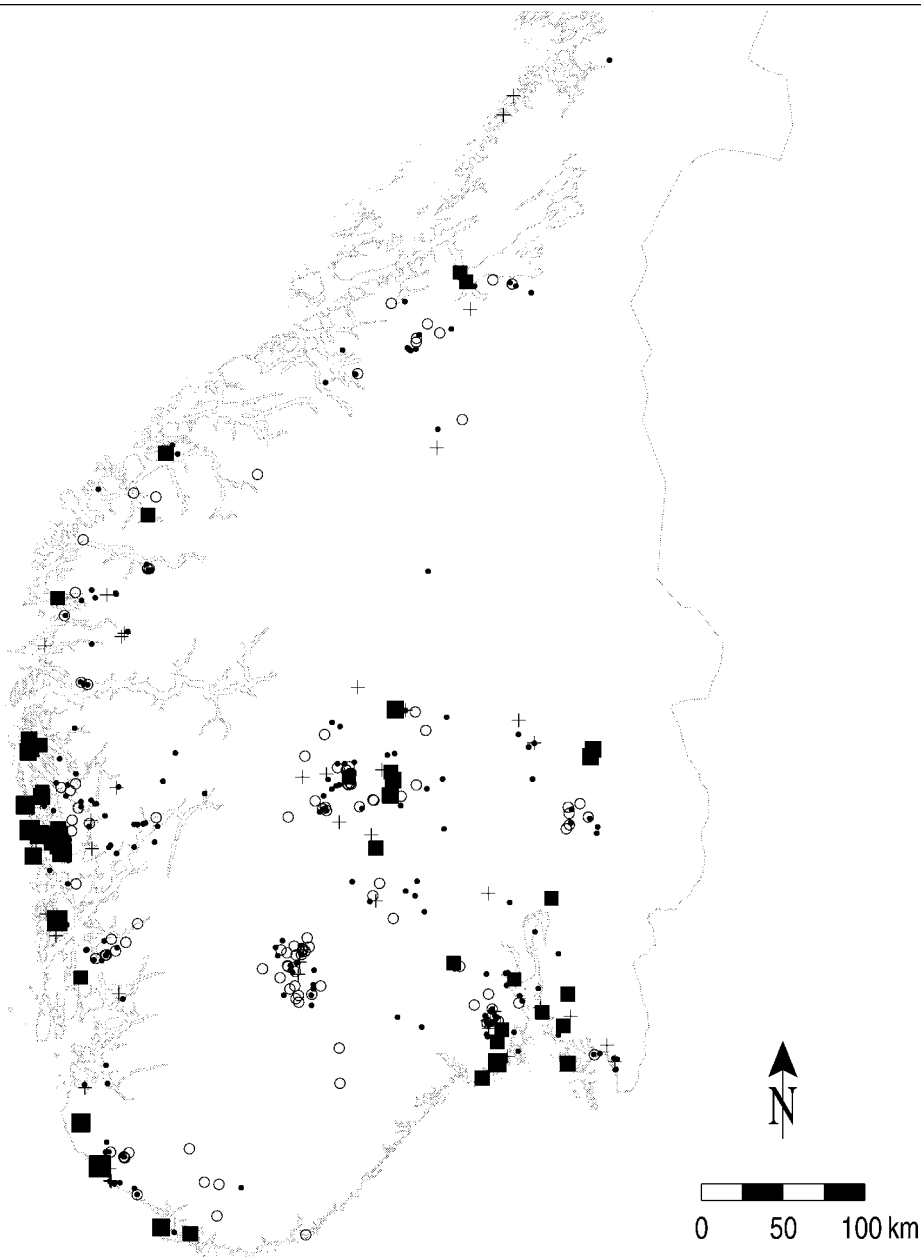


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

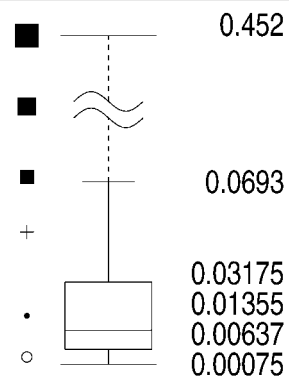
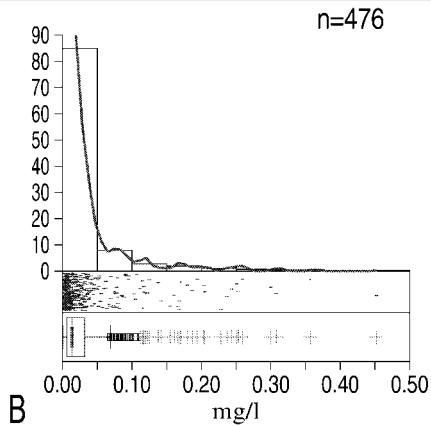
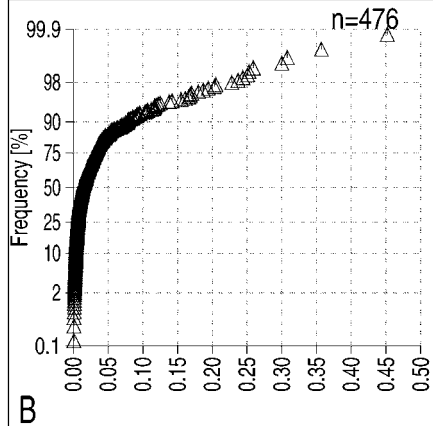
BOR

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.8 Barium (Ba)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for barium på 99 µg/l.

Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for barium på 4,73 µg/l.

Figur 10a indikerer at Telemark fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for barium i grunnvann fra fjellbrønner (38,6 µg/l). Akershus har også en høy medianverdi (32,9 µg/l). Laveste medianverdi (4,14 µg/l) forekommer i Rogaland fylke, mens Møre og Romsdal har en medianverdi på 5,04 µg/l.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 15 µg/l. Maksimumsverdien (380 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 96 (prekambrisk metabasalt, metaandesitt og amfibolitt) i Telemark. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l) finnes i en brønn i bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) i Vestfold.

9 % (41 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider veiledende verdi i drikkevannsnormen på 100 µg/l for barium.

6.9 Beryllium (Be)

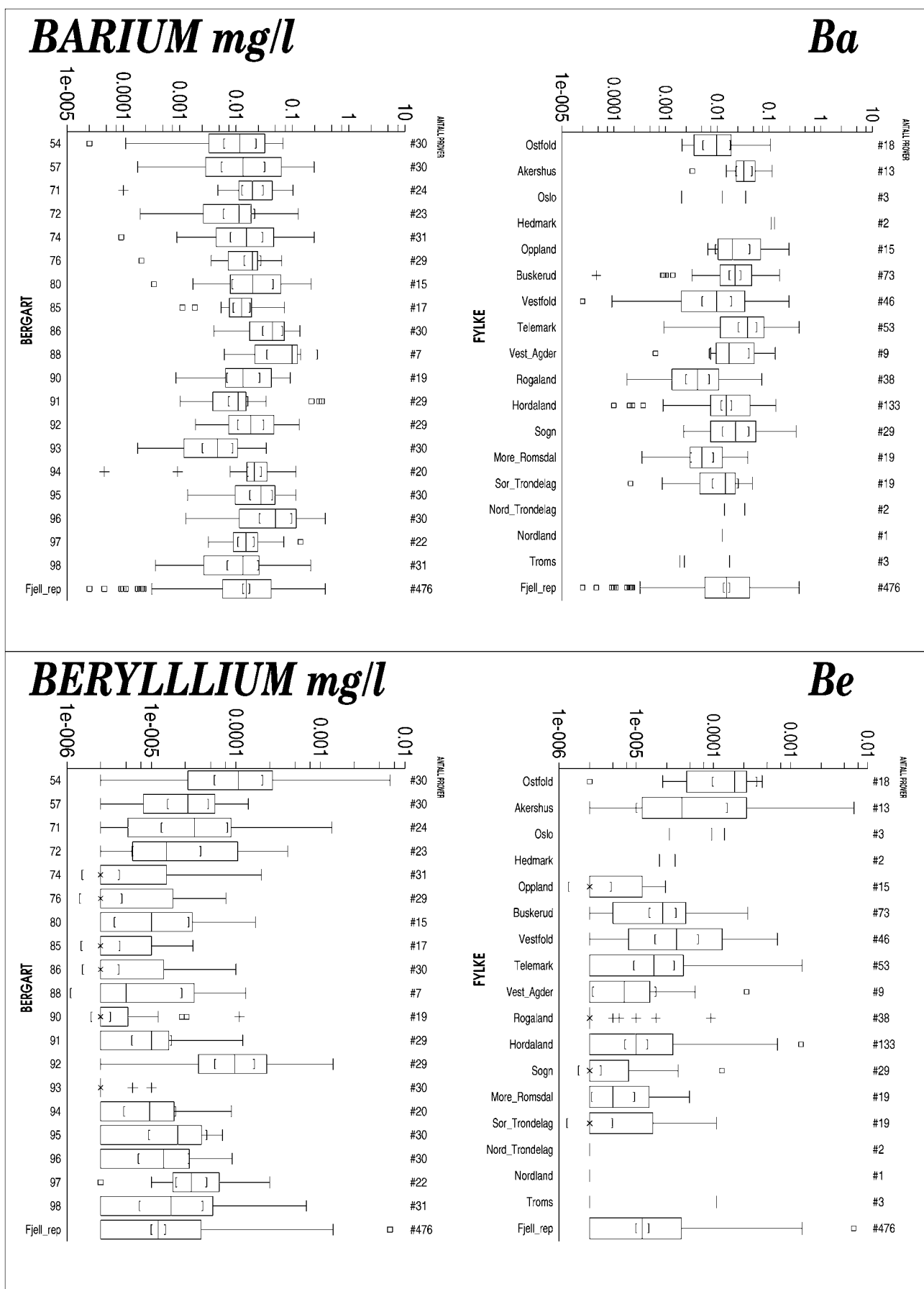
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for beryllium på 0,11 µg/l.

Bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt til tonalitt) har også en høy mediankonsentrasjon for beryllium (0,096 µg/l). Bergartsgruppene 74, 76, 85, 86, 90 og 93 (se vedlegg 2) har alle mediankonsentrasjoner under deteksjonsgrensen for beryllium på 0,005 µg/l.

Figur 11a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for beryllium i grunnvann fra fjellbrønner (0,19 µg/l). Medianverdier under deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l forekommer i fylkene Oppland, Rogaland, Sogn og Fjordane og Sør-Trøndelag.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,012 µg/l. Maksimumsverdien (6,6 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l) finnes i 188 av de 476 fjellborehullene.

1 av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider amerikansk drikkevannsnorm på 4 µg/l for beryllium. 7 % (31 av 476) overskrider den strengere russiske drikkevannsnormen på 0,2 µg/l. Det er ikke satt noen grense for tillatt konsentrasjon av beryllium i drikkevann i Norge.

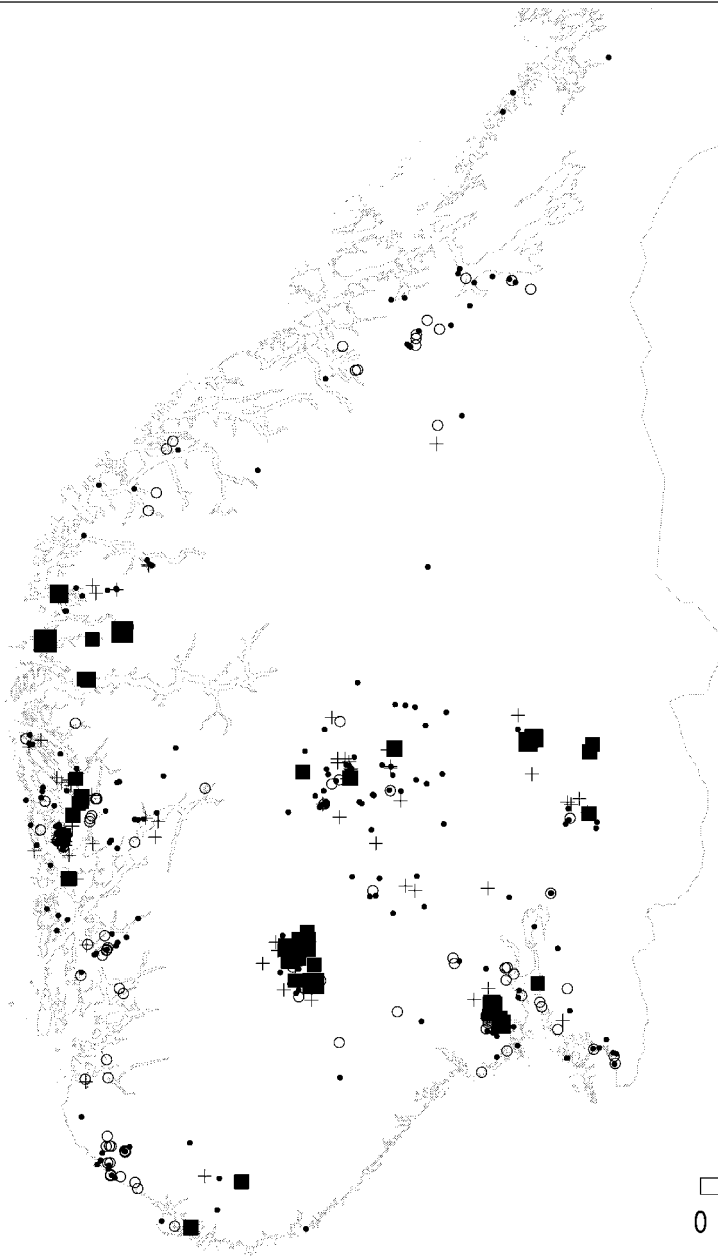


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

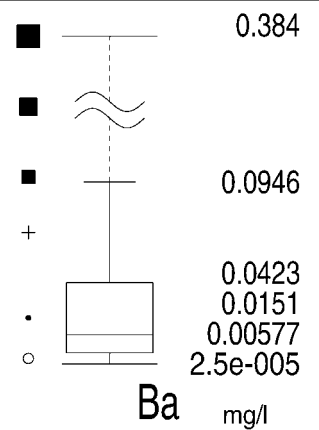
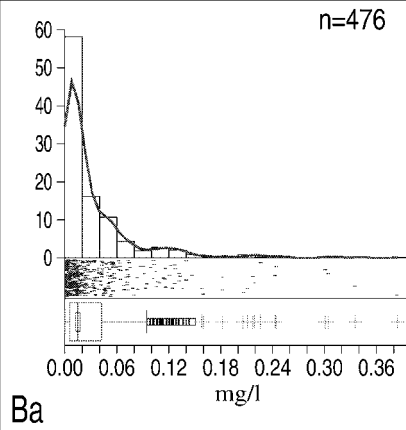
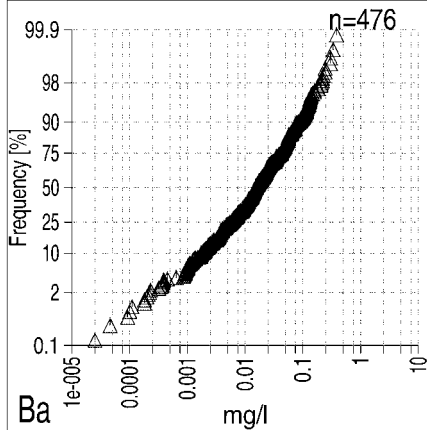
BARIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

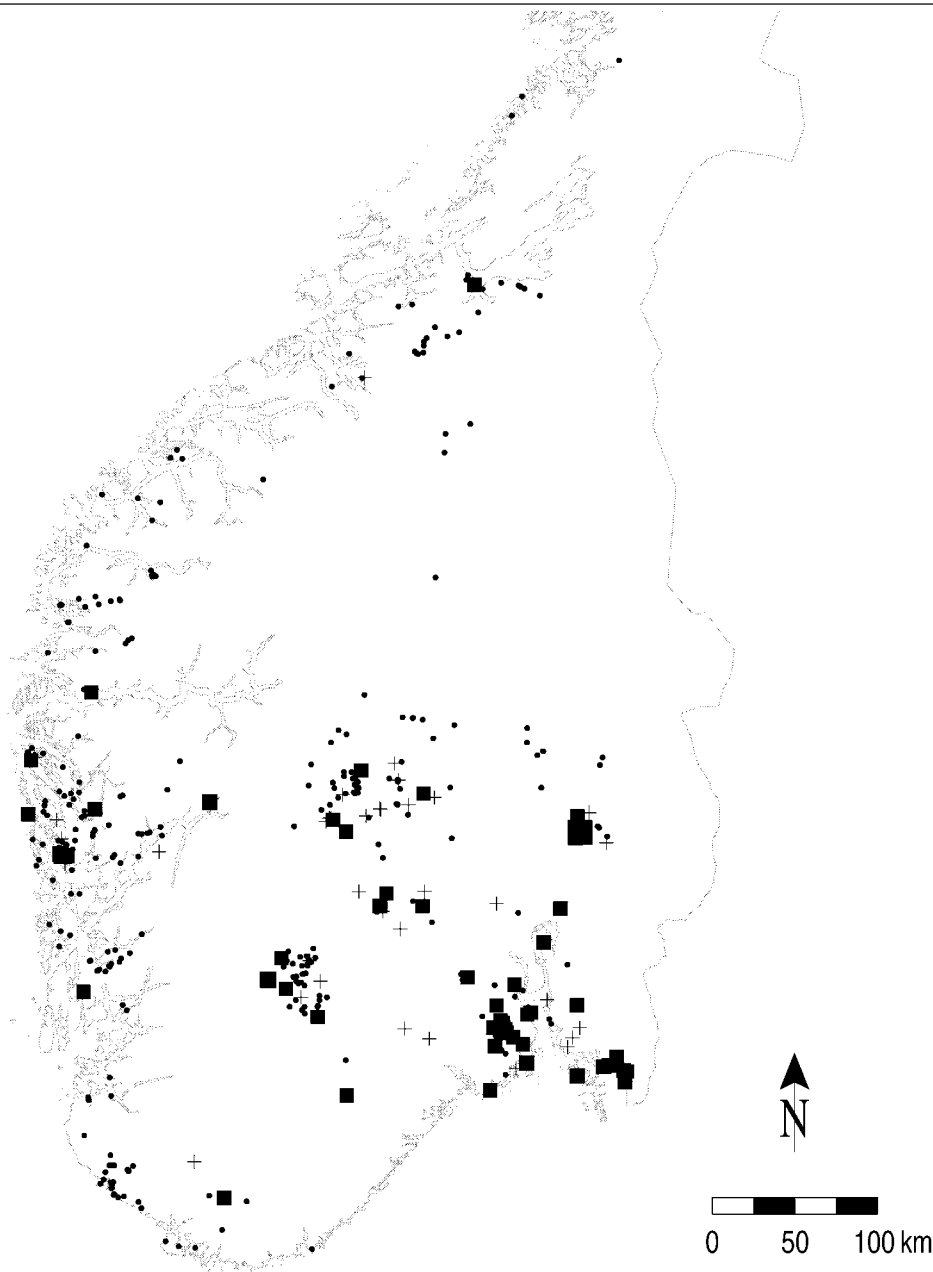


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

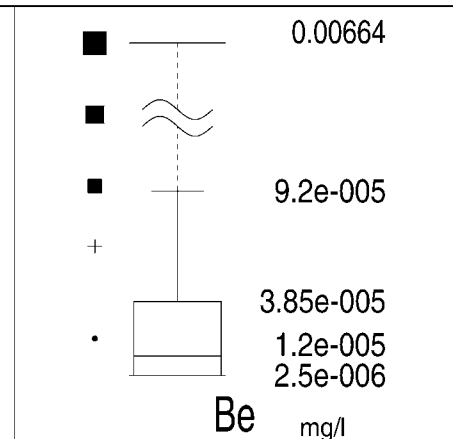
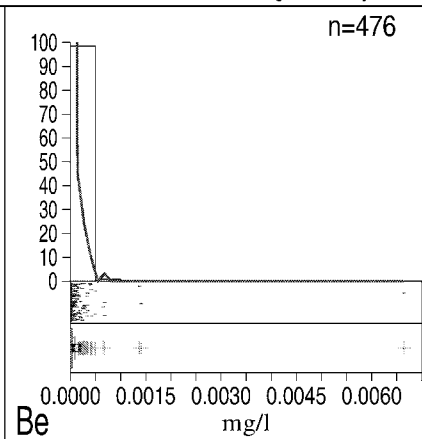
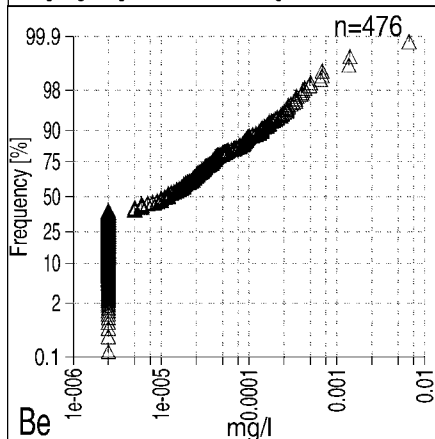
BERYLLIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.10 Vismut (Bi)

283 av 476 (59,5 %) av grunnvannsprøvene i det utvalgte datasettet Fjell_rep har konsentrasjoner av vismut under deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l. Bergartsgruppene 97, 71, 72 og 94 (se vedlegg 2) har mediankonsentrasjoner for vismut som sammenfaller med deteksjonsgrensen. De øvrige bergartsgruppene har mediankonsentrasjoner under deteksjonsgrensen.

Figur 12a viser at fylkene Østfold og Buskerud har de høyeste mediankonsentrasjonene for vismut i grunnvann fra fjellbrønner tilsvarende deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l. Resten av de representerte fylkene har medianverdier under deteksjonsgrensen.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er under deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l. Maksimumsverdien (3,2 µg/l) er fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt til tonalitt) i Østfold.

Det er ikke satt noen grenser for vismut i drikkevann i Norge. Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 100 µg/l for vismut.

6.11 Brom (Br)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt til charnockitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for brom på 74,2 µg/l. Bergartsgruppene 94 (prekambrisk gabbro, amfibolitt og ultramafiske bergarter) og 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) har de laveste mediankonsentrasjonene for brom på henholdsvis 7,83 og 7,61 µg/l.

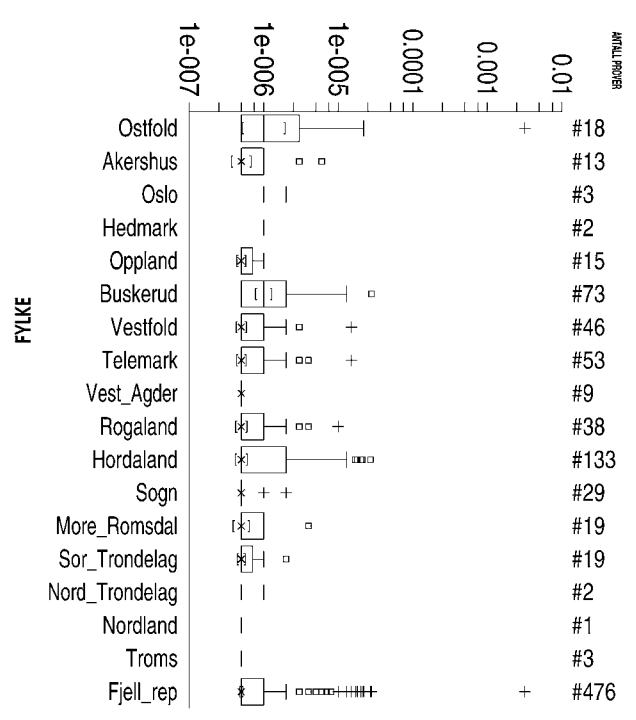
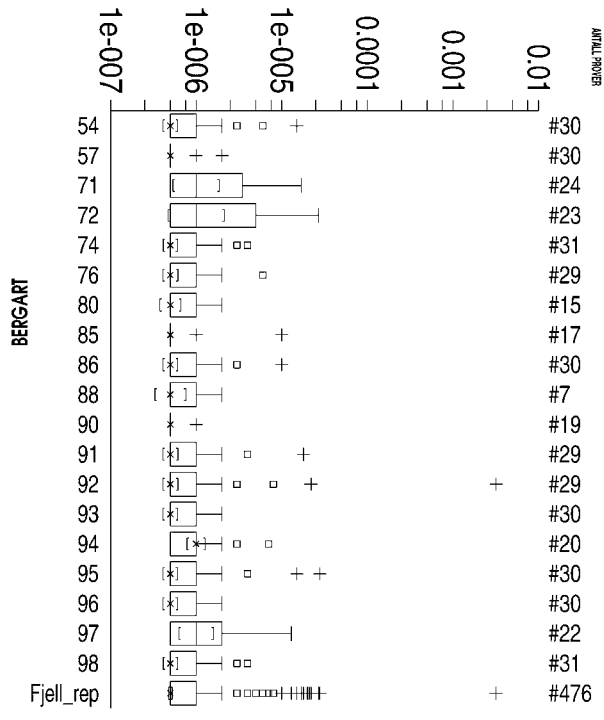
Figur 13a indikerer at Rogaland fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for brom i grunnvann fra fjellbrønner på 73,6 µg/l. Laveste medianverdier på henholdsvis 6,47 og 6,79 µg/l forekommer i fylkene Telemark og Oppland. Konsentrasjonene av brom i grunnvannet forventes i noen grad å gjenspeile avstanden til kysten.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 30 µg/l. Maksimumsverdien (4000 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) i Buskerud fylke. Minimumsverdien på 1,48 µg/l er funnet i bergartsgruppe 86 (kaledonsk anortositt til charnockitt); også i Buskerud fylke.

Det er ikke satt noen grenser for tillatte konsentrasjoner av brom i drikkevann i Norge. 20 av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 200 µg/l for brom (4 %).

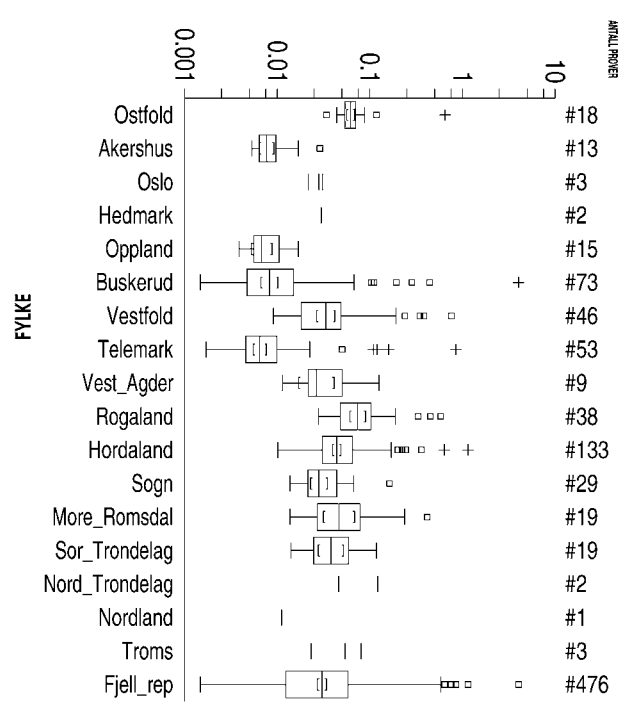
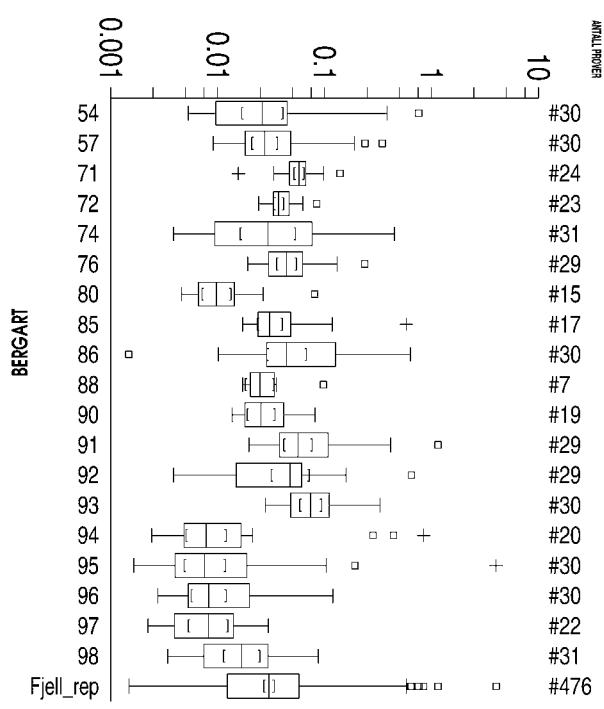
VISMUT

Bi



BROM

Br

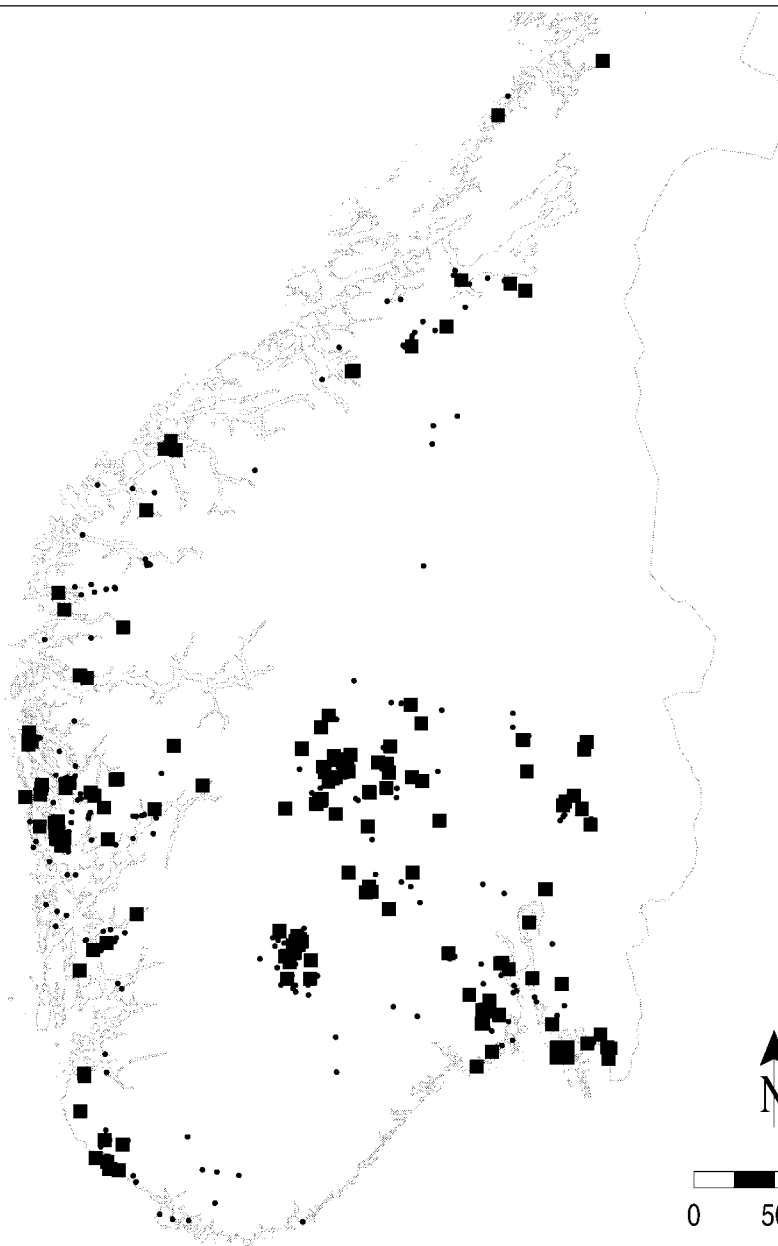


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

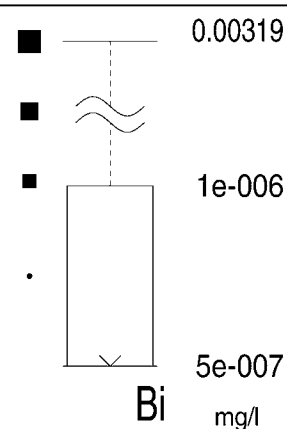
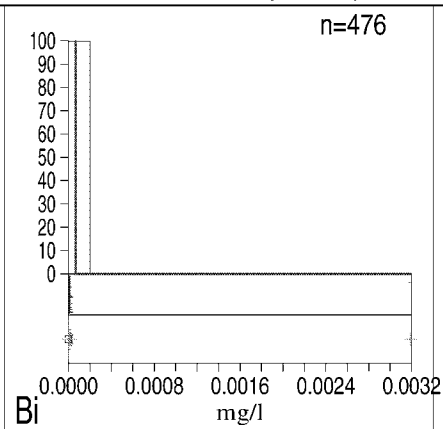
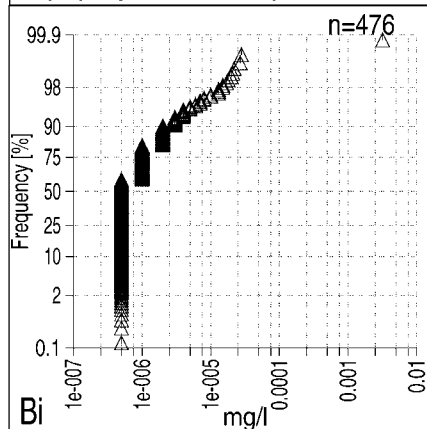
VISMUT

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

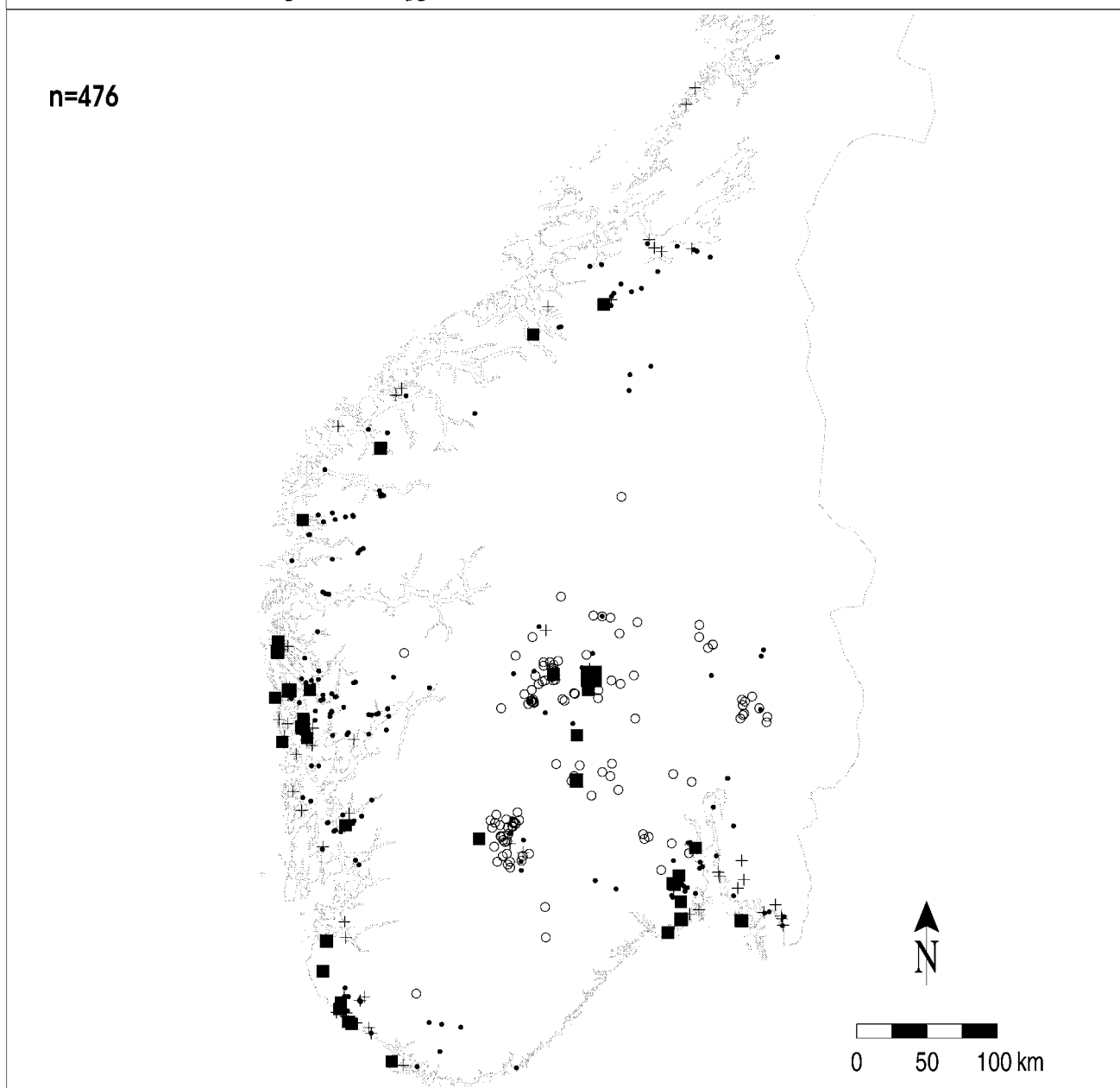
05/1999



NORGE

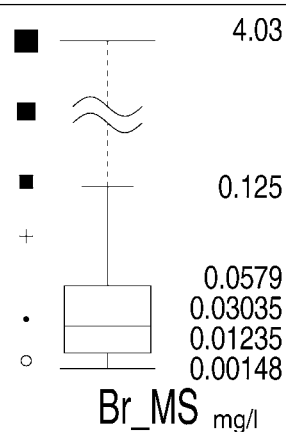
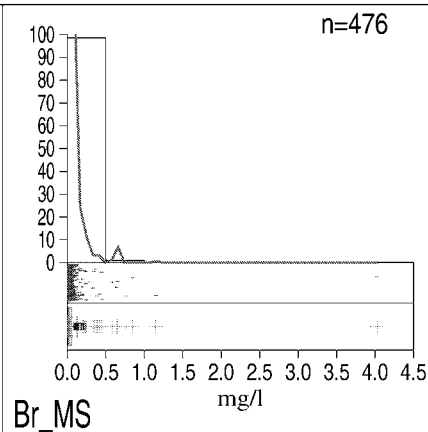
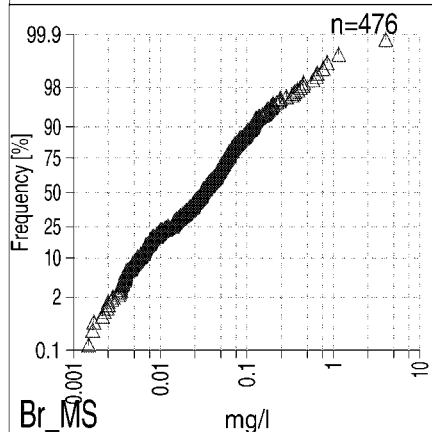
Grunnvannskjemi i fjellbronner

BROM



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.12 Kalsium (Ca)

Resultatene for ICP-MS analyse av kalsium er vist som boksplokk i figur 14a til orientering. ICP-AES er sannsynligvis en bedre analysemetode for hovedkationene, og det henvises derfor til NGU-rapport 98.058 "Kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell i Norge" for en beskrivelse av fordelingen av kalsium.

6.13 Kadmium (Cd)

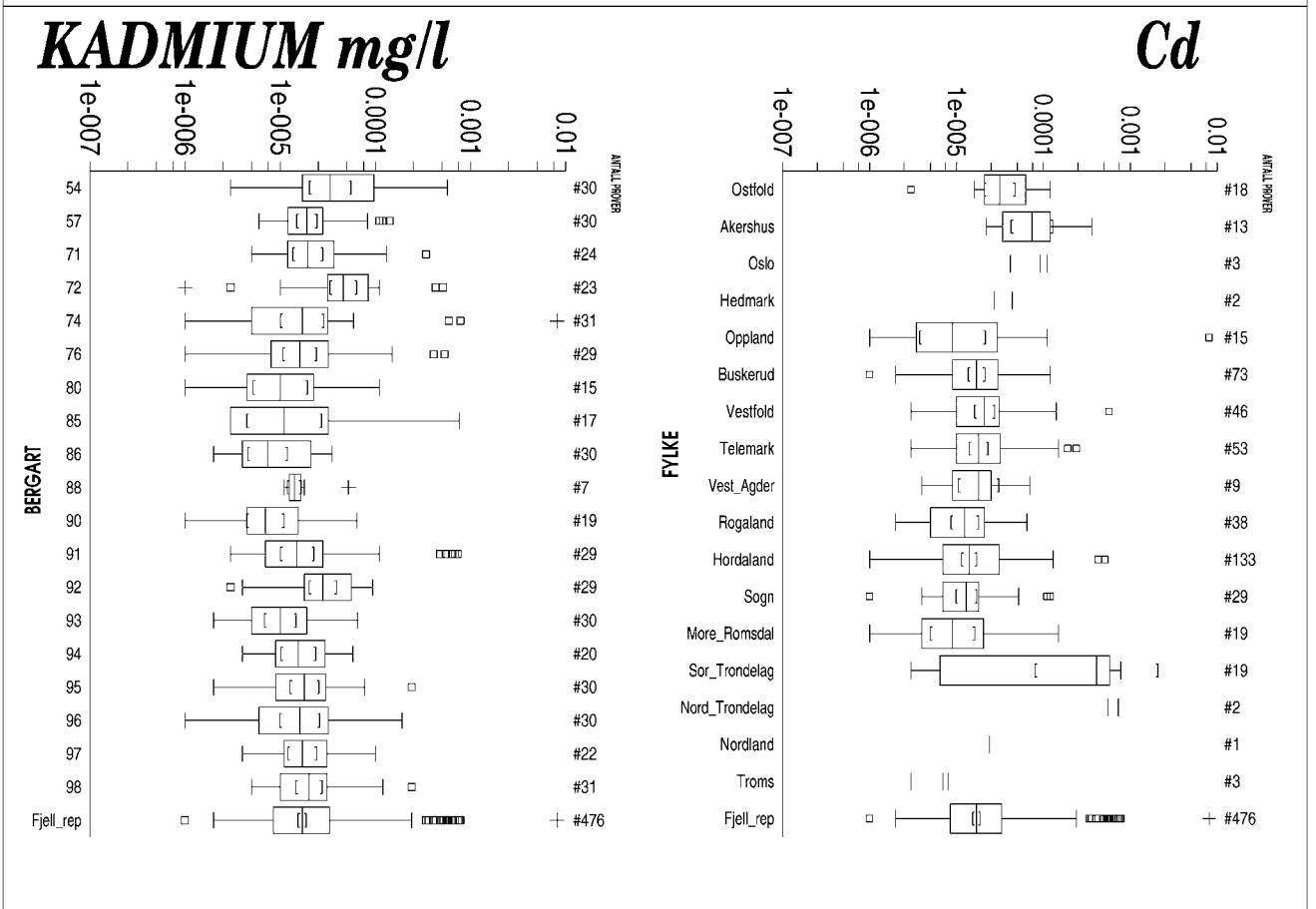
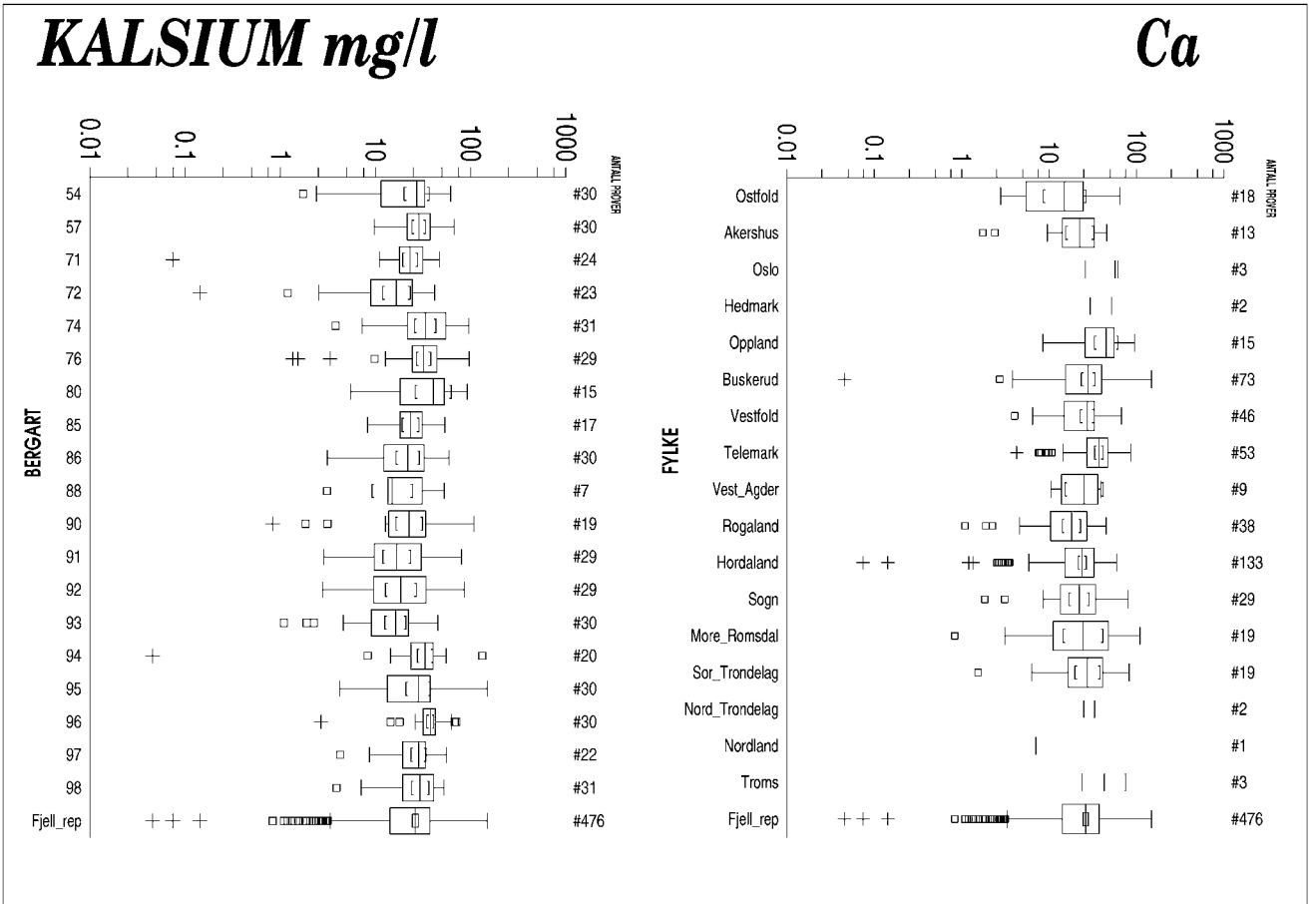
Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for kadmium på 0,046 µg/l. Bergartsgruppene 90 (prekambriske omdannede sedimentære og vulkanske bergarter) og 86 (kaledonske charnockitter til anortositter) har de laveste mediankonsentrasjonene for kadmium på henholdsvis 0,0070 og 0,0075 µg/l.

Figur 15a indikerer at Sør-Trøndelag fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for kadmium i grunnvann fra fjellbrønner på 0,41 µg/l. Laveste medianverdier (0,009 µg/l) forekommer i fylkene Oppland og Møre og Romsdal.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,017 µg/l. Maksimumsverdien (8,1 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) i Oppland fylke.

Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 9 av de 476 fjellborehullene.

1 av 476 av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 5 µg/l for kadmium.

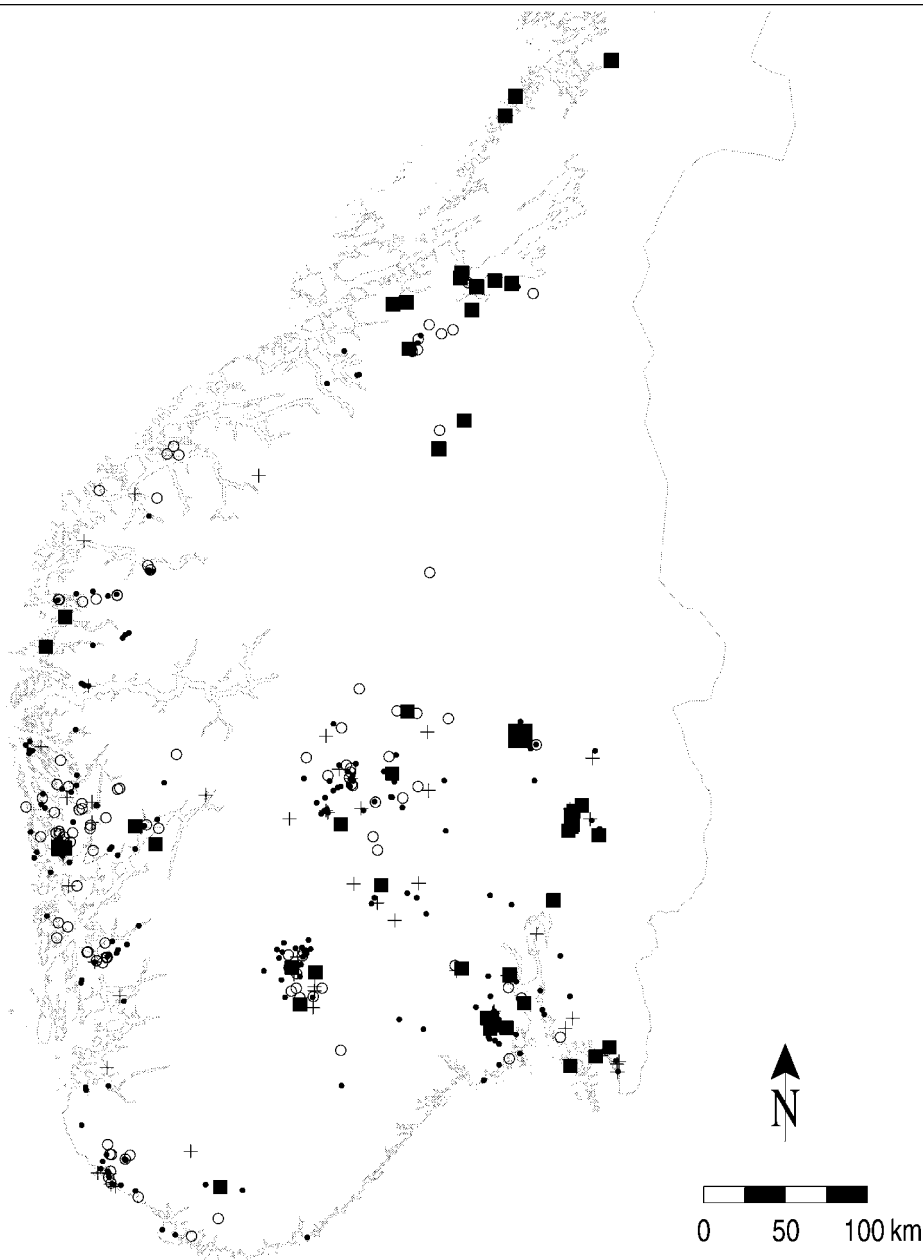


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

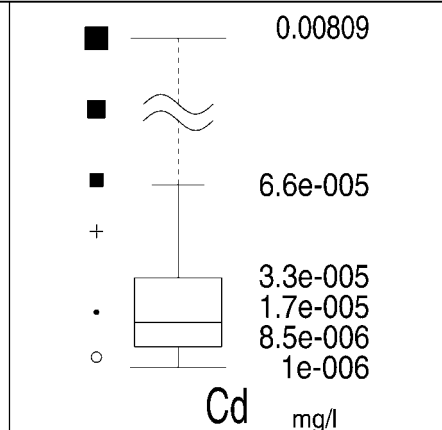
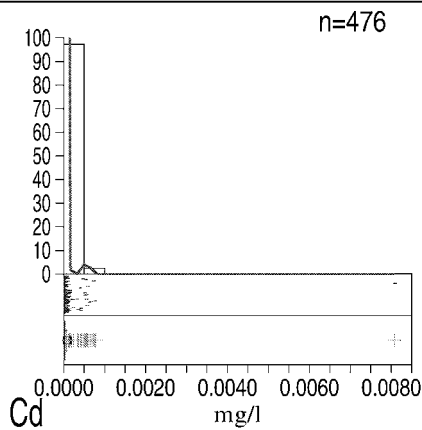
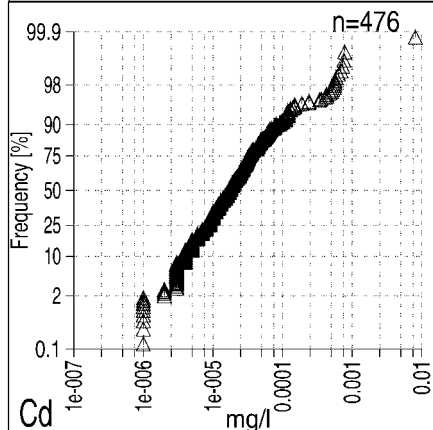
KADMIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens strålevern i sa

05/1999



6.14 Kobolt (Co)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for kobolt på 0,29 µg/l.

Bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) har den laveste mediankonsentrasjonen for kobolt på 0,03 µg/l.

Figur 16a indikerer at fylkene Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal har de høyeste mediankonsentrasjonene for kobolt i grunnvann fra fjellbrønner (0,11 µg/l). Akershus og Østfold har også høye mediankonsentrasjoner på henholdsvis 0,10 og 0,09 µg/l. Laveste medianverdi (0,038 µg/l) forekommer i Vestfold fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,065 µg/l. Maksimumsverdien (37 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 76 (kaledonsk grønnstein/grønnskifer/meta-andesitt/amfibolitt) i Møre og Romsdal. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l) finnes i 5 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for kobolt i drikkevann i Norge. Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 100 µg/l for kobolt.

6.15 Krom (Cr)

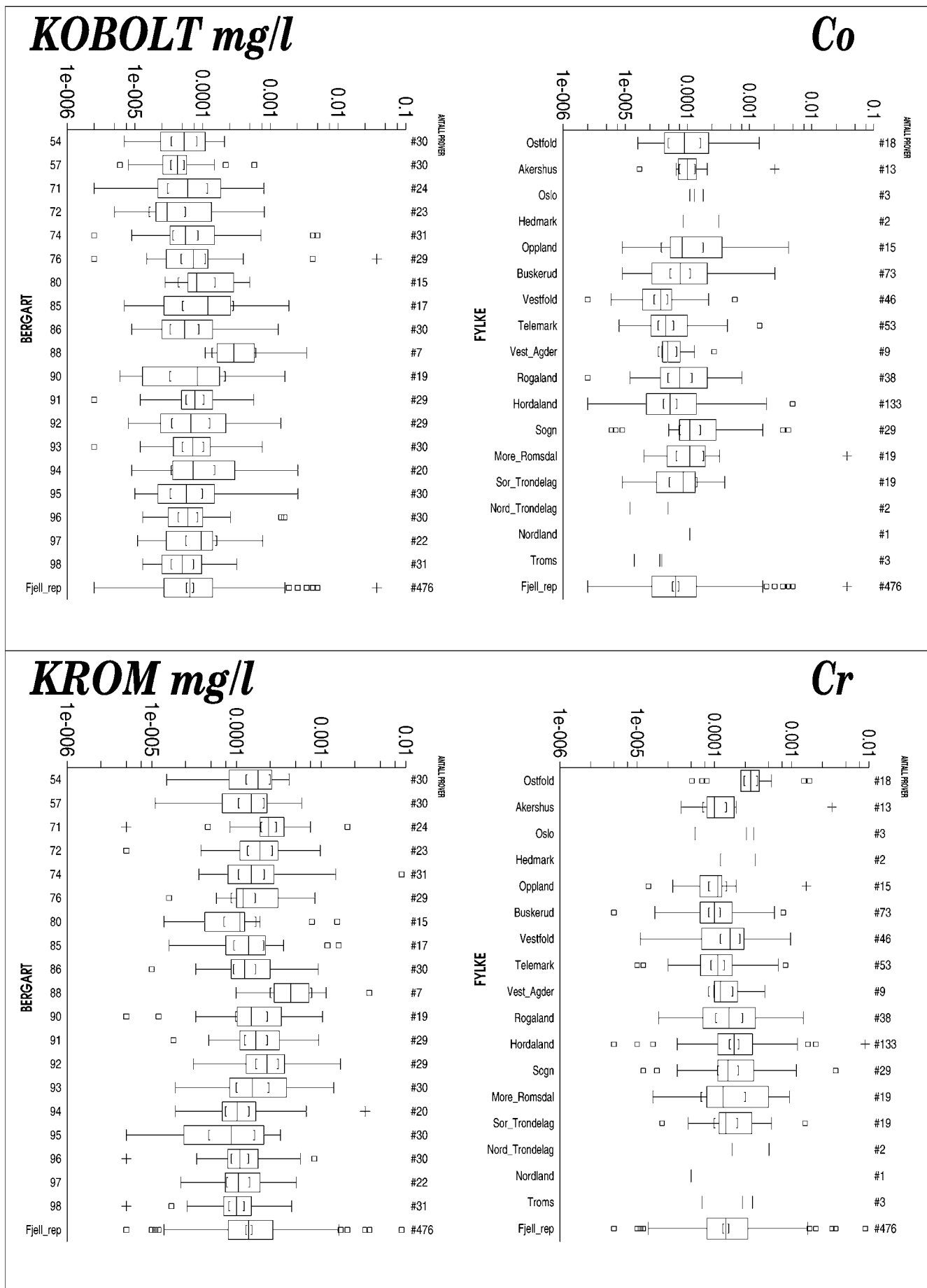
Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for krom på 0,44 µg/l.

Bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) har den laveste mediankonsentrasjonen for krom (0,088 µg/l).

Figur 17a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for krom i grunnvann fra fjellbrønner (0,30 µg/l). Laveste medianverdi (0,1 µg/l) forekommer i Akershus og Buskerud.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,14 µg/l. Maksimumsverdien (8,9 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) i Hordaland. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,01 µg/l) finnes i 8 av de 476 fjellborehullene.

Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 50 µg/l for krom.

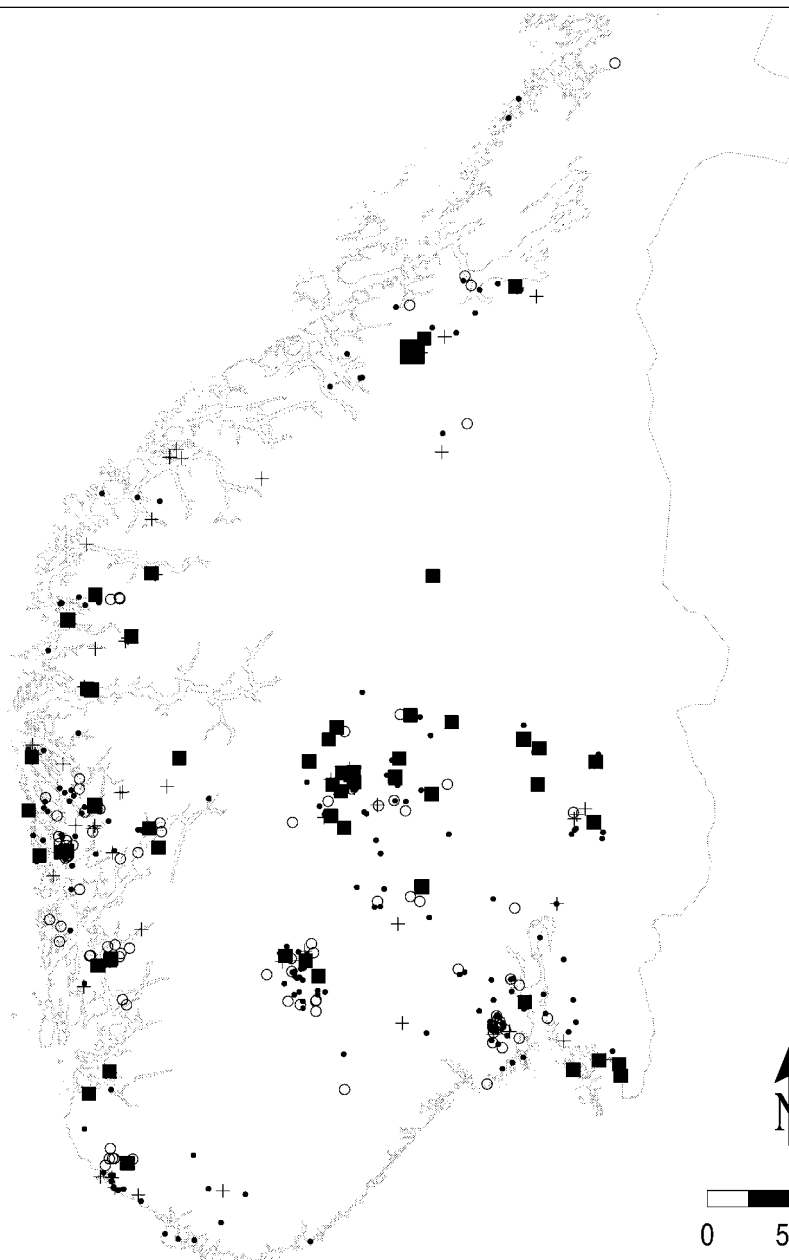


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

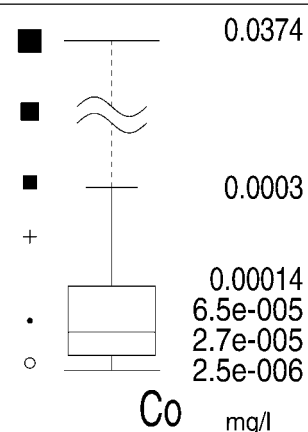
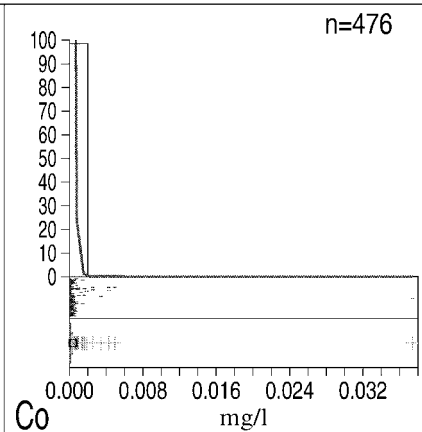
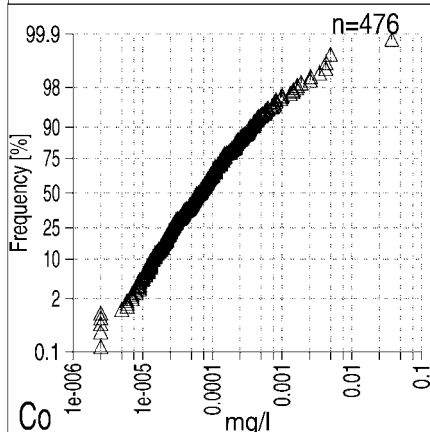
KOBOLT

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

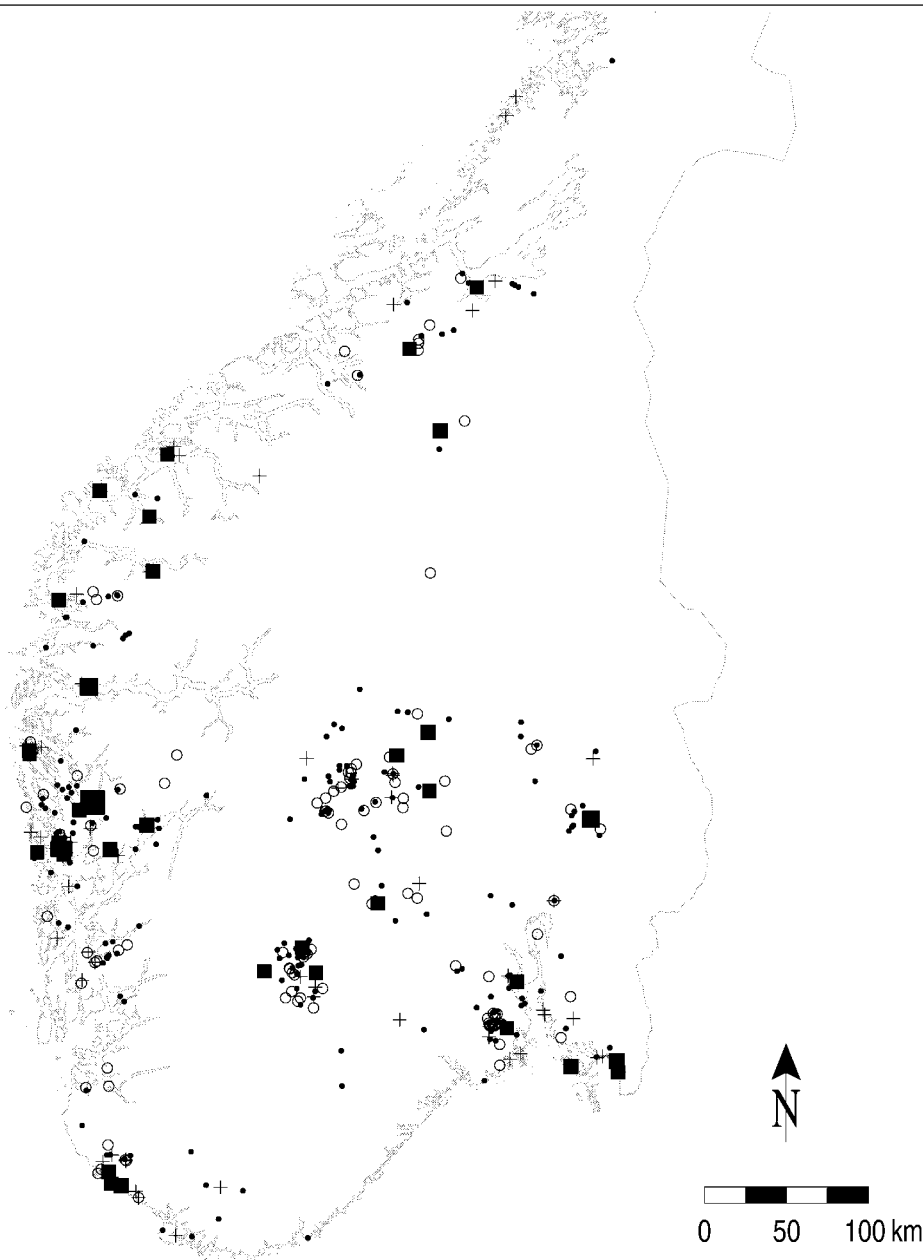


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

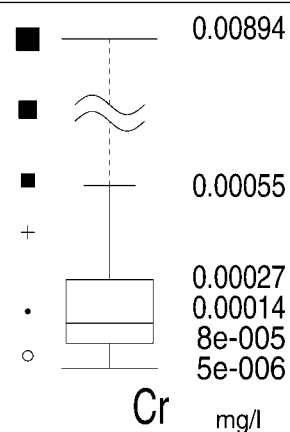
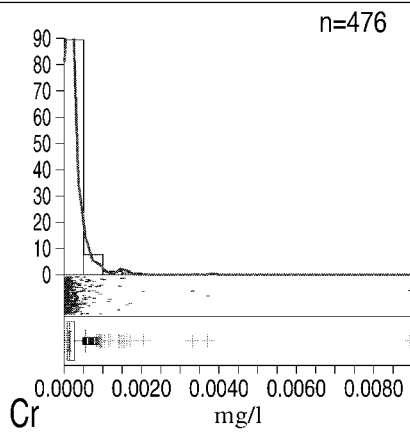
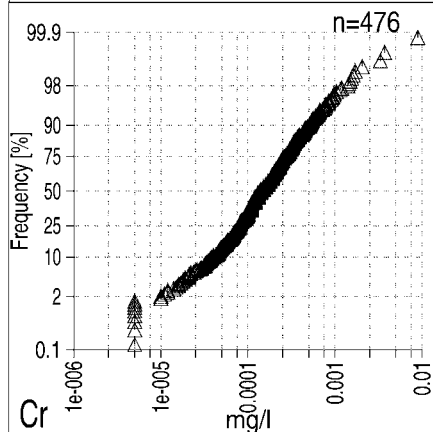
KROM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.16 Cesium (Cs)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 97 (prekambrisk metaryolitt/metaryodacitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for cesium på 0,65 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for cesium under deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l.

Figur 18a indikerer at Buskerud fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for cesium i grunnvann fra fjellbrønner (0,44 µg/l). Telemark har også en høy mediankonsentrasjon på 0,39 µg/l. Laveste medianverdi (0,003 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,096 µg/l. Maksimumsverdien (19 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 95 (Prekambrisk metasandstein, glimmerskifer, konglomerat og gneis) i Buskerud. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i 23 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for cesium i drikkevann.

6.17 Kobber (Cu)

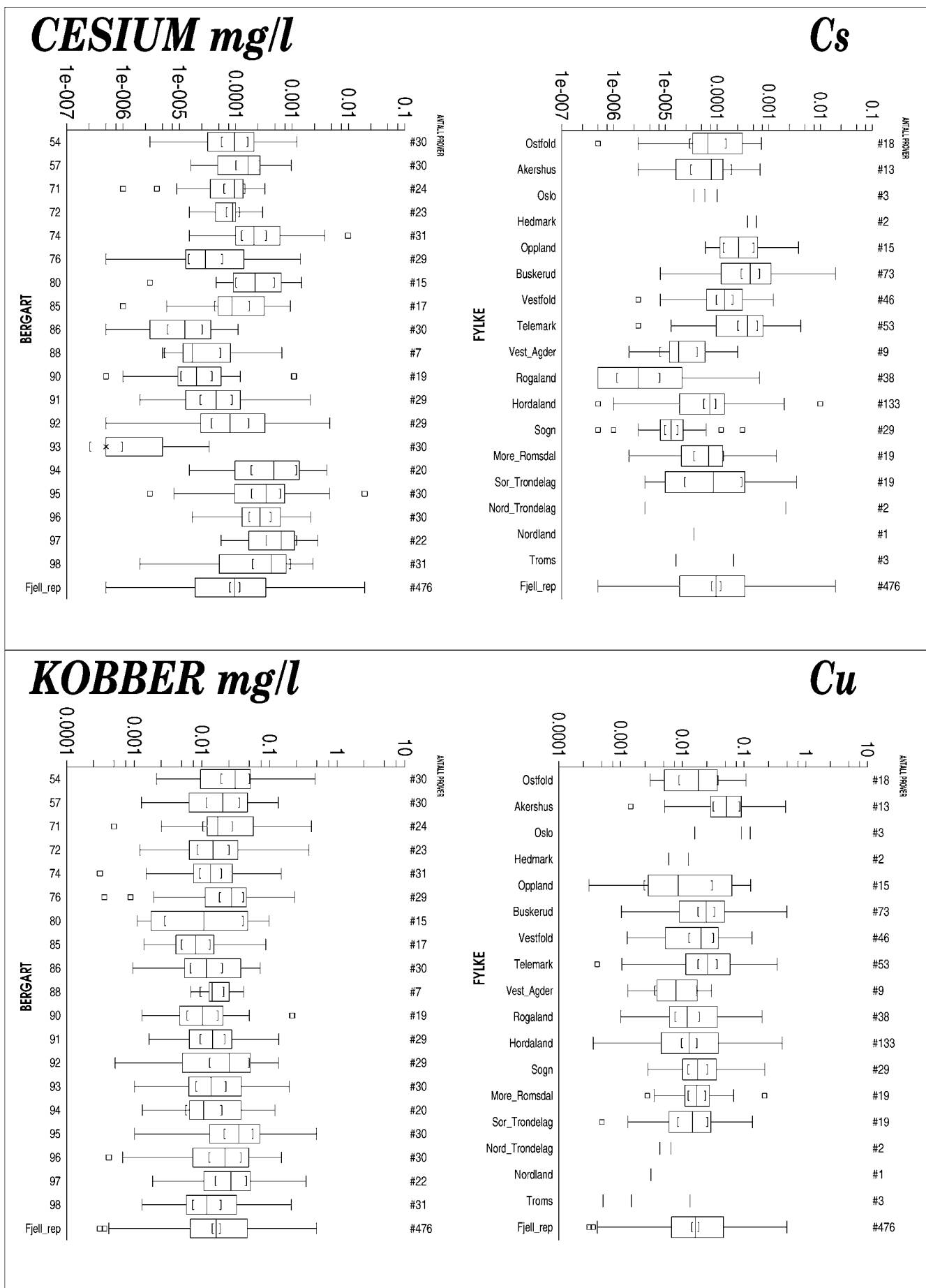
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for kobber på 35 µg/l. Bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) har også en høy mediankonsentrasjon for kobber (31,2 µg/l). Bergartsgruppe 85 (prekambriske bergarter i de kaledonske dekkene) har den laveste mediankonsentrasjonen for kobber på 0,81 µg/l.

Figur 19a indikerer at Akershus fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for kobber i grunnvann fra fjellbrønner (52,1 µg/l). Laveste medianverdi (7,9 µg/l) forekommer i Vest-Agder fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 16 µg/l. Maksimumsverdien (500 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) i Buskerud fylke. Minimumsverdien (0,31 µg/l) finnes i bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) i Oppland fylke.

Det gjøres oppmerksom på at forhøyede kobberkonsentrasjoner kan skyldes oppløsning av metall fra vannrør og armatur, såvel som mineralkilder i fjellet.

1,3 % (6 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 300 µg/l for kobber.

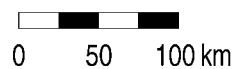
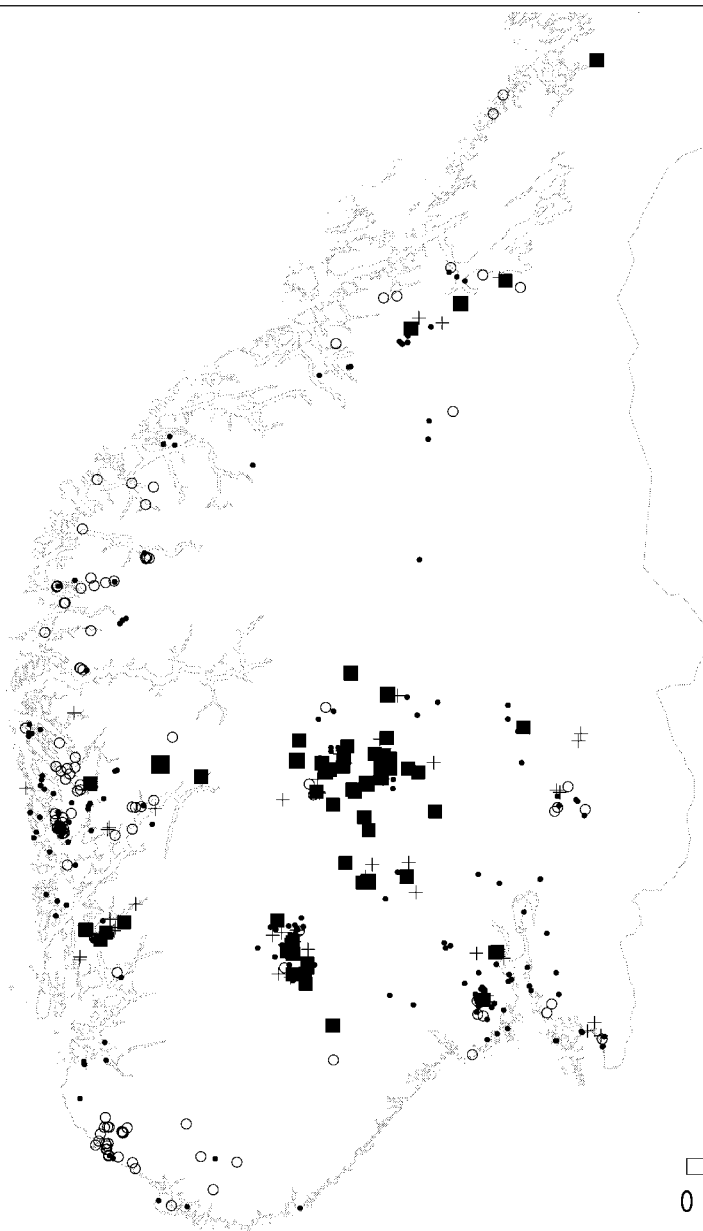


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

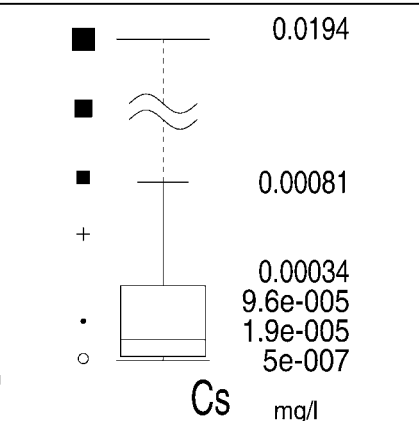
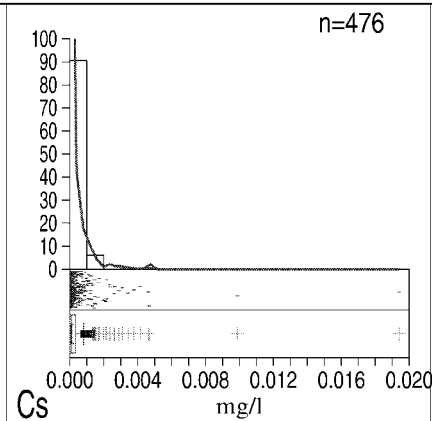
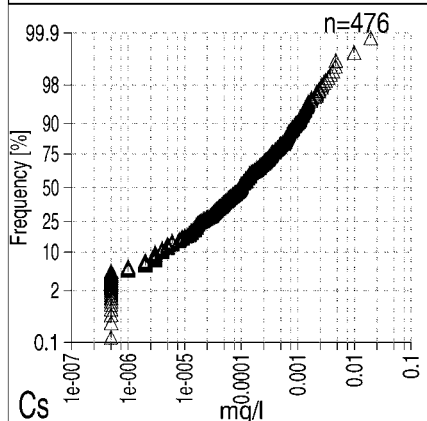
CESIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

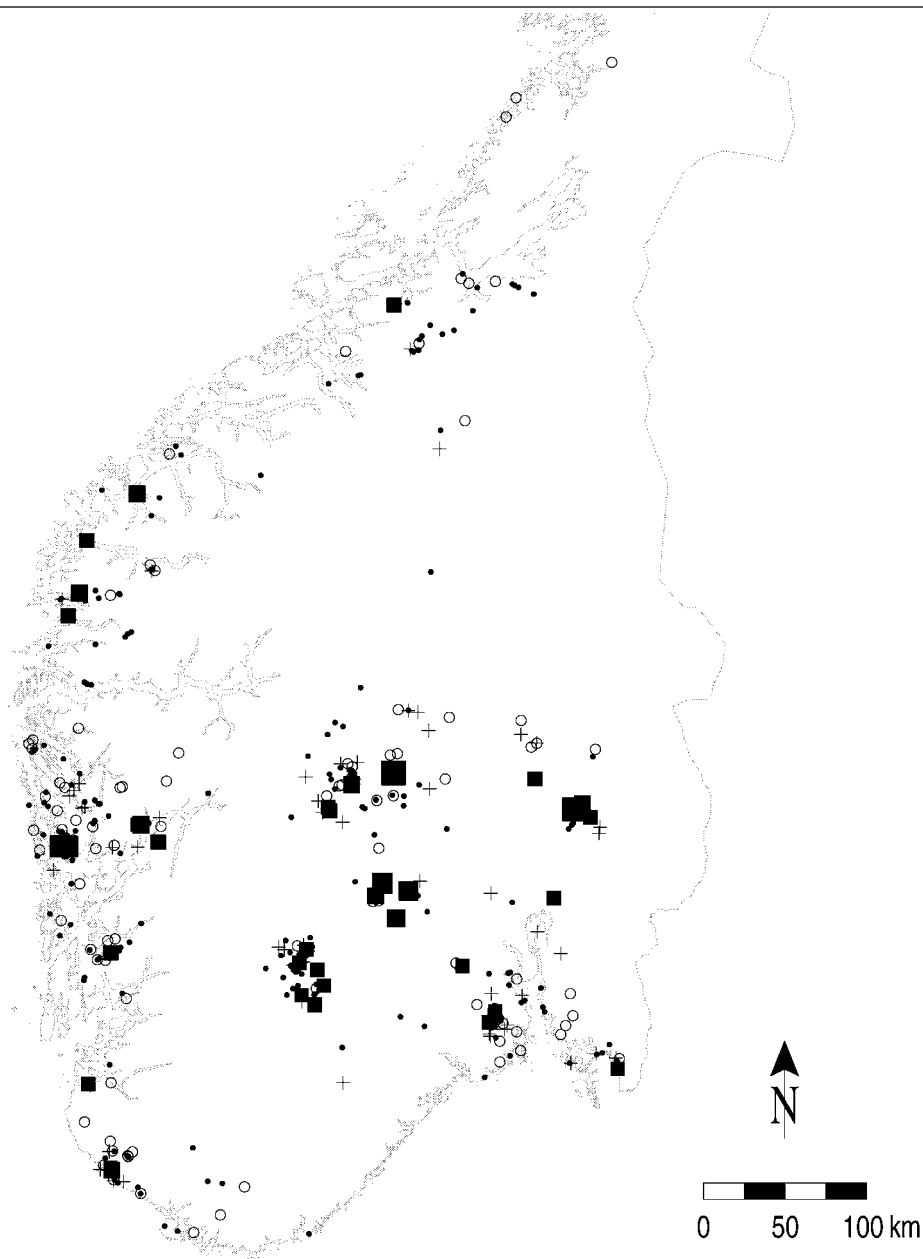


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

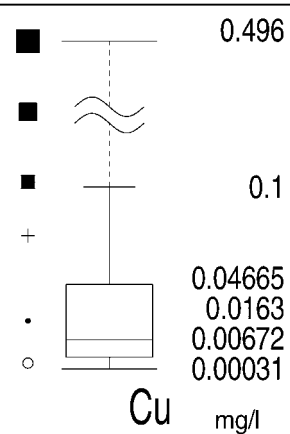
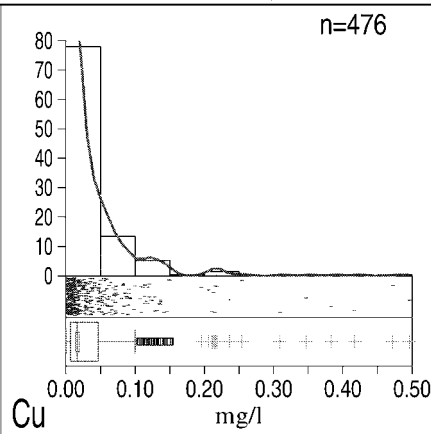
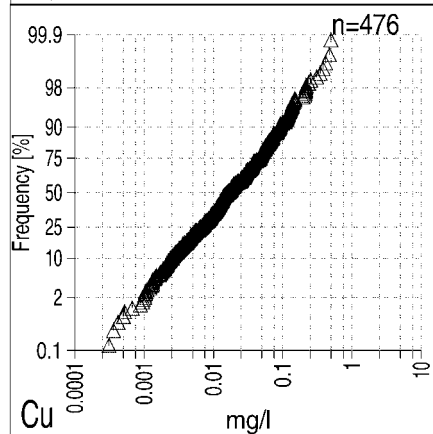
KOBBER

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.18 Jern (Fe)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt og gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for jern på 276 µg/l. Bergartsgruppe 57 (permiske vulkanske og sedimentære bergarter) har den laveste mediankonsentrasjonen for jern på 12,35 µg/l.

Figur 20a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for jern i grunnvann fra fjellbrønner (198 µg/l). Laveste medianverdi (12,7 µg/l) forekommer i Vestfold fylke, mens Vest-Agder også har en lav medianverdi på 13,8 µg/l.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 33,6 µg/l. Maksimumsverdien (8590 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) i Hordaland fylke.

Minimumsverdien (lavere enn deteksjonsgrensen på 1 µg/l) finnes i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) ; også i Hordaland fylke.

16,4 % (78 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 200 µg/l for jern. Til sammenlikning var 17,1 % (274 av 1604) av datasettet Fjell_korr, analysert ved ICP-AES, utenfor normen. Se forøvrig figur 2b.

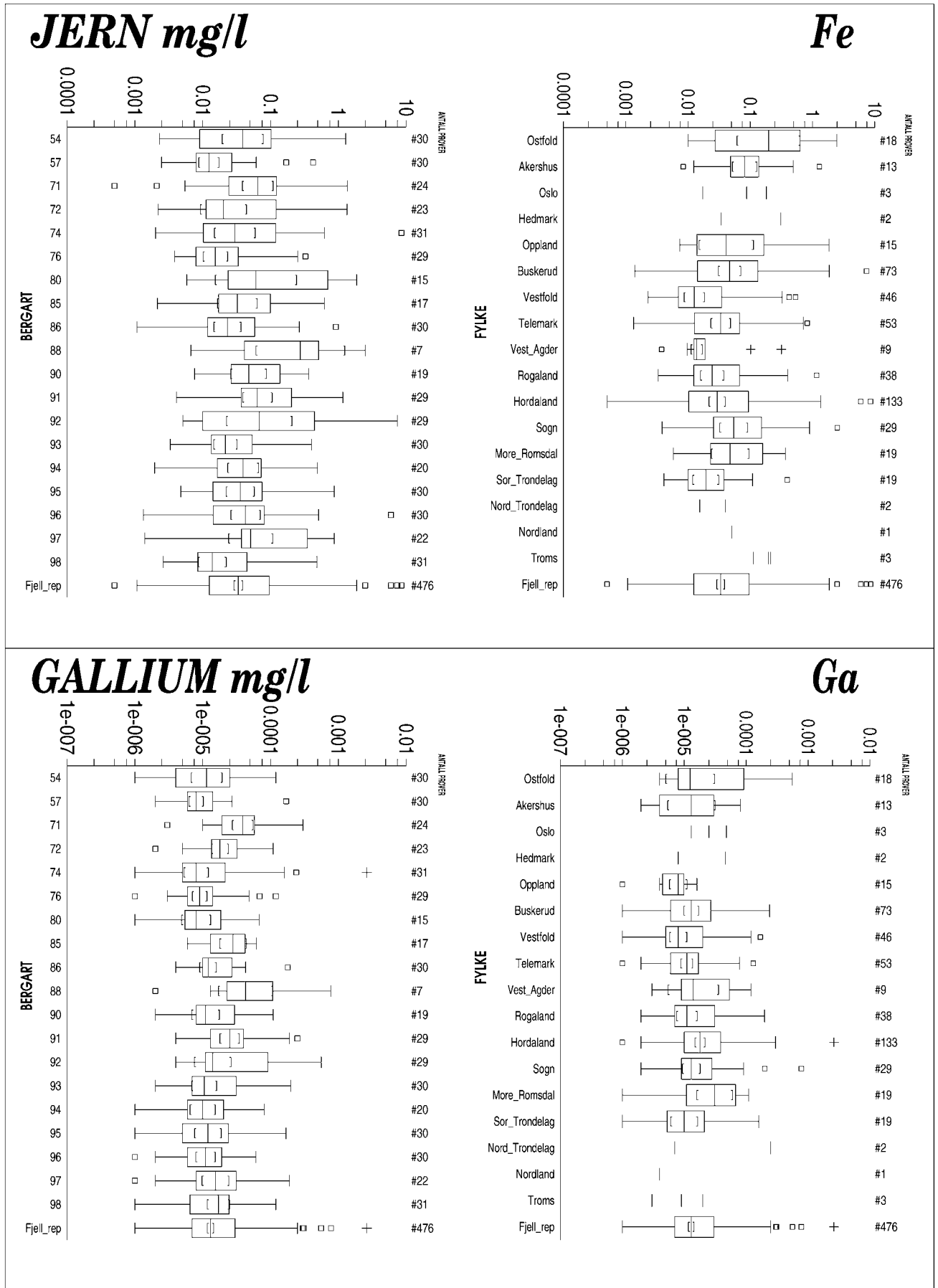
6.19 Gallium (Ga)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (Prekambrisk amfibolitt og gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for gallium på 0,043 µg/l. Bergartsgruppene 57, 74 og 80 (se vedlegg 2) har de laveste mediankonsentrasjonene for gallium på 0,008 µg/l.

Figur 21a indikerer at Møre og Romsdal fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for gallium i grunnvann fra fjellbrønner (0,031 µg/l). Laveste medianverdier (0,008 µg/l) forekommer i fylkene Oppland og Vestfold.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,013 µg/l. Maksimumsverdien (2,6 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) i Hordaland. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 15 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for gallium i drikkevann.

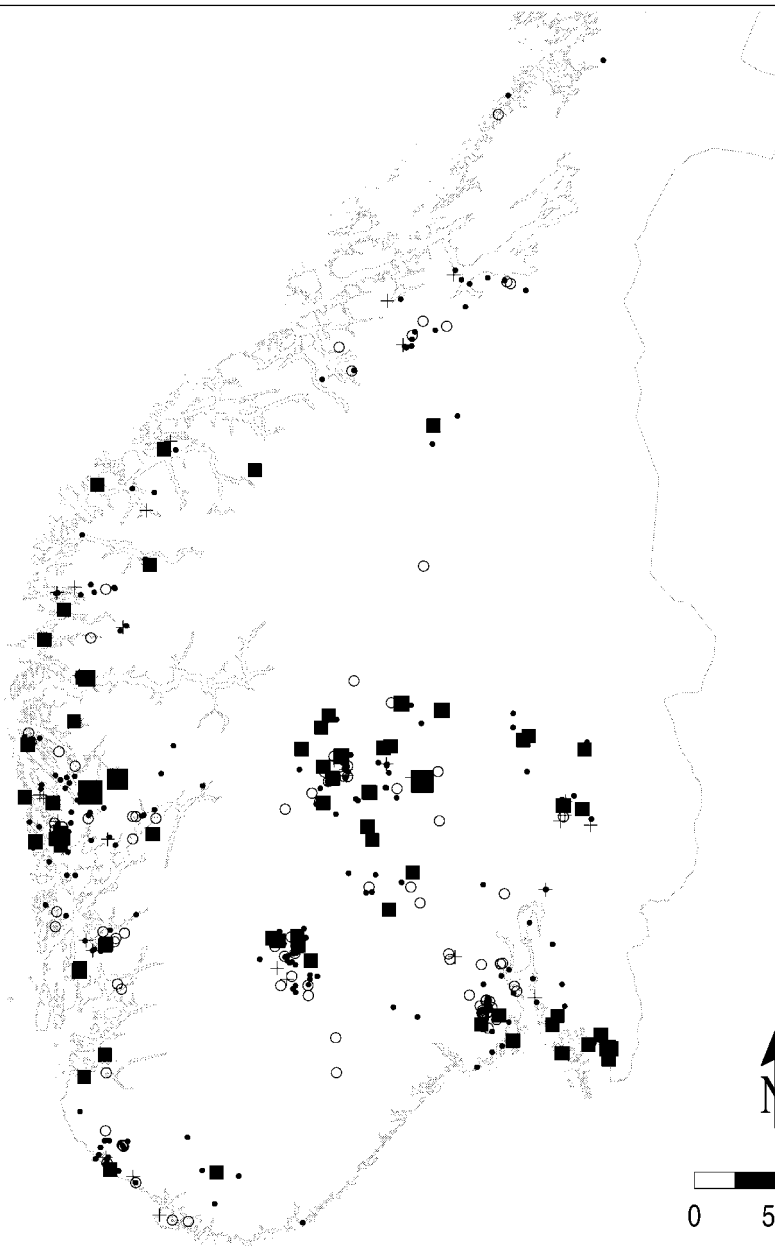


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

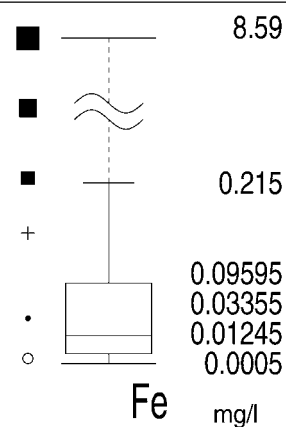
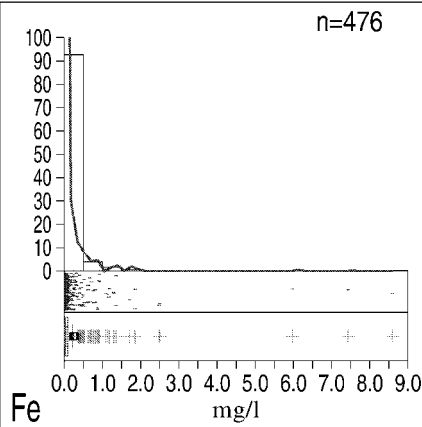
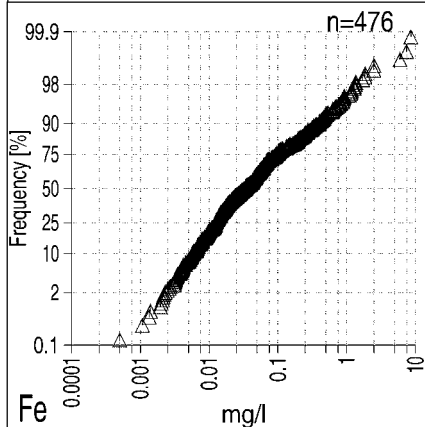
JERN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

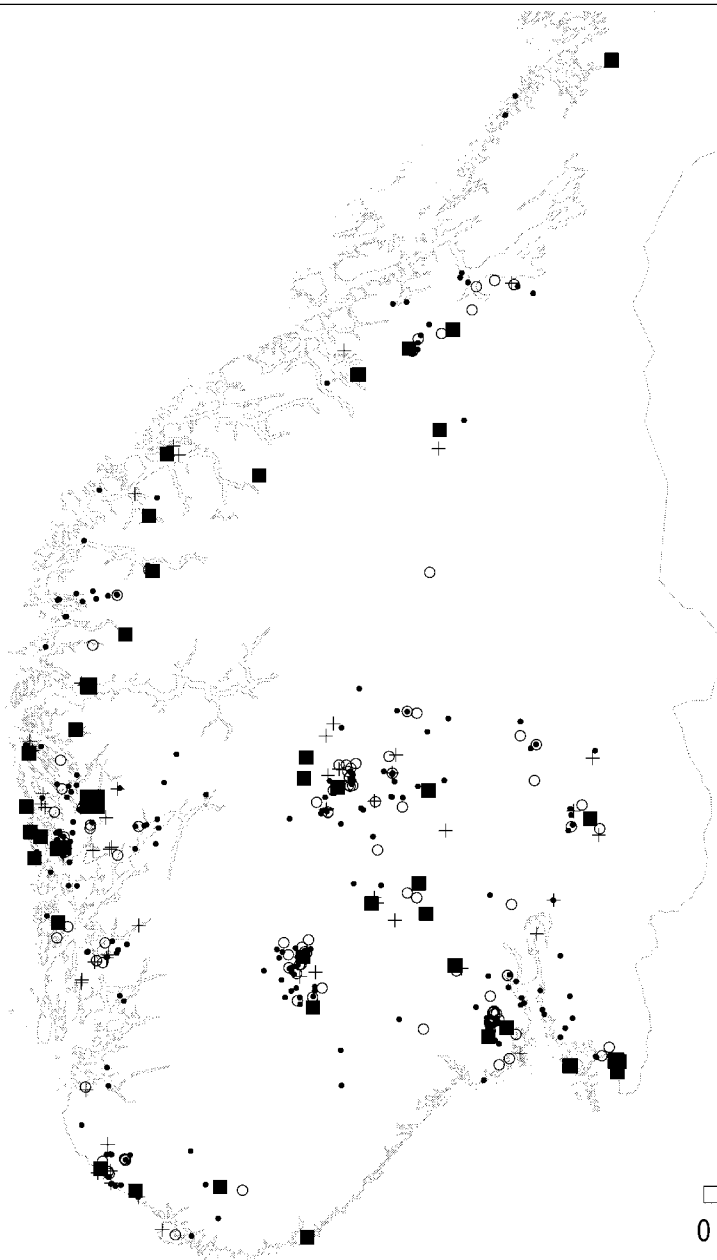


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

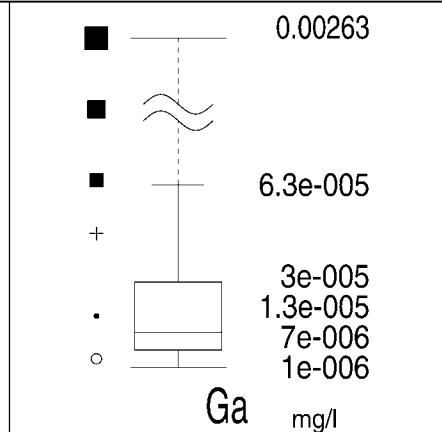
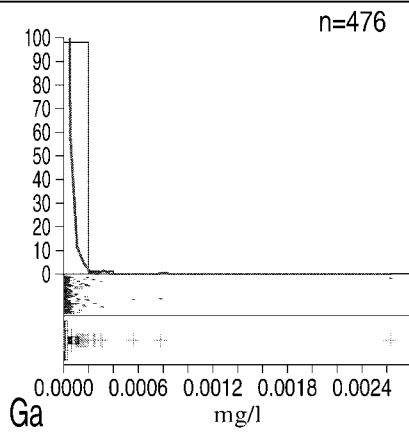
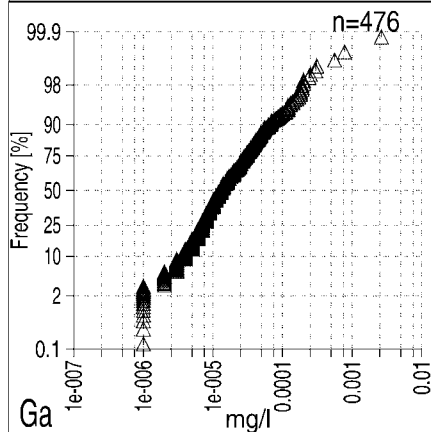
GALLIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.20 Germanium (Ge)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt/gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for germanium på 0,048 µg/l.

Bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) har også en høy mediankonsentrasjon for germanium (0,028 µg/l). Bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat /gneis) har den laveste mediankonsentrasjonen for germanium på 0,0095 µg/l.

Figur 22a indikerer at Oppland fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for germanium i grunnvann fra fjellbrønner (0,032 µg/l). Laveste medianverdi (0,008 µg/l) forekommer i Sør-Trøndelag fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,017 µg/l. Maksimumsverdien (1,5 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) i Møre og Romsdal. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 34 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for germanium i drikkevann.

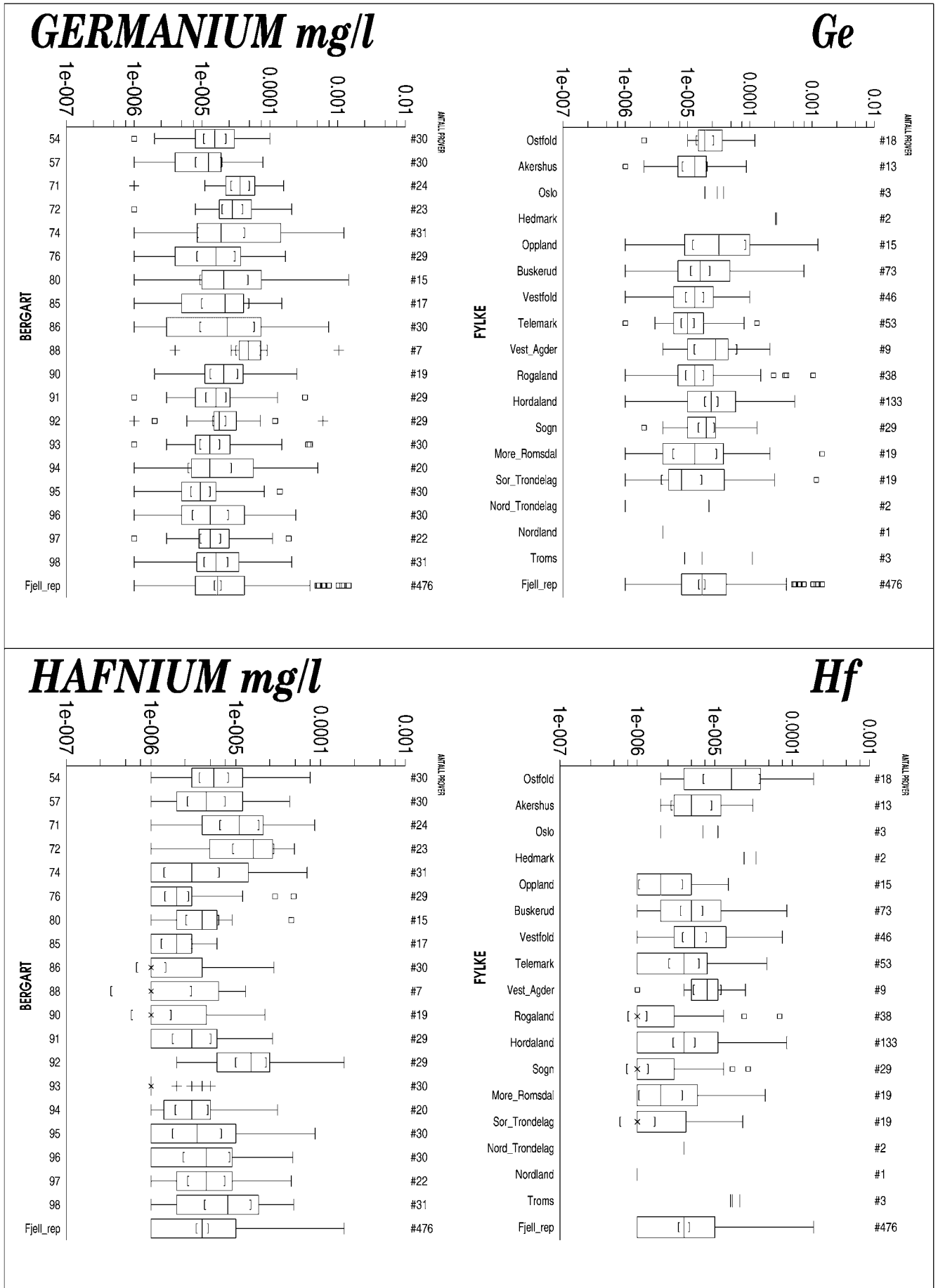
6.21 Hafnium (Hf)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for hafnium på 0,016 µg/l. Bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) har også en høy mediankonsentrasjon for hafnium (0,015 µg/l). Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har sannsynligvis den laveste mediankonsentrasjonen for hafnium med >75 % av prøvene under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l. Bergartsgruppene 86, 88 og 90 (se vedlegg 2) har også mediankonsentrasjoner under deteksjonsgrensen.

Figur 23a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for hafnium i grunnvann fra fjellbrønner (0,017 µg/l). Laveste medianverdier (under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) forekommer i fylkene Rogaland, Sogn og Fjordane og Sør-Trøndelag.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,004 µg/l. Maksimumsverdien (0,19 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Østfold. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 146 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for hafnium i drikkevann.

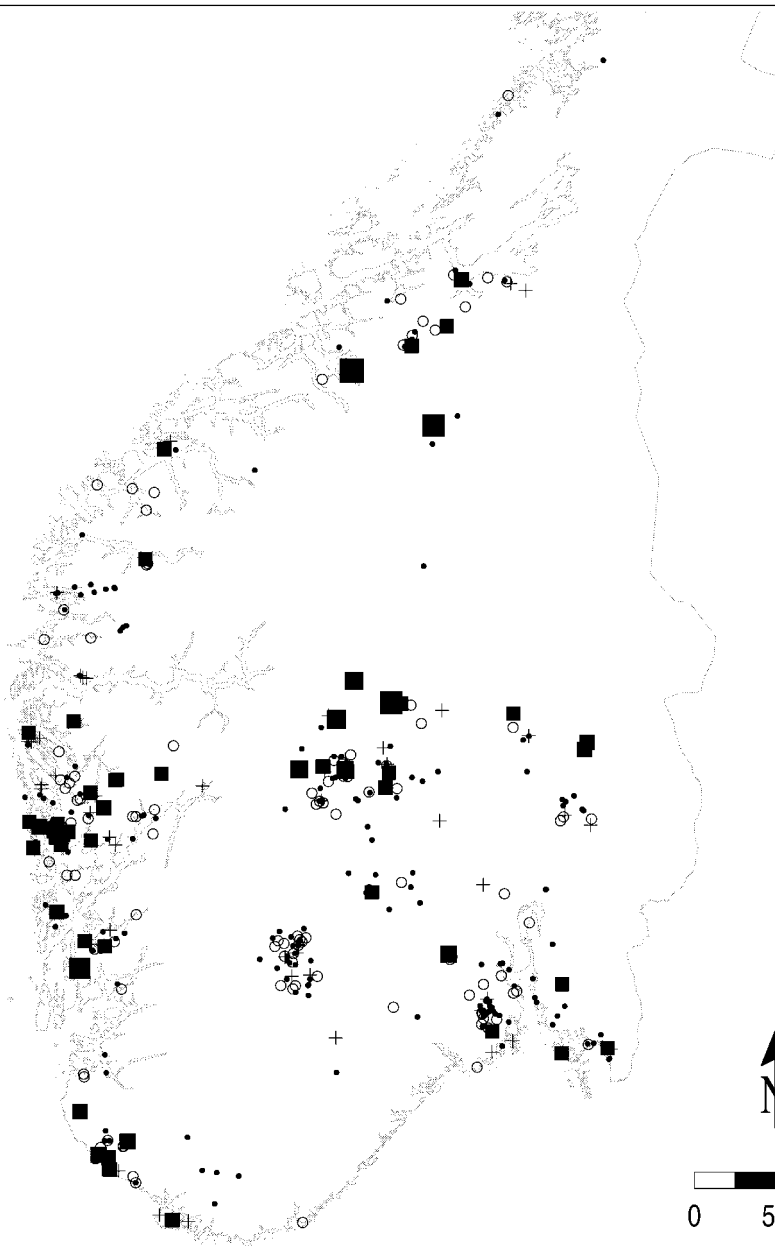


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

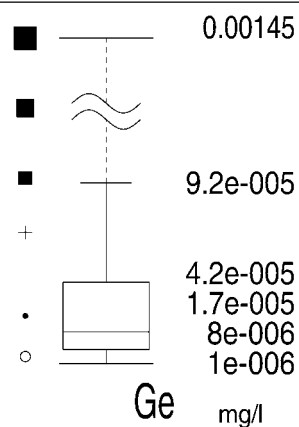
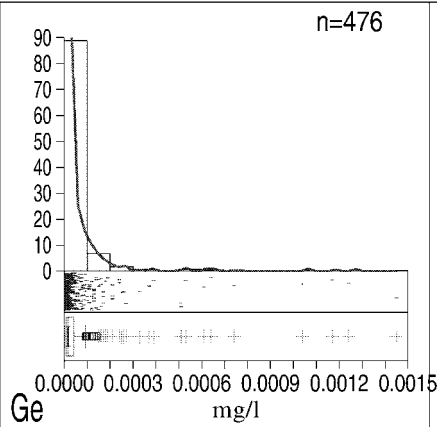
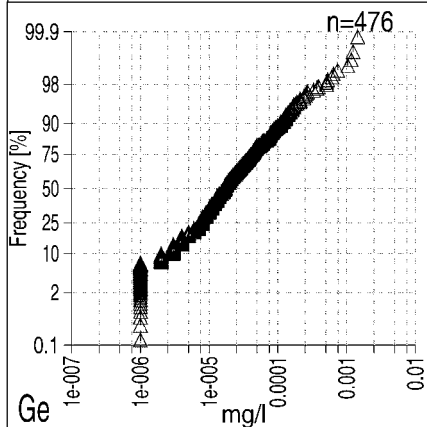
GERMANIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

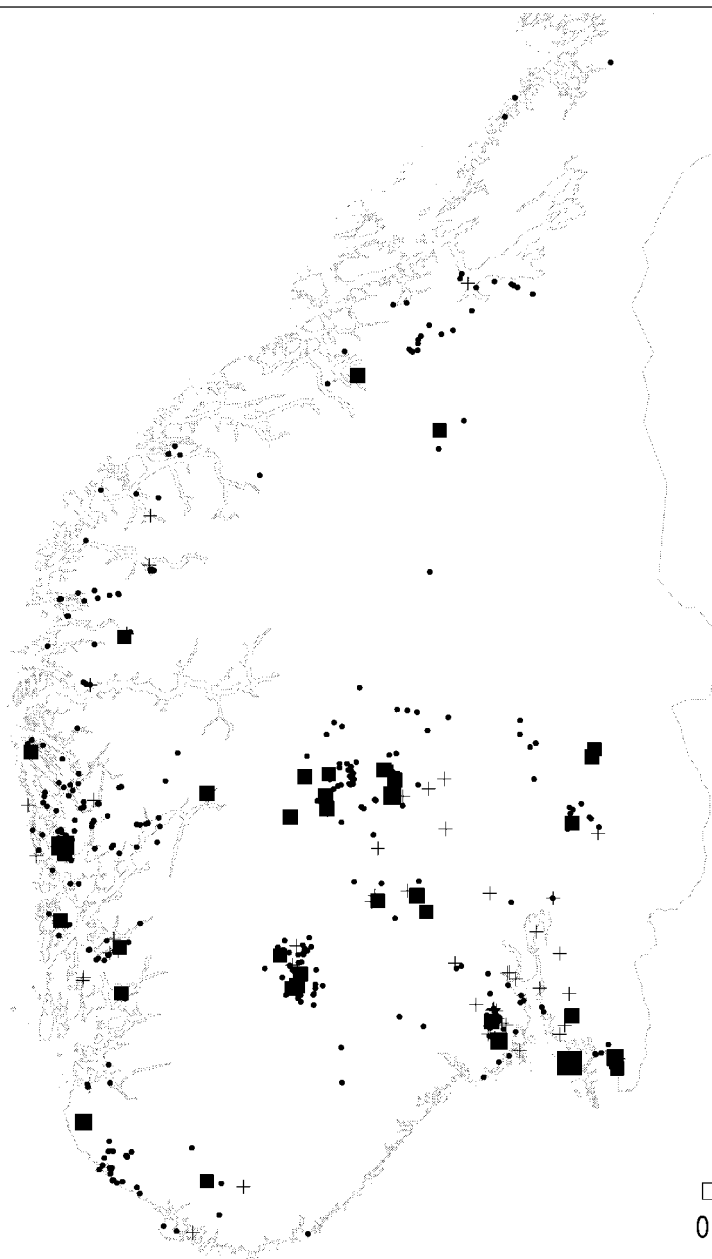


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

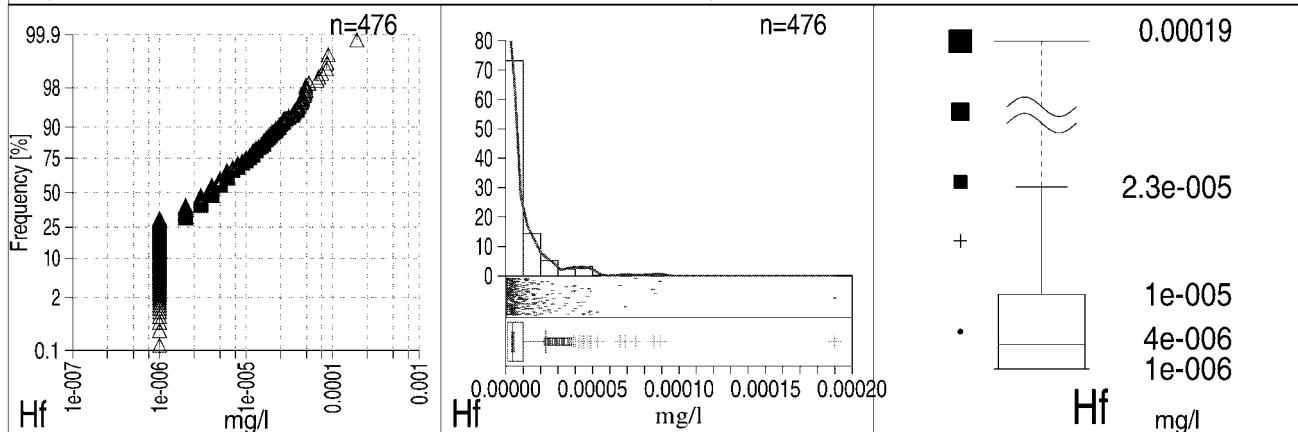
HAFNIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.22 Kvikksølv (Hg)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppen 54 (permiske dyp- og gangbergarter den høyeste mediankonsentrasjon for kvikksølv på 0,033 µg/l. Bergartsgruppene 72 og 86 (henholdsvis kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter og kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonene for kvikksølv lik deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l.

Figur 24a indikerer at Sør-Trøndelag fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for kvikksølv i grunnvann fra fjellbrønner (0,063 µg/l). Laveste medianverdi (0,006 µg/l) forekommer i Rogaland fylke. Kartet i figur 24b viser klart en gruppering av høyere konsentrasjoner like sør for Trondheimsfjorden.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,018 µg/l. Maksimumsverdien (0,3 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) i Vestfold. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l) finnes i 74 av de 476 fjellborehullene.

Ingen av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 0,5 µg/l for kvikksølv.

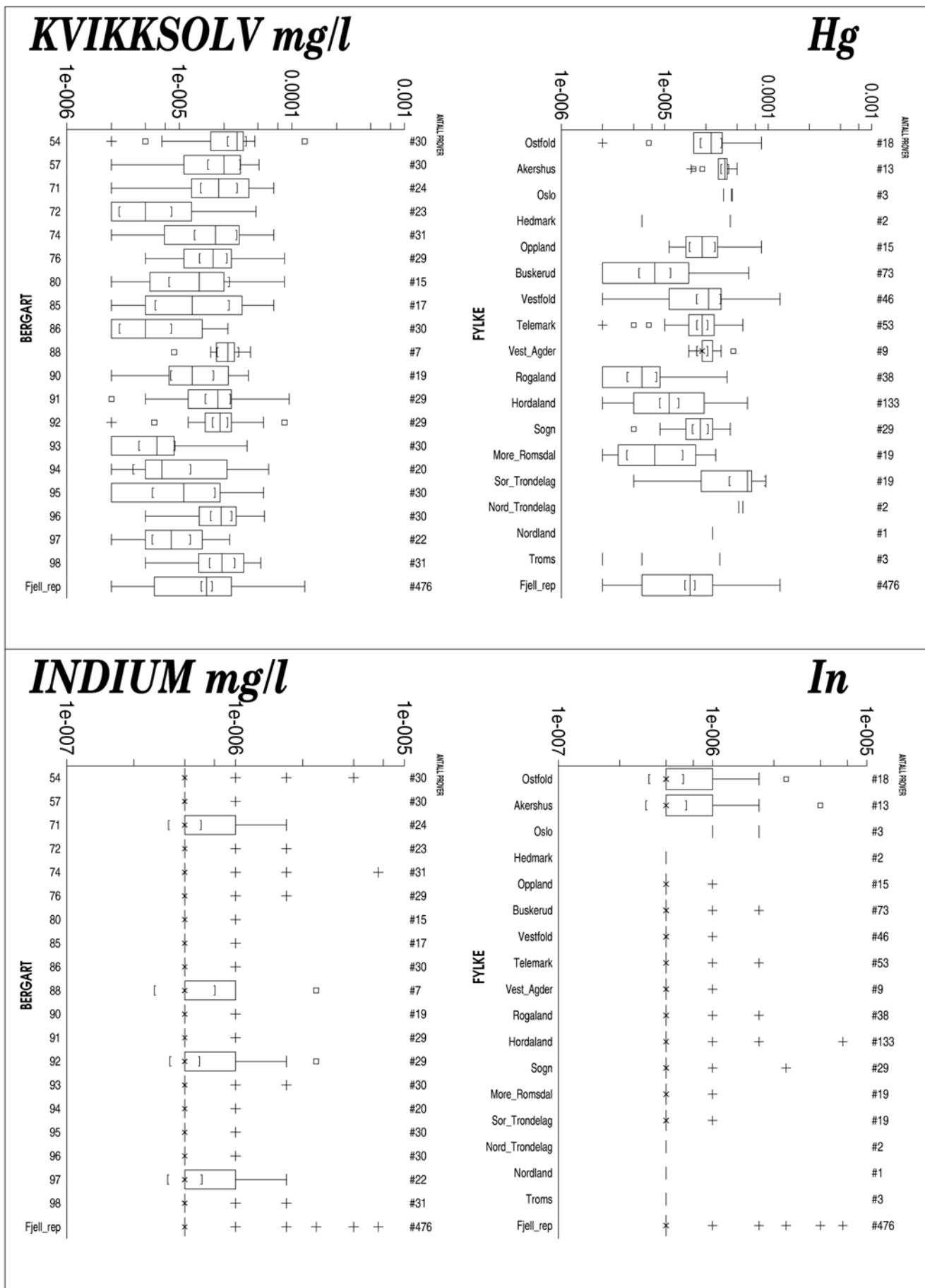
6.23 Indium (In)

397 av de 476 grunnvannsprøvene i det utvalgte datasettet Fjell_rep har konsentrasjoner av indium under deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l. Samtlige bergartsgrupper har medianverdier under deteksjonsgrensen, og med unntak av bergartsgruppene 71, 88, 92 og 97 (se vedlegg 2) er også 75 prosentilen under deteksjonsgrensen.

Figur 25a viser at fylkene Østfold og Akershus generelt har en høyere andel (>25%) av prøver over deteksjonsgrensen (0,001 µg/l) for indium i grunnvann fra fjellbrønner, enn de andre fylkene.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er under deteksjonsgrensen (<0,001 µg/l). Maksimumsverdien 0,007 µg/l kommer fra bergartsgruppe 74 (kaledonske metasedimenter) i Hordaland.

Det er ikke satt noen grenser for indium i drikkevann.

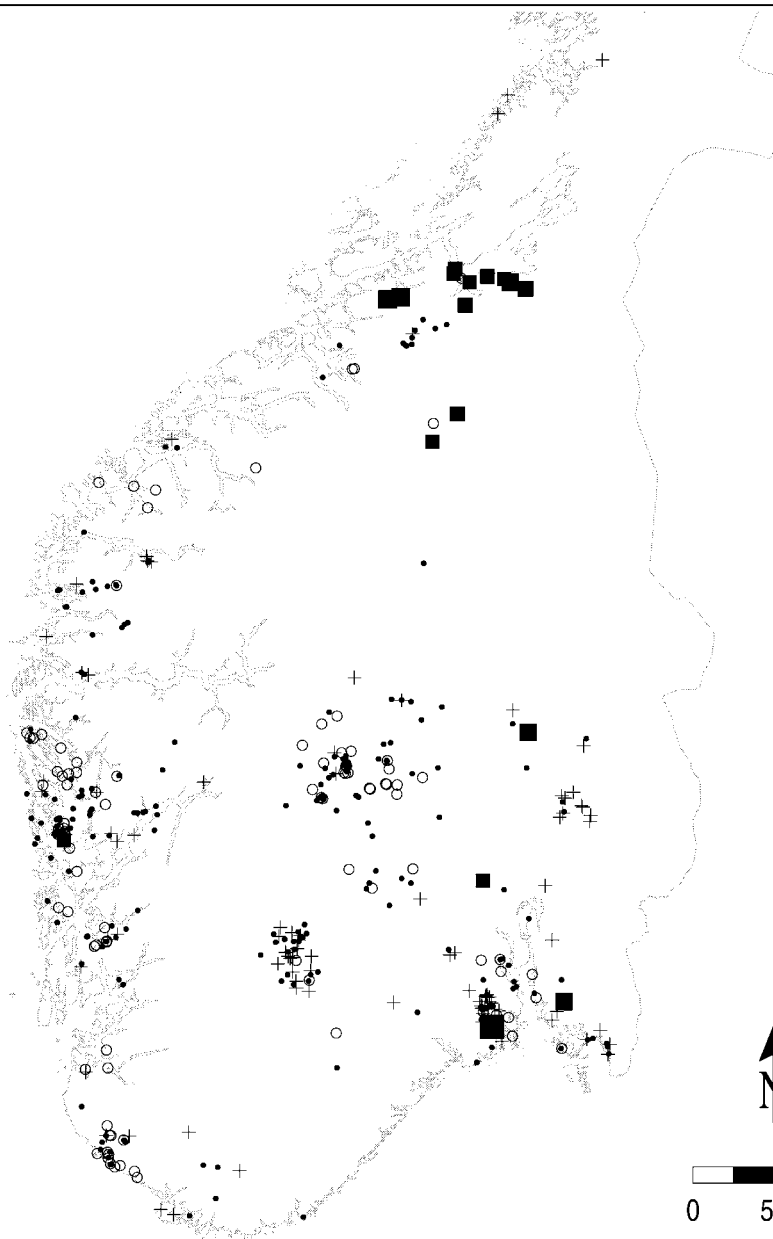


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

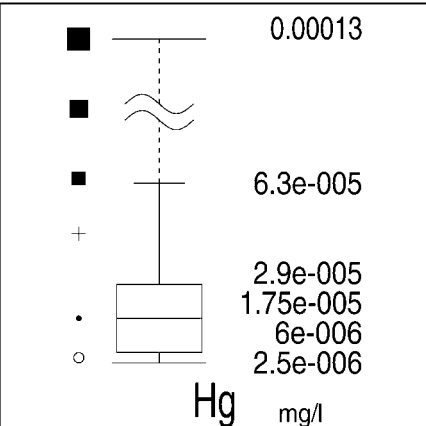
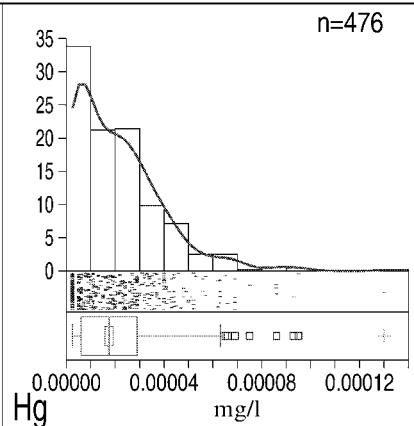
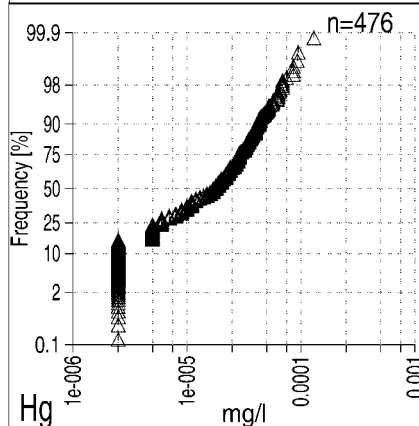
KVIKKSOLV

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

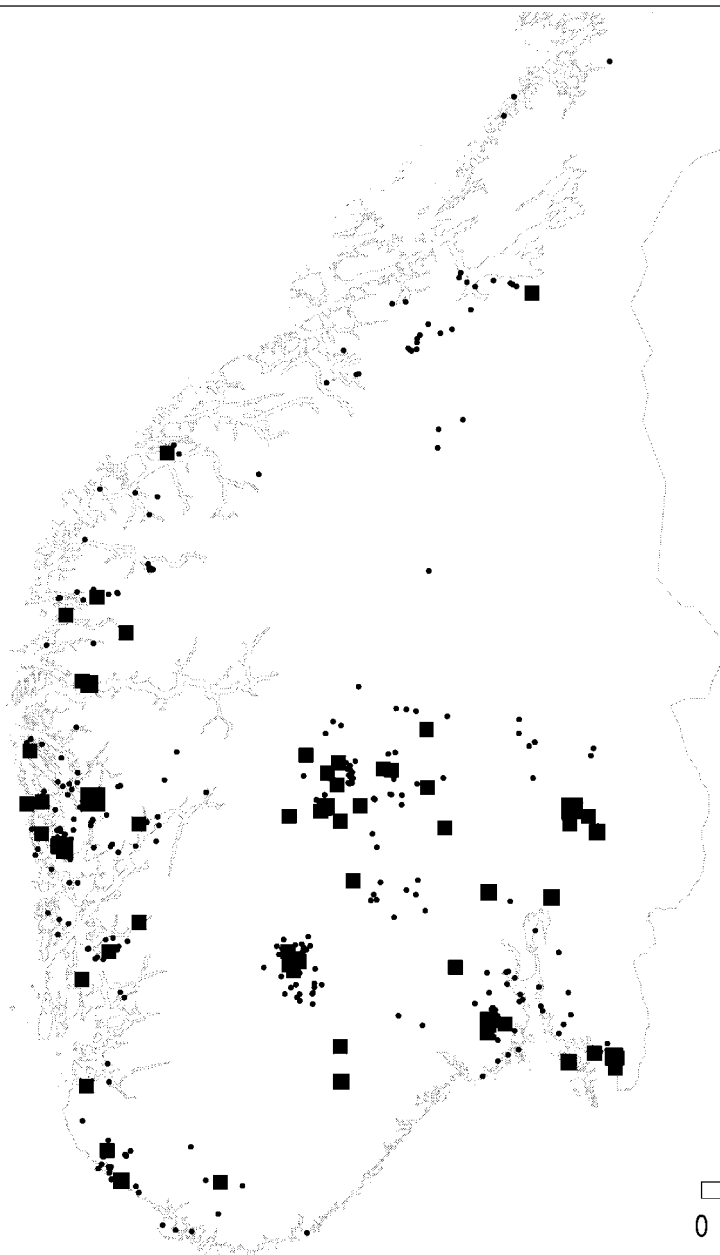


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

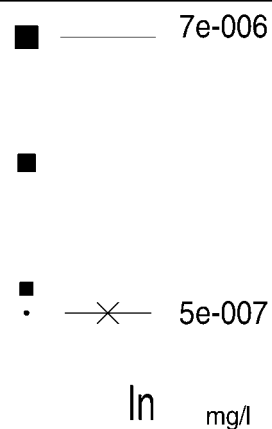
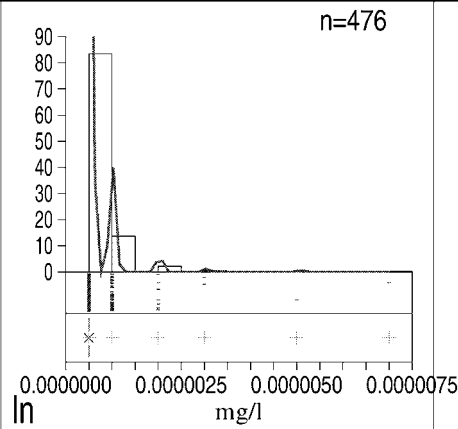
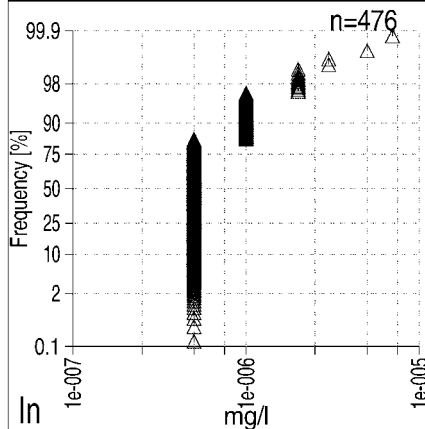
INDIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.24 Jod (I)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 57 (permiske vulkanske og sedimentære bergarter i Oslofeltet) den høyeste mediankonsentrasjonen for jod på 1,28 µg/l. Bergartsgruppe 97 (prekambrisk metaryolitt og metaryodacitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for jod på 0,18 µg/l.

Figur 26a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for jod i grunnvann fra fjellbrønner (1,86 µg/l). De laveste medianverdiene forekommer i fylkene Telemark, Oppland og Buskerud med henholdsvis 0,023, 0,024 og 0,025 µg/l.

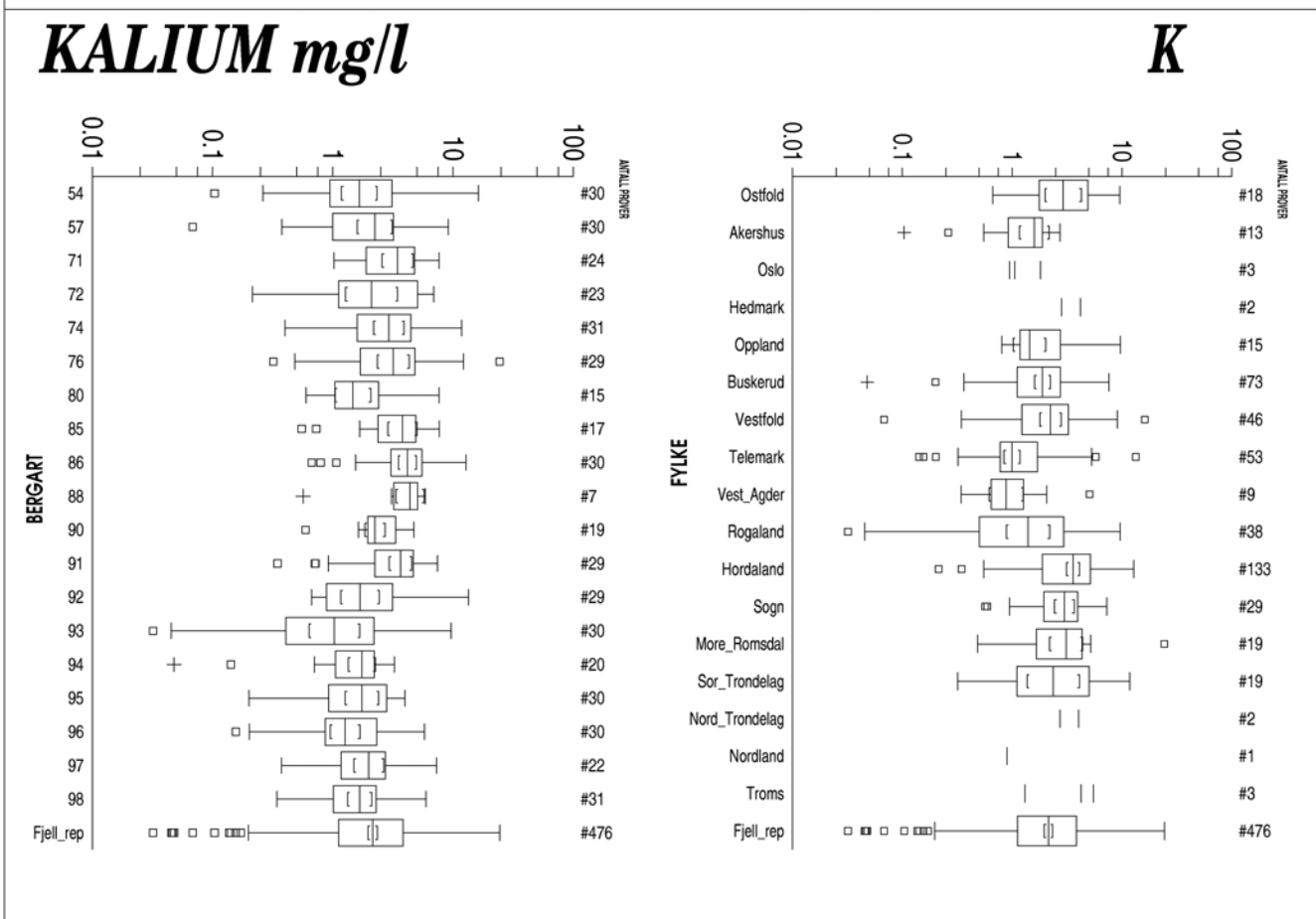
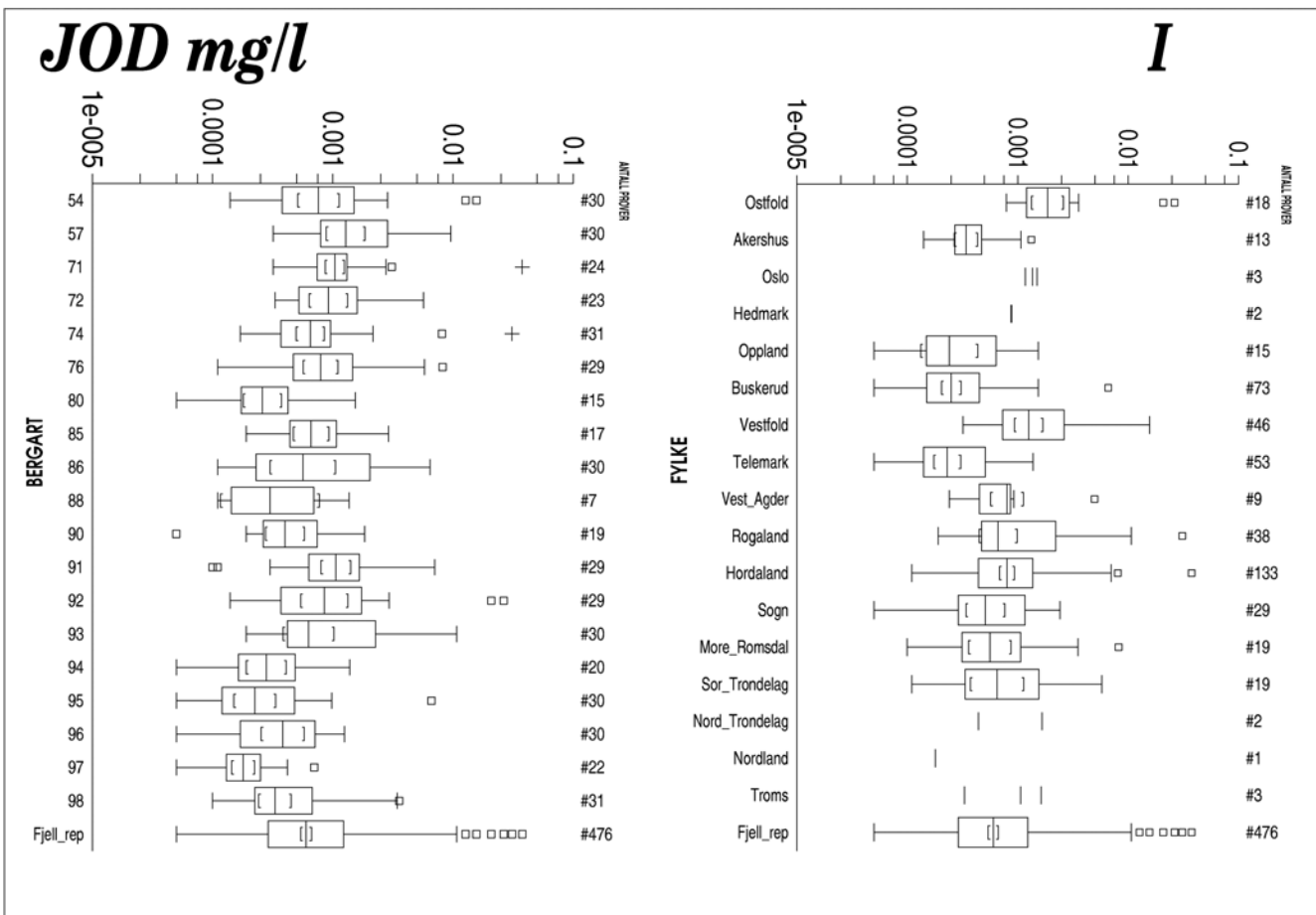
Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,60 µg/l. Maksimumsverdien (38 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 71 (kaledonisk granitt/tonalitt) i Hordaland. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,1 µg/l) finnes i 12 av de 476 fjellborehullene.

Kartet i figur 26b tyder på at man finner høye jodkonsentrasjoner i kystnære områder.

Det er ikke satt grenser for jod i drikkevann.

6.25 Kalium (K)

Resultatene for ICP-MS analyse av kalium er vist som boksplokk i figur 27a til orientering. ICP-AES er sannsynligvis en bedre analysemetode for hovedkationene, og det henvises derfor til NGU-rapport 98.058 "Kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell i Norge" for en beskrivelse av fordelingen av kalium.

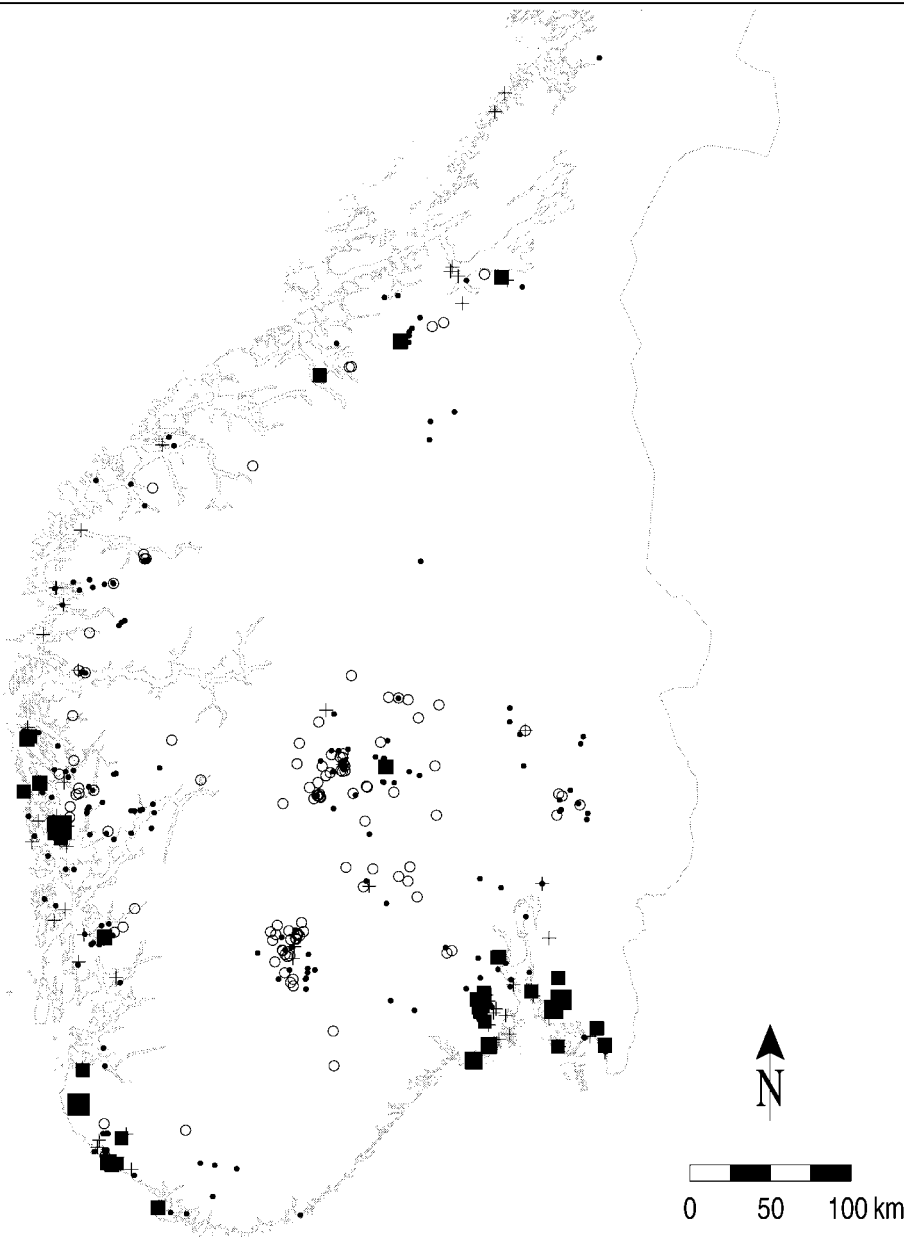


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

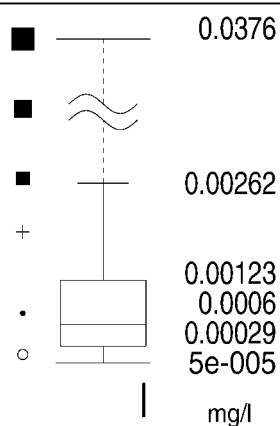
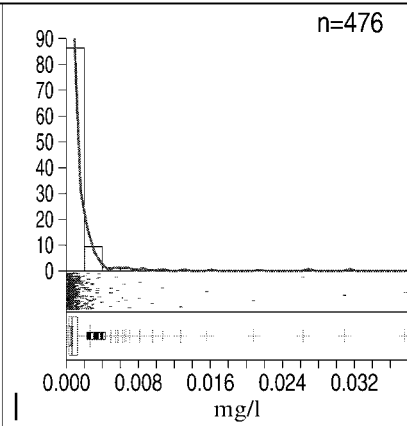
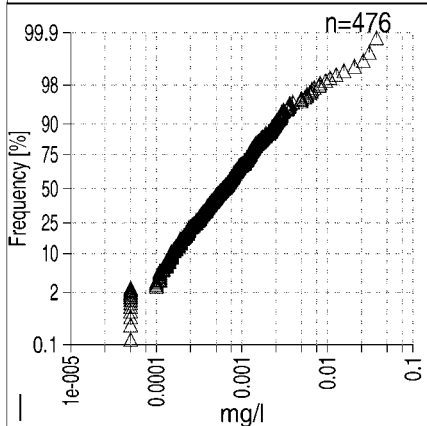
JOD

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.26 Litium (Li)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for litium på 5,0 µg/l). Bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) har også en høy mediankonsentrasjon for litium (4,7 µg/l). Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for litium (0,44 µg/l).

Figur 28a indikerer at fylkene Oppland og Østfold har de høyeste mediankonsentrasjonene for litium i grunnvann fra fjellbrønner (5,1 µg/l). Laveste medianverdi (0,81 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

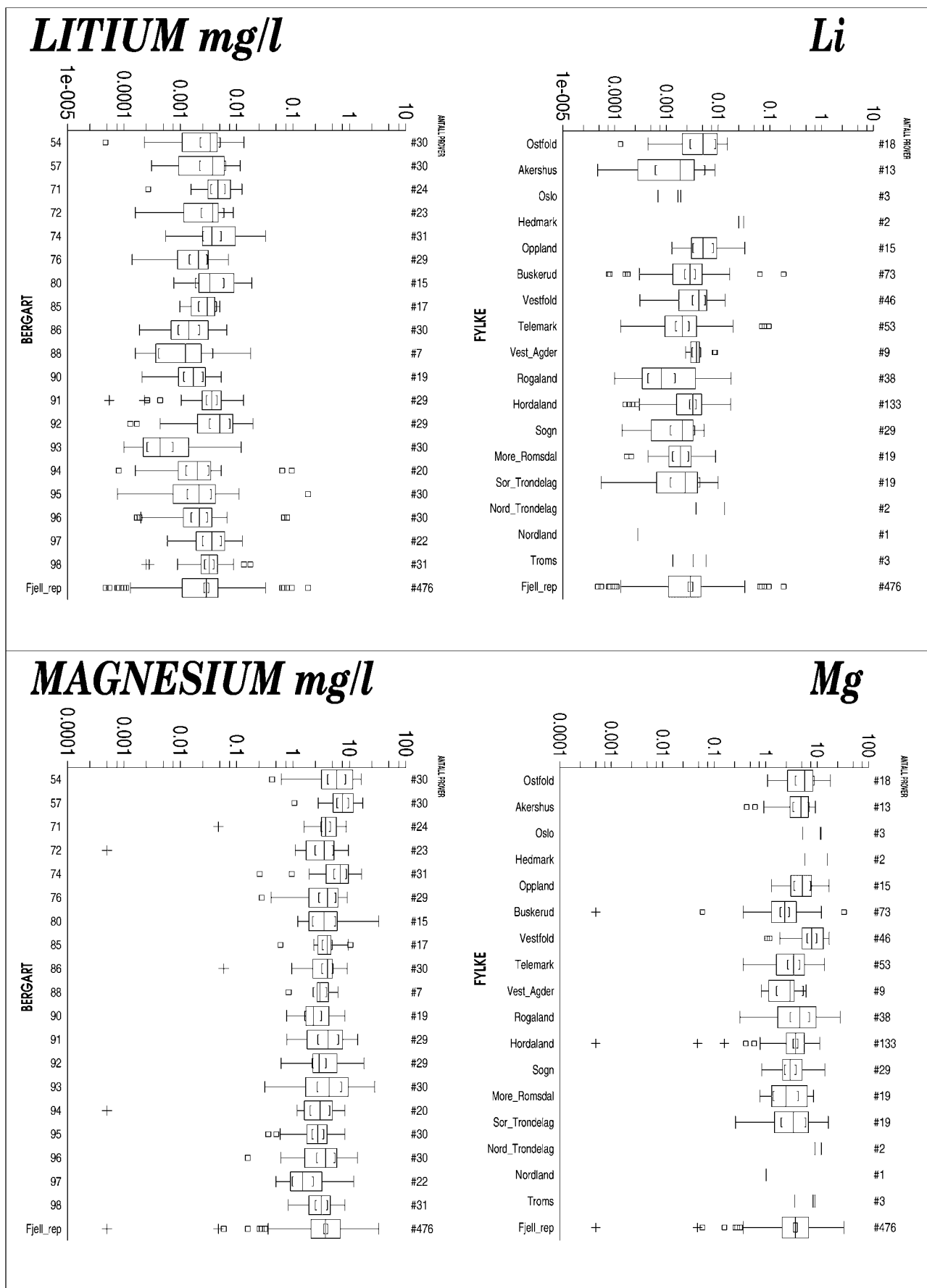
Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 2,9 µg/l. Maksimumsverdien (180 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) i Buskerud fylke. Minimumsverdien (0,047 µg/l) finnes i bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) i Akershus.

Kartet i figur 28b antyder ikke noen korrelasjon mellom litium og kystnær beliggenhet. Forekomsten av litium i grunnvann i fast fjell synes derfor å ha en viss litologisk opprinnelse.

Det er ikke satt noen grense for litium i drikkevann i Norge. 1,5 % (7 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 30 µg/l for litium.

6.27 Magnesium (Mg)

Resultatene for ICP-MS analyse av magnesium er vist som boksplokk i figur 29a til orientering. ICP-AES er sannsynligvis en bedre analysemetode for hovedkationene, og det henvises derfor til NGU-rapport 98.058 "Kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell i Norge" for en beskrivelse av fordelingen av magnesium.

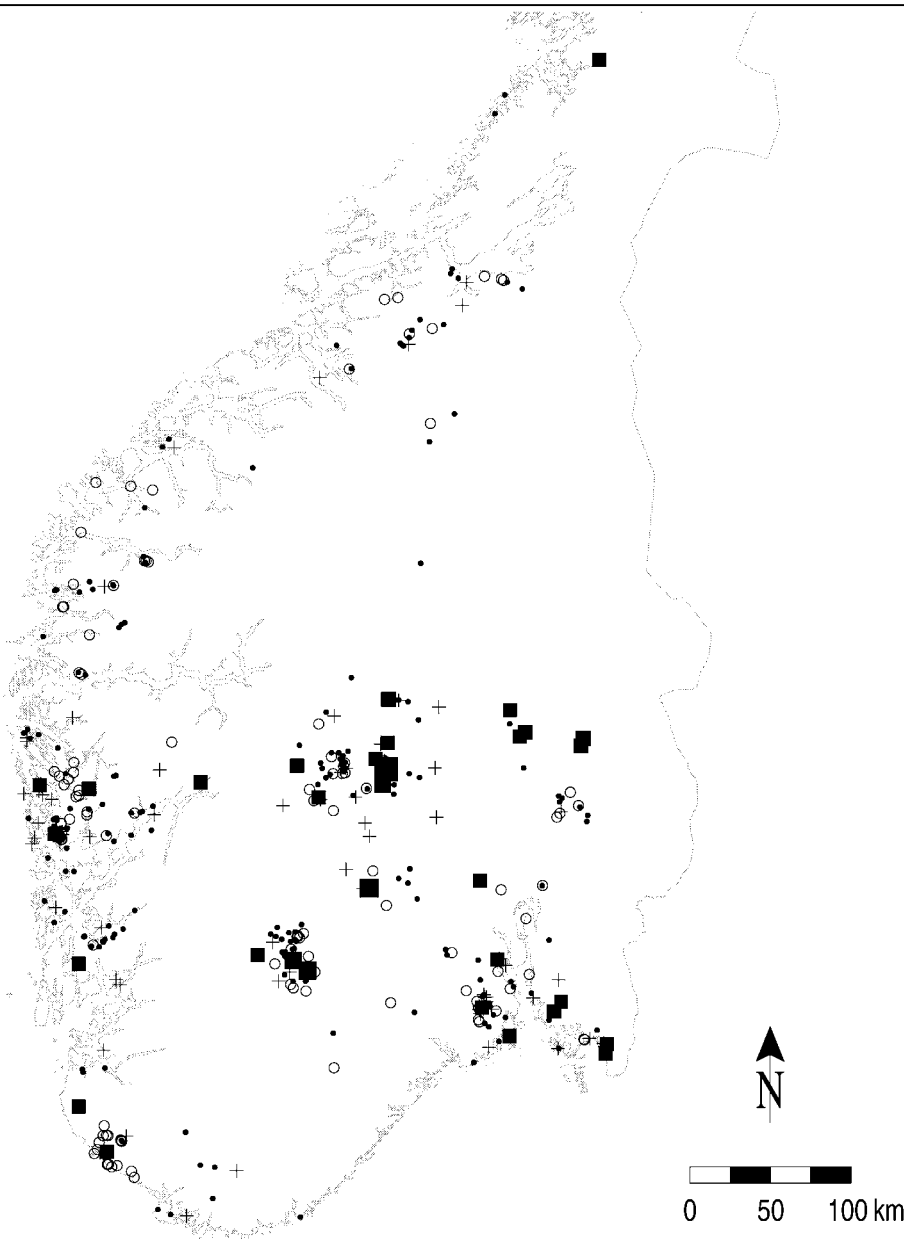


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

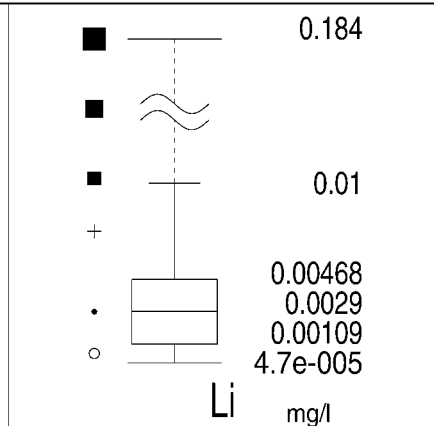
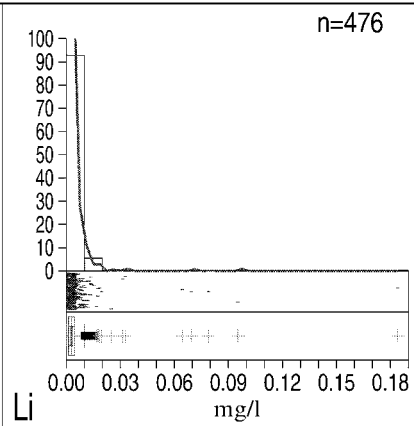
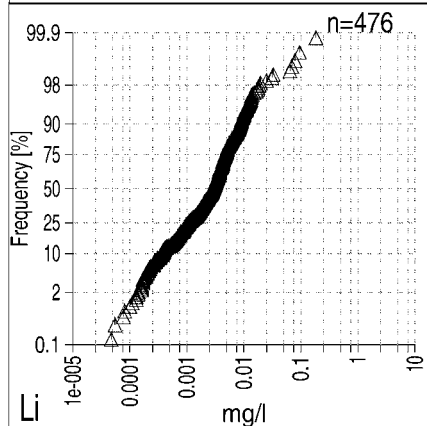
LITIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.28 Mangan (Mn)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 80 (senprekambrisk sandstein, skifer og konglomerat) den høyeste mediankonsentrasjonen for mangan på 97 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt til charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for mangan på 2,96 µg/l.

Figur 30a indikerer at Oppland fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for mangan i grunnvann fra fjellbrønner (97 µg/l). Laveste medianverdi (3,6 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 15,7 µg/l. Maksimumsverdien (3760 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 76 (kaledonske grønnstein/grønnskifer/amfibolitt/meta-andesitt i Møre og Romsdal fylke. Minimumsverdien (under deteksjonsgrensen på 0,1 µg/l) finnes i bergartsgruppene 57 og 96 (se vedlegg 2) i henholdsvis Vestfold og Telemark fylker.

30,5 % (145 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 50 µg/l for mangan.

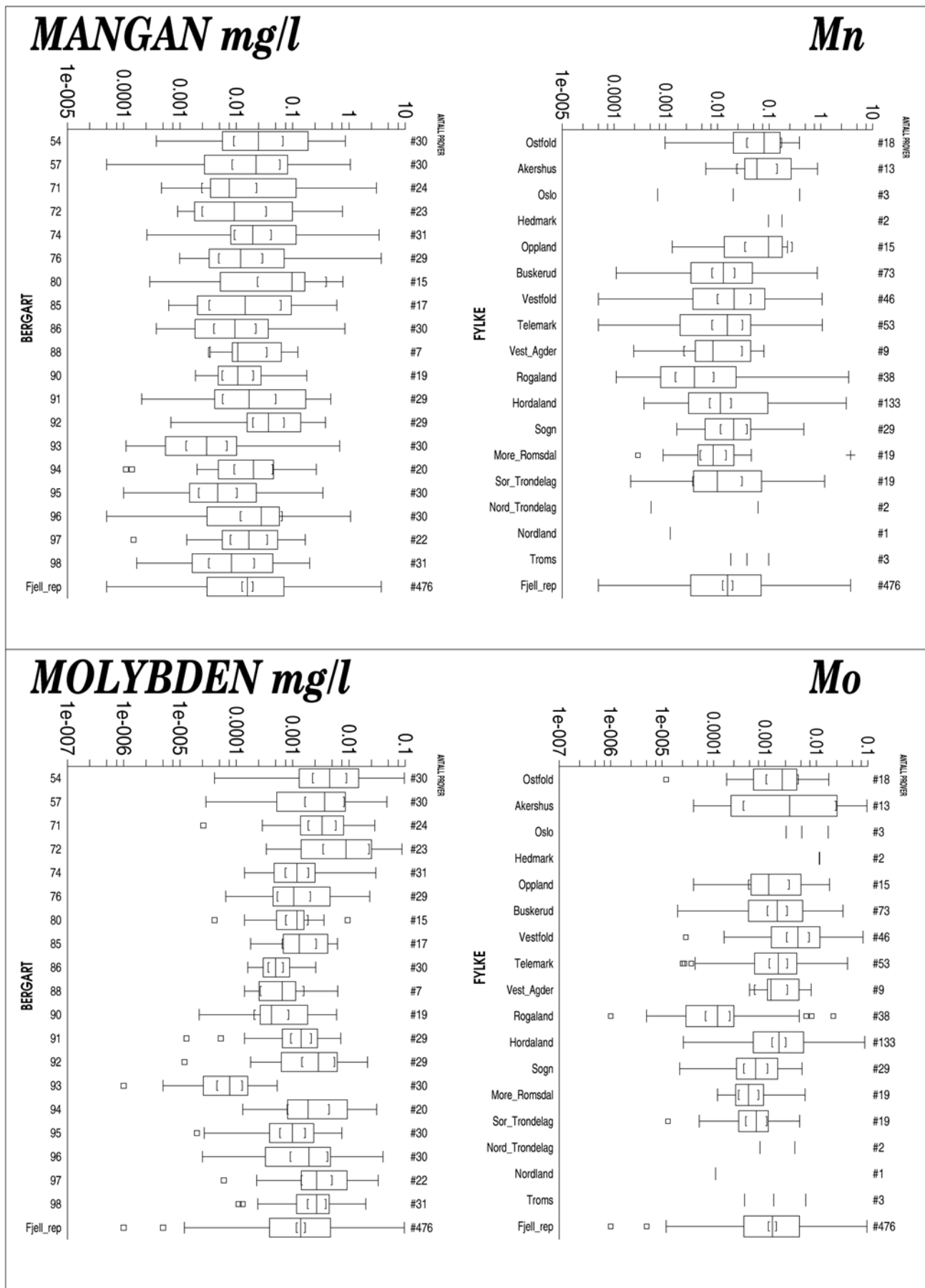
6.29 Molybden (Mo)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for molybden på 8,89 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for molybden (0,076 µg/l).

Figur 31a indikerer at Akershus fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for molybden i grunnvann fra fjellbrønner (3,03 µg/l). Laveste medianverdi (0,12 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 1,4 µg/l. Maksimumsverdien (96 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) i Rogaland.

Det er ikke satt noen grense for molybden i drikkevann i Norge. Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 250 µg/l for molybden.

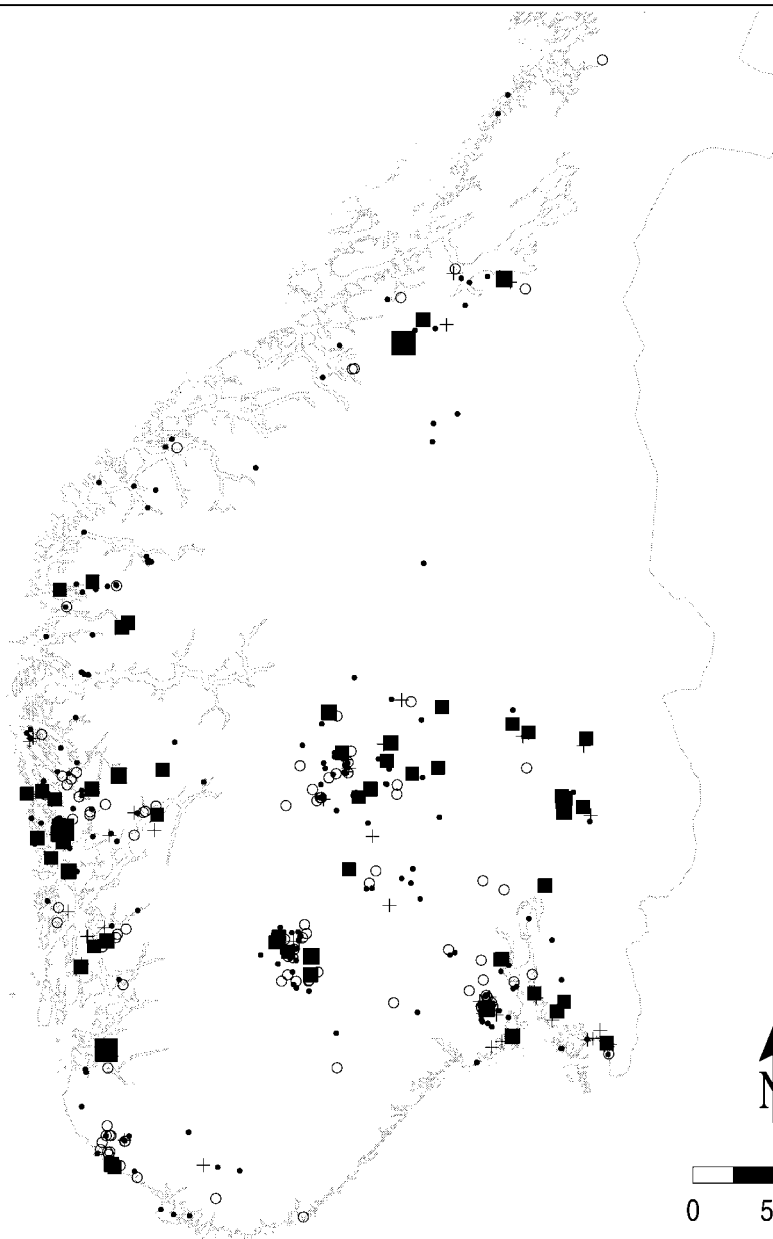


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

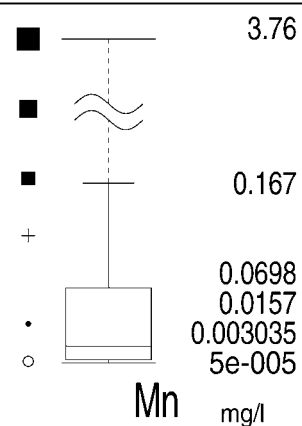
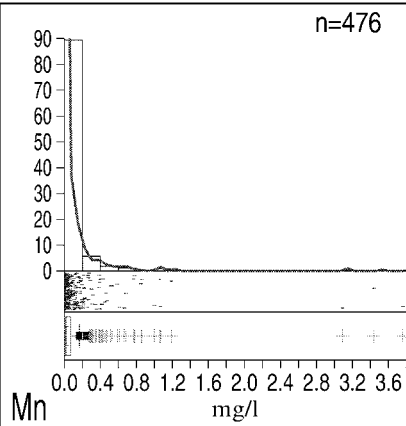
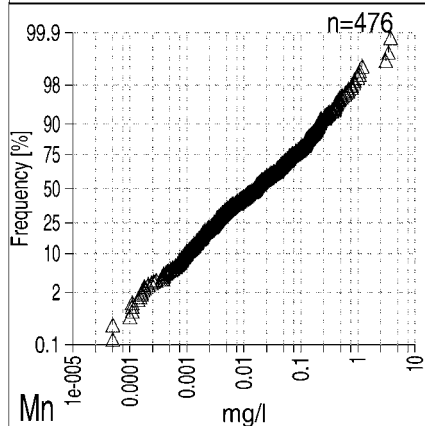
MANGAN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

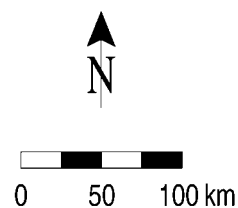
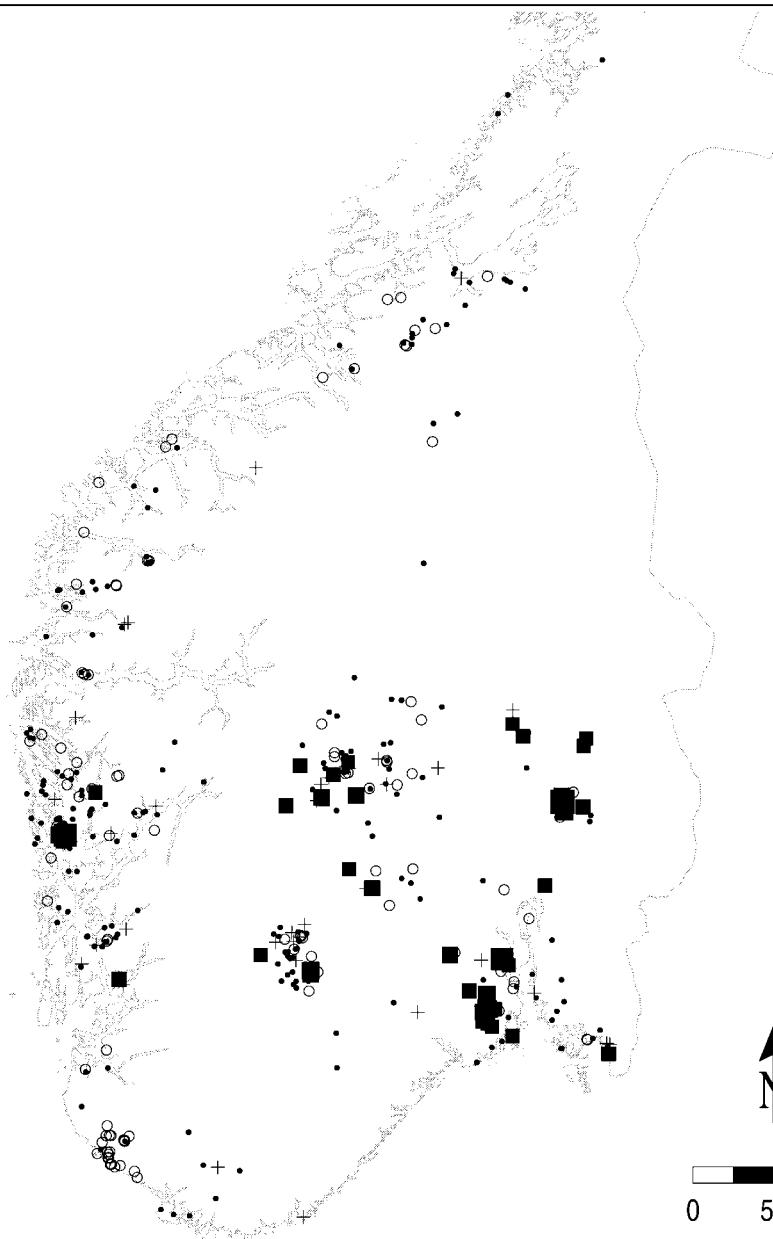


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

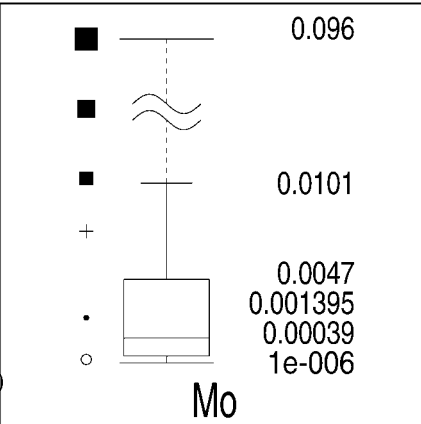
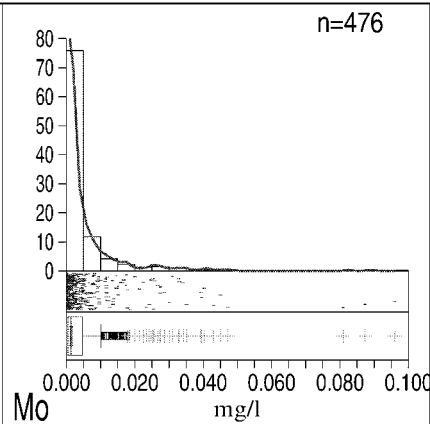
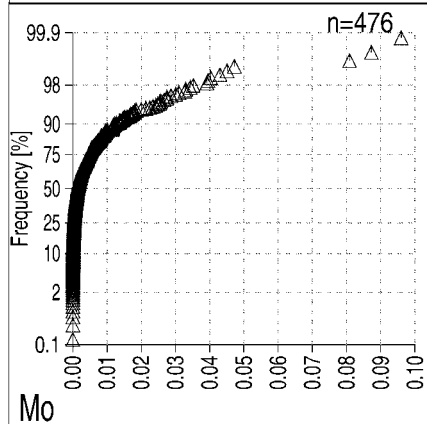
MOLYBDEN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.30 Natrium (Na)

Resultatene for ICP-MS analyse av natrium er vist som bokplott i figur 32a til orientering. ICP-AES er sannsynligvis en bedre analysemetode for hovedkationene, og det henvises derfor til NGU-rapport 98.058 "Kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell i Norge" for en beskrivelse av fordelingen av natrium.

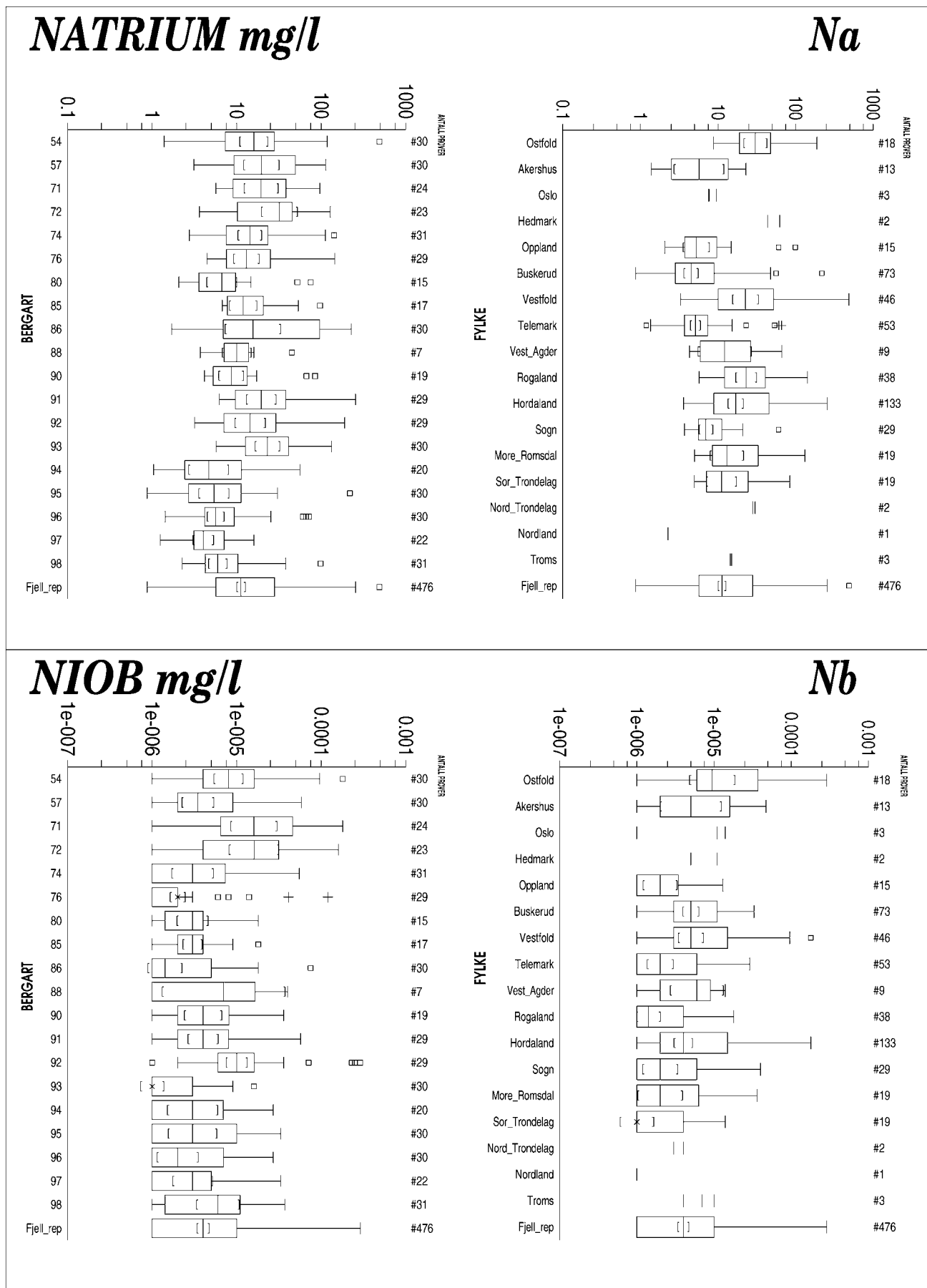
6.31 Niob (Nb)

Ut fra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) og 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) de høyeste mediankonsentrasjonene for niob på 0,016 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l.

Figur 33a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for niob i grunnvann fra fjellbrønner (0,0095 µg/l). Laveste medianverdi forekommer i Sør-Trøndelag fylke (under deteksjonsgrensen).

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,004 µg/l. Maksimumsverdien (0,29 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Østfold. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 131 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for niob i drikkevann i Norge. Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 10 µg/l for niob.

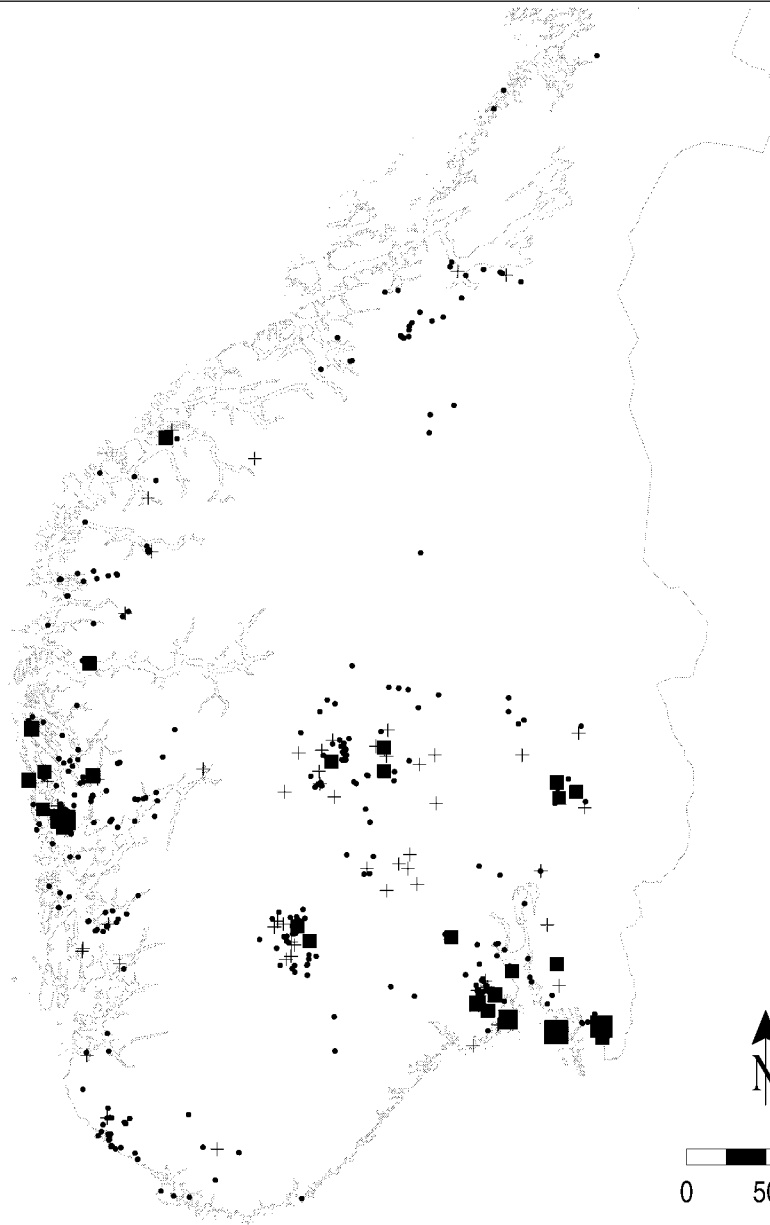


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

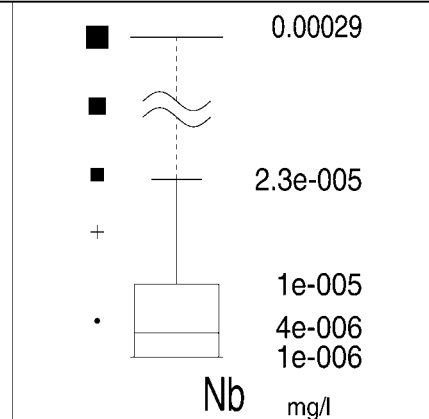
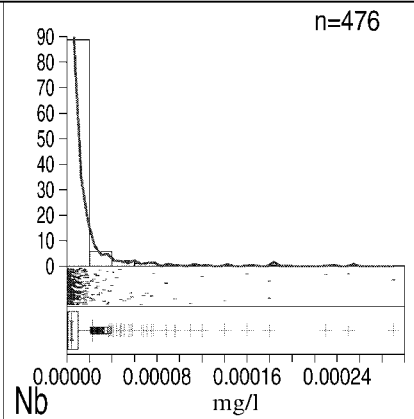
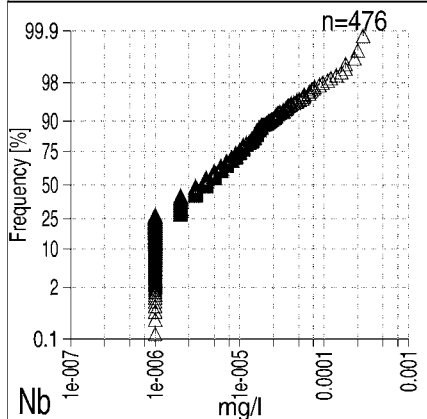
NIOB

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.32 Nikkel (Ni)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt/gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for nikkel på 1,06 µg/l.

Bergartsgruppene 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) og 97 (prekambrisk metaryolitt/metaryodacitt) har også høye mediankonsentrasjon for nikkel på henholdsvis 0,91 og 0,96 µg/l. Bergartsgruppe 57 (permiske vulkanske og sedimentære bergarter i Oslofeltet) har den laveste mediankonsentrasjonen for nikkel (0,34 µg/l).

Figur 34a indikerer at Oppland har den høyeste mediankonsentrasjon for nikkel i grunnvann fra fjellbrønner (1,24 µg/l). Laveste medianverdi (0,30 µg/l) forekommer i Vestfold fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,53 µg/l. Maksimumsverdien (390 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) i Hordaland fylke.

Minimumsverdien (0,023 µg/l) finnes i bergartsgruppe 94 (prekambrisk gabbro/amfibolitt/ultramafiske bergarter) i Buskerud.

1,3 % (6 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 50 µg/l for nikkel.

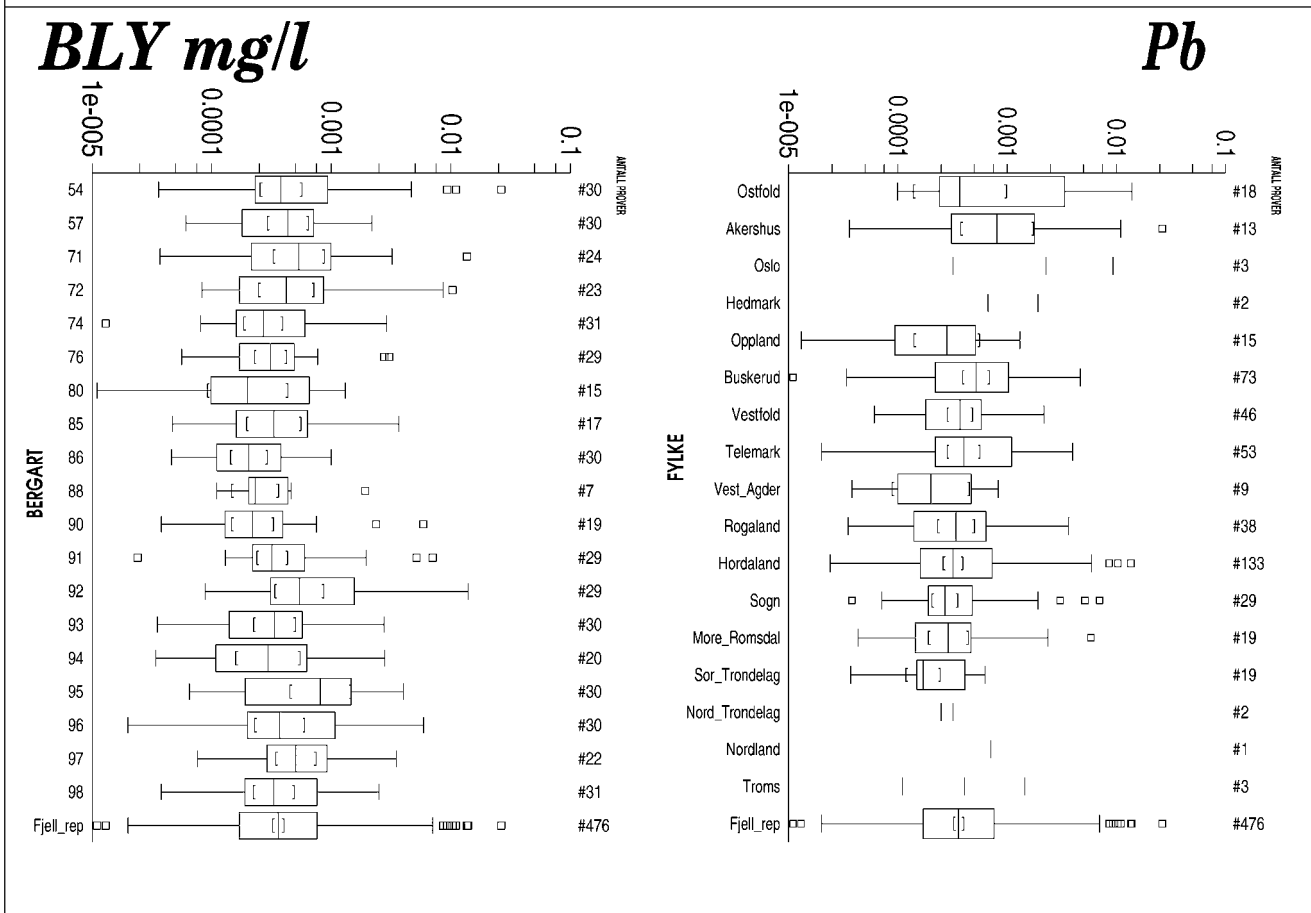
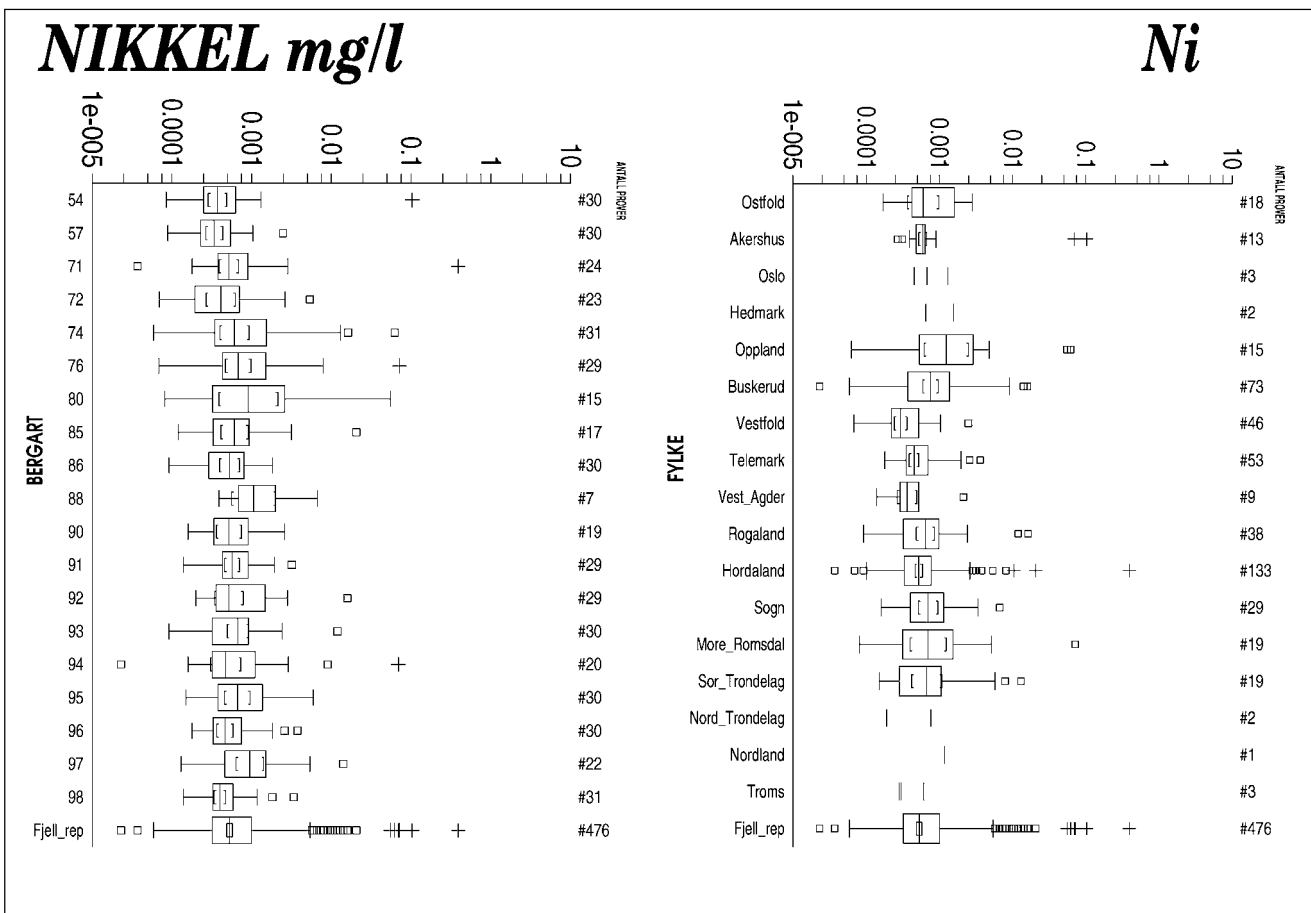
6.33 Bly (Pb)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 95 (prekambrisk metasandstein/glimmerskifer/konglomerat/gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for bly på 0,81 µg/l. Bergartsgruppe 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) har den laveste mediankonsentrasjonen for bly (0,20 µg/l), mens bergartsgruppene 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) og 90 (prekambriske omdannede sedimentære og vulkanske bergarter samt gneis) også har lave mediankonsentrasjoner på henholdsvis 0,21 og 0,22 µg/l.

Figur 35a indikerer at Akershus fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for bly i grunnvann fra fjellbrønner (0,81 µg/l). Laveste medianverdi (0,17 µg/l) forekommer i Sør-Trøndelag fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,36 µg/l. Maksimumsverdien (26 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) i Akershus. Minimumsverdien (0,011 µg/l) finnes i bergartsgruppe 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) i Buskerud.

1 av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 20 µg/l for bly.

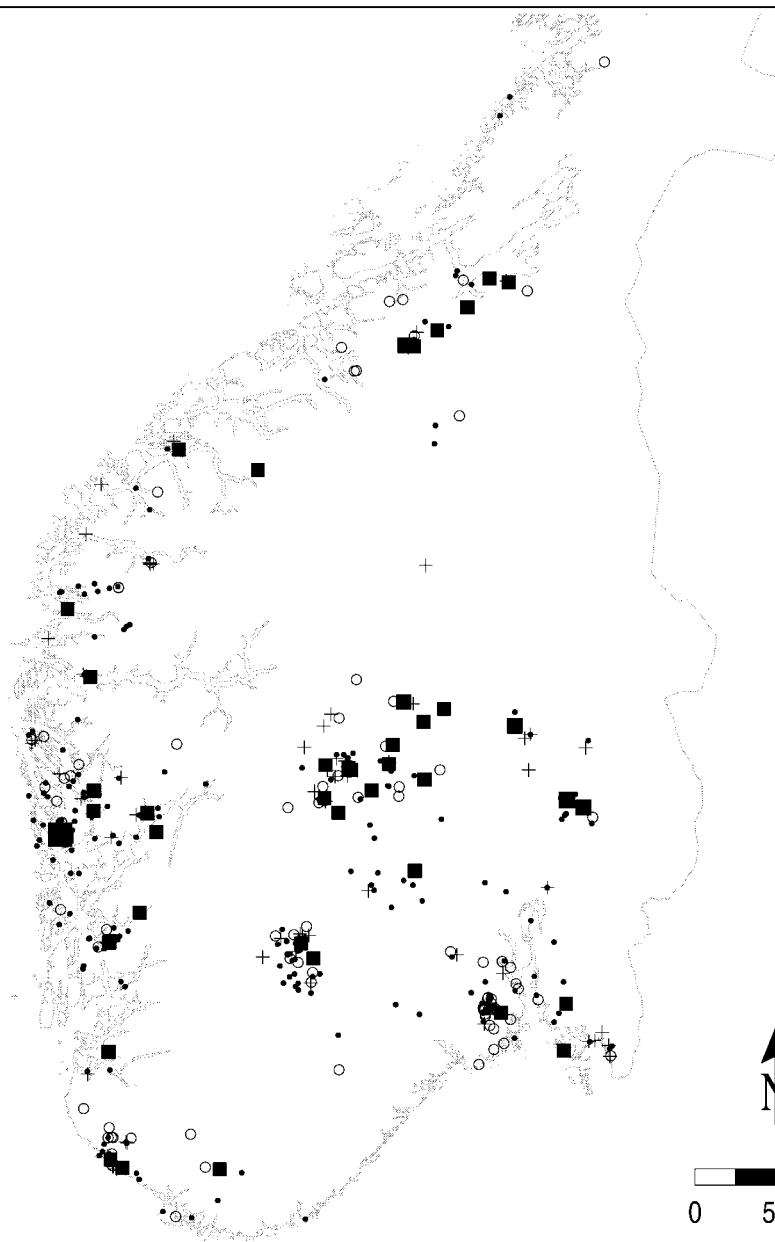


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

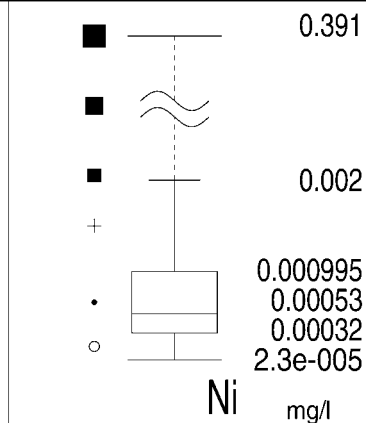
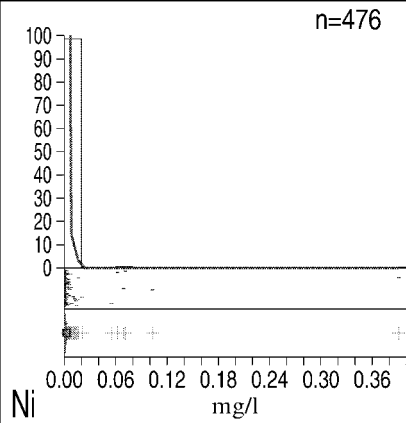
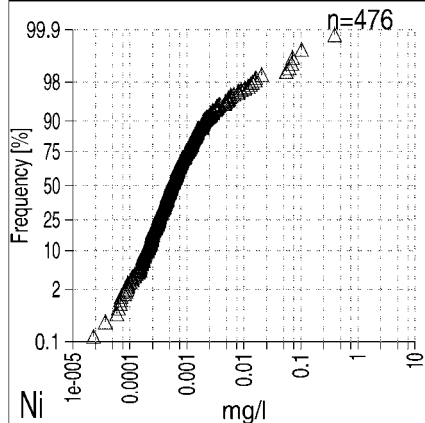
NIKKEL

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

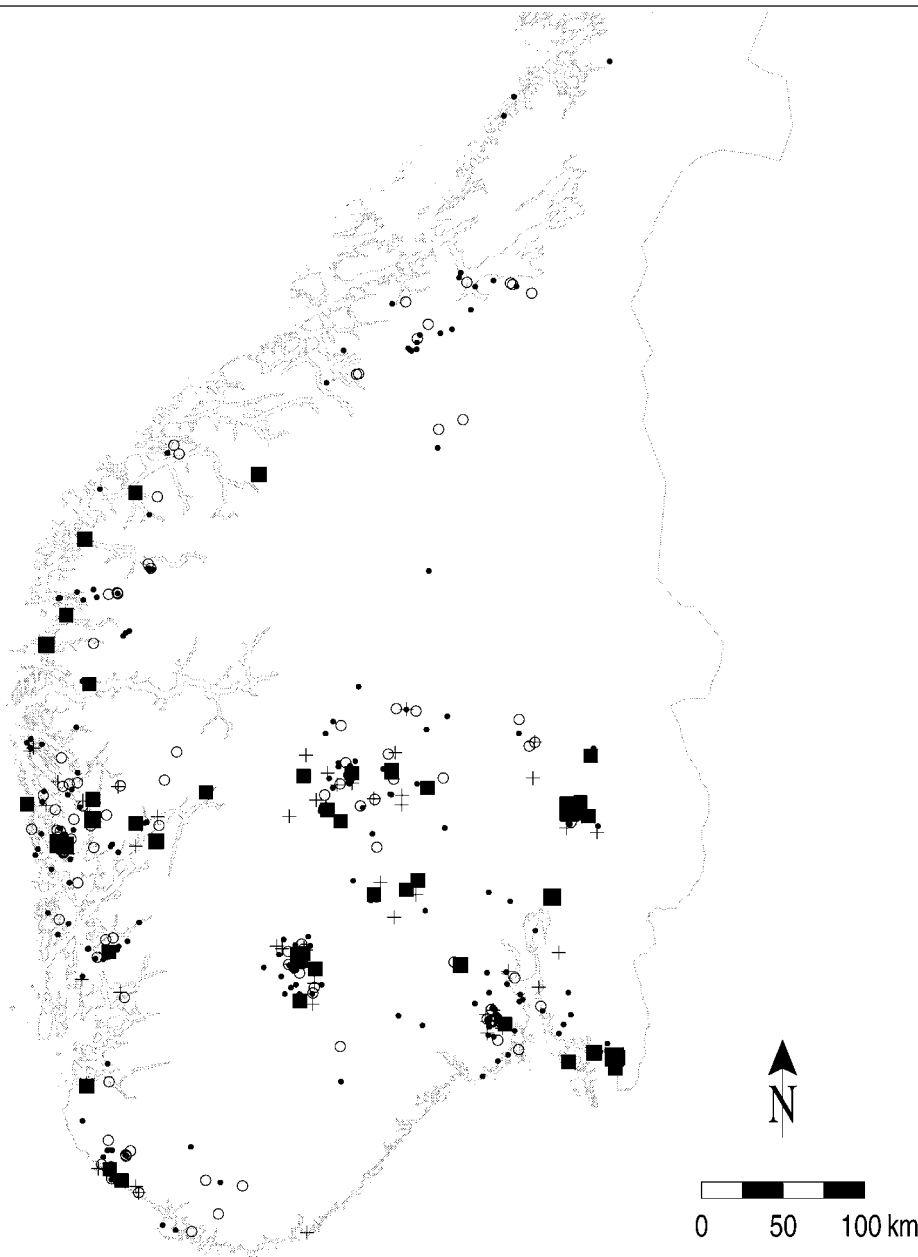


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

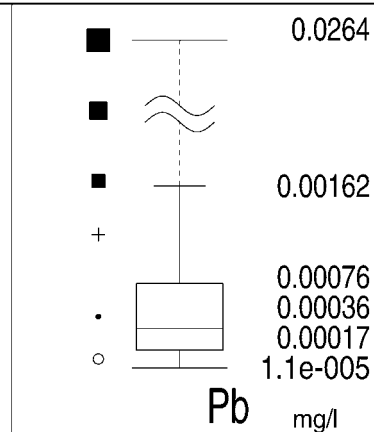
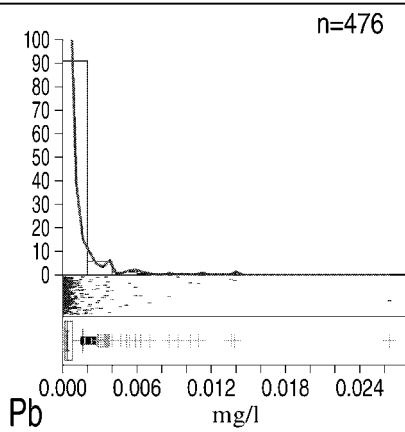
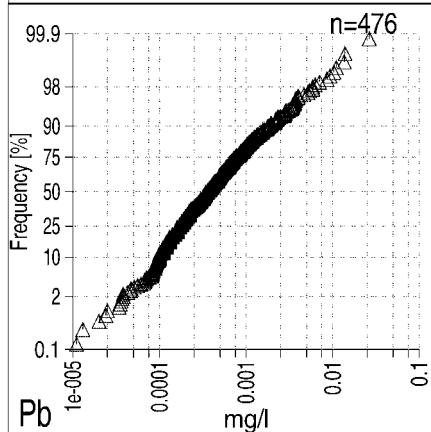
BLY

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.34 Rubidium (Rb)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 97 (prekambrisk metaryolitt/metaryodacitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for rubidium på 4,42 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for rubidium (0,51 µg/l).

Figur 36a indikerer at Buskerud fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for rubidium i grunnvann fra fjellbrønner (4,0 µg/l). Laveste medianverdi (0,56 µg/l) forekommer i Rogaland.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 2,6 µg/l. De høyeste verdiene kommer fra bergartsgruppene 54 (permiske vulkanske og stedvis sedimentære bergarter) i Vestfold og 74 (kambrosiluriske metasedimenter) i Hordaland, begge på 32,9 µg/l. Minimumsverdien (0,028 µg/l) finnes i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) i Rogaland.

Det er ikke satt noen grenser for rubidium i drikkevann.

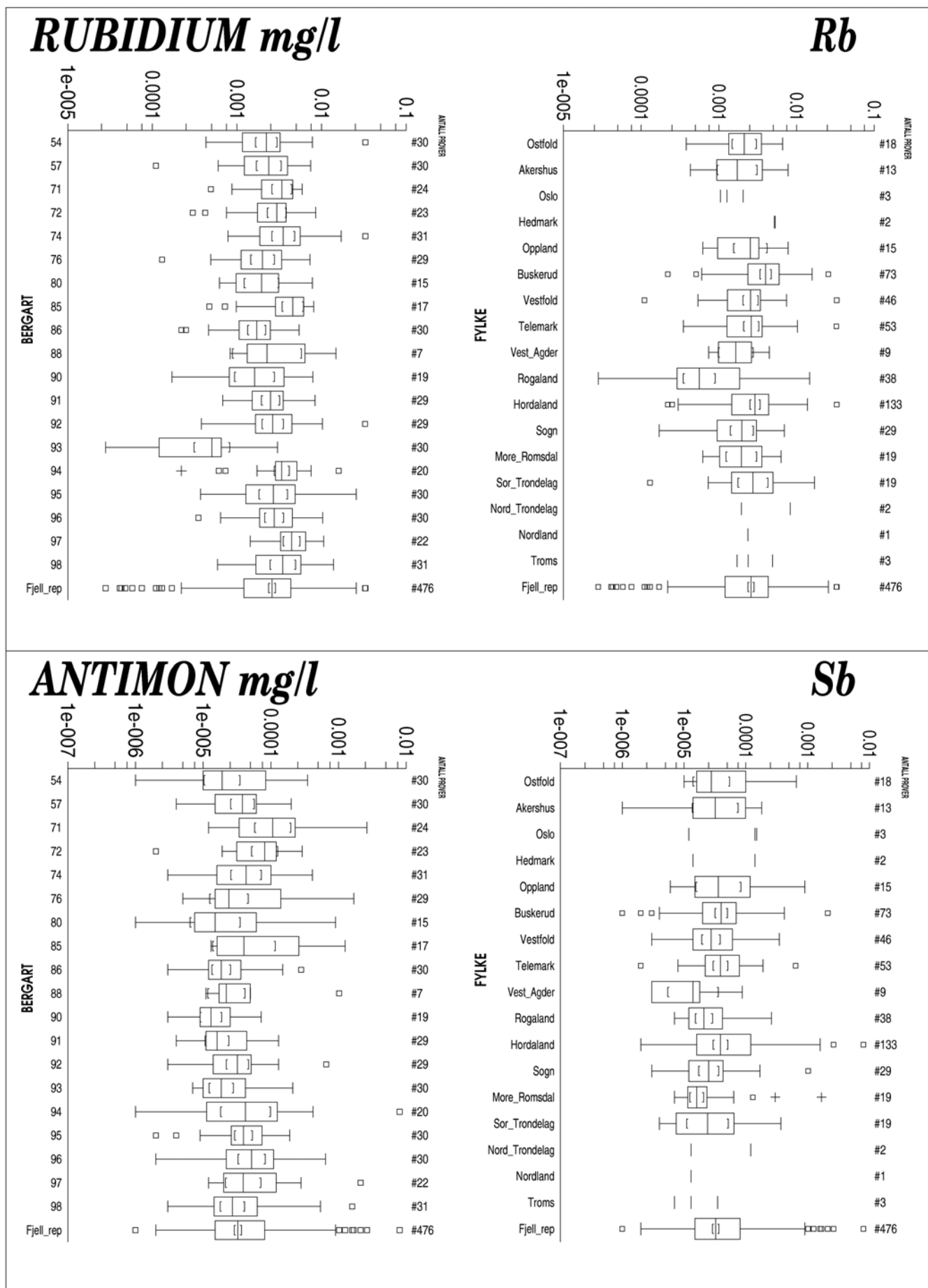
6.35 Antimon (Sb)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonisk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for antimon på 0,11 µg/l. Bergartsgruppe 72 (kaledonisk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) har også en høy mediankonsentrasjon for antimon (0,08 µg/l). Bergartsgruppe 90 (prekambriske omdannede sedimentære og vulkanske bergarter samt gneis) har den laveste mediankonsentrasjonen for antimon på 0,013 µg/l, mens bergartsgruppe 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) har en medianverdi på 0,015 µg/l.

Figur 37a indikerer at fylkene Buskerud, Telemark, Hordaland og Oppland generelt har de høyeste konsentrasjonene for antimon i grunnvann fra fjellbrønner med medianverdier på henholdsvis 0,040, 0,039, 0,039 og 0,036 µg/l). De laveste medianverdi (henholdsvis 0,014 og 0,016 µg/l) forekommer i Vest-Agder og Møre og Romsdal.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,033 µg/l. Maksimumsverdien (8,0 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 94 (prekambrisk gabbro/amfibolitt/ultramafiske bergarter) i Hordaland. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i bergartsgruppene 54, 80 og 94 (se vedlegg 2) i Akershus og Buskerud.

Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 10 µg/l for antimon.

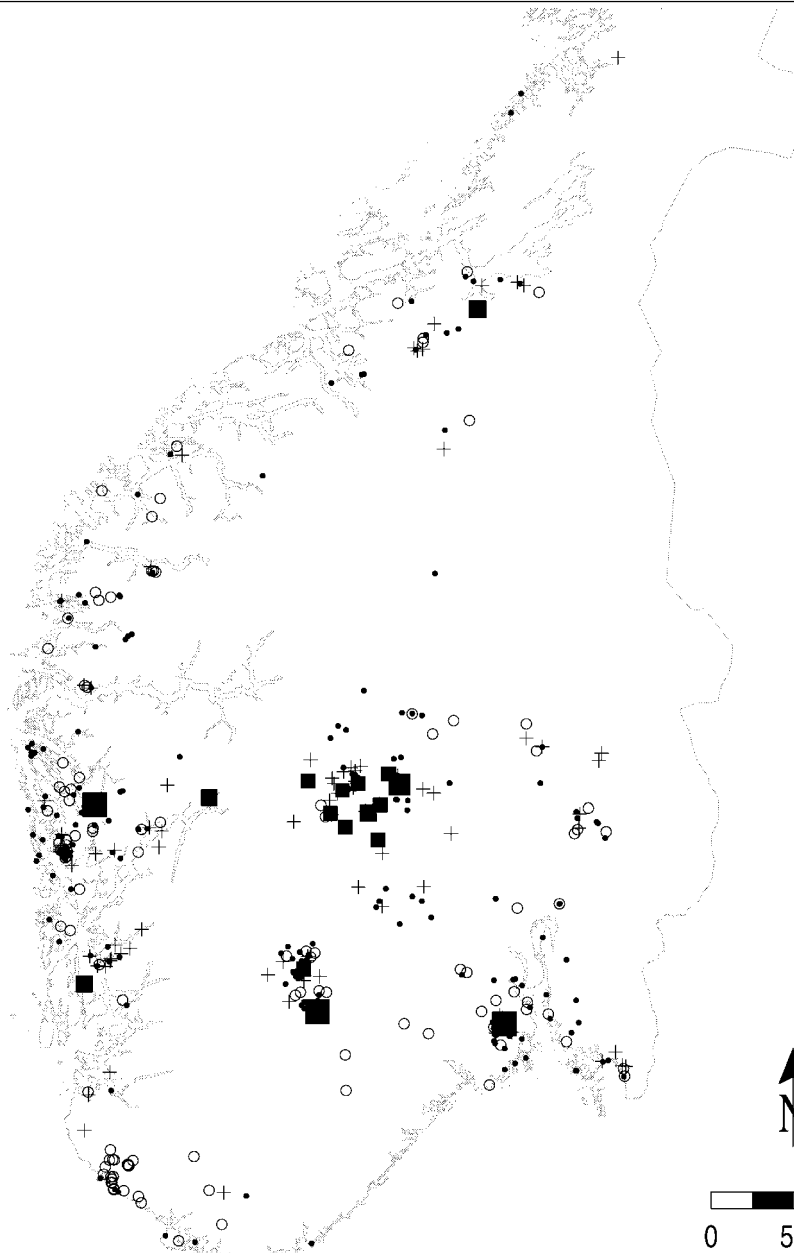


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

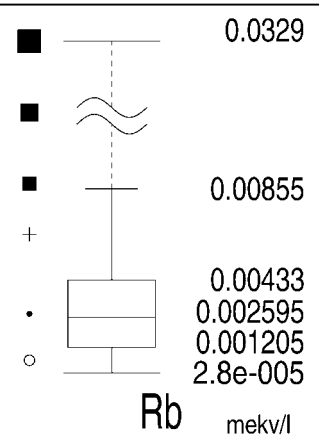
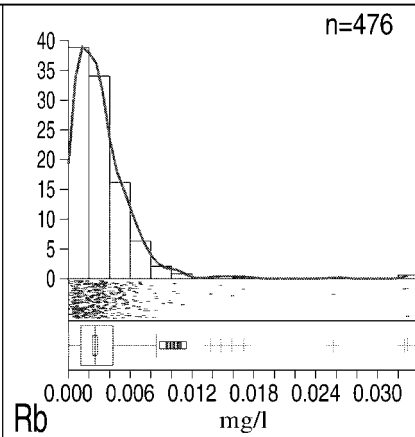
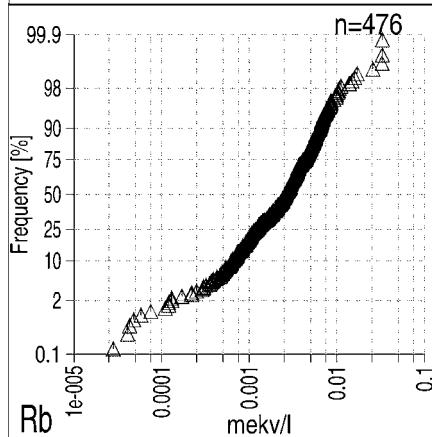
RUBIDIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

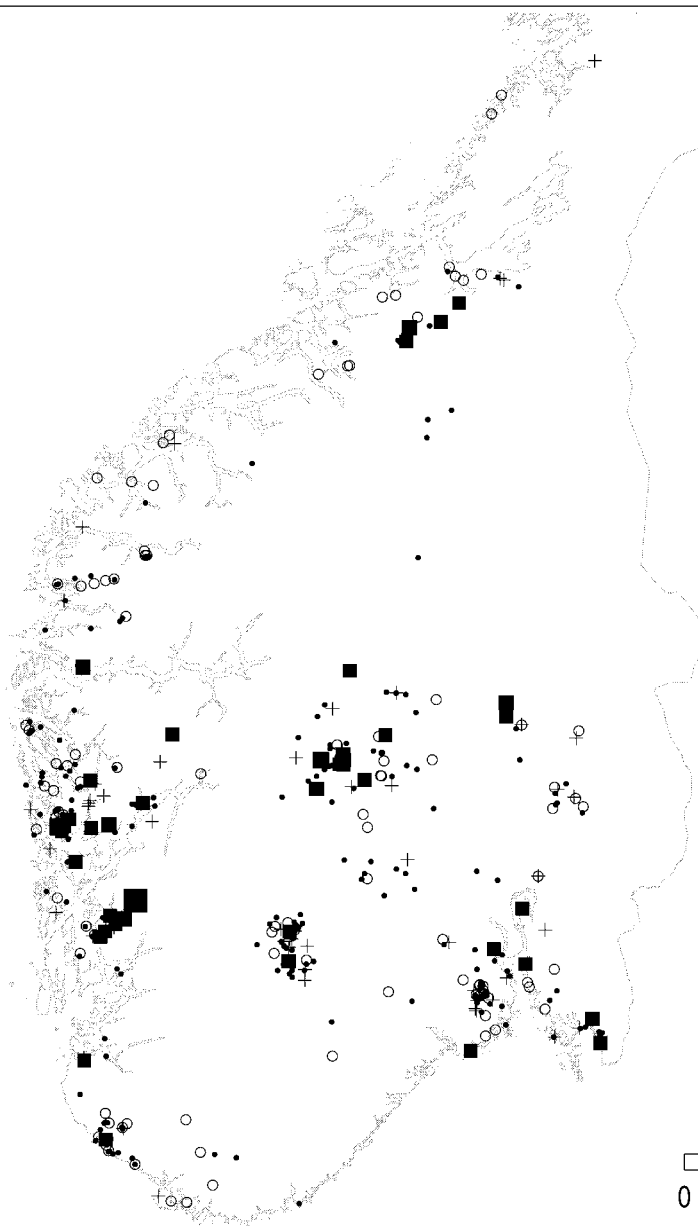


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

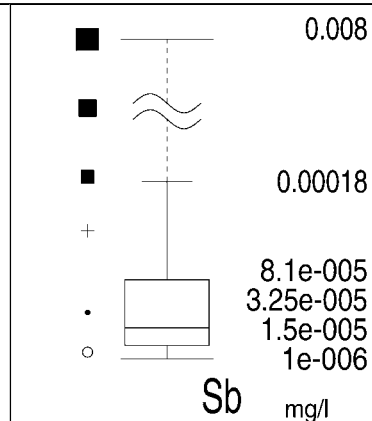
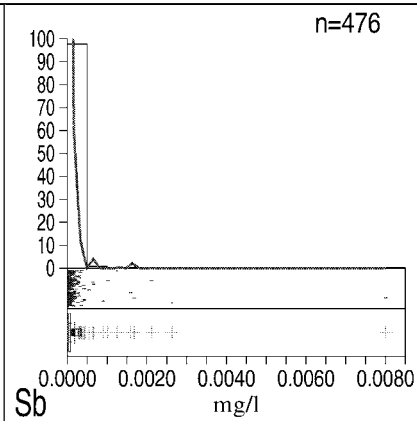
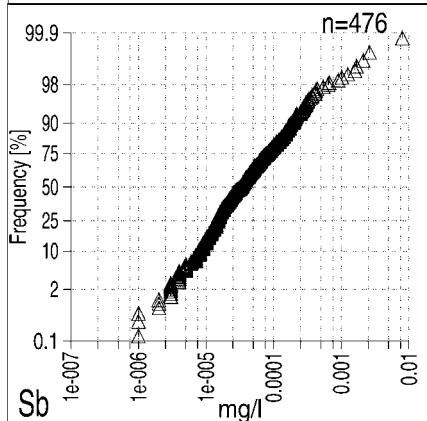
ANTIMON

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.36 Scandium

Analyseresultatene for scandium viste seg å være utsatt for en sterk interferens fra silisium, se figur 2b. Figur 38a og b er derfor ikke presentert, men figurnummerering er beholdt.

6.37 Selen (Se)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 86 (kaledonsk anortositt/charnockitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for selen på 0,34 µg/l.

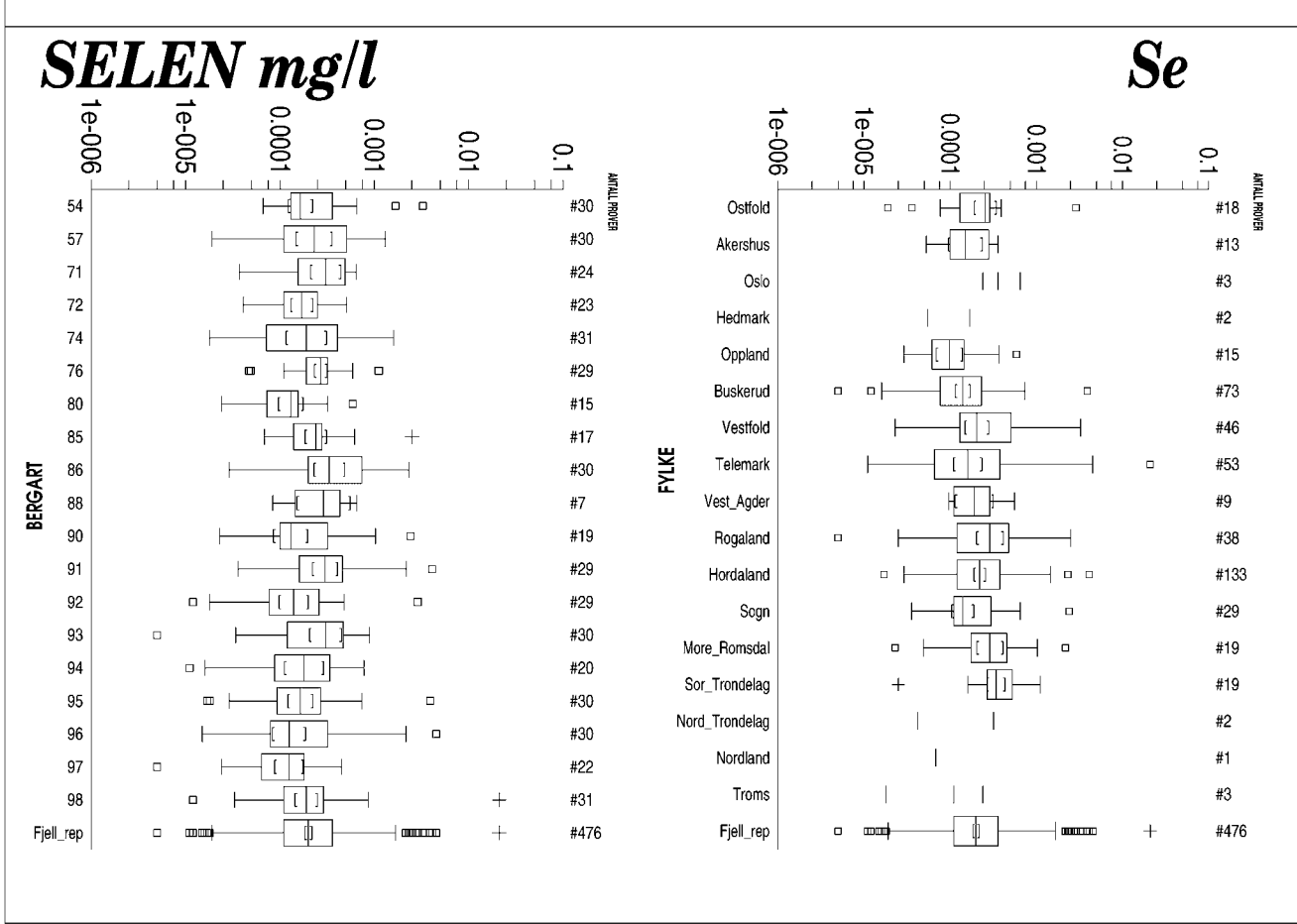
Bergartsgruppene 93, 71, 91 og 88 (se vedlegg 2) har også høye konsentrasjoner for selen (medianverdier i området 0,29-0,31 µg/l). Bergartsgruppene 96, 90, 97 og 80 har generelt de laveste konsentrasjonene av selen (medianverdier i området 0,125-0,130 µg/l). Figur 39a indikerer at Sør-Trøndelag fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for selen i grunnvann fra fjellbrønner (0,34 µg/l). Laveste medianverdi (0,098 µg/l) forekommer i Oppland.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,20 µg/l. Maksimumsverdien (21 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Telemark.

Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,01 µg/l) finnes i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) i Rogaland og i bergartsgruppe 97 (prekambrisk metaryolitt/metaryodacitt) i Buskerud.

1 av 476 utvalgte fjellbrønner (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 10 µg/l for selen.

Figur 39a

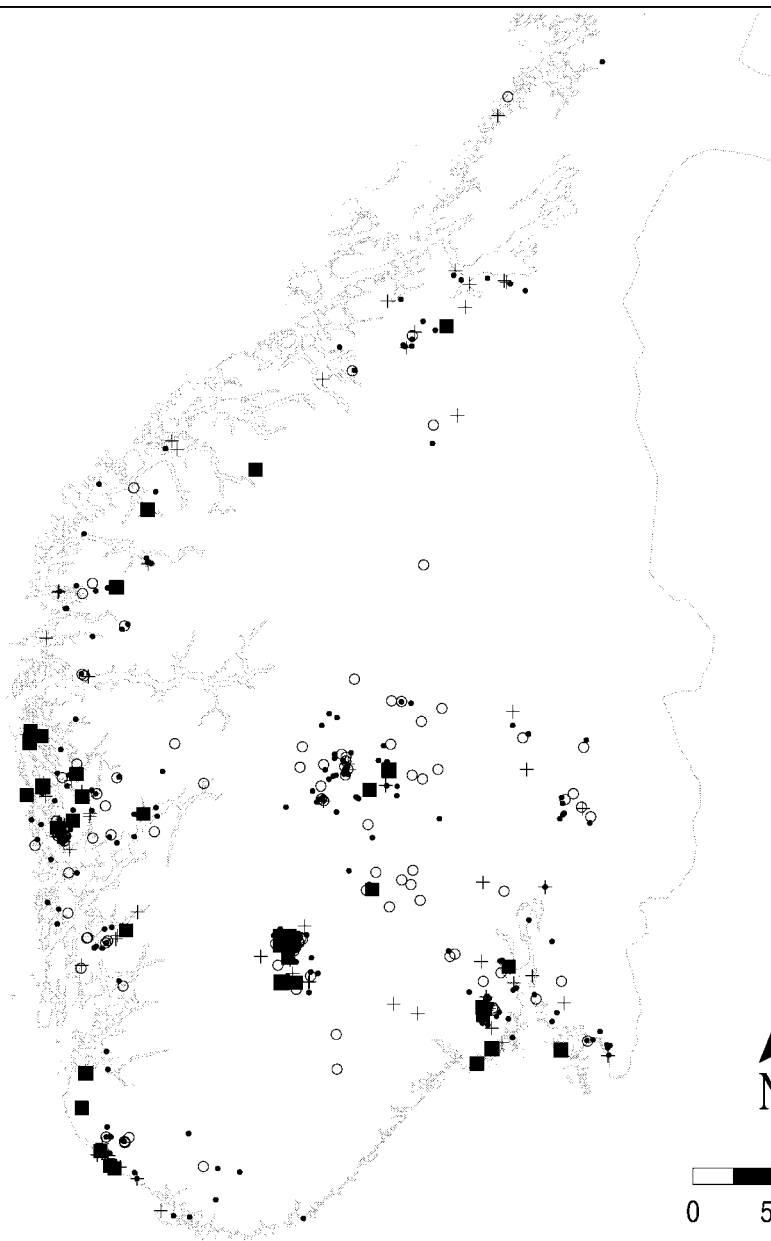


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

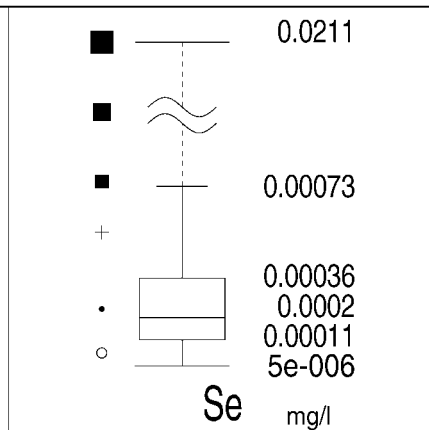
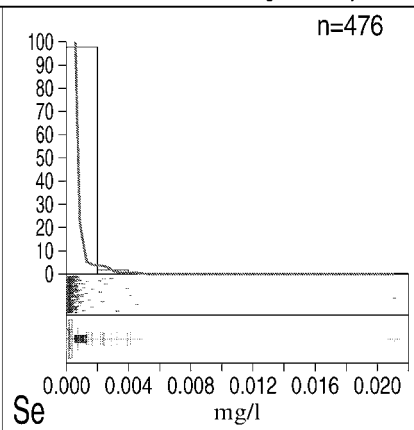
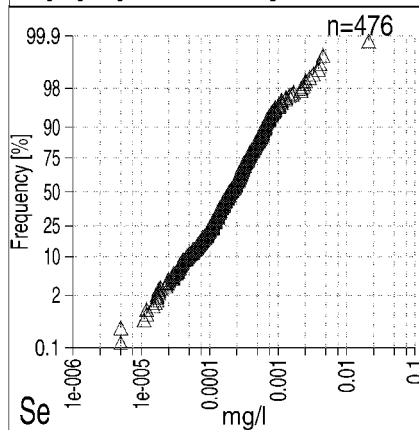
SELEN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.38 Tinn (Sn)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 93, 72, 85, 80 og 92 (se vedlegg 2) generelt de høyeste konsentrasjonene for tinn (medianverdier i området 0,012-0,014. Bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt/gneis) har den laveste mediankonsentrasjonen under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l for tinn.

Figur 40a indikerer at fylkene Akershus og Rogaland har de høyeste mediankonsentrasjonene for tinn i grunnvann fra fjellbrønner (0,015 µg/l) mens Hordaland også har en høy medianverdi på 0,013 µg/l. Laveste medianverdi (lik deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) forekommer i fylkene Sør-Trøndelag og Sogn og Fjordane.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,008 µg/l. Maksimumsverdien (46 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) i Hordaland. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 102 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for innholdet av tinn i drikkevann.

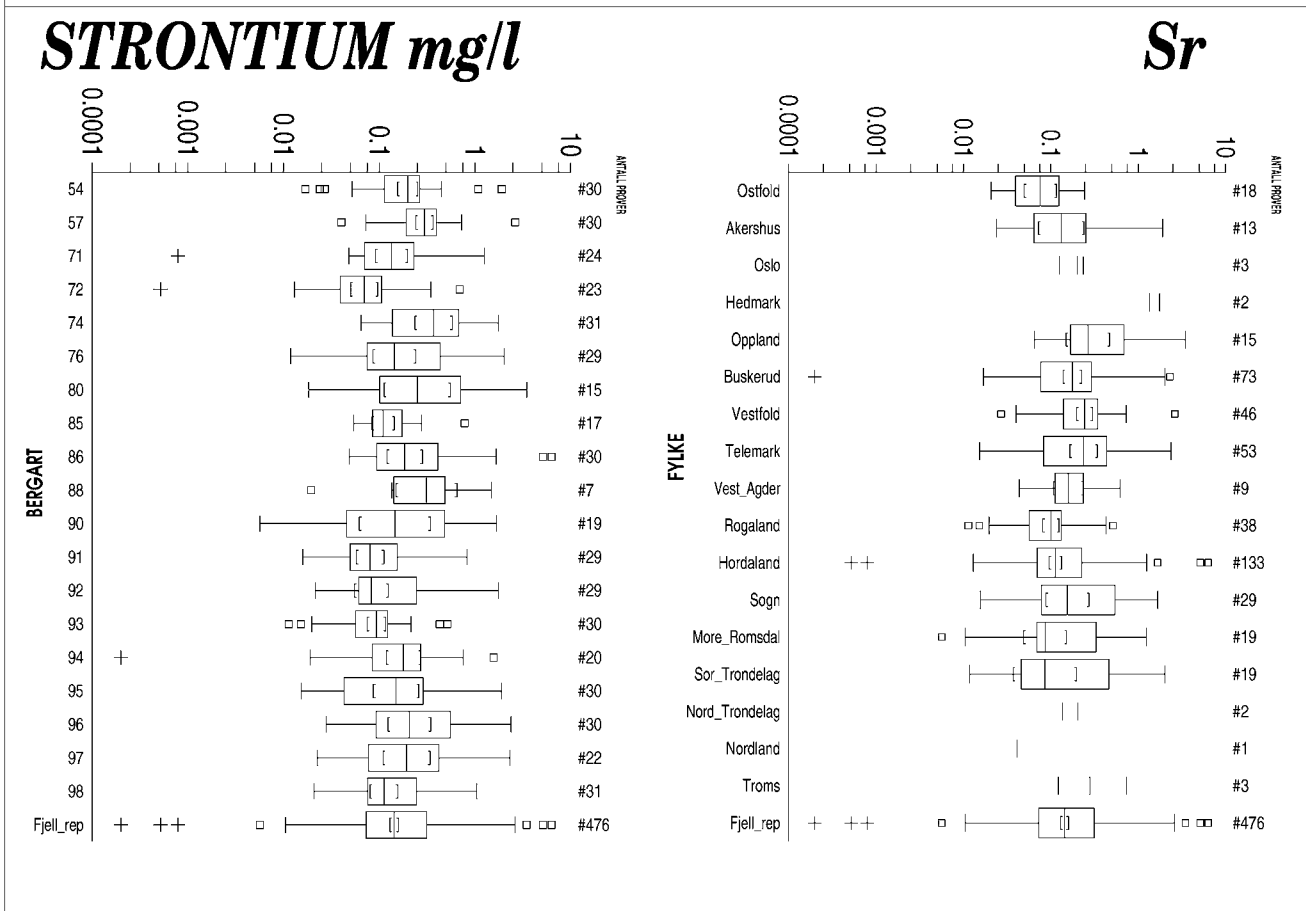
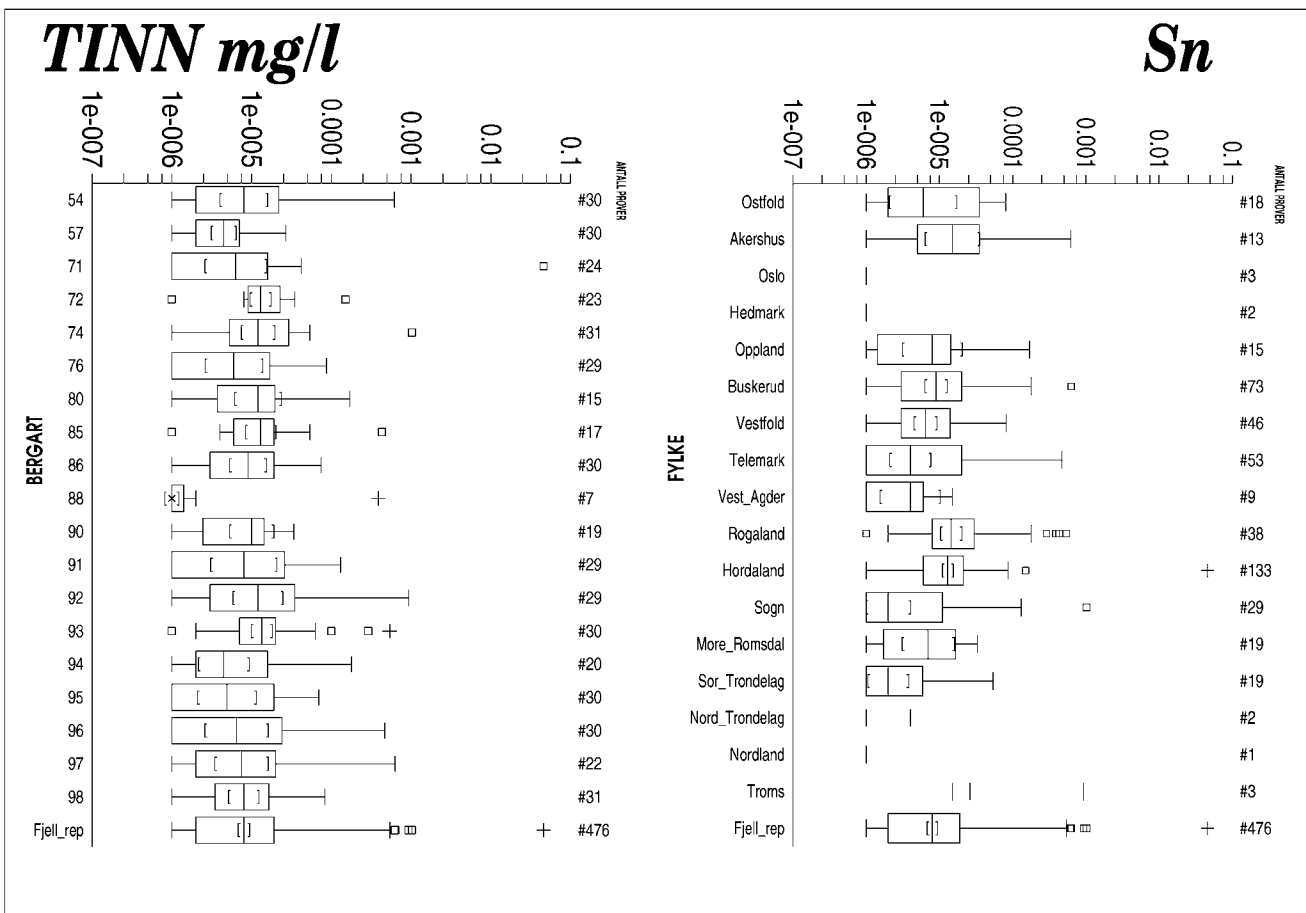
6.39 Strontium (Sr)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 74 (kambrosiluriske metasedimenter) den høyeste mediankonsentrasjonen for strontium på 370 µg/l. Bergartsgruppene 88 (prekambrisk amfibolitt/gneis) og 57 (permiske vulkanske og sedimentære bergarter) har også høye mediankonsentrasjoner for strontium på henholdsvis 312 og 297 µg/l. Bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) har den laveste mediankonsentrasjonen for strontium på 69,6 µg/l.

Figur 41a indikerer at fylkene Oppland, Vestfold og Telemark generelt har de høyeste konsentrasjonene for strontium i grunnvann fra fjellbrønner (medianverdier på henholdsvis 266, 246, 238 µg/l). Laveste medianverdi (76 µg/l) forekommer i Østfold fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 143,5 µg/l. Maksimumsverdien (6340 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) i Hordaland. Minimumsverdien (0,2 µg/l) finnes i bergartsgruppe 94 (prekambrisk gabbro/amfibolitt/ultramafiske bergarter) i Buskerud.

Det er ikke satt noen grenser for strontium i drikkevann.

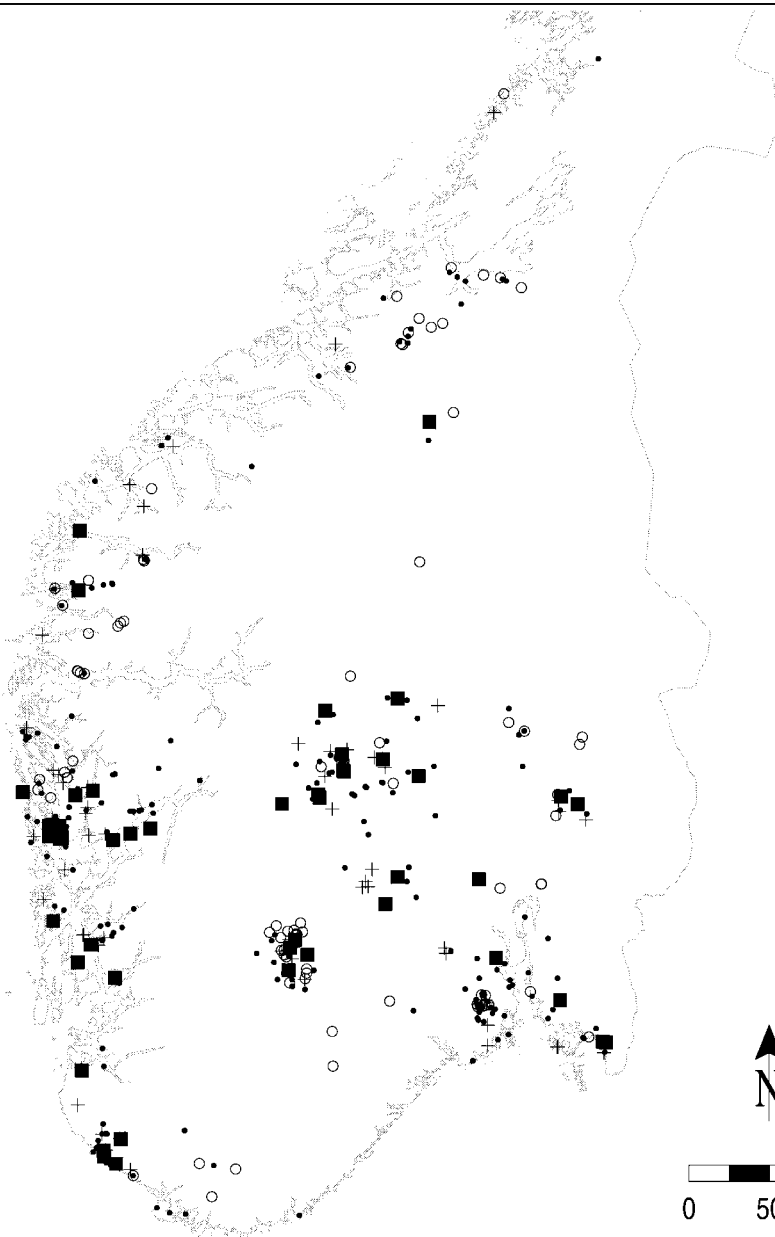


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

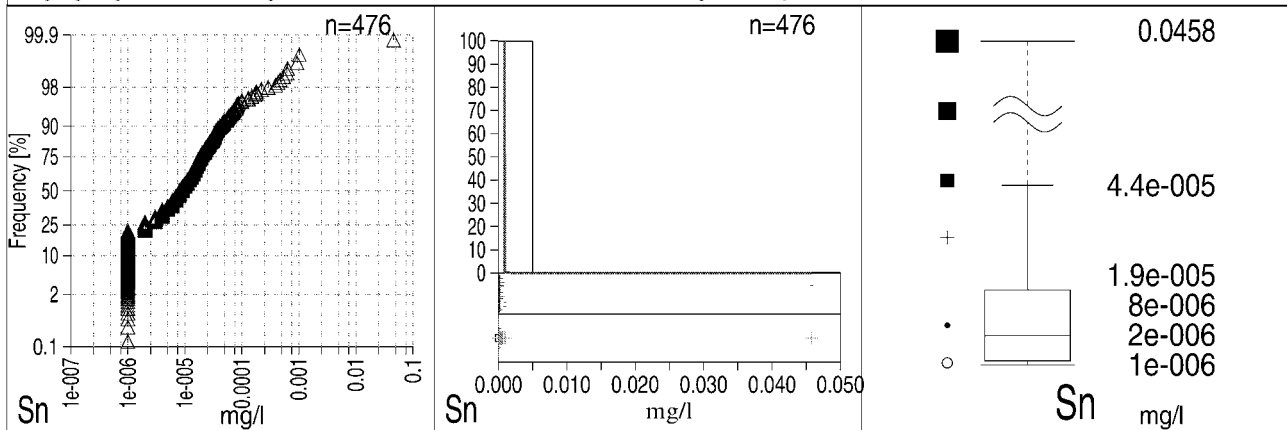
TINN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

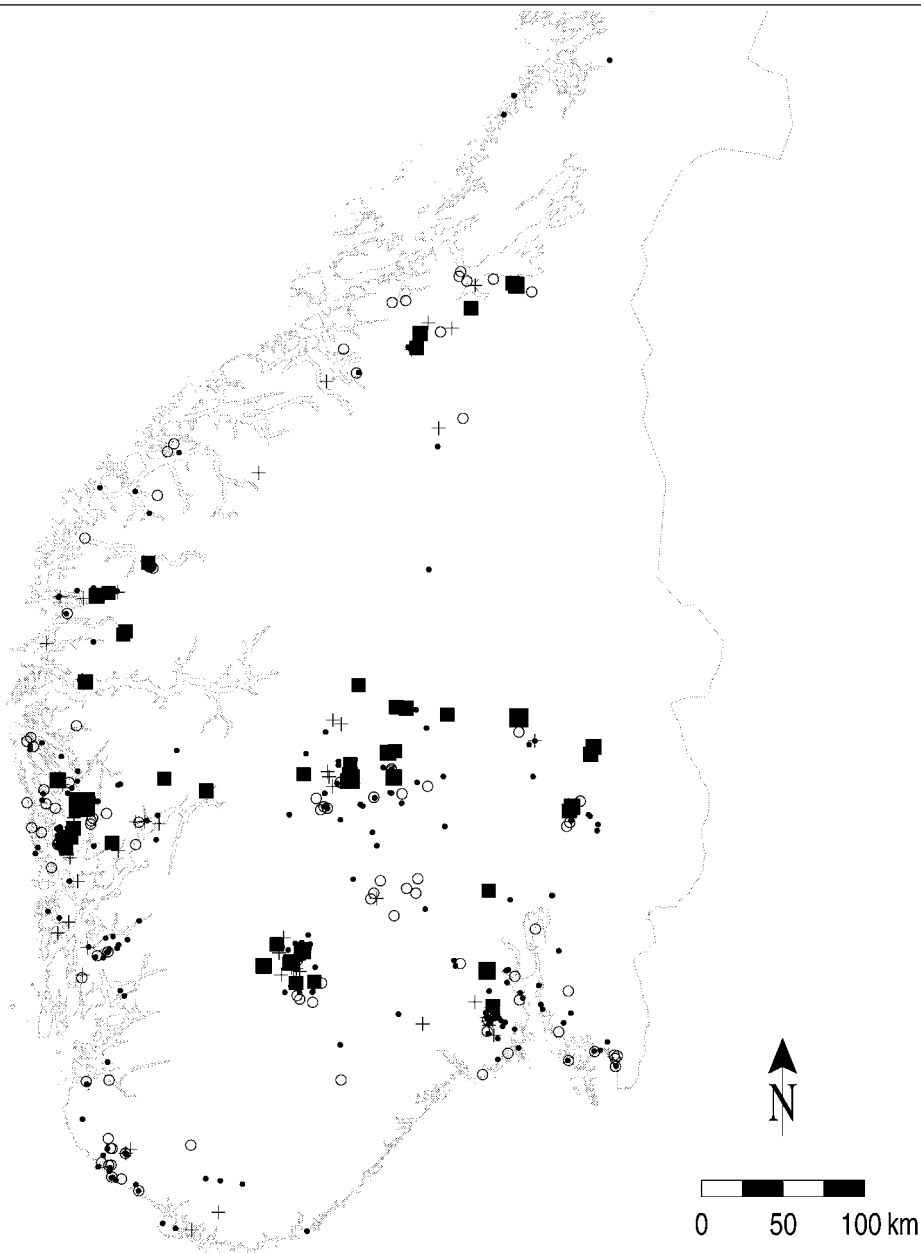


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

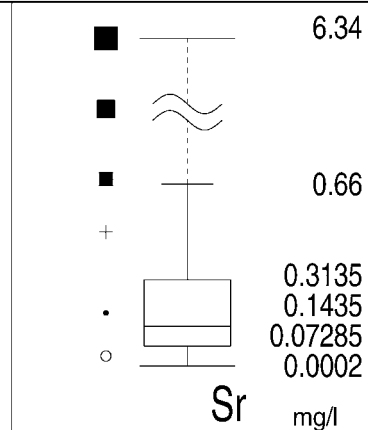
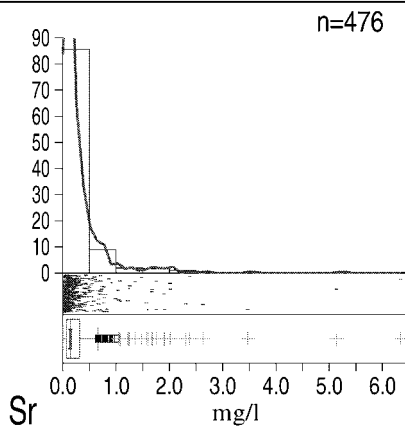
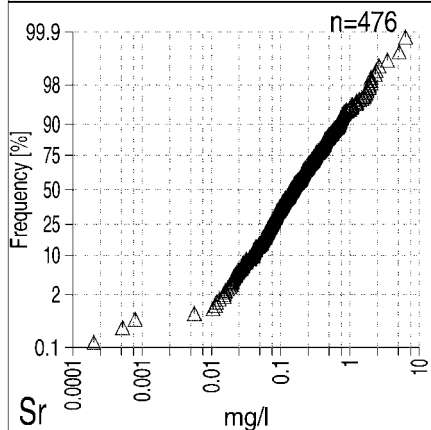
STRONTIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.40 Tantal (Ta)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro, dioritt og ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for tantal på 0,007 µg/l). Bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) har også en høy mediankonsentrasjon for tantal (0,005 µg/l). Bergartsgruppene 76, 85, 86, 88 og 93 (se vedlegg 2) har alle mediankonsentrasjoner for tantal under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l.

Figur 42a indikerer at Vest-Agder har den høyeste mediankonsentrasjon for tantal i grunnvann fra fjellbrønner på 0,005 µg/l, mens Akershus har mediankonsentrasjon på 0,004 µg/l. Laveste medianverdi (< deteksjonsgrensen) forekommer i Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,002 µg/l. Maksimumsverdien (0,037 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Østfold. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 167 av de 476 fjellborehullene. Det er ikke satt noen grense for tantal i drikkevann.

6.41 Tellur (Te)

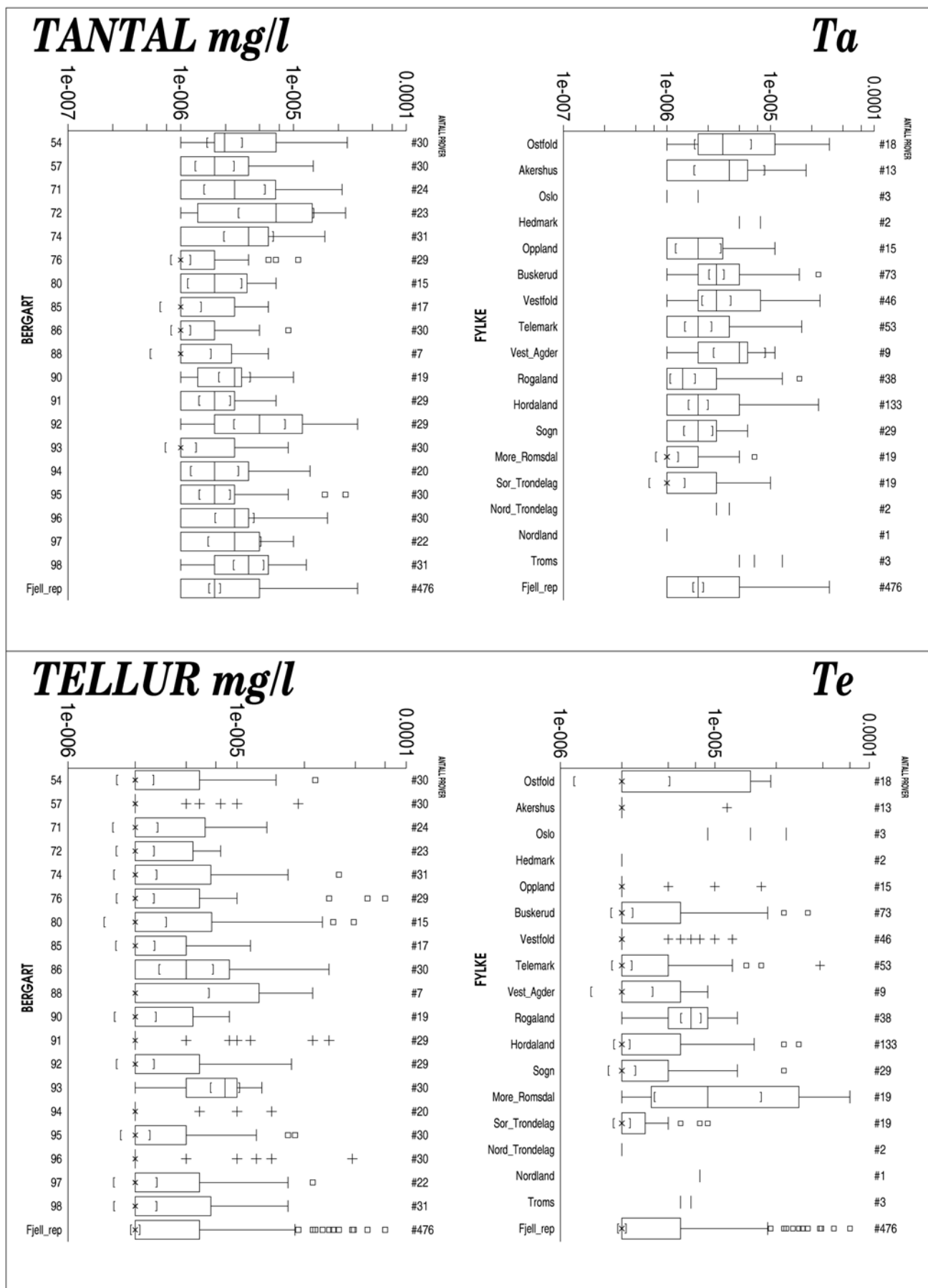
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for tellur på 0,0085 µg/l. Bergartsgruppe 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har også en høy mediankonsentrasjon for tellur (0,005 µg/l). De øvrige bergartsgruppene har alle mediankonsentrasjoner for tellur under deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l.

Figur 43a indikerer at fylkene Møre og Romsdal og Rogaland generelt har de høyeste konsentrasjonene for tellur i grunnvann fra fjellbrønner (medianverdier på henholdsvis 0,009 og 0,007 µg/l). De øvrige representerte fylkene har medianverdier under deteksjonsgrensen.

Det er bemerkelsesverdig at tellur i grunnvann ser ut til å følge bestemte litologier, se figur 43a. Også på kartet i figur 43 b kan en tydelig se geografiske grupperinger som sannsynligvis tilsvarer bestemte geologiske forekomster.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er under deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l. Maksimumsverdien (0,075 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 76 (kambrosilurisk grønnstein/grønnskifer/amfibolitt/meta-andesitt) i Møre og Romsdal. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,005 µg/l) finnes i 304 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for tellur i drikkevann i Norge. Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 10 µg/l for tellur i Russland.

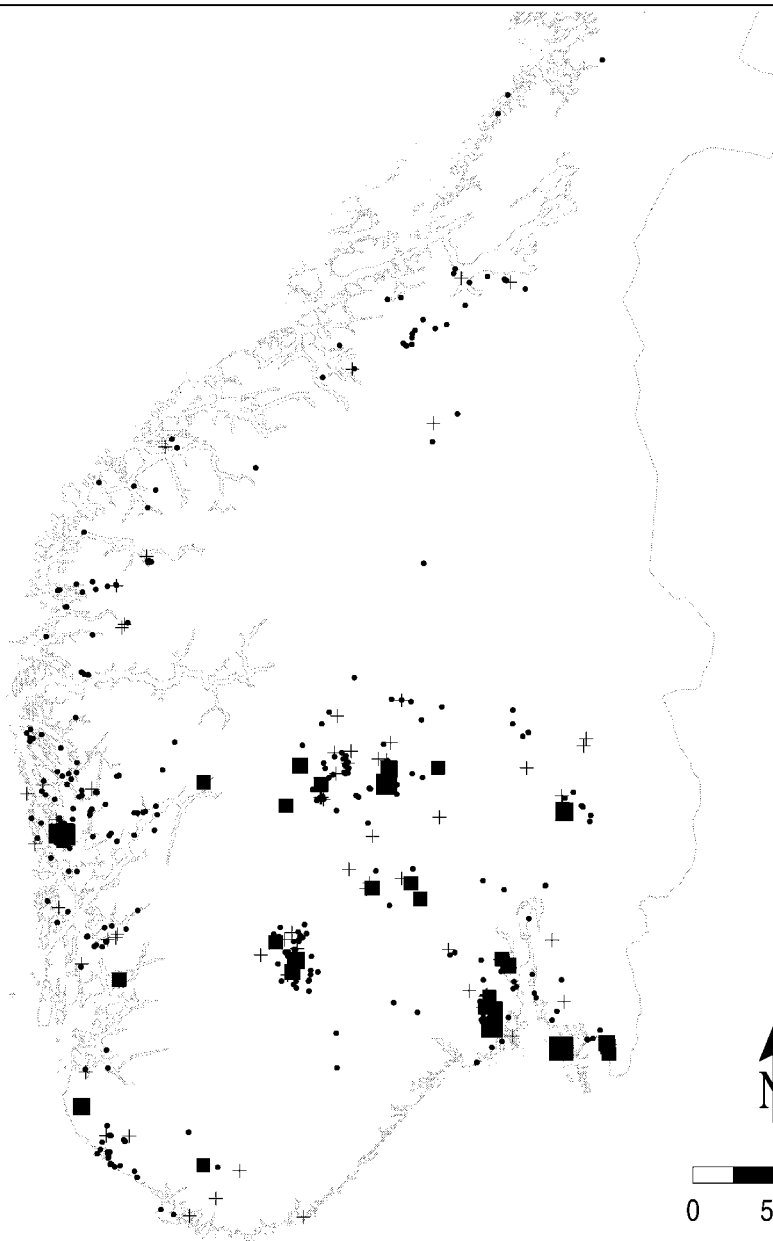


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

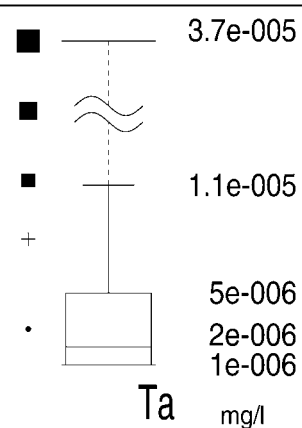
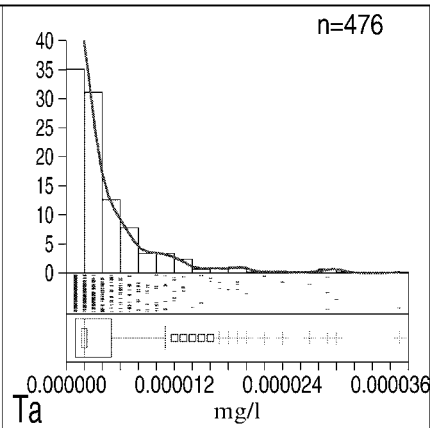
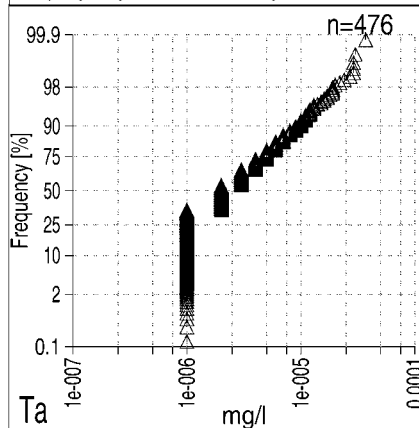
TANTAL

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i sa

05/1999

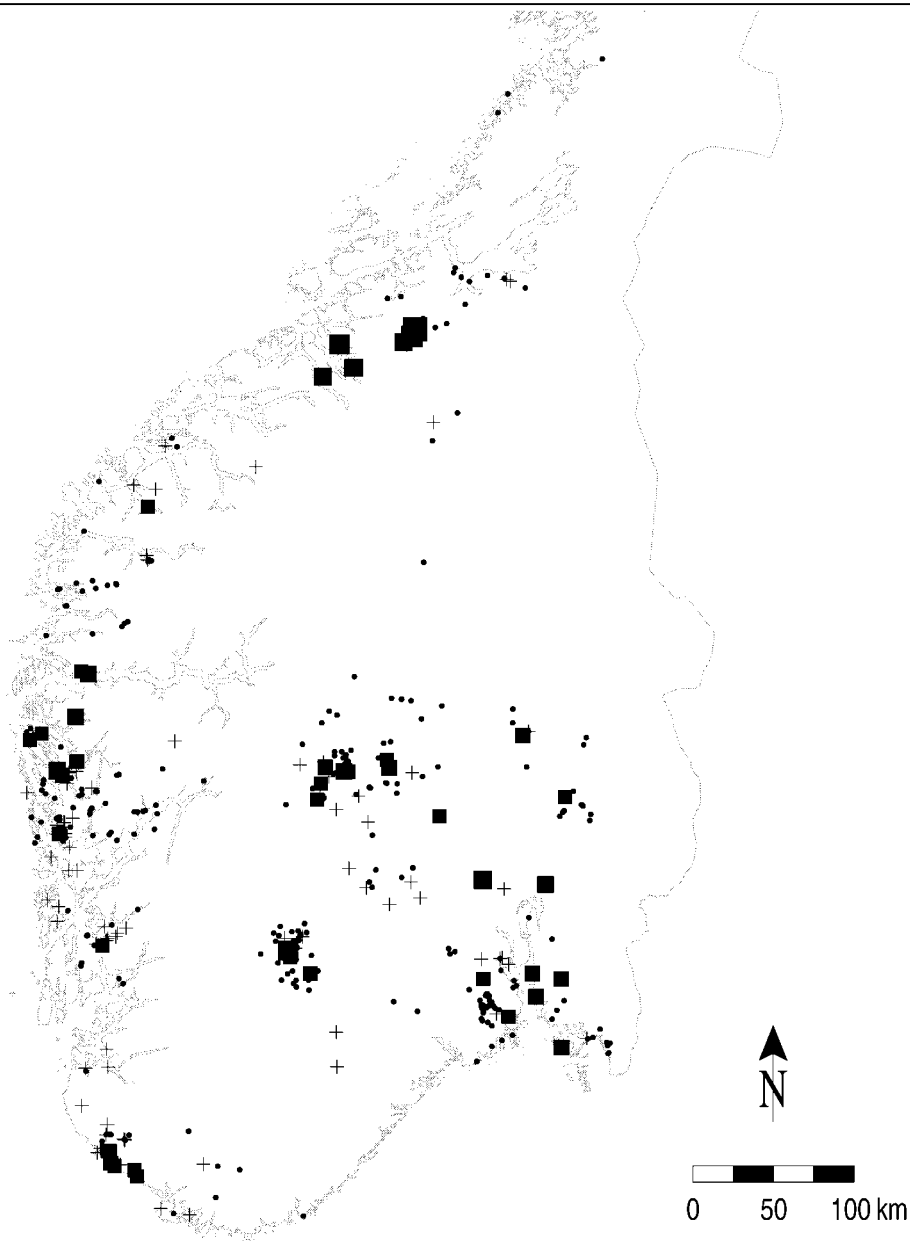


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

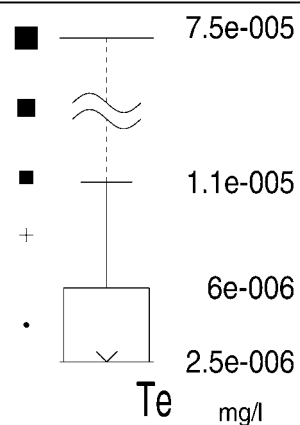
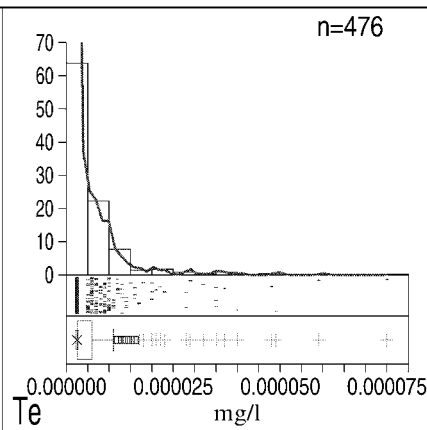
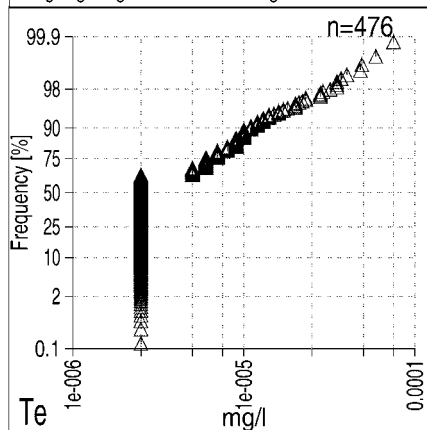
TELLUR

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens strålevern i sa

05/1999



6.42 Thorium (Th)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for thorium på 0,051 µg/l.

Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for thorium (under deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l).

Figur 44a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for thorium i grunnvann fra fjellbrønner (0,028 µg/l). Hordaland og Buskerud har også høye medianverdier på henholdsvis 0,011 og 0,014 µg/l. Laveste medianverdi (0,001 µg/l) forekommer i Rogaland og Sør-Trøndelag fylker.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,006 µg/l. Maksimumsverdien (3,1 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) i Hordaland. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i 51 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for thorium i drikkevann.

6.43 Titan (Ti)

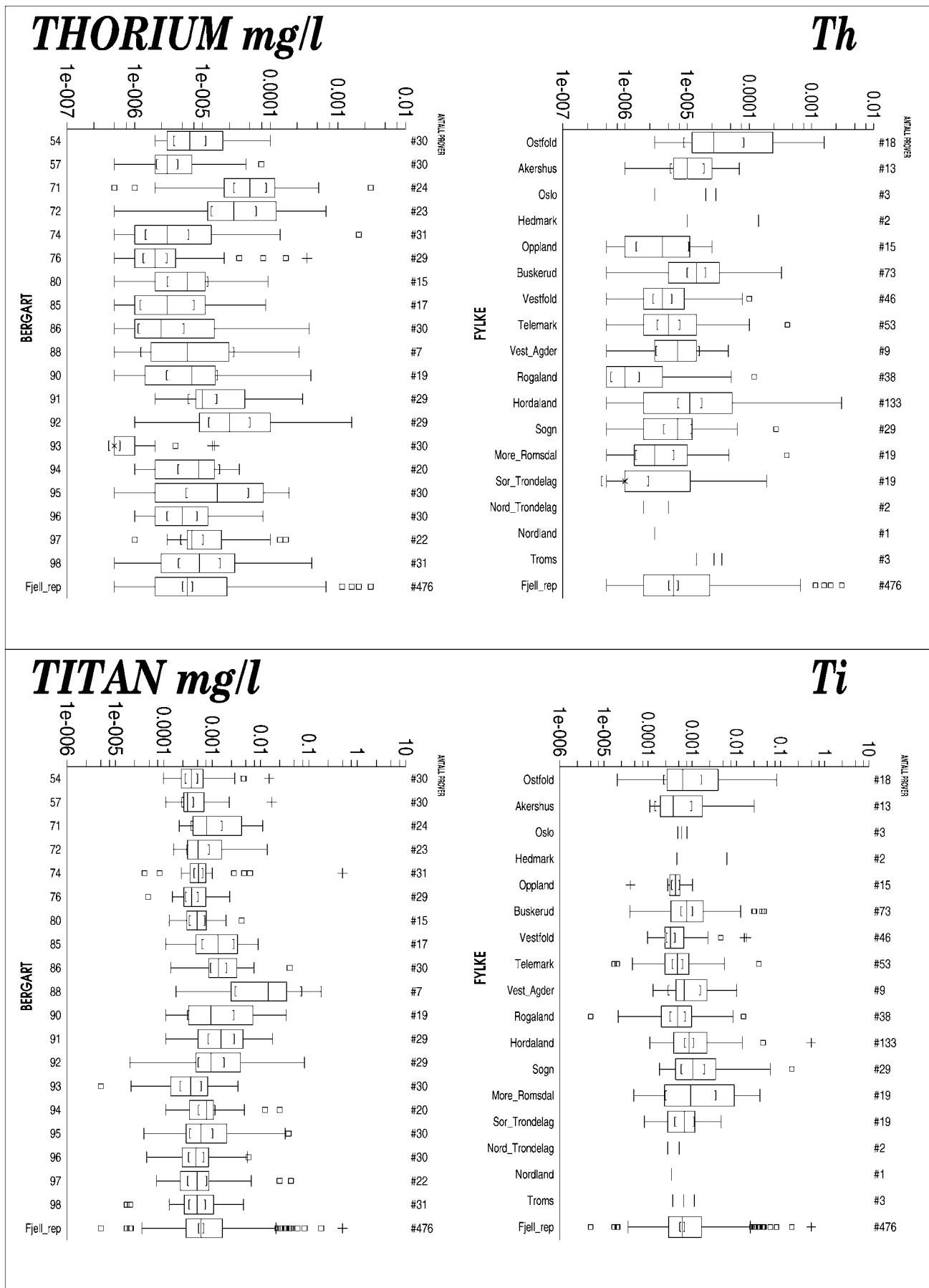
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt/gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for titan på 14,5 µg/l. Bergartsgruppene 57, 54, 76 og 93 (se vedlegg 2) har generelt de laveste konsentrasjonene for titan (medianverdier i området 0,31-0,38 µg/l).

Figur 45a indikerer at Sogn og Fjordane fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for titan i grunnvann fra fjellbrønner (1,03 µg/l). Fylkene Møre og Romsdal og Hordaland har også høye medianverdier på henholdsvis 0,92 og 0,85 µg/l. Laveste medianverdi på 0,33 µg/l forekommer i Vestfold fylke, mens Akershus har en medianverdi på 0,37 µg/l.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,59 µg/l. Maksimumsverdien (495 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kambrosiluriske metasedimenter) i Hordaland.

Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,01 µg/l) finnes i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) i Rogaland.

Det er ikke satt noen grense for titan i drikkevann.

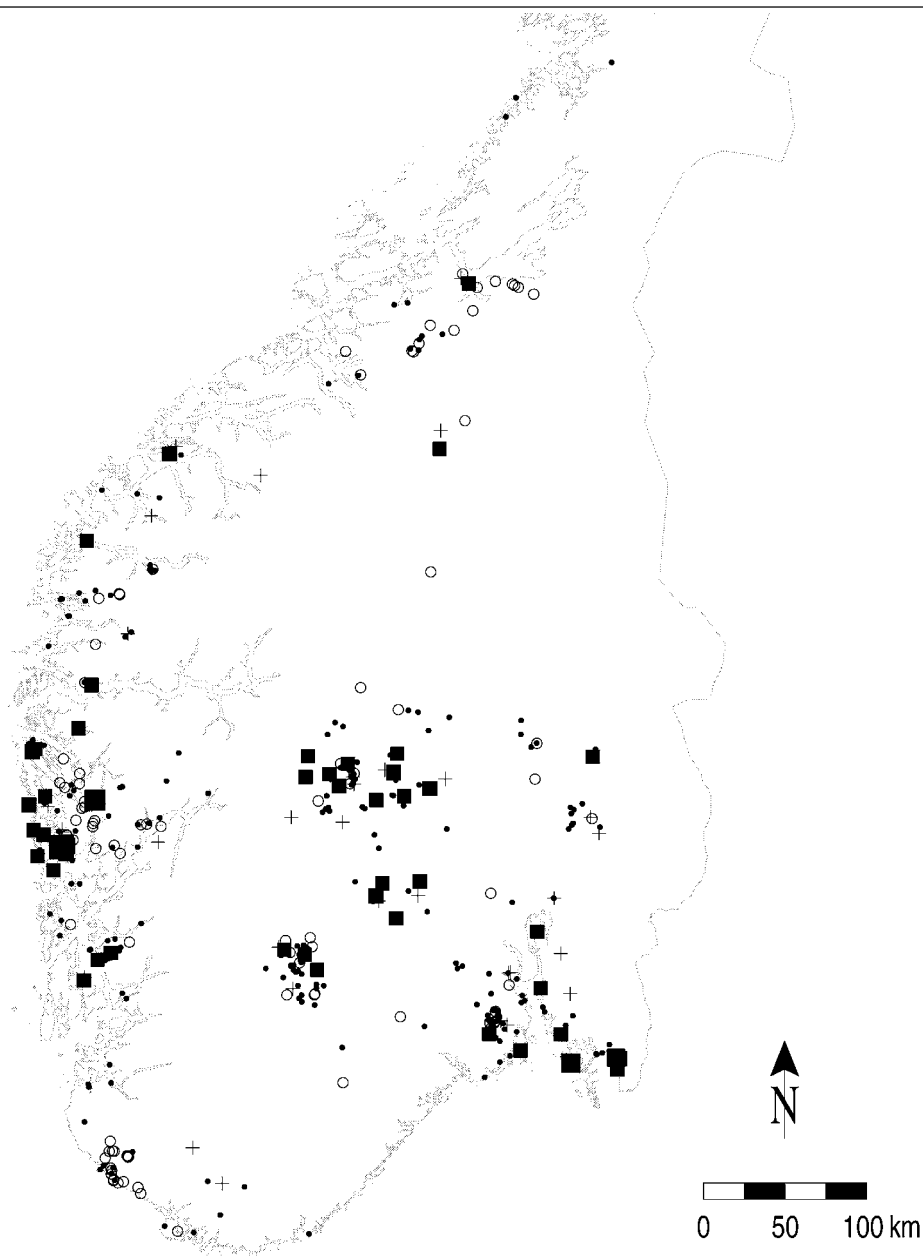


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

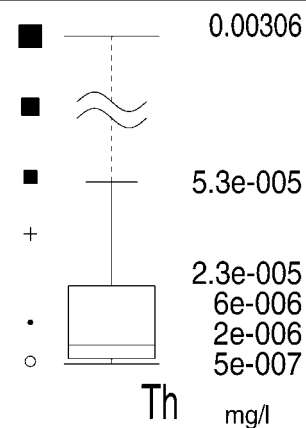
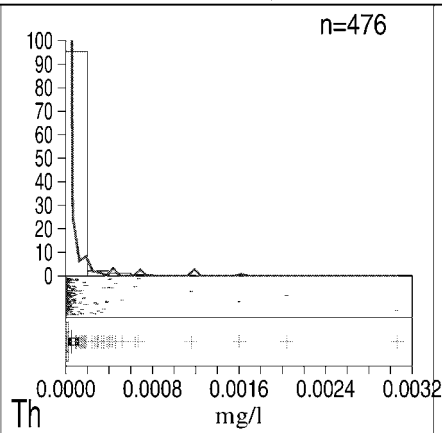
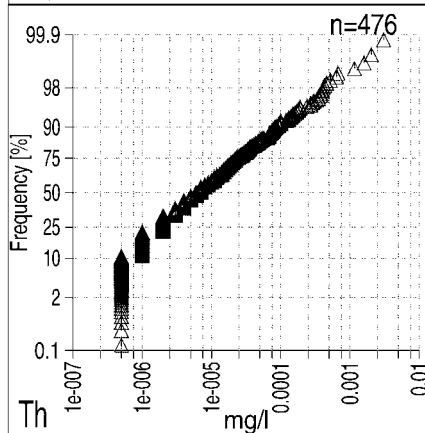
THORIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

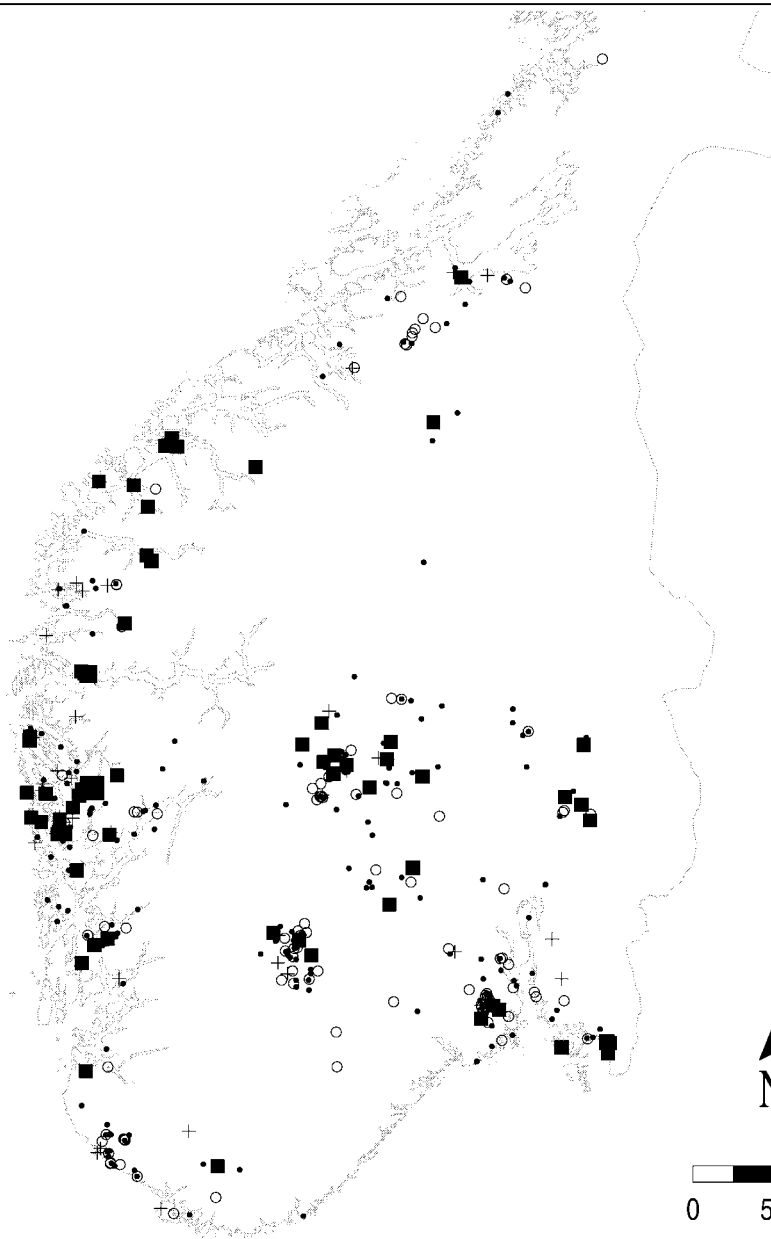


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

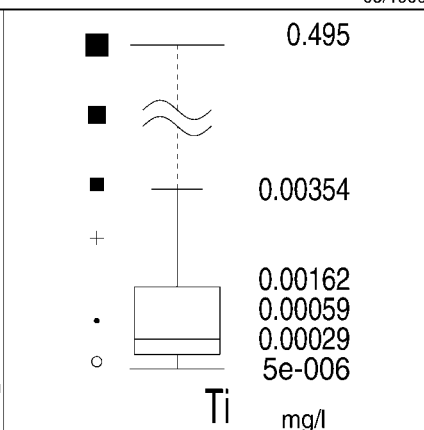
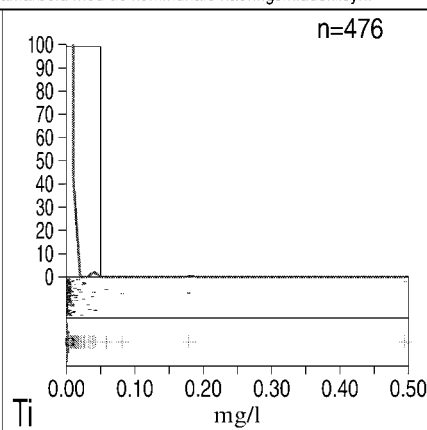
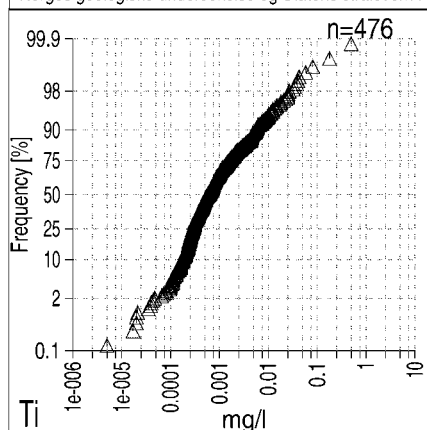
TITAN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.44 Thallium (Tl)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 97, 94, 92, 71 og 72 (se vedlegg 2) generelt de høyeste konsentrasjonene av thallium med mediankonsentrasjoner i området 0,011-0,0125 µg/l. Bergartsgruppene 93, 86, 80, 54 og 57 har de laveste mediankonsentrasjonene for thallium i området 0,004-0,0045 µg/l.

Figur 46a indikerer at fylkene Buskerud og Østfold har de høyeste mediankonsentrasjonene for thallium i grunnvann fra fjellbrønner på henholdsvis 0,012 og 0,010 µg/l. Laveste medianverdi (0,004 µg/l) forekommer i Akershus og Vestfold fylker.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,007 µg/l. Maksimumsverdien (0,25 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kambrosiluriske metasedimenter) i Oppland fylke. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 11 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for thallium i drikkevann i Norge. Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider amerikansk drikkevannsnorm på 2 µg/l for thallium.

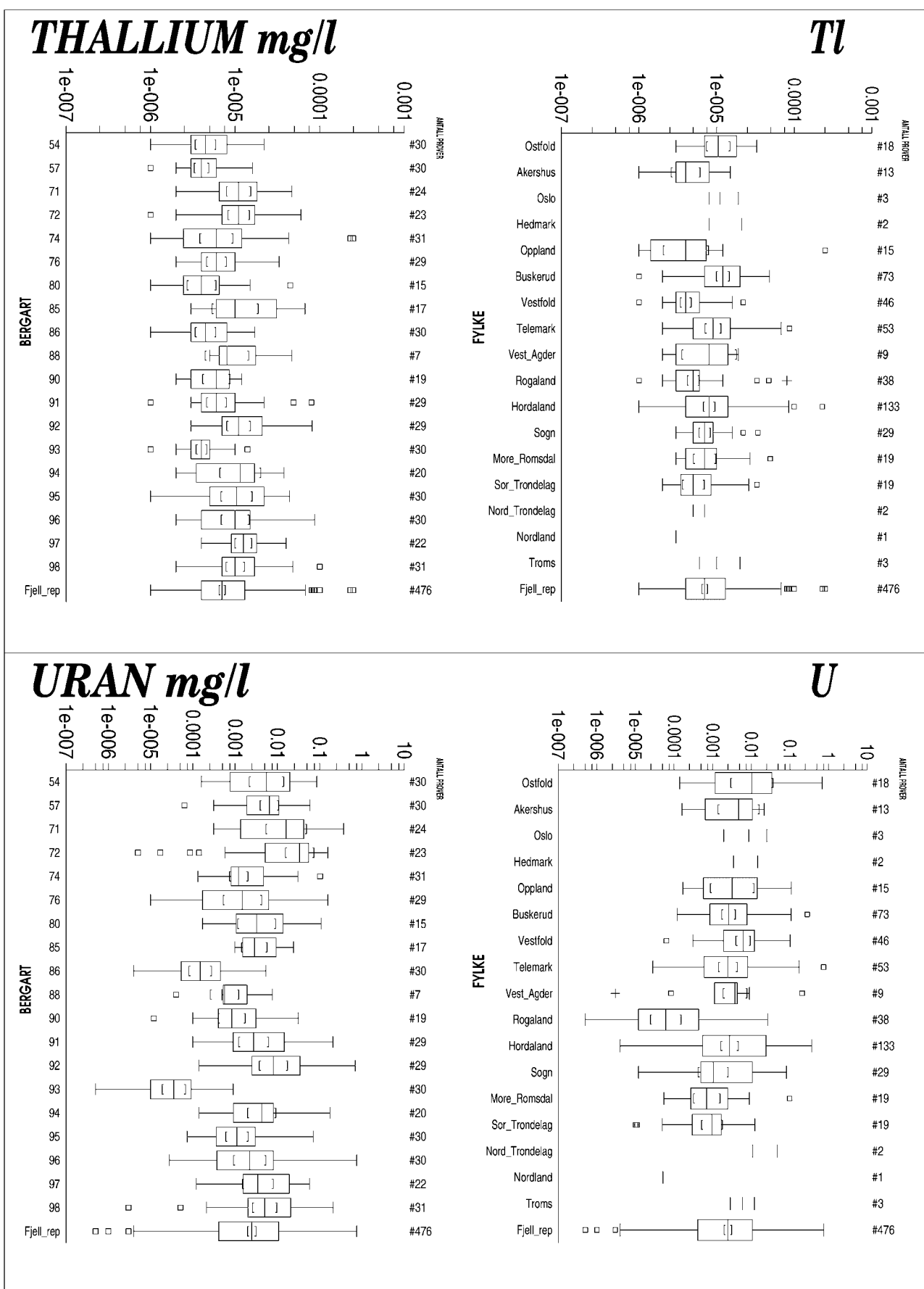
6.45 Uran (U)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro, dioritt og ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for uran på 33,5 µg/l). En nærmere undersøkelse av det digitale kartet viser at det finnes granitter innenfor gruppe 72 i Hordaland som forklarer dette uventede resultatet. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har laveste mediankonsentrasjonen for uran (0,037 µg/l).

Figur 47a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for uran i grunnvann fra fjellbrønner (10,3 µg/l). Laveste medianverdi (0,061 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 2,5 µg/l. Maksimumsverdien (750 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 96 (prekambrisk metabasalt/meta-andesitt og amfibolitt) i Telemark. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) i Rogaland.

Det er ikke satt noen grense for uran i drikkevann i Norge. 18 % (85 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den amerikanske drikkevannsnormen på 20 µg/l for uran.

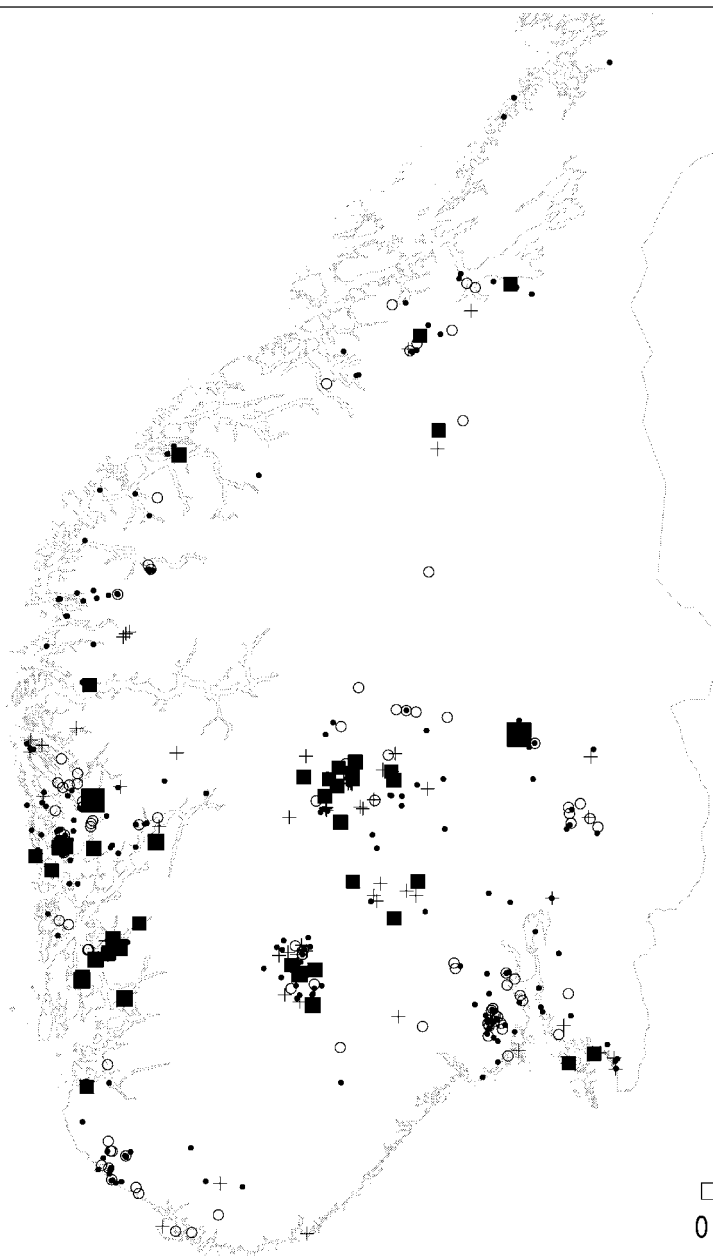


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

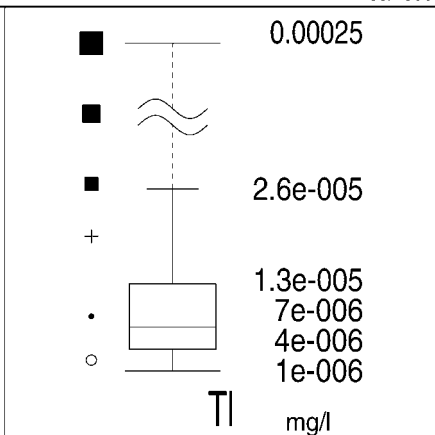
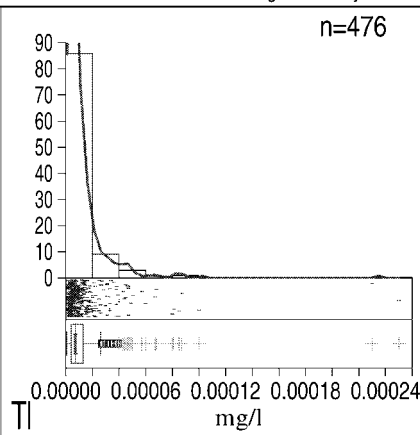
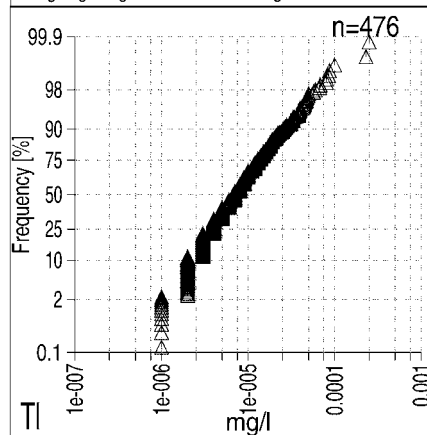
THALLIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

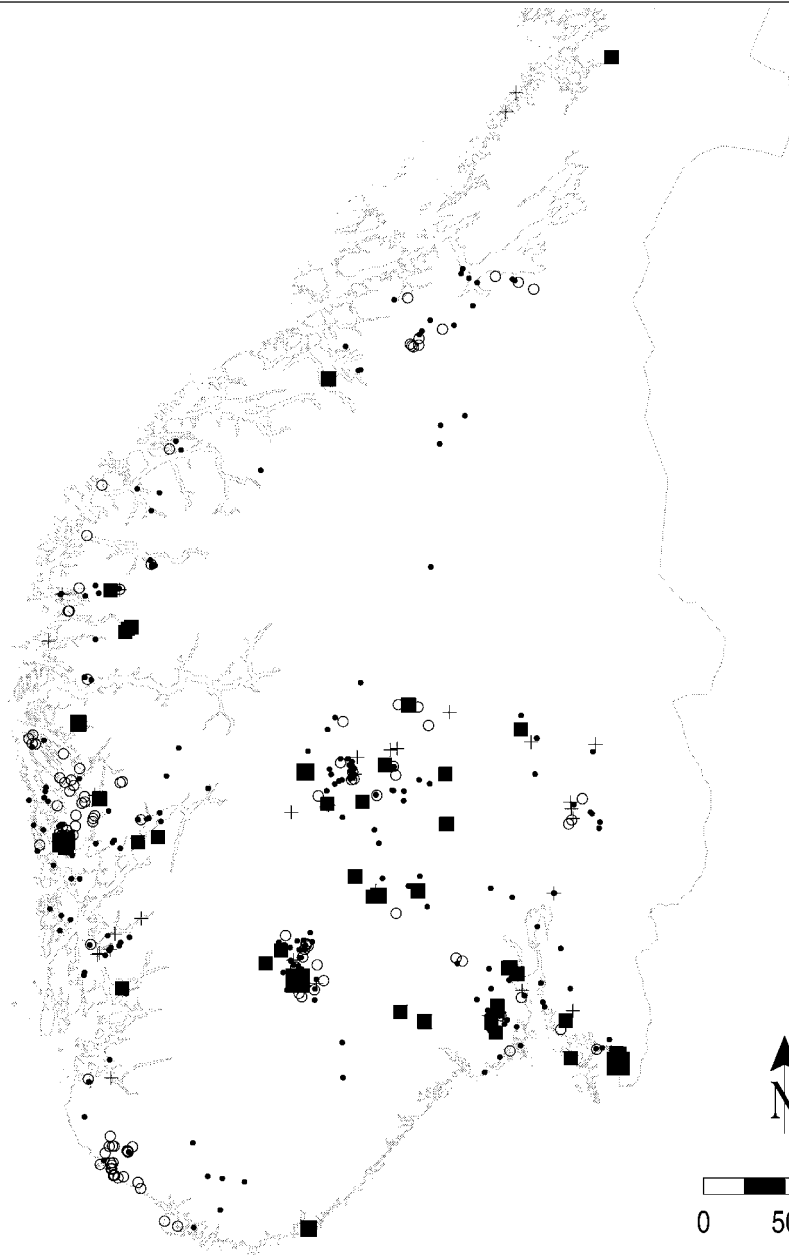


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

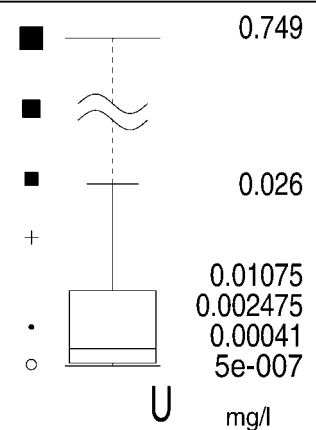
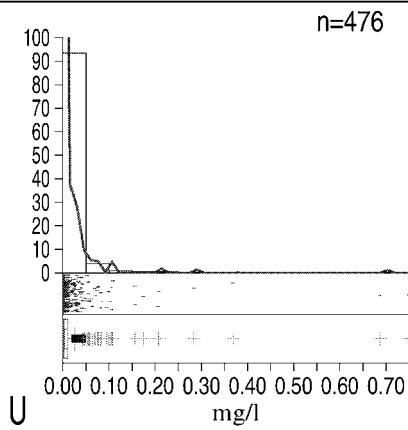
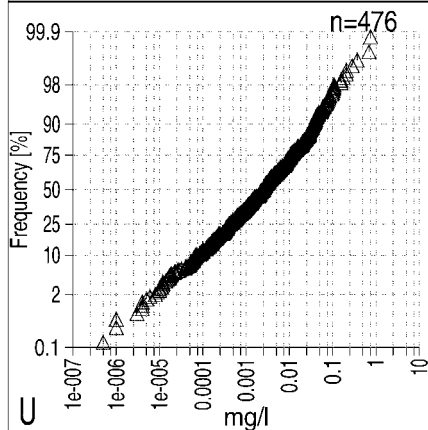
URAN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.46 Vanadium (V)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 88 (prekambrisk amfibolitt/gneis) den høyeste mediankonsentrasjonen for vanadium på 0,69 µg/l.

Bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) har den laveste mediankonsentrasjonen for vanadium (0,10 µg/l).

Figur 48a indikerer at Møre og Romsdal fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for vanadium i grunnvann fra fjellbrønner (0,61 µg/l). Laveste medianverdi (0,044 µg/l) forekommer i Oppland fylke, mens Akershus har en medianverdi på 0,05 µg/l.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,24 µg/l. Maksimumsverdien (14 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 74 (kambrosiluriske metasedimenter) i Hordaland fylke. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,01 µg/l) finnes i 3 brønner i bergartsgruppene 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter), 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) og 98 (Prekambrisk gneis) i Buskerud og Hordaland fylker.

Det er ikke satt noen grense for vanadium i drikkevann i Norge, selv om den står oppført på listen over helseskadelige stoffer i drikkevannsforskriften (Sosial- og helsedepartementet, 1995). Ingen av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 100 µg/l for vanadium.

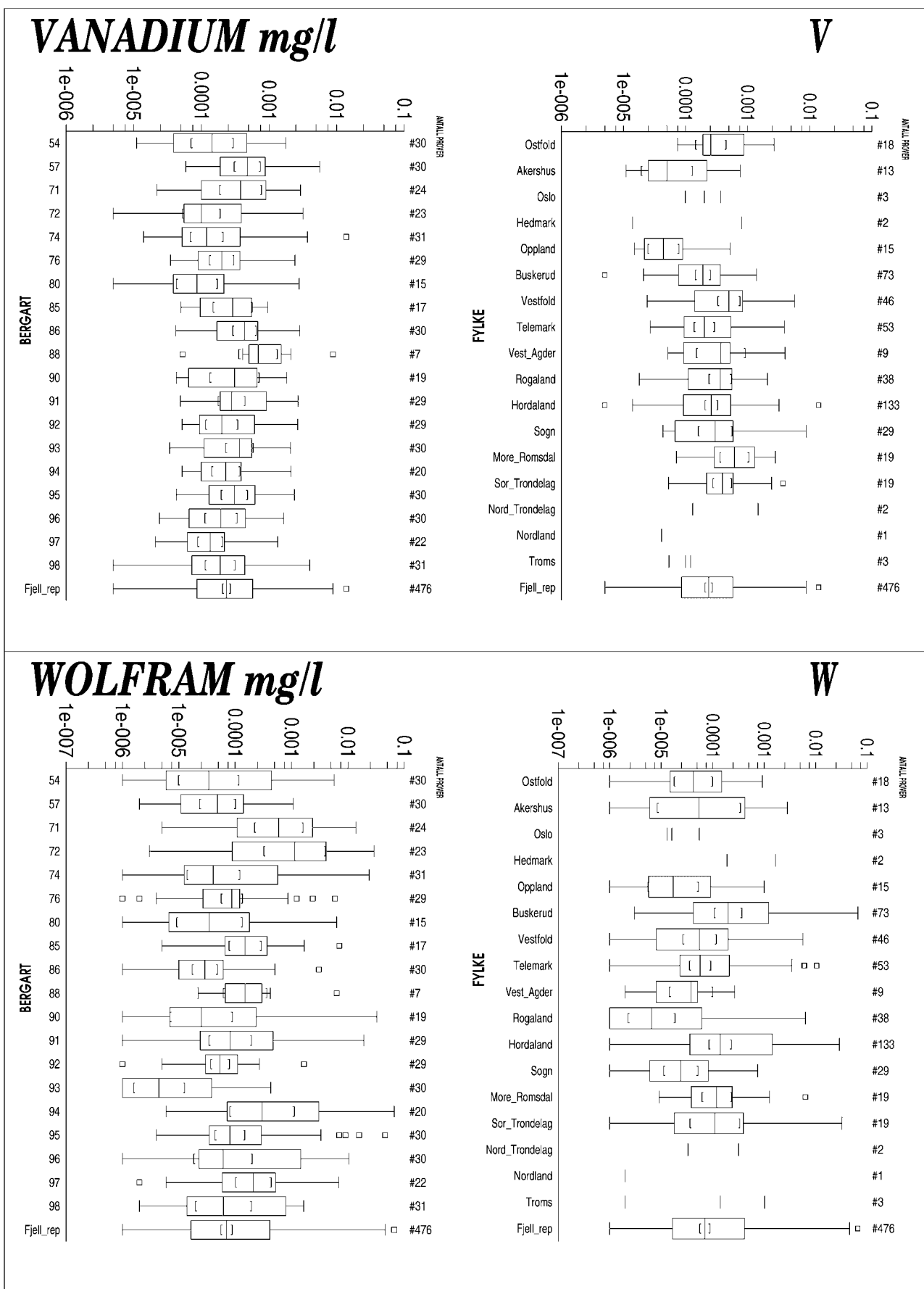
6.47 Wolfram (W)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for wolfram på 1,14 µg/l. Bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) har også en høy mediankonsentrasjon for wolfram (0,62 µg/l). Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for wolfram (0,0045 µg/l).

Figur 49a indikerer at Buskerud fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for wolfram i grunnvann fra fjellbrønner (0,2 µg/l). Laveste medianverdi (0,007 µg/l) forekommer i Rogaland.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,071 µg/l. Maksimumsverdien (66 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 94 (prekambrisk gabbro/amfibolitt/ultramafiske bergarter) i Buskerud fylke. Minimumsverdien (<deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 25 av de 476 borehullene.

Det er ikke satt noen grense for wolfram i drikkevann i Norge. 1 av de 476 utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider den russiske drikkevannsnormen på 50 µg/l for wolfram.

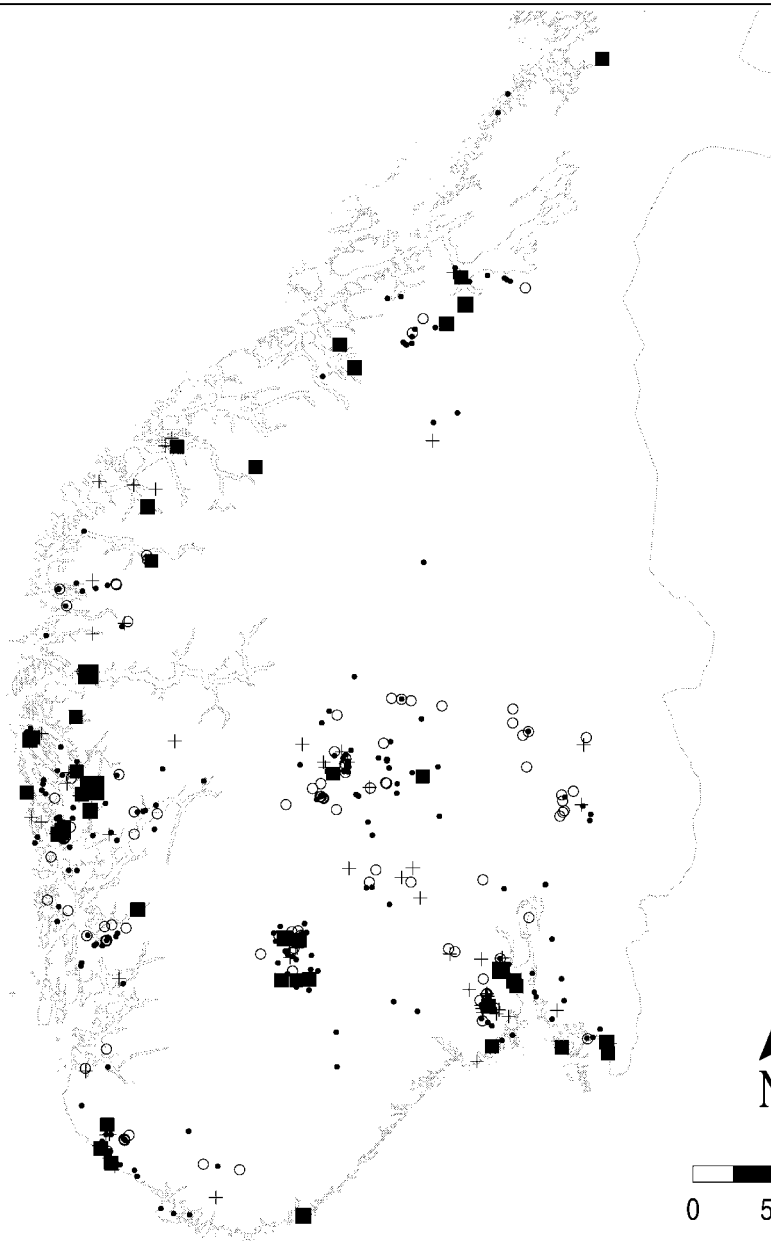


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

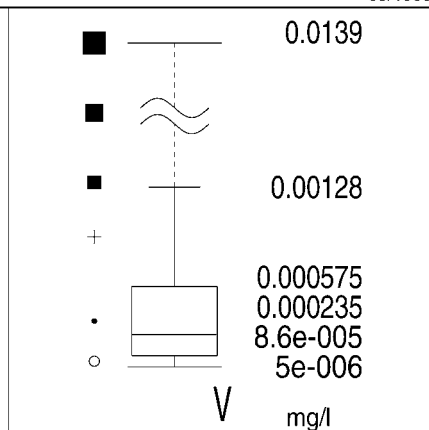
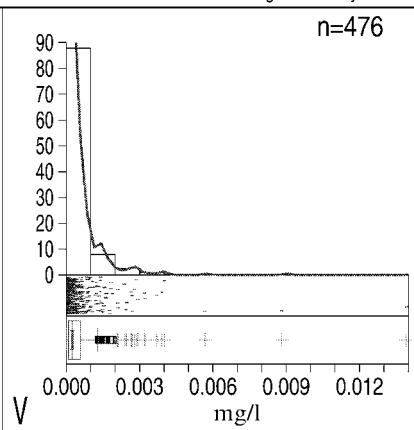
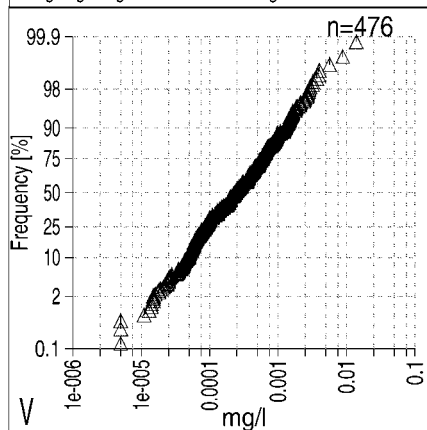
VANADIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

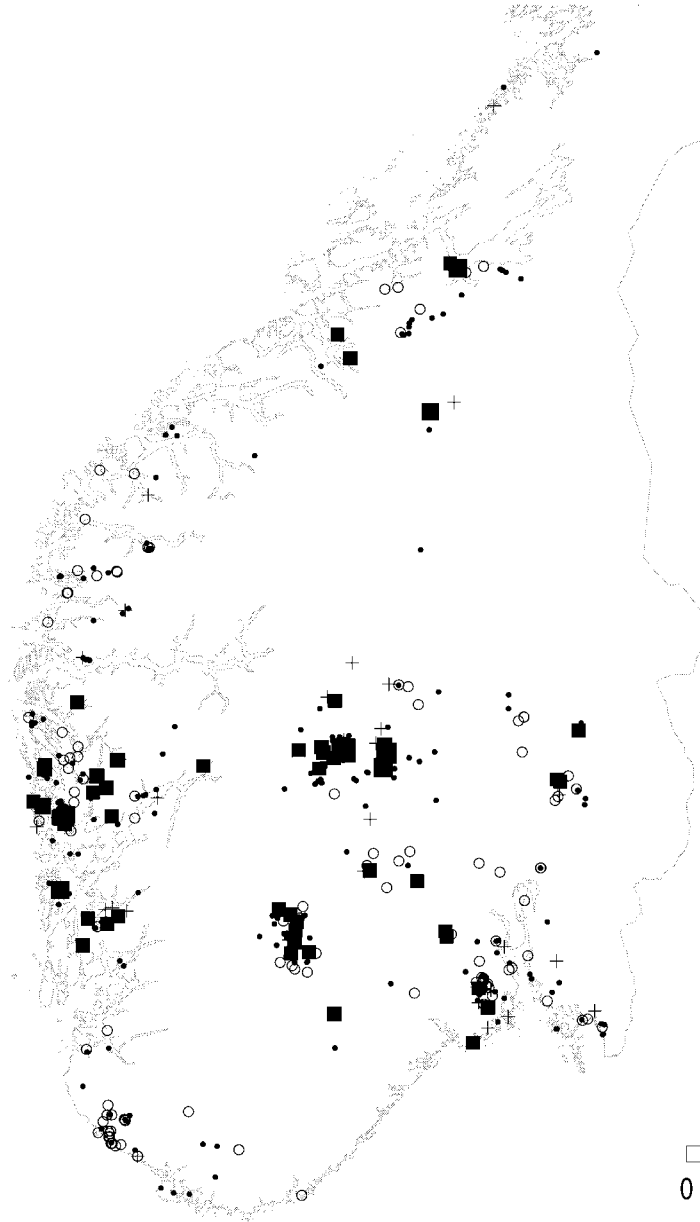


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

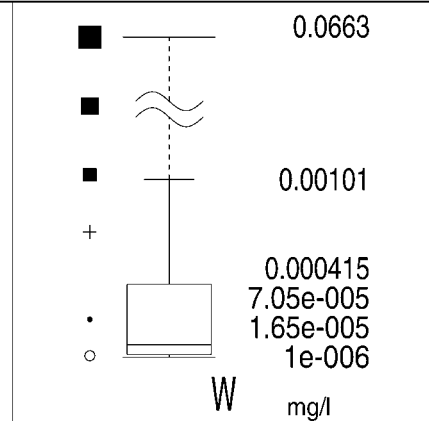
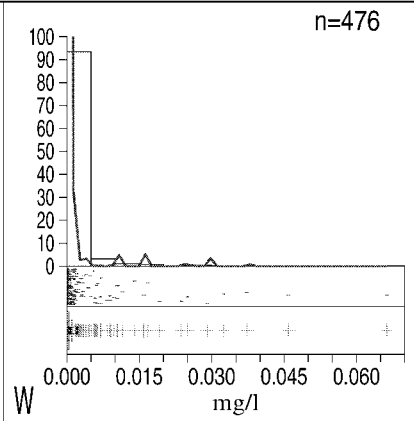
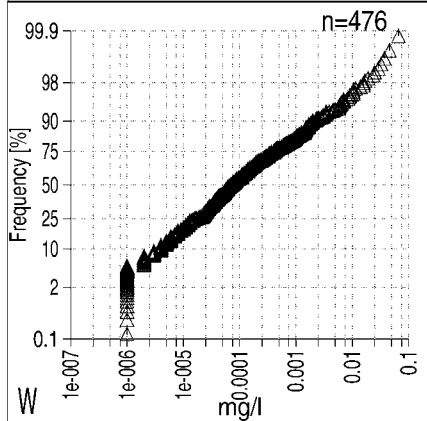
WOLFRAM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.48 Yttrium (Y)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 92, 80, 72 og 54 (se vedlegg 2) de høyeste mediankonsentrasjonene for yttrium i området 0,38-0,45 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for yttrium (0,026 µg/l).

Figur 50a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for yttrium i grunnvann fra fjellbrønner (0,81 µg/l), mens Akershus har en mediankonsentrasjon på 0,55 µg/l. Laveste medianverdi (0,030 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,21 µg/l. Maksimumsverdien (8,1 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Telemark fylke. Minimumsverdier (lik deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l finnes i 4 fjellborehull i bergartsgruppene 72, 74, 76 og 93 (se vedlegg 2).

Det er ikke satt noen grense for yttrium i drikkevann.

6.49 Sink (Zn)

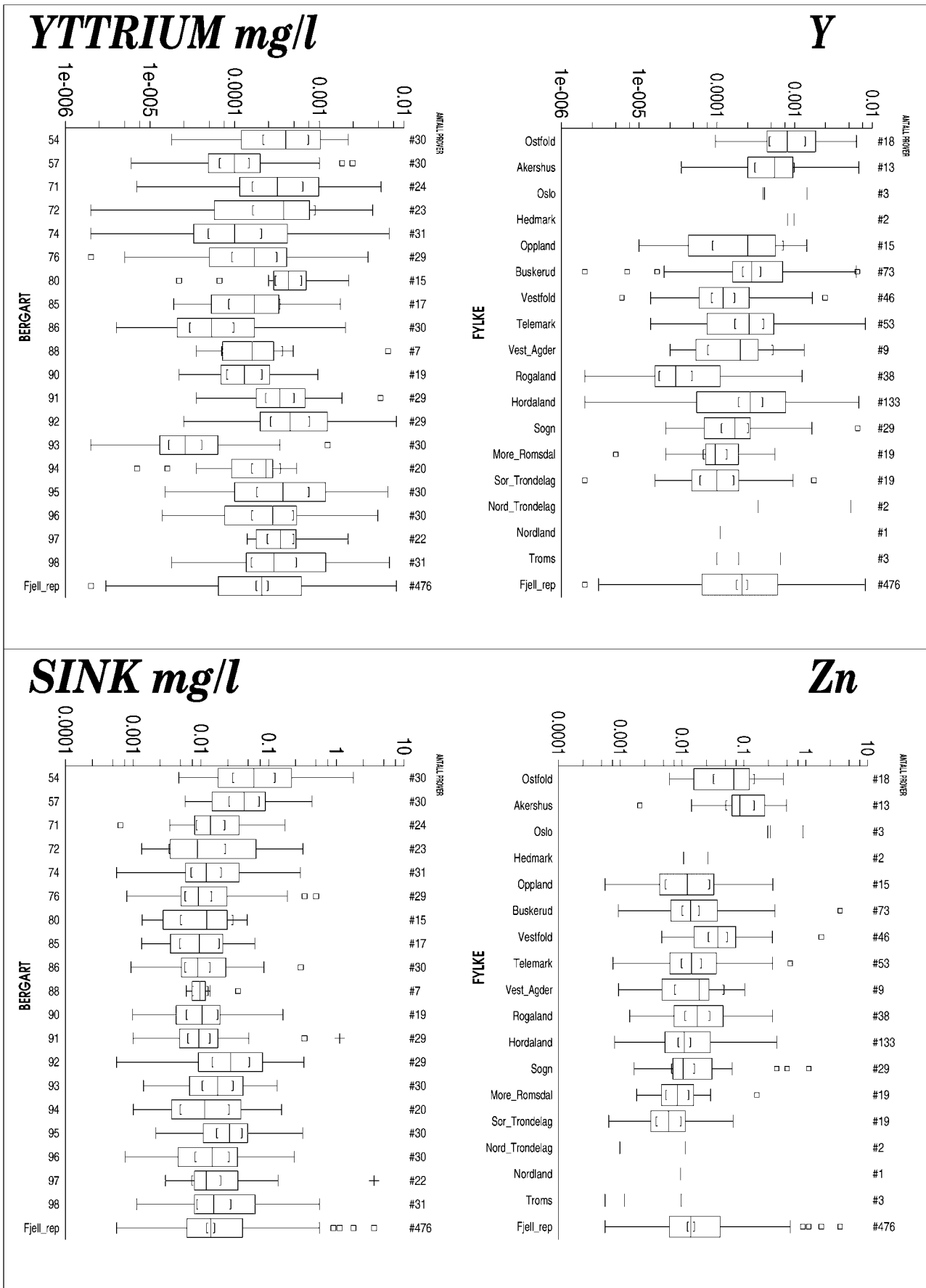
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 54 (permiske dyp- og gangbergarter) den høyeste mediankonsentrasjonen for sink på 60,4 µg/l. Bergartsgruppe 57 (permiske vulkanske og stedvis sedimentære bergarter) har også en høy mediankonsentrasjon for sink (44,2 µg/l). Bergartsgruppene 72, 86, 76, 85, 91 og 88 (se vedlegg 2) har de laveste mediankonsentrasjoner for sink i området 8,87-9,72 µg/l.

Figur 51a indikerer at fylkene Akershus og Østfold har de høyeste mediankonsentrasjonene for sink i grunnvann fra fjellbrønner på henholdsvis 86,6 og 68,9 µg/l. Laveste medianverdi (6,07 µg/l) forekommer i Sør-Trøndelag fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 14 µg/l. Maksimumsverdien (3600 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 97 (prekambrisk metaryolitt/metaryodacitt) i Buskerud. Minimumsverdien (0,57 µg/l) finnes i bergartsgruppe 74 (kambrosiluriske metasedimenter) i Oppland og 92 (prekambrisk granitt) i Troms.

Det gjøres oppmerksom på at forhøyede sink-konsentrasjoner kan skyldes oppløsning av metall fra vannrør og armatur, såvel som mineralkilder i fjellet.

3 % (14 av 476) av de utvalgte fjellbrønnene (Fjell_rep) overskrider drikkevannsnormen på 300 µg/l for sink.

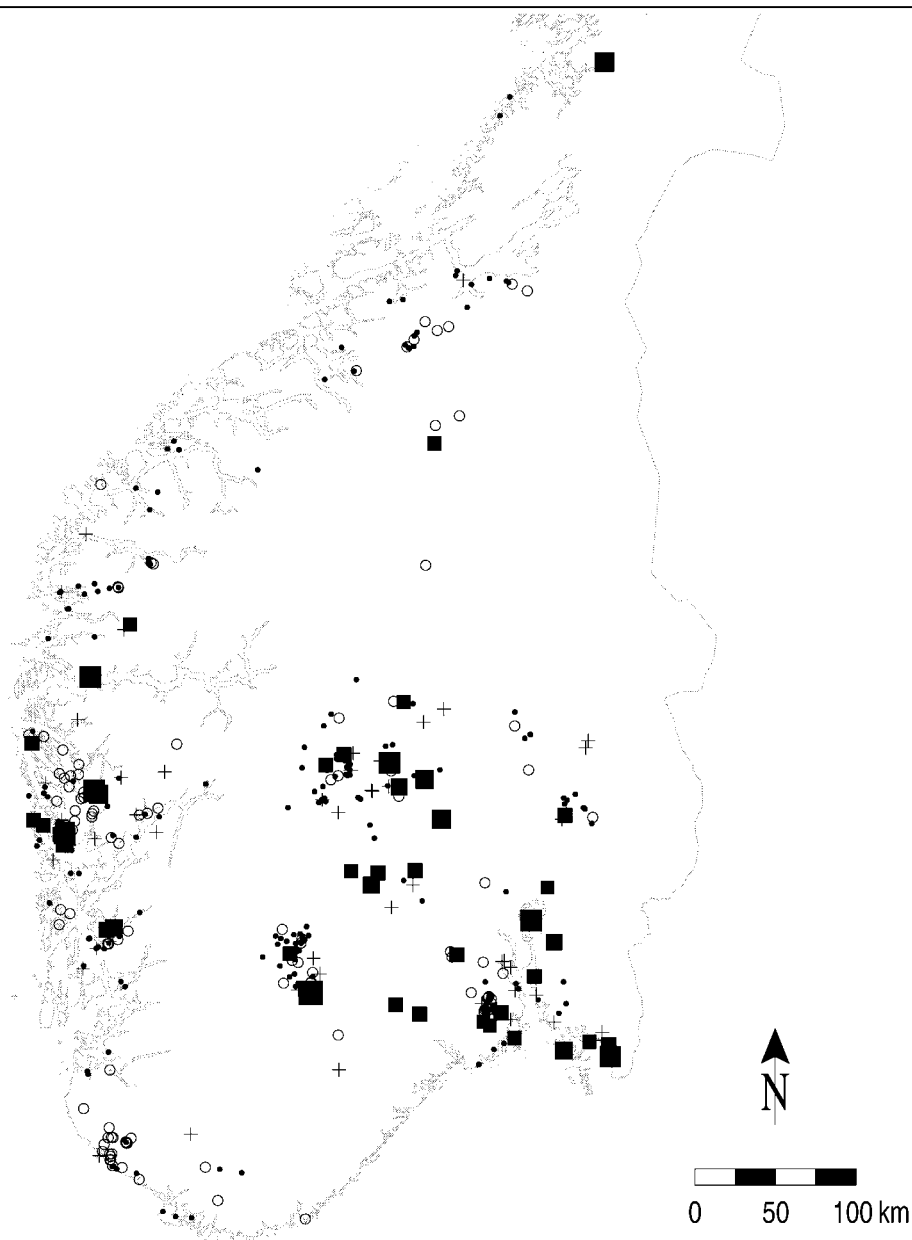


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

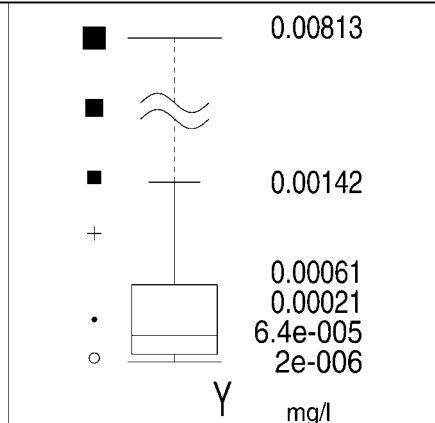
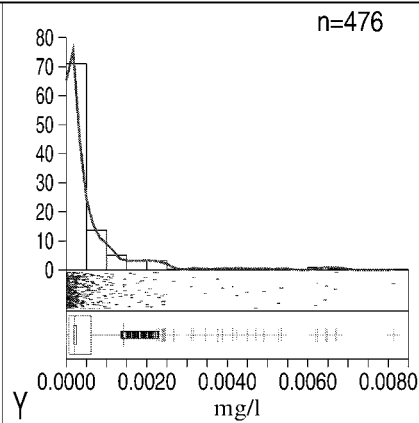
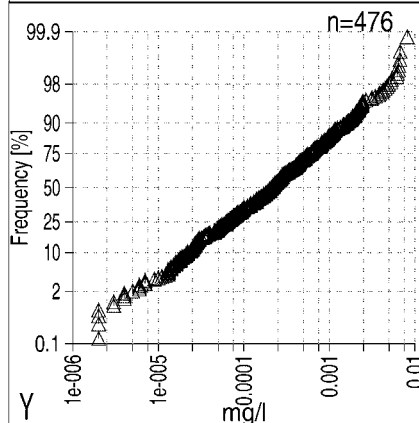
YTTRIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

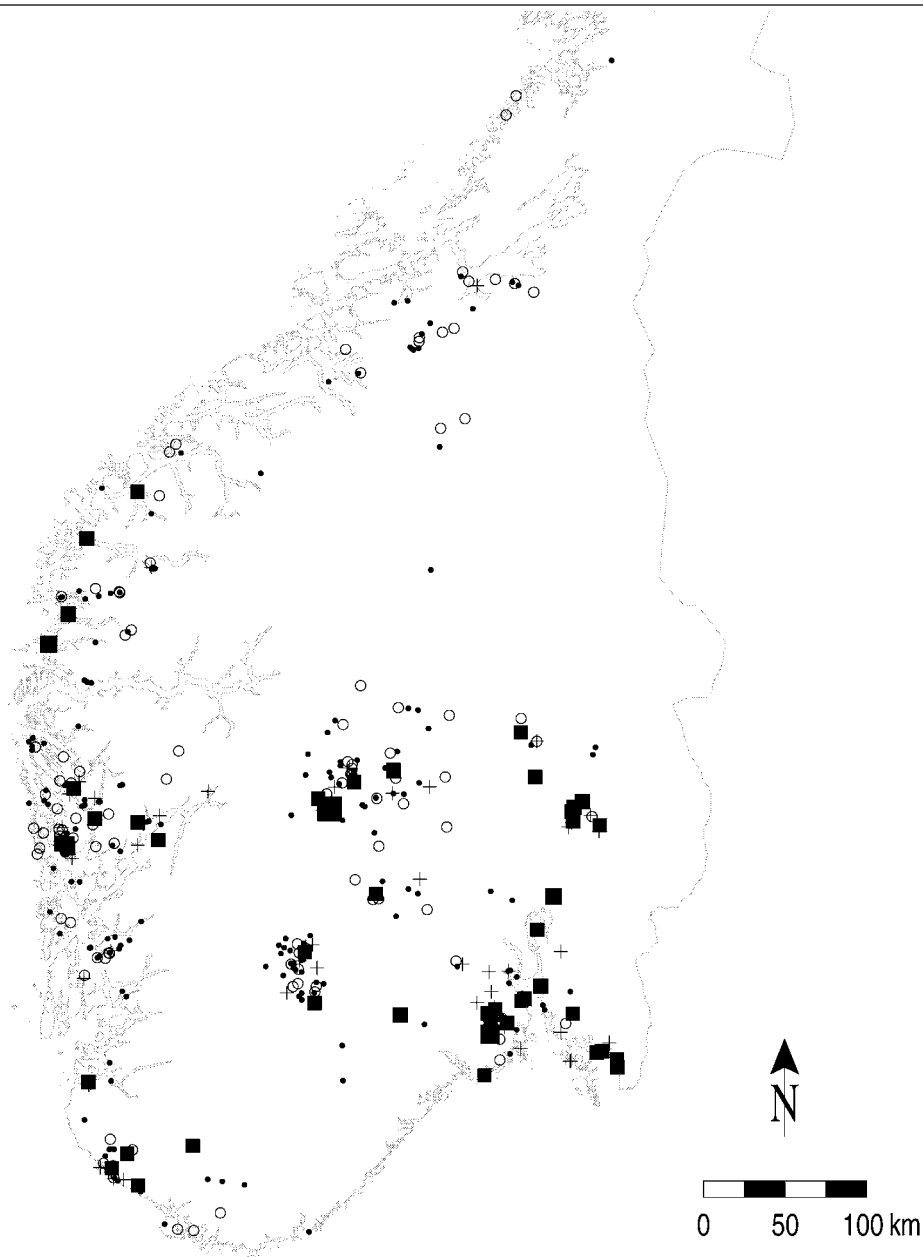


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

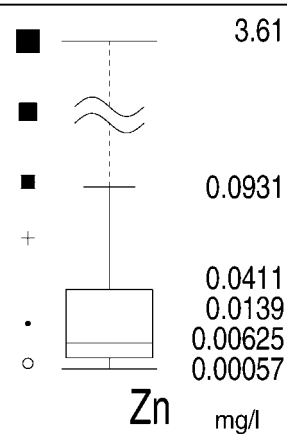
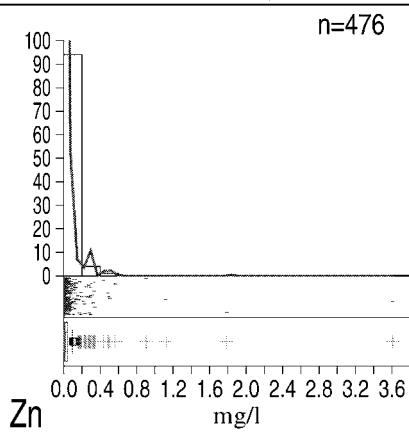
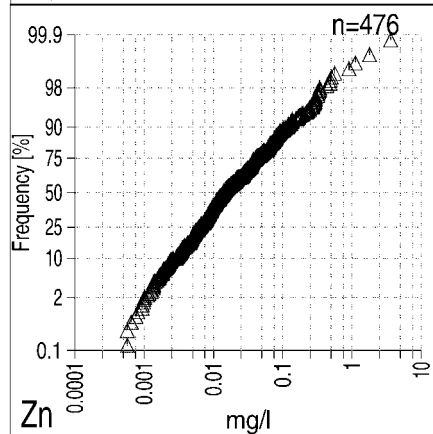
SINK

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.50 Zirkon (Zr)

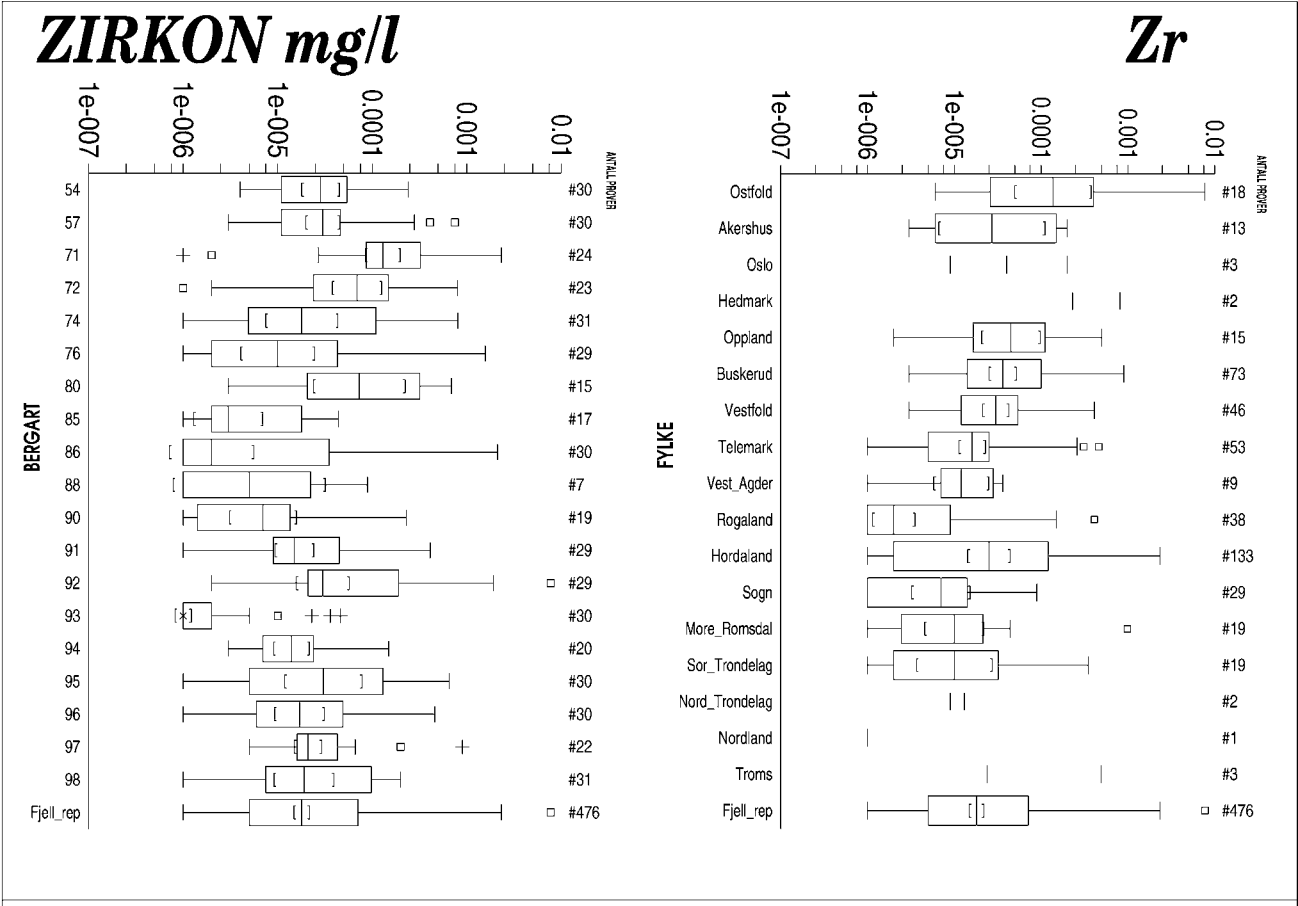
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt til tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for zirkon på 0,13 µg/l.

Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for zirkon under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l.

Figur 52a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for zirkon i grunnvann fra fjellbrønner (0,14 µg/l). Laveste medianverdi (lik deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,018 µg/l. Maksimumsverdien (7,7 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Østfold. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 62 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grenser for zirkon i drikkevann.

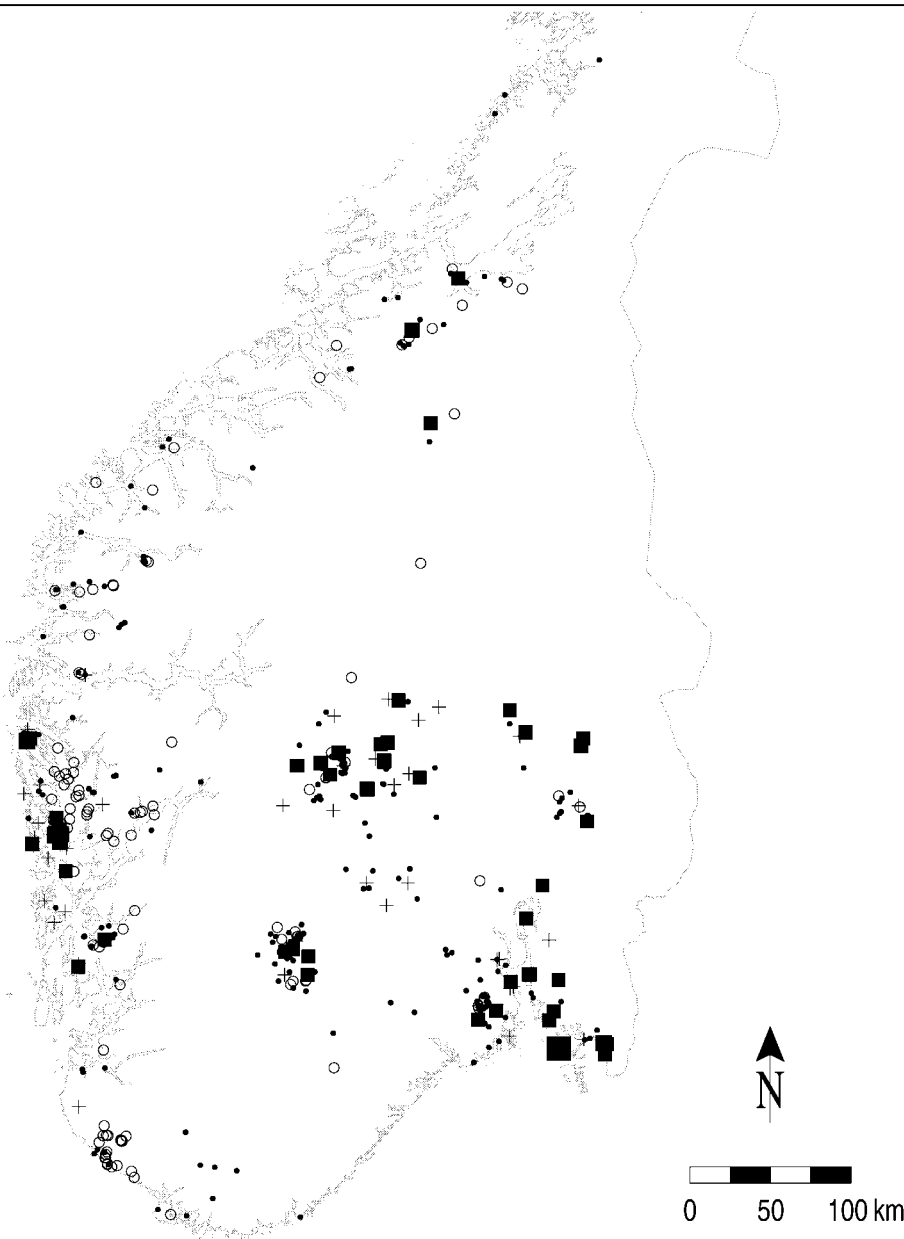


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

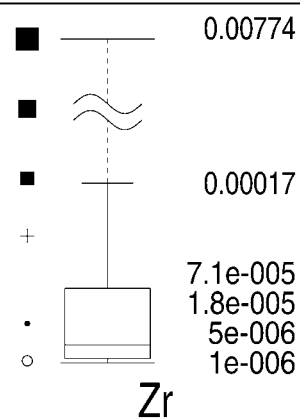
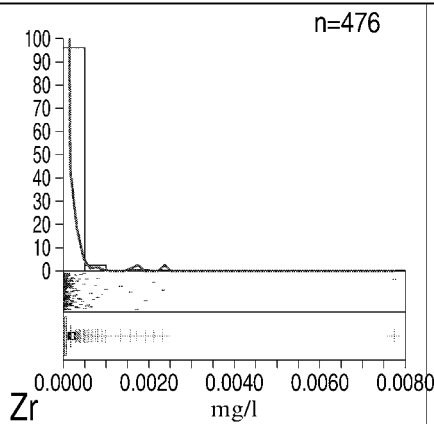
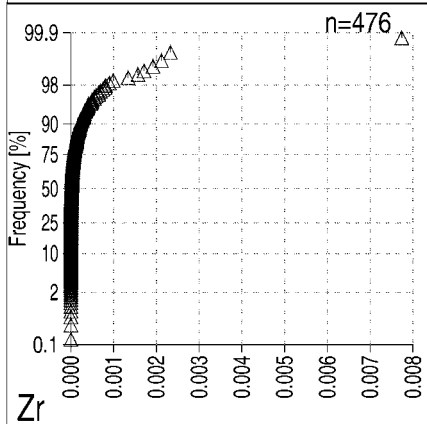
ZIRKON

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51 Sjeldne jordarter

6.51.1 Lantan (La)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) og 92 (prekambrisk granitt) de høyeste mediankonsentrasjonene for lantan på henholdsvis 0,53 og 0,45 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for lantan på 0,0095 µg/l.

Figur 53a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for lantan i grunnvann fra fjellbrønner (0,58 µg/l). Laveste medianverdier på henholdsvis 0,015 og 0,017 µg/l forekommer i fylkene Rogaland og Oppland.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,10 µg/l. Maksimumsverdien (19 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Telemark fylke. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 4 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for lantan i drikkevann.

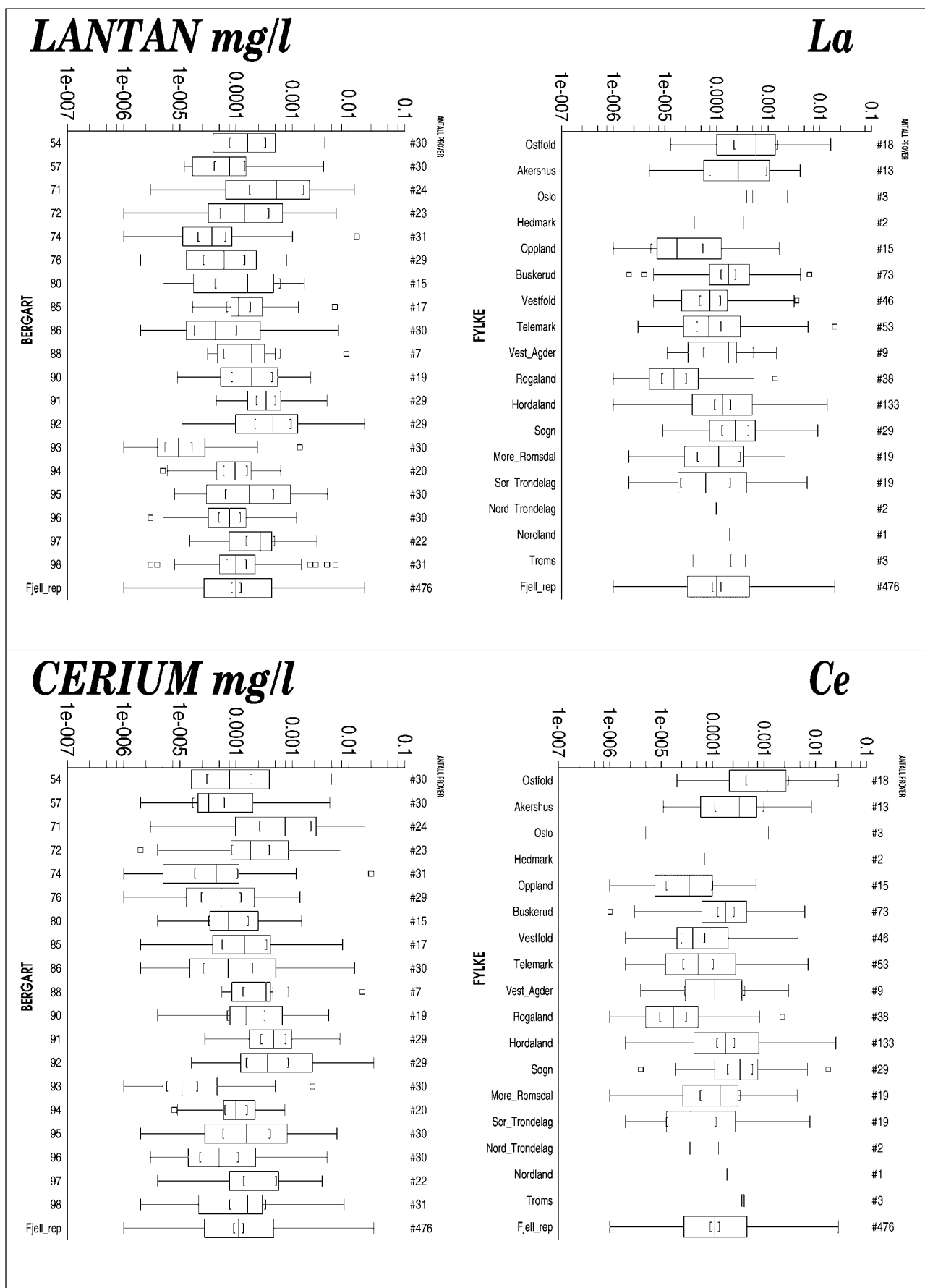
6.51.2 Cerium (Ce)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for cerium på 0,75 µg/l. Bergartsgruppene 91 (gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt – Nordvestre gneisregion) og 92 (prekambrisk granitt) har også høye mediankonsentrasjoner for cerium på 0,46-0,36 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for cerium (0,012 µg/l).

Figur 54a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for cerium i grunnvann fra fjellbrønner (1,16 µg/l). Laveste medianverdi (0,017 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,11 µg/l. Maksimumsverdien (28 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Østfold fylke. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 5 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for cerium i drikkevann.

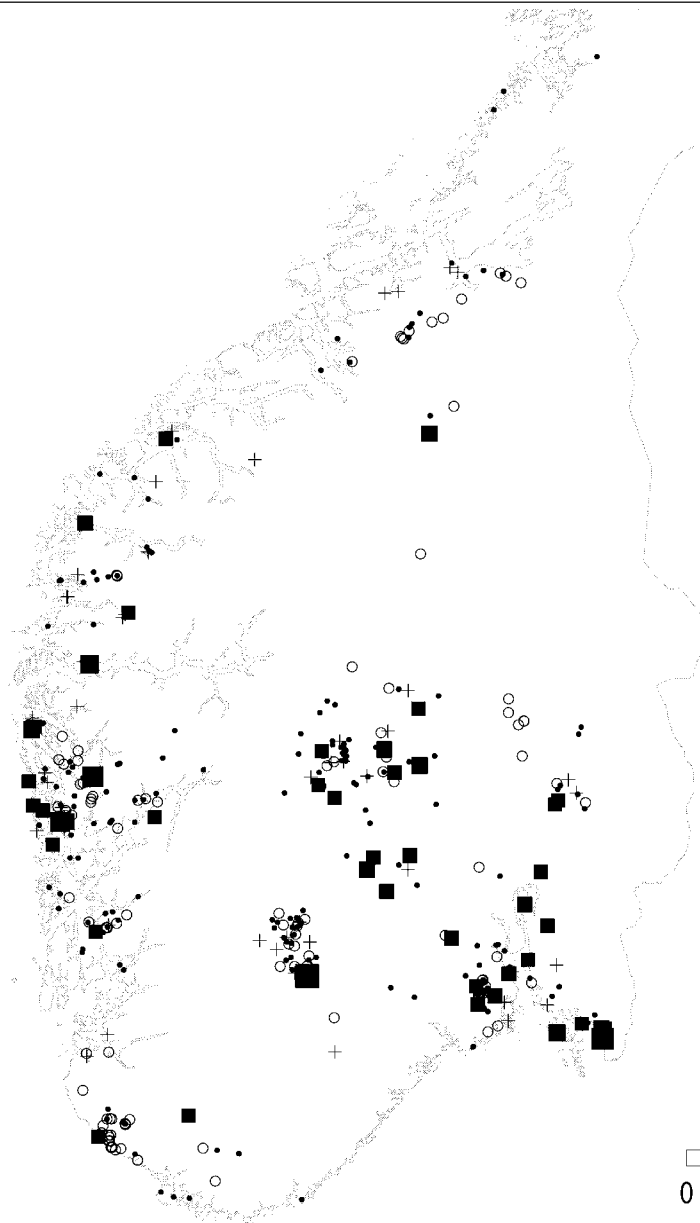


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

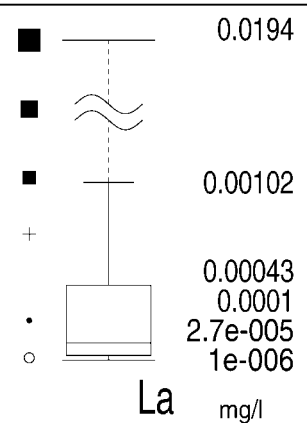
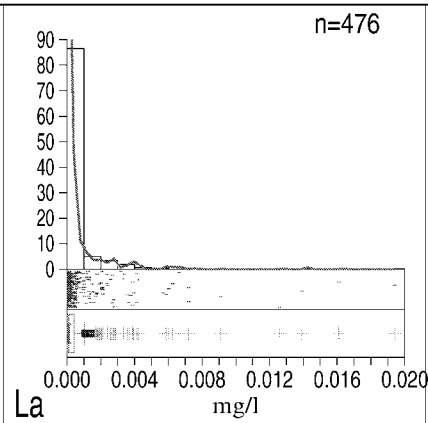
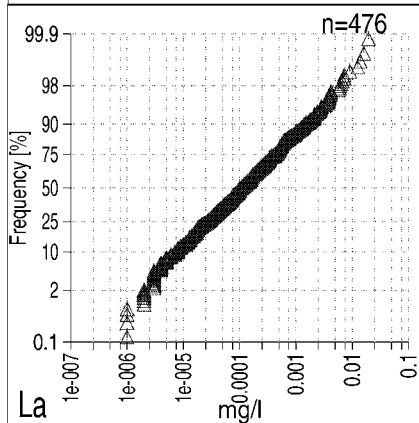
LANTAN

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

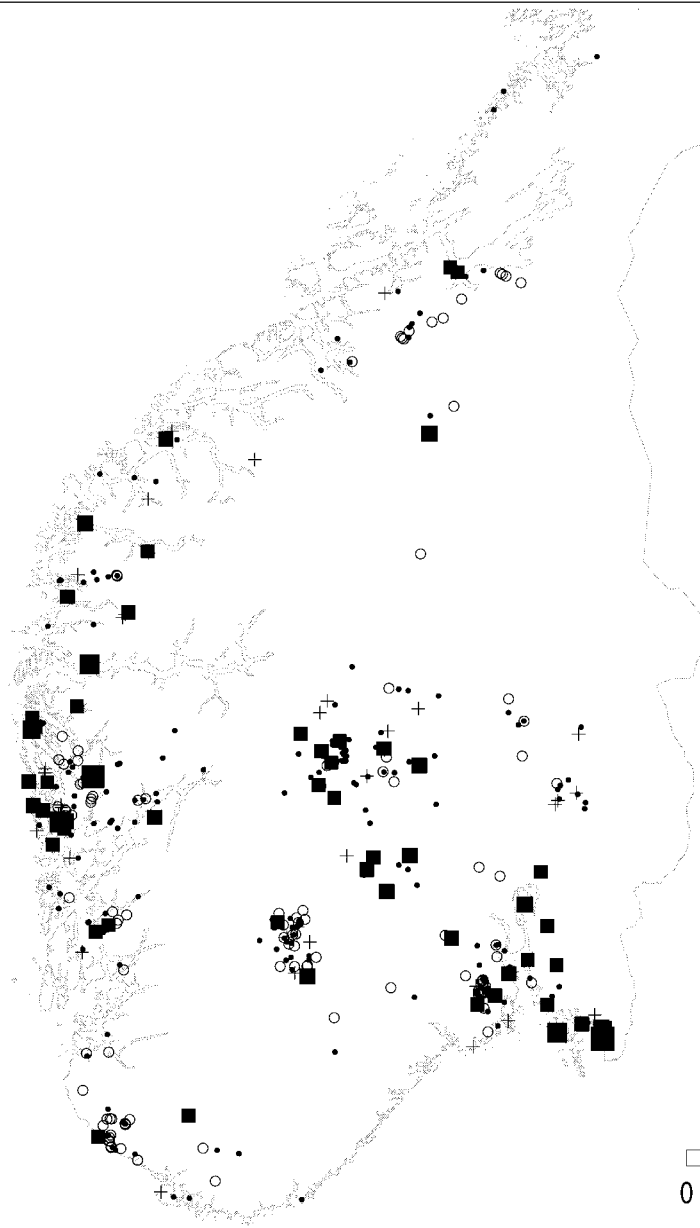


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

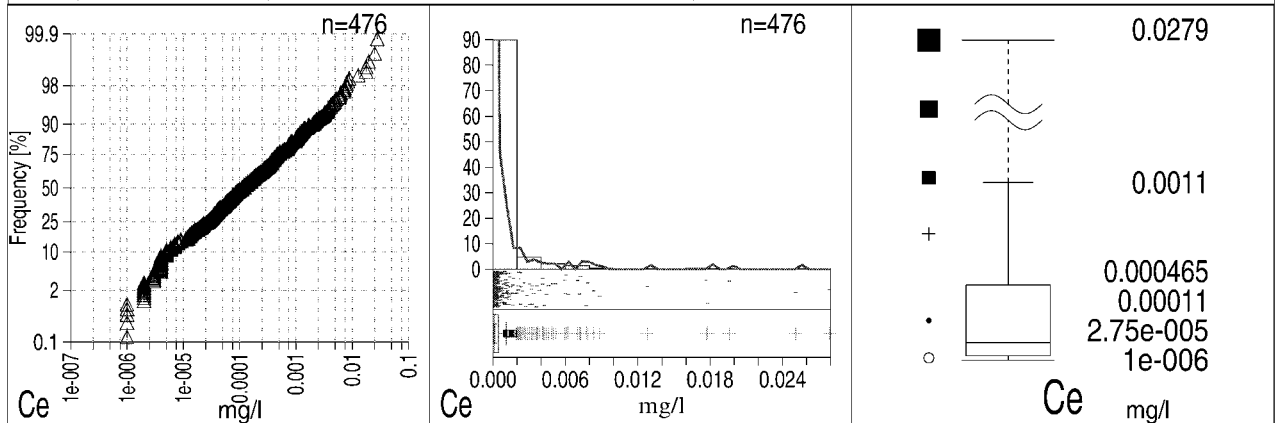
CERIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51.3 Praseodym (Pr)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for praseodym på 0,13 µg/l. Bergartsgruppene 91, 92 og 97 (se vedlegg 2) har også høye mediankonsentrasjoner for praseodym på 0,085-0,090 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for praseodym (0,0035 µg/l).

Figur 55a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for Praseodym i grunnvann fra fjellbrønner (0,16 µg/l). Laveste medianverdi (0,004 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,027 µg/l. Maksimumsverdien (4,3 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Telemark. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 41 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for praseodym i drikkevann.

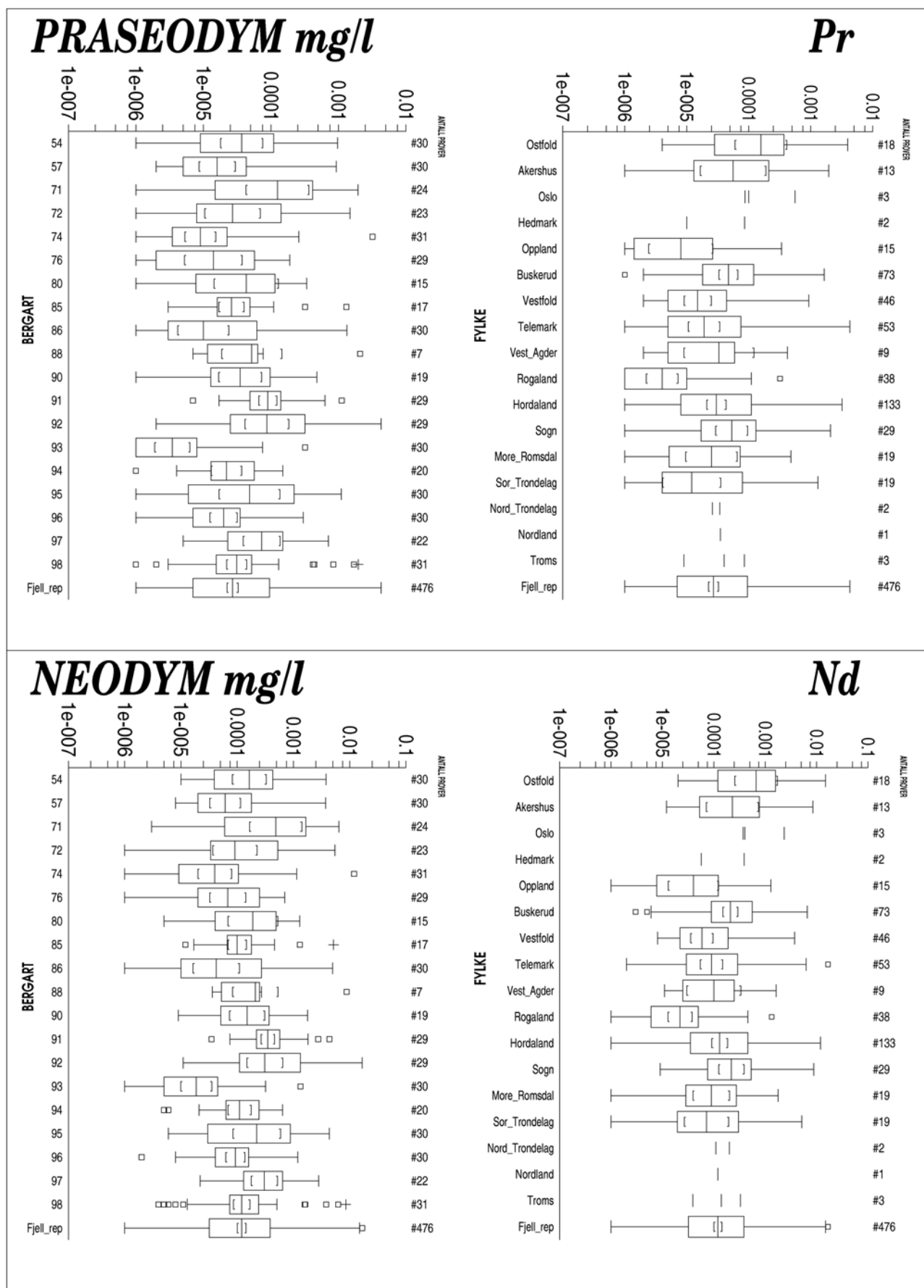
6.51.4 Neodym (Nd)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for neodym på 0,49 µg/l. Bergartsgruppene 91, 92 og 97 (se vedlegg) har også høye mediankonsentrasjoner for neodym på 0,31-0,35 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for neodym (0,019 µg/l).

Figur 56a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for neodym i grunnvann fra fjellbrønner (0,69 µg/l). Laveste medianverdi (0,022 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,12 µg/l. Maksimumsverdien (17 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Telemark. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 8 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for neodym i drikkevann.

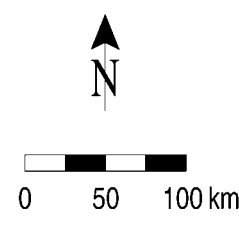
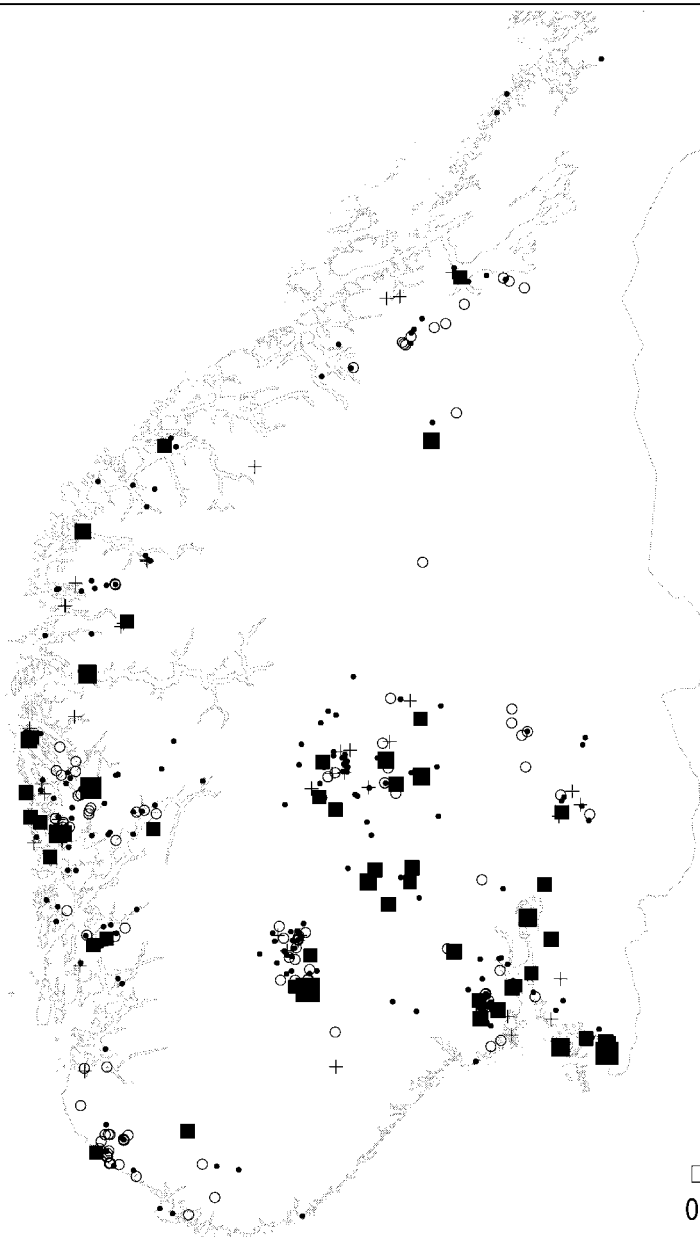


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

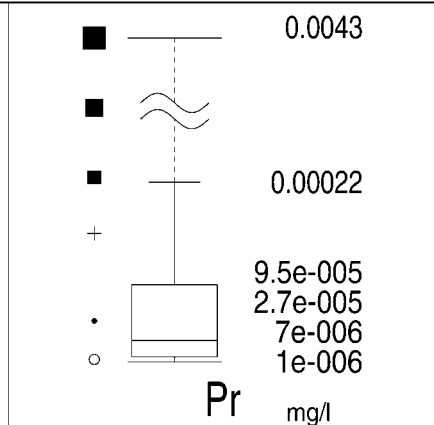
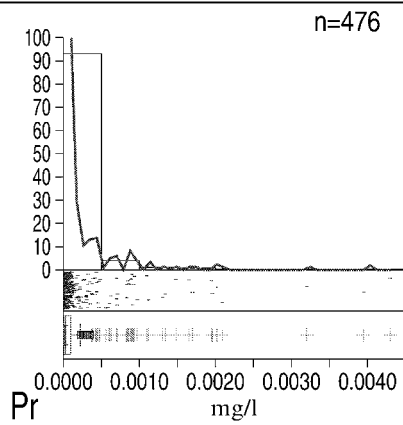
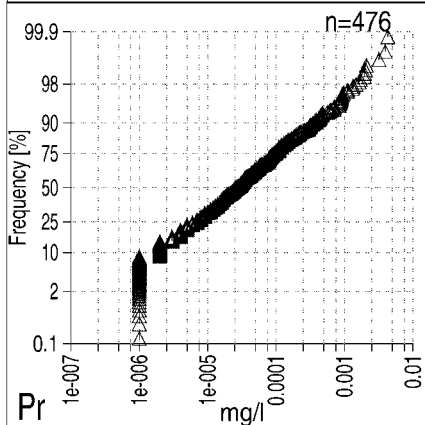
PRASEODYM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i sa

05/1999

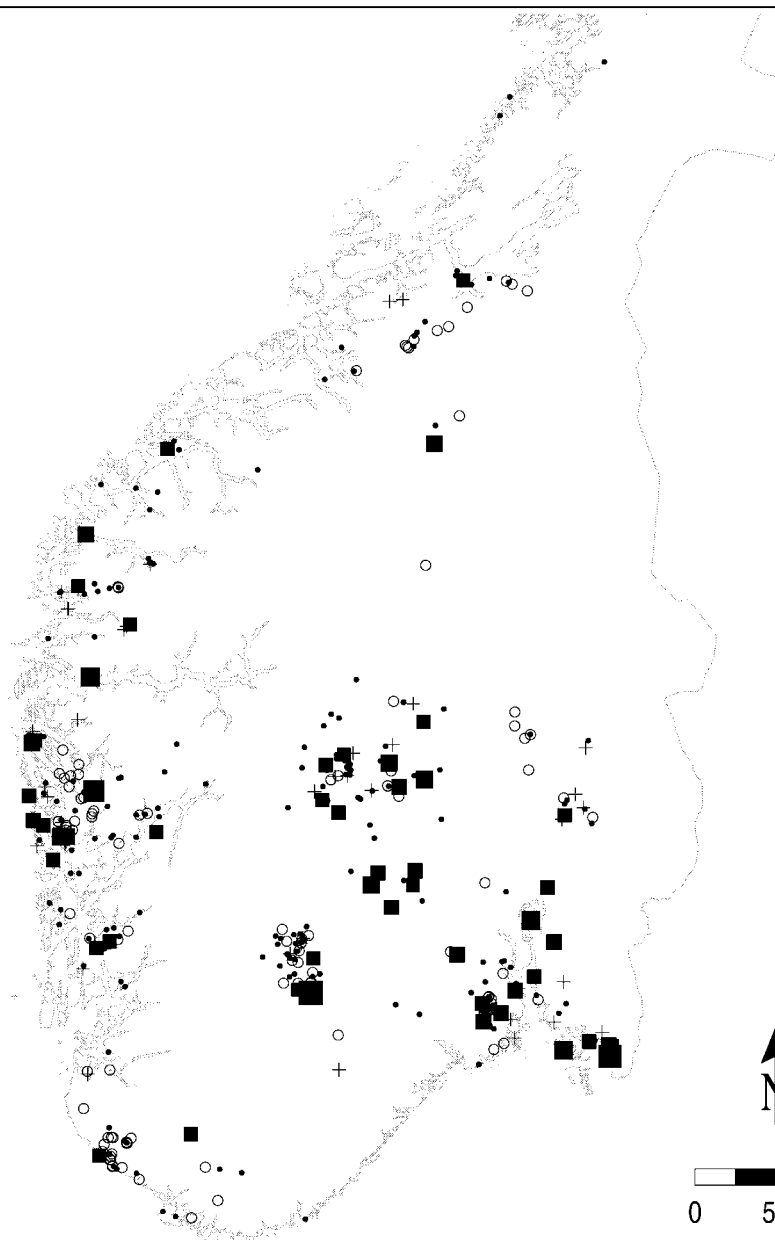


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

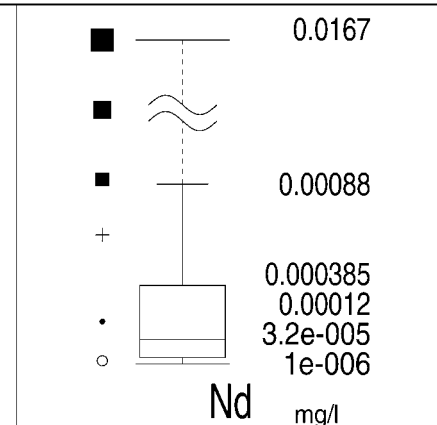
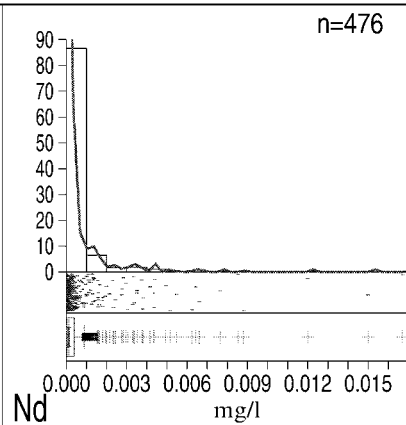
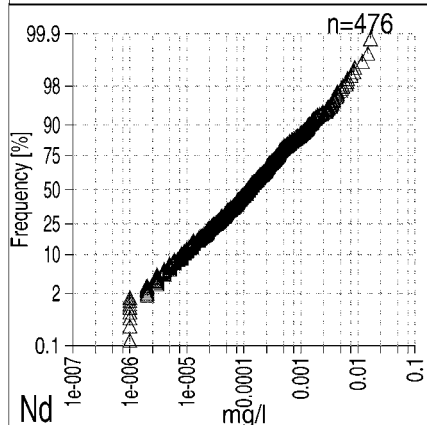
NEODYM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51.5 Samarium (Sm)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for samarium på 0,087 µg/l.

Bergartsgruppene 91 (gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt – Nordvestre gneisregion) og 92 (prekambrisk granitt) har også høye mediankonsentrasjoner for samarium på henholdsvis 0,064 og 0,062 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for samarium (0,004 µg/l).

Figur 57a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for samarium i grunnvann fra fjellbrønner (0,13 µg/l). Laveste medianverdi (0,004 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,022 µg/l. Maksimumsverdien (2,6 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Telemark. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 33 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for samarium i drikkevann.

6.51.6 Europium (Eu)

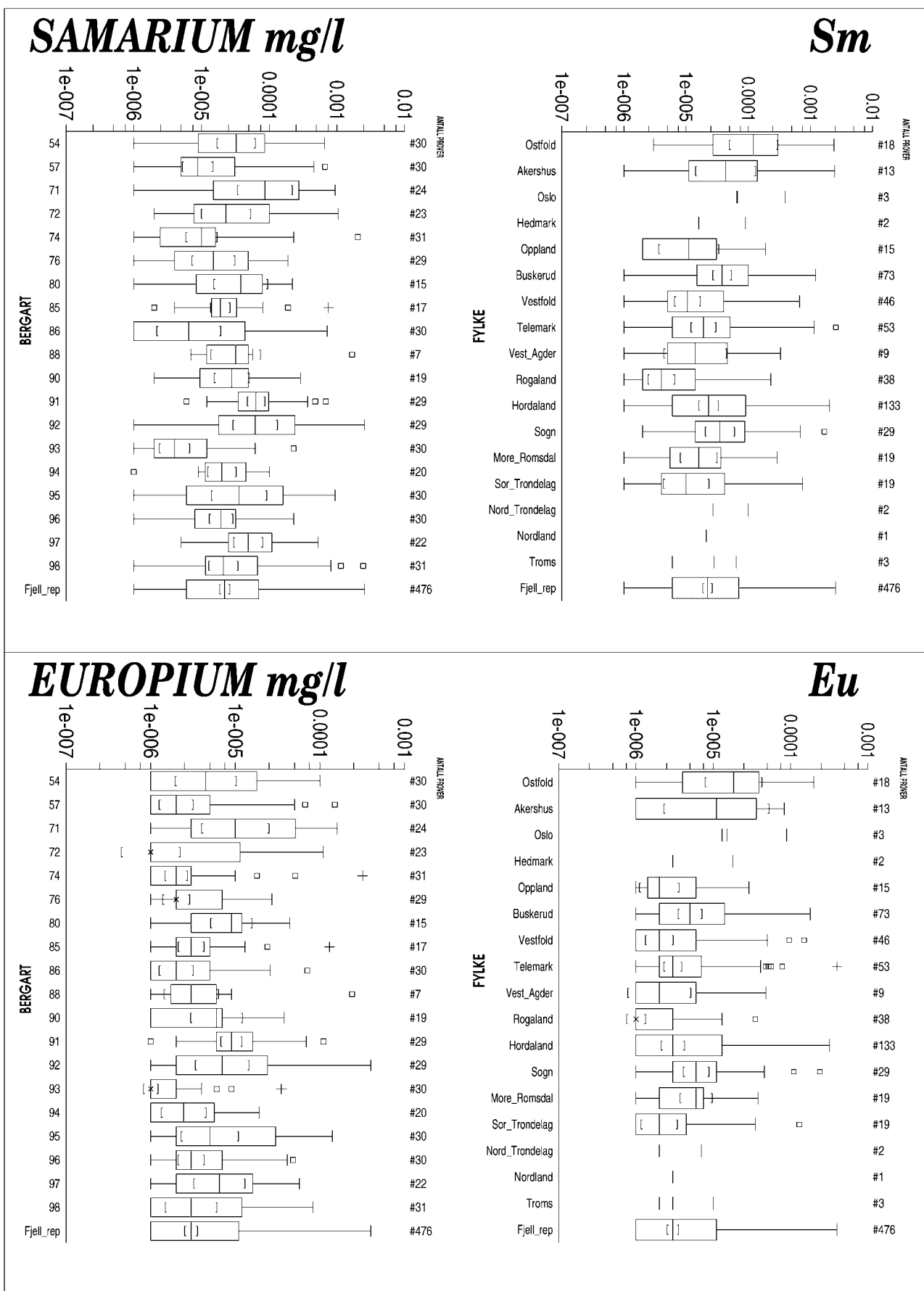
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for europium på 0,01 µg/l.

Bergartsgruppene 91 (gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt – Nordvestre gneisregion) har også en høy mediankonsentrasjon for europium på 0,009 µg/l. Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 72 (kaledonsk gabbro/dioritt/ultramafiske bergarter) har de laveste mediankonsentrasjonene for europium (under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l).

Figur 58a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for europium i grunnvann fra fjellbrønner (0,019 µg/l). Laveste medianverdi (under deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,003 µg/l. Maksimumsverdien (0,40 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 92 (prekambrisk granitt) i Telemark. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 128 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for europium i drikkevann.

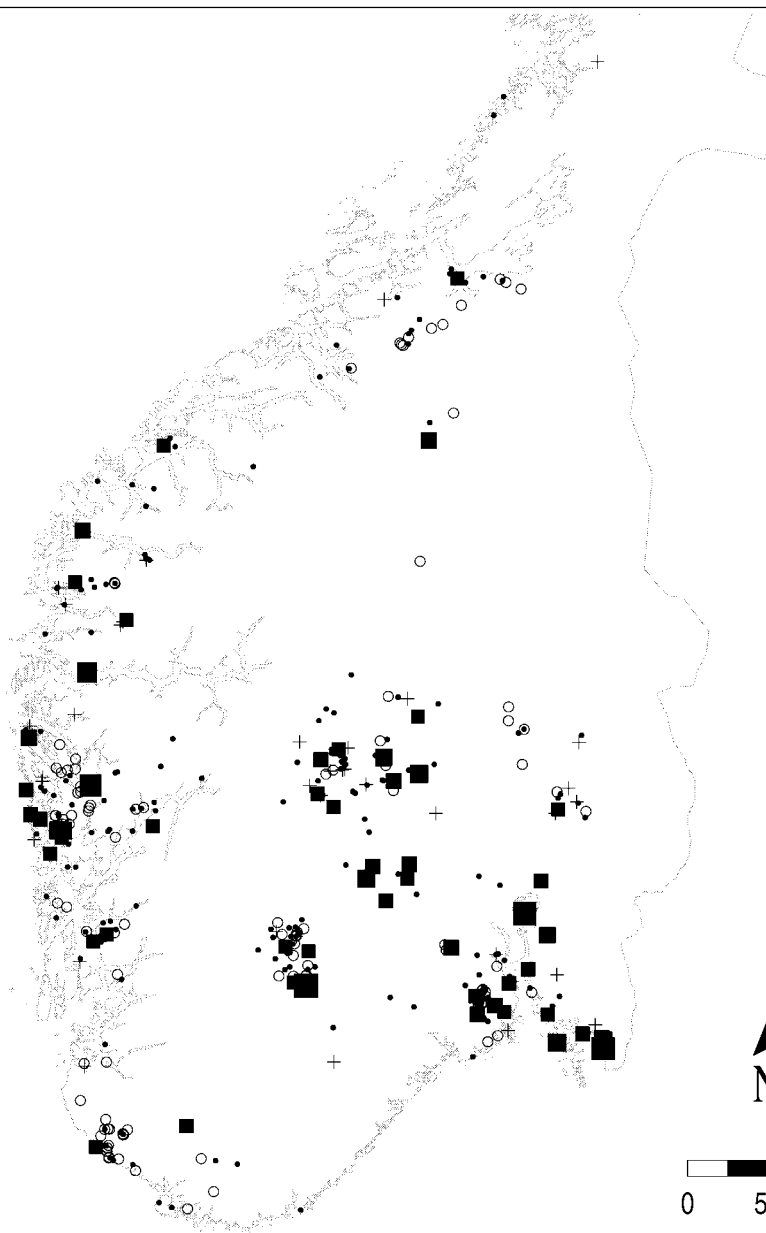


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

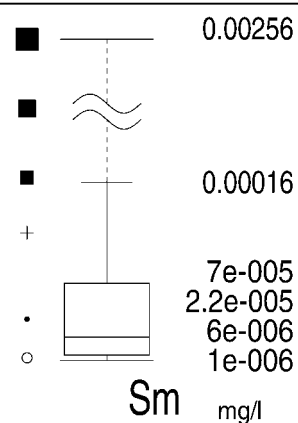
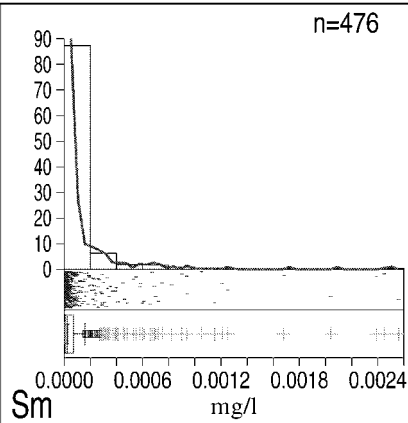
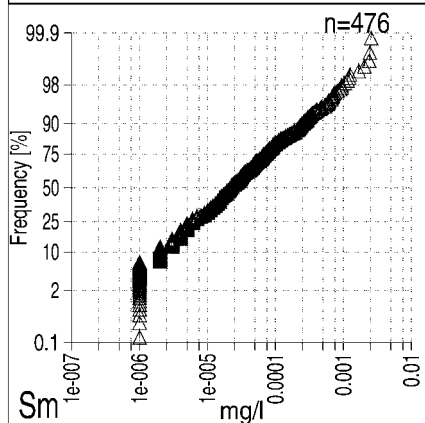
SAMARIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

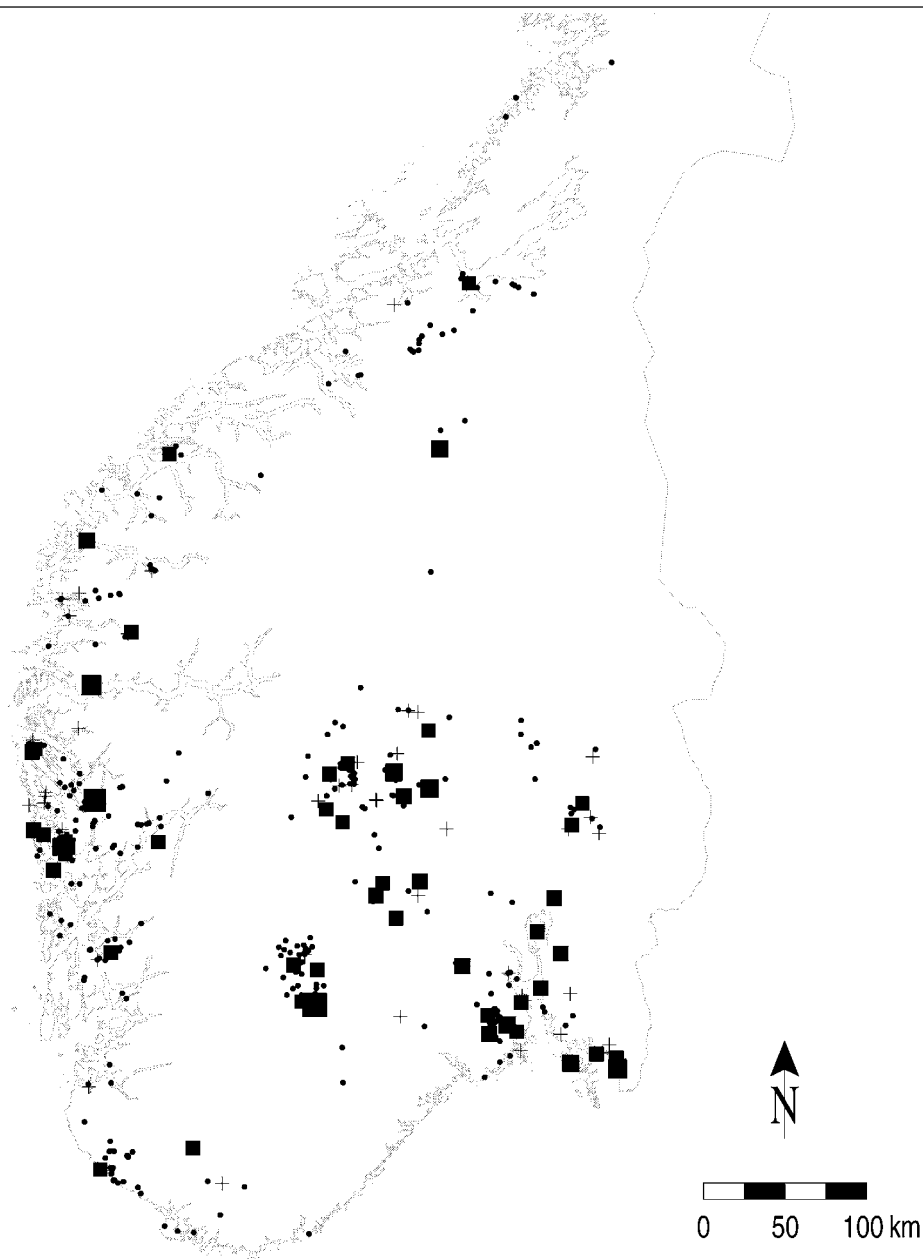


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

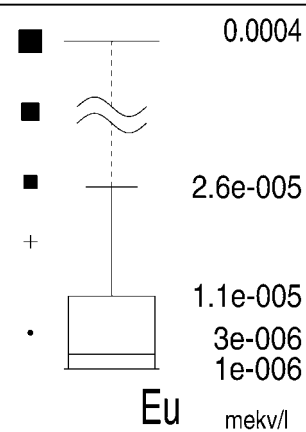
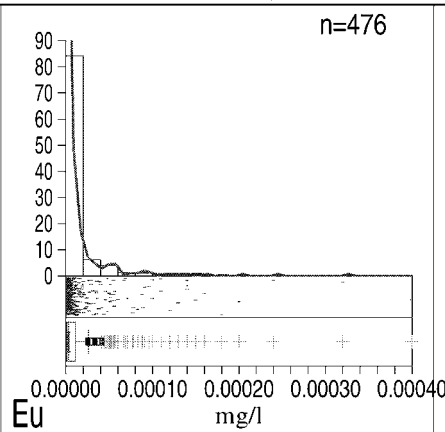
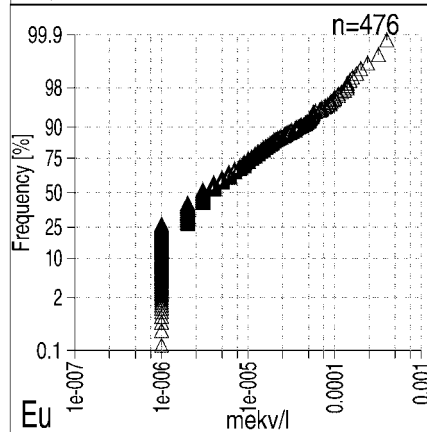
EUROPIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51.7 Gadolinium (Gd)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for gadolinium på 0,073 µg/l.

Bergartsgruppene 92 (prekambrisk granitt) og 91 (gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt – Nordvestre gneisregion) har også høye mediankonsentrasjoner for gadolinium på henholdsvis 0,065 og 0,060 µg/l. Bergartsgruppe 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) har den laveste mediankonsentrasjonen for gadolinium (0,0035 µg/l).

Figur 59a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for gadolinium i grunnvann fra fjellbrønner (0,13 µg/l). Laveste medianverdi (0,004 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,024 µg/l. Maksimumsverdien (2,3 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 47 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for gadolinium i drikkevann.

6.51.8 Terbium (Tb)

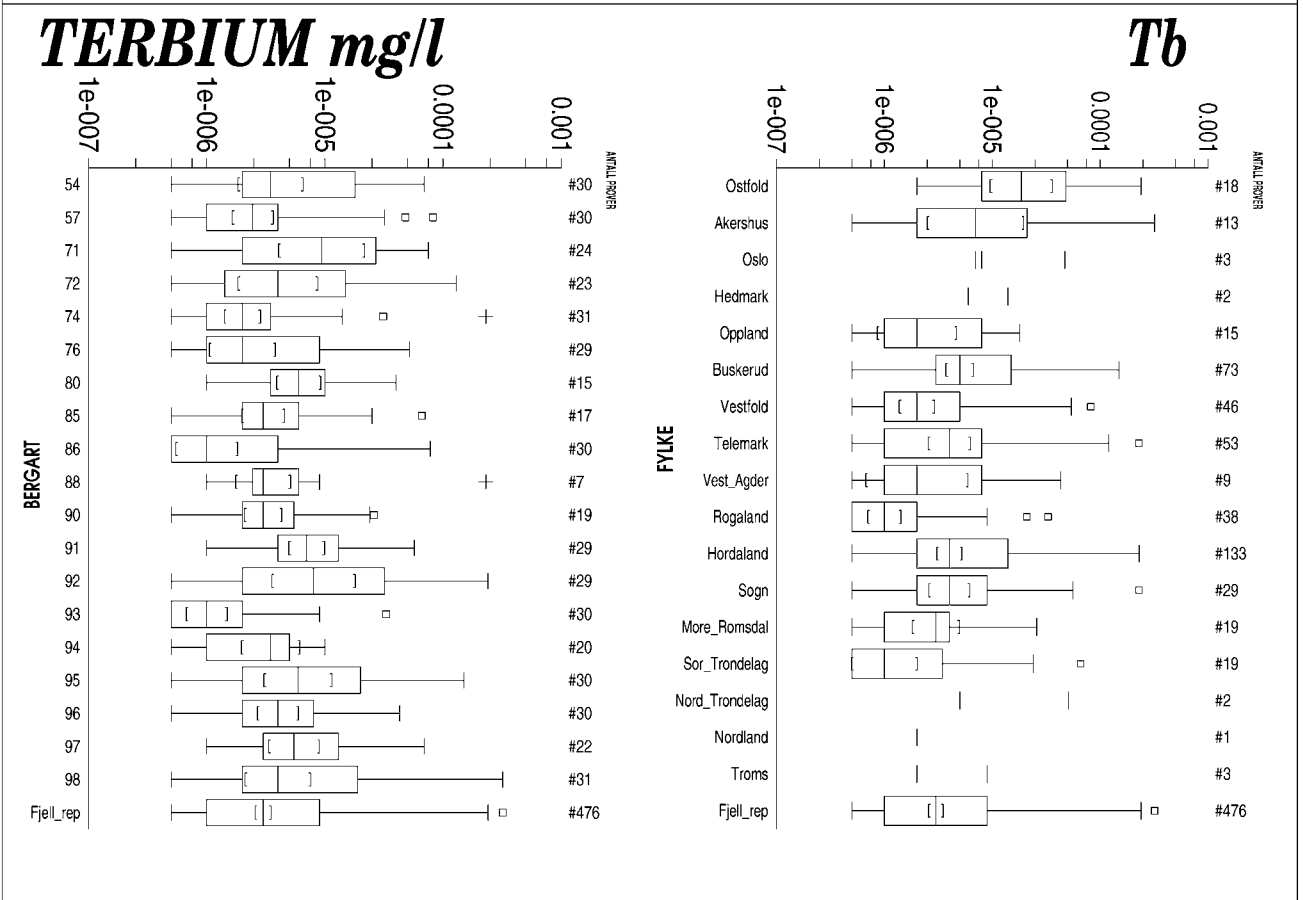
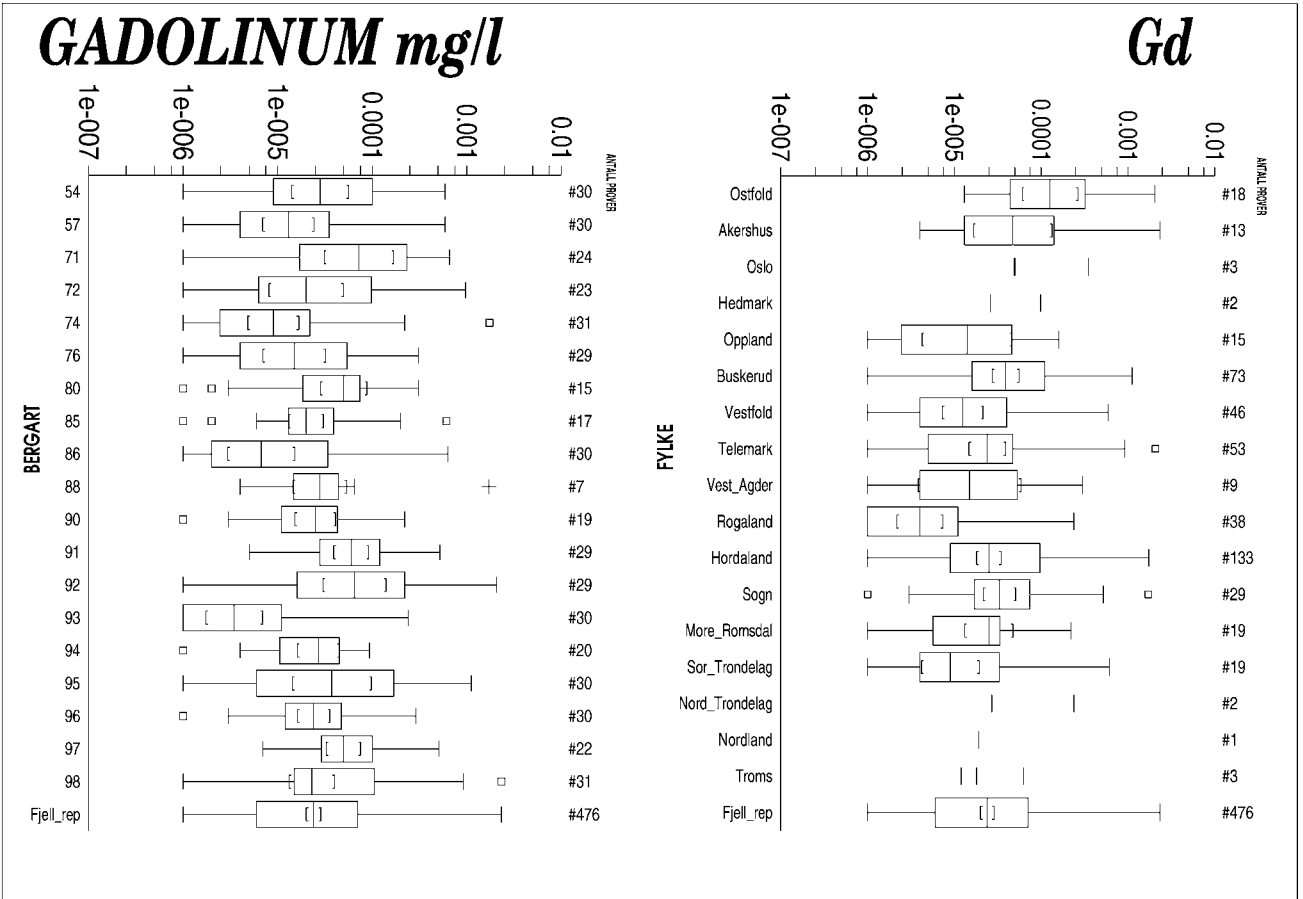
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppe 71 (kaledonsk granitt/tonalitt) den høyeste mediankonsentrasjonen for terbium på 0,01 µg/l.

Bergartsgruppene 92 (prekambrisk granitt) har også en høy mediankonsentrasjon for terbium på 0,008 µg/l. Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonene for terbium (lik deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l).

Figur 60a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for terbium i grunnvann fra fjellbrønner (0,019 µg/l). Laveste medianverdier (lik deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) forekommer i fylkene Rogaland og Sør-Trøndelag.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,003 µg/l. Maksimumsverdien (0,32 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i 72 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for terbium i drikkevann.

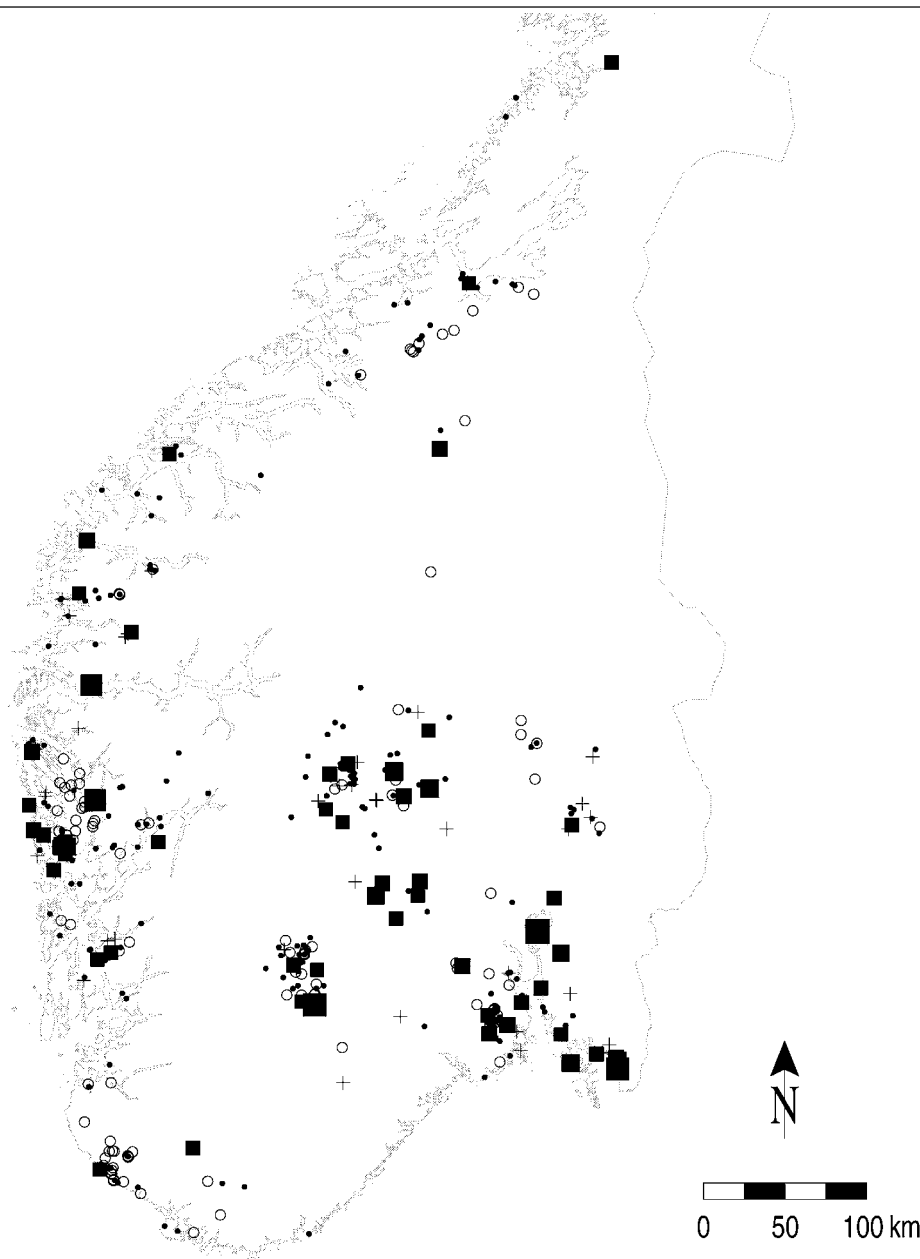


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

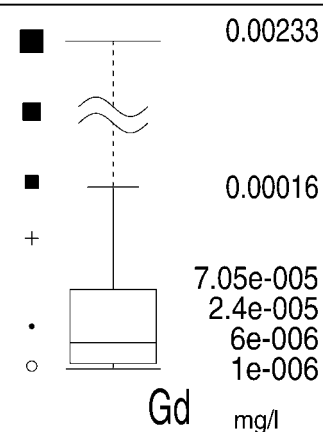
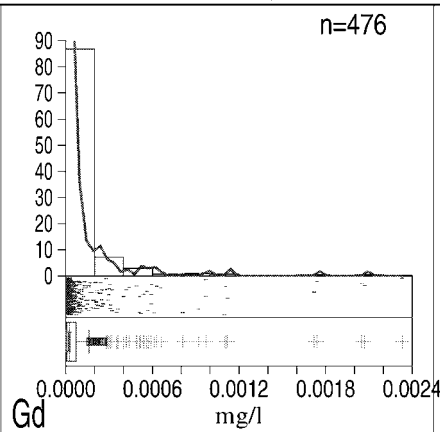
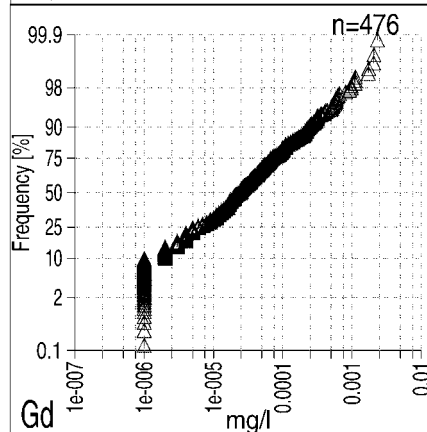
GADOLINIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

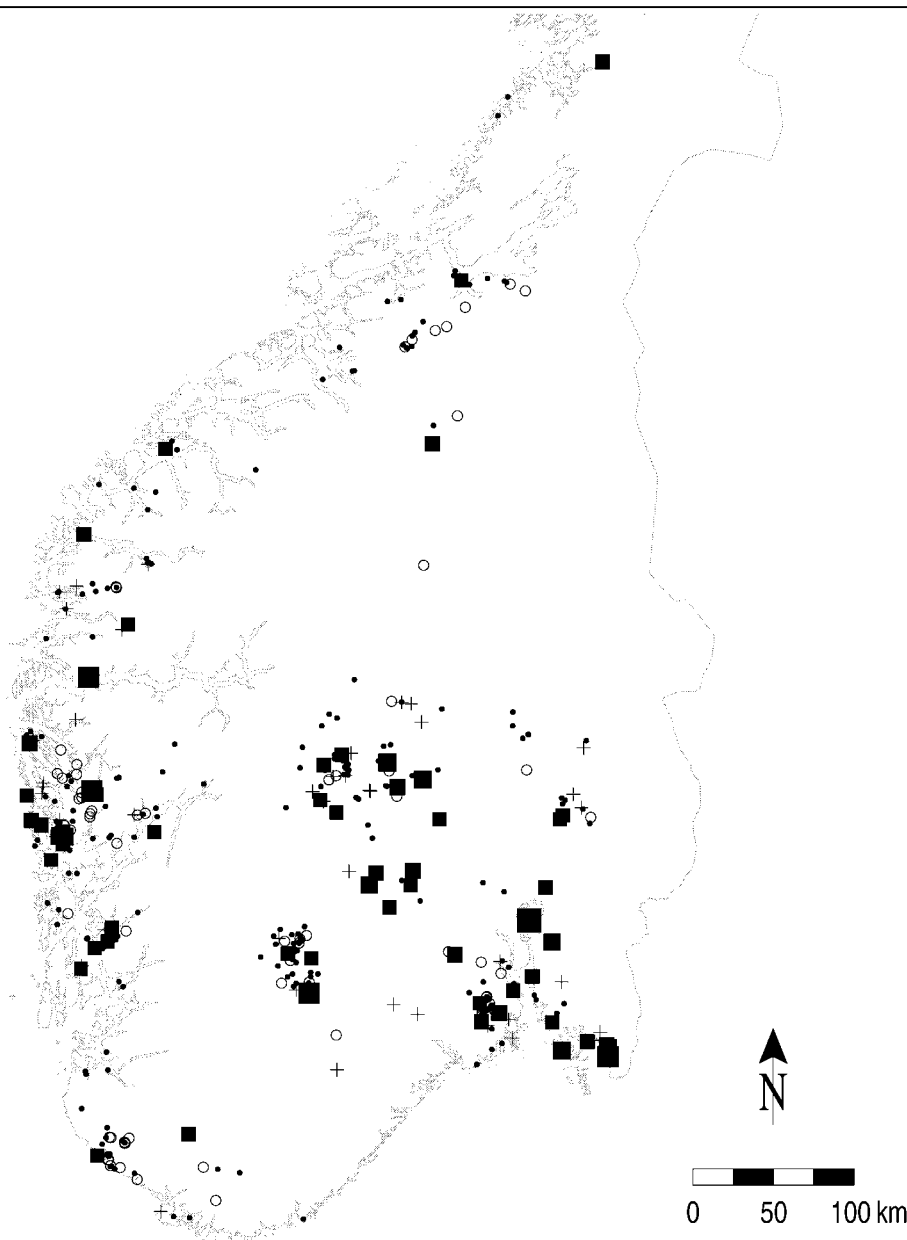


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

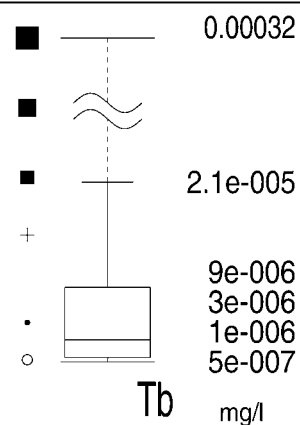
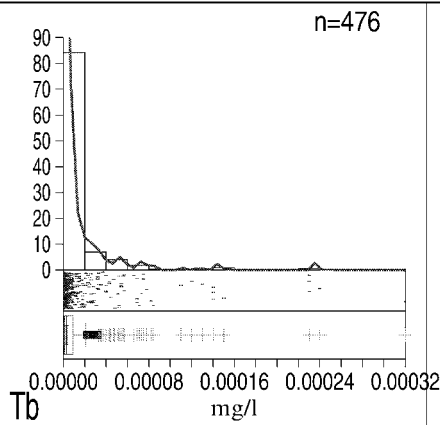
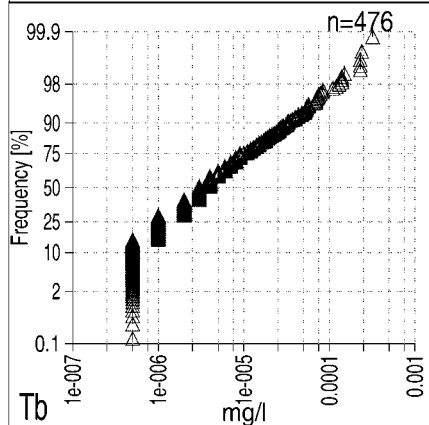
TERBIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51.9 Dysprosium (Dy)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 92, 97, 71, 95, 80 og 91 (se vedlegg 2) de høyeste mediankonsentrasjonene for dysprosium i området 0,038-0,047 µg/l. Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonene for dysprosium på henholdsvis 0,003 og 0,005 µg/l.

Figur 61a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for dysprosium i grunnvann fra fjellbrønner (0,12 µg/l). Laveste medianverdi (0,004 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,022 µg/l. Maksimumsverdien (1,5 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 32 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for dysprosium i drikkevann.

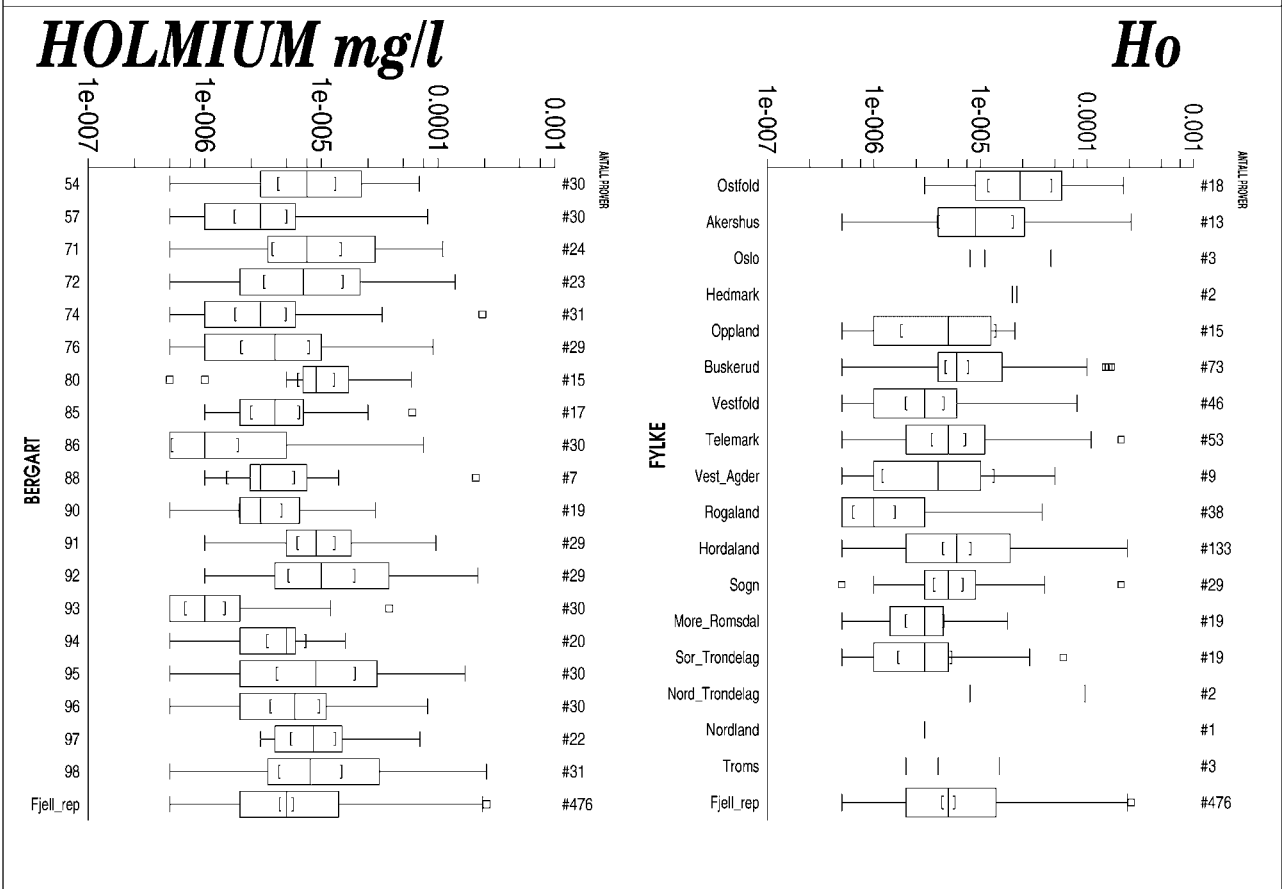
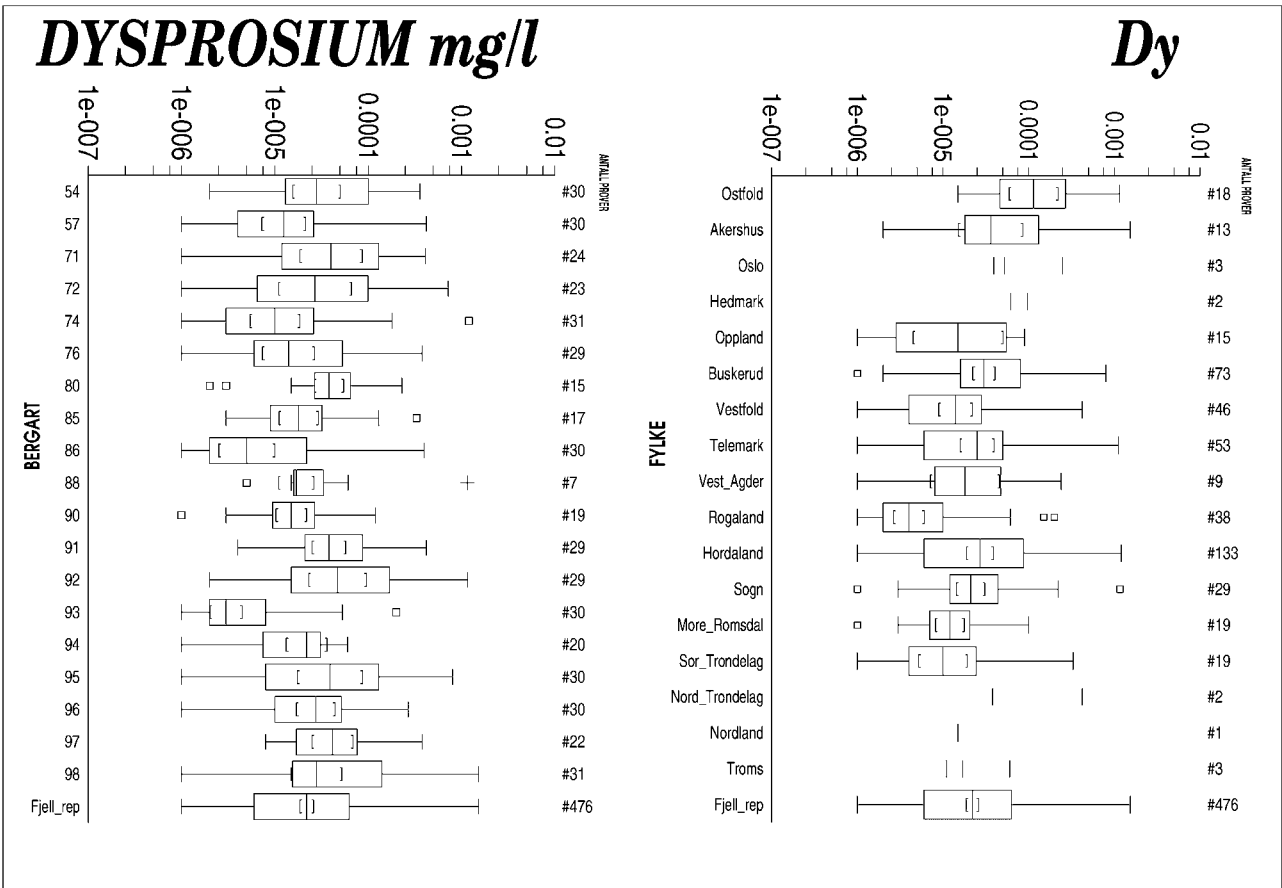
6.51.10 Holmium (Ho)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 80, 91, 92, 95, 97 og 98 (se vedlegg 2) de høyeste mediankonsentrasjonene for holmium i området 0,008-0,010 µg/l. Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonene for holmium (lik deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l).

Figur 62a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for holmium i grunnvann fra fjellbrønner (0,024 µg/l). Laveste medianverdi (0,001 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,005 µg/l. Maksimumsverdien (0,26 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i 52 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for holmium i drikkevann.

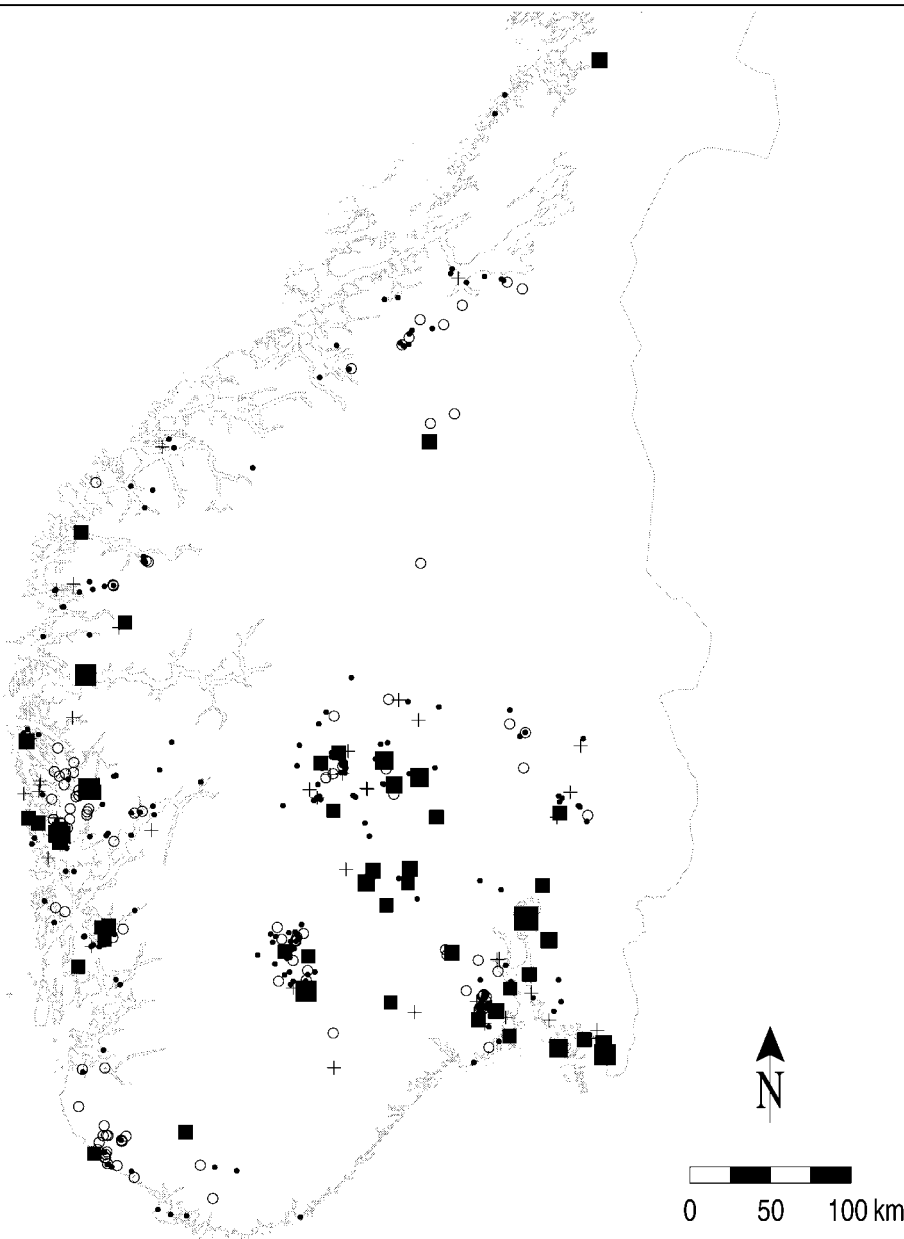


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

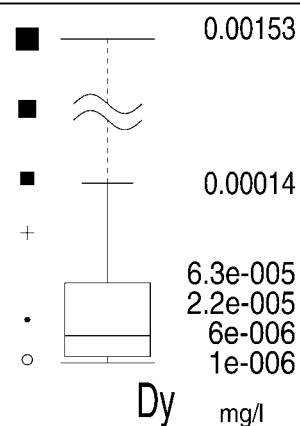
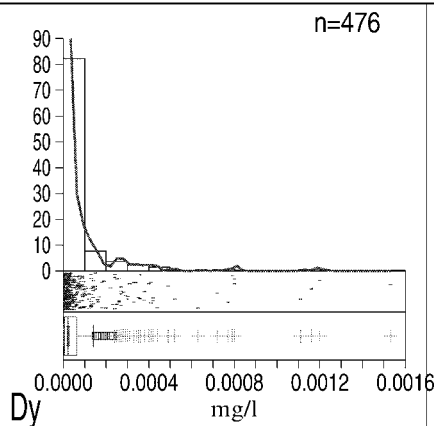
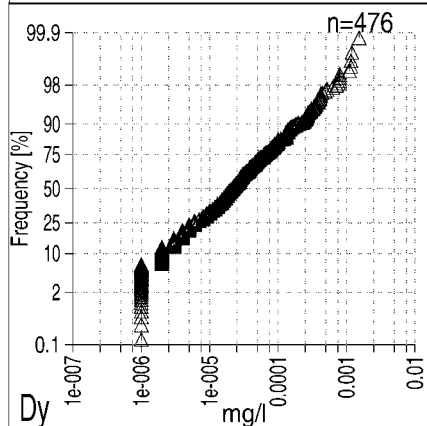
DYSPROSIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

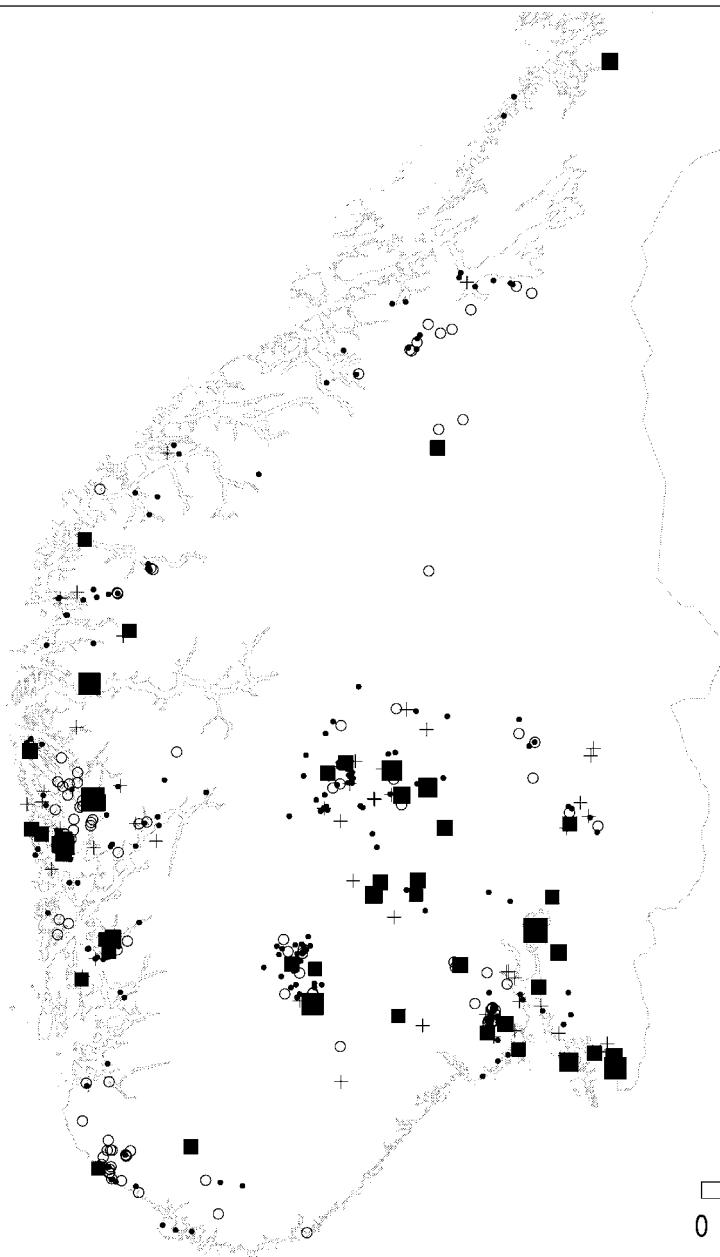


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

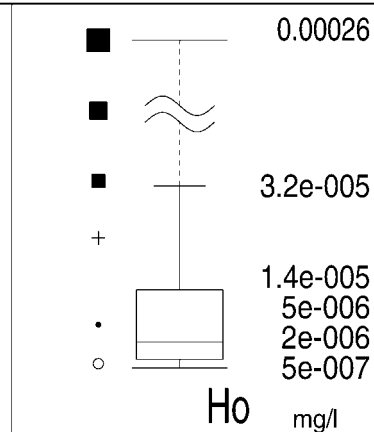
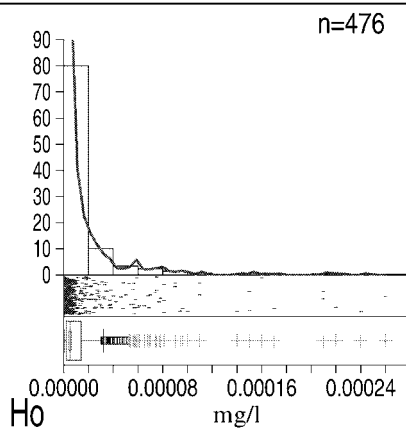
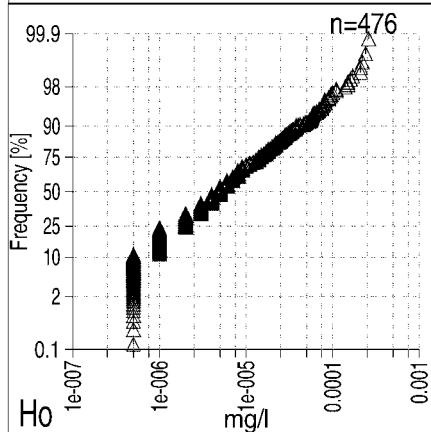
HOLMIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51.11 Erbium (Er)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 92, 91 og 95 (se vedlegg 2) de høyeste mediankonsentrasjonene for erbium i området 0,029-0,033 µg/l.

Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonene for erbium på henholdsvis 0,002 og 0,003 µg/l.

Figur 63a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for erbium i grunnvann fra fjellbrønner (0,077 µg/l). Laveste medianverdi (lik deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,015 µg/l. Maksimumsverdien (0,69 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 48 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for erbium i drikkevann.

6.51.12 Thulium (Tm)

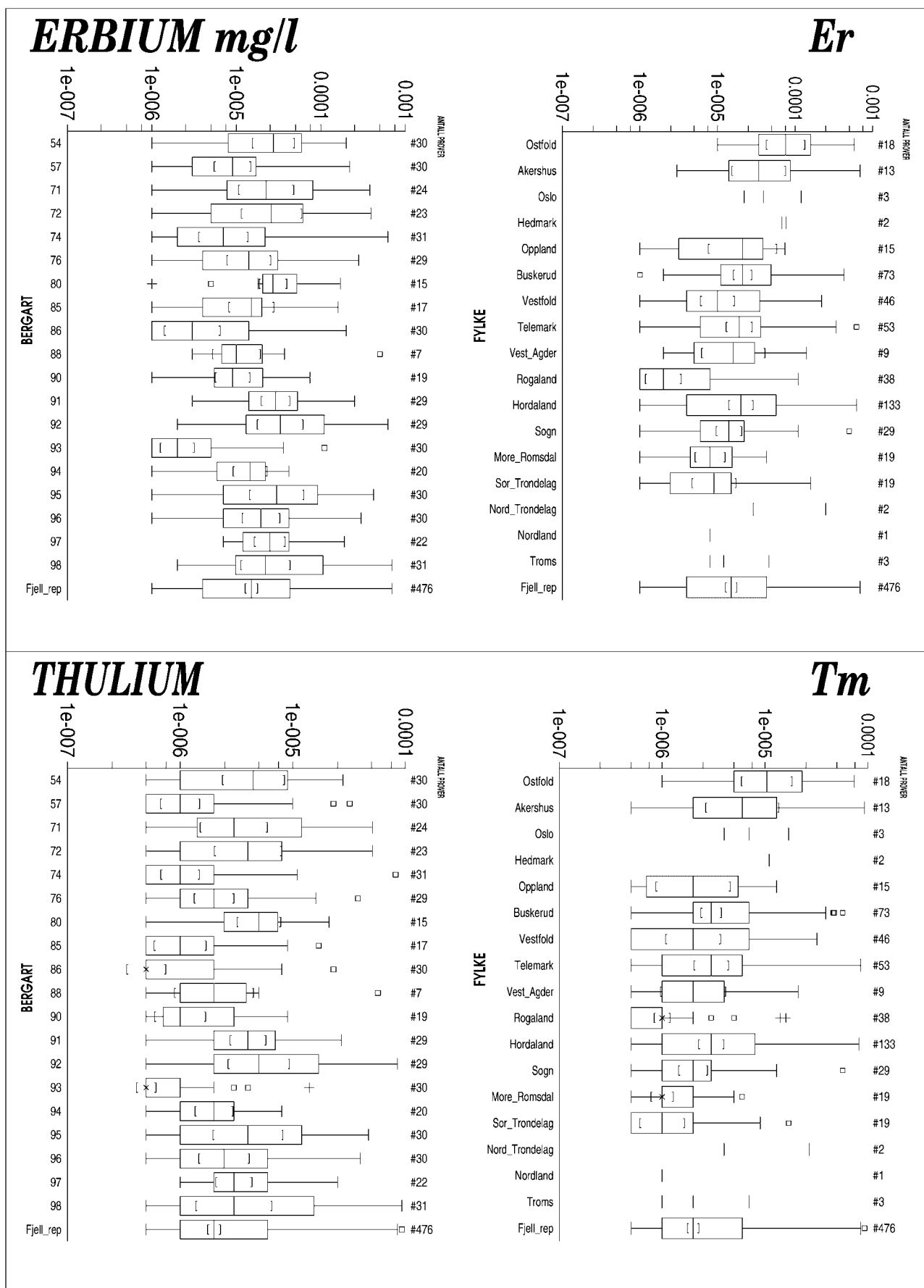
Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 92, 80 og 54 (se vedlegg 2) de høyeste mediankonsentrasjonene for thulium i området 0,0045-0,0050 µg/l.

Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonene for thulium under deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l.

Figur 64a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for thulium i grunnvann fra fjellbrønner (0,011 µg/l). Laveste medianverdi (lik deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) forekommer fylkene Rogaland, Møre og Romsdal og Sør Trøndelag.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,002 µg/l. Maksimumsverdien (0,093 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i 100 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for thulium i drikkevann.

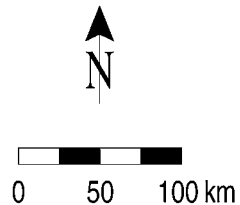
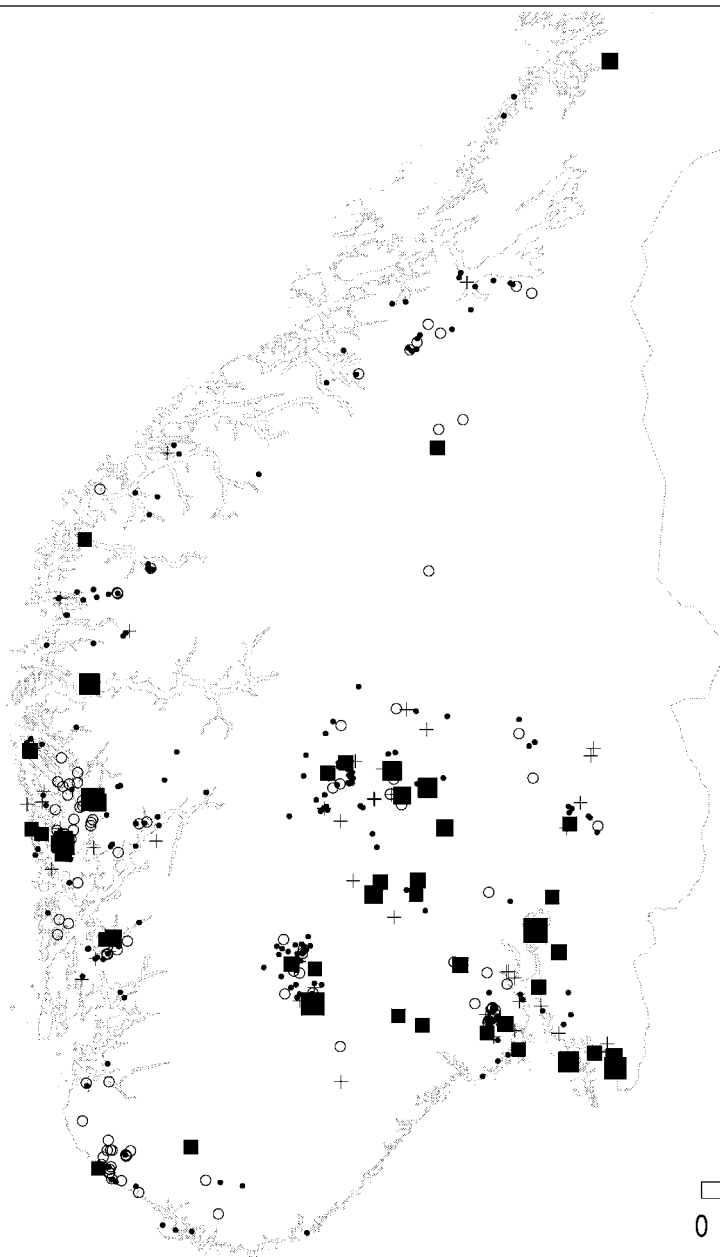


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

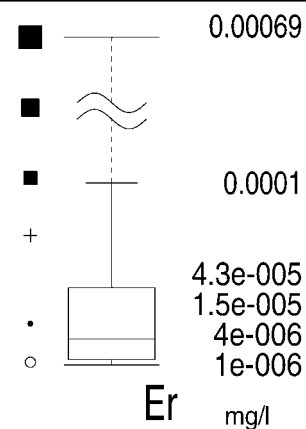
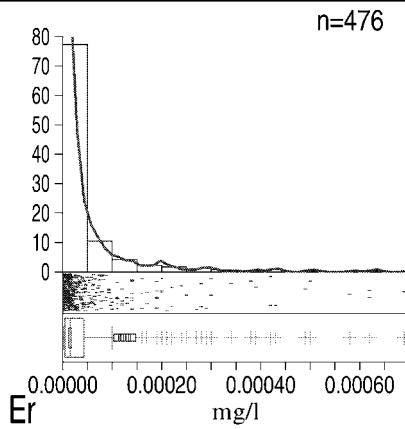
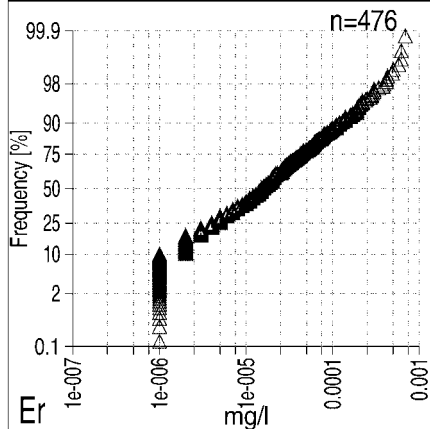
ERBIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

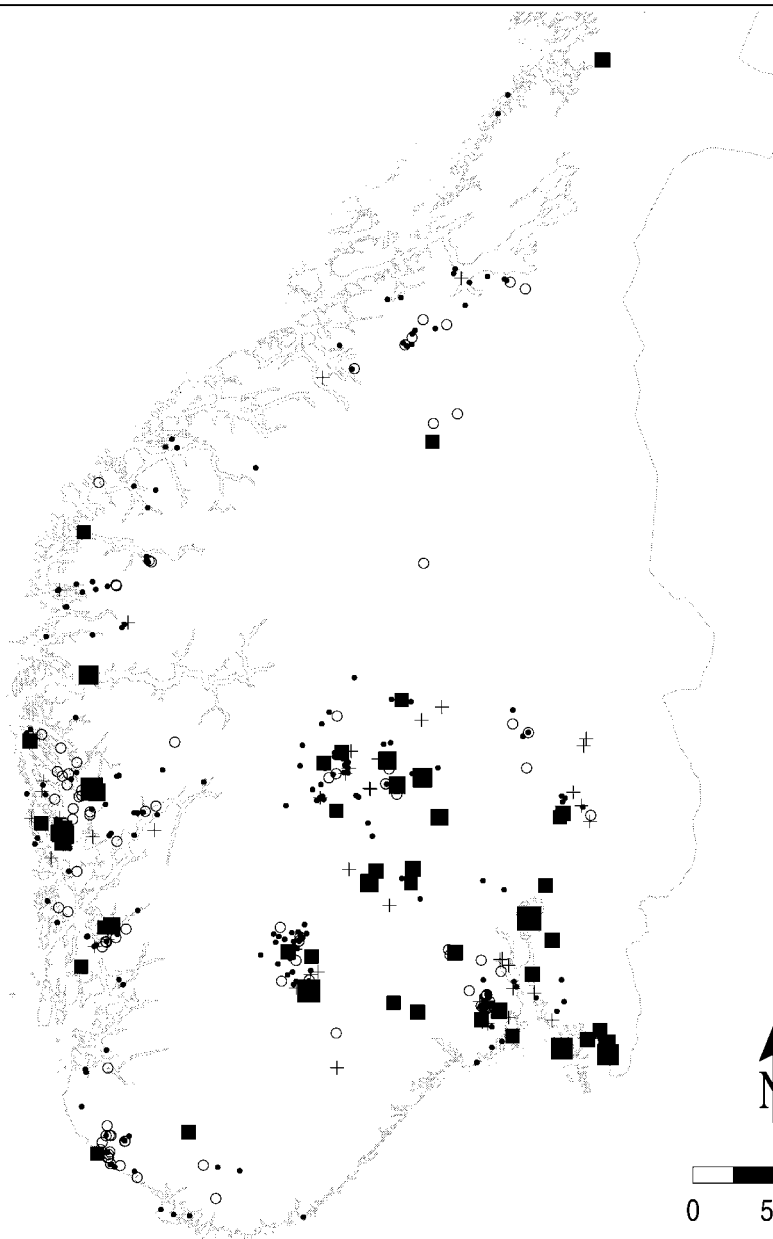


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

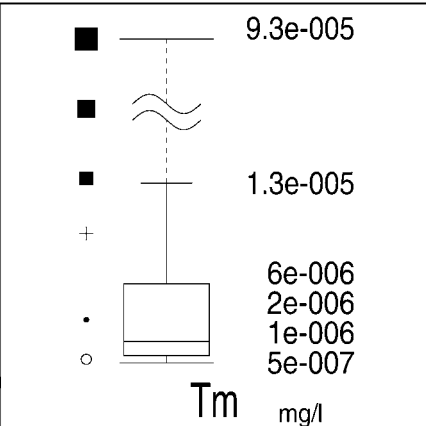
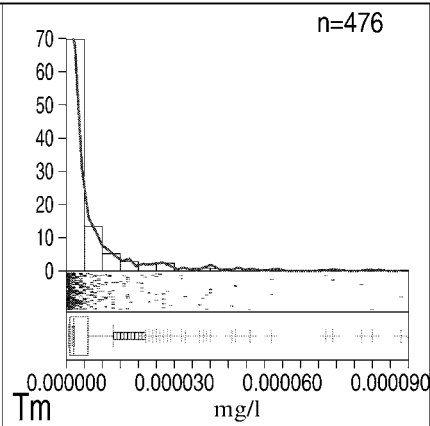
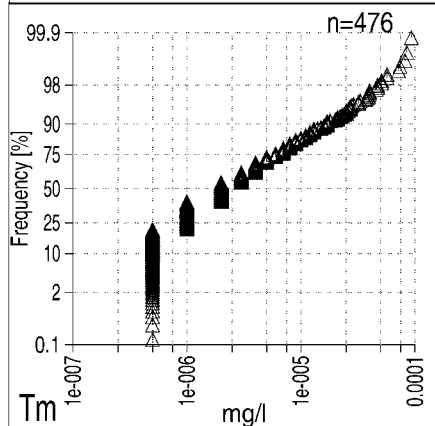
THULIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



6.51.13 Ytterbium (Yb)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 80, 92 og 72 (se vedlegg 2) de høyeste mediankonsentrasjonene for ytterbium i området 0,030-0,032 µg/l. Bergartsgruppene 93 (prekambrisk anortositt/charnockitt) og 86 (kaledonsk charnockitt/anortositt) har de laveste mediankonsentrasjonen for ytterbium på henholdsvis 0,003 og 0,004 µg/l.

Figur 65a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for ytterbium i grunnvann fra fjellbrønner (0,063 µg/l). Laveste medianverdi (0,003 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,013 µg/l. Maksimumsverdien (0,63 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,002 µg/l) finnes i 44 av de 476 fjellborehullene.

Det er ikke satt noen grense for ytterbium i drikkevann.

6.51.14 Lutetium (Lu)

Utfra de 476 utvalgte vannprøvene (Fjell_rep) har brønner i bergartsgruppene 92 (prekambrisk granitt) og 80 (senprekambrisk sandstein/skifer/konglomerat) de høyeste mediankonsentrasjonene for lutetium på 0,007 µg/l. Bergartsgruppene 93, 86, 74 og 57 (se vedlegg 2) har de laveste mediankonsentrasjonene for lutetium (lik deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l).

Figur 66a indikerer at Østfold fylke har den høyeste mediankonsentrasjon for Lutetium i grunnvann fra fjellbrønner (0,013 µg/l). Laveste medianverdi (lik deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) forekommer i Rogaland fylke.

Medianverdien for hele landet (Fjell_rep) er 0,003 µg/l. Maksimumsverdien (0,11 µg/l) kommer fra bergartsgruppe 98 (prekambrisk gneis/migmatitt/foliert granitt/amfibolitt) i Akershus. Minimumsverdien (mindre enn deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l) finnes i 73 av de 476 fjellborehullene.

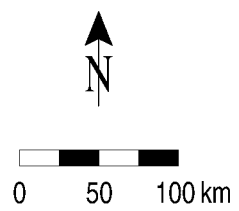
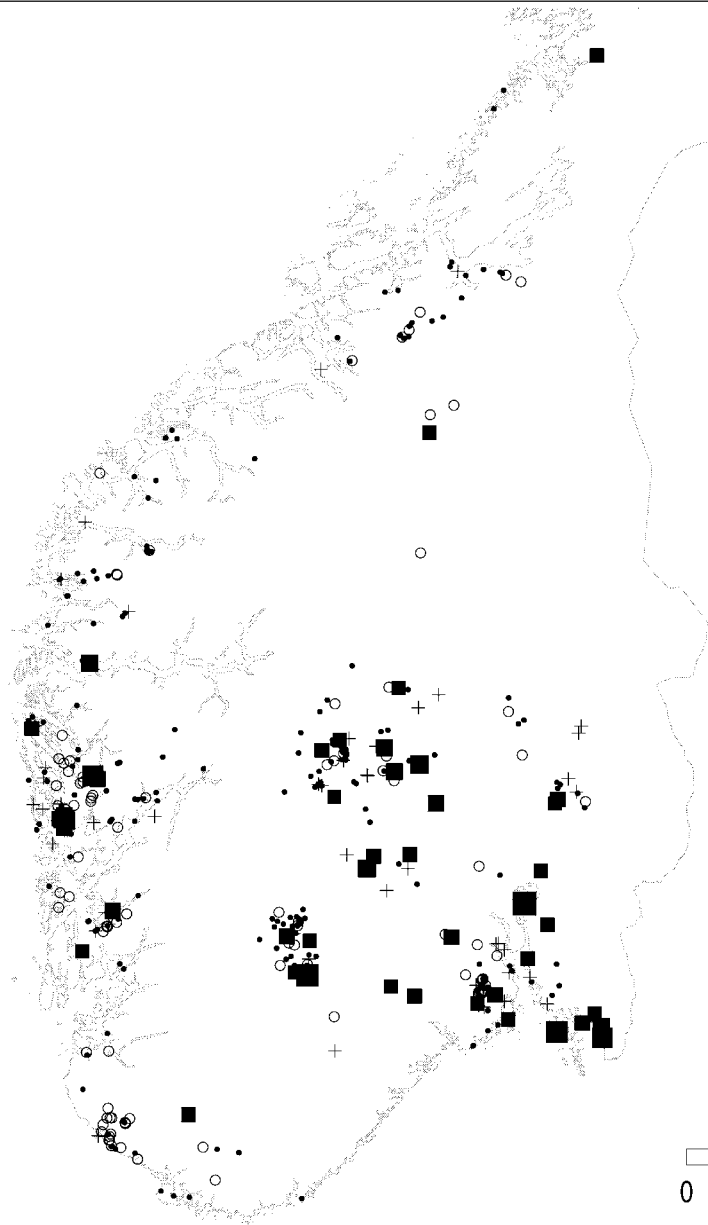
Det er ikke satt noen grense for lutetium i drikkevann.

NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

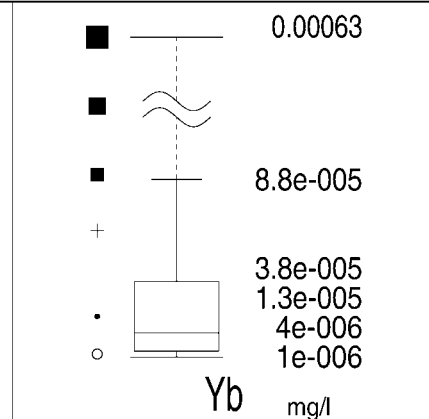
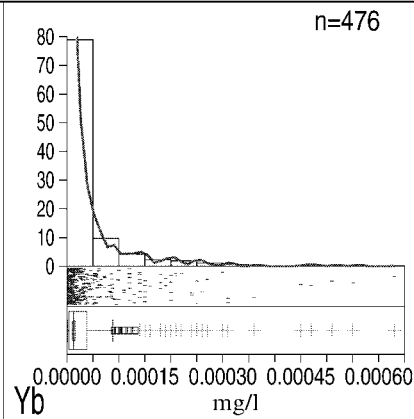
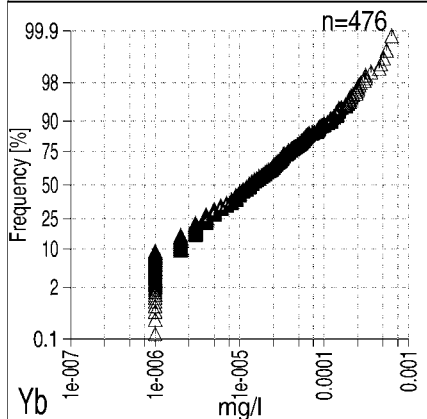
YTTERBIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999

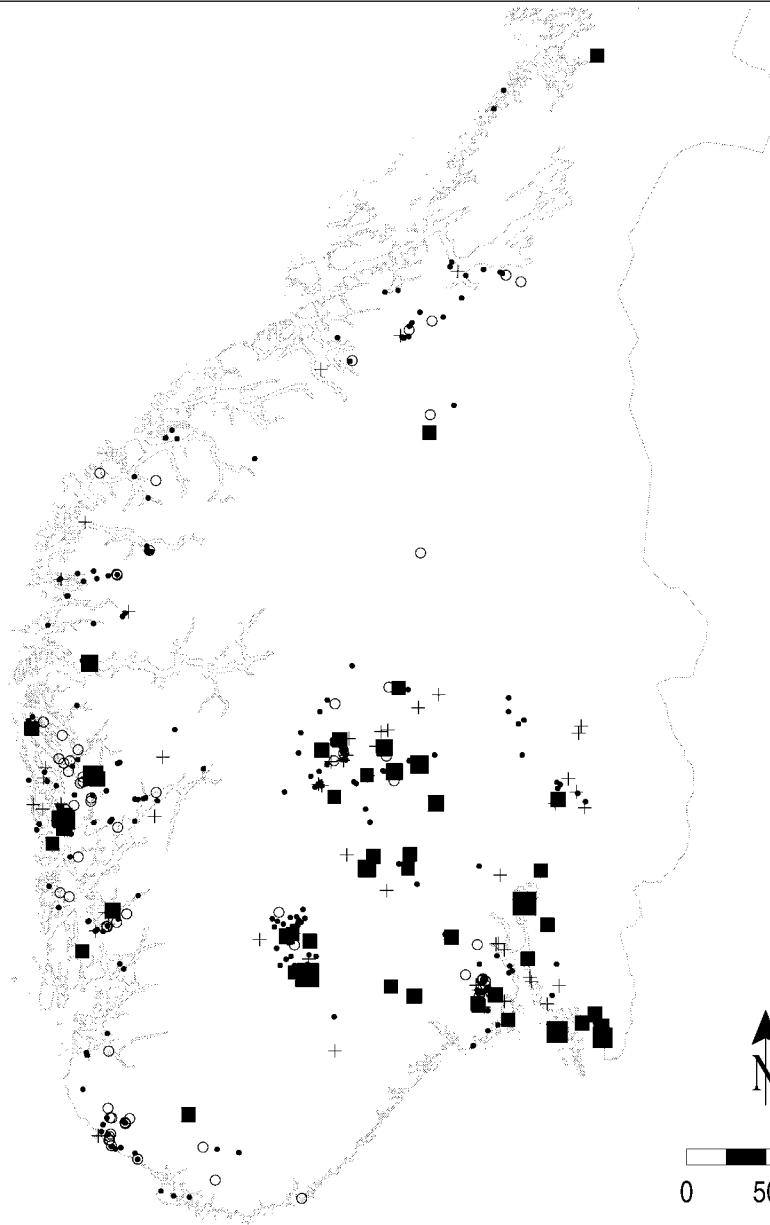


NORGE

Grunnvannskjemi i fjellbronner

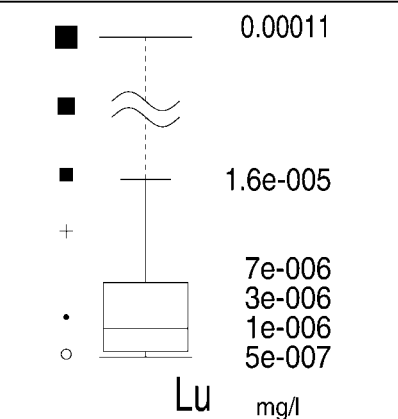
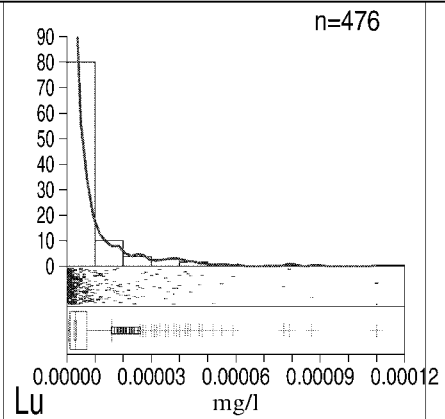
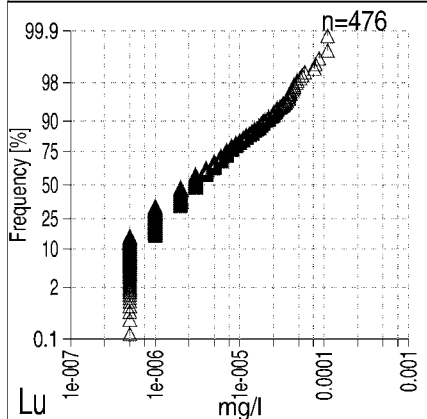
LUTETIUM

n=476



Norges geologiske undersøkelse og Statens stralevern i samarbeid med de kommunale næringsmiddeltilsyn.

05/1999



7. KONKLUSJONER

ICP-MS teknikken har svært lave deteksjonsgrenser for å bestemme konsentrasjonen av en lang rekke elementer i vann. Dette har nå gjort det mulig å analysere disse på en kostnadseffektiv måte. Fordi mange elementer vanligvis forekommer i vann i svært lave konsentrasjoner (sporelementer), har man foreløpig liten kunnskap om helseeffekten av langvarig inntak. Så lenge elementene i praksis ikke har kunnet bli analysert tidligere i de konsentrasjoner de har foreligget i grunnvann, har det heller ikke blitt satt drikkevannsgrenser selv i tilfeller der toksisitet har vært kjent eller antatt (f.eks. vanadium, antimon, beryllium og uran). Tabell 2 gir en oppsummering av medianverdier og maksimumsverdier av de undersøkte sporelementene i grunnvann fra borebrønner i fjell for det representative datasettet Fjell_rep.

Det ser ut til at konsentrasjonen av en lang rekke sporelementer (f.eks. As, Be, Cd, Hg, Th, Tl, U, Zr og sjeldne jordarter) i grunnvann er vesentlig bestemt av berggrunnsgeologien. Grunnstoffer som bor, brom og i mindre grad jod ser ut til å ha de høyeste konsentrasjonene i borebrønner ved kysten. De viser også korrelasjon med klorid, og er trolig stort sett av marin opprinnelse.

Konsentrasjonen i grunnvann av noen tungmetaller, som f.eks. kadmium, bly, nikkel og sink, er styrt av vannets pH. Konsentrasjonene viser en generelt synkende trend ved økende pH. Andre grunnstoff, som f.eks. arsen, molybden og wolfram, er også styrt av pH, men her er trenden motsatt (økende konsentrasjoner med minkende pH).

Tabell 3 sammenstiller resultatene av sammenlikning med gjeldende drikkevannsnormer. I de tilfeller der det ikke er satt noen grenser i Norge, er grenseverdier fra USA, Canada eller Russland benyttet. Der disse normene skiller seg vesentlig fra hverandre, er flere parallelle normer oppgitt. De store avvikene i drikkevannsgrenser (f.eks. uran og thallium) bekrefter at kunnskapene om den helsemessige betydningen av mange sporelementer i drikkevann ennå er begrenset.

Tabell 2: Median- og maksimumskonsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) for sporelementene i datasettet Fjell_rep (n=476), analysert med ICP-MS metoden.

Element	Median	Max.	Element	Median	Max.
Ag	< 0,002	0,034	Lu	0,003	0,11
Al	13	3600	Mn	15,7	3760
As	0,18	19	Mo	1,4	96
B	14	450	Nb	0,004	0,29
Ba	15	380	Nd	0,12	17
Be	0,012	6,6	Ni	0,53	390
Bi	< 0,001	3,2	Pb	0,36	26
Br	30	4000	Pr	0,027	4,3
Cd	0,017	8,1	Rb	2,6	33
Ce	0,11	28	Sb	0,033	8,0
Co	0,065	37	Se	0,20	21
Cr	0,14	8,9	Sm	0,022	2,6
Cs	0,096	19	Sn	0,008	46
Cu	16	500	Ta	0,002	0,037
Dy	0,022	1,5	Tb	0,003	0,32
Er	0,015	0,69	Te	< 0,005	0,075
Eu	0,003	0,40	Th	0,006	3,1
Fe	33,6	8590	Ti	0,59	500
Ga	0,013	2,6	Tl	0,007	0,25
Gd	0,024	2,3	Tm	0,002	0,093
Ge	0,017	1,5	U	2,5	750
Hf	0,004	0,19	V	0,24	14
Hg	0,018	0,13	W	0,071	66
Ho	0,005	0,26	Y	0,21	8,1
In	< 0,001	0,007	Yb	0,013	0,63
I	0,60	38	Zn	14	3600
La	0,10	19	Zr	0,018	7,7
Li	2,9	180			

Tabell 3 Oppsummering av andel fjellborebrønner (Fjell_rep) som overskrider de norske (når gitt), amerikanske eller russiske drikkevannsnormene for elementer av helsemessig betydning, på grunnlag av ICP-MS analyser

Element	Norm (µg/l)	Utenfor/total (n = 476)
Ag – Sølv	10 ^a	0/476
Al – Aluminium	200 ^a	38/476 (8 %)
As – Arsen	10 ^a	7/476 (1,5 %)
B – Bor	300 ^b	3/476 (0,6 %)
Ba – Barium	100 ^b	41/476 (9 %)
Be – Beryllium (USA norm)	4 ^c	1/476
Be (Russisk norm)	0,2 ^d	31/476 (7 %)
Bi – Vismuth	100 ^d	0/476
Br – Brom	200 ^d	20/476 (4 %)
Cd – Kadmium	5 ^a	1/476
Co – Kobolt	100 ^d	0/476
Cr – Krom	50 ^a	0/476
Cu – Kobber	300 ^a	6/476 (1,3%)
Hg – Kvikksølv	0,5 ^a	0/476
Li – Litium	30 ^d	7/476 (1,5 %)
Mo – Molybden	250 ^d	0/476
Nb – Niob	10 ^d	0/476
Ni – Nikkel	50 ^a	6/476 (1,3 %)
Pb – Bly	20 ^a	1/476
Sb – Antimon	10 ^a	0/476
Se – Selen	10 ^a	1/476
Te – Tellur	10 ^d	0/476
Tl – Thallium (USA norm)	2 ^c	0/476
Tl (Russisk norm)	0,1 ^d	2/476
U – Uran (USA norm)	20 ^c	85/476 (18%)
U (Kanadisk norm)	100 ^e	13/476 (3%)
U (Russisk norm)	1700 ^d	0/476
V – Vanadium	100 ^d	0/476
W – Wolfram	50 ^d	1/476
Zn – Zink	300 ^a	14/476 (3%)

^aHøyeste tillatte konsentrasjon (Sosial- og helsedepartementet, 1995)

^bVeiledende verdi (Sosial- og helsedepartementet, 1995)

^cHøyeste tillatte konsentrasjon i USA (Fetter, 1994, USEPA, 1999)

^dHøyeste tillatte konsentrasjon i Russland (Kirjuhin m. fl., 1993)

^eHøyeste tillatte konsentrasjon i Canada (Health Canada 1996)

For de fleste sporelementer som anses å ha helsemessig betydning ved forhøyede konsentrasjoner i drikkevann (Be, Tl, Cd, Pb, Ni, As og Sb) er det ingen eller få overskridelser av de gitte grenseverdiene. ICP-MS analysene av aluminiumkonsentrasjoner viser et betydelig antall (8%) overskridelser av de norske drikkevannsnormene på 0,2 mg/l. Dette er ca. dobbelt så mange overskridelser som de som ble funnet ved ICP-AES analyse av de samme prøvene (Banks m.fl. 1998bc). Den store forskjellen i resultater mellom analysemetodene, gjør at resultatene må brukes med ekstra stor forsiktighet.

Uran ser ut til å være den mest problematiske av de analyserte sporstoffene. Dersom en legger til grunn den amerikanske maksimalt tillatte konsentrasjon på 20 µg/l, gir 18 % av de undersøkte brønnene vann med for høye urankonsentrasjoner. Den litologiske fordelingen av uran (figur 47a) viser en del fellestrekk med to andre problematiske grunnstoff i grunnvann i fjell i Norge, nemlig radon og fluorid (og også beryllium, thorium og thallium) ved at de forekommer i forhøyede konsentrasjoner i granitter. Det bør imidlertid bemerkes at urankonsentrasjonene spenner over 4 tierpotenser selv innenfor gruppen av prekambriske granitter. Dersom en ser på hele datasettet, er spennet i urankonsentrasjoner nesten 7 tierpotenser. Det er derfor ikke mulig å forutsi urankonsentrasjonen i grunnvann på en gitt lokalitet før boring. Imidlertid er det mulig å beregne risikoen for å finne forhøyede konsentrasjoner av uran (dvs >20 µg/l) i en gitt litologi (25 % i gruppe 92, 40% i gruppe 71 og 52% i gruppe 72).

8. REFERANSER

- Asikainen, M. & Kahlos, H. (1979) Anomalously high concentrations of uranium, radium and radon in water from drilled wells in the Helsinki region. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 43, s. 1681-1686.
- Allard, B. (1995) Groundwater. I: Salbu, B. & Steinnes, E. (red.) Trace Elements in Natural Waters. CRC Press, Boca Raton, 151-176.
- Banks, D., Reimann, C., Røyset, O., Skarphagen, H. and Sæther, O.M. (1995a) Natural concentrations of major and trace elements in some Norwegian bedrock groundwaters. *Applied Geochemistry* 10, 1994, s. 1-16.
- Banks, D. Røyset, O., Strand, T. & Skarphagen, H. (1995b) Radioelement (U, Th, Rn) concentrations in Norwegian bedrock groundwaters. *Environmental Geology*, 25, s. 165-180.
- Banks, D., Midtgård, Aa.K., Morland, G., Reimann, C., Strand, T., Bjorvatn, K. & Siewers, U. (1998a) Is Pure Groundwater Safe to Drink? Natural "Contamination" of Groundwater in Norway. *Geology Today* 14, s. 105-113.
- Banks, D., Frengstad, B., Krog, J.R., Midtgård, Aa.K., Strand, T., & Lind, B. (1998b) Kjemisk kvalitet av grunnvann i fast fjell i Norge. NGU rapport 98.058.

- Banks, D., Frengstad, B., Midtgård, Aa.K., Krog, J.R. & Strand, T. (1998c) The chemistry of Norwegian groundwaters. I. The distribution of radon, major and minor elements in 1604 crystalline bedrock groundwaters. *The Science of the Total Environment* 222, s. 71-91.
- Banks, D., Midtgård, Aa.K., Frengstad, B., Krog, J.R., & Strand, T. (1998d) The chemistry of Norwegian groundwaters. II. The chemistry of 72 groundwaters from Quaternary sedimentary aquifers. *The Science of the Total Environment* 222, s. 93-105.
- Banks, D., Hall, G., Reimann, C. & Siewers, U. (1999) Distribution of rare earth elements in crystalline bedrock groundwaters: Oslo and Bergen regions, Norway. *Applied Geochemistry* 14, s. 27-39.
- Chang, L.W. & Cockerham, L. (1994) Toxic metals in the environment. I: Cockerham, L.G. & Shane, B. (red.) *Basic environmental toxicology*. CRC Press, Inc., 627 s.
- Doherty, J. (1996) An analysis of the chemical composition of bedrock groundwaters in Trøndelag, Norway, with special consideration of Rn and U and Norwegian drinking water limits. Thesis for the degree of B.Sc.(Hons.) in Environmental Geology, University of Sheffield, U.K., 110 s. + vedlegg.
- Edmunds, W.M., Smedley, P.L. (1996) Groundwater chemistry and health: an overview. *In* Appleton, J.D., Fuge, R. & McCall, G.J.H. (eds) *Environmental geochemistry and Health*. Geological Society Special Publication 113, s. 91-105.
- Fetter, C.W. (1994) *Applied Hydrogeology*, 3rd edition. Macmillan, 691 s.
- Health Canada (1996) *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*, 6th edition. Authority of the Minister of Health. 96-EHD-196, 90 s.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (1984) *Trace elements in soils and plants*. GRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- Kirjukhin, V.A., Korotkov, A.N. & Shvartsev, S.L. (1993) *Gidrogeohimija [Hydrogeokjemi – på russisk]*, Nedra, Moskva, 383 s.
- Leeden, van der, F., Troise, F.L. & Todd, D.K. (1990) *The water encyclopedia*. Second edition. Lewis Publishers, Chelsea, USA, 924 s.
- Milvy, P. & Cothorn, C.R. (1990) Scientific background for the development of regulations for radionuclides in drinking water. *In* Cothorn, C.R., Rebers, P. (eds.) *Radon, Radium and Uranium in Drinking Water*. Chelsea, Michigan; Lewis Publishes, s. 1-16.
- Morland, G., Reimann, C., Strand, T., Skarphagen, H., Banks, D., Bjorvatn, K., Hall, G.E.M. & Siewers, U. (1997) The hydrogeochemistry of Norwegian bedrock groundwater - selected parameters (pH, F⁻, Rn, U,Th, B, Na, Ca) in samples from Vestfold and Hordaland, Norway. *NGU Bulletin* 432, s. 103-117.
- NGU-Lab. (1997) NGU-SD 3.1:ICP-AES analyse (32 kationer), 2. utg. *In*: NGU-Labs Kvalitetssystem, Gruppe 3: Vannanalyse. Faggruppe for laboratorier, Norges geologiske undersøkelse.
- Reimann, C., Hall, G.E.M., Siewers, U., Bjorvatn, K., Morland, G., Skarphagen, H. & Strand, T. (1996) Radon, fluoride and 62 elements as determined by ICP-MS in 145 Norwegian hard rock groundwater samples. *Science of the Total Environment* 192, s. 1-19.

- Reimann, C. & de Caritat, P. (1998) *Chemical Elements in the Environment*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 398 s.
- Reimann, C., Äyräs, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., Caritat, P. de, Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J. H., Jæger, Ø., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V., Räisänen, M.L., Strand, T., & Volden, T. (1998) *Environmental geochemical atlas of the Central Barents region*. Norges geologiske undersøkelse, 745 s.
- Reimann, C., Siewers, U., Skarphagen, H. & Banks, D. (1999) Influence of filtration on concentrations and correlation of 62 elements analysed on crystalline bedrock groundwater samples by ICP-MS techniques. *Science of the Total Environment* 234, s. 155-173.
- SIFF (1987) *Kvalitetsnormer for drikkevann. Veiledningshefte G2*. Statens institutt for Folkehelse.
- Sigmond, E.M.O. (1992) *Berggrunnskart, Norge med havområder. Målestokk 1:3 millioner*, Norges geologiske undersøkelse.
- Sosial- og helsedepartementet (1995) *Forskrifter om vannforsyning og drikkevann m.m. Nr. 68. I-9/95*.
- Statens strålevern (1995) *Anbefalte tiltaksnivåer for radon i bo- og arbeidsmiljø, Strålevernhefte nr. 5*.
- Statens strålevern (1996) *Radon i inne-luft. Helserisiko, målinger og mot-tiltak. Strålevernhefte nr. 9*.
- Strand, T. & Lind, B. (1992) *Radon in tap water from drilled wells in Norway. Proceedings International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology, 22-25/9/92, Minneapolis, USA*.
- Sæther, O.M., Reimann, C., Hilmo, B.O. & Taushani, E. (1995) Chemical composition of hard- and soft-rock groundwaters from central Norway with special consideration of fluoride and Norwegian drinking water limits. *Environmental Geology* 26, s. 147-156.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1999) *National Primary Drinking Water Regulations*. <http://www.epa.gov/OGWDW/>
- WHO (1993) *World Health Organisation, Regional Office for Europe, Report EUR/ICP/CEH 108(A)*.

Nedre deteksjonsgrense for de analyserte elementene

1 µg/l - Al.

0,1 µg/l – I, Br.

0,01 µg/l - As, B, Cr, Mn, Se, Ti, V.

0,005 µg/l - Ba, Be, Co, Hg, Ni, Pb, Te.

0,002 µg/l – Ag, Cd, Ce, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, La, Li, Mo, Nb, Nd, Pr, Rb, Sb, Sm, Sn,
Ta, Tl, W, Y, Yb, Zr.

0,001 µg/l - Bi, Cs, Ho, In, Lu, Tb, Th, Tm, U.

Koder for bergartsgrupper som er representert

- 54 Dyp- og gangbergarter av permisk alder (Oslofeltet).
- 57 Vulkanske og stedvis sedimentære bergarter av karbon/permisk alder (Oslofeltet).
- 71 Granitt til tonalitt i den kaledonske fjellkjede.
- 72 Gabbro, dioritt og ultramafiske bergarter i den kaledonske fjellkjede.
- 74 Omdannede sedimentære bergarter av kambrosilurisk alder (Kaledonske fjellkjede og Oslofeltet).
- 76 Grønnstein, grønnskifer, amfibolitt og meta-andesitt av kambrosilurisk alder.
- 80 Sandstein, skifer og konglomerat av senprekambrisk alder.
- 85 Prekambriske bergarter av forskjellig opprinnelse i de kaledonske dekkene.
- 86 Charnockittiske til anortosittiske bergarter i den kaledonske fjellkjede.
- 88 Amfibolitt og gneis av prekambrisk alder.
- 90 Omdannede sedimentære og vulkanske bergarter samt gneis av prekambrisk alder.
- 91 Gneis, migmatitt, foliert granitt og amfibolitt av prekambrisk alder (Nordvestre gneisregion).
- 92 Stedegen granitt til tonalitt av prekambrisk alder.
- 93 Stedegen charnockitt til anortositt av prekambrisk alder.
- 94 Stedegen gabbro, amfibolitt og ultramafiske bergarter av prekambrisk alder.
- 95 Metasandstein, glimmerskifer, konglomerat og gneis av prekambrisk alder.
- 96 Metabasalt, meta-andesitt og amfibolitt av prekambrisk alder.
- 97 Metaryolitt og metaryodacitt av prekambrisk alder.
- 98 Gneis, migmatitt, foliert granitt og amfibolitt av prekambrisk alder.