

Sporelementer i drikkevann i Nord-Trøndelag

Ingrid Husby

Kjemi

Innlevert: mai 2014

Hovedveileder: Trond Peder Flaten, IKJ

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min mastergrad i naturmiljø- og analytisk kjemi ved Norges teknisk- og naturvitenskapelige universitet, NTNU. Jeg vil takke min veileder Trond Peder Flaten for gode råd og tilbakemeldinger underveis i dette arbeidet. Videre vil jeg takke Syverin Lierhagen ved institutt for kjemi som har utført analysene, og kommet med gode råd til bearbeiding av analyseresultatene.

En stor takk rettes til vannverkseiere i Nord-Trøndelag som har vært behjelpelig med selve prøvetakingen, og også en takk til Mattilsynet og de ulike distriktskontorene i Trøndelag som har vært behjelpelig med opplysninger om vannverk og vannkilder i Nord-Trøndelag.

Til slutt vil jeg takke familie og venner som har vært støttende og kommet med oppmuntringer underveis, og en spesiell takk til de som leste igjennom oppgaven og ga tilbakemeldinger. Og sist, men ikke minst vil jeg takke alle mine medstudenter som har fylt studietiden med mange gode minner, og som har vært til god støtte i lunsjpauser og utallige kaffepauser.

Trondheim mai 2014

Ingrid Husby

Sammendrag

Denne masteroppgaven ble skrevet med utgangspunkt i HUNT, Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag, som er en del av satsningsområdet til NTNU. Målet har vært å fremskaffe data for innholdet av et stort antall grunnstoffer i drikkevannet til flertallet av befolkningen i Nord-Trøndelag. Dataene vil bli gjort tilgjengelig og tilrettelagt i så stor grad som mulig for videre bruk i ulike prosjekter i HUNT. Undersøkelsen er en grundig kartlegging av drikkevannskjemien i Nord-Trøndelag. Prøvene har blitt analysert med HR-ICP-MS, som på grunn av sine lave deteksjonsgrenser gir data for sporelementer som i liten grad har vært bestemt i drikkevann tidligere. Det har også vært et mål å forsøke og forklare variasjoner i konsentrasjoner av grunnstoff ut i fra berggrunnsgeologi, avstand fra kysten og andre faktorer.

For at denne undersøkelsen skulle bli så representativ som mulig for befolkningen i Nord-Trøndelag ble det bestemt å inkludere alle vannverk som forsyner 100 personer eller flere. Prøvetakingen ble gjennomført ved å sende ut prøverør og prøvetakingsinstrukser til vannverkseierne, som sendte prøvene tilbake. Vannprøvene ble tatt av ferdig behandlet drikkevann, og selve prøvetakingen ble utført første gang våren 2013 og andre gang høsten 2013.

Generelt viser resultatene for de fleste grunnstoffene i denne undersøkelsen at konsentrasjonen er høyere i prøver fra grunnvann enn fra overflatevann, og at det er liten variasjon mellom prøvene fra vår og høst. 47 av de 55 grunnstoffene det ble analysert for har konsentrasjoner over deteksjonsgrensen i over 80% av prøvene. 53 av vannverkene (93%) har bløtt eller meget bløtt vann. Av de sjeldne jordartene er det størst forekomst av lantan, cerium, praseodym og neodym, og innholdet er betydelig høyere i grunnvann enn i overflatevann. Innholdet av natrium, klor og brom er høyest i vannkilder med nærhet til kysten. Både kobber, sink, jern, bly og nikkel har stor variasjon i konsentrasjonen i prøvene fra vår og høst for noen av vannverkene. Det er sannsynlig at utlekking fra ledningsnett og armatur og mulig lang henstandstid i rørene kan være kilder som bidrar til disse forskjellene. Noen vannverk skiller seg ut ved at de har blant de høyeste konsentrasjonene for mange av grunnstoffene.

Svært få av prøvene hadde konsentrasjoner av grunnstoff som overskrider grenseverdiene i drikkevannsforskriften, og de fleste prøvene har god margin opp til grenseverdiene. Ut i fra de uorganiske parameterne er drikkevannskvaliteten i Nord-Trøndelag generelt god. Det var bare tre prøver for aluminium, fem prøver for jern og fire prøver for mangan som overskred grenseverdiene. Av grunnstoffene som ble sammenlignet med andre lands retningslinjer for drikkevann var det ingen av prøvene som overskred grenseverdiene for barium, beryllium, thallium og sink. For uran var det fire prøver som overskred grenseverdien fra USA.

Abstract

This master thesis has been written with basis in HUNT, the Nord-Trøndelag Health Study, which is an area of priority at NTNU. The main goal has been to obtain data of the content for a large number of elements in the drinking water for the majority of the population in Nord-Trøndelag county. The data will be made available for use in different projects in HUNT. This survey is a thorough mapping of the chemistry of drinking water in Nord-Trøndelag. The samples have been analyzed using HR-ICP-MS, a method with low detection limits and therefore provides data for trace elements that seldom have been published earlier. An additional goal has been to try to explain variations in the concentrations of different elements according to bedrock geology, distance to the coast, and other factors.

To make this survey as representative as possible for the population in Nord-Trøndelag, it was decided to include all waterworks that supply 100 persons or more. The sampling was accomplished by distributing test tubes and instructions of sampling by mail to the owners of the waterworks, who sent the samples back. The water samples were collected from treated drinking water, and the sampling was performed during spring and autumn of 2013.

For most of the elements in this survey, concentrations are higher in samples from groundwater than from surface water, and there is little variation between the samples from spring and autumn. 47 of the 55 elements analyzed have concentrations over the detection limit in more than 80% of the samples. 53 of the waterworks (93%) have soft or very soft water. Lanthanum, cerium, praseodymium and neodymium are the most abundant of the rare earth elements, and the concentrations are significantly higher in groundwater than in surface water. The content of sodium, chlorine and bromine are highest in samples from waterworks close to the coast. For some of the waterworks, the concentrations of copper, zinc, iron, lead and nickel show considerable variation between the samples from spring and autumn. It is reasonable that leaching from water pipes and armature and possibly long residence time in pipes are the causes of these variations. Some of the waterworks stand out, in that they have some of the highest concentrations of many of the elements.

Few of the samples had concentrations that exceeded the limits in the Norwegian guidelines for drinking water. Only three samples for aluminium, five for iron and four for manganese exceeded the limits. For elements where guidelines exist in other countries but not in Norway, none of the samples exceeded the limits for barium, beryllium, thallium or zinc. Four of the samples exceeded the American limit for uranium. Thus, the quality of the drinking water in Nord-Trøndelag is generally good according to the inorganic parameters.

Forkortelser

| | |
|--|---------------------------------|
| AAS - Atomic absorption spectroscopy | Nd – Neodym |
| Al – Aluminium | Ni – Nikkel |
| As – Arsen | P – Fosfor |
| B – Bor | Pb – Bly |
| Ba – Barium | PCB - polykloreerte bifenyler |
| Be – Beryllium | Pr – Praseodym |
| Bi – Bismut | Rb – Rubidium |
| Br – Brom | RSD – Relativt standardavvik |
| Ca – Kalsium | S – Svovel |
| Cd – Kadmium | Sb – Antimon |
| Ce – Cerium | Se – Selen |
| Cl – Klor | Si – Silisium |
| Co – Kobolt | Sm – Samarium |
| Cr – Krom | Sn – Tinn |
| Cs – Cesium | Sr – Strontium |
| Cu – Kobber | Tb – Terbium |
| Dy – Dysprosium | TDI – Totalt daglig inntak |
| EPA - Environmental protection agency | Th – Thorium |
| Er – Erbium | Ti – Titan |
| EU – Den europeisk union | Tl – Thallium |
| EØS – Det europeiske økonomiske samarbeidsområde | Tm - Thulium |
| Fe – Jern | U – Uran |
| FHI - Folkehelseinstituttet | V – Vanadium |
| Ga – Gallium | W – Wolfram |
| Hf – Hafnium | WHO – Verdens helseorganisasjon |
| Hg – Kvikksølv | XRF – X-ray fluorescence |
| Ho – Holmium | Y – Yttrium |
| HR-ICP-MS – Høyoppløselig induktivt koplet plasma-massespektrometri | Yb – Ytterbium |
| HUNT - Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag | Zn – Sink |
| IDL – Instrumental detection limit | |
| ICP-OES – Induktivt koplet plasma-optisk emisjonsspektroskopi | |
| K – Kalium | |
| La – Lantan | |
| Li – Litium | |
| Lu – Lutetium | |
| Mg – Magnesium | |
| Mn – Mangan | |
| Mo – Molybden | |
| Na – Natrium | |
| NGU – Norges geologiske undersøkelse | |

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|-----|
| Forord..... | I |
| Sammendrag | II |
| Abstract | III |
| Forkortelser | IV |
| 1. Innledning..... | 1 |
| 1.1 Mål med oppgaven..... | 1 |
| 1.2 Oppbygning av oppgaven | 2 |
| 2. Drikkevann..... | 3 |
| 2.1 Vannkvalitet..... | 5 |
| 2.2 Drikkevannskilder | 8 |
| 2.2.1 Overflatevann..... | 8 |
| 2.2.2 Grunnvann | 9 |
| 2.3 Vannbehandling | 11 |
| 2.4 Drikkevann og helse | 13 |
| 2.4.1 Komponenter i drikkevann med positiv betydning for helsen..... | 13 |
| 2.4.2 Komponenter i drikkevann med negativ betydning for helsen..... | 14 |
| 2.5 Tidligere undersøkelser av drikkevann i Norge | 16 |
| 3. Sporelementer..... | 17 |
| 3.1 Essensielle og ikke-essensielle sporelementer..... | 17 |
| 3.2 Sporelementer og helse | 20 |
| 4. Analyse av sporelementer | 23 |
| 4.1 Metoder for analyse av sporelementer | 23 |
| 4.1.1 ICP-MS | 24 |
| 4.2 Kvalitetssikring av sporelementanalyse | 27 |
| 4.2.1 Prøvetaking..... | 27 |
| 4.2.2 Oppbevaring og konservering av prøver | 27 |
| 4.2.3 Forbehandling av prøver | 28 |
| 5. Materiale og metode..... | 29 |
| 5.1 Nord-Trøndelag | 29 |
| 5.2 Geologi i Nord-Trøndelag | 33 |
| 5.3 Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag (HUNT)..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 5.4 Utvalg og innsamling av prøver | 36 |
| 5.5 Forbehandling av prøver | 36 |
| 5.6 Analyse av prøver | 37 |
| 5.7 Databehandling | 38 |
| 6. Resultat..... | 39 |
| 6.1 Grunnstoff med grenseverdier i drikkevannsforskriften..... | 53 |
| 6.1.1 Aluminium (grenseverdi 0,2 mg/l)..... | 53 |
| 6.1.2 Antimon (grenseverdi 5,0 µg/l) | 54 |
| 6.1.3 Arsen (grenseverdi 10 µg/l)..... | 54 |
| 6.1.4 Bly (grenseverdi 10 µg/l) | 55 |
| 6.1.5 Bor (grenseverdi 1,0 mg/l)..... | 55 |
| 6.1.6 Jern (grenseverdi 0,2 mg/l) | 56 |
| 6.1.7 Kadmium (grenseverdi 5 µg/l)..... | 57 |
| 6.1.8 Klor (grenseverdi 200 mg/l)..... | 57 |
| 6.1.9 Kobber (grenseverdi 1,0 mg/l) | 58 |
| 6.1.10 Krom (grenseverdi 50,0 µg/l) | 58 |
| 6.1.11 Kvikksølv (grenseverdi 0,5 µg/l) | 59 |
| 6.1.12 Mangan (grenseverdi 50,0 µg/l)..... | 59 |
| 6.1.13 Natrium (grenseverdi 200 mg/l)..... | 60 |
| 6.1.14 Nikkel (grenseverdi 20,0 µg/l) | 60 |
| 6.1.15 Selen (grenseverdi 20,0 µg/l) | 61 |
| 6.2 Andre grunnstoff | 62 |
| 6.2.1 Hardhet i vann | 62 |
| 6.2.2 Alkalimetaller..... | 62 |
| 6.2.3 Jordalkalimetaller | 62 |
| 6.2.4 Sjeldne jordarter..... | 63 |
| 6.2.5 Andre metaller..... | 64 |
| 6.2.6 Halv-metaller og ikke-metaller | 65 |
| 7. Diskusjon | 67 |
| 7.1 Grunnstoff med grenseverdier i drikkevannsforskriften..... | 68 |
| 7.1.1 Aluminium | 68 |
| 7.1.2 Antimon..... | 69 |
| 7.1.3 Arsen..... | 69 |
| 7.1.4 Bly | 70 |

| | |
|--|-----|
| 7.1.5 Bor | 70 |
| 7.1.6 Jern | 71 |
| 7.1.7 Kadmium | 72 |
| 7.1.8 Klor | 72 |
| 7.1.9 Kobber | 73 |
| 7.1.10 Krom | 74 |
| 7.1.11 Kvikksølv | 74 |
| 7.1.12 Mangan..... | 75 |
| 7.1.13 Natrium..... | 76 |
| 7.1.14 Nikkel..... | 77 |
| 7.1.15 Selen | 77 |
| 7.2 Andre grunnstoff | 78 |
| 7.2.1 Hardhet i vann | 78 |
| 7.2.2 Alkalimetaller..... | 79 |
| 7.2.3 Jordalkalimetaller | 80 |
| 7.2.4 Sjeldne jordarter..... | 81 |
| 7.2.5 Andre metaller..... | 82 |
| 7.2.6 Halv-metaller og ikke-metaller | 84 |
| 7.2.7 Forskjeller mellom prøvene fra vår og høst | 85 |
| 7.3 Metaller som kan løses ut fra ledningsnett og armatur..... | 86 |
| 7.4 Grunnstoff med havet som hovedkilde..... | 87 |
| 7.5 Grunnstoff med grenseverdier i andre lands forskrifter | 88 |
| 7.5.1 Barium | 88 |
| 7.5.2 Beryllium..... | 88 |
| 7.5.3 Thallium..... | 89 |
| 7.5.4 Sink | 89 |
| 7.5.4 Uran | 89 |
| 7.6 Sammenligning av vannverk..... | 91 |
| 8. Konklusjon | 93 |
| Referanseliste..... | 95 |
| Liste over vedlegg..... | 101 |

1. Innledning

Drikkevann er et viktig medium i epidemiologiske studier (Flaten, 1986, Chen et al., 1992, Calderon, 2000, Cotruvo og Bartram, 2009). Alle som bor innenfor et vannverks geografiske forsyningsområde har det samme drikkevannet. I motsetning til andre bestanddeler av kosten som er ulikt fra individ til individ, og i tillegg kan stamme fra ulike deler av verden. Det har tidligere vært utført studier på drikkevannskjemi i Norge (Flaten, 1991, Hongve et al., 1994), men da med fokus på hele Norge og ikke en bestemt del av landet.

I Norge er alle vannverk pålagt å følge drikkevannsforskriften, som angir grenseverdier for ulike parametere (HOD, 2001). Hensikten med forskriften er å sørge for at alle mottar helsemessig trygt vann. Drikkevannskvaliteten i Norge er generelt god, og det oppstår sjelden problemer som følge av vannbårne sykdommer eller høyt innhold av giftige grunnstoff. Globalt sett er både vannbårne sykdommer og høyt innhold av arsen og fluor i grunnvann et omfattende problem for deler av befolkningen (Nordstrom, 2002, Prüss-Üstün et al., 2008).

Sporelementer kan føre til helsemessig risiko selv ved svært lave konsentrasjoner i vann. I tillegg til helsemessig risiko kan noen grunnstoff også føre til bruksmessige problemer. For mange her i Norge er rent og trygt drikkevann en selvfølge. Selv med god råvannskvalitet er behandling, overvåking og prøvetaking av drikkevann nødvendig for å kunne levere drikkevann med god kvalitet.

1.1 Mål med oppgaven

Formålet med denne oppgaven er å gjøre en kartlegging av drikkevannskjemien i Nord-Trøndelag. Utgangspunktet for denne oppgaven er Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag (HUNT), og derfor er Nord-Trøndelag valgt som geografisk område. Analyseresultatene i denne undersøkelsen skal gjøres tilgjengelige for ulike prosjekter i HUNT, der drikkevann kan vurderes som en parameter i sykdomsforløp. I tillegg vil denne undersøkelsen være en grundig kartlegging av i drikkevannets kjemi for et geografisk avgrenset område. Ved å analysere prøvene med HR-ICP-MS vil man på grunn av instrumentets lave deteksjonsgrenser få data for sporelementer som i liten grad har vært bestemt i drikkevann tidligere. Instrumentet kan bestemme mer enn 70 grunnstoff i løpet av få minutter, og kan i tillegg benyttes til bestemmelse av isotopratier (Skoog et al., 2004).

1.2 Oppbygning av oppgaven

- Kapittel 2 gir en teoretisk bakgrunn om drikkevann. Temaene som beskrives er drikkevannskilder, vannbehandling, vannkvalitet, drikkevann og helse og tidligere undersøkelser av drikkevann i Norge.
- Kapittel 3 gir en teoretisk bakgrunn om sporelementer. Temaene som beskrives er essensielle og ikke-essensielle sporelementer og sporelementer og helse.
- Kapittel 4 gir en teoretisk bakgrunn om analyse av sporelementer. Temaene som beskrives er ulike metoder for bestemmelse av sporelementer, og kvalitetssikring av sporelementanalyse.
- Kapittel 5 materiale og metode gir en beskrivelse av vannverk i Nord-Trøndelag, geologi i Nord-Trøndelag, HUNT og utvalg, forbehandling og analyse av prøver.
- Kapittel 6 gir en oversikt over resultater, med statistikk for alle grunnstoff det er analysert for, og frekvensfordelingsdiagram og box-plott for en del av grunnstoffene. Resultater for grunnstoffer med grenseverdier i drikkevannsforskriften er mer detaljert beskrevet i egne delkapitler.
- Kapittel 7 er en diskusjon av resultatene, hvor det også legges mest vekt på de grunnstoffene som har grenseverdier i drikkevannsforskriften. I tillegg diskuteres en del andre grunnstoff i grupper.
- Kapittel 8 er en kort konklusjon av hva det er kommet frem til i kapittel 6 og 7.

2. Drikkevann

Drikkevann inneholder ulike uorganiske og organiske bestanddeler som kan ha opprinnelse fra forskjellige kilder. De viktigste faktorene som bidrar til innholdet av ulike grunnstoffer i drikkevann er:

- Geologi
- Avstand til kysten
- Forurensning (både lokal og regional)
- Vannbehandlingsprosesser
- Utlekking fra ledningsnett, rør og armatur

Uorganiske bestanddeler i vann har sin opprinnelse i mineraler og atmosfæren (Stumm og Morgan, 1996), mens organiske bestanddeler har sin opprinnelse i nedbrutt plantemateriale eller fra alger og andre mikroorganismer som vokser i vannet eller på sedimenter. Type metall og konsentrasjon av metallioner i vann er i hovedsak bestemt av berggrunnen vannet berører (Manahan, 2010). Generelt er det harde bergarter i Norge som har liten evne til å nøytralisere surt regnvann. Innholdet av oppløste organiske forbindelser (humus) i råvannet er ofte ganske høyt, og kan gi vannet en brungul farge (FHI, 2004). pH for de fleste mineralholdige ferskvann ligger generelt mellom verdiene 6-9, og er nesten konstant for et gitt vann (Stumm og Morgan, 1996). Norske vann er fra naturens side sure og kalkfattige, og dermed er vannet korrosivt mot de fleste materialer som brukes i ledningsnettet til drikkevann. Vann med svært høy pH kan være tærende og forårsake utløsning av helseskadelige komponenter fra rørmaterialer og armatur (FHI, 2004). I tillegg vil uønskede komponenter kunne bli tilført via forurensning, og være med på å endre vannkvaliteten (Ødegaard og Norheim, 2012).

De fleste grunnstoffene som klassifiseres som sporelementer er metaller, og i tillegg er noen halvmetaller og noen få ikke-metall, dette er nærmere omtalt i kapittel 3.1. Konsentrasjoner av sporelementer i drikkevann kan være av bekymring for menneskers helse (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Flere økologisk epidemiologiske studier har indikert en påvirkning fra kvaliteten av drikkevann på enkelte sykdommer (Flaten og Bølviken, 1991, Hopenhayn-Rich et al., 1996, Sauvant og Pepin, 2002, Yoshida et al., 2004, Rosborg et al., 2006). Vann har grunnleggende roller i prosesser både geokjemisk og biokjemisk. Alle vann inneholder ulike ioner i forskjellige konsentrasjoner. Det inkluderer både dominerende ioner (Na, K, Mg, Ca) og sekundære grunnstoff (C, N, P) og i tillegg sporelementer. Fordelingen av ulike ioner er avhengig av flere faktorer, der antropogen forurensning kan utgjøre en stor del. De fleste sporelementer, spesielt spormetaller, forblir ikke i løst form i vann for en lengre periode. De er hovedsakelig tilstedeværende som suspenderte kolloider, eller er fikserte av organiske eller mineral substanser. Dette avhenger av pH og redokspotensialet til systemet (Jorge et al., 2007). Sporelementers form i vann påvirker deres oppførsel og toksikologiske risiko.

Biotilgjengeligheten til sporelementer er et resultat av komplekse reaksjoner mellom ligander som finnes i akvatiske medium og de som er i levende celler (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007).

Både globalt og nasjonalt er tilgang på rent drikkevann et viktig tiltak for å hindre sykdom og død (FHI, 2004, Manahan, 2010, WHO, 2011). Drikkevann kan fungere som transportvei for ulike komponenter som bakterier, virus, organiske og uorganiske forbindelser som kan være helseskadelige eller føre til bruksmessige problemer. Forurenset vann kan spre smittsomme sykdommer som diare, kolera, dysenteri, tyfoid- og guineainfeksjoner. WHO estimerer at diare var grunnen til at 2,5millioner personer døde i 2007 (Prüss-Üstün et al., 2008). Utbrudd av vannbårne sykdommer har også forekommet i Norge, som i 2004 da Bergen opplevde et stort utbrudd av *Giardia* (Eikebrokk et al., 2006, Nygard et al., 2006). I tillegg er høye konsentrasjoner av arsen og fluor i drikkevann et problem globalt (Smith et al., 1992, Smith et al., 1998, Ayoob og Gupta, 2006). I Sri Lanka er både overskudd og mangel på fluor i grunnvann en stor utfordring (Dissanayake, 1991). Høyt innhold av både fluor og arsen i grunnvann er et omfattende problem for deler av befolkningen i Bangladesh og India (Das et al., 1994, Chowdhury et al., 2000, Agrawal et al., 2002, Flanagan et al., 2012).

Sammenhengen mellom drikkevannskvalitet og sykdom har vært godt kjent siden midten av 1800-tallet, og i dag blir vannbehandling ved klorering og/eller filtrering av drikkevann ansett som det største bidraget innen offentlig helse i det 20.århundre (Calderon, 2000). Ifølge rapporten «safer water, better health» fra WHO kan nesten hver tiende globale sykdomsbyrde unngås ved å forbedre tilgang til drikkevann og sanitære forhold, hygiene og administrasjon av vannressurser (Prüss-Üstün et al., 2008). For å oppnå dette er det viktig at drikkevannskilden er av god kvalitet, og at distribusjonen av vannet gjennom rensesanlegg, rør og ledningsnett frem til forbrukerne ikke blir påvirket av noen form for forurensning.

2.1 Vannkvalitet

I Norge er alle vannverk pålagt å følge drikkevannsforskriften (HOD, 2001). Formålet med forskriften er at drikkevannet skal være av god kvalitet og sikre at vannet ikke inneholder noen helseskadelige komponenter og for øvrig er helsemessig trygt. Vannverk i Norge må godkjennes av helsemyndighetene, og det er Mattilsynet som har det overordnede ansvaret for dette. Alle vannverk som forsyner minst 20 husstander/hytter eller minst 50 personer, og de som forsyner næringsmiddelvirksomhet, helseinstitusjon eller skole/barnehage, må godkjennes av det lokale Mattilsyn. For hvert enkelt vannverk er det vannverkseier som har ansvar for at vannet som leveres er av god kvalitet. Ifølge drikkevannsforskriften er følgende kravet for drikkevann i Norge «Drikkevann skal, når det leveres til mottakeren, være hygienisk betryggende, klart og uten framtrædende lukt, smak eller farge. Det skal ikke inneholde fysiske, kjemiske eller biologiske komponenter som kan medføre fare for helseskade i vanlig bruk» (HOD, 2001).

I drikkevannsforskriften finnes det en oversikt over grenseverdier for ulike parametere i drikkevannet, og de parametere det er analysert for i denne oppgaven fra tabell 3.1 i forskriften er listet opp i tabell 2.1.1. Grenseverdiene er klassifisert etter ulike tiltakstyper, der beskrivelsen av tiltakstypene er kategori A, B og C. Tiltakstype A krever at det umiddelbart iverksettes tiltak, tiltakstype B krever at det så raskt som mulig gjennomføres nødvendige tiltak, og tiltakstype C krever at tiltak gjøres snarest for å få parameterverdien under grenseverdien. WHO har i sin rapport «guidelines for drinking water quality» satt grenseverdier for mange ulike komponenter i drikkevann (WHO, 2011). Det påpekes i rapporten at miljømessige, sosiale, økonomiske og kulturelle betingelser må tas med i betraktning når grenseverdier skal settes i hvert enkelt land.

Grunnlaget for grenseverdiene er de ulike stoffenes giftighet, om de kan være kreftfremkallende, og i tillegg om de kan føre til bruksmessige problemer (se tabell 2.3.1). Komponenter i drikkevann som kan være helsefarlige er vanligvis sett i sammen med at de kan utløse sykdom etter lang tids eksponering. Noen klororganiske miljøgifter og metaller som bly og kvikksølv kan akkumulere i kroppen og dermed føre til negative konsekvenser for helsen i ettertid (FHI, 2004, Klaassen, 2008). WHO har angitt et tolerabelt daglig inntak (TDI, total daily intake) for en rekke helseskadelige stoffer. TDI angir hvor mye av et stoff som daglig kan inntas i løpet av livet via mat og drikkevann uten at det fører til noen vesentlig risiko for helsen. Grenseverdier for ulike stoffer i drikkevann regnes ut i fra TDI, der det tas hensyn til kroppsvekt, andel av TDI som kan godtas fra drikkevann (omtrent 10-20%, avhengig av andre kilder) og daglig inntak av drikkevann (2 liter for voksne) (FHI, 2004).

Tabell 2.1.1: En oversikt over grenseverdier for noen av grunnstoffene som er angitt i drikkevannsforskriften(HOD, 2001)

| Parameter | Grenseverdi | Enhet | Tiltakstype |
|-----------|-------------|-------|-------------|
| Aluminium | 0,2 | mg/l | C |
| Antimon | 5,0 | µg/l | B |
| Arsen | 10 | µg/l | B |
| Bly | 10 | µg/l | B |
| Bor | 1,0 | mg/l | B |
| Jern | 0,2 | mg/l | C |
| Kadmium | 5,0 | µg/l | B |
| Klorid | 200 | mg/l | C |
| Kopper | 0,1 | mg/l | B |
| Krom | 50 | µg/l | B |
| Kvikksølv | 0,5 | µg/l | B |
| Mangan | 0,05 | mg/l | C |
| Natrium | 200 | mg/l | C |
| Nikkel | 20 | µg/l | B |
| Selen | 10 | µg/l | B |
| Sulfat* | 100 | mg/l | C |

*Det er ikke analysert for sulfat, men grenseverdien er diskutert ut i fra innholdet av svovel.

I drikkevannsforskriften er det grenseverdier for sensoriske, mikrobiologiske, kjemiske og fysiske parametere. De sensoriske parameterne omfatter farge, lukt, smak og turbiditet. Disse parameterne vil ha grenseverdier ikke bare av helsemessige årsaker, men også av bruksmessige årsaker. I tillegg har WHO anbefalte grenseverdier for disse og flere parametere (WHO, 2011). Innen de mikrobiologiske parameterne inngår clostridium perfringens, E.coli, intestinale enterokokker, koliforme bakterier og kimtall. Ingen av de nevnte bakteriene skal finnes i drikkevann, og grenseverdiene for de fire er derfor null.

Når drikkevann forurenses er ofte årsaken forurensning av vannkilden og manglende eller utilstrekkelig desinfeksjon av vannet (Nygård et al., 2003). Foruten patogene forurensinger som bakterier, virus og parasitter kan også en kjemisk endring av vannkvaliteten på grunn av korrosjon, utlekking av rørens bestanddeler og andre reaksjoner føre til helseplager som allergier og forgiftninger (König, 2000). Statens næringsmiddeltilsyn og Folkehelseinstituttet registrerte 72 vannbårne utbrudd i perioden 1988-2002 i Norge, hvor det totalt ble registrert 10 616 syke personer. Vannbårne utbrudd av sykdommer forekommer fortsatt årlig, men sjeldent i Norge. De vanligste agensene som oppdages er Campylobacter og norovirus (Nygård et al., 2003). I tillegg til påvirkning fra direkte inntak av vann kan også organismer i vannet føre til matbårne infeksjoner siden drikkevann benyttes i produksjonen av mange matvarer.

Alle stoffene nevnt i tabell 2.1.1 inngår i gruppen kjemiske og fysiske parametere som har grenseverdier. Til sammen utgjør denne gruppen 41 ulike organiske og uorganiske komponenter som kan finnes i drikkevann og utgjøre en helserisiko og/eller føre til

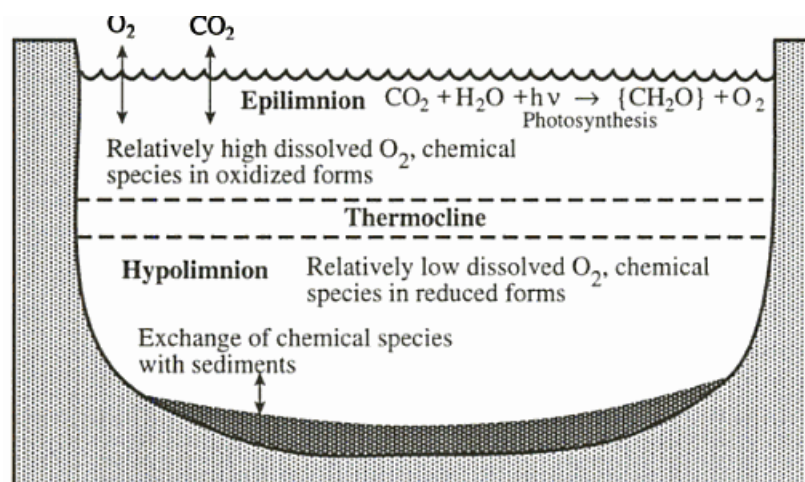
bruksmessige problemer (HOD, 2001). Kvalitetskravene i drikkevannsforskriften er utarbeidet for tilpassing til EØS, og normer etter andre lands redigeringer ble benyttet. Herunder de skandinaviske lands normer, kriterier fra EPA i USA, EUs direktiver for drikkevann og WHO sine normer. Dagens drikkevannsforskrift har vært gjeldene fra 2002. Kravene i den nyeste forskriften er delvis på bakgrunn av forpliktelser i EØS-avtalen, og delvis på grunn av ny vitenskap om komponenter og mikrober og deres risiko for å være helseskadelige (FHI, 2004). Grenseverdier for 58 ulike parametere er gitt i drikkevannsforskriften som kvalitetskrav til drikkevann (HOD, 2001). I tabell 2.3.1 er det en oversikt over komponenter i drikkevann som kan føre til bruksmessige problemer. De største problemene er forårsaket av korrosjon og beleggdannelse (FHI, 2004).

2.2 Drikkevannskilder

I Norge benyttes overflatevann (innsjøer, elver og bekker) eller grunnvann som vannkilder. Vannverkene som forsyner en stor del av befolkningen har vanligvis overflatevann som kilde, og overflatevann utgjør omtrent 90 % av vannet som distribueres i Norge generelt (Løtveit et al., 2007). Det finnes også mange vannverk som benytter grunnvann som kilde, men disse er ofte små og forsyner få personer. Inntaket fra de ulike vannkildene bør plasseres hensiktsmessig for å oppnå best mulig vannkvalitet og kunne utnytte kapasiteten til kilden. Beskyttelse av vannkilden er viktig for å hindre forurensning. Det er også viktig fordi forebyggende arbeid både er mindre tidkrevende og mindre kostbart enn behandling av vann og eventuelle sykdommer fremmedstoffer i vannet kan føre til (Ødegaard og Norheim, 2012). I innsjøer som er eutrofe og dermed næringsrike vil det være stor andel av alger og planteproduksjon. Disse organismene, som cyanobakterier, kan produsere allergifremkallende stoffer og giftstoffer. Derfor foretrekkes det å benytte næringsfattige (oligotrofe) innsjøer som kilder til drikkevann (FHI, 2004, Ødegaard og Norheim, 2012).

2.2.1 Overflatevann

De best egnede vannkildene for overflatevann er store, dype innsjøer. På grunn av et stort vannvolum har de vanligvis god og stabil vannkvalitet. I tillegg er de naturlig beskyttet av det store volumet som gir en merkbar fortynningseffekt ved tilførsel av uønskede stoffer. Grunne innsjøer og tjern har derimot liten fortynningseffekt, og er dermed mer sårbare for vannkvaliteten ved tilførsel av uønskede stoffer. Elver og bekker kan også benyttes som vannkilde, og de vil stort sett ha varierende vannkvalitet fordi vannet har kort oppholdstid. Fordelen er at akutte utslipp vil transporteres raskt forbi inntakspunktet. (FHI, 2004, Ødegaard og Norheim, 2012)

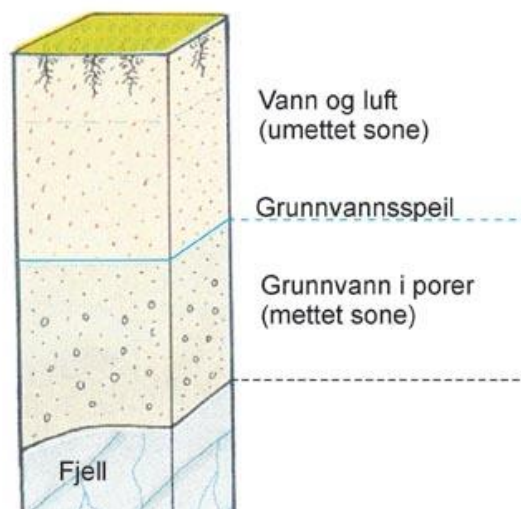


Figur 2.2.1: Lagdannelse i innsjø som følge av temperaturforskjeller i vannet om sommeren (Manahan, 2010).

Kvaliteten til overflatevann påvirkes av naturlige forhold i nedbørsfeltet, som vegetasjon, berggrunn, og menneskelig aktivitet. Spesielt sør i Norge kan også atmosfæriske forurensninger bidra til å endre kvaliteten (Skjelkvåle et al., 1996a). Om sommeren vil det dannes et temperatursprangsjikt (termoklin) i dype innsjøer med et varmere overflatelag over et kaldere dypvannslag, dette er illustrert i figur 2.2.1. Denne lagdelingen dannes fordi overflatelaget varmes opp av sollys, og dette laget har lavere tetthet enn kaldere vann og vil derfor flyte over bunnlaget (Manahan, 2010). Sprangsjiktet vil fungere som en barriere mot tilførsel av forurensninger siden lagene ikke blandes når det er tilstrekkelig temperaturforskjell. På høsten vil vannmassene blandes og effekten som barriere opphører, mens på vinteren vil is kunne gi noe beskyttelse (FHI, 2004, Ødegaard og Norheim, 2012).

2.2.2 Grunnvann

Grunnvann er det vannet som fyller sprekker og porer i grunnen. Grunnvannsspeilet er grunnvannets overflate og defineres som den flaten der grunnvannstrykket er lik atmosfæretrykket. Det antas at alle hulrom under grunnvannsspeilet er fylt med vann, og omtales som mettet sone. Mellom overflaten og grunnvannsspeilet er hulrommene fylt med både luft og vann, og omtales som umettet sone (figur 2.2.2). (Ødegaard og Norheim, 2012)



Figur 2.2.2: Illustrasjon av grunnvann i løsmasser (NGU, 2011).

Grunnvann karakteriseres generelt med lav temperatur (7-10°C), et lavt redokspotensial (fravær av oksygen), en høy konsentrasjon av CO₂, et høyt innhold av mineraler (høy

alkalitet og hardhet) og et lavt innhold av suspendert materiale (Ellis et al., 2000). Den kjemiske sammensetningen av grunnvann reflekterer prosesser i jordsmonnet, nedbør, forurensning, marine salter og reaksjoner med mineraler i berggrunnen, hvor nedbøren utgjør den viktigste delen (Midtgård et al., 2007). Nedbøren kan påvirkes av forurensning fra industri, og tilføres støv og sjøsalter. Konsentrasjonen av sjøsalter vil avta med økende avstand til kysten. I jordsmonnet vil planter kunne suge ut noen næringsalter fra porevannet som nitrat og kalium. Mikroorganismer i jordsmonnet som respirerer og dermed bruker opp oksygen vil tilføre grunnvannet karbon i form av CO₂. Dette fører til at nydannet grunnvann er surt og muliggjør forvitring av mineraler som ofte er basiske og reduserende. Vannkvaliteten kan påvirkes av antropogen forurensning, der kildene ofte er jordbruk, lekkasje eller avrenning fra septiktank eller kloakksystem, veisalt eller lekkasje av olje. I grunnvann kan det finnes mange ulike sporelementer. Det kan komme av at grunnvannet er i et område med bergarter som er anrikt på sporelementer og/eller at vannet har pH og redoksforhold som gjør at grunnstoffene er mer løselige (Midtgård et al., 2007, NGU, 2013).

Grunnvannskilder deles ofte opp etter om vannet kommer fra fjell eller løsmasser (Ødegaard og Norheim, 2012). Det benyttes ofte borebrønner i fjell, og disse brønnene forsyner vanligvis få husstander da kildene ofte er små. Generelt vil grunnvann gi en god og stabil vannkvalitet fra kilder i løsmasser, mens grunnvann fra fjell kan ha litt mer variabel kvalitet som følge av sprekksystemet vannet føres gjennom (NGU, 2013). Utlekking av ulike grunnstoff som jern, mangan, fluor og radon fra berggrunnen vil kunne påvirke vannkvaliteten negativt (Ødegaard og Norheim, 2012). Lavt oksygeninnhold er ofte det største problemet sammen med utlekking av jern og mangan. I tillegg vil det noen steder være hardt vann der hvor det er kalkrikt fjell eller vannet kan inneholde fluor og/eller radon som kan ha negative helseeffekter. I hovedsak bestemmer innholdet av magnesium og kalsium hvor hardt vannet er, og høyere innhold gir hardere vann (Manahan, 2010). Her til lands er det generelt lite hardt vann, kun fra noen grunnvannskilder er vannet så hardt at det kan skape problemer (FHI, 2004).

2.3 Vannbehandling

Vannbehandling benyttes for å oppnå et trygt og rent drikkevann. Behandlingen vil kunne endre vannets sammensetning fysisk, kjemisk eller mikrobiologisk. Ut i fra vannkilde og råvannskvalitet vil ulike behandlingsprosesser benyttes. Eksempler på dette er desinfeksjon, kjemisk koagulering, filtrering og alkalisering. I tillegg gjøres det ofte en forbehandling av vannet i form av siling for å fjerne uønskede partikler (Manahan, 2010). Koagulering benyttes for å fjerne farge (humus) og turbiditet (Stumm og Morgan, 1996). Desinfeksjon er den mest brukte hygieniske barriere som fjerner og/eller inaktiverer smittestoffer. De to mest benyttede metodene for dette i Norge er klorering og UV-bestråling. Klor virker effektivt mot de fleste virus og bakterier, men har liten effekt på sporeformende bakterier. UV-bestråling derimot er mer effektivt mot slike mikroorganismer (FHI, 2004).

Når drikkevann sendes ut fra vannverk til forbrukerne kan vannkvaliteten endres som følge av prosesser som skjer når vannet er i kontakt med materialer i distribusjonsnett. Vannets sammensetning og ledningsmaterialets evne til å motstå påvirkning bidrar til å avgjøre i hvilken grad vannet vil endres under opphold i ledninger. Korrosjon av rør og ledninger kan oppstå på grunn av surt vann og kan føre til utlekking av metaller (Ødegaard og Norheim, 2012). I tillegg til pH påvirker også oksygeninnhold, CO₂-innhold, alkalitet, hardhet og temperatur graden av korrosjon. Korrosivt vann forekommer i surt, oksygenrikt vann med lav alkalitet. Humus kan også bidra til økt korrosjon og alt dette kan føre til redusert levetid på ledningsnett (König, 2000). For å redusere korrosjon benyttes alkalisering, heving av vannets pH (De Zuane, 1997). Dette gjøres for å bedre vannets bufferevne og gi kontinuerlig vannkvalitet i hele ledningsnett.

Kalsiuminnholdet i vannet kan økes for å minke korrosjon av sementbaserte rør og i tillegg holde pH konstant for å minimere utløsning av metaller (De Zuane, 1997). Plastrør har i senere tid blitt mye benyttet til transport av drikkevann fordi det har god motstand mot korrosjon (König, 2000, FHI, 2004). I grunnvann som er oksygenfattig kan det være nødvendig å fjerne noe av jern- og manganinnholdet som ofte er høyt. Fra rør og stikkledninger i bygninger og hus kan kobber, sink, bly og kadmium (sjeldent) utløses, og fra vannledninger og basseng kan jern og bestanddeler fra sement tilføres. Andre faktorer som kan påvirke vannkvaliteten underveis i ledningsnett er innlekking og beleggdannelse. For at drikkevannet skal være hygienisk og helsemessig trygt er det viktig å ha kontroll på vannkvaliteten fra inntak i vannkilden til vannet tappes i en spring for å drikkes. Vann som har stått lenge i rørene bør alltid tappes ut før det benyttes til matlaging og drikke (FHI, 2004). En oversikt over komponenter i drikkevann som kan føre til bruksmessige problemer er vist i tabell 2.3.1.

Tabell 2.3.1: Oversikt over komponenter i drikkevann som kan føre til bruksmessige problemer (König, 2000, FHI, 2004).

| Årsak | Problem |
|-------------------------------|---|
| Hardt vann | <ul style="list-style-type: none"> • Kalsium kan avsettes på varmeelementer, som kan forårsake overoppheting eller skade. • Såpe vil skumme dårlig ved vasking. |
| Korrosivt vann | <ul style="list-style-type: none"> • Vannet kan tære på ledninger og rør, og dette kan føre til utløsning av metaller som kopper, bly, kadmium og sink, og dermed påvirke helsen til forbrukerne. • Materialer av jern og stål kan ved korrosjon føre til rustfarget vann |
| Lukt og smak | <ul style="list-style-type: none"> • Blågrønnalger i eutrofe innsjøer kan produsere stoffer som gir jordlukt eller mugglukt. Klorering av vannet kan forsterke lukten. • Svovelforbindelser som lukter råtne egg kan dannes når organisk materiale brytes ned uten tilstrekkelig tilgang på oksygen. Kan forekomme i grunnvannskilder eller vanninntak for nær bunnslammet i innsjøer. • Metaller som jern, mangan, kopper og sink kan gi dårlig smak. |
| Farge og turbiditet | <ul style="list-style-type: none"> • Høyt humusinnhold kan føre til at vannet får en gulbrun farge, det finnes mange tilfeller av dette i overflatevannkilder i Norge. • Elver og bekker kan ha sesongvariasjon med tidvis høyt partikkelinnhold. • Desinfeksjonen av vannet blir mindre effektiv ved høy farge og høyt partikkelinnhold. I tillegg kan uønskede klorforbindelser dannes i denne prosessen. • Vannet kan få en grålig farge hvis det står under trykk og er overmettet på luft. Dette vil etter kort tid bli klart igjen ved tapping. |
| Oppløst organisk stoff | <ul style="list-style-type: none"> • Det dannes belegg (biofilm) i alle drikkevannsledninger, der hovedgrunnen er vannets innhold av organisk materiale. • Biofilmen kan fungere som grobunn for organismer som sopp og actinomyceter, som kan skille ut stoffer med vond smak og lukt. |
| Partikulært stoff | <ul style="list-style-type: none"> • Mye partikulært stoff i vannet kan føre til blokkering av ledninger. |
| Oppløst jern og mangan | <ul style="list-style-type: none"> • Oksiderte jern- og manganforbindelser vil bidra til at vannet blir brunt. • I jord kan bakterier som bryter ned organisk materiale bruke jern- og manganoksider i prosessen, og da går oksidene over i to-verdig vannløselig form som tilføres grunnvannet. Dette kan også forekomme i dype innsjøer med temperatursprangsjikt. • Hos forbrukerne vil store mengder jern og mangan kunne føre til bitter smak på kaffe og te. • Bakteriologisk oksidasjon av jern og mangan fører til dannelse av brunt slam og kan føre til bruksmessige problemer. |
| Fosfor og nitrogen | <ul style="list-style-type: none"> • De viktigste næringsstoffene for planter er fosfat og nitrat, og næringsrike vannkilder er ikke godt egnet til drikkevann. • Høyt innhold av fosfor og nitrat og/eller ammonium kan indikere at vannet er tilført avløpsvann eller annen form for gjødsel. |

2.4 Drikkevann og helse

Hovedformålet med norsk vannforsyning er å forsyne landets innbyggere med helsemessig trygt drikkevann. Dette er viktig fordi drikkevann kan medføre en hurtig spredning av sykdom og sykdomsfremkallende stoffer til befolkningen i forsynsområdet (WHO, 2011). Hygienisk godt drikkevann innebærer at vannet ikke inneholder mikroorganismer som kan forårsake infeksjonssykdommer og hudirritasjoner, eller organiske og uorganiske stoffer som kan være giftige eller akkumulere i kroppen og senere føre til helseskader (FHI, 2004). For å sikre at drikkevannet har god kvalitet når det kommer frem til forbrukerne kreves det at det benyttes minst to ulike barrierer som kan stoppe smittestoffer og andre komponenter som kan være helseskadelige (HOD, 2001). Slike barrierer kan være naturlige eller tillagde, og eksempler på dette kan være beskyttelse av vannkilden for å hindre forurensing, fjerning av smittestoffer ved filtre eller ved desinfeksjon (FHI, 2004). Vann er essensielt for hydrering, og derfor for liv. Det er også veldig viktig i mattilberedning og matlaging, sanitære forhold og hygiene. Drikkevannsforsyning har som primær oppgave å beskytte human helse, inkludert å forsikre tilgang til nødvendige mengder av trygt vann (WHO, 2011).

2.4.1 Komponenter i drikkevann med positiv betydning for helsen

Vannbårne mineraler er i ionisk form, og blir vanligvis lettere absorbert i mage-tarmkanalen. Dermed kan drikkevann være en viktig kilde til mineralinntak (WHO, 2009). Epidemiologiske studier (Schroeder, 1960, Monarca et al., 2006, Catling et al., 2008, Rubenowitz-Lundin og Hiscock, 2013) kan tyde på at befolkningen i områder med hardt vann kan være mindre utsatt for hjerte-/karsykdommer. Hardt vann har høyere innhold av kalsium og magnesium (Manahan, 2010), og kan være en faktor som bidrar til dette. En studie antyder en sammenheng mellom magnesium i drikkevann og magnesium i hjertemuskelen, der hardt vann ga større utslag enn bløtt vann (Anderson et al., 1975). En annen studie har sett på om inntak av kalsium og magnesium kan være beskyttende mot hoftebeinsbrudd, og om inntaket fra drikkevann kan være av betydning. Det ble funnet et inverst forhold mellom konsentrasjon av magnesium og risiko for hoftebeinsbrudd, men ikke for kalsium. Studien konkluderte med at magnesium i drikkevann kan ha en beskyttende rolle mot hoftebeinsbrudd, imidlertid må denne sammenhengen undersøkes videre (Dahl et al., 2013).

Noen grunnstoff kan føre til mangelsykdommer ved lave konsentrasjoner, men være skadelige eller giftige ved inntak av for store mengder. Dette er beskrevet grundigere i kapittel 3.1. Et eksempel på dette er fluor, som er påvist å kunne føre til tannrøte ved for lavt inntak og føre til fluorose ved for høyt inntak (Ozsvath, 2009). I Norge er det generelt lave nivåer av fluor i drikkevann. Generelt er overskudd av fluor i drikkevann et mye større problem i verden, og siden en stor del av fluorinntaket kommer gjennom drikkevann har dette medført at mange lider av fluorose globalt (Bølviken, 2004, Ayoob og Gupta, 2006).

2.4.2 Komponenter i drikkevann med negativ betydning for helsen

Ulike skadelige komponenter kan inntas gjennom drikkevann enten ved naturlig eller antropogen tilførsel. Av naturlige årsaker til tilførsel av helseskadelige stoffer finner man cyanotoksiner fra alger som kan føre til forgiftning (Hitzfeld et al., 2000, Codd et al., 2005). Det er ikke et problem i norske drikkevann. Hvis vannet er korrosivt kan metaller løses ut fra vannverkets distribusjonsnett eller fra ledninger hos forbrukerne. Eksempler på dette er bly, kadmium, kopper og sink (König, 2000, FHI, 2004). Disse metallene kan akkumulere i kroppen og føre til negative helseeffekter ved lavt inntak over lang tid (Klaassen, 2008). Uønskede stoffer fra jordbruk kan også havne i drikkevannet. Et eksempel på dette er nitrat som omdannes til nitritt i tarmen og som interferer med oksygenopptaket i blodet (FHI, 2004). I tillegg er det funnet en rekke organiske stoffer i drikkevann som kan være helseskadelige, som uønskede industriprodukter som PCB (Ødegaard og Norheim, 2012). Kjemiske forurensinger i drikkevann som har vært assosiert med epidemiologiske studier inkluderer følgende: aluminium, arsen, biprodukter av desinfeksjon, fluor, bly, pesticider og radon. Rapporterte helseeffekter fra slike forurensinger har inkludert ulike typer kreft, ugunstige reproduksjonsutfall, hjerte- og karsykdommer og nevrologiske sykdommer (Calderon, 2000).

I grunnvann kan det også forekomme radioaktive grunnstoff som uran, radon og radium. Forekomsten av radioaktive grunnstoff er størst i alunskifer og granitt, men finnes også i andre bergarter (NRPA, 2012). En studie fra USA har undersøkt sammenhengen mellom radioaktive grunnstoff i drikkevann og kreft. Studien fant en høyere hyppighet av kreft i byer med radioaktive grunnstoff i drikkevannet enn de uten (BEAN et al., 1982). Sammenhengen mellom radon i inneluft og forekomsten av MS i Sør-Norge har blitt undersøkt (Bølviken et al., 2003). Radon kan frigjøres fra drikkevann til luften i bygningen i private vannforsyninger, og dermed være en faktor som bidrar til radon i inneluft (Hopke et al., 2000).

Drikkevannsforskriften har ikke en grenseverdi for innhold av uran eller andre radioaktive stoffer. Den toksiske effekten av uran anses som viktigere enn virkingen av radioaktivitet for å fastsette en grenseverdi for uran i drikkevann (FHI, 2004). WHO har satt grenseverdien for uran til 30 µg/L, men påpeker at verdien er bestemt som midlertidig fordi det er vitenskapelig usikkerhet rundt toksisiteten til uran (WHO, 2011). En studie har sett på uran i drikkevann sin effekt på nyrer, og antyder at selv små konsentrasjoner av uran i drikkevannet kan føre til nevrotoksiske effekter (Kurtzio et al., 2002). I en undersøkelse av grunnvannsprøver fra 145 brønner i Oslo og Bergen overgikk konsentrasjonen til flere grunnstoff (F, Fe, Mn, Na) grenseverdier for drikkevann (Reimann et al., 1996). I tillegg ble det observert høye nivå av grunnstoff som Be, Mo, Th og U, som kan påvirke helsen. Det kommenteres i artikkelen at det burde gjøres en vurdering av økonomisk og toksikologisk påvirkning fra disse grunnstoffene som ikke har noen definerte grenseverdier i drikkevannsforskriften. Noen drikkevannsledninger er laget av asbestement, og mulig

kreftrisiko fra asbest i drikkevann har vært tema i flere studier. Inhalering av asbest er vist å være kreftfremkallende, men epidemiologiske studier har ikke vist en overbevisende sammenheng mellom kreftrisiko og inntak av asbest gjennom drikkevann (Dybing et al., 2007). WHO har konkludert at det ikke er nødvendig å sette en helsebasert grenseverdi for asbest i drikkevann (WHO, 2011).

2.5 Tidligere undersøkelser av drikkevann i Norge

Det har tidligere vært utført noen undersøkelser av drikkevann i Norge som har vært landsomfattende. Flaten gjorde en omfattende undersøkelse av kjemisk sammensetning av drikkevannet i Norge der vannprøver fra 384 vannverk som forsynte 70 % av befolkningen ble analysert for 30 ulike parametere (Flaten, 1991). Undersøkelsen gjaldt primært for vannverk som forsynte minst 1000 personer. For parameterne Fe, Ca, Mn, Cu, pH, TOC og farge var grenseverdiene for godt drikkevann overskredet i mer enn 9 % av prøvene. Dette assosieres med at norske drikkevannskilder i mange tilfeller inneholder mye humus, og i store deler av landet er vannet bløtt og surt og dermed korrosivt mot rør og ledninger. Undersøkelsen viste generelt at vannkvaliteten i Norge er veldig bra ved sammenligning av grenseverdier, og at vannet er bløtt og surt (Flaten, 1991).

Folkehelse ga i 1994 ut rapporten «Landsoversikt drikkevannskvalitet, sporelementer i vann fra norske vannverk», hvor prøver fra 566 vannverk i landet ble analysert for 30 fysikalsk-kjemiske parametere (Hongve et al., 1994). Undersøkelsen viste at svært få vannverk lå under grenseverdier for korrosjonsbegrensende parametere (pH, alkalitet og kalsium), i tillegg var konsentrasjoner av jern, bly, kopper og sink betraktelig høyere i renvannet enn i råvannet til de fleste vannverk. Dette bekrefter at vannet er korrosivt. I 2000 ble 476 grunnvannsprøver fra borehull i Norge analysert for 53 sporelementer ved bruk av ICP-MS-teknikker (Frengstad et al., 2000). Undersøkelsen viste at en rekke sporelementer er beriket i vann fra berggrunn med granitt og redusert i vann fra berggrunn med anortositt. Dette viser at grunnvann i stor grad blir påvirket av berggrunnen vannet kommer i kontakt med.

Mertz (1981) definerer et grunnstoff som essensielt når utilstrekkelig inntak konsekvent fører til en svekkelse av en funksjon fra optimal til suboptimal, og når supplementering av dette grunnstoffet forhindrer eller kurerer svekkelsen. Essensielle sporelementer hører i likhet med vitaminer til kategorien mikronæringsstoffer, som er nødvendig i veldig små mengder (generelt mindre enn 100mg/dag). I motsetning er grunnstoffer i gruppen makronæringsstoffer nødvendig i mye større mengder, dette gjelder grunnstoffer som natrium, kalsium, magnesium, kalium og klor (Fraga, 2005). De fire dominerende grunnstoffene i levende organismer, hydrogen, karbon, nitrogen og oksygen, utgjør 99 % av menneskekroppen (Lindh, 2013b).

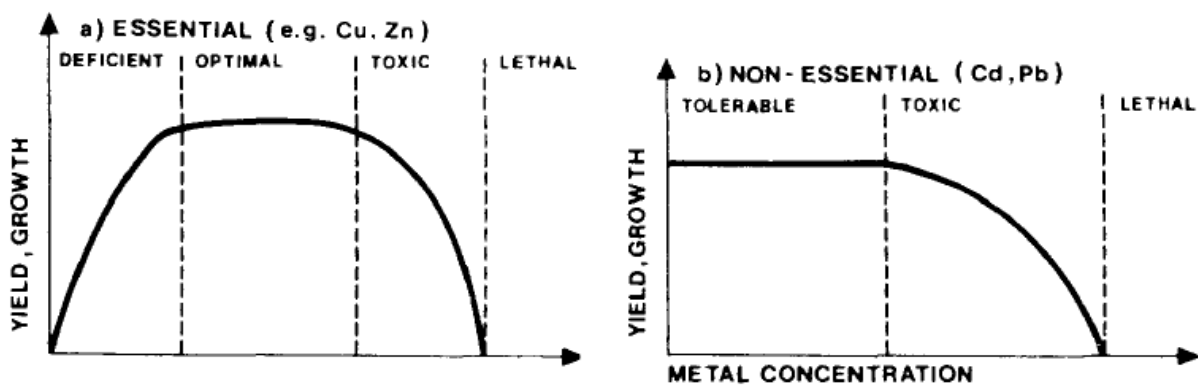
Essensielle grunnstoff har den samme oppgaven, uansett om de kreves i store, mindre eller små mengder, å opprettholde liv. Mangan, jern, og sink er eksempler på sporelementer som utfører essensielle funksjoner for å opprettholde helsen til mennesker (Klaassen, 2008). Mangel på ethvert av disse sporelementene fører til fysiologiske svekkelser som kan forhindres eller reverseres ved tilfredsstillende supplement. Tilførsel av sporelementer bør kontrolleres grundig siden sporelementer tilstede i større mengder enn det som kreves for å opprettholde biologiske funksjoner kan føre til toksiske effekter (Fraga, 2005). De essensielle sporelementene er nødvendige komponenter av biologiske strukturer, og mange metaller er viktige deler av enzymer (Luk et al., 2003, Lindh, 2013a).

Tabell 3.1: En oversikt over ulike funksjoner til sporelementer, og eksempler på hvilke sporelementer det kan gjelde (Mertz, 1981, Peereboom, 1985).

| Funksjon | Eksempel |
|---|-----------------------|
| Kofaktor i essensielle enzym | Kobolt i vitamin B12 |
| Stabilisatorer | Sink i membraner |
| Del av strukturer | Silisium i bindevev |
| Essensielle for hormonproduksjon | Jod i thyroidhormoner |

Metallioner som kobber og mangan er begge essensielle kofaktorer i metallproteiner, men de er også potensielt toksiske. For å oppnå en balanse av essensielle, men potensielt toksiske metaller, har celler utviklet et system for metalloverføring i kroppen. Dette skal hindre akkumulering av metaller i fri, reaktiv form, og samtidig sørge for riktig levering av ioner til mål-proteiner (Luk et al., 2003). Essensielle sporelementer finnes i alle levende organismer og har ulike funksjoner. De kan være strukturelle grunnstoff, stabilisere biologiske strukturer, komponenter i kontrollmekanismer (som nerver og muskler), og spesielt aktivatorer eller komponenter i redokssystemer (Vandecasteele og Block, 1993, Nordberg, 2007). Tilstedeværelsen av sporelementer i essensielle enzymer er ofte grunnlaget for at de karakteriseres som essensielle. Den tette relasjonen til enzymer anses som den viktigste biologiske funksjonen til sporelementer (Peereboom, 1985, Vandecasteele og Block, 1993). Flere eksempler på hvilke funksjoner ulike sporelementer kan ha er gitt i tabell 3.1.

Ikke-essensielle sporelementer er grunnstoffer som har ingen kjent biologisk funksjon, og som over en viss terskelverdi vil være toksisk og potensielt skadelige for kroppen (Fraga, 2005). Som vist i figur 3.2 vil effekten av økende konsentrasjoner av essensielle og ikke-essensielle sporelementer være ulike. For essensielle grunnstoff vil for lav konsentrasjon føre til svekkelser og mulige mangelsykdommer, og for høye konsentrasjoner vil være skadelige for kroppen og til slutt dødelig (Renwick, 2006). Det optimale vinduet mellom for lav og for høy konsentrasjon vil variere mellom ulike grunnstoff, og kan være vanskelig å fastsette nøyaktig som følge av at sporelementene bare kreves i veldig små mengder.



Figur 3.2. a) viser effekten av økende inntak av essensielle grunnstoff. b) viser effekten av økende inntak av ikke-essensielle grunnstoff (Peereboom, 1985).

For ikke-essensielle grunnstoff vil kroppen ved lave konsentrasjoner tolerere inntak, og over en terskelverdi vil stoffene være giftige og videre dødelige for mennesker. Denne terskelverdien vil variere mellom ulike ikke-essensielle grunnstoff. Grunnstoff som bly, kadmium og kvikksølv er svært giftige for mennesker (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007), og har en lav terskelverdi før de er giftige og kan føre til alvorlige svekkelser og mulig død. Metalltoksisitet kan forklares med grunnlag i forstyrrelse av cellulære biokjemiske systemer (Nordberg, 2007). Toksisitet kan også komme av at ikke-essensielle sporelementer med veldig lik karakteristikk kan etterligne oppførselen til essensielle sporelementer, og de kan dermed oppnå tilgang til viktige funksjoner i celler som kan føre til skader (Fraga, 2005, Klaassen, 2008).

3.2 Sporelementer og helse

Endringer i konsentrasjon av sporelementer er av stor betydning for liv. Den homeostatiske balansen av grunnstoff i en organisme er grunnleggende for god helse (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Sporelementer har vært benyttet for behandling av syke mennesker eller som beskyttelse mot sykdommer i lang tid. Grekere i oldtiden skal ha brukt rustent vann for å gjenopprette livskraften til personer som så bleke ut, og de satte jernnagler i epler som stod der flere dager før de anbefalte gravide kvinner og svake personer å spise de (Iyengar, 1991). I tillegg brukte de brente svamper (som senere har blitt bevist å inneholde jod) for å behandle struma (Mertz, 1981, Iyengar, 1991). Det har vært kjent siden det 17. århundre at alle mennesker behøver jern for å overleve, jod har også vært kjent som et essensielt sporelement siden 1850. Til tross for flere eksempler fra historien på nødvendigheten og effekten av flere grunnstoff, har kunnskapen om de fleste sporelementer i human helse først blitt kjent etter 1950. Utviklingen av analytiske teknikker har bidratt til denne kunnskapen, og stadig forbedring av ulike teknikker har gjort det mulig å gjennomføre flere og større studier på sporelementer og helse (Iyengar, 1991).

Den toksiske effekten av sporelementer har også vært kjent siden oldtiden. Arsen har blitt brukt til å forgifte kongelige, og det antas at døden til Napoleon Bonaparte skyldtes langsom forgiftning av arsen (Leslie og Smith, 1978). I nyere tid finnes det også eksempler på metallforgiftninger. På 1950-tallet ble store deler av befolkningen i området rundt Minamata-bukten i Japan forgiftet av metylkvikksølv gjennom inntak av sjømat som var forurenset på grunn av store utslipp av kvikksølv fra en fabrikk (Harada, 1995). Urbanisering og industrialisering har flere steder ført til oppkonsentrering av metaller og dermed større fare for eksponering. Studier fra USA har vist sammenheng mellom metallakkumulering og lærevansker og sammenheng mellom nivå av bly i blod hos barn og deres utvikling og resultater i skolen (Mielke et al., 2005, Miranda et al., 2007). Høye konsentrasjoner av arsen i grunnvann er et problem i blant annet India og Bangladesh, og fører til kronisk eksponering som kan forårsake kreft og i verste fall død (Chowdhury et al., 2000, Flanagan et al., 2012).

De fleste sporelementene som er essensielle for mennesker er også essensielle for planter. Imidlertid er mange av de grunnstoffene som kan være skadelige for mennesker ikke giftige for planter. Dette har bidratt til å øke overføringen av noen grunnstoff i næringskjeden. Mennesker eksponeres for sporelementer hovedsakelig ved inntak av drikkevann og mat og gjennom inhalering av luft. Absorpsjon skjer enten gjennom mage-tarmkanalen, luftveiene eller huden, og stoffene absorberes inn i kroppens celler ved passiv eller aktiv diffusjon og kan avsettes i spesifikke vev. Det er sannsynlig at de fleste sporelementer kan akkumulere i organer med myke vev, spesielt i lever og nyrer. (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007)

Sporelementer er viktig for human helse, og kan ha både positive og negative fysiologiske effekter. Ved mangel på essensielle sporelementer kan mangelsykdommer og nedsatt funksjon i celler og vev forekomme. Det finnes flere eksempler på sykdom som følge av mangel på essensielle sporelement, og i noen land er dette omfattende folkehelseproblem (Cook et al., 1994, Andersson et al., 2005).

En oversikt over konsekvenser av mangel og overskudd av noen essensielle sporelement er vist i tabell 3.2. De mest vanlige mangelsykdommer globalt er for jern og jod (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Konsekvensene av jernmangel kan gå fra mindre alvorlig anemi (blodmangel) som enkelt kan behandles til alvorlig svekkelse hos barn som vokser, med psykisk utviklingshemming som følge (Fraga og Oteiza, 2002). Kobolt er en nødvendig del av vitamin B12, og mangel på vitamin B12 kan føre til pernisiøs anemi som følge av mangel av produksjon av røde blodceller (Mertz, 1981). En studie har antydnet en sammenheng mellom lavt innhold av sink i drikkevann og risikoen for diabetes type 1 hos barn (Samuelsson et al., 2011).

Tabell 3.2: Oversikt over noen konsekvenser av mangel og overskudd av noen essensielle sporelementer (Mertz, 1981, Goldhaber, 2003, Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007, Nordberg og Cherian, 2013)

| Grunnstoff | Mangel | Overskudd |
|------------|---------------------------------|--|
| Co | Anemi | Overskudd av røde blodceller |
| Cu | Anemi, defekter i vev | Hemolyse, hyperglykemi |
| Cr | Defekt i glukosemetabolisme | Organskader |
| F | Hull i tenner, vekstforsinkelse | Fluorose |
| Fe | Anemi | Avleiring av jern i vev, hjerteproblemer |
| I | Struma | Hypertyreose |
| Li | Depresjon | Svekket sentralnervesystem |
| Se | Keshan sykdom | Lever og nyreskader |
| V | Tanndefekter | Nerveforstyrrelser |
| Zn | Anemi, svekkelse av keratose | Anemi, skader i vev |

Biotilgjengeligheten til det aktuelle grunnstoffet er en viktig faktor som er med på å bestemme sannsynligheten for mangelsykdommer og toksiske effekter. Variasjon i opptak og bruk av essensielle sporelementer er ulik, avhengig av kjemisk form, salt eller ioneform, inntakskilde, alder, kjønn og påvirkning fra andre grunnstoff (Nordberg, 2007).

Bly, kadmium og kvikksølv er toksiske metaller som ikke er essensielle for næring. I tabell 3.3 er det gitt en oversikt over disse og noen flere ikke-essensielle sporelementer, og hvilke konsekvenser de kan ha i for store konsentrasjoner i kroppen. Den toksiske effekten av disse metallene kan endres eller forsterkes av interaksjoner med eller mangel på essensielle sporelementer (Goyer, 1995). Bly konkurrerer med kalsium på flere måter. Eksempler på dette er at bly inhiberer frigjøring av neurotransmittere, og påvirker reguleringen av cellemetabolisme ved å binde seg til sekundærbudbringere med kalsiumreseptorer.

Jernmangel øker den gastrointestinale absorpsjon av kadmium. Og kadmium konkurrerer med sink for bindingssteder på metallothionein, som er viktig for lagring og transportering av sink. Kalsium-, jern- og sinkmangel forsterker toksisiteten til bly ved å øke absorpsjon av bly. Dette skjer ved at de bytter plasser med det essensielle kation i biokjemiske aktive steder, inkludert reseptorproteiner i hjernen. Kadmiumtoksisitet påvirker kalsiummetabolismen enten ved direkte toksisitet til bein eller indirekte fra renal toksisitet. (Goyer, 1995)

Tabell 3.3: En oversikt over noen konsekvenser av overskudd av noen ikke-essensielle sporelementer (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007, Klaassen, 2008)

| Grunnstoff | Toksiske symptomer |
|-------------------|---|
| Al | Osteomalasi (skjelettsykdom), demens |
| As | Forstyrrelser i nervesystemet, lever- og nyresvikt, anemi, hudkreft |
| Be | Kreft, betennelse i alveolene i lungene, betennelse i huden |
| Cd | Hjerteproblemer, skader i lever og nyrer, kreft |
| Hg | Sykdommer i nervesystemet, skader i lunger og nyrer |
| Pb | Sykdommer i nervesystemet, nyresykdom, økt blodtrykk |
| Ni | Skader i lever og nyre, nevrologiske effekter |

4. Analyse av sporelementer

Utviklingen av instrumentelle analytiske teknikker startet på 1900-tallet. Med de metodene som eksisterte da var det umulig å bestemme konsentrasjonen av mange grunnstoffer kvantitativt. De kunne bare bestemmes kvalitativt fordi de forekommer i så små mengder i en prøve. For å måle så lave og så vidt detekterbare konsentrasjoner ble benevnningen «spor» brukt og grunnstoffer ble referert til som sporelementer. Generelt omtales grunnstoff som sporelement når konsentrasjonen er under $100\mu\text{g/g}$. Ved ekstremt lave konsentrasjoner under 10ng/g snakkes det om ultra-sporelementer. Analytiske teknikker som kan bestemme spor- og ultra-sporelementer er nødvendig innen flere områder som utviklinger innen metallindustri og elektronikk, medisinsk, biologisk og geologisk forskning for bestemmelse av grunnstoff i ulike typer prøver. (Vandecasteele og Block, 1993)

4.1 Metoder for analyse av sporelementer

Innholdet av sporelementer i drikkevann, både råvann og ferdig behandlet drikkevann, er svært lavt og mest sannsynlig i konsentrasjoner i området mikro- til nanogram. For å kunne detektere så lave verdier er det nødvendig med en metode som er sensitiv nok til å kunne sette lave nok deteksjonsgrenser. Metoden som velges må være tilstrekkelig følsom, nøyaktig og presis. Ved bestemmelse av mange grunnstoff i samme prøve bør metoden være rask å utføre. Metoder som benyttes til analyse av vannprøver inkluderer hovedsakelig spektrofotometri, atomabsorpsjon, ICP-OES, ICP-MS, XRF, nøytronaktivering og forskjellige voltammetriske teknikker med tilstrekkelig følsomhet (eksempler på dette er bruk av stripping voltammetri eller pulsteknikker) (Vandecasteele og Block, 1993, Bersier et al., 1994, Jorge et al., 2007).

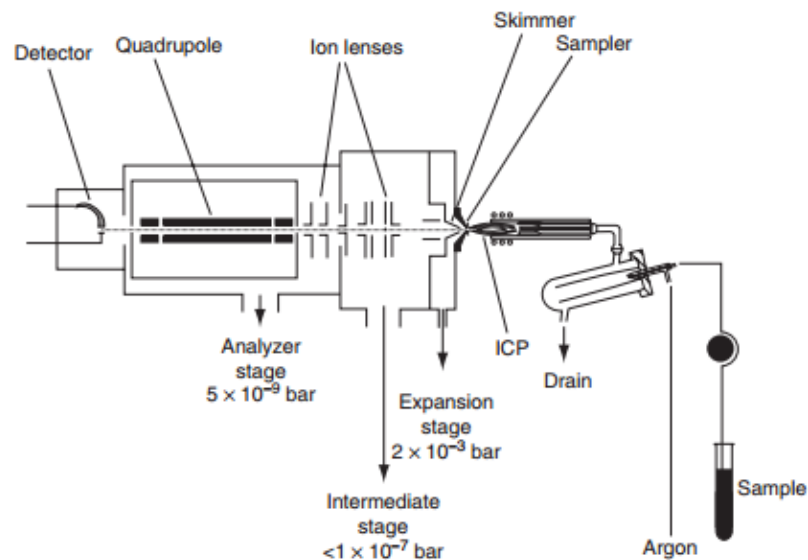
Spektrofotometriske metoder er enkle og selektive teknikker, med moderat sensitivitet og relativt lave kostnader. Metodene anbefales ikke ved analyse av alkali- og jordalkalimetaller som følge av mangel på passende reagenser. I tillegg er følsomheten for metodene sannsynligvis ikke lave nok til å kunne detektere alle grunnstoffer tilstede i en vannprøve. Derfor er disse metodene lite egnet for sporelementanalyse (Jorge et al., 2007). Voltammetriske metoder er sensitive og krever lite prøvevolum, ulempene er at metodene kan være tidkrevende og at det ikke er mulig å måle mange grunnstoffer samtidig (Skoog et al., 2004). Nøytronaktivering er en kraftfull deteksjonsmetode, men er kostbar både finansielt og arbeidsmessig (Bersier et al., 1994). XRF kan bestemme mange grunnstoff på en gang og har lave deteksjonsgrenser (Prange et al., 1993), men metoden kan kreve forbehandling av prøver og har problemer med interferenser for enkelte metaller (Cd, As, Pb) (Watanabe et al., 1972). Før ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) var utviklet ble sporelementanalyse utført ved bruk av atomabsorpsjonsspektroskopi (AAS) eller

ICP optisk emisjonsspektroskopi (ICP-OES) (Beauchemin, 2010). AAS har lave deteksjonsgrenser, spesielt grafittovn AAS, men tillater bare bestemmelse av et grunnstoff om gangen og egner seg derfor ikke til multigrunnstoffanalyse (Vandecasteele og Block, 1993, Skoog et al., 2004). ICP-OES kan utføre multigrunnstoffanalyse, men har ikke lave nok deteksjonsgrenser for alle sporelementer i drikkevannsprøver (Beauchemin, 2010).

4.1.1 ICP-MS

ICP-MS anses for å være den best egnede metoden for multigrunnstoffanalyse av vannprøver på grunn av flere egenskaper. Metoden har svært lave deteksjonsgrenser, er følsom, nøyaktig og effektiv (Becker og Dietze, 1998, Jorge et al., 2007). I tillegg utføres analysen av mange grunnstoffer på kort tid. ICP-MS er en spektroskopisk metode, og benyttes for bestemmelse av mange grunnstoffer. Felles for spektroskopiske metoder er at de raske, nyttige og vanligvis har høy selektivitet. ICP-MS kan bestemme mer enn 70 grunnstoff i løpet av få minutter, og kan i tillegg benyttes til bestemmelse av isotopratier (Skoog et al., 2004). Metoden er mye brukt både i elektroindustri, geokjemi, miljøanalyser, biologisk og medisinsk forskning (de Boer et al., 1996, Fell et al., 1997, Frengstad et al., 2000, Gellein et al., 2008). I tillegg benyttes metoden ofte i studier av innhold av sporelementer i vann (de Boer et al., 1996, Reimann et al., 1996, Birke et al., 2010, Xiao et al., 2014), og de fleste grunnstoffene kan detekteres under ppb-nivå.

I ICP-MS kombineres en høytemperert ICP-kilde med et massespektrometer (figur 4.1). Prøver introduseres vanligvis som en løsning gjennom en forstøver, som omdanner løsningen til en aerosol, og et spraykammer som luker ut store dråper som ellers ville overbelaste plasmaet. Aerosoler føres inn i plasmaet i en strøm av argon, og denne strømmen danner en sentral kanal hvor atomisering og ionisering foregår (Vandecasteele og Block, 1993, Thomas, 2008). Grunnstoffene i aerosolen vil fullstendig gå over til en atomisk gass som videre ioniseres mot enden av plasmaet (Beauchemin, 2010). Plasmaet har en temperatur på 6000 - 10 000°K og er derfor en godt egnet ionekilde. Når ionene når massespektrometret separeres de som funksjon av masseladningsforhold og måles av en detektor.



Figur 4.1. Et skjematisk diagram av et induktivt koblet plasma-massespektrometer (Beauchemin, 2010).

Det mest vanlige massespektrometeret er et kvadrupol massefilter, som består av fire staver. I massefilteret settes det på vekslende likestrøm og vekselstrøm til motstående par av staver, og spenningen skiftes raskt. Det resulterer i et elektrostatiske filter som kun tillater ioner med et bestemt masse-ladningsforhold (m/z) å passere gjennom til detektoren i et gitt tidsøyeblikk (Skoog et al., 2004). To prinsipper benyttes ved seleksjon av ioner i et massespektrometer. Det ene er elektrostatiske tiltrekning, der like ladninger frastøter hverandre og ulike tiltrekker, og det andre er størrelsesforskjellen mellom små og store ioner. Muligheten for å filtrere ioner på grunnlag av deres masseladningsforhold gjør også at ICP-MS kan gi informasjon om isotopforhold (Skoog et al., 2004, Beauchemin, 2010).

Sporelementanalyse ved bruk av ICP-MS er en meget effektiv og pålitelig analysemetode (Jorge et al., 2007), imidlertid kan det også være noen ulemper ved denne metoden. Ionene som dannes fra plasmaet er vanligvis positivt ladet (M^+ eller M^{2+}) (Houk et al., 1980, Thomas, 2008), og grunnstoff som danner negative ioner (som Cl, I, F) kan derfor være vanskelig å bestemme (Skoog et al., 2004). Negative ioner produseres også i plasmaet, men fordi ekstraksjon og transport av negative ioner er ulik enn for positive ioner er de fleste instrumentene ikke laget for å måle de (Thomas, 2001). Ulike interferenser kan også skape problemer, der spektroskopiske interferenser og matrikseffekter er det som skaper forstyrrelser. Spektroskopiske interferenser er forårsaket av atomiske ioner som har samme masse som analytten som er av interesse, og kan skape et unormalt stort signal ved det valgte masse-landingsforholdet (Evans og Giglio, 1993). Dette forekommer oftest når polyatomiske ioner med flere isotoper har omtrent samme masse. Det kan i alle fall være et

problem ved svært lave konsentrasjoner (Vandecasteele og Block, 1993). Problemet kan løses ved å benytte et høyoppløselig spektrometer.

Matrikseffekter blir synlige ved konsentrasjoner høyere enn 500 µg/mL, og disse effektene kan forårsake en endring i analyttsignalet. Slike komplikasjoner kan ofte unngås ved å fortynne prøven eller å endre introduksjonsprosedyren (Skoog et al., 2004). Mange interferenser av molekylære eller atomære ioner kan separeres i spor- og ultrasporanalyser ved å bruke en dobbeltfokuserende sektorfelt ICP-MS (Becker og Dietze, 1998). Den tillater separasjon og oppløsning av polyatomiske ioner og analyttioner med samme masse. Dette fører til at bakgrunnsstøyen reduseres sammenlignet med et kvadrupol-instrument, og sensitiviteten er lik (eller bedre enn) slike instrumenter, dermed vil deteksjonsgrensene også økes (Vandecasteele og Block, 1993)

4.2 Kvalitetssikring av sporelementanalyse

Forurensning og forbehandling av prøver bør minimeres for å bevare prøven best mulig. Det bør bestandig benyttes blankprøver i sporelementanalyser, og de bør gjennomgå akkurat lik forbehandling som de andre prøvene (Vandecasteele og Block, 1993). Blankprøven er i mange tilfeller en begrensende faktor i analyser av ultra-lave konsentrasjoner. Deteksjonsgrensen for analysen bestemmes av blankprøvens verdi, og settes ofte lik tre ganger standardavviket av blanksignalet (Beauchemin, 2010). En egnet blankprøve for vannprøver lages ved å benytte rensert vann og tilsette lik mengde syre som i de aktuelle vannprøvene. Differansen mellom en prøve og en blank vil være mengden av ulike grunnstoff som er tilført i forberedningstrinnet, og denne differansen må det korrigeres for ved behandling av analysedata.

4.2.1 Prøvetaking

Prøvetakingen er det første, og sannsynligvis det viktigste steget i analyse av vannprøver. Enhver feil som gjøres i dette steget vil kunne gjøre analysen usikker. Når prøvene skal tas er det viktig å vurdere hva det skal analyseres for, og hvor store konsentrasjoner av spormetaller det er forventet å finne. I tillegg bør det vurderes hva analysen skal brukes til videre. Hvis sammensetningen til vannet i systemet som studeres forblir uendret over tid kan vanligvis en enkelt prøve benyttes. Samtidig er det viktig å huske at denne prøven representerer tilstanden til systemet på det tidspunktet den ble tatt. Kontaminering av prøver under prøvetaking er relativt vanlig og en av de mest betydningsfulle kildene til feil i analyser av sporelementer. De største tapene av sporelementer i de innhentede vannprøvene er som følge av adsorpsjon på overflata i oppbevaringsbeholdere eller kontaminering av utilstrekkelige vaskede beholdere. Det anbefales å gjøre prøvene sure ned til pH ~ 2 (med HNO₃) for å unngå adsorpsjon på veggene i beholderen (Jorge et al., 2007).

4.2.2 Oppbevaring og konservering av prøver

Analyse av sporelementer i vannprøver bør gjøres like etter innsamling. Hvis en rask analyse ikke er mulig bør prøvene lagres bort fra enhver potensiell kontamineringskilde. Prøvene bør konserveres med ultraren HNO₃ (opp til pH mindre enn 2), som forhindrer utfelling av metallhydroksider eller adsorpsjon av metaller på veggene i beholderen. I tillegg bør prøvene kjøles ned til 4°C for å minimere mikrobiell aktivitet. En annen fordel med nedkjølingen som konservering er at metoden hverken påvirker prøvesammensetningen eller forstyrrer noen analysemetode. Dessuten hjelper nedkjølingen med å beholde flere grunnstoff i løsningen som ellers kan gå tapt som følge av fordamping ved økende

temperaturer (eksempler på grunnstoff er Hg, As, Se, Cd og Zn). Vannprøvene bør lagres mørkt og holdes nedkjølt (-4°C) til analysen skal gjennomføres. (Jorge et al., 2007)

4.2.3 Forbehandling av prøver

Vannprøver kan ofte analyseres direkte med lite eller ingen forbehandling. For analyse av den totale konsentrasjonen av spormetaller vil forbehandling av prøver bestå i å tilsette syre. Det er for å forhindre utfelling av løste komponenter og adsorpsjonsprosesser (Jorge et al., 2007). Dette er da allerede gjennomført i konserveringen av prøver som lagres over tid før de analyseres. Hvilken konsentrasjon av syre som benyttes avhenger av både grunnstoffet som skal bestemmes og hvilken analyseteknikk som skal benyttes. Tilsetting av 1% HNO_3 er vanligvis brukt i bestemmelse av de fleste sporelementer. Videre trenger ikke prøver av drikkevann noen form av forbehandling. Prøvene inneholder i utgangspunktet svært lave verdier av sporelementer og fortykning er derfor ikke nødvendig. I tillegg er store partikler allerede fjernet da vannet er ferdig renset, og filtrering vil derfor heller ikke være nødvendig før analysering.

5. Materiale og metode

5.1 Nord-Trøndelag

Nord-Trøndelag hadde ifølge SSB (2013) per januar 2013 134 443 innbyggere fordelt på de 23 kommunene i fylket (figur 5.1). Sju av kommunene har kystlinje mot Norskehavet (Leka, Vikna, Nærøy, Fosnes, Namsos, Namdalseid og Flatanger), åtte kommuner ligger ved Trondheimsfjorden (Verran, Steinkjer, Inderøy, Verdal, Levanger, Leksvik, Frosta og Stjørdal) mens de øvrige kommunene er innlandskommuner uten vesentlig kystlinje (Røyrvik, Høylandet, Grong, Overhalla, Snåsa, Lierne og Meråker) (NTFK, 2013).



Figur 5.1: Kart over Nord-Trøndelag med de ulike kommunene (NTFK, 2013).

Grunnlaget for denne undersøkelsen er alle vannverk i Nord-Trøndelag som forsyner minst 100 personer eller mer, og dette utgjør 58 ulike vannverk. Denne informasjonen er hentet fra Mattilsynet og vannverksregisteret sine tilgjengelige opplysninger om vannverk i Norge. De ulike distriktskontorene til Mattilsynet i Nord-Trøndelag har vært behjelpelig med utfyllende informasjon om vannverk og type vannkilde. En fordeling av hvor mange personer som forsynes av vannverk med grunnvann og overflatevann er vist i tabell 5.1. Tallene i tabell 5.1 gjelder for antall personer som forsynes av de vannverkene som er grunnlaget for denne undersøkelsen. Dette utgjør 84 % av totalbefolkningen i Nord-Trøndelag. En oversikt over de ulike vannverkene som inngår i denne undersøkelsen finnes i tabell 5.2.

Tabell 5.1: En oversikt over antall vannverk i denne undersøkelsen med ulike typer vannkilde og hvor mange personer som forsynes av de ulike typene vannkilder i Nord-Trøndelag.

| Vannkilde | Antall vannverk | Antall vannverk fordelt på antall personer | | | Totalt antall personer | Prosent av befolkning(%) |
|----------------------|-----------------|--|----------|-------|------------------------|--------------------------|
| | | 100-500 | 500-1000 | >1000 | | |
| Grunnvann | 24 | 18 | 4 | 2 | 9577 | 9 |
| Overflatevann | 34 | 13 | 6 | 15 | 102986 | 91 |
| Totalt | 58 | 31 | 10 | 17 | 112663 | 100 |

Antall vannverk med overflatevann som kilde er bare noen flere enn antallet med grunnvann, men størsteparten av befolkningen forsynes av overflatevann. Dette kommer av at mange vannverk med grunnvannskilde bare forsyner et lite antall personer. De største vannverkene som forsyner mer enn 1000 personer har stort sett innsjøer som vannkilde. Antall personer som forsynes av grunnvann utgjør bare 9 % av det totale antall personer som er tatt med i denne undersøkelsen. Dette stemmer godt overens med situasjonen for Norge generelt, med noe variasjon mellom de ulike fylkene. Det antas at omtrent 90 % av Norges befolkning mottar vann fra overflatekilder, mens bare 10 % av befolkningen får vann fra grunnvannskilder (Løtveit et al., 2007). Mange opplysninger om vannverk i Norge er tilgjengelig i vannverksregisteret, som er en database med opplysninger om norske vannverk som forsyner minst 50 fastboende og/eller 20 husstander/hytter. Registeret gjelder for hele Norge, og omfatter omtrent 1700 vannverk som til sammen forsyner 4,1 millioner innbyggere med drikkevann (FHI, 2004). I tillegg finnes det en egen grunnvannsdatabase ved NGU, som har informasjon om brønner, grunnvannsressurser og en rekke geologiske kart (NGU).

Tabell 5.2: En oversikt over de ulike vannverkene som inngår i denne undersøkelsen, hvilken kommune de ligger i, hvilken type vannkilde som benyttes og hvor mange personer som forsynes.

| | Vannverk | Kommune | Vannkilde | Antall personer |
|-----------|---------------------------|----------------|------------------|------------------------|
| 1 | Steinkjer Vannverk | Steinkjer | Overflatevann | 14750 |
| 2 | Øvre Ogndal vannverk | Steinkjer | Grunnvann | 100 |
| 3 | Veldemelen vannverk | Steinkjer | Overflatevann | 370 |
| 4 | Namsos-nordsiden | Namsos | Overflatevann | 300 |
| 5 | Namsos -tavlåa | Namsos | Overflatevann | 10100 |
| 6 | Bangdalen vannverk | Namsos | Grunnvann | 120 |
| 7 | Meråker vannverk | Meråker | Overflatevann | 2080 |
| 8 | Flora vannverk | Stjørdal | Grunnvann | 150 |
| 9 | Stjørdal vannverk | Stjørdal | Overflatevann | 17600 |
| 10 | Frosta Vassverk | Frosta | Overflatevann | 2200 |
| 11 | Moen vannverk | Stjørdal | Grunnvann | 100 |
| 12 | Ulstadvatnet vasslag | Stjørdal | Overflatevann | 2000 |
| 13 | Dalbygda Vassverk | Leksvik | Overflatevann | 220 |
| 14 | Hindrem og Seter vassverk | Leksvik | Overflatevann | 175 |
| 15 | Leksvik vassverk | Leksvik | Overflatevann | 1990 |
| 16 | Vanvikan vannverk | Leksvik | Overflatevann | 706 |
| 17 | Levanger Vannverk | Levanger | Overflatevann | 11550 |
| 18 | Torhaugen Vannverk | Levanger | Grunnvann | 710 |
| 19 | Ytterøy Vassverk | Levanger | Grunnvann | 100 |
| 20 | Ekne vassverk | Levanger | Overflatevann | 700 |
| 21 | Markabydga vassverk | Levanger | Overflatevann | 160 |
| 22 | Øvre Skogn vasslag | Levanger | Overflatevann | 800 |
| 23 | Kvernbecken Vasslag | Levanger | Grunnvann | 100 |
| 24 | Leirsjø Vasslag | Verdal | Overflatevann | 500 |
| 25 | Verdal vannverk | Verdal | Overflatevann | 12000 |
| 26 | Follafoss vannverk | Verran | Overflatevann | 520 |
| 27 | Malm vannverk | Verran | Grunnvann* | 1800 |
| 28 | Namdalseid vannverk | Namdalseid | Overflatevann | 1063 |
| 29 | Statland vannverk | Namdalseid | Grunnvann | 160 |
| 30 | Inderøy kommune | Inderøy | Overflatevann | 5650 |
| 31 | Mosvik vannverk | Inderøy | Overflatevann | 470 |
| 32 | Snåsa vannverk | Snåsa | Grunnvann | 900 |
| 33 | Sørbygdga vannverk | Snåsa | Grunnvann | 200 |
| 34 | Vest-Snåsa vannverk | Snåsa | Overflatevann | 470 |
| 35 | Øverbygdga vassverk | Snåsa | Grunnvann | 400 |
| 36 | Sandvika vannverk | Lierne | Overflatevann | 500 |
| 37 | Røyrvik vannverk | Røyrvik | Overflatevann | 280 |
| 38 | Namsskogan kommunal del | Namsskogan | Grunnvann | 350 |
| 39 | Namsskogan privat del | Namsskogan | Grunnvann | 350 |
| 40 | Brekkvasselv vannverk | Namsskogan | Grunnvann | 200 |
| 41 | Trones vannverk | Namsskogan | Grunnvann | 102 |
| 42 | Bergsmo vannverk | Grong | Overflatevann | 350 |
| 43 | Grong vannverk | Grong | Grunnvann | 1650 |
| 44 | Midtre Høylandet vannverk | Høylandet | Grunnvann | 760 |

| | | | | |
|-----------|-----------------------------|-----------|---------------|------|
| 45 | Konovatnet fellesvannverk | Overhalla | Overflatevann | 2202 |
| 46 | Dun vannverk | Fosnes | Grunnvann | 155 |
| 47 | Fosnesmoan vannverk | Fosnes | Grunnvann | 125 |
| 48 | Lauvsnes vassverk | Flatanger | Grunnvann | 635 |
| 49 | Utvorda vannverk | Flatanger | Grunnvann** | 100 |
| 50 | Vik og Kvaløyseter vassverk | Flatanger | Grunnvann | 250 |
| 51 | Rørvik vannverk | Vikna | Overflatevann | 3000 |
| 52 | Ytre Vikna vannverk | Vikna | Overflatevann | 392 |
| 53 | Kjella vannverk | Nærøy | Grunnvann | 160 |
| 54 | Nærøy vannverk | Nærøy | Overflatevann | 3185 |
| 55 | Oplø vannverk | Nærøy | Overflatevann | 283 |
| 56 | Nærøy og Vikna vannverk | Nærøy | Overflatevann | 6000 |
| 57 | Måneset vannverk | Nærøy | Overflatevann | 120 |
| 58 | Leka vannverk | Leka | Overflatevann | 300 |

*Råvannet til Malm vannverk kommer delvis fra grunnvannsbrønn og delvis fra innsjø (Køltjønn), vannverket er tatt med i gruppen grunnvann ved inndeling i kapittel 6 og 7.

** Utvorda vannverk har både grunnvann og elv/bekk som vannkilder, vannverket er tatt med i gruppen grunnvann ved inndeling i kapittel 6 og 7.

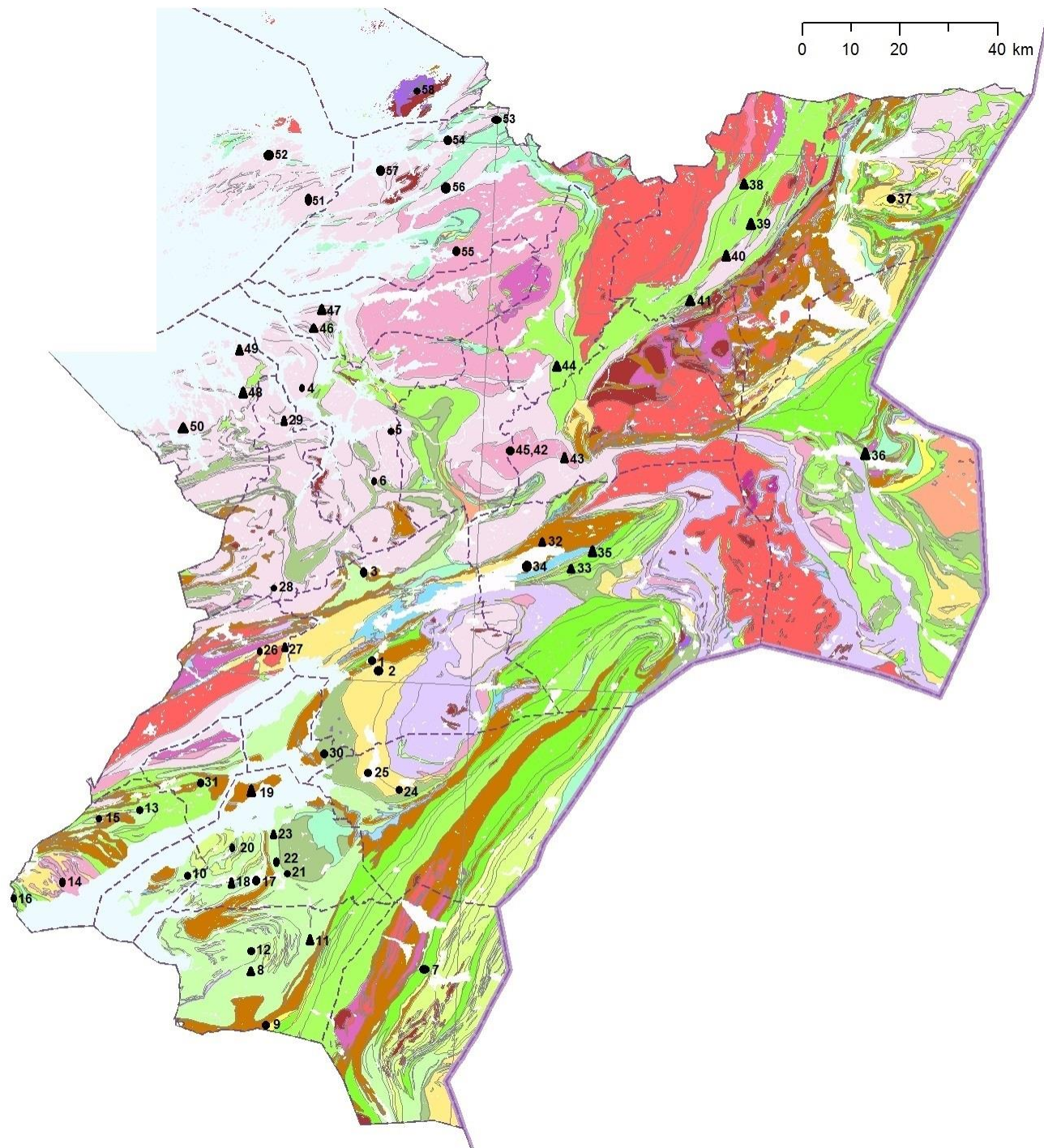
En fullstendig oversikt over alle vannverkene med informasjon om kommune, vannkilde og type vannkilde finnes i vedlegg 1.

5.2 Geologi i Nord-Trøndelag

Figur 5.3 viser et berggrunnskart over Nord-Trøndelag, som er laget med utgangspunkt i NGU sin berggrunnsdatabase. De markerte vannverkene er manuelt lagt inn på kartet, plasseringene er derfor ikke nødvendigvis helt korrekte. Markeringene for vannverkene viser bare omtrentlig plassering for å kunne kommentere berggrunnen i området rundt de ulike vannverkene. Nummereringen i kartet er det samme som i tabell 5.2. En forklaring på berggrunnen er gitt i figur 5.2.

| | |
|----|---|
| 2 | - Sandstein |
| 3 | - Konglomerat, sedimentær breksje |
| 7 | - Sedimentære bergarter (uspesifisert) |
| 8 | - Leirskifer, sandstein, kalkstein |
| 9 | - Sandstein, leirskifer |
| 10 | - Kalkstein, leirskifer, mergelstein |
| 11 | - Kalkstein, dolomitt |
| 21 | - Granitt, granodioritt |
| 22 | - Dioritt, monzodioritt |
| 23 | - Syenitt, kvartssyenitt |
| 24 | - Monzonitt, kvartsmonzonitt |
| 26 | - Ryolitt, ryodacitt, dacitt, keratofyr |
| 29 | - Vulkanske bergarter (uspesifisert) |
| 35 | - Gabbro, amfibolitt |
| 38 | - Kvartsdioritt, tonalitt, trondhemitt |
| 40 | - Olivinstein, pyroksenitt |
| 50 | - Amfibolitt og glimmerskifer |
| 55 | - Grønnstein, amfibolitt |
| 60 | - Metasandstein, glimmerskifer |
| 61 | - Kvartsitt |
| 62 | - Glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein, amfibolitt |
| 65 | - Fyllitt, glimmerskifer |
| 66 | - Kalkglimmerskifer, kalksilikatgneis |
| 70 | - Kalkspatmarmor |
| 82 | - Diorittisk til granittisk gneis, migmatitt |
| 85 | - Øyegneis, granitt, foliert granitt |
| 87 | - Amfibolitt, hornblendegneis, glimmergneis, stedvis migmatittisk |

Figur 5.2: En forklaring på de ulike fargene i berggrunnskartet.



Figur 5.3: Berggrunnskart over Nord-Trøndelag, med markeringer for alle vannverk i denne undersøkelsen og fargeforklaring for geologien (NGU). Grunnvann er markert med en trekant og overflatevann med en sirkel.

5.3 Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag (HUNT)

Et viktig formål med denne oppgaven er å samle inn data som senere også kan benyttes i HUNT, og derfor har Nord-Trøndelag vært det aktuelle området for innsamling av vannprøver. HUNT er den mest omfattende helseundersøkelsen som har vært gjort i Norge, og har tatt utgangspunkt i alle innbyggerne i Nord-Trøndelag som er 13 år eller eldre. Dette omfattet omtrent 125 000 deltagere, og undersøkelsen ble gjennomført i tre runder, HUNT 1 (1984-86), HUNT 2 (1995-97) og HUNT 3 (2006-08). Primært skulle undersøkelsen benyttes for å se på høyt blodtrykk, diabetes, screening for tuberkulose og livskvalitet. Omfanget har over tid blitt utvidet, og i den siste undersøkelsen ble det opprettet en biobank med tilgjengelig biomateriale for tiår fremover. Disse populasjonsbaserte undersøkelsene bidrar med viktig kunnskap om livsstil relatert til helse, hyppighet og utbredelse av somatiske sykdommer og mentale lidelser, og assosiasjon mellom fenotype og genotype i sykdommer (Holmen et al., 2003, Krokstad et al., 2012).

Innsamling av data til undersøkelsene ble gjort ved å dele ut spørreskjemaer i tillegg til intervjuer og kliniske undersøkelser. I HUNT 1 ble alle innbyggere over 20 år invitert, og undersøkelsen var primært laget for å dekke fire delstudier. Temaene var høyt blodtrykk, diabetes, lungesykdommer og livskvalitet (Holmen et al., 2003). I HUNT 2 som var mer omfattende ble alle innbyggere over 13 år invitert og det ble tatt blodprøver av alle over 20 år. HUNT 3 ble gjennomført på samme måte som HUNT 2, men inkluderte enda flere temaer. Der ble det samlet inn både blod, urin og celleprøver som oppbevares i biobanken (Krokstad og Knudtsen, 2011).

5.4 Utvalg og innsamling av prøver

For at denne undersøkelsen skulle bli så representativ som mulig var det viktig at den omfattet flest mulig av deltakerne i HUNT. Det ble derfor bestemt at det skulle tas prøver fra alle vannverk som forsyner minst 100 personer eller flere. Ifølge opplysninger fra Mattilsynet var det per mai 2011 registrert til sammen 58 vannverk i Nord-Trøndelag som hver forsyner minst 100 personer og som alle har ulike vannkilder. Med god hjelp fra de lokale vannverkseierne ble det tatt vannprøver fra vannverkene to ganger i løpet av 2013. Første runde med prøver ble tatt på våren, hvor de aller fleste prøvene ble tatt i mai. Den andre runden ble utført på høsten i september/oktober. Prøvetakingen ble organisert ved at to merkede prøverør (15ml) ble lagt i en merket låsepose og sendt ut til alle de aktuelle vannverkene sammen med et følgebrev med informasjon om prosjektet og prøvetakingen. Dette følgebrevet finnes i vedlegg 8. Rørene som ble benyttet til vannprøver var laget av polypropylen og produsert av VWR.

5.5 Forbehandling av prøver

Etter hvert som prøvene ble mottatt på NTNU ble de tilsatt syre (ultraren HNO_3), en dråpe per tre ml vann, for konservering og oppbevart i kjøleskap til alle prøvene var kommet og analysen skulle utføres. Generelle forhåndsregler mot kontaminering av prøver ble forsøkt fulgt ved tilsetning av syre. Rørene var åpne i minimalt med tid, og tilsetningen foregikk i et avtrekksskap.

Siden vannprøver av drikkevann i utgangspunktet inneholder svært lave konsentrasjoner av sporelementer var det ikke nødvendig å gjøre noen form for forbehandling. Tilsetningen av syre ble gjort for å sørge for at stoffer som kan bli sittende fast i selve plastrøret skal bli frigjort og dermed målt under selve analysen.

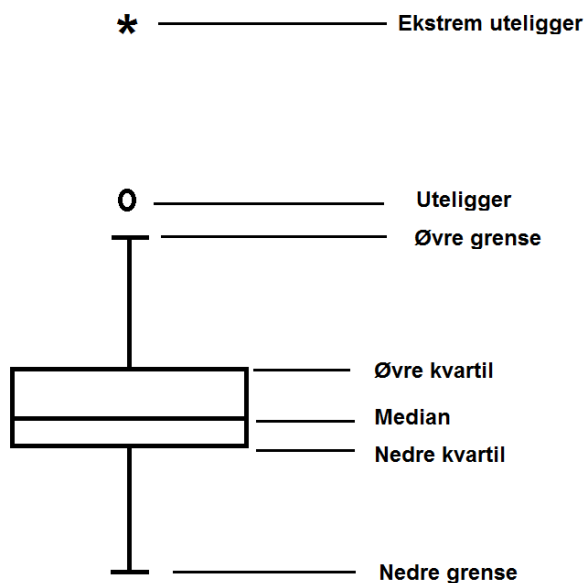
5.6 Analyse av prøver

Prøvene ble analysert med Institutt for kjemis høyoppløselige ICP-MS-instrument, og analysene ble utført av Syverin Lierhagen. Alle prøvene fra våren 2013 ble analysert samtidig i september 2013, og alle prøvene fra høsten 2013 ble analysert samtidig i januar 2014. Til begge rundene med analyser ble det tillaget tre blankprøver, som var rensset vann tilsatt like mye syre som prøvene. HR-ICP-MS analyser ble utført ved å benytte et Thermo Finnigan Element 2 instrument. Effekten av radiofrekvensen ble satt til 1350 W. Prøvene ble introdusert ved å benytte prepFAST prøveintroduksjonssystem. Instrumentet var utstyrt med en konsentrisk PFA-ST forstøver koblet til et Quartz cyclonic micro mist spraykammer, sample og skimmer cones av aluminium, og en demountable fakkell av kvarts med en guardelektrode. I databehandlingen av resultatene ble det korrigert for blankverdiene. Når alle resultatene var tilgjengelige ble det laget tabeller for hvert enkelt vannverk med resultater for vår, høst og gjennomsnitt for alle prøver. Disse tabellene ble sendt ut til hvert enkelt vannverk.

5.7 Databehandling

For resultater fra HR-ICP-MS er IDL-25 % (instrumentell deteksjonsgrense) brukt som deteksjonsgrense (vedlegg 5). Gjennomsnittlig relativt standardavvik er gitt i vedlegg 5. Konsentrasjoner for alle prøver er korrigert for innhold i blankprøver.

Korrelasjoner mellom de enkelte grunnstoffene ble regnet ut for prøver som var over deteksjonsgrensen (vedlegg 6). Regresjonsanalyse, korrelasjoner og statistisk signifikans (p-verdier) ble utregnet i Minitab, ellers ble andre statistiske utregninger og grafer gjort i Microsoft Excel. Frekvensfordelingsdiagram og box-plott ble laget i SPSS.



Figur 5.7.1: Forklaring av box-plott.

Et eksempel på et box-plott er vist i figur 5.7.1. Medianen er den midterste verdien i datasettet, og markeres med en strek på boksen. Nedre kvartil representerer verdien i datasettet der 25% av verdiene er lavere og 75% av verdiene er høyere. Tilsvarende er 25% av verdiene høyere og 75% lavere enn øvre kvartil. Boksen inneholder de midterste 50% av datasettets verdier, og størrelsen på boksen angir spredningen av disse verdiene. Øvre grense settes når verdien er 1,5 ganger boksens lengde fra øvre kvartil. Høyere verdier anses som uteliggere, og plottes som enkeltpunkt. Tilsvarende settes nedre grense 1,5 ganger boksens lengde fra nedre kvartil. Uteliggere (sirkel) markerer enkeltverdier som er mer enn 1,5 ganger boksens lengde fra øvre eller nedre kvartil. Ekstreme uteliggere (stjerne) er mer enn 3 ganger boksens lengde fra øvre eller nedre kvartil.

6. Resultat

En statistisk oversikt for alle 55 grunnstoff er gitt i tabell 6.1. En fullstendig oversikt over resultater for alle de 55 grunnstoffene for hvert enkelt vannverk for både vår og høst finnes i vedlegg 6. Deteksjonsgrenser og en oversikt over antall prøver over deteksjonsgrensene finnes i vedlegg 5.

En oversikt over alle vannverk med tilhørende nummer, kommune og type vannkilde finnes i tabell 5.2. Fra vannverk 50 ble det ikke mottatt vannprøver for hverken vår eller høst, fra vannverk 49 og 58 ble det ikke mottatt vannprøver for vår, og fra vannverk 10 og 16 ble det ikke mottatt vannprøver for høst. Datoer for når de ulike prøvene ble mottatt finnes i vedlegg 2.

Frekvensfordelingsdiagram og box-plott er laget for de fleste grunnstoffene. Unntakene er grunnstoff der resultatene i hovedsak ligger under eller like over deteksjonsgrenser i mange av prøvene. Det gir usikre resultater og grunnlag for feiltolkning av figurer. Frekvensfordelingsdiagrammene (figur 6.1a -6.34a) viser gjennomsnittlig konsentrasjon av grunnstoff i de vannverkene undersøkelsen omfatter ($n=57$). Box-plott (figur 6.1b-6.34b) viser resultat for alle prøver fordelt på grunnvann ($n(G)=45$) og overflatevann ($n(O)=65$). For noen av grunnstoffene er ekstremverdier fjernet fra figurene, i disse tilfellene er antall vannverk og/eller antall prøver for grunnvann og overflatevann som er grunnlaget for figuren gitt i figurteksten.

Grunnstoffer som har grenseverdier i drikkevannsforskriften er presentert først i et eget delkapittel. Videre er resultatene for andre grunnstoffer kommentert kort i et delkapittel. Andre grunnstoffer kommenteres i gruppene hardhet i vann, alkalimetaller, jordalkalimetaller, sjeldne jordarter, andre metaller og halv-metaller og ikke-metaller. Den samme inndelingen benyttes også i diskusjonen.

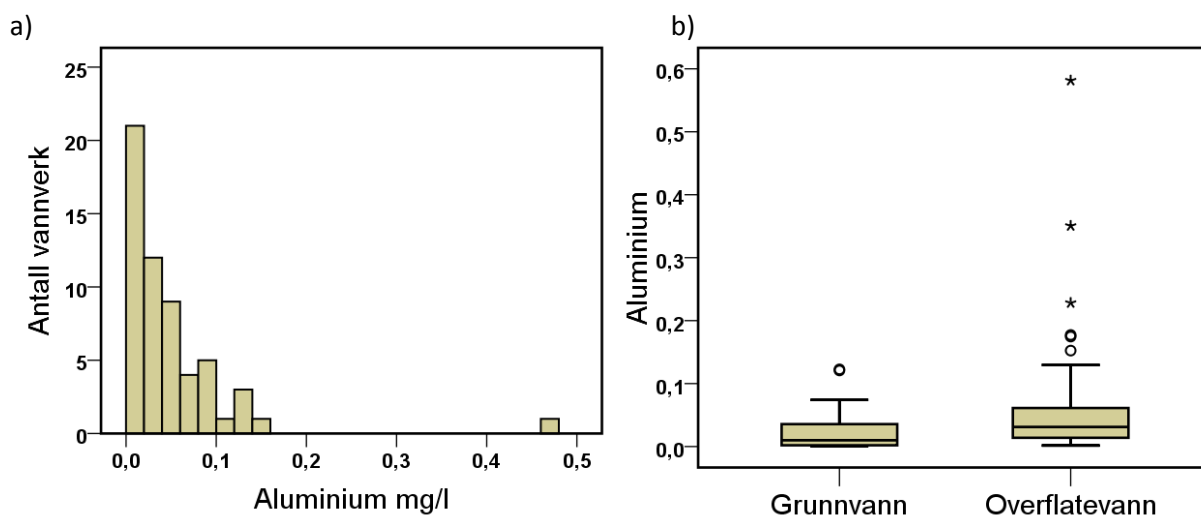
For kalsium er det i tillegg laget en tabell med oversikt over ulike hardhetsklasser for lettere å kunne kommentere dette i diskusjonsdelen. Det er valgt å ikke ta med frekvensfordelingsdiagram og box-plott for sjeldne jordarter fordi forskjellen mellom innholdet i grunnvann og overflatevann er såpass stor og gjør figurene lite anvendbare. I stedet er det laget et stolpediagram som viser gjennomsnittlig konsentrasjon av jordartene i alle prøvene, i prøver fra grunnvann og fra overflatevann. I tillegg er korrelasjoner mellom disse grunnstoffene gitt i en tabell.

En statistisk oversikt over median, minimum og maksimum for prøver i grunnvann og i overflatevann er gitt i tabell V3 i vedlegg 3. Og en lik statistisk oversikt for prøver fra vår og fra høst er gitt i tabell V4 i vedlegg 4.

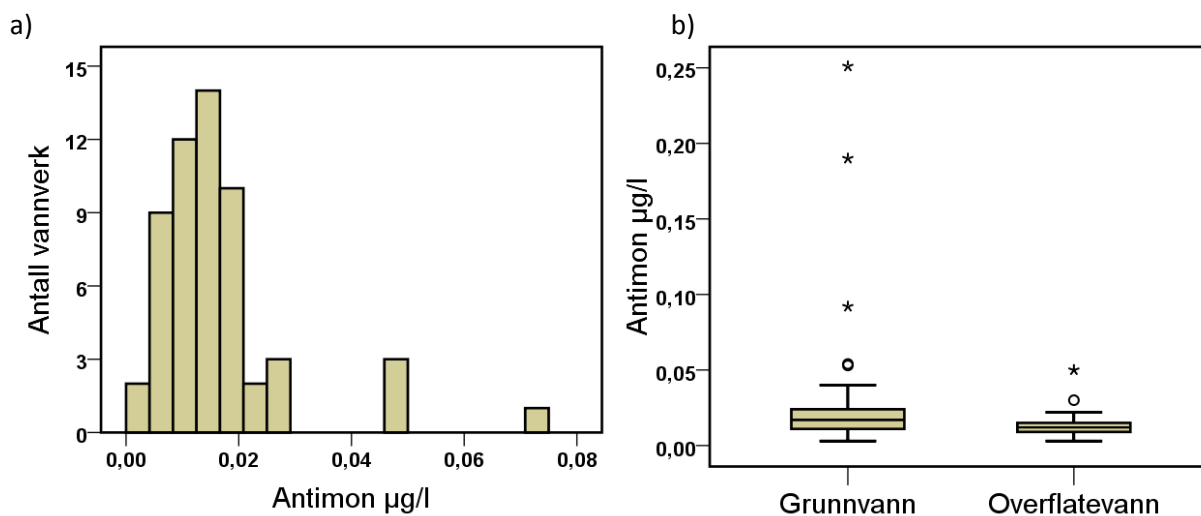
Tabell 6.1: Statistisk oversikt over grunnstoff i drikkevann i Nord-Trøndelag med verdier for gjennomsnitt, median, minimum, maksimum og standardavvik for alle prøver, og gjennomsnitt for prøver fra grunnvann (G) og fra overflatevann (O).

| Grunnstoff | | Gj.snitt | Median | Min | Maks | Standard- avvik | Gj.snitt G | Gj.snitt O |
|------------|------|----------|--------|--------|-------|--------------------|------------|------------|
| Aluminium | mg/L | 0,04 | 0,02 | 0,0007 | 0,58 | 0,07 | 0,02 | 0,06 |
| Antimon | µg/L | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0,25 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| Arsen | µg/L | 0,21 | 0,05 | 0,02 | 3,2 | 0,48 | 0,42 | 0,07 |
| Barium | µg/L | 5,92 | 2,36 | 0,12 | 77,5 | 11,8 | 11,6 | 1,99 |
| Beryllium | µg/L | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,25 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| Bly | µg/L | 0,47 | 0,26 | <0,01 | 4,4 | 0,62 | 0,76 | 0,26 |
| Bor | µg/L | 5,54 | 2,72 | <0,05 | 72,1 | 9,89 | 9,91 | 2,53 |
| Brom | µg/L | 37,0 | 25,9 | 1,90 | 212 | 35,1 | 56,6 | 23,4 |
| Cerium | µg/L | 0,20 | 0,05 | <0,001 | 2,6 | 0,45 | 0,39 | 0,06 |
| Cesium | µg/L | 0,08 | 0,01 | 0,001 | 1,7 | 0,29 | 0,16 | 0,02 |
| Dysprosium | µg/L | 0,05 | <0,01 | <0,01 | 0,43 | 0,10 | 0,11 | <0,01 |
| Erbium | µg/L | 0,03 | <0,001 | <0,001 | 0,23 | 0,05 | 0,06 | 0,003 |
| Fosfor | µg/L | 2,89 | 1,77 | 0,59 | 48,8 | 5,40 | 2,02 | 3,50 |
| Gallium | µg/L | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,20 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| Gull | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,001 | <0,01 | <0,01 |
| Hafnium | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,002 | <0,01 | <0,01 |
| Holmium | µg/L | 0,01 | 0,00 | <0,001 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,001 |
| Jern | mg/L | 0,04 | 0,01 | <0,01 | 0,46 | 0,07 | 0,05 | 0,02 |
| Kadmium | µg/L | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0,03 | 0,005 | <0,05 | <0,05 |
| Kalium | mg/L | 0,48 | 0,18 | 0,01 | 5,60 | 0,82 | 1,59 | 0,38 |
| Kalsium | mg/L | 11 | 5,6 | 0,5 | 72 | 14 | 17 | 7,20 |
| Klor | mg/L | 12 | 9,9 | 1,0 | 63 | 9,6 | 14 | 10,4 |
| Kobber | mg/L | 0,06 | 0,02 | 0,0001 | 0,71 | 0,11 | 71,2 | 45,27 |
| Kobolt | µg/L | 0,11 | 0,02 | <0,01 | 2,4 | 0,32 | 0,12 | 0,11 |
| Krom | µg/L | 0,09 | 0,05 | <0,01 | 1,45 | 0,16 | 0,11 | 0,07 |
| Kvikksølv | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,001 | <0,01 | <0,01 |
| Lantan | µg/L | 0,49 | 0,04 | <0,01 | 6,8 | 1,2 | 1,1 | 0,05 |
| Litium | µg/L | 0,76 | 0,21 | 0,03 | 14,3 | 2,08 | 1,54 | 0,22 |
| Lutetium | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Magnesium | mg/L | 1,74 | 0,96 | 0,13 | 15,1 | 2,23 | 3,17 | 0,75 |
| Mangan | µg/L | 6,70 | 1,59 | 0,04 | 89,6 | 14,0 | 9,06 | 5,06 |
| Molybden | µg/L | 0,40 | 0,04 | 0,003 | 8,8 | 1,2 | 0,94 | 0,03 |
| Natrium | mg/L | 9,67 | 5,28 | 0,763 | 89,8 | 14,8 | 16,0 | 5,29 |
| Neodym | µg/L | 0,42 | 0,04 | <0,001 | 6,1 | 1,03 | 0,98 | 0,04 |
| Nikkel | µg/L | 1,10 | 0,37 | 0,02 | 12,2 | 2,03 | 1,47 | 0,84 |
| Praseodym | µg/L | 0,11 | 0,01 | <0,001 | 1,68 | 0,28 | 0,26 | 0,01 |
| Rubidium | µg/L | 1,35 | 0,76 | 0,18 | 5,81 | 1,43 | 2,21 | 0,76 |
| Samarium | µg/L | 0,07 | 0,01 | <0,001 | 0,78 | 0,16 | 0,17 | 0,01 |
| Selen | µg/L | <0,15 | <0,15 | <0,15 | 2,38 | 0,25 | 0,20 | 0,04 |
| Silisium | mg/L | 2,17 | 1,97 | 0,32 | 8,75 | 1,79 | 3,10 | 1,53 |
| Sink | µg/L | 13,6 | 8,9 | 0,2 | 101 | 16,7 | 16,6 | 11,5 |

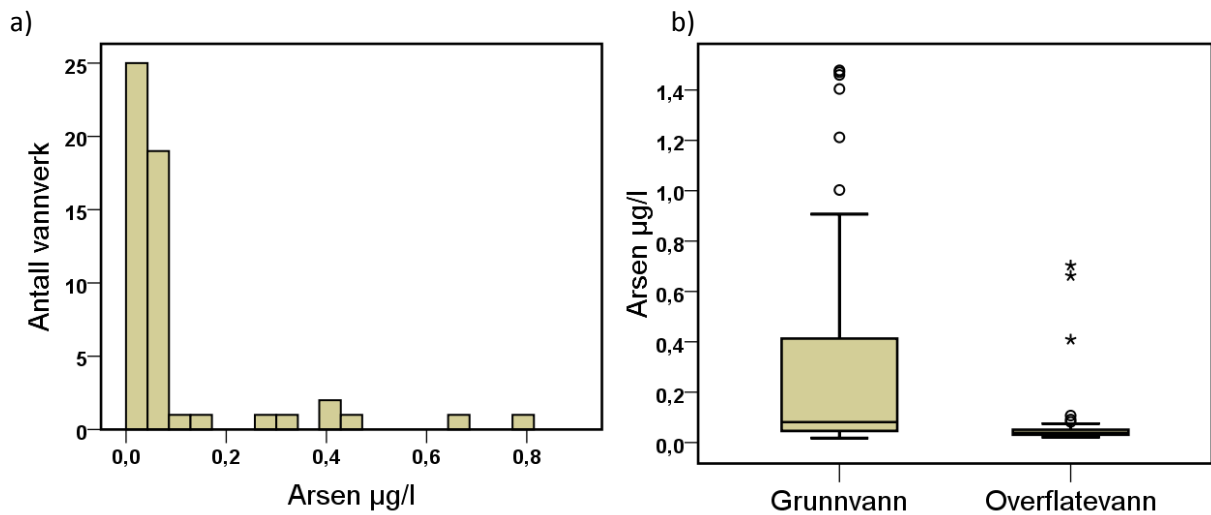
| | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|--------|--------|------|-------|-------|-------|
| Strontium | µg/L | 56,9 | 16,8 | 2,1 | 1155 | 147 | 115 | 16,6 |
| Svovel | mg/L | 2,24 | 0,74 | 0,04 | 19,7 | 3,66 | 3,31 | 1,50 |
| Terbium | µg/L | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,001 |
| Thallium | µg/L | 0,004 | <0,001 | <0,001 | 0,05 | 0,007 | 0,007 | 0,003 |
| Thorium | µg/L | 0,006 | 0,002 | <0,001 | 0,10 | 0,014 | 0,011 | 0,003 |
| Thulium | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | <0,01 |
| Tinn | µg/L | 0,04 | <0,01 | <0,01 | 3,4 | 0,32 | 0,01 | 0,06 |
| Titan | µg/L | 0,50 | 0,11 | <0,02 | 5,5 | 0,91 | 0,59 | 0,44 |
| Uran | µg/L | 1,99 | 0,02 | <0,001 | 68,5 | 9,22 | 4,83 | 0,02 |
| Vanadium | µg/L | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 1,5 | 0,17 | 0,17 | 0,04 |
| Vismut | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Wolfram | µg/L | 0,04 | <0,01 | <0,01 | 1,13 | 0,16 | 0,10 | 0,01 |
| Ytterbium | µg/L | 0,022 | 0,004 | <0,001 | 0,16 | 0,040 | 0,049 | 0,003 |
| Yttrium | µg/L | 0,37 | 0,04 | <0,001 | 4,41 | 0,79 | 0,85 | 0,03 |



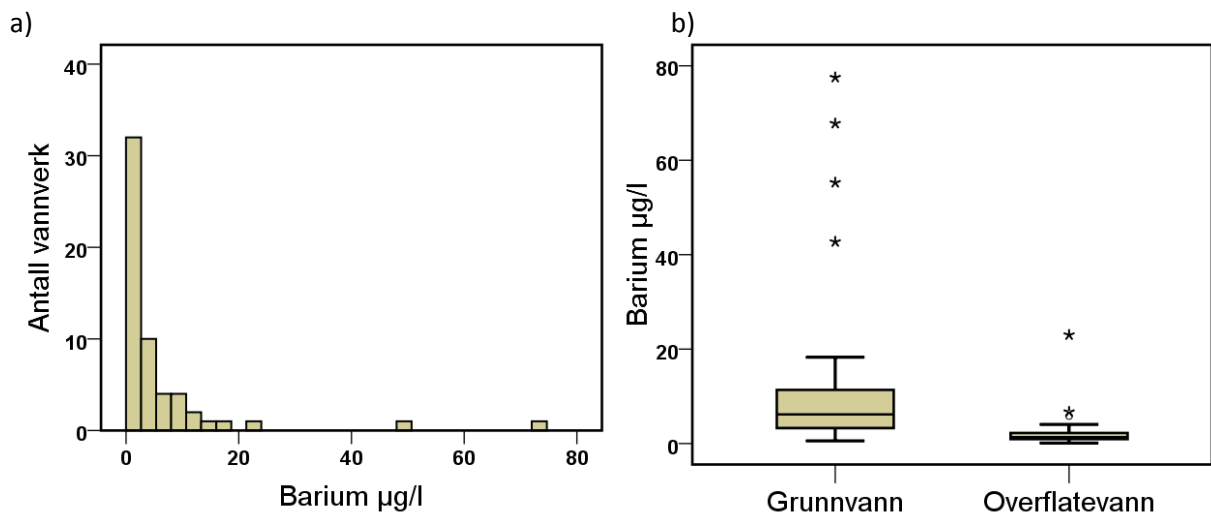
Figur 6.1: a) Frekvensfordelingsdiagram for aluminium. b) Box-plott for aluminium



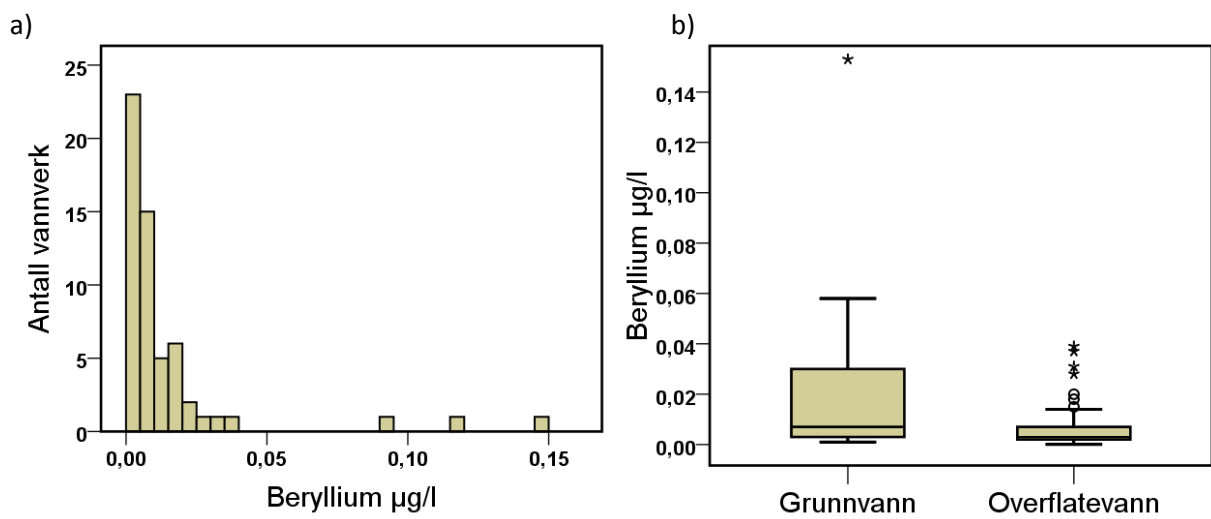
Figur 6.2: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56) for antimon. b) Box-plott for antimon.



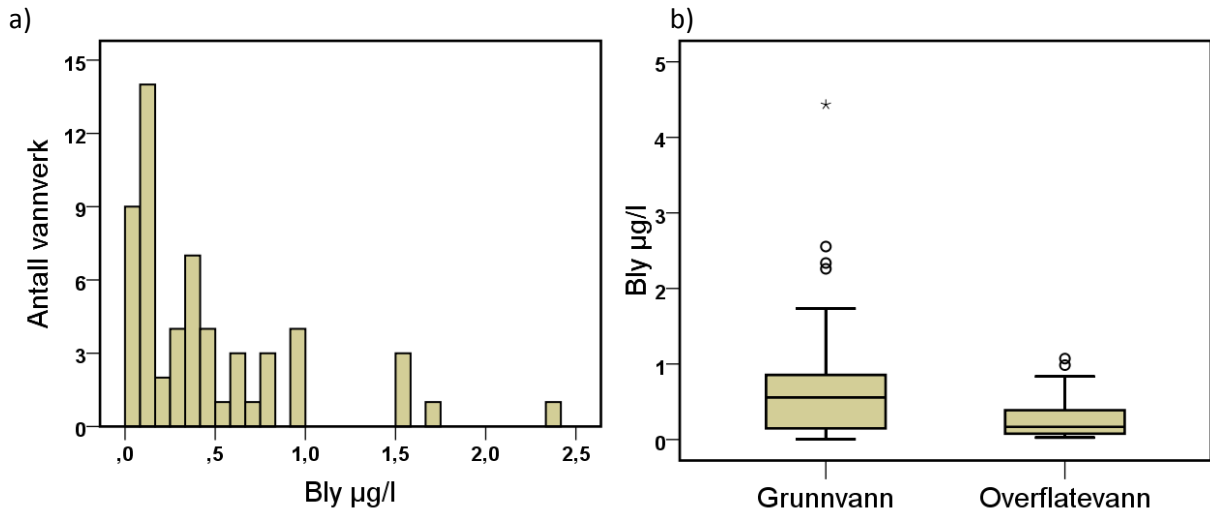
Figur 6.3: a) Frekvensfordelingsdiagram(n=53) for arsen. b) Box-plott (n(G)=43, n(O)=65) for arsen.



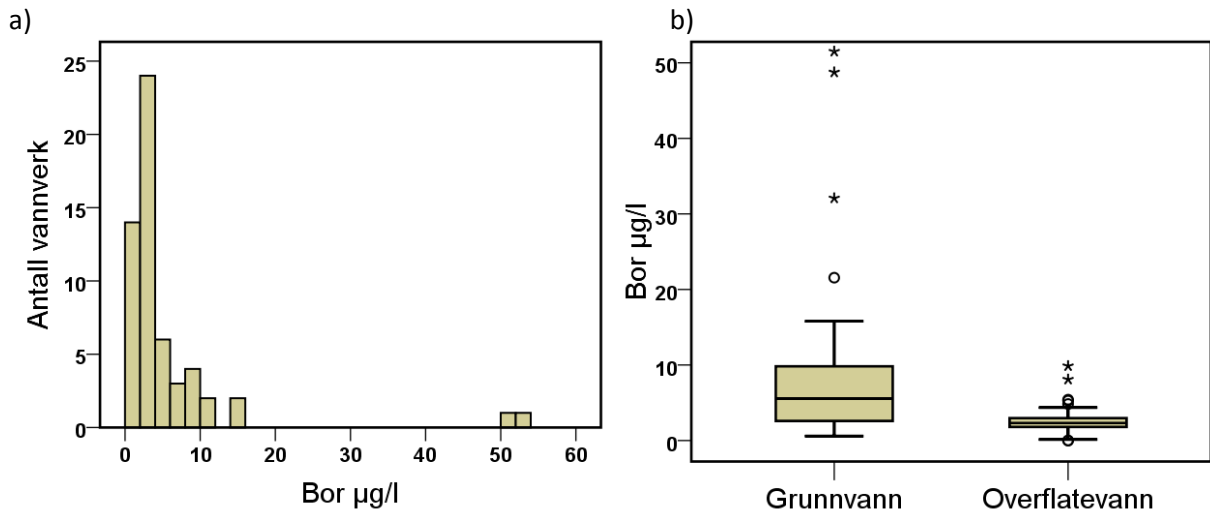
Figur 6.4: a) Frekvensfordelingsdiagram for barium. b) Box-plott (n(G)=44, n(O)=63) for barium.



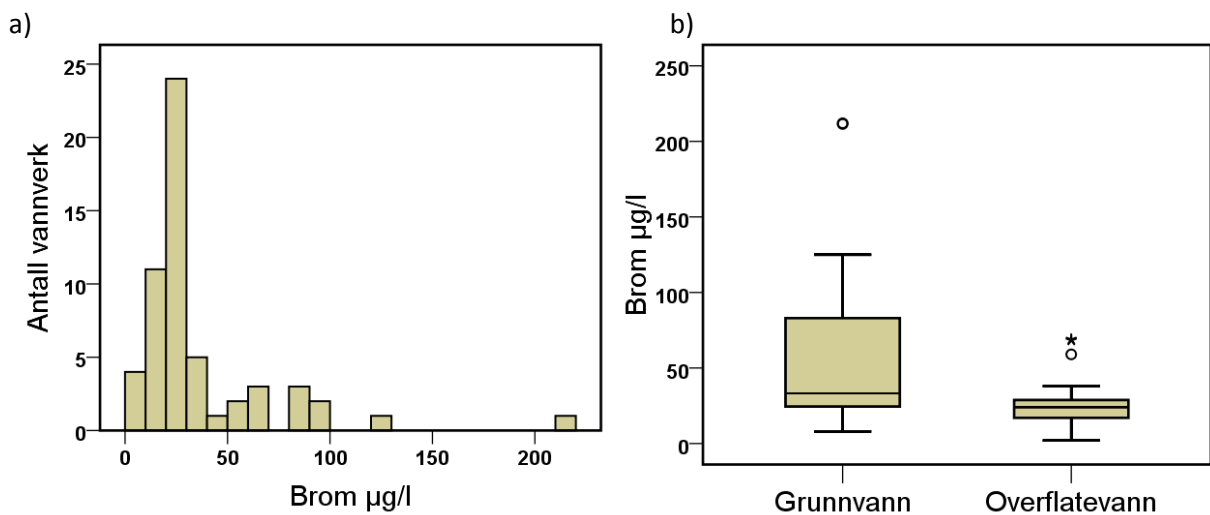
Figur 6.5: a) Frekvensfordelingsdiagram for beryllium. b) Box-plott (n(G)=43,n(O)=65) for beryllium.



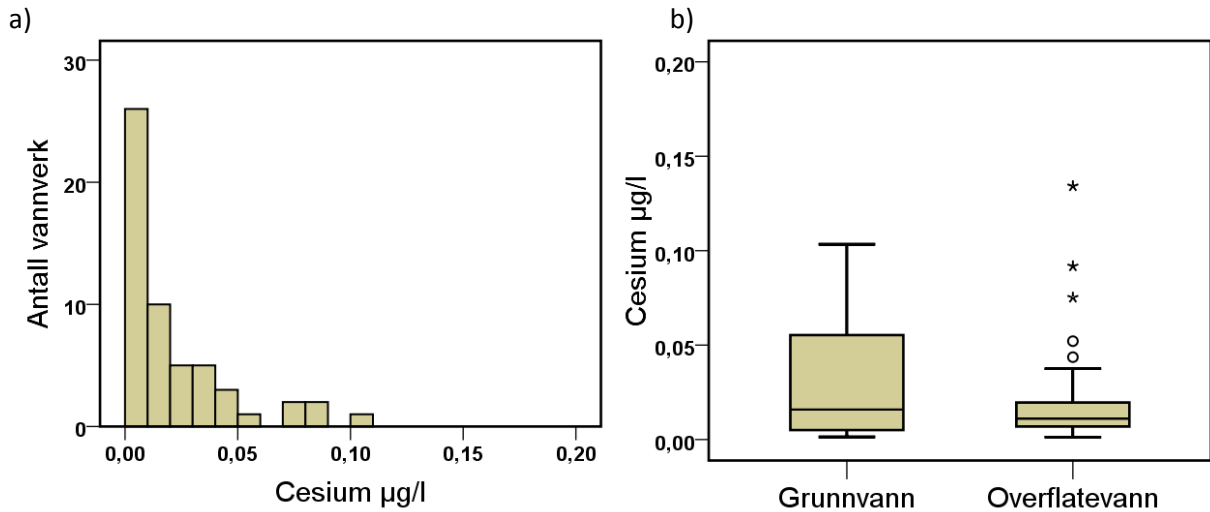
Figur 6.6: a) Frekvensfordelingsdiagram for bly. b) Box-plott for bly.



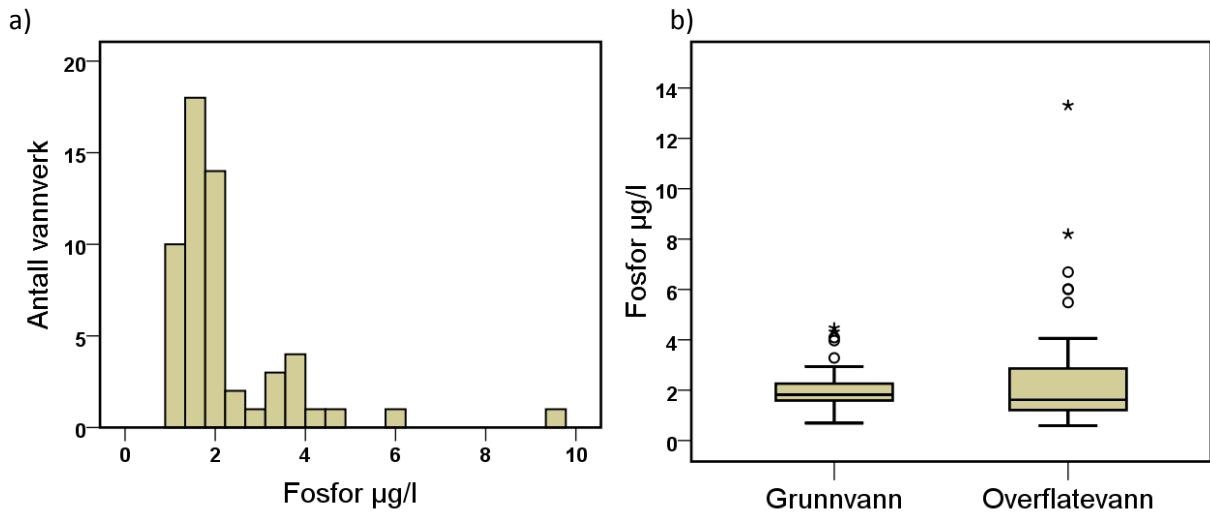
Figur 6.7: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=57) for bor. b) Box-plott(n(G)=44, n(O)=65) for bor.



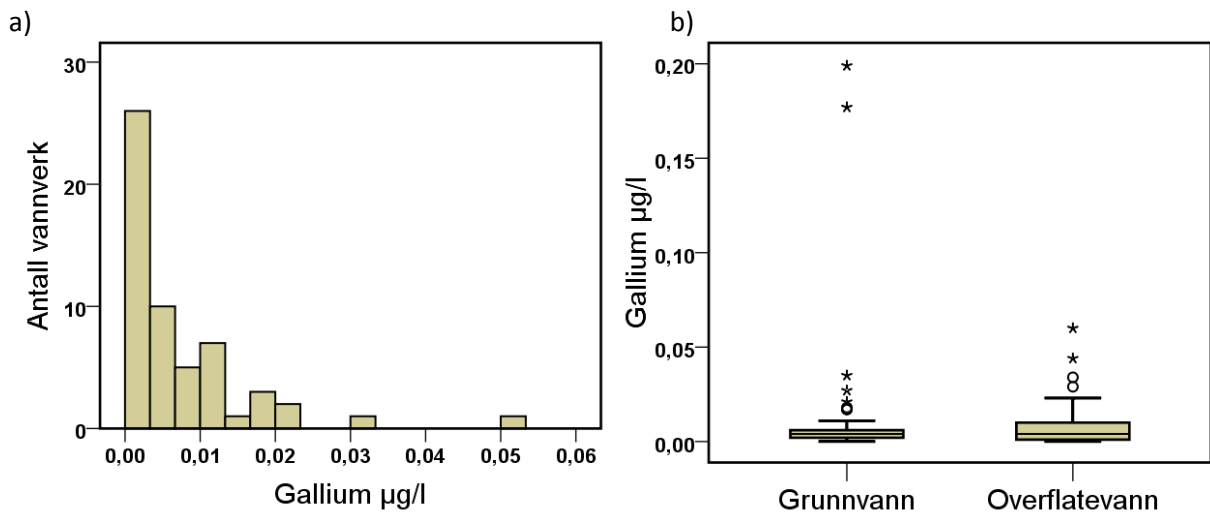
Figur 6.8: a) Frekvensfordelingsdiagram for brom. b) Box-plott for brom.



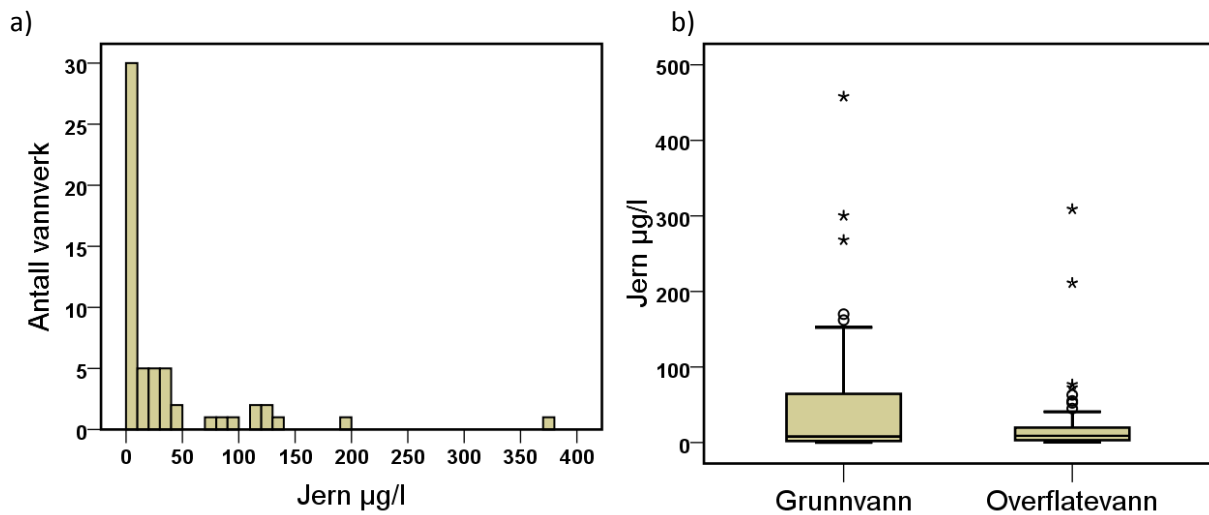
Figur 6.9: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=55) for cesium. b) Box-plott (n(G)=41, n(O)=65) for cesium.



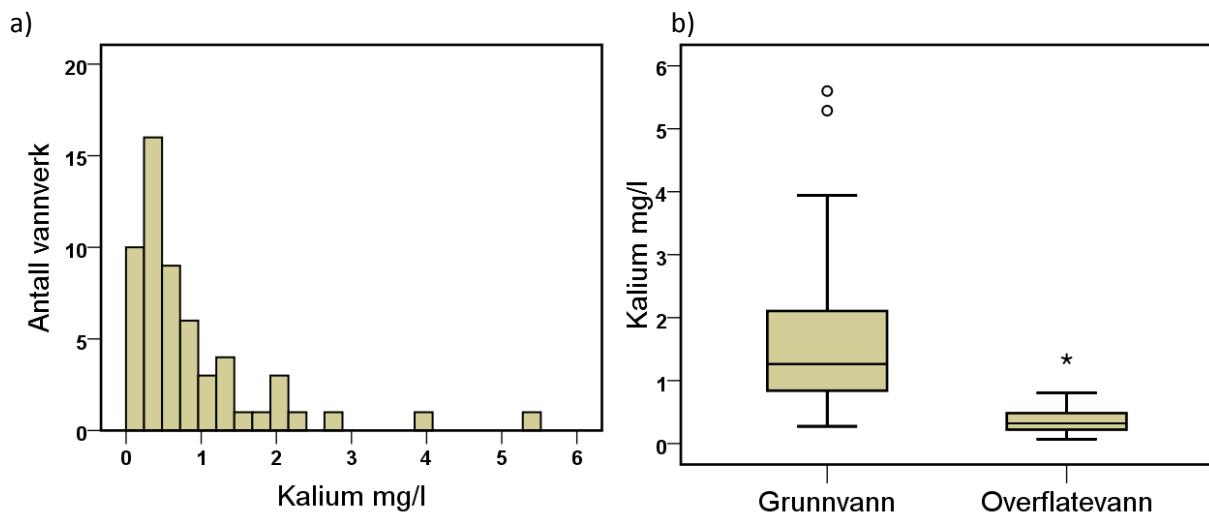
Figur 6.10: a) Frekvensfordelingsdiagram for fosfor. b) Box-plott for fosfor (n(G)=45, n(O)=63).



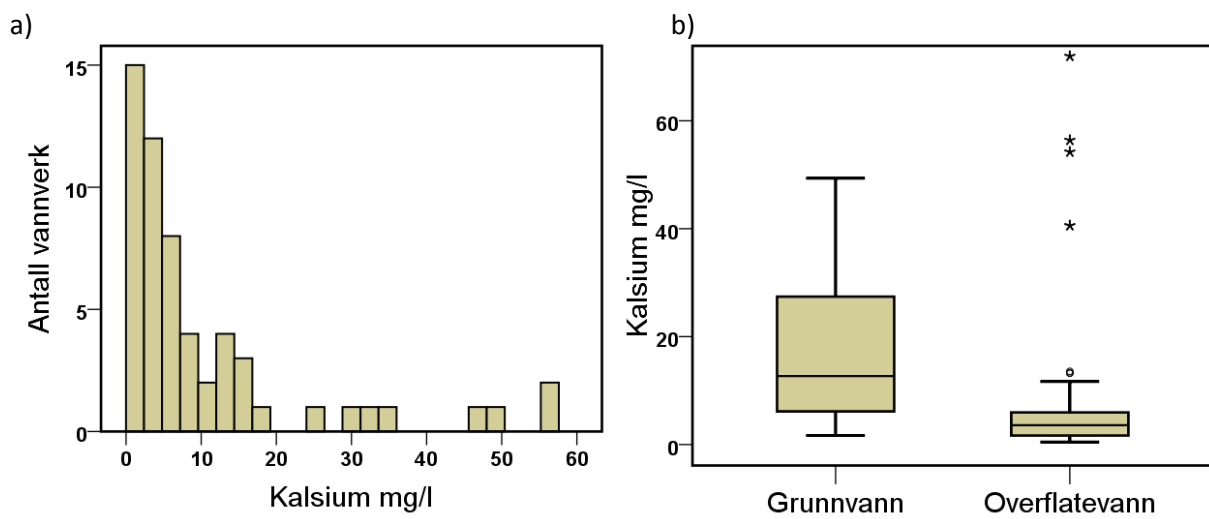
Figur 6.11: a) Frekvensfordelingsdiagram(n=56) for gallium. b) Box-plott for gallium.



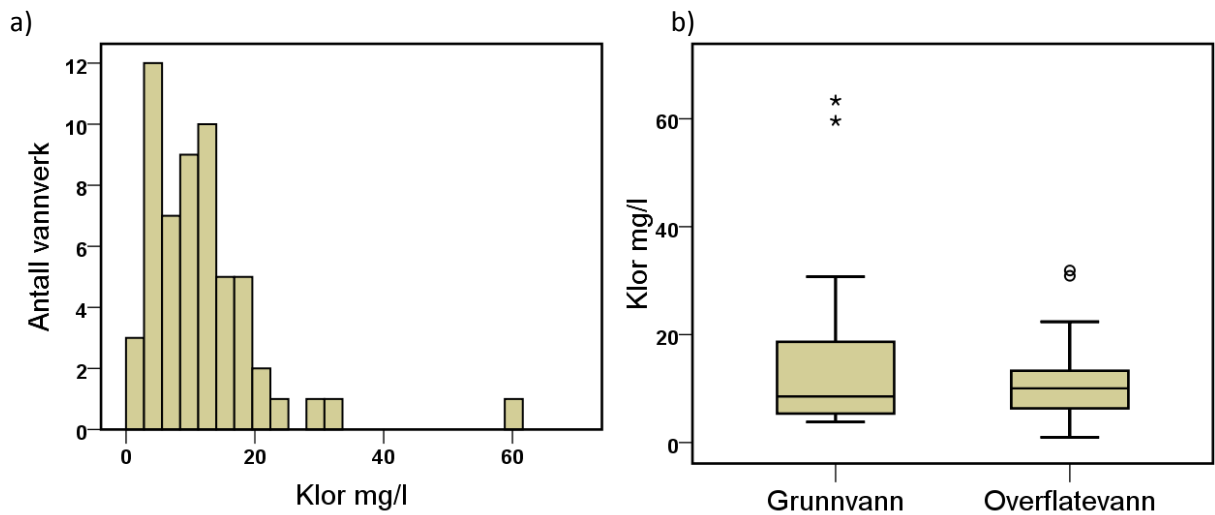
Figur 6.12: a) Frekvensfordelingsdiagram for jern. b) Box-plott($n(G)=46$, $n(O)=63$) for jern.



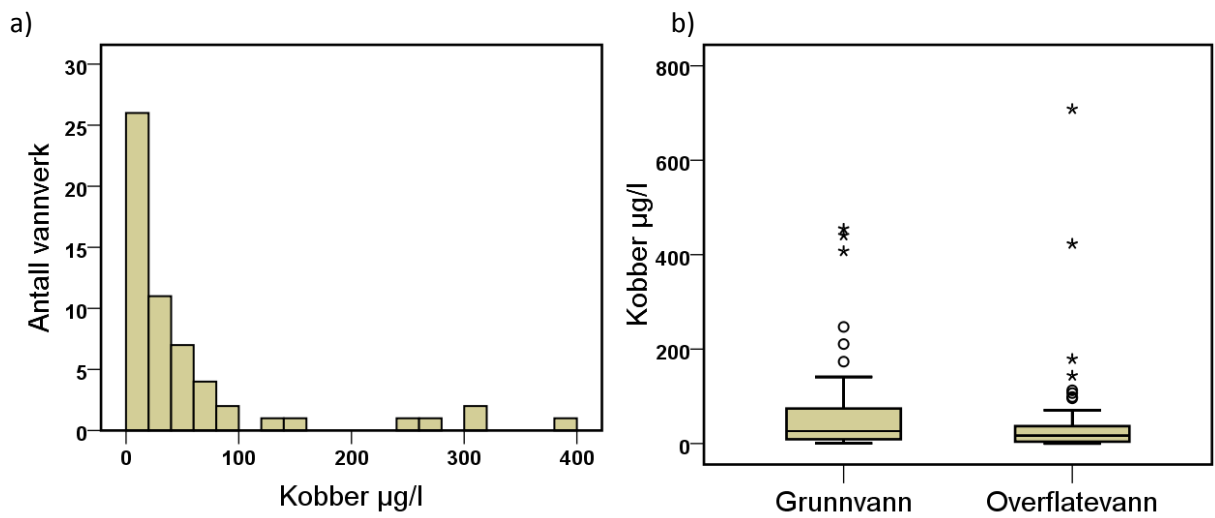
Figur 6.13: a) Frekvensfordelingsdiagram for kalium. b) Box-plott for kalium.



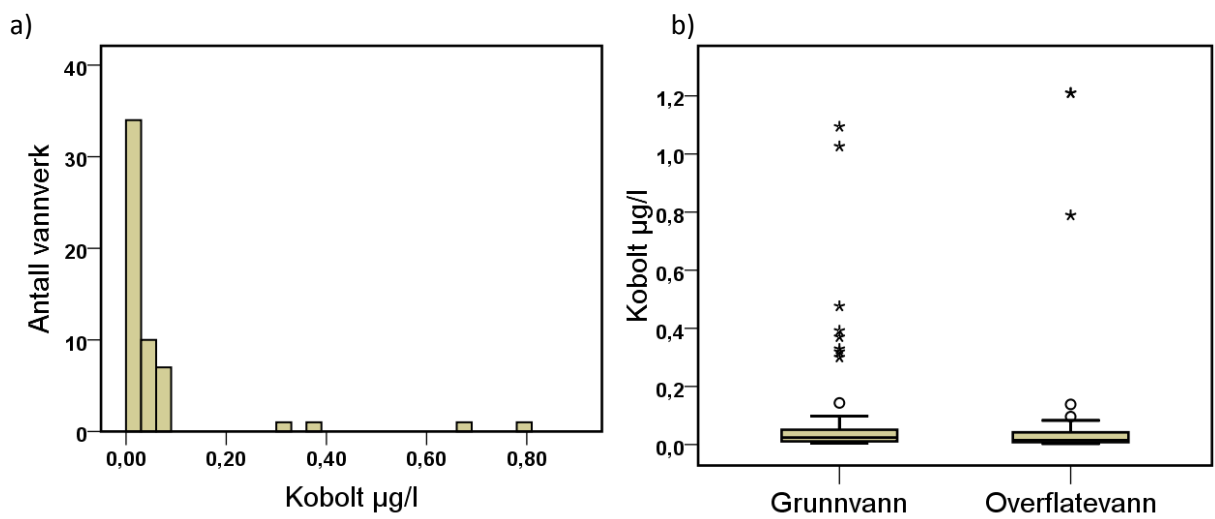
Figur 6.14: a) Frekvensfordelingsdiagram for kalsium. b) Box-plott for kalsium.



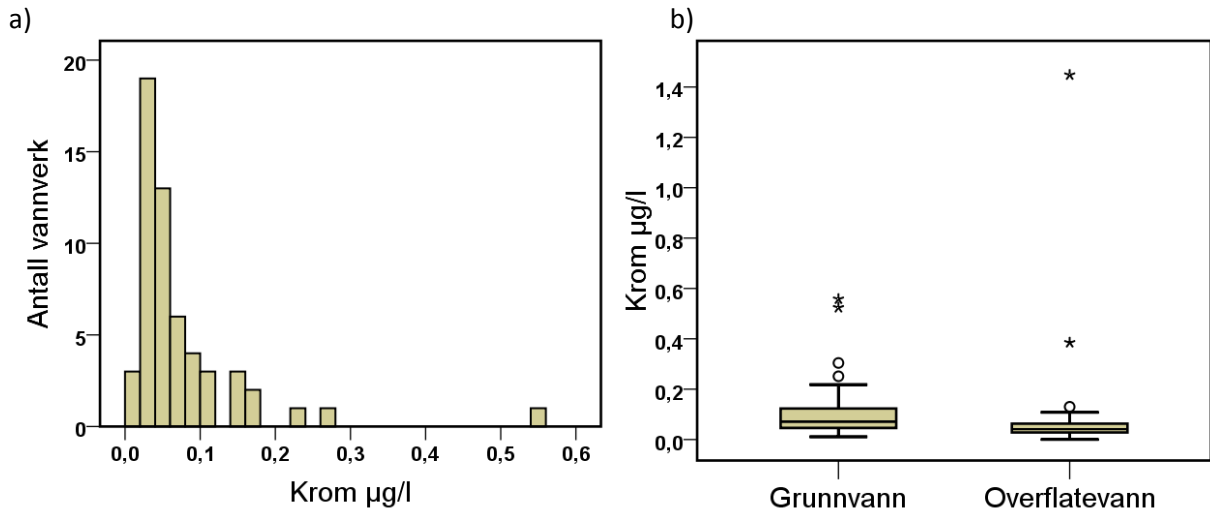
Figur 6.15: a) Frekvensfordelingsdiagram for klor. b) Box-plott for klor.



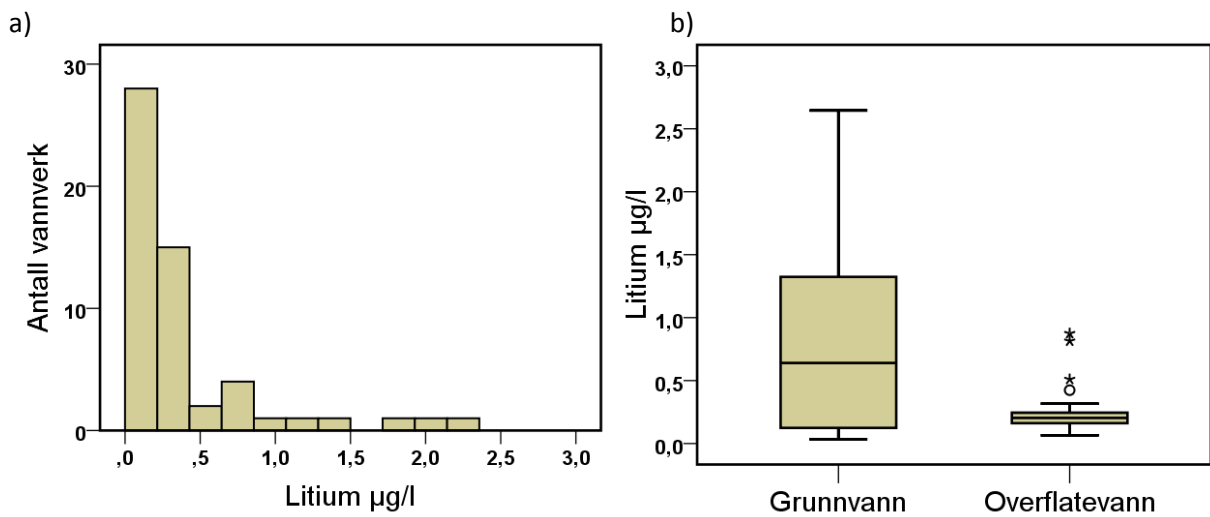
Figur 6.16: a) Frekvensfordelingsdiagram for kobber. b) Box-plott for kobber.



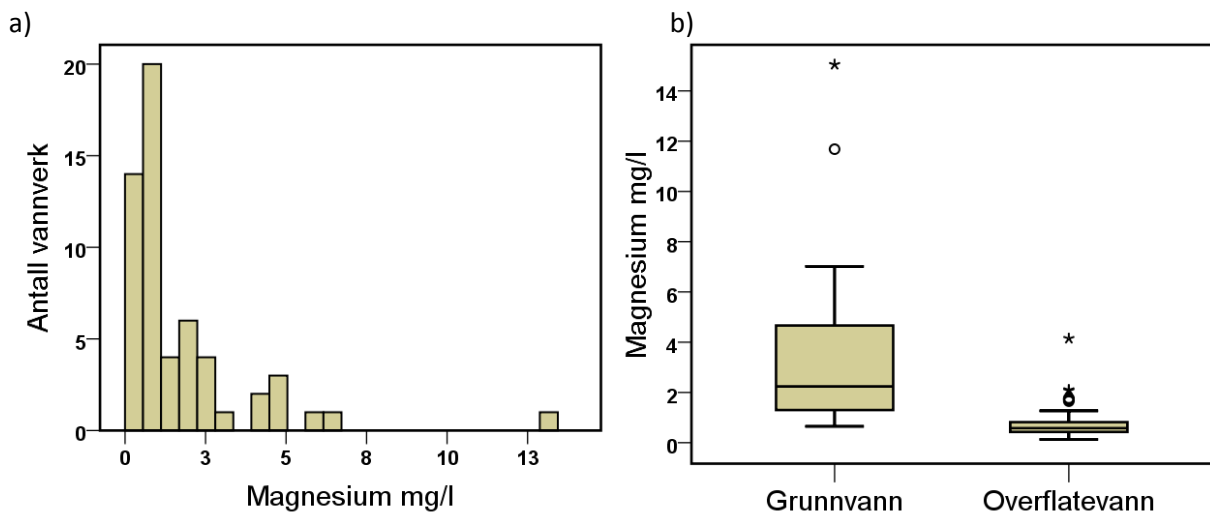
Figur 6.17: a) Frekvensfordelingsdiagram(n=55) for kobolt. b) Box-(n(G)=45, n(O)=64) for kobolt.



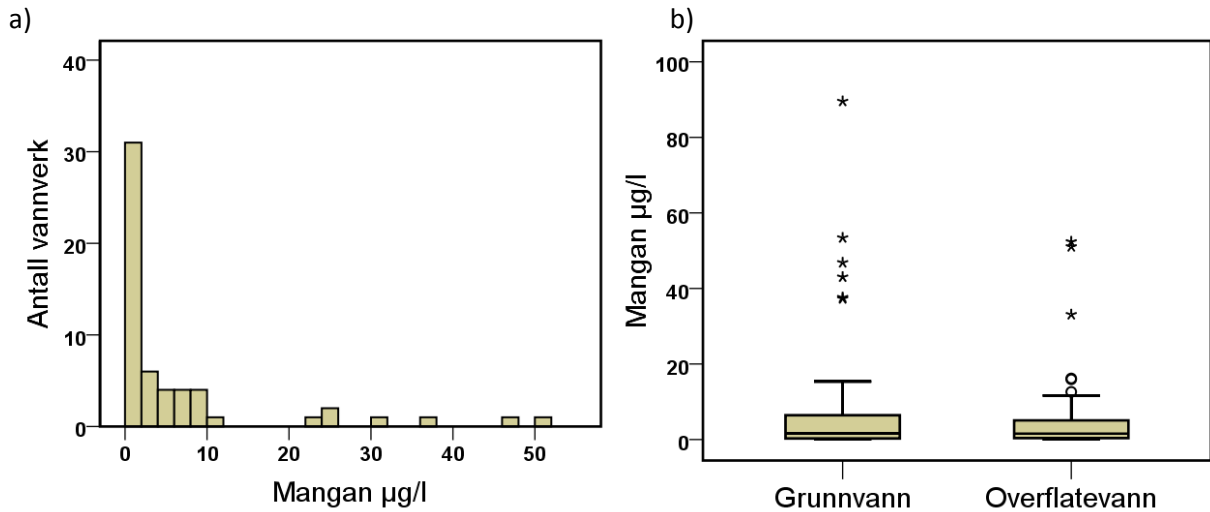
Figur 6.18: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56) for krom. b) Box-plott (n(G)=45, n(O)=62) for krom.



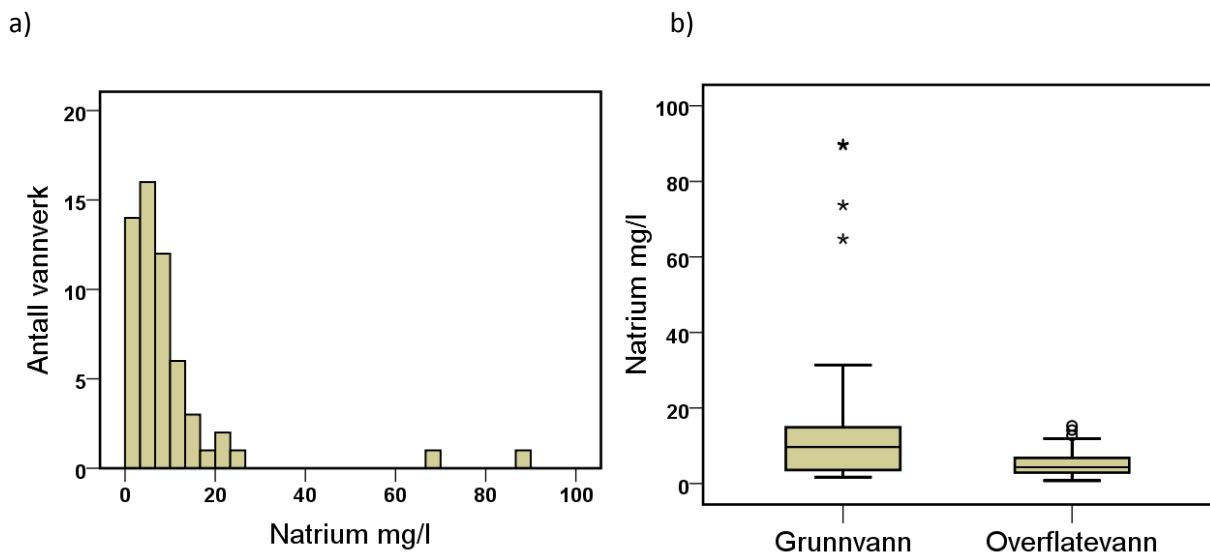
Figur 6.19: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56). b) Box-plott (n(G)=41, n(O)=65) for litium.



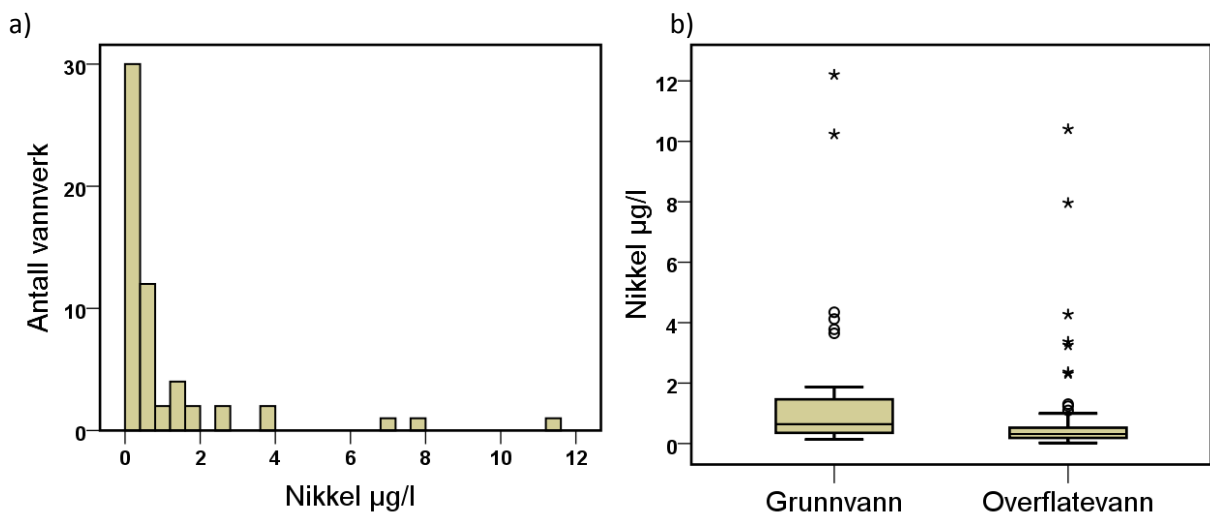
Figur 6.20: a) Frekvensfordelingsdiagram for magnesium. b) Box-plott for magnesium.



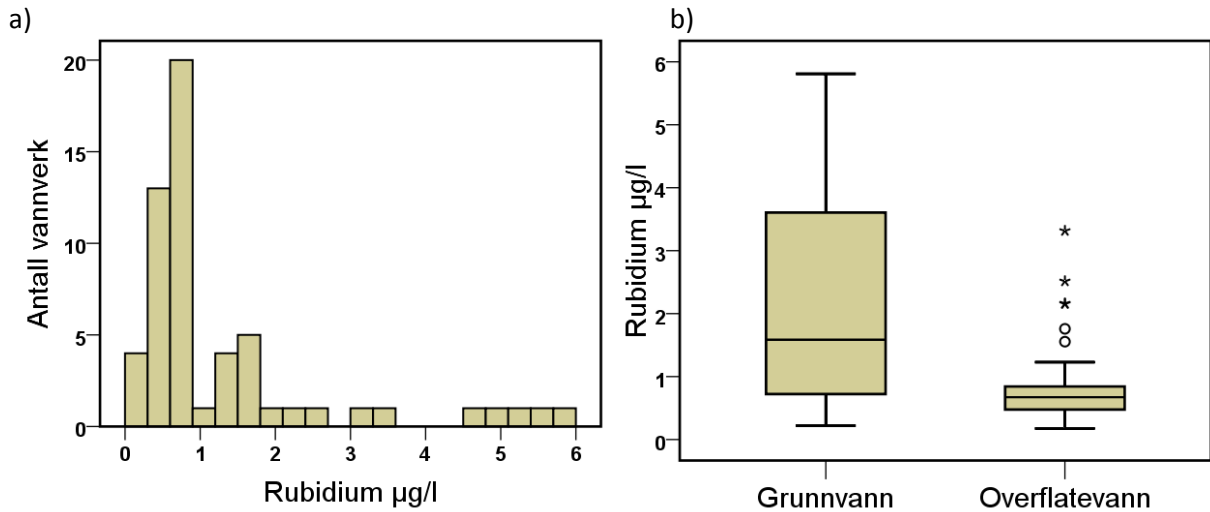
Figur 6.21: a) Frekvensfordelingsdiagram for mangan. b) Box-plott ($n(G)=46$, $n(O)=63$) for mangan.



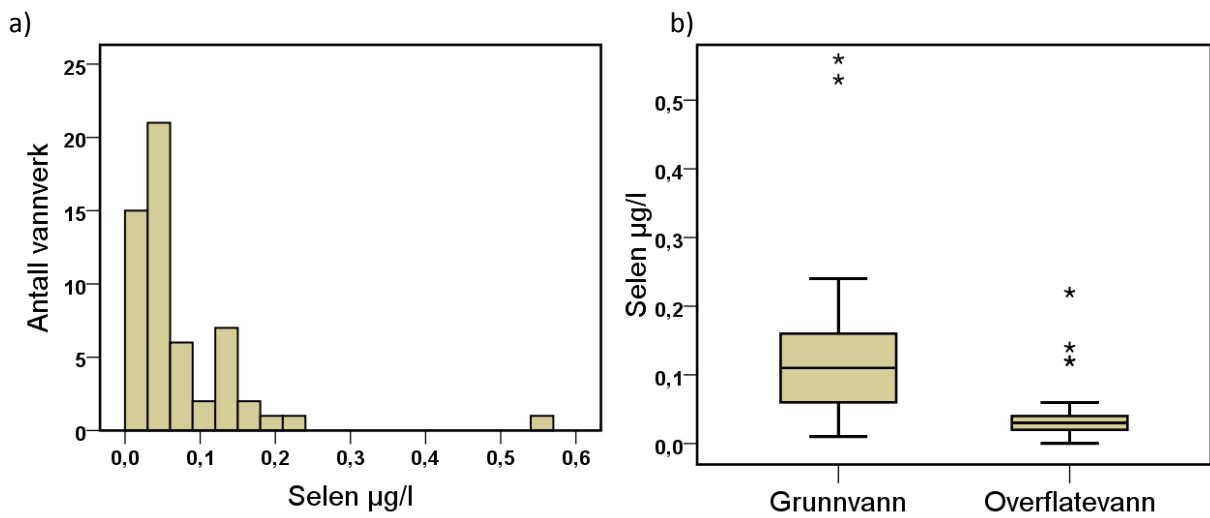
Figur 6.22: a) Frekvensfordelingsdiagram for natrium. b) Box-plott for natrium.



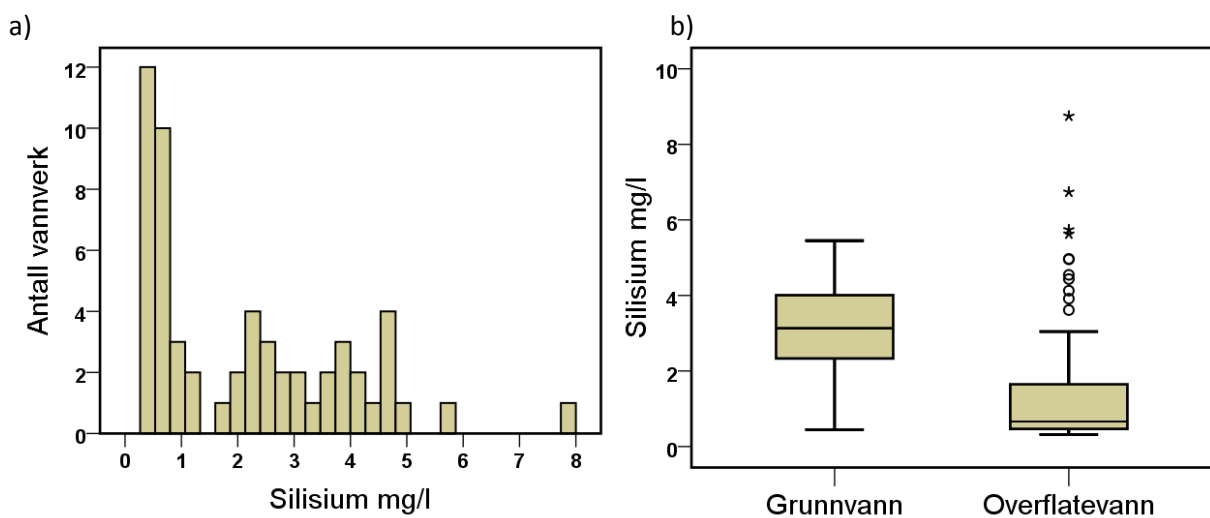
Figur 6.23: a) Frekvensfordelingsdiagram for nikkel. b) Box-plott for nikkel.



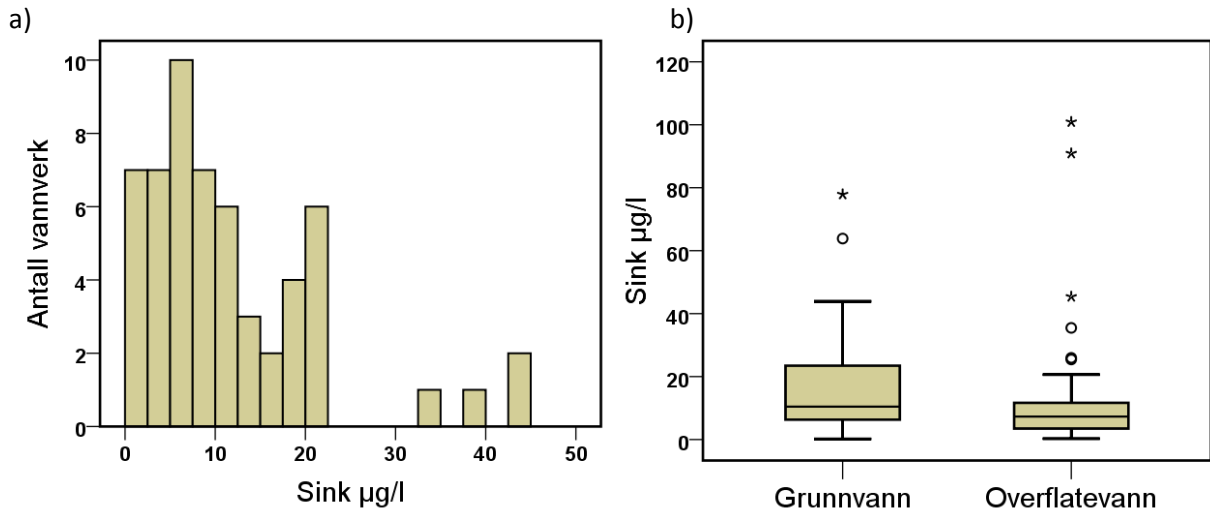
Figur 6.24: a) Frekvensfordelingsdiagram for rubidium. b) Box-plott for rubidium.



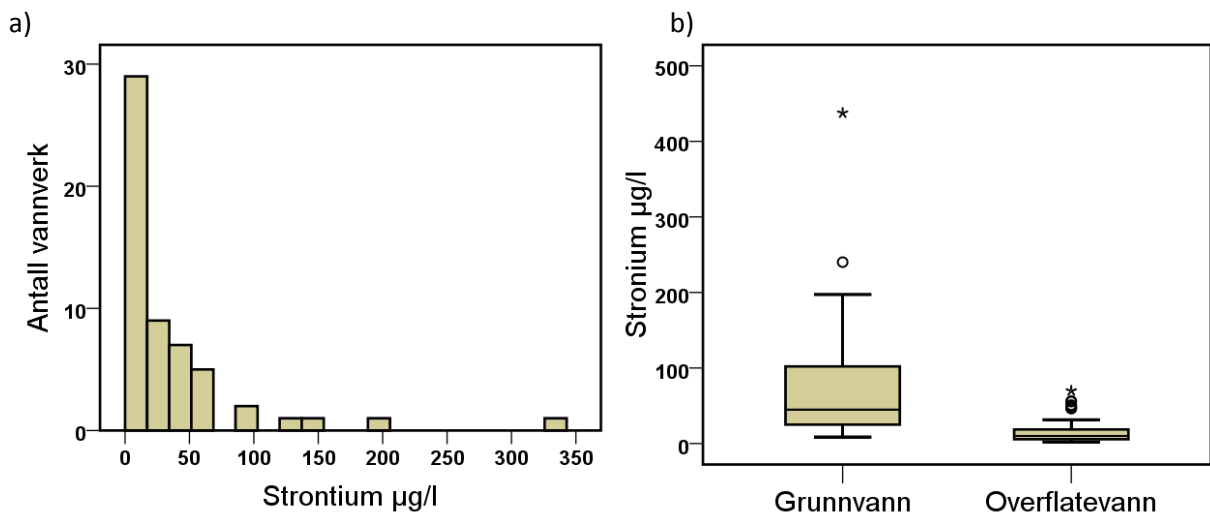
Figur 6.25: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56) for selen. b) Box-plott(n(G)=44,n(O)=65) for selen.



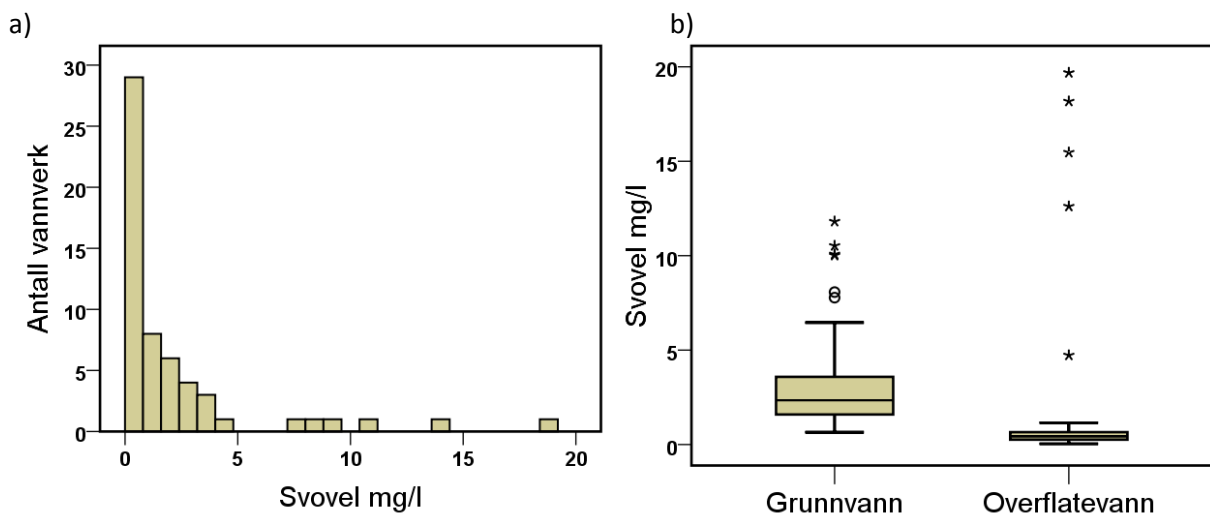
Figur 6.26: a) Frekvensfordelingsdiagram for silisium. b) Box-plott for silisium.



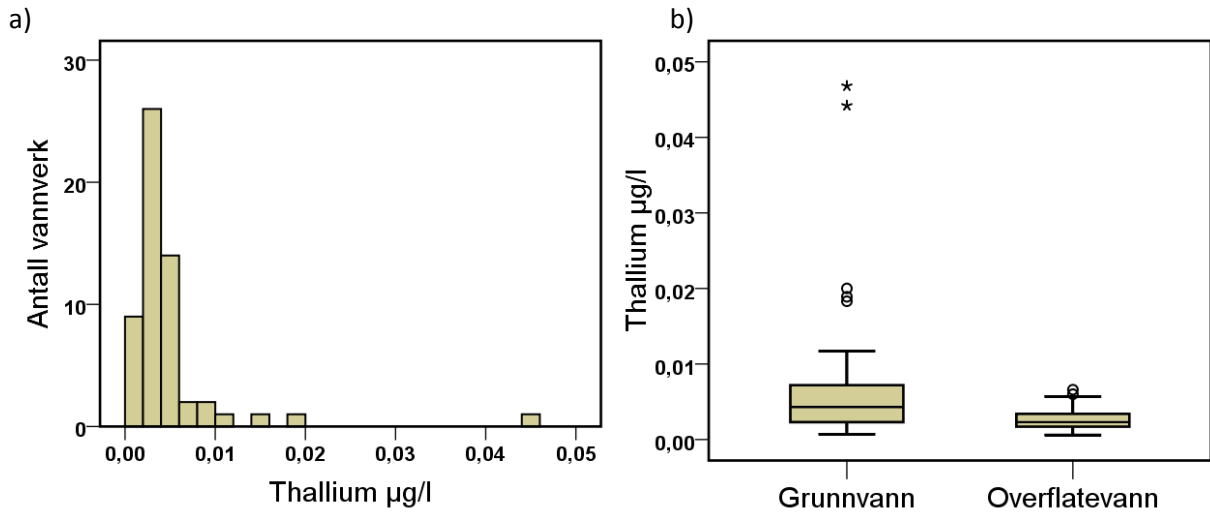
Figur 6.27: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56) for sink. b) Box-plott for sink.



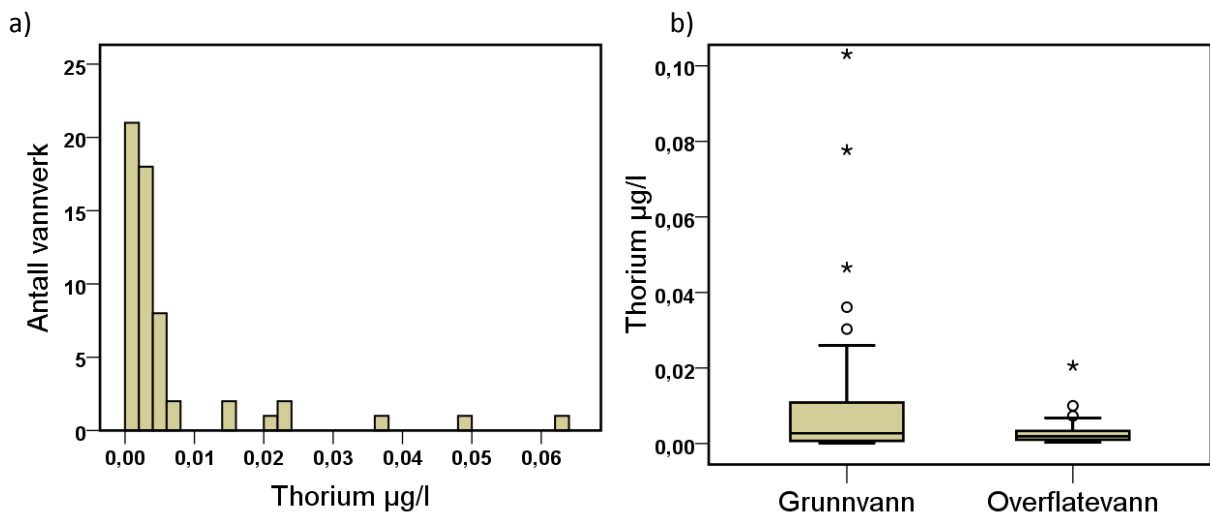
Figur 6.28: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56) for strontium. b) Box-plott (n(G)=43, n(O)=65) for strontium.



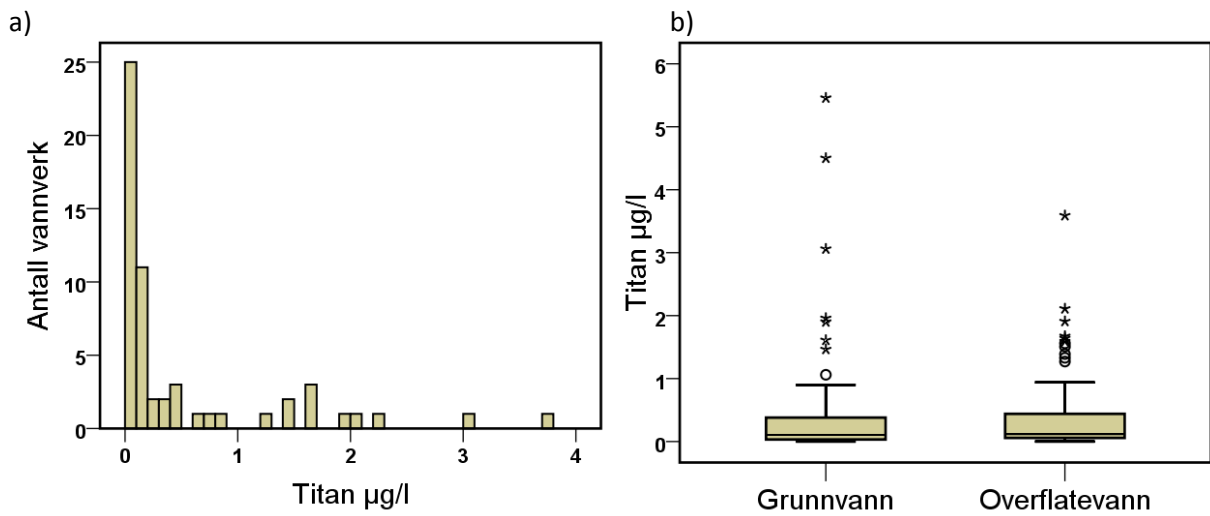
Figur 6.29: a) Frekvensfordelingsdiagram for svovel. b) Box-plott for svovel.



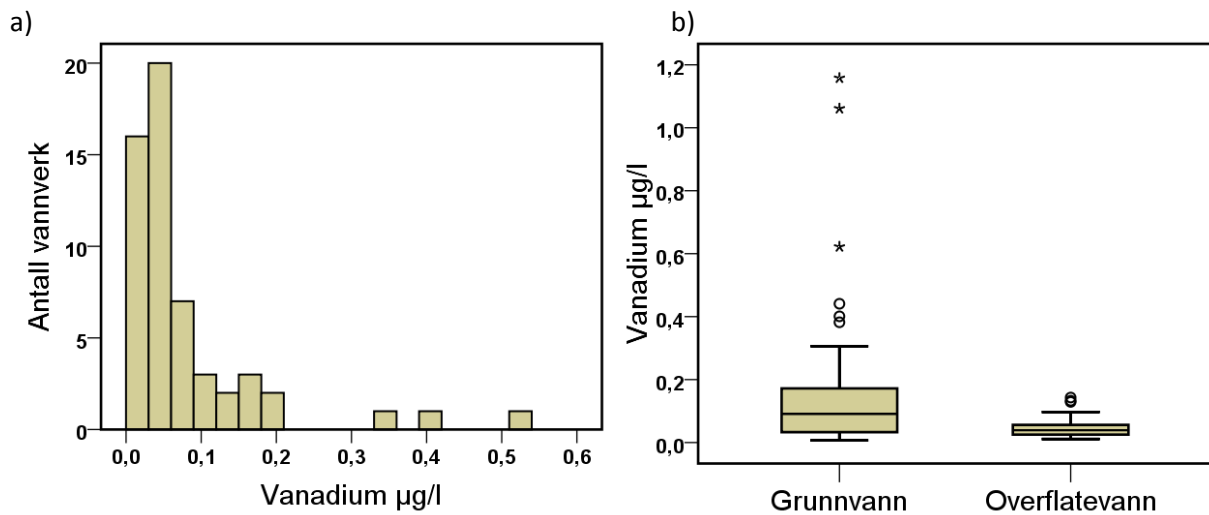
Figur 6.30: a) Frekvensfordelingsdiagram for thallium. b) Box-plott for thallium.



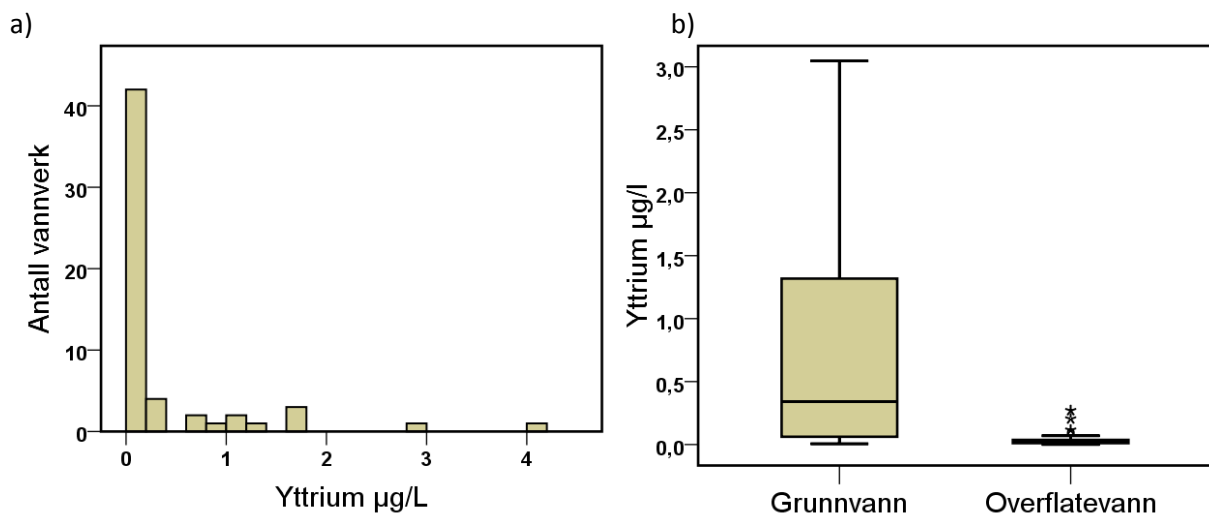
Figur 6.31: a) Frekvensfordelingsdiagram for thorium. b) Box-plott for thorium.



Figur 6.32: a) Frekvensfordelingsdiagram for titan. b) Box-plott for titan.



Figur 6.33: a) Frekvensfordelingsdiagram (n=56) for vanadium. b) Box-plott for vanadium.

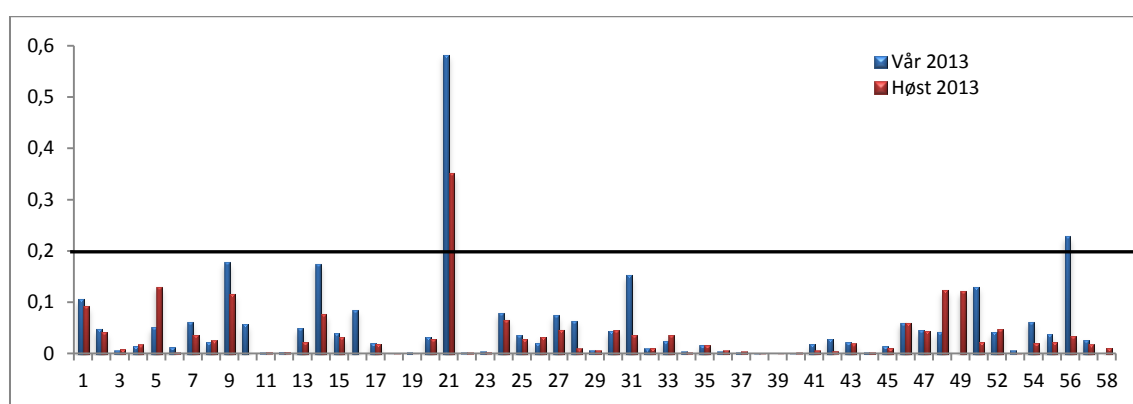


Figur 6.34: a) Frekvensfordelingsdiagram for yttrium. b) Box-plott (n(G)=43, n(O)=65) for yttrium.

6.1 Grunnstoff med grenseverdier i drikkevannsforskriften

Drikkevannsforskriften (HOD, 2001) har som nevnt i kapittel 2.1 angitt grenseverdier for kvalitetskrav til drikkevann for en rekke parametere, deriblant for flere uorganiske bestanddeler. 15 av grunnstoffene vannprøvene i denne oppgaven er analysert for har grenseverdier i drikkevannsforskriften, og disse grunnstoffene (Al, Sb, As, Pb, B, Fe, Cd, Cl, Cu, Cr, Hg, Mn, Na, Ni, Se) vil bli presentert i dette delkapittelet med sammenligning mellom prøveresultater og grenseverdier. Grenseverdien for sulfat er kommentert under svovel i delkapittel 6.2.6.

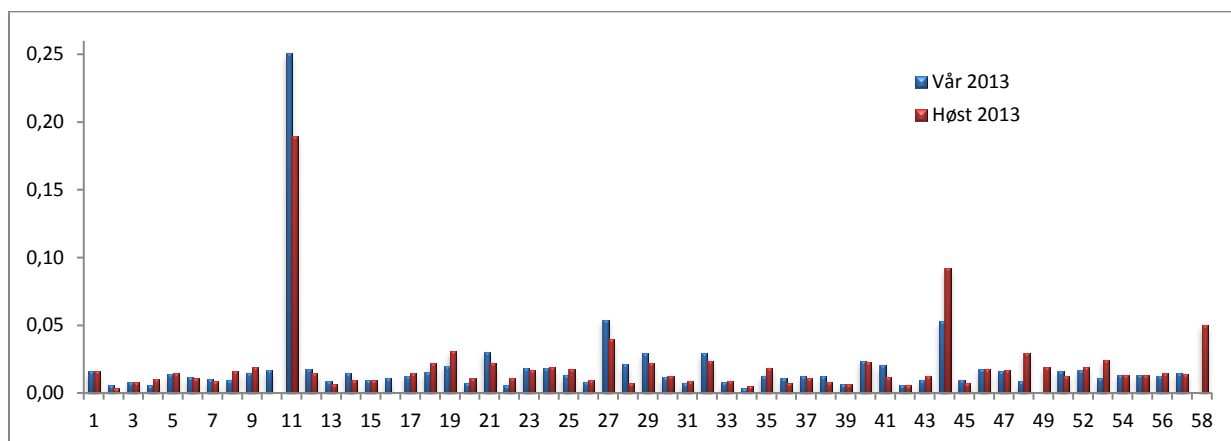
6.1.1 Aluminium (grenseverdi 0,2 mg/l)



Figur 6.1.1: Oversikt over mengde aluminium (mg/l) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen). Prøver fra vår er blå og prøver fra høst er rød. Den svarte streken illustrerer grenseverdien på 0,2mg/l.

Tre av prøvene overskrider grenseverdien for aluminium på 0,2 mg/l. For vannverk 21 overskrider både vår- og høstprøven grenseverdien betydelig (0,58 og 0,35 mg/l), mens for vannverk 56 overskrider bare vårprøven (0,23 mg/l) denne grenseverdien. For vannverk 56 er verdien av høstprøven derimot bare 0,03 mg/l. Flere vannverk har verdier over 0,1 mg/l for en eller begge prøvene, mens de fleste vannverkene har verdier <0,05 mg/l. Det varierer mellom de ulike vannverkene om vår- eller høstprøven har høyest innhold av aluminium, og for mange av prøvene er resultatene relativt like for vår og høst. Noen unntak er vannverk 6,19,28,31,42,51 og 56, som alle har betydelig høyere innhold av aluminium i vårprøven enn i høstprøven. Medianen for prøver fra grunnvann er 0,01 mg/l, og fra overflatevann 0,03 mg/l.

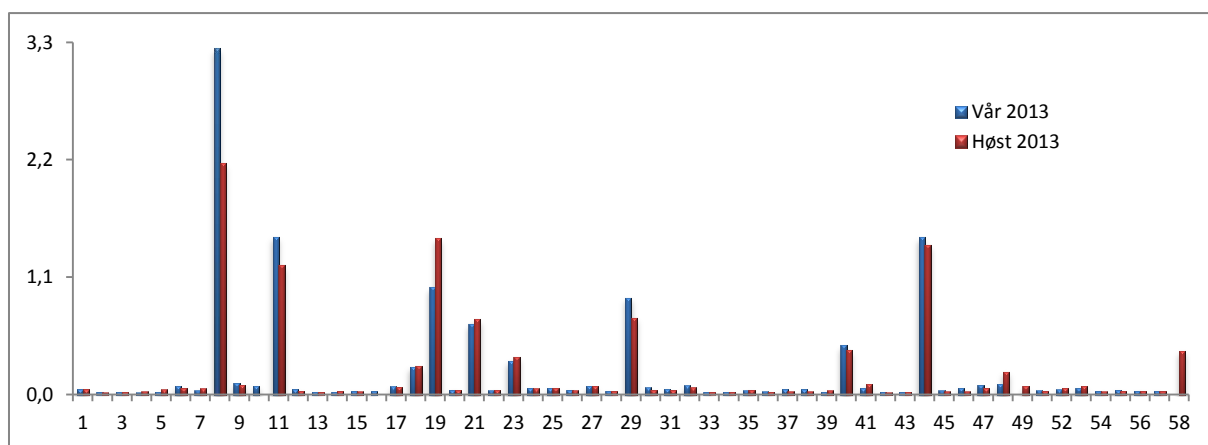
6.1.2 Antimon (grenseverdi 5,0 µg/l)



Figur 6.1.2: En oversikt over mengden antimon (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Grenseverdien for antimon er 5,0 µg/l, og alle prøvene ligger langt under denne grensen. For de fleste prøvene er verdiene under 0,05 µg/l, med unntak av noen få prøver. Verdiene for prøvene fra vannverk 27, 44 og 58 ligger mellom 0,05 og 0,1 µg/l, mens vannverk 11 har betraktelig høyere verdi av antimon for både vår og høstprøven (0,25 og 0,19 µg/l) enn de andre vannverkene. Medianen både for prøver fra grunnvann og fra overflatevann er <0,05 µg/l.

6.1.3 Arsen (grenseverdi 10 µg/l)

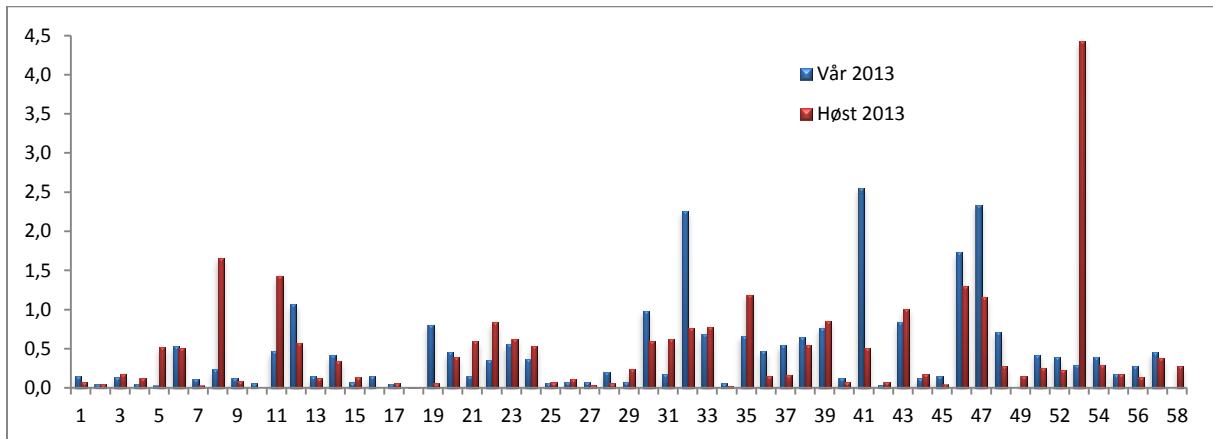


Figur 6.1.3: En oversikt over mengden Arsen (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av verdiene ligger over grenseverdien på 10 µg/l. De aller fleste verdiene ligger under 1,0 µg/l, med noen unntak. For vannverk 8, 11, 19 og 44 er verdiene både for vår og høst over 1,0 µg/l, men alle verdiene er godt under grenseverdien. Alle disse vannverkene har

grunnvann som vannkilde. Medianen i for prøver fra grunnvann er 0,08 µg/l og fra overflatevann 0,04 µg/l.

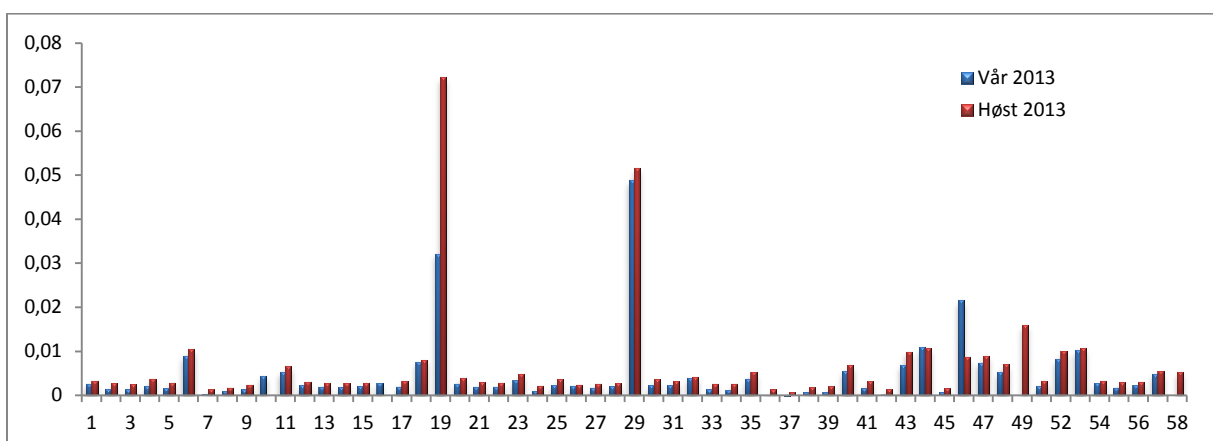
6.1.4 Bly (grenseverdi 10 µg/l)



Figur 6.1.4: En oversikt over mengden bly (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 10 µg/l, og de fleste prøvene er innholdet mindre enn 1,0 µg/l. Noen av prøvene varierer betydelig mellom vår og høst, og spesielt vannverk 53 har en mye høyere verdi for høst (4,4 µg/l) enn vår (0,29 µg/l). Medianen for prøver fra grunnvann er 0,56 µg/l og fra overflatevann 0,17 µg/l.

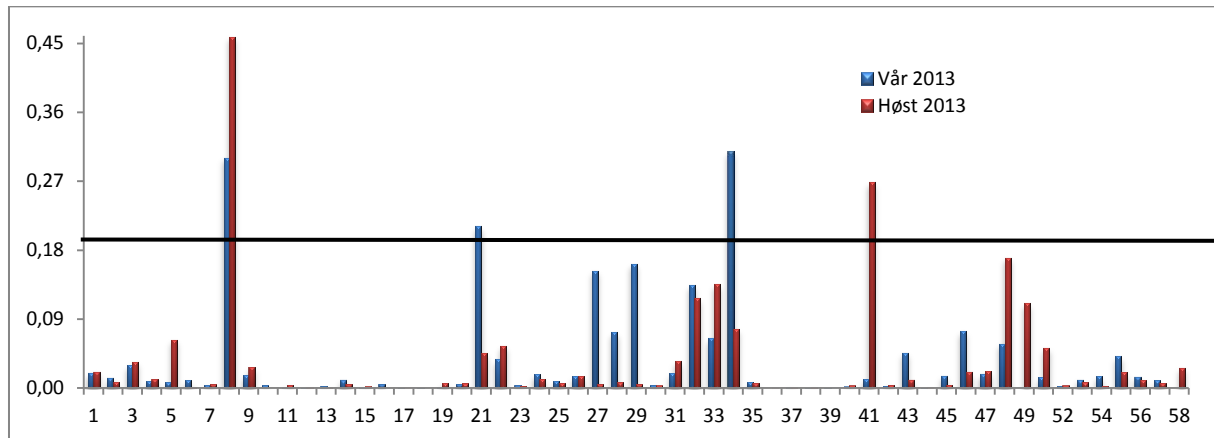
6.1.5 Bor (grenseverdi 1,0 mg/l)



Figur 6.1.5: En oversikt over mengden bor (mg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Alle verdiene ligger langt under grenseverdien for bor på 1,0 mg/l, og de fleste prøvene inneholder mindre enn 0,02 mg/l bor. Gjennomsnittet for alle prøvene er 0,06mg/l, og median er 0,003 mg/l. De to vannverkene som skiller seg ut er 19 og 29, som for både vår og høst har vesentlig høyere verdier. Både 19 og 29 er vannverk med grunnvannskilder. Medianen for prøver fra grunnvann er 0,006 mg/l og fra overflatevann 0,002 mg/l.

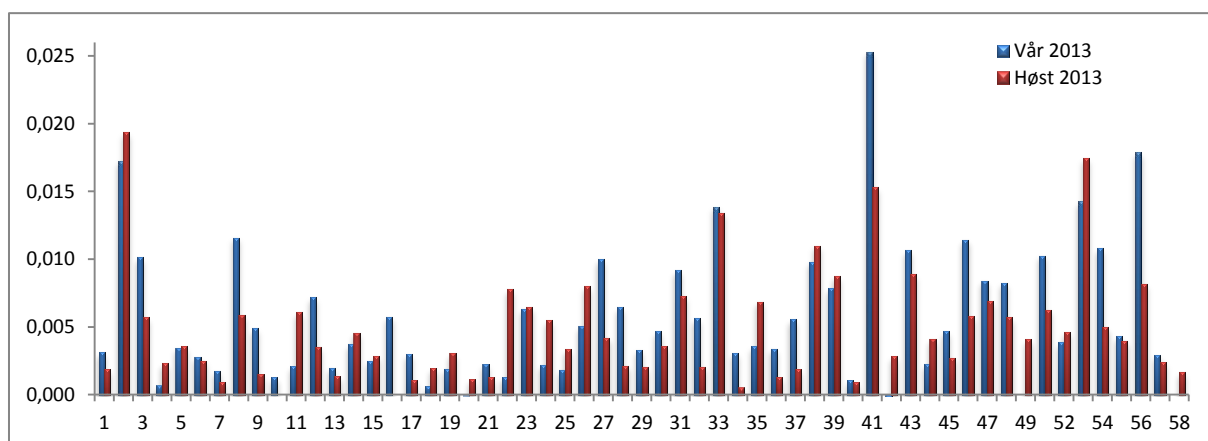
6.1.6 Jern (grenseverdi 0,2 mg/l)



Figur 6.1.6: En oversikt over mengden jern (mg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen). Verdiene for vår er blå, og røde for høst. Grenseverdien for jern på 0,2mg/l er illustrert med en svart linje i figuren.

Fem av prøvene har verdier over grenseverdien på 0,2mg/l. Dette gjelder vannverk 8 for vår og høst, vannverk 21 vår, vannverk 34 vår og vannverk 41 høst (8: 0,3 og 0,45, 21:0,21, 34:0,31, 41:0,27 mg/l). Alle disse vannverkene har grunnvannskilder, med unntak av vannverk 34 som har overflatevann som kilde. For vannverk 21, 34 og 41 er det stor variasjon mellom vår og høstprøven, dette gjelder også for en del andre vannverk og det er ingen tydelig trend om prøvene fra vår eller høst inneholder mest jern. Median for alle prøver er 0,01mg/l, og de fleste prøvene ligger langt under grenseverdien på 0,2mg/l. I grunnvann er medianen 0,008 mg/l og i overflatevann er den 0,009 mg/

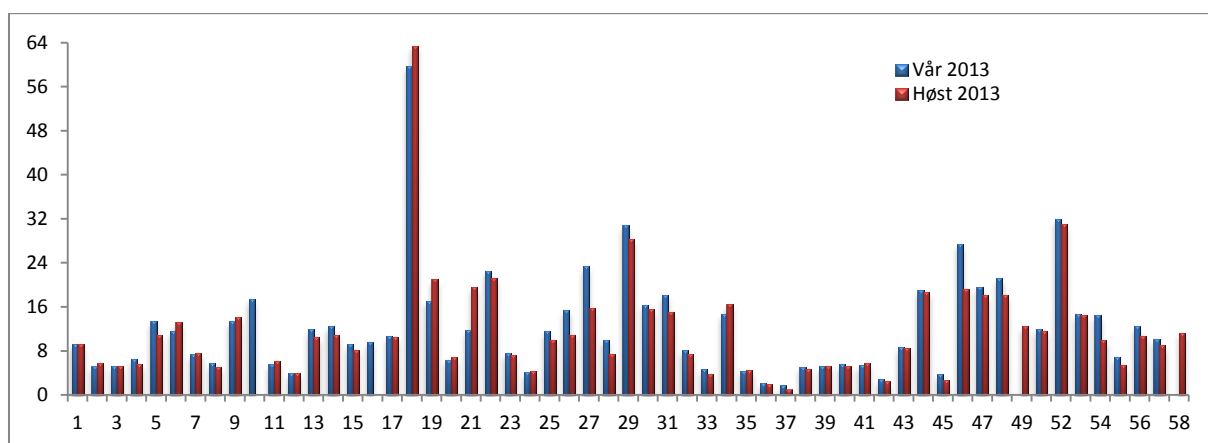
6.1.7 Kadmium (grenseverdi 5 µg/l)



Figur 6.1.7: En oversikt over mengden kadmium (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå og rød for høst.

Ingen av prøvene inneholder kadmium over grenseverdien på 5,0 µg/l. Gjennomsnittsverdien og median for alle prøver er <0,05 µg/l. Den høyeste målte verdien er <0,05 µg/l, som er langt under grenseverdien. Bare 40% av prøvene er over deteksjonsgrensen (vedlegg 5).

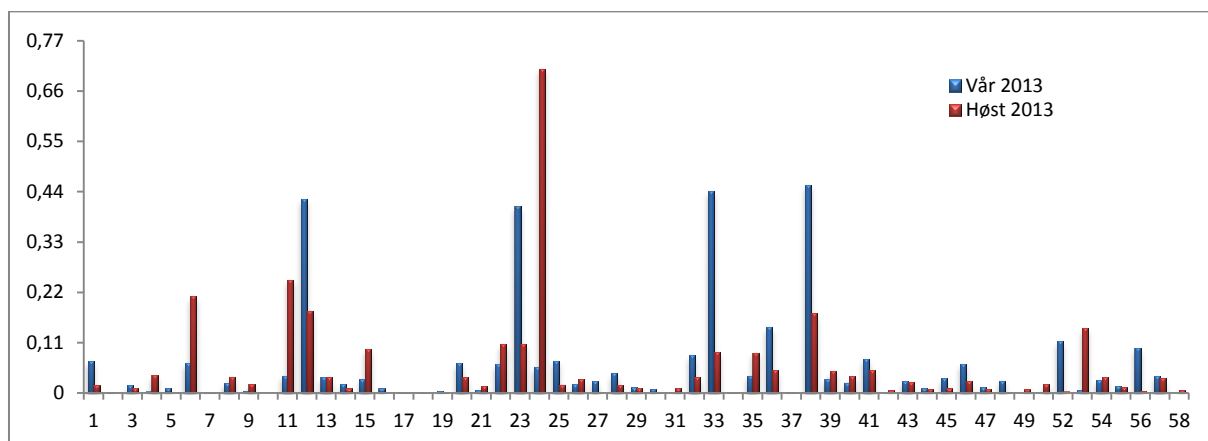
6.1.8 Klor (grenseverdi 200 mg/l)



Figur 6.1.8: En oversikt over mengden klor (mg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av prøvene inneholder klor over grenseverdien på 200 mg/l. Gjennomsnittet for alle prøvene er 11,4 mg/l, og median er 9,9 mg/l. Et fåtall av prøvene har verdier over 20 mg/l, dette gjelder vannverk 18, 19, 22, 28, 29, 46, 48, og 52, som alle ligger i kommuner med betydelig kystlinje. Medianen for prøver fra grunnvann er 8,5 mg/l og fra overflatevann 10 mg/l. Det er ingen forskjell i medianen for prøver fra vår og fra høst.

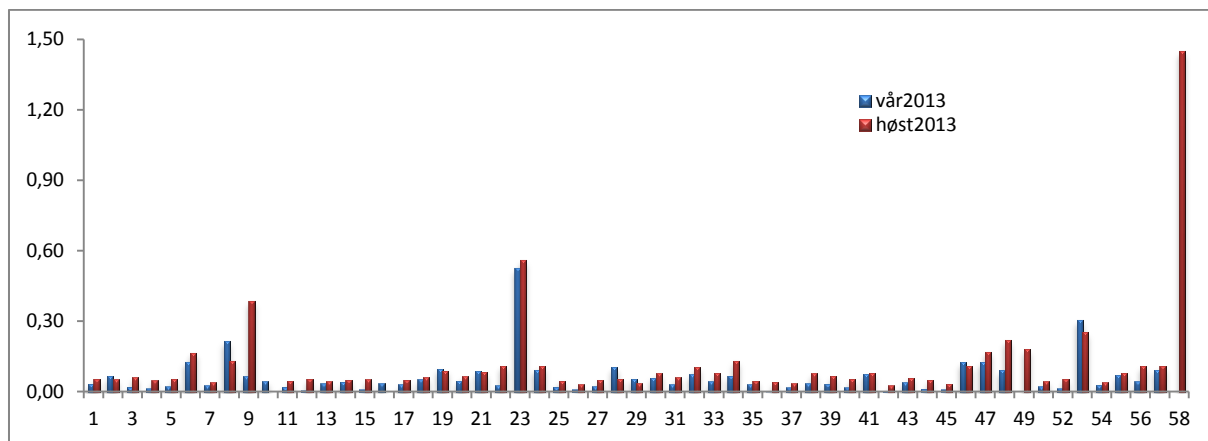
6.1.9 Kobber (grenseverdi 1,0 mg/l)



Figur 6.1.9: En oversikt over mengden kobber (mg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av prøvene overskrider grenseverdien for kobber på 1,0 mg/l. For noen av prøvene er det betydelig forskjell mellom prøvene fra vår og høst. Generelt er kobberverdiene lave sammenlignet med grenseverdien, med et gjennomsnitt på 0,06 mg/l og median på 0,02 mg/l for alle prøver. Medianen for prøver fra grunnvann er 26,4 mg/l og fra overflatevann 16,8 mg/l.

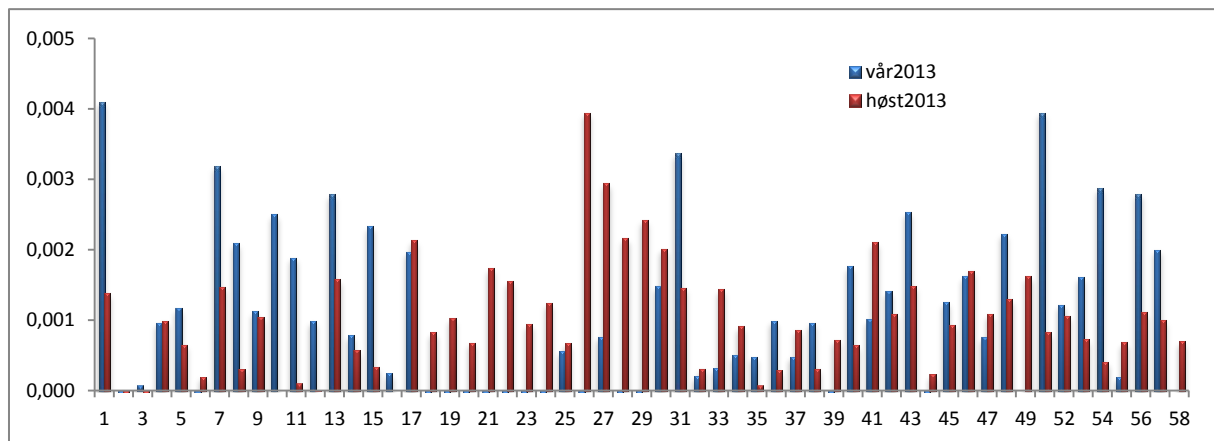
6.1.10 Krom (grenseverdi 50,0 µg/l)



Figur 6.1.10: En oversikt over mengden krom (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Innholdet av krom ligger langt under grenseverdien på 50,0 µg/l for alle prøvene. Gjennomsnittet er 0,09 µg/l og median er 0,05 µg/l for alle prøver. Noen få vannverk skiller seg ut med vesentlig høyere verdi enn de andre, dette gjelder vannverk 9, 23 og 58. Vannverk 58 har den maksimumsverdien på 1,45 µg/l. Medianen for prøver fra grunnvann er 0,07 µg/l og fra overflatevann 0,04 µg/l.

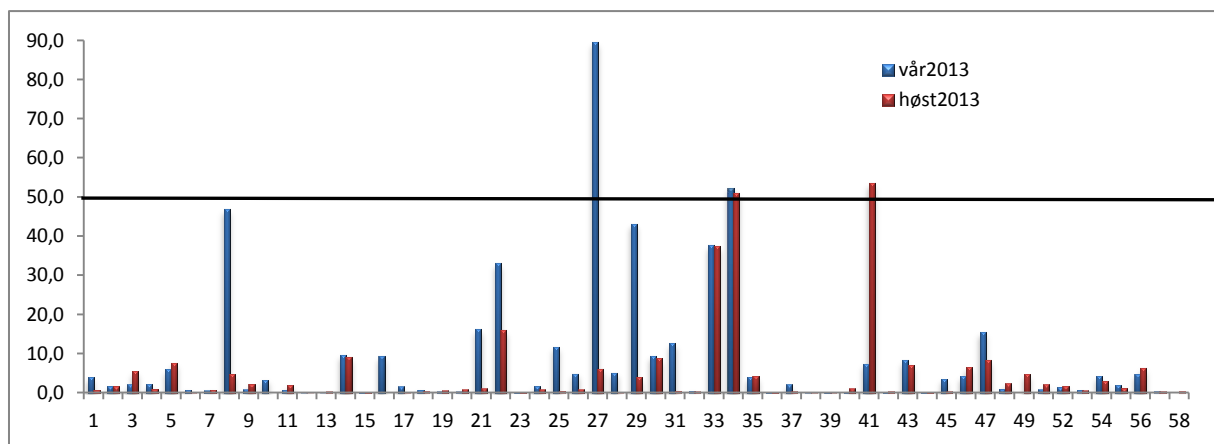
6.1.11 Kvikksølv (grenseverdi 0,5 µg/l)



Figur 6.1.11: En oversikt over mengden kvikksølv (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av prøvene inneholder kvikksølv over grenseverdien på 0,5 µg/l. Gjennomsnittsverdien og median er <0,01 µg/l for alle prøver. Ingen prøver inneholder kvikksølv over 0,01 µg/l.

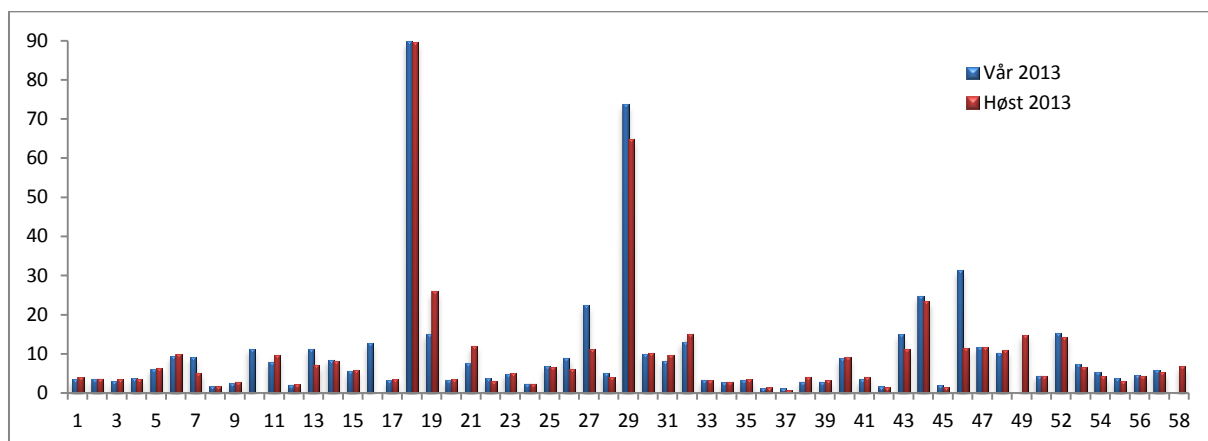
6.1.12 Mangan (grenseverdi 50,0 µg/l)



Figur 6.1.12: En oversikt over mengden mangan (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst. Grenseverdien på 50µg/l er markert med en svart linje.

Fire av prøvene inneholder mer mangan enn grenseverdien på 50 µg/l. Dette gjelder vår for vannverk 27, vår og høst for 34 og høst for 41. For vannverk 27 og 41 er det stor variasjon mellom prøvene fra vår og høst, imidlertid er det liten variasjon mellom prøvene fra vannverk 34. For noen andre vannverk er det betydelig høyere innhold av mangan i prøven fra vår enn høst, dette gjelder vannverk 8, 21, 22, 25, 29, 31 og 47. Gjennomsnittsverdien for alle prøvene er 6,7 µg/l og median er 1,59 µg/l. Medianen for prøver fra grunnvann er 1,62 µg/l og fra overflatevann 1,56 µg/l.

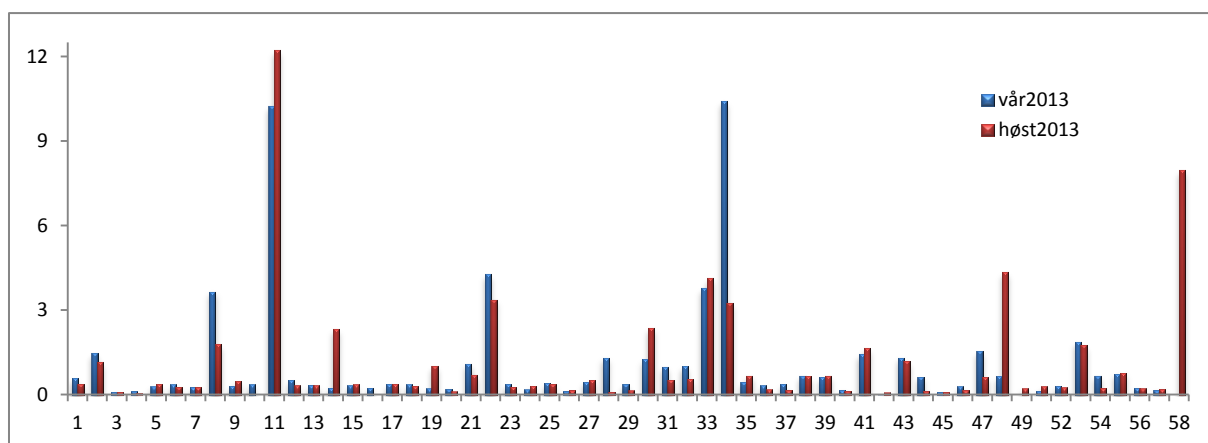
6.1.13 Natrium (grenseverdi 200 mg/l)



Figur 6.1.13: En oversikt over mengden natrium (mg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Alle prøvene inneholder mindre natrium enn grenseverdien på 200 mg/l. Gjennomsnittet for alle prøvene er 9,7 mg/l, og median er 5,3 mg/l. Noen få vannverk skiller seg ut med vesentlig høyere verdier enn median. Dette gjelder vannverk 18 (89,8 og 89,5 mg/l) og 29 (73,7 og 64,7 mg/l), som begge ligger i kommuner med vesentlig kystlinje. Medianen for prøver fra grunnvann er 9,7 mg/l og fra overflatevann 4,3 mg/l. Det er omtrent ingen forskjell i medianen for prøver fra vår og høst.

6.1.14 Nikkel (grenseverdi 20,0 µg/l)

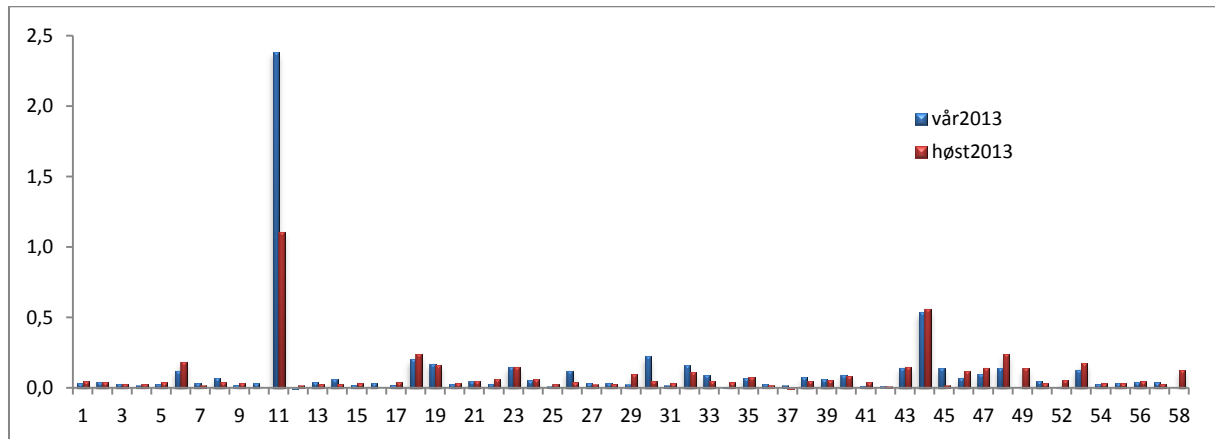


Figur 6.1.14: En oversikt over mengden nikkel (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av prøvene har verdier over grenseverdien for nikkel på 20,0 µg/l. Gjennomsnittet for alle prøvene er 1,1 µg/l og median er 0,37 µg/l. Noen få vannverk skiller seg ut med verdier langt over median, dette gjelder vannverk 11 (10,2 og 12,2 µg/l), 22 (4,3 og 3,4 µg/l), 33 (3,8 og 4,1 µg/l), 34 (10,4 og 3,2 µg/l), 48 (høst 4,3 µg/l) og 58 (8,0 µg/l høst). Medianen for

prøver fra grunnvann er 0,64 µg/l og fra overflatevann 0,32 µg/l. For prøver fra vår og fra høst er medianen lik.

6.1.15 Selen (grenseverdi 20,0 µg/l)



Figur 6.1.15: En oversikt over mengden selen (µg/l) (y-aksen) i vannprøvene fra de ulike vannverkene (x-aksen) for vår og høst 2013. Verdiene for vår er blå, og røde for høst.

Ingen av prøvene inneholder selen over grenseverdien på 20 µg/l. Gjennomsnittet og medianen for alle prøvene er <0,15 µg/l. Vannverk 11 og 44 skiller seg ut med betraktelig høyere verdier enn de andre vannverkene, men disse er likevel langt under grenseverdien.

6.2 Andre grunnstoff

6.2.1 Hardhet i vann

Tabell 6.2.1: En oversikt over hvor mange av prøvene som ligger innenfor de ulike hardhetsklassene for vann, oppgitt i både mengde kalsium og tyske hardhetsgrader (De Zuane, 1997).

| Hardhetsklasse | Kalsium (mg/l) | Tyske hardhetsgrader (°dH) | Antall prøver | Andel i prosent |
|------------------|----------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| Meget bløtt | 0-15 | 0-2,1 | 88 | 80,0 |
| Bløtt | 15-35 | 2,1-4,9 | 12 | 10,9 |
| Middels hardt | 35-70 | 4,9-9,8 | 9 | 8,2 |
| Hardt vann | 70-150 | 9,8-21 | 1 | 0,9 |
| Meget hardt vann | >150 | >21 | 0 | 0 |
| Totalt | | | 110 | 100 |

En oversikt over kalsiumverdier for alle prøvene finnes i vedlegg 7.

6.2.2 Alkalimetaller

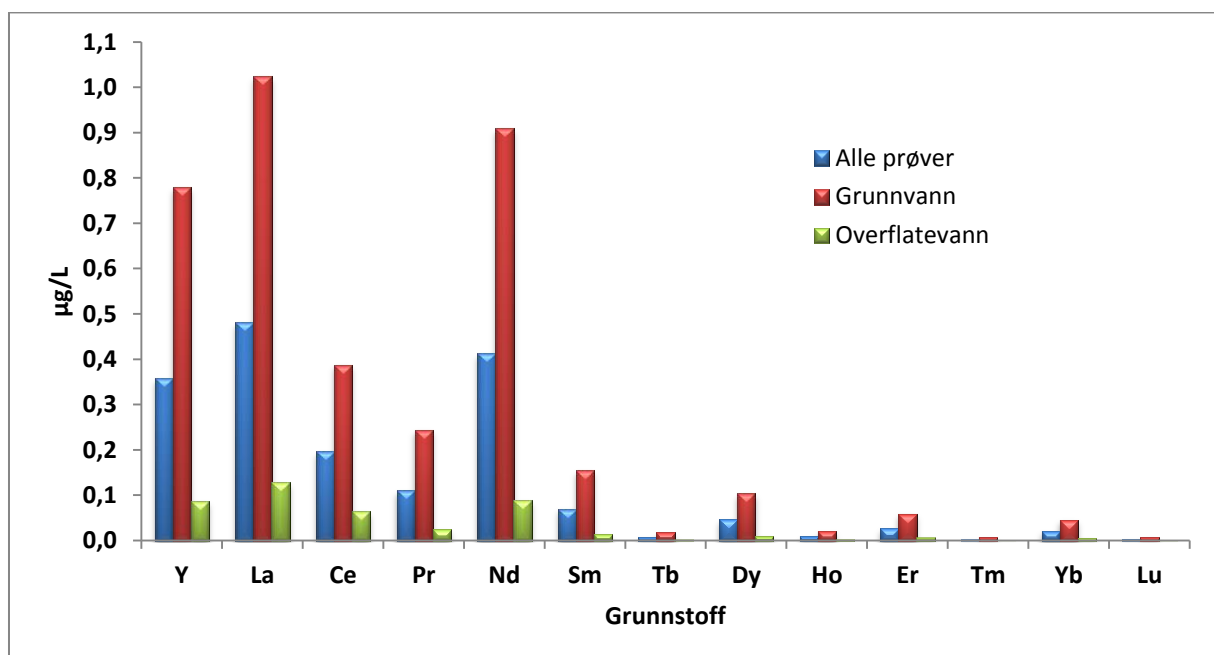
Litium har en median på 0,21 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 14,3 µg/l er fra grunnvann. Det er liten variasjon mellom prøvene fra vår og høst, og medianen i grunnvann og overflatevann er omtrent lik. **Kalium** har en median på 0,18 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 5,6 mg/l er fra grunnvann. Det er liten variasjon mellom prøvene fra vår og høst, og medianen i grunnvann er 3 ganger høyere enn i overflatevann. **Rubidium** har en median på 0,76 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 5,81 µg/l er fra grunnvann. Medianen for prøver for vår og høst er lik, og medianen i grunnvann er mer enn to ganger høyere enn i overflatevann. **Cesium** har en median på 0,01 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 1,68 µg/l er fra grunnvann. Medianen for prøver fra vår og høst er lik, og medianen i grunnvann er to ganger høyere enn i overflatevann.

6.2.3 Jordalkalimetaller

Beryllium har en median på <0,01 µg/l, og maksimumsverdien på 0,25 µg/l er fra grunnvann. Medianen for både grunnvann og overflatevann er <0,01 µg/l. **Magnesium** har en median på 0,96 mg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 15,1 mg/l er fra grunnvann. Medianen for prøvene for vår og høst er omtrent like, og medianen for prøver fra grunnvann er omtrent tre ganger høyere enn for prøver fra overflatevann. **Kalsium** har en median på 5,6 mg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 72 mg/l er fra overflatevann. Det er liten forskjell på medianen for prøvene fra vår og fra høst, og medianen for grunnvann er tre

ganger høyere enn i overflatevann. **Strontium** har en median på 16,8 µg/l, og maksimumsverdien på 1155 µg/l er fra grunnvann. Det er ingen forskjell i medianen for prøvene fra vår og fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er fire ganger høyere enn for prøver fra overflatevann. **Barium** har en median på 2,36 µg/l, og maksimumsverdien på 77,5 µg/l er fra grunnvann. Medianen for prøver fra vår er omtrent lik medianen for prøver fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er omtrent fire ganger høyere enn for prøver fra overflatevann.

6.2.4 Sjeldne jordarter



Figur 6.2.1 En oversikt over gjennomsnittlig innhold av sjeldne jordartsmetaller i µg/l i alle prøvene, i prøver fra grunnvann og i prøver fra overflatevann.

Konsentrasjoner av de ulike jordartsmetallene er vist i figur 6.2.1, der gjennomsnittsverdier for alle prøver sammenlignes med gjennomsnittsverdier for prøver fra grunnvann og prøver fra overflatevann. Innholdet av sjeldne jordartsmetaller er vesentlig større i drikkevann med grunnvann som kilde enn overflatevann. Det er liten forskjell i medianen for prøvene fra vår og fra høst for de sjeldne jordartene. En oversikt over korrelasjoner mellom de ulike metallene er gitt i tabell 6.2.2.

Tabell 6.2.2: Oversikt over korrelasjoner mellom ulike jordartsmetaller, R=0,25-0,9 er markert blått og R>0,9 er markert grønt. R<0,25 er vurdert uten signifikans og er derfor utelatt (p<0,001 for alle gitte R-verdier).

| | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Y | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| La | 0,61 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Ce | 0,59 | 0,75 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Pr | 0,59 | 0,99 | 0,72 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Nd | 0,60 | 0,98 | 0,72 | 1,00 | 1,00 | | | | | | | | |
| Sm | 0,67 | 0,96 | 0,76 | 0,98 | 0,98 | 1,00 | | | | | | | |
| Tb | 0,86 | 0,88 | 0,80 | 0,88 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | | | | | | |
| Dy | 0,93 | 0,82 | 0,76 | 0,81 | 0,82 | 0,89 | 0,99 | 1,00 | | | | | |
| Ho | 0,96 | 0,77 | 0,73 | 0,76 | 0,77 | 0,84 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | | | | |
| Er | 0,96 | 0,76 | 0,73 | 0,75 | 0,76 | 0,83 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | | | |
| Tm | 0,94 | 0,77 | 0,73 | 0,76 | 0,77 | 0,85 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | |
| Yb | 0,90 | 0,79 | 0,76 | 0,79 | 0,80 | 0,88 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | |
| Lu | 0,86 | 0,75 | 0,77 | 0,79 | 0,80 | 0,88 | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,96 | 0,98 | 1,00 | 1,00 |

6.2.5 Andre metaller

Titan har en median på 0,11 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 5,46 µg/l er fra grunnvann. Medianen for prøver fra vår er to ganger høyere enn medianen for prøver fra høst, og medianen for prøver fra overflatevann er litt høyere enn for prøver fra grunnvann. **Vanadium** har en median på 0,04 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 1,16 µg/l er fra grunnvann. Det er ingen forskjell i medianen for prøver fra vår og høst, og medianen for prøver fra grunnvann er omtrent to ganger så høy som for prøver fra overflatevann. **Kobolt** har en median på 0,02 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 2,44 µg/l er fra overflatevann. Medianen for prøver fra vår er litt høyere enn for prøver fra høst, og medianen i grunnvann er litt høyere enn for prøver fra overflatevann. **Sink** har en median på 8,9 µg/l, og maksimumsverdien på 101 µg/l er fra overflatevann. Medianen for prøver fra vår er omtrent lik som for prøver fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er litt høyere enn for prøver fra overflatevann. **Gallium** har lavere konsentrasjon enn 1,0 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 0,20 µg/l er fra grunnvann.

Molybden har en median på 0,04 µg/l, og maksimumsverdien på 8,78 µg/l er fra grunnvann. Medianen for prøver fra vår er omtrent to ganger høyere enn for prøver fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er 17 ganger høyere enn for overflatevann. **Tinn** har lavere konsentrasjon enn 0,01 µg/l for de fleste prøvene. Maksimumsverdien er på 3,41 µg/l. **Hafnium** har lavere konsentrasjon enn 0,01 µg/l i alle prøvene. **Wolfram** har lavere konsentrasjon enn 0,01 µg/l i de fleste prøvene, og høyeste målte konsentrasjon i grunnvann er 1,13 µg/l og i overflatevann 0,04 µg/l. **Gull** har lavere konsentrasjon enn 0,01 µg/l i alle

prøvene. Maksimumsverdien for gull er 0,008 µg/l og er fra grunnvann. **Thallium** har lavere konsentrasjon enn 0,1 µg/l i alle prøver, og maksimumsverdien på 0,05 µg/l er fra grunnvann. **Vismut** har lavere konsentrasjon enn 0,1 µg/l i alle prøver, og maksimumsverdien på 0,025 µg/l er fra grunnvann.

Thorium har en median på 0,002 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 0,10 µg/l er fra grunnvann. Medianen for prøvene fra vår er omtrent lik for prøvene fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er litt høyere enn for overflatevann. **Uran** har en median på 0,02 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 68,5 µg/l er fra grunnvann. Det er liten forskjell mellom prøvene fra vår og høst, og medianen for prøver fra grunnvann er 95 ganger høyere enn for overflatevann.

6.2.6 Halv-metaller og ikke-metaller

Silisium har en median på 1,97 mg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 8,7 mg/l er fra overflatevann. Medianen for prøver fra vår er omtrent lik som for prøver fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er litt over fire ganger høyere enn for overflatevann. **Fosfor** har en median på 1,77 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 48,8 µg/l er fra overflatevann. Medianen for prøver fra vår er omtrent lik for prøver fra høst, og medianen for prøver fra grunnvann er omtrent lik for prøver fra overflatevann.

Svovel har en median på 0,74 mg/l for alle prøvene, og maksimumsverdien på 19,7 mg/l er fra overflatevann. Medianen for prøver fra grunnvann er 10,4 µg/l og fra overflatevann 7,29 µg/l. Det er liten forskjell i medianen for prøvene fra vår og fra høst. Svovel har ingen grenseverdi i drikkevannsforskriften, men sulfat har en grenseverdi på 100 mg/l. Det er rimelig å anta at omtrent alt av svovel finnes som sulfat (SO_4^{2-}) i drikkevann, med mindre det er svært reduserende forhold (Stumm og Morgan, 1996). Ved å regne om verdiene for svovel blir medianen for sulfat 2,22 mg/l og maksimumsverdien 59,1 mg/l. Disse verdiene er bare omtrentlige, og har tatt utgangspunkt i at verdiene for svovel må ganges med tre for å få sulfat-verdier. Ingen av prøvene som overskrider grenseverdien for sulfat, og de fleste ligger langt under. **Brom** har en median på 25,9 µg/l for alle prøver, og maksimumsverdien på 212 µg/l er fra grunnvann. Det er ingen forskjell i medianen for prøvene fra vår og høst, og medianen for prøver fra grunnvann er litt høyere enn fra overflatevann.

7. Diskusjon

Inndelingen av diskusjonen er den samme som i kapittel 6, og begynner med en diskusjon av grunnstoffer som har grenseverdier i drikkevannsforskriften. Videre diskuteres grunnstoff i samme rekkefølge som i kapittel 6.2, og i tillegg vil noen grunnstoff diskuteres i andre grupper. Disse gruppene er metaller som kan løses ut fra ledningsnett og armatur, grunnstoff med havet som hovedkilde og grunnstoff med grenseverdier i andre land sine forskrifter. Til slutt gjøres en sammenligning av vannverkene hvor det kommenteres forskjeller mellom grunnvann og overflatevann, og hvilke vannverk som skiller seg ut med høye verdier for mange av grunnstoffene. En konklusjon finnes i kapittel 8.

Utgangspunktet for diskusjonen er hovedsakelig grenseverdier i drikkevannsforskriften, og sammenligning med resultater fra tidligere undersøkelser i Norge for de grunnstoff det foreligger verdier for. Videre vil WHO sine retningslinjer for drikkevann og andre lands grenseverdier også benyttes som sammenligningsgrunnlag. Denne undersøkelsen har som hensikt å kartlegge drikkevannskjemien i Nord-Trøndelag, og det er bare analysert for grunnstoff med ICP-MS. Flere parametere som pH, farge og alkalitet er nødvendig for å kunne gjøre en fullstendig vurdering av vannkvaliteten, og det fokuseres i denne oppgaven bare på innholdet av uorganiske bestanddeler i vannet.

For geografisk plassering av de ulike vannverkene i Nord-Trøndelag og berggrunn henvises det til kartet i figur 5.2. Geologi anses som en viktig faktor for innholdet av sporelementer i drikkevann, men denne oppgaven vil ikke gå detaljert inn på prosesser i berggrunnen for å forklare alle grunnstoffforekomster. Det vil bli lagt vekt på forskjell i innhold av ulike grunnstoff i grunnvann sammenlignet med overflatevann. I tillegg er avstand til kysten en viktig faktor for noen av grunnstoffene, og noen metaller kan ha høye verdier som følge av utlekking fra ledningsnett og armatur.

7.1 Grunnstoff med grenseverdier i drikkevannsforskriften

7.1.1 Aluminium

Aluminium er et av de vanligste metallene i jordskorpen (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007) og assosieres ofte med leire i norske vannforekomster (FHI, 2004). I tillegg til naturlig forekomst av aluminium kan bruk av aluminiumbaserte koaguleringsmiddel i vannbehandling føre til økte konsentrasjoner i drikkevannet (Srinivasan et al., 1999). Lav pH øker løseligheten til aluminium og kan dermed bidra til å øke konsentrasjonen i drikkevannet (Reimann og Caritat, 1998).

Grenseverdien for aluminium er 0,2mg/l, og tre av prøvene (1,9%) overskrider denne verdien. Bare et vannverk har en gjennomsnittskonsentrasjon som overskrider grenseverdien (figur 6.1a). De tre prøvene som overskrider grenseverdien kommer alle fra vannverk med overflatevann som vannkilde. For begge vannverkene disse prøvene kommer fra er det stor forskjell i konsentrasjonen mellom prøvene fra vår og høst (figur 6.1.1). Også for en del andre vannverk varierer konsentrasjonene betraktelig mellom vår og høst. Om aluminiumbaserte koaguleringsmiddel benyttes i vannbehandling ved disse vannverkene kan det være en forklaring på både høye konsentrasjoner og variasjon mellom prøvene. I tillegg kan variasjoner i vannføring, nedbør og eventuelt snøsmelting på våren bidra til slike forskjeller.

I Folkehelse sin landsomfattende undersøkelse av spormetaller i drikkevann overskred 18% av vannverkene grenseverdien for aluminium (Hongve et al., 1994). Median for alle prøver er 0,02 mg/l, for grunnvann 0,01 mg/l og for overflatevann 0,03 mg/l i denne undersøkelsen. I en landsomfattende undersøkelse av drikkevann var median i grunnvann var 0,02 mg/l og i overflatevann 0,05 mg/l (Flaten, 1991). Bortsett fra noen ekstremverdier for grunnvann er konsentrasjonene av aluminium litt høyere i overflatevann (figur 6.1b). Omtrent 90% av vannverkene (52 vannverk) har gjennomsnittlig aluminiumkonsentrasjoner under 0,1 mg/l (figur 6.1a). I en undersøkelse av grunnvann i fjell i Norge overskred 38 prøver (8%) grenseverdien, og medianen var 0,013mg/l (Frenstad et al., 2000).

Hovedsakelig er grenseverdien for aluminium satt for å hindre utfelling av aluminium i ledningsnett der vannet behandles med koagulering. Aluminium kan felles ut og avleires som aluminiumhydroksid $\text{Al}(\text{OH})_3$. Slammet kan komme i forbrukernes kraner og føre til bruksmessige problemer. Det kan gjøre vannet uklart, gi dårlig smak og det kan hopes opp i ledningsnett og gi grobunn for mikroorganismer (Srinivasan et al., 1999, FHI, 2004). Flere studier (Flaten, 1990, Srinivasan et al., 1999, Gauthier et al., 2000) har sett på aluminium i drikkevann som en faktor i utvikling av Alzheimer. Resultatene har ikke vært entydige, men siden flere av studiene antyder at det kan være en sammenheng konkluderer WHO med at denne sammenhengen ikke kan utelukkes. Fordi det fortsatt er usikkerhet rundt bidraget til totalt inntak av aluminium fra drikkevann og effekten av aluminium i mennesker har ikke WHO satt noen grenseverdi for aluminium av helsemessige årsaker (WHO, 2011).

7.1.2 Antimon

Antimon er et relativt sjeldent metall i naturen, og kan tilføres drikkevann som forurensning fra armatur på ledningsnettet (FHI, 2004). Ifølge WHO (2003a) er konsentrasjonen av antimon i vannkilder generelt mindre enn 0,2 µg/l. Grenseverdien for antimon er 5,0 µg/l og med en maksimumsverdi på 0,25 µg/l ligger alle prøvene i denne undersøkelsen langt under grenseverdien. 99% av vannverkene har gjennomsnittskonsentrasjoner som er lavere enn 0,1 µg/l (figur 6.2a). Median for grunnvann er 0,02 µg/l og for overflatevann 0,01 µg/l. Antimon korrelerer positivt ($p < 0,001$) med blant andre Mg, Ba og U (vedlegg 6).

I en undersøkelse av prøver fra grunnvann fra tre ulike områder i Norge inneholdt alle prøvene fra Trøndelag under 0,2 µg/l, og alle de 28 prøvene som var grunnlaget for undersøkelsen hadde konsentrasjoner av antimon lavere enn 1,0 µg/l (Banks et al., 1995). I en mer omfattende undersøkelse av grunnvann i Norge var det ingen av prøvene som overskred grenseverdien og medianen var 0,033 µg/l (Frengstad et al., 2000). Antimon hadde en median på 0,025 µg/l og en maksimumsverdi på 0,358 µg/l i en undersøkelse av innsjøer i Norge (Skjelkvåle et al., 1996b).

Grenseverdien for antimon er satt av helsemessige årsaker. Antimon kan være giftig for mennesker, og inhalering av antimon i yrkessammenheng har ført til irritasjon av luftveiene, lungesykdommer og mageproblemer (Sundar og Chakravarty, 2010). Det er liten fare for helsemessige problemer som følge av antimon i drikkevann, og WHO har satt veiledende grenseverdi til 20 µg/l (WHO, 2011).

7.1.3 Arsen

Arsen forekommer ofte i sulfidmineraler i berggrunnen (Reimann og Caritat, 1998). Vanligvis finnes arsen i konsentrasjoner lavere enn 2 µg/l i naturlige vannkilder (FHI, 2004). Det er oftest i grunnvann høye konsentrasjoner blir funnet og det kan komme av innholdet i berggrunnen, mens høye konsentrasjoner i overflatevann kan finnes i vannkilder med gruver i nærområdet (Garcia-Sanchez og Alvarez-Ayuso, 2003). Forurensning fra industrielle utslipp kan også føre til høyere konsentrasjoner i drikkevann. Grenseverdien for arsen er 10 µg/l, og ingen av prøvene overskrider denne verdien. 93% av vannverkene har gjennomsnittlig konsentrasjon av arsen mindre enn 1,0 µg/l (figur 6.3a). Median for alle prøvene fra grunnvann er 0,09 µg/l og fra overflatevann er 0,04 µg/l. Alle prøvene med konsentrasjoner høyere enn 1,0 µg/l kommer fra grunnvann, og maksimumsverdien er 3,24 µg/l.

Arsen hadde en median på 0,2 µg/l i en undersøkelse av grunnvann fra Bergen og Oslo (Reimann et al., 1996). I en undersøkelse av grunnvannsprøver fra fjell i Norge overgikk 7 av prøvene (~1%) den norske grenseverdien, medianen for konsentrasjon i alle prøver var 0,18 µg/l og maksimumsverdien var 19 µg/l (Frengstad et al., 2000).

Grenseverdien for arsen er satt av helsemessige grunner. Flere studier har vist at arsen kan være kreftfremkallende og giftig (Smith et al., 1992, Edmunds og Smedley, 1996), og

grenseverdien er derfor satt på grunn av stoffets helsemessige betydning. WHO har også satt grenseverdien til 10 µg/l (WHO, 2011). Forekomsten av arsen i norsk drikkevann er generelt lav og eksponeringen gjennom drikkevann medfører dermed ikke noen helsemessig risiko (FHI, 2004). Dette bekrefter også denne undersøkelsen. Globalt sett er arsen i drikkevann et omfattende problem for deler av befolkningen (Chowdhury et al., 2000, Nordstrom, 2002).

7.1.4 Bly

Den naturlige forekomsten av bly i vannkilder er lav, og ofte mindre enn 5 µg/l (FHI, 2004). Tilførsel fra ledningsnettene kan imidlertid føre til høye konsentrasjoner (Payne, 2008). Loddemetaller og armatur kan være kilder til bly i drikkevann, og om vannet er surt og korrosivt vil bly og andre metaller kunne utløses. I Norge er det nå forbudt å benytte legeringer, loddemetall og armatur som inneholder bly, men noen plastrør kan avgi bly (FHI, 2004). For å vurdere bidraget fra ledningsnettene bør blykonsentrasjonen i vannet måles både i råvannet og i renvannet fra springen, i denne undersøkelsen er det bare tatt prøver fra ferdig behandlet drikkevann i springen. Bly korrelerer positivt ($p < 0,001$) med Zn og Rb (vedlegg 6).

Ingen av prøvene overskrider grenseverdien for bly på 10 µg/l. Gjennomsnittlig konsentrasjon for alle vannverkene er mindre enn 2,5 µg/l (figur 6.6a). Median for prøver fra grunnvann er 0,56 µg/l og fra overflatevann 0,17 µg/l. Til sammenligning var medianen i en undersøkelse av grunnvann i Norge 0,36 µg/l og bare en av prøvene overskred grenseverdien (Frengstad et al., 2000). For noen av prøvene er det en betydelig forskjell i konsentrasjon mellom prøvene fra vår og høst. Sannsynligvis er kontaminering av prøven årsaken til disse forskjellene, der rør og armatur kan være kilden. Om vannet har blitt stående lenge i rørene og ikke tappet ut før prøvetaking kan dette ha bidratt til økte konsentrasjoner av bly. Dette diskuteres også i delkapittel 7.3.

Grenseverdien til bly er satt på grunn av helsemessig risiko. Bly er et giftig metall som akkumulerer i kroppen, og barn og fostre er spesielt utsatt for risiko selv ved lave inntak (Klaassen, 2008). WHO har også satt grenseverdien til 10 µg/l i drikkevann (WHO, 2011).

7.1.5 Bor

Bor finnes vanligvis i konsentrasjoner under 0,2 mg/l i norske vann (FHI, 2004). Normalt vil grunnvann inneholde noe mer bor enn overflatevann (WHO, 2003b), noe som også er tilfelle for denne undersøkelsen (figur 6.7b). Grenseverdien er 1,0mg/l og ingen av prøvene overskrider denne verdien. Medianen for prøver fra grunnvann er 4,7 µg/l og fra overflatevann 2,5 µg/l, og maksimumsverdien er 72,1 µg/l. Vannverk 19 og 29 har vesentlig høyere innhold av bor i prøvene både fra vår og høst, og begge disse vannverkene har borebrønner i fjell som vannkilde. Berggrunnen er sannsynligvis forklaringen på dette. 55 av vannverkene (96%) har gjennomsnittlig konsentrasjon av bor lavere enn 20 µg/l (figur 6.7a).

I en landsomfattende grunnvannsundersøkelse var medianen for bor 14 µg/l og maksimumsverdien 450 µg/l, og ingen av prøvene overskred dagens gjeldende grenseverdi (Midtgård et al., 2007). En mindre omfattende undersøkelse av grunnvann fra 28 prøvepunkter hadde heller ingen prøver med bor over grenseverdien (Banks et al., 1995). I en undersøkelse av innsjøer i Norge var medianen for bor 1,41 µg/l og maksimumsverdien 2513 µg/l (Skjelkvåle et al., 1996b). Bor korrelerer positivt ($p < 0,001$) med Na, Mg, S, Cl, Br og K (vedlegg 6).

Grenseverdien til bor i drikkevann er satt av helsemessige årsaker. Bor er giftig ved store inntak og kan ha toksikologiske effekter på utvikling og reproduksjon (Murray, 1995). Innholdet av bor i norske vannkilder er generelt lavt, noe denne undersøkelsen også bekrefter, og utgjør dermed ingen fare for helsen. WHO har satt grenseverdien i drikkevann til 2,4 mg/l (WHO, 2011).

7.1.6 Jern

Jern er et av de vanligste metallene i jordskorpen og frigjøres til vann fra berggrunn og jord gjennom forvitring (Reimann og Caritat, 1998). I tillegg kan korrosjon av jernrør og humusholdig vann bidra til økt konsentrasjon i drikkevann (FHI, 2004, Sarin et al., 2004). Fem av prøvene overskrider grenseverdien på 0,2 mg/l, og et av vannverkene har gjennomsnittlig konsentrasjon over grenseverdien. Innholdet av jern varierer mye mellom vår og høst for noen av vannverkene (figur 6.1.6). Dette kan skyldes lokale forskjeller som følge av snøsmelting på våren, tørke eller kraftig nedbør. I en undersøkelse av grunnvann i Sverige var innholdet av jern høyest på våren under snøsmelting (Land og Öhlander, 1997). Korrosjon av rør kan også være en kilde til varierende innhold av jern i prøvene (König, 2000).

I denne undersøkelsen er medianen for prøver fra grunnvann 6,7 µg/l og fra overflatevann 8,9 µg/l. Det er flere høye verdier av jern i grunnvann enn overflatevann (figur 6.12b), til tross for at medianen er høyest i overflatevann. Flere ekstremverdier i grunnvann gjør at gjennomsnittet blir høyere enn for overflatevann, med henholdsvis 0,06 µg/l og 0,02 µg/l. I den landsomfattende undersøkelsen av spormetaller fra 1994 (Hongve et al.) overskred 63 vannverk (12%) grenseverdien for jern. Omtrent 11% av prøvene overskred grenseverdien i en landsomfattende undersøkelse av drikkevann utført av Flaten (1991).

En undersøkelse av grunnvann i Norge hadde en medianverdi på 33,6 µg/l, og 78 av prøvene (16,4%) overskred grenseverdien (Midtgård et al., 2007). Flaten (1991) kommenterte i sin undersøkelse at jern ikke hadde noe geografisk mønster. Det ble antydnet at hovedkildene til jern ikke er forvitring eller andre naturlige prosesser, men at korrosjon av rør eller partikulært materiale er hovedkildene til forskjellene i jerninnhold. I en undersøkelse av innsjøer i Norge var medianen for jern 60,7 µg/l og maksimumsverdien var 7680 µg/l (Skjelkvåle et al., 1996b).

Grenseverdien for jern er satt av bruksmessige hensyn. Høyt innhold av jern kan føre til misfarging av vannet, dårlig smak og utfelt jern kan redusere effekten av desinfeksjon (FHI, 2004). I tillegg kan jern bidra til økt turbiditet og dannelse av sedimenter i ledningsnett hvor bakterier kan vokse (Flaten, 1991). Selv konsentrasjoner under grenseverdien kan føre til bruksmessige problem, og det anbefales derfor at konsentrasjonen av jern generelt er mindre enn 0,1 mg/l (FHI, 2004). De fleste vannverkene (82%) har konsentrasjoner lavere enn 0,05 mg/l (figur 6.12a) og dermed burde det være få bruksmessige problem som følge av jern i drikkevannet. Forhøyede verdier av jern i drikkevann har ingen helsemessige konsekvenser for folk flest, men personer med hemokromatose som er arvelig disponert for jernoverskudd vil ha uheldig effekt av økt jerninntak (FHI, 2004).

7.1.7 Kadmium

Kadmium er et relativt sjeldent grunnstoff, og finnes naturlig i svært lave konsentrasjoner i vann (Reimann og Caritat, 1998). Vann med lav pH kan føre til at kadmium utløses fra berggrunnen, og i den sørlige delen av Norge kan det komme bidrag fra atmosfærisk langtransport. Noe kadmium kan finnes i sink som benyttes til galvanisering og loddemetall, og vann som har stått lenge i rørene kan inneholde merkbart høyere konsentrasjoner av kadmium. Ny armatur skal ikke inneholde kadmium, og det forventes derfor at innholdet generelt er veldig lavt (FHI, 2004).

Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 5,0 µg/l, og alle prøvene inneholder mindre enn 0,05 µg/l kadmium (figur 6.1.7). Medianen for prøvene fra grunnvann og overflatevann er <0,05 µg/l. Innholdet av kadmium er som forventet lav i alle prøvene, og prøvene fra vår og høst varierer generelt lite. Kadmium hadde en median på <0,02 µg/l og en maksimumsverdi på 0,255 µg/l i en undersøkelse av innsjøer i Norge (Skjelkvåle et al., 1996b). I en undersøkelse av grunnvann i Norge var det en prøve som overskred grenseverdien for kadmium, og medianen for alle prøvene var 0,017 µg/l (Fregstad et al., 2000).

Kadmium er giftig og kan akkumulere i kroppen (Klaassen, 2008), og grenseverdien er derfor satt på grunn av helsemessig risiko. Vanligvis er nivået i norsk drikkevann langt under grenseverdien og utgjør dermed ingen fare for helsen (FHI, 2004), noe denne undersøkelsen også bekrefter. WHO (2011) har satt grenseverdien til 3 µg/l.

7.1.8 Klor

Klor i vannet har sin naturlige opprinnelse i berggrunnen som natriumklorid (NaCl) og fra tilførsel fra nedbør som inneholder sjøsalter (Reimann og Caritat, 1998). Avstanden til kysten vil påvirke mengden av klor i vannkilder. I tillegg kan avherding av grunnvann med ionebytting føre til økt innhold av NaCl, og forurensning fra veisalt (CaCl₂) kan også øke innholdet. Vanligvis er innholdet av klor i norsk drikkevann lavere enn 25 mg/l (FHI, 2004).

Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 200 mg/l, og medianen for prøvene fra grunnvann er 8,5 mg/l og fra overflatevann 10 mg/l. Til sammenligning var medianen for grunnvann 5,7 mg/l og for overflatevann 6,6 mg/l i en undersøkelse av drikkevann i Norge av Flaten (1991). Det ble også funnet et geografisk mønster med høyere konsentrasjon langs kysten enn sammenlignet med innlandet. Også i denne undersøkelsen har vannverk med nærhet til kyst og fjord de høyeste konsentrasjonene av klor. Sammen med natrium og brom er klor også diskutert i delkapittel 7.4.

Alle vannverk bortsett fra et har gjennomsnittskonsentrasjon på mindre enn 35 mg/l (figur 6.22a). Vannverket 19 har høyest innhold av klor, det har grunnvannskilde og ligger nært fjorden. Andre vannverk i nærheten har lavere innhold av klor, og det antyder at andre kilder enn havet også påvirker innholdet av klor. Vannbehandling kan være en årsak til forskjellen mellom vannverkene som ligger i samme geografiske område. Det er generelt liten variasjon i prøvene fra vår og høst for alle vannverk.

Grenseverdien for klor er satt av bruksmessige hensyn, da høyere innhold av klor øker faren for korrosjon (FHI, 2004). I tillegg til økt korrosjon kan klor over 250 mg/l gi dårlig smak på vannet (WHO, 2011). WHO har ikke satt noen grenseverdi for klor i sine retningslinjer for drikkevannskvalitet (WHO, 2011).

7.1.9 Kobber

Hovedkilden til kobber i ferskvann er ulike mineraler i berggrunnen, og innholdet i drikkevann er vanligvis lavt (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). I en undersøkelse av sporelementer i innsjøer i Norge hadde kobber en median på 0,413 µg/l og en maksimumskonsentrasjon på 37,7 µg/l (Skjelkvåle et al., 1996b). Korrosjon av rør og ledninger av kopper og lang henstandstid for vannet er ofte kilden til varierende og høye konsentrasjoner av kopper i drikkevann (FHI, 2004, WHO, 2011). Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 1,0 mg/l. Alle vannverkene har gjennomsnittlig konsentrasjon av kobber mindre enn 0,4 mg/l (figur 6.16a) og medianen er 0,02 mg/l. For grunnvann er medianen 0,03 mg/l og for overflatevann 0,02 mg/l.

Noen av prøvene har stor variasjon i konsentrasjon av kobber mellom prøvene fra vår og høst, og det er sannsynlig at kontaminering fra rør er grunnen til dette. De fleste prøvene har lavt innhold av kobber, med unntak av noen ekstremverdier (figur 6.16b). Om vannet hadde stått lenge i rørene og ikke ble tappet i fem minutter først slik prøveinstruksen sa, er det trolig årsaken til de varierende resultatene fra noen av vannverkene. Dette er også antydnet i en undersøkelse av Flaten (1991) hvor noen av prøvene overskrider grenseverdien, mens medianen er 0,012 mg/l. Også i en undersøkelse fra Folkehelse (Hongve et al., 1994) er korrosjon av rør ansett som det største bidraget til noen høye enkeltverdier av kobber. Ved sammenligning av prøver fra råvann og renvann var det noen av prøvene som hadde betraktelig høyere konsentrasjon av kobber i det ferdige behandlede drikkevannet. Også i

NGU sin undersøkelse av grunnvann (Midtgård et al., 2007) antyder det at de prøvene (6 av 476) som overskrider grenseverdien kan ha forhøyede kobberinnhold på grunn av utløsning fra ledningsnett og armatur. Dette er også diskutert i delkapittel 7.3.

Grenseverdien for kobber er satt både av helsemessige og bruksmessige årsaker. Utsatte personer, spesielt barn, har større risiko for å oppleve problemer i mage og tarm ved inntak av vann med høye kobberkonsentrasjoner (Pettersson og Rasmussen, 1999). I tillegg kan høyt kobberinnhold føre til bitter smak på vannet, og øker korrosjon på flere metaller som jern og sink. Om vann som har stått lenge i rør tappes godt før bruk til drikke og mat vil ikke dette være et problem (FHI, 2004). WHO har satt grenseverdien for kobber til 2,0 mg/l (WHO, 2011).

7.1.10 Krom

Krom forekommer vanligvis i konsentrasjoner lavere enn 2 µg/l i naturlige vann, og ved høye konsentrasjoner er ofte industri i nærområdet årsaken (FHI, 2004, WHO, 2011). Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 50 µg/l. Medianen for alle prøvene er 0,05 µg/l, for grunnvann 0,06 µg/l og for overflatevann 0,05 µg/l. Alle vannverk bortsett fra ett har gjennomsnittlig konsentrasjon mindre enn 0,3 µg/l (figur 6.23 a).

En prøve (vannverk 58) skiller seg ut med maksimumsverdien på 1,45 µg/l. Denne prøven kommer fra et vannverk som har levert bare en prøve, og den har derfor ikke en prøve å sammenligne verdien med. Berggrunnskartet i figur 5.2 viser at vannverket ligger i et område dominert av blant annet gabbro og olivinstein, som begge kan inneholde kromitt (FeCr_2O_4) (Bryhni, 2000). Det kan være årsaken til at denne prøven inneholder mer krom enn andre. I en undersøkelse av grunnvann i Norge var det ingen av prøvene som inneholdt krom over grenseverdien, medianen var 0,14 µg/l og den høyeste registrerte verdien var 8,9 µg/l (Frengstad et al., 2000). Krom hadde en median på <0,1 µg/l og en maksimumsverdi på 4,85 µg/l i en undersøkelse av innsjøer i Norge (Skjelkvåle et al., 1996b).

Grenseverdien til krom er satt på grunn av helsemessig risiko. Krom kan finnes både som seksverdig (VI) og treverdig(III) i vann, der krom(VI) er giftig og kreftfremkallende og kan ha både naturlige og antropogene kilder (Zhitkovich, 2011). Fordi det kan være vanskelig å detektere krom(VI) alene er grenseverdien satt for totalt innhold av krom (FHI, 2004). WHO har også satt grenseverdien for krom i drikkevann til 50 µg/l (WHO, 2011).

7.1.11 Kvikksølv

Kvikksølv forekommer i berggrunnen i ulike mineraler (Reimann og Caritat, 1998), men innholdet i norske vann er meget lavt og ofte under 0,05 µg/l (FHI, 2004). Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 0,5 µg/l, og 46 % (50 prøver) av prøvene er lik eller mindre enn

deteksjonsgrensen på 0,001 µg/l. Alle prøvene har konsentrasjoner av kvikksølv mindre enn 0,01 µg/l, og innholdet er generelt meget lavt som forventet. I en undersøkelse av grunnvann i Norge var medianen 0,018 µg/l og maksimumsverdien 0,13 µg/l (Frengstad et al., 2000). Grenseverdien til kvikksølv er satt fordi grunnstoffet er meget giftig og kan akkumulere i kroppen og være spesielt skadelig for nyrer og nervesystemet (Klaassen, 2008). Ikke forurensede vannkilder er forventet å inneholde svært lave konsentrasjoner av kvikksølv og gjør at grensen er satt så lavt. WHO har satt grenseverdien til 1 µg/l (WHO, 2011).

7.1.12 Mangan

Mangan har berggrunnen som sin hovedkilde i vann, og er et av metallene det finnes mest av i jordskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Vanligvis er innholdet av mangan i norske vannkilder lavere enn 0,05 mg/l. I en undersøkelse av innsjøer i Norge var medianen 3,43 µg/l og maksimumsverdien 327 µg/l (Skjelkvåle et al., 1996b). Innholdet kan være høyere i humusholdig vann, i eutrofe innsjøer, i grunnvann med reduserende forhold og i dypere lag av innsjøer i stagnasjonsperioder hvis reduserende forhold oppstår. På samme måte som for jern kan mangan holdes som kolloider i vann ved kompleksbinding til humusmolekyler, og forsuring kan føre til økt manganinnhold (FHI, 2004).

Fire av prøvene (3,7%) overskrider grenseverdien på 50 µg/l, derimot har bare et vannverk gjennomsnittskonsentrasjon over grenseverdien (figur 6.21.a). Medianen for alle prøvene er 1,59 µg/l, for grunnvann 1,1 µg/l og for overflatevann 1,6 µg/l. Forskjellen i innhold av mangan liten mellom grunnvann og overflatevann (figur 6.21b). Dette er også tilfelle i en undersøkelse av drikkevann av Flaten (1990), hvor median for grunnvann var 6,6 µg/l og for overflatevann 6,3 µg/l. I en grunnvannsundersøkelse fra borebrønner var medianen for mangan derimot 15,7 µg/l (Midtgård et al., 2007), og 30,5% av prøvene overskred grenseverdien.

To vannverk (33 og 34) har gjennomsnittskonsentrasjoner i nærheten av eller over grenseverdien, hvor prøvene fra vår og høst er jevne og dermed ser ut til å være representative for innholdet av mangan. Berggrunnen i områdene rundt vannverkene domineres av blant andre dolomitt og amfibolitt, som begge er mineraler som kan assosieres med manganholdige mineraler (Reimann og Caritat, 1998). Imidlertid har fire andre vannverk en prøve med mangan over 30 µg/l, men der er det betraktelig forskjell mellom prøvene fra vår og høst. I likhet med jern kan varierende innhold av mangan i grunnvann skyldes lokale forskjeller som følge av snøsmelting på våren, tørke eller kraftig nedbør.

Vannverk 27 har maksimumsverdien på 89,6 µg/l for prøven fra vår, derimot er innholdet av mangan i prøven fra høst bare 6,1 µg/l. I grunnvann er løseligheten til mangan påvirket både av surhetsgraden og redoksforholdene i vannet (Stumm og Morgan, 1996). Flaten (1986) fant i sin undersøkelse av drikkevann en (svak) negativ korrelasjon mellom pH og mangan.

Også i en undersøkelse av grunnvann av Banks og medarbeidere (1995) ble det funnet en negativ korrelasjon mellom pH og mangan.

Grenseverdien til mangan er satt for å hindre bruksmessige problemer, i stor grad av samme årsaker som for jern. Høyt innhold av mangan fører til farget vann og mer turbiditet, og dannelse av sedimenter i ledningsnett som kan fungere som grobunn for bakterier. Ved manganinnhold over 0,1 mg kan drikkevannet få dårlig smak (FHI, 2004). Det er ingen helsemessig risiko knyttet til konsentrasjoner av mangan funnet i drikkevann (WHO, 2011).

7.1.13 Natrium

Hovedkilden til natrium i vann er luftbårne sjøsalter og mineraler i berggrunnen (Reimann og Caritat, 1998, Merian, 2004). Natrium kan også tilføres ved behandling av drikkevann for justering av pH eller desinfeksjon (Flaten, 1991). Innholdet av natrium i ulike vannkilder varierer naturlig, og er høyest nært kysten med mest påvirkning fra havet. I grunnvann kan brønner under den marine grensen og dypbrønner nær kysten ha høyt innhold av natrium som følge av inntrengning av sjøvann (FHI, 2004). Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 200 mg/l. Medianen for alle prøvene er 5,3 mg/l, for prøvene fra grunnvann 9,7 mg/l og for overflatevann 4,5 mg/l.

Ved å sammenligne resultatene for flere av vannverkene langs kysten med flere av de i innlandet (figur 5.2) er det generelt en trend at konsentrasjon av natrium avtar med økende avstand til kysten. Denne trenden er også tydelig i undersøkelsen av drikkevann i Norge utført av Flaten (1991). To vannverk (18 og 29) har betydelig høyere gjennomsnittskonsentrasjon av natrium enn resten (figur 6.1.13), begge vannverkene ligger nært kysten, benytter grunnvannskilder og i tillegg kan vannbehandling være en årsak til de store forskjellene fra andre vannverk i nærheten. De samme to vannverkene har også høyere konsentrasjon av klor og brom enn gjennomsnittet. Inntrengning av sjøvann kan være en faktor som bidrar til dette. I denne undersøkelsen er det ikke innhentet informasjon om hvilke typer vannbehandling som benyttes av de ulike vannverkene. Det er derfor ikke mulig å anslå om det kan være en årsak til de høye verdiene.

Innholdet av natrium i norsk drikkevann er generelt lavt og innebærer ikke noen helsemessig risiko for friske personer. I en landsomfattende undersøkelse av drikkevann av Folkehelse hadde alle vannverkene gjennomsnittskonsentrasjon av natrium under 200 mg/l (Hongve et al., 1994). Studier har antydnet at natrium kan påvirke blodtrykket (Dahl, 2005), og grenseverdien er satt for å sørge for helsemessig trygt drikkevann for personer som har risiko for å utvikle høyt blodtrykk og personer som må ha natriumfattige dietter (FHI, 2004). I tillegg vil høyt innhold av natrium gi saltsmak på vannet, og ifølge WHO er grensen for dette på 200mg/l (WHO, 2011).

7.1.14 Nikkel

Nikkel forekommer ofte i konsentrasjonsområde 5-20 µg/l i norske vannkilder (FHI, 2004). Konsentrasjonen av nikkel i drikkevann kan øke som følge av utløsning fra kraner og armatur, og kan nå konsentrasjoner på 1 mg/l. I spesielle tilfeller kan tilførsel fra naturlig forekomst av nikkel i berggrunnen eller fra industri føre til enda høyere konsentrasjoner (WHO, 2011). Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 20 µg/l. Medianen for alle prøver er 0,37 µg/l, for grunnvann 0,61 µg/l og for overflatevann 0,32 µg/l. Fire av prøvene har konsentrasjoner over 5 µg/l, og maksimumsverdien på 12,2 µg/l er fra grunnvann. De fleste prøvene har svært lave konsentrasjoner av nikkel (<4 µg/l) (figur 6.23). Til sammenligning ble nikkel (>15 µg/l) bare detektert i 1,3% av prøvene og tre av prøvene overskred dagens grenseverdi i en undersøkelse av drikkevann i Norge (Flaten, 1991). I en undersøkelse av grunnvann i Norge var medianen 0,53 µg/l og 1,3% av prøvene (6 prøver) overskred grenseverdien (Frengstad et al., 2000). Nikkel hadde en median på 0,328 µg/l og en maksimumsverdi på 4,82 µg/l i en undersøkelse av innsjøer i Norge (Skjelkvåle et al., 1996b).

Nikkelforbindelser kan være kreftfremkallende for mennesker, og nikkelallergi kan påvirkes av svært lave konsentrasjoner (Klaassen, 2008). Grenseverdien er satt av helsemessige årsaker, men med de lave nivåene som vanligvis finnes i norsk drikkevann utgjør ikke nikkel noen helsemessig risiko (FHI, 2004). WHO har satt grenseverdien til 70 µg/l (WHO, 2011).

7.1.15 Selen

Naturlige vann inneholder vanligvis mindre selen enn 1,0 µg/l, og grunnvann inneholder vanligvis mer selen enn overflatevann (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Selen forekommer ofte i berggrunnen sammen med sulfidminerale, og løseligheten av selen øker med økende pH (Merian, 2004). Ingen av prøvene overskrider grenseverdien på 20 µg/l. Medianen for alle prøver er <0,15 µg/l, for grunnvann og overflatevann er den også <0,15 µg/l. Bare 38% av prøvene har konsentrasjoner av selen over deteksjonsgrensen. Et vannverk har gjennomsnittskonsentrasjon av selen over 1,0 µg/l, og har også den høyeste målte verdien på 2,38 µg/l (figur 6.1.15). Vannverket benytter grunnvann som kilde, og berggrunnen er sannsynligvis årsaken til at innholdet av selen er betraktelig høyere enn for de fleste andre vannverkene. I en undersøkelse av grunnvann i Norge var medianen 0,2 µg/l, maksimumsverdien 21 µg/l og bare en av prøvene (av 476) overskred grenseverdien (Frengstad et al., 2000).

Selen er et essensielt grunnstoff, men kan være giftig i for store mengder og har derfor en grenseverdi på 20 µg/l. Inntaket fra norsk drikkevann er generelt lavt og er ikke av bekymring for helsen (FHI, 2004). WHO har satt grenseverdien til 40 µg/l (WHO, 2011).

7.2 Andre grunnstoff

7.2.1 Hardhet i vann

Hardt vann kan føre til bruksmessige problem (tabell 2.3.1), og er et resultat av mengden kalsium og magnesium i vannet (De Zuane, 1997). Tabell 6.2.1 viser en oversikt over hvor mange av prøvene som ligger innenfor de ulike hardhetsklassene av vann, beregnet ut i fra mengde kalsium. 90,9% av prøvene har bløtt eller meget bløtt vann, 8,2% av prøvene har middels hardt og 0,9% av prøvene har hardt vann. Forskjellen i hardhet er sannsynligvis forårsaket av forskjeller i geologi og hvor kalkrik berggrunnen er. Kalsium er det femte mest vanlige grunnstoffet i jordskorpen (Merian, 2004). I Norge er vannet generelt bløtt (Flaten, 1991) og inneholder vanligvis mindre enn 15 mg/l kalsium. I tillegg til berggrunnen kan kalsium også tilføres drikkevann fra utløsning av kalk fra sementbaserte vannledninger eller ved bruk av kalk i vannbehandling (FHI, 2004).

10 av prøvene i denne undersøkelsen inneholder mer kalsium enn 35 mg/l, og er fra både grunnvanns- og overflatevannkilder. Maksimumsverdien på 72 mg/l er fra vannverk 34, som er i et område dominert av kalkstein og dolomitt i berggrunnen (figur 5.2). Variasjonen mellom høst (40 mg/l) og vårprøven (72 mg/l) tyder på at vannet kan være tilført kalsium fra andre kilder enn bare berggrunnen i vårprøven. Vårprøven fra vannverk 34 har også relativt mye høyere innhold av jern og nikkell enn høstprøven, som også er metaller som kan løses ut fra ledningsnettene om vannet er korrosivt. Innholdet av kalsium er generelt høyere i grunnvann enn i overflatevann (figur 6.14b), og medianen for grunnvann er 12 mg/l og i overflatevann 3,6 mg/l.

Hovedkildene til magnesium i ferskvann er berggrunnen og sjøsalter (Reimann og Caritat, 1998). Medianen for magnesium er 0,96 mg/l for alle prøver, og maksimumsverdien er 15,1 mg/l. De fleste vannverkene har gjennomsnittskonsentrasjoner under 5 mg/l (figur 6.20a), og innholdet i grunnvann er generelt høyere enn i overflatevann (figur 6.20b). Magnesium korrelerer med kalsium ($r=0,59$). For vannverkene i innlandet er det de samme som har høye konsentrasjoner av både kalsium og magnesium. Langs kysten blir innholdet av magnesium i mye større grad påvirket av sjøsalter og det er derfor ikke et likt mønster mellom kalsium og magnesium der. Det samme forholdet mellom geografiske mønstre fant også Flaten (1991) i sin undersøkelse av drikkevann i Norge. Kalsium og magnesium har grenseverdier i de svenske retningslinjene for drikkevann på henholdsvis 100 mg/l og 30 mg/l (Livsmedelsverket, 2001). Ingen av prøvene i denne undersøkelsen overskrider de svenske grenseverdiene.

Bruksmessige problemer med hardt vann kan oppstå når innholdet av kalsium går over 25 mg/l, og problemene øker med økende hardhet av vannet. Den positive effekten av økt kalsiuminnhold er at kalsiumholdig vann er mindre korrosivt, spesielt mot sementbaserte rør (FHI, 2004). Ved innhold av magnesium over 100 mg/l kan vannet i tillegg få bitter smak, og det vil kunne forekomme ved lavere konsentrasjoner om innholdet av klor er høyt. I Norge

er vannet generelt bløtt (Flaten, 1991), og bruksmessige problemer som følge av hardt vann oppstår bare ved enkelte grunnvannsbrønner.

7.2.2 Alkalimetaller

Litium, **rubidium** og **cesium** assosieres med **kalium** og andre hovedkomponenter i jordskorpen, og finnes ofte i silikatmineraler (Reimann og Caritat, 1998, Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Alle har liten variasjon mellom prøvene fra vår og høst, og har høyest median og maksimumsverdi i prøvene fra grunnvann. Medianen for **kalium** i prøver fra grunnvann er 1,26 mg/l og fra overflatevann 0,32 mg/l. I en undersøkelse av drikkevann i Norge av Flaten (1991) var medianen for kalium i grunnvann 0,74 mg/l og i overflatevann 0,1 mg/l. Alle vannverk har gjennomsnittskonsentrasjon lavere enn 0,15 µg/l for cesium, lavere enn 6 mg/l for kalium, lavere enn 2,5 µg/l for litium og lavere enn 6 µg/l for rubidium (figur 6.9a, 6.13a, 6.19a, 6.24a).

I tabell 7.2.2.1 er det gitt en oversikt over median og maksimum for **litium**, **rubidium** og **cesium** i denne undersøkelsen, en undersøkelse av grunnvann i Norge og en undersøkelse av innsjøer i Norge. For disse tre grunnstoffene er både medianen og maksimumsverdien høyest i grunnvann i denne undersøkelsen. Konsentrasjonene er høyere i undersøkelsen fra grunnvann enn i denne undersøkelsen, og konsentrasjonene i innsjøer i Norge er litt lavere enn i denne undersøkelsen.

Tabell 7.2.2.1: En oversikt over median og maksimum for litium, rubidium og cesium i denne undersøkelsen, grunnvann i Norge og innsjøer i Norge. Alle verdier er gitt i µg/l.

| Grunnstoff µg/l | Drikkevann i Nord-Trøndelag | | Grunnvann i Norge ^a | | Innsjøer i Norge ^b | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------|------|------|
| | Grunnvann Median | Overflatevann Maks | Median | Maks | Median | Maks | | |
| Litium | 0,64 | 14 | 0,20 | 0,87 | 2,9 | 180 | 0,17 | 134 |
| Rubidium | 1,59 | 5,81 | 0,67 | 3,32 | 2,6 | 33 | 0,49 | 71,1 |
| Cesium | 0,02 | 1,68 | 0,011 | 1,13 | 0,11 | 28 | - | - |

^a(Frengstad et al., 2000) ^b(Skjelkvåle et al., 1996b)

Alle alkalimetallene korrelerer positivt med hverandre, Y og Si. Alle korrelasjoner finnes i vedlegg 6.

Natrium er diskutert i delkapittel 7.1.13.

7.2.3 Jordalkalimetaller

Alle jordalkalimetallene har høyest median i grunnvann, og maksimumsverdien for alle bortsett fra kalsium er fra grunnvann. **Strontium**, **magnesium**, **kalsium** og **barium** korrelerer alle positivt med hverandre, B, As, Sb og S. Flere korrelasjoner finnes i vedlegg 6. **Kalsium** og **magnesium** er diskutert i delkapittel 7.2.1, og **barium** og **beryllium** er diskutert med hensyn til andre lands grenseverdier i delkapitlene 7.5.1 og 7.5.2.

Strontium forekommer ofte i kalkrik berggrunn eller i sulfidavsetninger (Reimann og Caritat, 1998, Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Alle vannverk bortsett fra et har gjennomsnittlig konsentrasjon av strontium under 350 µg/l (figur 6.28a), og medianen for prøver fra grunnvann er 47 µg/l og fra overflatevann 9,7 µg/l. I en undersøkelse av drikkevann i Norge var medianen i grunnvann 42,8 µg/l og i overflatevann 13,4 µg/l (Flaten, 1991). Vannverk 11 skiller seg ut med en gjennomsnittskonsentrasjon på 1042 µg/l, og vannverket har grunnvann som vannkilde. Området rundt vannverket er dominert av kalkrik berggrunn som kan forklare det høye innholdet av strontium.

I tabell 7.2.3.1 er det gitt en oversikt over median og maksimum for **beryllium**, **strontium** og **barium** i denne undersøkelsen, en undersøkelse av grunnvann i Norge og en undersøkelse av innsjøer i Norge. For disse tre grunnstoffene er både medianen og maksimumsverdien høyest i grunnvann i denne undersøkelsen. Prøvene fra denne undersøkelsen har høyere median enn innsjøer i Norge, og lavere enn undersøkelsen fra grunnvann. Maksimumsverdien for de tre undersøkelsene er høyest i grunnvann i Norge.

Tabell 7.2.3.1: En oversikt over median og maksimum for litium, rubidium og cesium i denne undersøkelsen, grunnvann i Norge og innsjøer i Norge. Alle verdier er gitt i µg/l.

| Grunnstoff µg/l | Drikkevann i Nord-Trøndelag | | Grunnvann i Norge ^a | | Innsjøer i Norge ^b | |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------|
| | Grunnvann Median Maks | Overflatevann Median Maks | Median | Maks | Median | Maks |
| Beryllium | <0,01 0,25 | <0,010 0,04 | 0,012 | 6,6 | <0,01 | 1,34 |
| Strontium | 45 1155 | 10 69,8 | 143,5 | 6340 | 5,91 | 3861 |
| Barium | 6,16 77,5 | 1,40 23,0 | 15 | 380 | 3,08 | 147 |

^a (Fregstad et al., 2000) ^b (Skjellkvåle et al., 1996b)

7.2.4 Sjeldne jordarter

Grunnstoffene lantanoidene (Z=57 til 71) og yttrium omtales ofte som sjeldne jordarter fordi de opprinnelig ble isolert som oksider fra sjeldne mineraler, og grunnstoffene har liknende kjemiske egenskaper som gjør at de ofte omtales som en gruppe. De fleste metallene i denne gruppen er ikke så sjeldne som navnet tilsier (Castor og Hedrick, 2006). I figur 6.2.2 er det vist en oversikt over gjennomsnittlig konsentrasjon av de sjeldne jordartene det er analysert for i denne undersøkelsen, med en sammenligning mellom alle prøver, prøver fra grunnvann og prøver fra overflatevann. For alle disse grunnstoffene er innholdet i grunnvann betraktelig høyere enn i overflatevann. Og alle jordartene korrelerer positivt ($p < 0,001$) med hverandre (tabell 6.2.2).

Lantanoider med lavt atomnummer finnes generelt i større konsentrasjoner i jordskorpen enn de med høyere atomnummer (Reimann og Caritat, 1998). Grunnstoffene med partall som atomnummer forekommer to til syv ganger mer i jordskorpen enn de med oddetall (Castor og Hedrick, 2006). Dette er også tilfelle for resultatene fra denne undersøkelsen, med unntak av cerium som har lavere konsentrasjon enn både lantan og yttrium. Y, La, Ce og Nd er de sjeldne jordartene det forekommer mest av i prøvene både fra grunnvann og overflatevann, og de har medianverdier fra 0,04 $\mu\text{g/l}$ for alle prøvene. I en undersøkelse av grunnvann fra Bergen og Oslo var forekomsten av Y, La, Ce og Nd størst, og alle hadde mediankonsentrasjoner over 0,1 $\mu\text{g/l}$ (Banks et al., 1999).

Medianen for jordartene i grunnvann er fire til ti ganger høyere enn i overflatevann. Det er liten forskjell mellom medianen for prøvene fra vår og fra høst. I en undersøkelse av sjeldne jordarter i tysk drikkevann ble det funnet betraktelig høyere konsentrasjoner i prøvepunktene som var grunnvann sammenlignet med det ene som var overflatevann (de Boer et al., 1996). I tillegg viste resultatene i den tyske undersøkelsen generelt en høyere konsentrasjon for grunnstoffene med de laveste atomnumrene, og høyere konsentrasjoner for de med partall som atomnummer enn de med oddetall.

En oversikt over median og maksimumsverdi for de sjeldne jordartene fra denne undersøkelsen, en undersøkelse av grunnvann og en av innsjøer i Norge er vist i tabell 7.2.4.1. I denne undersøkelsen er både median og maksimumsverdien høyest i prøvene fra grunnvann for de sjeldne jordartene. For alle disse grunnstoffene er maksimumsverdien høyest i undersøkelsen fra grunnvann i Norge. Medianen og maksimumsverdien for prøvene fra overflatevann i denne undersøkelsen har generelt lavere konsentrasjoner av sjeldne jordarter enn i undersøkelsen av innsjøer i Norge.

Tabell 7.2.4.1: En oversikt over median og maksimum i grunnvann og i overflatevann for sjeldne jordarter, og median og maksimum i en undersøkelse av grunnvann og en undersøkelse av innsjøer i Norge. Alle verdier er gitt i µg/l.

| Grunnstoff µg/l | Drikkevann i Nord-Trøndelag | | Grunnvann i Norge ^a | | Innsjøer i Norge ^b | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------|-------------------------------|------|--------|-------|
| | Grunnvann Median | Overflatevann Maks | Median | Maks | Median | Maks | | |
| Yttrium | 0,34 | 4,41 | 0,018 | 0,27 | 0,21 | 8,1 | 0,093 | 2,7 |
| Lantan | 0,147 | 6,80 | 0,034 | 0,215 | 0,01 | 19 | - | - |
| Cerium | 0,06 | 2,60 | 0,05 | 0,31 | 0,11 | 28 | 0,212 | 4,52 |
| Praseodym | 0,038 | 1,68 | 0,007 | 0,05 | 0,027 | 4,3 | 0,038 | 0,703 |
| Neodym | 0,17 | 6,14 | 0,027 | 0,19 | 0,12 | 17 | 0,152 | 2,5 |
| Samarium | 0,038 | 0,78 | 0,005 | 0,032 | 0,022 | 2,6 | 0,03 | 0,535 |
| Terbium | 0,005 | 0,078 | <0,001 | 0,004 | 0,003 | 0,32 | 0,003 | 0,089 |
| Dysprosium | 0,03 | 0,43 | <0,01 | 0,03 | 0,022 | 1,5 | 0,018 | 0,43 |
| Holmium | 0,006 | 0,08 | 0,001 | 0,006 | 0,005 | 0,26 | 0,003 | 0,07 |
| Erbium | 0,02 | 0,23 | 0,002 | 0,02 | 0,015 | 0,69 | 0,01 | 0,286 |
| Thulium | <0,01 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | 0,007 | 0,25 | <0,003 | 0,053 |
| Ytterbium | 0,020 | 0,16 | 0,002 | 0,01 | 0,013 | 0,63 | 0,009 | 0,271 |
| Lutetium | 0,004 | 0,03 | <0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,11 | <0,002 | 0,19 |

^a(Frengstad et al., 2000) ^b(Skjelkvåle et al., 1996b)

7.2.5 Andre metaller

Titan er lite løselig, forekommer ofte i mineraler som er resistente mot forvitring og finnes sannsynligvis i assosiasjon med partikulært materiale (Flaten, 1986, Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Gjennomsnittskonsentrasjonen for alle vannverk er lavere enn 4 µg/l. Medianen for prøver fra grunnvann er 0,10 µg/l og i overflatevann 0,12 µg/l. Maksimumskonsentrasjonen på 5,6 µg/l er fra grunnvann. **Vanadium** har gjennomsnittskonsentrasjon lavere enn 0,6 µg/l for alle vannverk (figur 6.33a), og alle prøver inneholder vanadium mindre enn 2 µg/l.. Vanadium korrelerer positivt med mange metaller, og har høyest korrelasjon med litium ($r=0,85$) og uran ($r=0,81$).

Kobolt assosieres ofte med mineraler som inneholder svovel, jern eller mangan, og har lave konsentrasjoner i vann (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). I en undersøkelse av Flaten (1991) ble ikke kobolt kvantifisert i noen av prøvene, og i undersøkelsen av drikkevann i 1994 av folkehelse (Hongve et al., 1994) var innholdet av kobolt i de fleste prøvene rundt eller under deteksjonsgrensen på 1 µg/l. I denne undersøkelsen har alle vannverk gjennomsnittskonsentrasjoner under 1 µg/l. Kobolt korrelerer positivt ($p<0,001$) med S, Ca, Mn og Fe.

Gallium har gjennomsnittskonsentrasjon under 0,6 µg/l for alle vannverk, og alle prøver er under 1,0 µg/l. I en undersøkelse av grunnvann i fjell i Norge var medianen 0,013 µg/l og maksimumskonsentrasjonen 2,6 µg/l.

Molybden forekommer ofte i konsentrasjoner under 10 µg/l i vann, men det har blitt registrert konsentrasjoner opp mot 200 µg/l i vann med nærhet til gruver (WHO, 2011). Ingen prøver har konsentrasjon over 10 µg/l, og medianen for alle prøver er 0,04 µg/l. 25 % av prøvene ligger under deteksjonsgrensen. **Tinn** har en median på <0,01 µg/l i både grunnvann og overflatevann, og den høyeste konsentrasjonen er 3,41 µg/l.

Hafnium, gull og vismut har ingen prøver med konsentrasjoner over 0,1 µg/l. **Wolftram** og **thorium** har ingen prøver med konsentrasjoner over henholdsvis 2,0 µg/l og 1,0 µg/l.

En oversikt over median og maksimum i grunnvann og i overflatevann i denne undersøkelsen, og median og maksimum i en undersøkelse av grunnvann og en undersøkelse av innsjøer i Norge er gitt i tabell 7.2.5.1. Tinn har høyest median og maksimumsverdi i innsjøer, og har høyere innhold i overflatevann enn i grunnvann i denne undersøkelsen. For de andre metallene er konsentrasjonene høyest i undersøkelsen av grunnvann, og i denne undersøkelsen er både median og maksimumsverdiene høyest i grunnvann.

Tabell 7.2.5.1: En oversikt over median og maksimum andre metaller i denne undersøkelsen, grunnvann i Norge og innsjøer i Norge.

| Grunnstoff µg/l | Drikkevann i Nord-Trøndelag | | Grunnvann i Norge ^a | | Innsjøer i Norge ^b | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------|-------------------------------|------|--------|-------|
| | Grunnvann Median | Overflatevann Maks | Median | Maks | Median | Maks | | |
| Titan | 0,10 | 5,5 | 0,12 | 3,6 | 0,59 | 500 | 4,86 | 1220 |
| Vanadium | 0,09 | 1,2 | 0,04 | 0,14 | 0,24 | 14 | <0,3 | 2,43 |
| Kobolt | 0,024 | 1,09 | 0,015 | 2,44 | 0,065 | 37 | 0,053 | 3,15 |
| Sink | 10,4 | 78 | 7,29 | 101 | 14 | 3600 | 1,7 | 139 |
| Gallium | <0,01 | 0,20 | <0,01 | 0,06 | 0,013 | 2,6 | 0,118 | 5,39 |
| Molybden | 0,34 | 8,8 | 0,02 | 0,17 | 1,4 | 96 | <0,04 | 6,95 |
| Tinn | <0,01 | 0,02 | <0,01 | 3,41 | 0,008 | 46 | 0,061 | 3,52 |
| Hafnium | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,004 | 19 | <0,03 | <0,03 |
| Wolftram | <0,01 | 1,13 | <0,01 | 0,09 | 0,071 | 66 | <0,02 | 0,653 |
| Gull | <0,001 | 0,008 | <0,001 | 0,007 | - | - | - | - |
| Thallium | 0,004 | 0,05 | 0,002 | 0,007 | 0,007 | 0,25 | <0,006 | 0,046 |
| Vismut | <0,01 | 0,03 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 3,2 | <0,02 | 3,62 |
| Thorium | 0,003 | 0,10 | 0,002 | 0,02 | 0,006 | 3,1 | <0,015 | 0,131 |
| Uran | 0,68 | 68,5 | 0,007 | 0,32 | 2,5 | 750 | 0,041 | 2,22 |

^a(Frengstad et al., 2000) ^b(Skjelkvåle et al., 1996b)

7.2.6 Halv-metaller og ikke-metaller

Silisium forekommer vanligvis som H_2SiO_4 i vann som følge av forvitring av ulike silikatmineraler (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Alle vannverk har gjennomsnittskonsentrasjoner lavere enn 8 mg/l silisium. Medianen for prøver fra grunnvann er 3,0 mg/l og fra overflatevann 0,65 mg/l. I en undersøkelse av drikkevann i Norge var medianen i grunnvann 3,45 mg/l og i overflatevann 0,80 mg/l (Flaten, 1986). Ingen av prøvene inneholdt mer enn 8,0 mg/l silisium i en undersøkelse av grunnvann i deler av Norge (Banks et al., 1995).

Fosfor er et begrensende næringsstoff i innsjøer (Stumm og Morgan, 1996). Gjennomsnittskonsentrasjon er lavere enn 10 $\mu\text{g/l}$ for alle vannverk bortsett fra ett. Vannverk 3 skiller seg ut med høyeste verdi for både prøver fra vår og høst, på henholdsvis 30 $\mu\text{g/l}$ og 49 $\mu\text{g/l}$. Vannverket har en innsjø som vannkilde. Ifølge Folkehelseinstituttet kan konsentrasjoner over 0,15 mg/l fosfor indikere markant tilførsel av avløpsvann eller gjødsel (FHI, 2004). Innsjøer med fosfor i konsentrasjonsområde (litt avhengig av type innsjø) 1-10 $\mu\text{g/l}$ klassifiseres som svært god, mens innsjøer med konsentrasjoner i område 30-50 $\mu\text{g/l}$ klassifiseres som dårlig (Iversen, 2013). En undersøkelse i Finland antyder at tilgjengeligheten til fosfor i tillegg til organisk materiale er med på å regulere mikrobiell vekst i drikkevann (Miettinen et al., 1997).

Svovel forekommer som sulfat (SO_4^{2-}) i vann, med mindre det er svært reduserende forhold (Stumm og Morgan, 1996). Sulfat har en grenseverdi på 100 mg/l, og ingen av prøvene overskrider denne. Selv om beregningene av sulfat ikke nødvendigvis er helt nøyaktige er det tydelig at ingen prøver overskrider grenseverdien. De fleste prøvene ligger langt under, og sulfat i drikkevann ser dermed ikke ut til å være et problem. Medianen for prøver fra grunnvann er 7,0 mg/l og for overflatevann 1,3 mg/l. I en undersøkelse av drikkevann i Norge var medianen i grunnvann 10,6 mg/l og i overflatevann 4,76 mg/l (Flaten, 1991).

Grenseverdien til sulfat er satt på grunn av bruksmessige hensyn, da sulfat kan føre til økt korrosjon og dårlig smak på vannet (FHI, 2004). WHO har ikke satt noen grenseverdi for sulfat av helsemessige grunner, men det kommenteres i retningslinjene at høye verdier kan føre til dårlig smak og økt korrosjon (WHO, 2011).

Brom er diskutert i kapittel 7.4.

7.2.7 Forskjeller mellom prøvene fra vår og høst

For de fleste grunnstoffene er det ikke noe tydelig mønster om prøvene fra vår eller høst har høyest innhold av de ulike grunnstoffene. Det er generelt liten variasjon mellom prøvene fra vår og høst for de fleste grunnstoffene.

53 vannverk har levert prøver fra både vår og høst, og fire grunnstoffer viser en tydelig trend mellom prøvene fra ulike årstider. 51 vannverk har høyere innhold av molybden og beryllium i prøvene fra vår enn fra høst. 53 vannverk har høyere innhold av gull og bor i prøvene fra høst enn fra vår. Selv om disse fire grunnstoffene har tydelige trender er det små forskjeller mellom prøvene fra vår og høst. Muligheten for at en sesongvariasjon som følge av snøsmelting på våren er årsaken er lite trolig siden prøvene for vår og høst er tatt over relativt lange perioder (vedlegg 2). I tillegg har både molybden, beryllium og gull en del høye RSD-verdier som gjør analyseverdiene mindre nøyaktig. Gull har også en del prøver med konsentrasjoner under deteksjonsgrensen eller like over. Det er derfor trolig at det er noe i analysene som har ført til dette. For bor er det stort sett lave RSD-verdier, men det er likevel trolig en forskjell i analysene som utgjør denne trenden. Prøvene fra vår ble analysert i september 2013, mens prøvene fra høst ble analysert i januar 2014.

7.3 Metaller som kan løses ut fra ledningsnett og armatur

Metallene kobber, sink, bly, jern, nikkel og kadmium kan alle utløses fra ledningsnett og armatur. Ved surt og korroderende vann vil metaller lettere løses ut. I tillegg vil vann som har stått lenge i rørene før tapping fra kran kunne inneholde betydelig høyere konsentrasjoner av disse metallene. Fordi metallene benyttes i ulike deler av ledningsnett og armatur, og i tillegg har berggrunnen som en viktig kilde, vil det ikke nødvendigvis være gode korrelasjoner mellom metallene. Sink korrelerer med kadmium ($r=0,46$), bly ($r=0,57$) og kobber ($r=0,26$), jern korrelerer med nikkel ($r=0,31$), og bly korrelerer med kadmium ($r=0,46$). Alle metallene bortsett fra sink har grenseverdier i drikkevannsforskriften og er dermed diskutert individuelt i delkapittel 7.1.

Kobber benyttes mye i drikkevannsledninger inne i hus og bygninger, og ved henstand i rørene vil konsentrasjonen av kobber i vannet øke betraktelig. Utløst kobber kan i tillegg skyldes korroderende vann eller at vannet har passert lange rørledninger av kopper, og vann fra varmtvannskraner inneholder ofte ekstra høye verdier av kobber (FHI, 2004). Noen av vannverkene har stor forskjell i innhold av kobber mellom prøvene fra vår og høst. Ved å sammenligne de prøvene med høye verdier av kobber med de andre metallene som kan løses ut fra ledningsnett og armatur er det ikke noe tydelig mønster og ingen av de andre metallene har høye verdier for de samme prøvene.

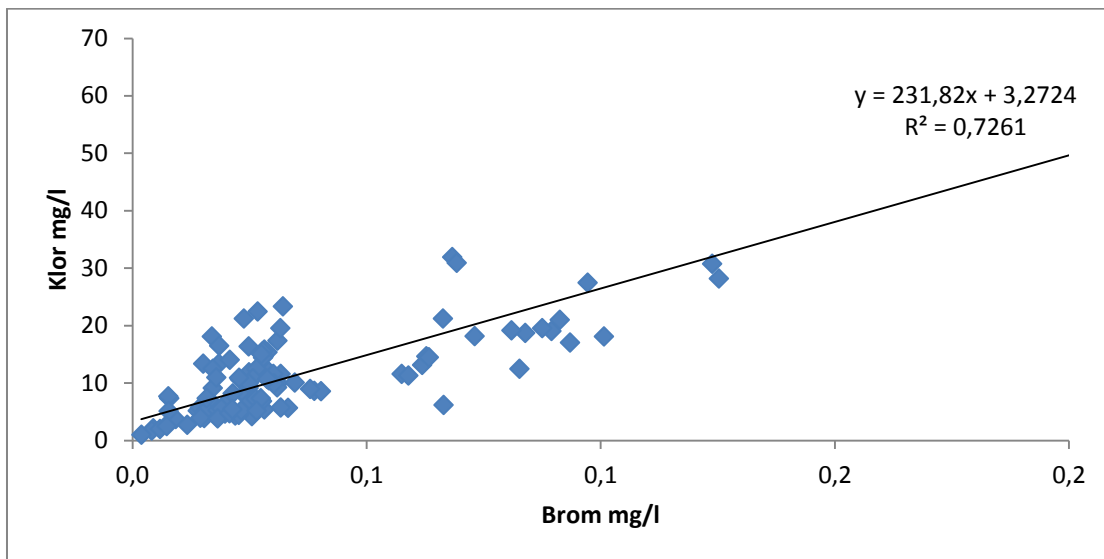
To vannverk har betraktelig høyere innhold av sink i en av prøvene (vannverk 41 vår og vannverk 53 høst), og de vannverkene har også tilsvarende store forskjeller i innholdet av bly. Også for flere av de andre vannverkene er det variasjon i innholdet av metallene bly og sink, og variasjonen er omtrent lik for de to metallene. Dette tyder på at bly og sink kan ha en felles kilde. Messingrør og kraner kan avgi både sink og bly og kan være forklaringen på dette (FHI, 2004).

I en undersøkelse av forurensning av tungmetaller i drikkevann i Trondheim (Stegavik, 1975) ble innholdet av sink, kobber og bly sammenlignet i prøver fra kaldt vann som hadde stått lenge i rørene, rennende kaldt vann og varmt vann. Alle disse prøvene ble tatt fra kjøkkenkraner i ulike hus. For alle de tre metallene var innholdet i vannet med lang henstand i rørene over dobbelt så stort som fra rennende kaldt vann. For sink var det liten forskjell i konsentrasjonen i prøvene fra kaldt rennende vann og fra varmt vann. Derimot for kobber og bly var konsentrasjonen i varmt vann høyere enn både i rennende kaldt vann og i vann som hadde stått lenge i rørene. Det kommenteres også i den samme undersøkelsen at prøver tatt direkte fra vannkilder i Trondheim inneholdt vesentlig lavere konsentrasjoner av disse metallene enn prøvene som ble tatt fra kjøkkenkraner i ulike hus (Stegavik, 1975).

7.4 Grunnstoff med havet som hovedkilde

Havet er hovedkilden til klor, natrium og brom i vann, og det er dermed forventet at avstand til kysten i stor grad vil påvirke innholdet av disse grunnstoffene i drikkevann. I tillegg er berggrunnen en kilde til disse grunnstoffene i vann (Reimann og Caritat, 1998). Ved å skille mellom vannverk som ligger i kommuner med nærhet til kyst eller fjord mot kommuner i innlandet er det betydelig høyere konsentrasjoner av klor, natrium og brom i kyst/fjordkommuner enn i innlandskommuner. Maksimumsverdien for både klor, natrium og brom i prøvene fra høst og fra vår er alle fra vannverk 18 i Levanger kommune som ligger like ved fjorden. Minimumsverdiene for både klor, natrium og brom i prøvene fra høst og fra vår er alle fra vannverk 37 i Røyrvik kommune som ligger i innlandet ved grensen til Sverige. Boxplottene for klor, natrium og brom viser alle at det generelt er høyere innhold av grunnstoffene i grunnvann enn i overflatevann (figur 6.8b, 6.15b og 6.22b). Medianen for prøver fra vår og fra høst er lik både for brom, klor og natrium.

Grunnstoffene korrelerer positivt med hverandre. Brom korrelerer med natrium ($r=0,88$) og klor ($r=0,85$), og klor korrelerer med natrium ($r=0,84$). I tillegg korrelerer alle positivt med svovel (se vedlegg 6). Et plott av klor og brom er vist i figur 7.4.1.



Figur 7.4.1: Korrelasjon mellom klor og brom for alle prøver, med lineær regresjon.

7.5 Grunnstoff med grenseverdier i andre lands forskrifter

Noen grunnstoffer som ikke har grenseverdier i den norske drikkevannsforskriften har grenseverdier i andre land sine forskrifter. Her er retningslinjer fra WHO, USA og Canada brukt som grunnlag for å diskutere noen grunnstoff som ikke har grenseverdier i den norske forskriften.

7.5.1 Barium

Hovedkilden til barium i vann er berggrunnen og innholdet er vanligvis lavt med mindre vannet er forurenset (Merian, 2004). Medianen for prøver fra grunnvann er 6,2 µg/l og fra overflatevann 1,4 µg/l. I en undersøkelse av drikkevann i Norge var medianen i grunnvann 28 µg/l og i overflatevann var medianen 8 µg/l (Flaten, 1991). Alle vannverk har gjennomsnittskonsentrasjoner under 0,08 mg/l (figur 6.4a). Det er liten forskjell i medianen fra prøver fra vår og fra høst. I en undersøkelse av grunnvann i fjell i Norge var medianen 15 µg/l og maksimumsverdien 380 µg/l.

Barium har grenseverdier i retningslinjer for drikkevann både fra WHO, USA og Canada, med henholdsvis 0,7 mg/l, 1,0 mg/l og 2,0 mg/l (USEPA, 2009, WHO, 2011, Health-Canada, 2012). Ingen av prøvene overskrider noen av disse grenseverdiene. WHO skriver i sine retningslinjer at barium ikke er kjent som kreftfremkallende eller skadelig for arvestoffet, men er av bekymring for mennesker fordi det potensielt kan føre til høyt blodtrykk (WHO, 2011). Maksimumsverdien for barium i denne undersøkelsen er 0,078 mg/l, og medianen er 0,002 mg/l. Ifølge folkehelseinstituttet (2004) anses innholdet av barium i norsk drikkevann å være så lavt at det ikke har noen helsemessig betydning. Dette tyder også denne undersøkelsen på, med alle prøver godt under de andre landenes grenseverdier.

7.5.2 Beryllium

Hovedkilden til beryllium i vann er berggrunnen, men på grunn av lav løselighet er innholdet i vann vanligvis svært lavt (Merian, 2004). Medianen for prøver fra grunnvann og fra overflatevann er mindre enn 0,01 µg/l. I en undersøkelse av grunnvann i Norge var medianen 0,012 µg/l og maksimumsverdien 6,6 µg/l (Fregstad et al., 2000). Beryllium har grenseverdi i retningslinjer for drikkevann i USA, med en grense på 4,0 µg/l (USEPA, 2009). WHO skriver i sine retningslinjer at beryllium sjeldent finnes i høyere konsentrasjoner enn på spornivå i naturlige vann som følge av lav løselighet, og at det derfor ikke er nødvendig å sette en grenseverdi. Beryllium er giftig og mulig kreftfremkallende for mennesker, men finnes i svært lave konsentrasjoner i naturlige vann (Reimann og Caritat, 1998, Vaessen og Szteke, 2000). Ingen av prøvene overgår USA sin grenseverdi, og maksimumsverdien er 0,02 µg/l.

7.5.3 Thallium

Thallium er et sjeldent grunnstoff som forekommer i små mengder i berggrunnen, men er utbredt som sporelement og ofte i assosiasjon med kalium og rubidium (Merian, 2004). Medianen i prøver fra grunnvann er 0,004 µg/l og i overflatevann 0,002 µg/l. Det er liten forskjell mellom medianen for prøvene fra vår og fra høst. I en undersøkelse av grunnvann i Norge var medianen 0,007 µg/l og maksimumsverdien 0,25 µg/l (Frengstad et al., 2000). Thallium har grenseverdi i retningslinjene for drikkevann i USA med en grense på 5,0 µg/l (USEPA, 2009). Grunnstoffet er giftig og har lav løselighet, og finnes derfor vanligvis i svært lave konsentrasjoner i drikkevann (Reimann og Caritat, 1998). Maksimumsverdien for alle prøvene er 0,05 µg/l, og medianen er <0,01 µg/l.

7.5.4 Sink

Hovedkilden til sink i vann er mineraler i berggrunnen, og i tillegg kan forurensning fra industri og avløpsvann øke konsentrasjonen av sink (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Innholdet av sink i drikkevann er vanligvis lavt, men korrosjon av galvaniserte vannrør kan øke innholdet i stor grad (Merian, 2004). Medianen for alle prøvene er 8,9 µg/l, og maksimumsverdien er 0,1 mg/l. For prøver fra grunnvann er medianen 10,4 µg/l og fra overflatevann 7,3 µg/l. I en undersøkelse av drikkevann i Norge var medianen i grunnvann 14,1 µg/l og i overflatevann 9,1 µg/l (Flaten, 1991).

Sink har en grenseverdi på 5,0 mg/l i retningslinjene for drikkevann i Canada, og det er kommentert at grensen er satt av estetiske grunner og at vann som inneholder sink over denne grensen kan ha varierende farge og smak, og det kan dannes en oljeaktig film på vannet ved koking (Health-Canada, 2012). Alle prøvene i denne undersøkelsen er langt under den kanadiske grenseverdien. Konsentrasjoner over 1,0 mg/l tyder på korrosivt vann (FHI, 2004). I en undersøkelse av drikkevann i Norge fra Folkehelse (Hongve et al., 1994) var det flere vannverk som hadde høyere innhold av sink i renvannet enn i råvannet, noe som tyder på at sink har blitt tilført og da sannsynligvis fra rør og armatur. Sink korrelerer positivt med Cd, Pb, P og Cu.

7.5.4 Uran

Hovedkilden til uran i vann er mineraler i berggrunnen, og innholdet i overflatevann er vanligvis svært lavt mens innholdet i grunnvann kan variere (Kabata-Pendias og Mukherjee, 2007). Uran har en grenseverdi på 20,0 µg/l i retningslinjene for drikkevann i Canada (Health-Canada, 2012). WHO (2011) har satt en grenseverdi på 30 µg/l som midlertidig på grunn av usikkerhet rundt toksisiteten av uran. Medianen for alle prøvene er 0,02 µg/l, og maksimumsverdien er 68,5 µg/l. De fleste vannverkene har svært lave gjennomsnittskonsentrasjoner av uran, men tre vannverk (11,29 og 44) som alle har grunnvannskilder skiller seg ut med gjennomsnittsverdier på henholdsvis 7,9 µg/l, 22,3 µg/l

og 65,3 µg/l. Medianen for prøver fra grunnvann er 0,68 µg/l og fra overflatevann 0,007 µg/l. I en undersøkelse av grunnvann i Norge oversteg 85 av prøvene (18%) den kanadiske grenseverdien på 20 µg/l. Der var medianverdien 2,5 µg/l og maksimumsverdien 750 µg/l (Frengstad et al., 2000). Dette tyder på at nivået av uran i norsk drikkevann generelt er lavt, men at noen grunnvannskilder har konsentrasjoner som kan være av bekymring.

7.6 Sammenligning av vannverk

For de aller fleste grunnstoffene er konsentrasjonen høyere i prøver fra grunnvann enn fra overflatevann. I de fleste tilfeller er både median og maksimumskonsentrasjon høyest i grunnvann. Grunnen til dette er hovedsakelig at grunnvann har lengre kontakttid med berggrunnen enn overflatevann. Noen få grunnstoff skiller seg ut og har høyere median og/eller maksimumskonsentrasjon i prøver fra overflatevann. Fosfor, jern, klor, mangan og titan har omtrent lik median for prøver fra grunnvann og fra overflatevann. Jern, klor, mangan og titan har maksimumsverdi i prøver fra grunnvann, mens fosfor har maksimumsverdi i en prøve fra overflatevann. I tillegg har kalsium, kobolt, krom, sink, silisium og svovel maksimumskonsentrasjoner i prøver fra overflatevann. Aluminium har omtrent tre ganger høyere median for prøver fra overflatevann enn fra grunnvann, og maksimumsverdien er fra en prøve i overflatevann. Tilførsel av aluminium til drikkevann kan skje gjennom vannbehandling og øke konsentrasjonen. En mer detaljert diskusjon om aluminium finnes i kapittel 7.1.1.

Noen vannverk skiller seg ut ved at de har en av de høyeste verdiene for mange grunnstoff. Vannverk 11, 19, 29 og 44 har alle noen av de høyeste verdiene for flere grunnstoffer. For både vannverk 11 og 44 er verdiene av As, Ba, Cs, Mg, Sb, Se, Sr og U blant de høyeste. Vannverk 19 og 29 har blant de høyeste verdiene for B, Cl, K og V. I tillegg har vannverk 44 høye verdier for Li, Mo, Na, Rb og V, vannverk 11 har også høy verdi for Ni, vannverk 29 har også høye verdier for Ba, Br, Li, Mo, Na og U. Vannverk 11 har maksimumskonsentrasjon for både Sb, Ba, Mg, Ni, Se og Sr, som alle korrelerer positivt med hverandre.

Både vannverk 19, 29 og 44 har grunnvannskilder som er borebrønner i fjell. Vannverk 11 har grunnvannskilde, men det er ikke oppgitt informasjon i vannverksregisteret om borebrønnen er i fjell eller løsmasser. Resultatene i denne undersøkelsen tyder på at borebrønner i fjell har høyere konsentrasjoner for en del grunnstoffer enn borebrønner i løsmasser. Dette kan delvis skyldes at vannet har lengre oppholdstid i fjellbrønner, og at mineraler som lett forvitrer allerede kan være vasket ut i løsmasser (NGU, 2013).

Noen grunnstoff har også høye verdier i prøver fra vannverk med overflatevann som kilder. Vannverkene 3, 22 og 34 skiller seg mest ut. Vannverk 3 har både maksimumsverdien og den høyeste gjennomsnittskonsentrasjonen for P og Zn. P korrelerer positivt med Zn ($r=0,61$). Både vannverk 22 og 34 har blant de høyeste verdiene for Ca og Co, Ca korrelerer positivt ($r=0,45$) med Co. Vannverk 22 har i tillegg høyt innhold av S, og vannverk 34 har blant de høyeste verdiene av Fe og Mn. Fe korrelerer positivt med Mn ($r=0,57$). Både vannverk 3, 22 og 34 har innsjø som vannkilde.

8. Konklusjon

Resultatene i denne undersøkelsen viser at det er få overskridelser av grenseverdier i drikkevannsforskriften. For de fleste grunnstoffene er det god margin opp til grenseverdien, og vannkvaliteten ut ifra disse parameterne er generelt god. Av grunnstoffene som har grenseverdier i drikkevannsforskriften er det bare tre prøver for aluminium, fem prøver for jern og fire prøver for mangan som overskrider grenseverdiene. For hvert av grunnstoffene aluminium, jern og mangan har ett vannverk gjennomsnittskonsentrasjon som overskrider grenseverdien. Av grunnstoffene som ble sammenlignet med andre lands retningslinjer for drikkevann er det ingen av prøvene som overskrider grenseverdiene for barium, beryllium, thallium og sink. For uran er det fire prøver som overskrider grenseverdien fra USA på 20 µg/l, og to vannverk har gjennomsnittskonsentrasjon som overskrider denne grenseverdien.

Generelt viser resultatene for de fleste grunnstoffene i denne undersøkelsen at konsentrasjonen er høyere i grunnvann enn i overflatevann. Unntakene er aluminium, fosfor, klor, mangan, jern og titan. Fosfor, jern, klor, mangan og titan har omtrent lik median for prøver fra grunnvann og fra overflatevann. Jern, klor, mangan og titan har maksimumsverdi i prøver fra grunnvann, mens fosfor har maksimumsverdi i en prøve fra overflatevann. Aluminium har høyere median for prøver fra overflatevann enn fra grunnvann, og maksimumsverdien er fra overflatevann. Generelt viser de fleste grunnstoffene liten variasjon mellom prøvene fra vår og høst. 47 av de 55 grunnstoffene det er analysert for har konsentrasjoner over deteksjonsgrensen i over 80% av prøvene.

Over 90% av prøvene har meget bløtt eller bløtt vann, mens de resterende har middels hardt og bare en prøve klassifiseres som hardt vann. Av de sjeldne jordartene er det størst forekomst av lantan, cerium, praseodym og neodym, og alle jordartene korrelerer godt med hverandre. Innholdet av natrium, klor og brom er høyest i vannkilder med nærhet til kysten. Både kobber, sink, jern, bly og nikkel har stor variasjon i konsentrasjonen i prøvene fra vår og høst for noen av vannverkene. Det er sannsynlig at utlekking fra ledningsnett og armatur og mulig lang henstandstid i rørene kan være kilder som bidrar til disse forskjellene. Noen vannverk skiller seg ut ved at de har blant de høyeste konsentrasjonene for mange av grunnstoffene. Dette gjelder hovedsakelig noen få vannverk med grunnvannskilder som er borebrønner i fjell.

Referanseliste

- Agrawal, G. S., Kamboj, D. V., Alam, S. I., Dixit, M. & Singh, L. 2002. Fluoride in shallow aquifers in Rajgarh Tehsil of Churu District, Rajasthan—an arid environment. *Current Science*, 83, 699.
- Anderson, T., Neri, L., Schreiber, G., Talbot, F. & Zdrojewski, A. 1975. Letter: Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. *Canadian Medical Association Journal*, 113, 199.
- Andersson, M., Takkouche, B., Egli, I., Allen, H. E. & Benoist, B. D. 2005. Current global iodine status and progress over the last decade towards the elimination of iodine deficiency. *Bulletin of the World Health Organization*, 83, 518-525.
- Ayoob, S. & Gupta, A. 2006. Fluoride in drinking water: a review on the status and stress effects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36, 433-487.
- 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, 27-39.
- Banks, D., Reimann, C., Røyset, O., Skarphagen, H. & Sæther, O. M. 1995. Natural concentrations of major and trace elements in some Norwegian bedrock groundwaters. *Applied Geochemistry*, 10, 1-16.
- Bean, J. A., Isacson, P., Hahne, R. M. & Kohler, J. 1982. Drinking water and cancer incidence in Iowa II. Radioactivity in drinking water. *American Journal of Epidemiology*, 116, 924-932.
- Beauchemin, D. 2010. Environmental analysis by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Mass Spectrometry Reviews*, 29, 560-592.
- Becker, J. S. & Dietze, H.-J. 1998. Inorganic trace analysis by mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 53, 1475-1506.
- Bersier, P. M., Howell, J. & Bruntlett, C. 1994. Tutorial review. Advanced electroanalytical techniques versus atomic absorption spectrometry, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry in environmental analysis. *Analyst*, 119, 219-232.
- Birke, M., Reimann, C., Demetriades, A., Rauch, U., Lorenz, H., Harazim, B. & Glatte, W. 2010. Determination of major and trace elements in European bottled mineral water — Analytical methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 217-226.
- Bryhni, I. 2000. *Geoleksi* [Online]. Universitet i Oslo, Naturhistorisk museum. Tilgjengelig fra: <http://www.nhm.uio.no/fakta/geologi/geoleksi/> [Lest 11.04.14.
- Bølviken, B. 2004. Geokjemi og helse. *Norsk epidemiologi*, 14, 206-212.
- Bølviken, B., Celius, E., Nilsen, R. & Strand, T. 2003. Radon: a possible risk factor in multiple sclerosis. *Neuroepidemiology*, 22, 87-94.
- Calderon, R. L. 2000. The epidemiology of chemical contaminants of drinking water. *Food and Chemical Toxicology*, 38, Supplement 1, S13-S20.
- Castor, S. B. & Hedrick, J. B. 2006. Rare earth elements. *Industrial Minerals and rocks*. 7.edition ed. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Catling, L., Abubakar, I., Lake, I., Swift, L. & Hunter, P. 2008. A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness. *Journal of Water and Health*, 6, 433-442.
- Chen, C., Chen, C., Wu, M. & Kuo, T. 1992. Cancer potential in liver, lung, bladder and kidney due to ingested inorganic arsenic in drinking water. *British Journal of Cancer*, 66, 888.
- Chowdhury, U. K., Biswas, B. K., Chowdhury, T. R., Samanta, G., Mandal, B. K., Basu, G. C., Chanda, C. R., Lodh, D., Saha, K. C. & Mukherjee, S. K. 2000. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. *Environmental health perspectives*, 108, 393.
- Codd, G. A., Morrison, L. F. & Metcalf, J. S. 2005. Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 203, 264-272.
- Cook, J. D., Skikne, B. S. & Baynes, R. D. 1994. Iron deficiency: the global perspective. *Progress in Iron Research*. Kansas: Springer.

- Cotruvo, J. A. & Bartram, J. 2009. *Calcium and magnesium in drinking-water: public health significance*, World Health Organization
- Dahl, C., Sjøgaard, A. J., Tell, G. S., Flaten, T. P., Hongve, D., Omsland, T. K., Holvik, K., Meyer, H. E. & Aamodt, G. 2013. Nationwide data on municipal drinking water and hip fracture: Could calcium and magnesium be protective? A NOREPOS study. *Bone*, 57, 84-91.
- Dahl, L. 2005. Possible role of salt intake in the development of essential hypertension. *International Journal of Epidemiology*, 34, 967-972.
- Das, D., Chatterjee, A., Samanta, G., Mandal, B., Chowdhury, T. R., Samanta, G., Chowdhury, P. P., Chanda, C., Basu, G. & Lodh, D. 1994. Report. Arsenic contamination in groundwater in six districts of West Bengal, India: the biggest arsenic calamity in the world. *Analyst*, 119, 168N-170N.
- De Boer, J. L. M., Verweij, W., Van Der Velde-Koerts, T. & Mennes, W. 1996. Levels of rare earth elements in Dutch drinking water and its sources. Determination by inductively coupled plasma mass spectrometry and toxicological implications. A pilot study. *Water Research*, 30, 190-198.
- De Zuane, J. 1997. *Handbook of drinking water quality*, New York, Van Nostrand Reinhold
- Dissanayake, C. B. 1991. The fluoride problem in the ground water of Sri Lanka — environmental management and health. *International Journal of Environmental Studies*, 38, 137-155.
- Dybing, E., Alexander, J., Krog, T., Hetland, R., Stigum, H. & Johansen, B. 2007. Drikkevannsledninger av asbest og mulig kreftrisiko. Folkehelseinstituttet.
- Edmunds, W. & Smedley, P. 1996. Groundwater geochemistry and health: an overview. *Geological Society, London, Special Publications*, 113, 91-105.
- Eikebrokk, B., Gjerstad, K., Hindal, S., Johanson, G., Røstum, J. & Rytter, E. 2006. Giardia-utbruddet i Bergen høsten 2004. *Rapport fra det eksterne evalueringsutvalget*. Trondheim: SINTEF.
- Ellis, D., Bouchard, C. & Lantagne, G. 2000. Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration. *Desalination*, 130, 255-264.
- Evans, E. H. & Giglio, J. J. 1993. Interferences in inductively coupled plasma mass spectrometry. A review. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 8, 1-18.
- Fell, G. S., Lyon, T. D. B., Littlejohn, D. & Nicol, C. 1997. The Distribution of Essential Trace Elements amongst the Plasma Proteins in Health and Disease. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 11, 151-153.
- Fhi. 2004. Vannforsyningens ABC - et oppslagsverk om drikkevann. Rapport fra folkehelseinstituttet. Tilgjengelig fra: <http://www.fhi.no/artikler/?id=46542>. Folkehelseinstituttet
- Flanagan, S. V., Johnston, R. B. & Zheng, Y. 2012. Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. *Bulletin of the World Health Organization*, 90, 839-846.
- Flaten, T. 1990. Geographical associations between aluminium in drinking water and death rates with dementia (including Alzheimer's disease), Parkinson's disease and amyotrophic lateral sclerosis in Norway. *Environmental Geochemistry and Health*, 12, 152-167.
- Flaten, T. P. 1986. *An investigation of the chemical composition of Norwegian drinking water and its possible relationships with the epidemiology of some diseases*. 51 Ph.D, Department of Inorganic Chemistry, Norwegian Institute of Technology, Trondheim.
- Flaten, T. P. 1991. A nation-wide survey of the chemical composition of drinking water in Norway. *Science of The Total Environment*, 102, 35-73.
- Flaten, T. P. & Bølviken, B. 1991. Geographical associations between drinking water chemistry and the mortality and morbidity of cancer and some other diseases in Norway. *Science of The Total Environment*, 102, 75-100.
- Fraga, C. G. 2005. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 235-244.
- Fraga, C. G. & Oteiza, P. I. 2002. Iron toxicity and antioxidant nutrients. *Toxicology*, 180, 23-32.
- Frengstad, B., Midtgård Skrede, A. K., Banks, D., Krog, J. R. & Siewers, U. 2000. The chemistry of Norwegian groundwaters: III. The distribution of trace elements in 476 crystalline bedrock

- groundwaters, as analysed by ICP-MS techniques. *Science of The Total Environment*, 246, 21-40.
- Garcia-Sanchez, A. & Alvarez-Ayuso, E. 2003. Arsenic in soils and waters and its relation to geology and mining activities (Salamanca Province, Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 80, 69-79.
- Gauthier, E., Fortier, I., Courchesne, F., Pepin, P., Mortimer, J. & Gauvreau, D. 2000. Aluminum forms in drinking water and risk of Alzheimer's disease. *Environmental research*, 84, 234-246.
- Gellein, K., Lierhagen, S., Brevik, P. S., Teigen, M., Kaur, P., Singh, T., Flaten, T. P. & Syversen, T. 2008. Trace element profiles in single strands of human hair determined by HR-ICP-MS. *Biol Trace Elem Res*, 123, 250-60.
- Goldhaber, S. B. 2003. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 38, 232-242.
- Goyer, R. A. 1995. Nutrition and metal toxicity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 61, 646S-650S.
- Harada, M. 1995. Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 25, 1-24.
- Health-Canada. 2012. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, Summary table. Tilgjengelig fra: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2012-sum_guide-res_recom/index-eng.php#t2 [Lest 04.03.14]. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment
- Hitzfeld, B. C., Höger, S. J. & Dietrich, D. R. 2000. Cyanobacterial toxins: removal during drinking water treatment, and human risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, 108, 113.
- Hod 2001. Forskriften om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften). Lovdata: Helse og omsorgsdepartementet
- Holmen, J., Midthjell, K., Krüger, Ø., Langhammer, A., Holmen, T. L., Bratberg, G. H., Vatten, L. & Lund-Larsen, P. G. 2003. The Nord-Trøndelag Health Study 1995–97 (HUNT 2): objectives, contents, methods and participation. *Norsk epidemiologi*, 13, 19-32.
- Hongve, D., Weideborg, M., Andruchow, E. & Hansen, R. 1994. Landsoversikt drikkevannskvalitet, spormetaller i vann fra norske vannverk. Oslo: Statens institutt for folkehelse, avdeling for miljømedisin.
- Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M. L., Fuchs, A., Bergoglio, R., Tello, E. E., Nicolli, H. & Smith, A. H. 1996. Bladder Cancer Mortality Associated with Arsenic in Drinking Water in Argentina. *Epidemiology*, 7, 117-124.
- Hopke, P. K., Borak, T., Doull, J., Cleaver, J., Eckerman, K., Gundersen, L., Harley, N., Hess, C., Kinner, N. & Kopecky, K. 2000. Health risks due to radon in drinking water. *Environmental Science & Technology*, 34, 921-926.
- Houk, R. S., Fassel, V. A., Flesch, G. D., Svec, H. J., Gray, A. L. & Taylor, C. E. 1980. Inductively coupled argon plasma as an ion source for mass spectrometric determination of trace elements. *Analytical Chemistry*, 52, 2283-2289.
- Iversen, A. S., S. 2013. Veileder 02:2013, Klassifisering av miljøtilstand i vann. Trondheim.
- Iyengar, G. V. 1991. Milestones in biological trace element research. *Science of The Total Environment*, 100, 1-15.
- Jorge, E. M., Rubén, H. F. & Sandra, E. B. 2007. Heavy Metals, Major Metals, Trace Elements. *Handbook of Water Analysis, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Kabata-Pendias, A. & Mukherjee, A. B. 2007. *Trace Elements from Soil to Human*, Berlin, Springer
- Klaassen, C. D. 2008. *Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons*, USA, McGraw-Hill. 7. edition
- Krokstad, S. & Knudtsen, M. 2011. Folkehelse i endring. Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag. Levanger: Rapport fra HUNT forskningscenter. Institutt for samfunnsmedisin, Det medisinske fakultet, NTNU.

- Krokstad, S., Langhammer, A., Hveem, K., Holmen, T., Midthjell, K., Stene, T., Bratberg, G., Heggland, J. & Holmen, J. 2012. Cohort Profile: The HUNT Study, Norway. *International Journal of Epidemiology*, 42, 968-977.
- Kurttio, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J., Mäkeläinen, I., Väisänen, S. B., Penttilä, I. M. & Komulainen, H. 2002. Renal effects of uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 110, 337.
- König, A. 2000. Forfall og fornyelse av VA-ledninger, forurensning av drikkevann på grunn av forhold i ledningsnett. Trondheim: SINTEF Bygg og miljøteknikk.
- Land, M. & Öhlander, B. 1997. Seasonal variations in the geochemistry of shallow groundwater hosted in granitic till. *Chemical Geology*, 143, 205-216.
- Leslie, A. & Smith, H. 1978. Napoleon Bonaparte's exposure to arsenic during 1816. *Archives of Toxicology*, 41, 163-167.
- Lindh, U. 2013a. Biological Functions of the Elements. In: Selinus, O. (ed.) *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Lindh, U. 2013b. Uptake of elements from a biological point of view. In: Selinus, O. (ed.) *Essential of medical geology: Revised edition*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Livsmiddelsverket. 2001. Livsmiddelsverkets föreskrifter om dricksvatten;. Tilgjengelig fra: <http://www.slv.se/sv/grupp1/Dricksvatten/Foreskrifter-om-dricksvatten/> [Lest 25.03.14]
- Luk, E., Jensen, L. T. & Culotta, V. C. 2003. The many highways for intracellular trafficking of metals. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 8, 803-809.
- Løtveit, H., Nicholls, M., Staveland, K. & Kopperud, I. C. 2007. Drikkevannet vårt, en tilstandsbeskrivelse. Mattilsynet.
- Manahan, S. E. 2010. *Environmental Chemistry*, USA, CRC Press.9.edition
- Merian, E. 2004. *Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance*, Weinheim, Wiley-VCH
- Mertz, W. 1981. The essential trace elements. *Science*, 213, 1332-1338.
- Midtgård, A. K., Frengstad, B., Banks, D., Krog, J. R., Siewers, U., Strand, T. & Lind, B. 2007. Fordeling av sporelementer i grunnvann fra 476 borebrønner i fast fjell, analysert med ICP-MS. NGU.
- Mielke, H. W., Berry, K. J., Mielke, P. W., Powell, E. T. & Gonzales, C. R. 2005. Multiple metal accumulation as a factor in learning achievement within various New Orleans elementary school communities. *Environmental Research*, 97, 67-75.
- Miettinen, I. T., Vartiainen, T. & Martikainen, P. J. 1997. Phosphorus and bacterial growth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 3242-3245.
- Miranda, M. L., Kim, D., Galeano, M. a. O., Paul, C. J., Hull, A. P. & Morgan, S. P. 2007. The relationship between early childhood blood lead levels and performance on end-of-grade tests. *Environmental Health Perspectives*, 115, 1242.
- Monarca, S., Donato, F., Zerbini, I., Calderon, R. L. & Craun, G. F. 2006. Review of epidemiological studies on drinking water hardness and cardiovascular diseases. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 13, 495-506.
- Murray, F. J. 1995. A Human Health Risk Assessment of Boron (Boric Acid and Borax) in Drinking Water. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 22, 221-230.
- Ngu. GRANADA, nasjonal grunnvannsdatabase [Online]. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>.
- Ngu. 2011. Hva er grunnvann [Online]. NGU. Tilgjengelig fra: http://www.grunnvann.no/grunnvann_hva_er.php [Lest 11.03.14 2014].
- Ngu. 2013. Grunnvann i Norge, vannkvalitet [Online]. Tilgjengelig fra: http://www.grunnvann.no/vannkvalitet_generelt.php [Lest 06.04.2014].
- Nordberg, G. 2007. *Handbook on the toxicology of metals*, Amsterdam, Academic Press
- Nordberg, M. & Cherian, G. M. 2013. Biological responses of elements. In: Selinus, O. (ed.) *Essential of Medical Geology:revised edition*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Nordstrom, D. K. 2002. Worldwide occurrences of arsenic in ground water. *Science(Washington)*, 296, 2143-2145.

- Nrpa. 2012. Radon i arealplanlegging. Tilgjengelig fra: <http://www.nrpa.no/dav/b55a74e6b2.pdf> [Lest 070414]. Norwegian radiation protection authority (Statens strålevern)
- Ntfk. 2013. Nord-Trøndelag fylkeskommune. Tilgjengelig fra: <http://www.ntfk.no/NordTrondelag/Kommuner/Sider/default.aspx>.
- Nygaard, K., Schimmer, B., Sobstad, O., Walde, A., Tveit, I., Langeland, N., Hausken, T. & Aavitsland, P. 2006. A large community outbreak of waterborne giardiasis- delayed detection in a non-endemic urban area. *BMC Public Health*, 6, 141.
- Nygård, K., Gondrosen, B. & Lund, V. 2003. Sykdomsutbrudd forårsaket av drikkevann i Norge. *Tidsskrift for Den norske legeforening*, 23, 3410-3.
- Ozsvath, D. L. 2009. Fluoride and environmental health: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 8, 59-79.
- Payne, M. 2008. Lead in drinking water. *Canadian Medical Association Journal*, 179, 253-254.
- Peereboom, J. W. C. 1985. General aspects of trace elements and health. *Science of The Total Environment*, 42, 1-27.
- Pettersson, R. & Rasmussen, F. 1999. Daily intake of copper from drinking water among young children in Sweden. *Environmental Health Perspectives*, 107, 441.
- Prange, A., Bøddeker, H. & Kramer, K. 1993. Determination of trace elements in river-water using total-reflection X-ray fluorescence. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 48, 207-215.
- Prüss-Üstün, A., Bos, R., Gore, F. & Bartram, J. 2008. *Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health*, World Health Organization
- Reimann, C. & Caritat, P. D. 1998. *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist*, New York, Springer Verlag
- 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, 1-19.
- Renwick, A. G. 2006. Toxicology of Micronutrients: Adverse Effects and Uncertainty. *The Journal of Nutrition*, 136, 493S-501S.
- Rosborg, I., Nihlgård, B., Gerhardsson, L. & Sverdrup, H. 2006. Concentrations of inorganic elements in 20 municipal waters in Sweden before and after treatment—links to human health. *Environmental Geochemistry and Health*, 28, 215-229.
- Rubenowitz-Lundin, E. & Hiscock, K. M. 2013. Water hardness and health effects. In: Selinus, O. (ed.) *Essentials of Medical Geology: Revised edition*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Samuelsson, U., Oikarinen, S., Hyöty, H. & Ludvigsson, J. 2011. Low zinc in drinking water is associated with the risk of type 1 diabetes in children. *Pediatric Diabetes*, 12, 156-164.
- Sarin, P., Snoeyink, V., Bebee, J., Jim, K., Beckett, M., Kriven, W. & Clement, J. 2004. Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen. *Water Research*, 38, 1259-1269.
- Sauvant, M. P. & Pepin, D. 2002. Drinking water and cardiovascular disease. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 1311-1325.
- Schroeder, H. A. 1960. Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies: Variations in states and 163 largest municipalities of the united states. *Journal of the American Medical Association*, 172, 1902-1908.
- Selinus, O. 2013. *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*, Dordrecht, Springer Netherlands
- Skjelkvåle, B. L., Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, B., Traaen, T., Lien, L., Lydersen, E. & Buan, A. K. 1996a. *Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør: regional innsjøundersøkelse 1995 : en vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer*, Oslo, Norsk institutt for vannforskning
- Skjelkvåle, B. L., Henriksen, A., Vadset, M. & Røyset, O. 1996b. *Sporelementer i norske innsjøer: foreløpig resultat for 473 sjøer*, Oslo, NIVA
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, J. F. & Crouch, S. R. 2004. *Fundamentals of analytical chemistry*, USA, Brooks/Cole.8.edition

- Smith, A. H., Goycolea, M., Haque, R. & Biggs, M. L. 1998. Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of Northern Chile due to arsenic in drinking water. *American journal of Epidemiology*, 147, 660-669.
- Smith, A. H., Hopenhayn-Rich, C., Bates, M. N., Goeden, H. M., Hertz-Picciotto, I., Duggan, H. M., Wood, R., Kosnett, M. J. & Smith, M. T. 1992. Cancer risks from arsenic in drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 97, 259.
- Srinivasan, P., Viraraghavan, T. & Subramanian, K. 1999. Aluminium in drinking water: An overview. *Water Sa*, 25, 47-55.
- Ssb. 2013. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=Folkemengd1951&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=befolkning&KortNavnWeb=folkendrkv&StatVariant=&checked=true>.
- Stegavik, K. 1975. An investigation of heavy metal contamination of drinking water in the city of Trondheim, Norway. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 14, 57-60.
- Stumm, W. & Morgan, J. J. 1996. *Aquatic Chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters. 3.edition*, New York, John Wiley and sons
- Sundar, S. & Chakravarty, J. 2010. Antimony toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, 4267-4277.
- Thomas, R. 2001. A beginner's guide to ICP-MS. *Spectroscopy*, 16, 4.
- Thomas, R. 2008. *Practical guide to ICP-MS: a tutorial for beginners*, Boca Raton, CRC Press
- Usepa. 2009. Drinking Water Contaminants. Tilgjengelig fra: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/#List> [Lest 24.01.14]. United States environmental agency
- Vaessen, H. A. & Szteke, B. 2000. Beryllium in food and drinking water-a summary of available knowledge. *Food Additives & Contaminants*, 17, 149-159.
- Vandecasteele, C. & Block, C. B. 1993. *Modern methods for trace element determination*, Chichester, Wiley
- Watanabe, H., Berman, S. & Russell, D. S. 1972. Determination of trace metals in water using x-ray fluorescence spectrometry. *Talanta*, 19, 1363-1375.
- Who. 2003a. Antimony in drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Tilgjengelig fra: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/antimony.pdf [Lest 15.04.14]
- Who. 2003b. Boron in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Tilgjengelig fra: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/boron.pdf [Lest 16.04.14]
- Who 2009. Calcium and Magnesium in drinkin-water: Public health significance.
- Who. 2011. Guidelines for drinking-water quality: Surveillance and control of community supplies. Tilgjengelig fra: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_chapters/en/ [Lest 04.09.13]. World Health Organization
- Xiao, J., Jin, Z. & Wang, J. 2014. Geochemistry of trace elements and water quality assessment of natural water within the Tarim River Basin in the extreme arid region, NW China. *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 118-126.
- Yoshida, T., Yamauchi, H. & Fan Sun, G. 2004. Chronic health effects in people exposed to arsenic via the drinking water: dose-response relationships in review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198, 243-252.
- Zhitkovich, A. 2011. Chromium in drinking water: sources, metabolism, and cancer risks. *Chemical Research in Toxicology*, 24, 1617-1629.
- Ødegaard, H. & Norheim, B. 2012. *Vann- og avløpsteknikk*, Hamar, Norsk Vann

Liste over vedlegg

Vedlegg 1. Oversikt over alle vannverk med vannkilder

Vedlegg 2. Oversikt over datoer for mottatte vannprøver

Vedlegg 3. Statistisk oversikt av resultat for grunnvann og overflatevann

Vedlegg 4. Statistisk oversikt over resultat fra vår og fra høst

Vedlegg 5. Deteksjonsgrenser

Vedlegg 6. Korrelasjonsanalyser

Vedlegg 7. Resultat for alle grunnstoff for alle vannverk både vår og høst

Vedlegg 8. Brev til vannverkene

Vedlegg 1. Oversikt over alle vannverk med vannkilder

Tabell V.1: Oversikt over alle vannverk i undersøkelsen og deres vannkilder.

| Nr | Vannverk | Vannkilde | Type vannkilde | Kategori vannkilde |
|----|---------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| 1 | Steinkjer Vannverk | Reinsvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 2 | Øvre Ogndal vannverk | Skjållågrind | Kildeutspring | Grunnvann |
| 3 | Veldemelen vannverk | Myrkleiva | Innsjø | Overflatevann |
| 4 | Namsos-nordsiden | Fosslandselva | Elv/bekk | Overflatevann |
| 5 | Namsos vannverk tavlåa | Tavlåavatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 6 | Bangdalen vannverk | Grunnvann fra Andsjøen | Kildeutspring | Grunnvann |
| 7 | Meråker vannverk | Lilleåtern | Innsjø | Overflatevann |
| 8 | Flora vannverk | Borebrønn | | Grunnvann |
| 9 | Stjørdal vannverk | Lauvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 10 | Frosta Vassverk | Hovdalsvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 11 | Moen vannverk | Borebrønn | Borebrønn | Grunnvann |
| 12 | Ulstadvatnet vasslag | Ulstadvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 13 | Dalbygda Vassverk | Fiskløysa | Innsjø | Overflatevann |
| 14 | Hindrem og Seter vassverk | Halvardstjønna | Innsjø | Overflatevann |
| 15 | Leksvik vassverk | Juvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 16 | Vanvikan vannverk | Kvernsjøen | Innsjø | Overflatevann |
| 17 | Levanger Vannverk | Movann-Hoklingen | Innsjø | Overflatevann |
| 18 | Torhaugen Vannverk | Borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 19 | Ytterøy Vassverk | Borebrønn | Fjell | Grunnvann |
| 20 | Ekne vassverk | Sønningen | Innsjø | Overflatevann |
| 21 | Markabydga vassverk | Svartbekken | Elv/bekk | Overflatevann |
| 22 | Øvre Skogn vasslag | Sundtjern | Innsjø | Overflatevann |
| 23 | Kvernbekken Vasslag | Borebrønn | Borebrønn | Grunnvann |
| 24 | Leirsjø Vasslag | | Innsjø | Overflatevann |
| 25 | Verdal vannverk | Leksdalsvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 26 | Follafooss vannverk | Follavatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 27 | Malm vannverk | Grunnvannskilde* | Borebrønn | Grunnvann |
| 28 | Namdalseid vannverk | Rossevatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 29 | Statland vannverk | Hjeldalen | Borebrønn fjell | Grunnvann |
| 30 | Inderøy kommune | Røflovatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 31 | Mosvik vannverk | Stordalsvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 32 | Snåsa vannverk | Sagbakken borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 33 | Sørbygdga vannverk | Budølan borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 34 | Vest-Snåsa vannverk | Snåsavatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 35 | Øverbygdga vassverk | Grunnvann | Løsmasser | Grunnvann |
| 36 | Sandvika vannverk | Laksjøen | Innsjø | Overflatevann |
| 37 | Røyrvik vannverk | Husvikelva | Elv/bekk | Overflatevann |
| 38 | Namsskogan-kommunal del | Borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 39 | Namsskogan - privat del | Borebrønn | | Grunnvann |
| 40 | Brekkvasselv vannverk | Borebrønn | Fjell | Grunnvann |
| 41 | Trones vannverk | Borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 42 | Bergsmo vannverk | | Innsjø | Overflatevann |
| 43 | Grong vannverk | Farstøa borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 44 | Midtre Høylandet vannverk | Borebrønn | Fjell | Grunnvann |
| 45 | Konovatnet fellesvannverk | Konovatnet | Innsjø | Overflatevann |

| | | | | |
|----|-----------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 46 | Dun vannverk | Svarvan borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 47 | Fosnesmoan vannverk | borebrønn | Løsmasser | Grunnvann |
| 48 | Lauvsnes vassverk | Borebrønn | Fjell | Grunnvann |
| 49 | Utvorda vannverk | Borebrønn** | Fjell | Grunnvann |
| 50 | Vik og Kvaløyseter vassverk | Borebrønn | Borebrønn | Grunnvann |
| 51 | Rørvik vannverk | | | Overflatevann |
| 52 | Ytre Vikna vannverk | Hasfjordvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 53 | Kjella vannverk | Kjella | Kildeutspring | Grunnvann |
| 54 | Nærøy vannverk | Kvernhusvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 55 | Oplø vannverk | Opløelva | Elv/bekk | Overflatevann |
| 56 | Nærøy og Vikna vannverk | Rokkvatnet | Innsjø | Overflatevann |
| 57 | Måneset vannverk | Bekk fra Nublivannet | Elv/bekk | Overflatevann |
| 58 | Leka vannverk | Nesvatnet | Innsjø | Overflatevann |

*Råvannet til Malm vannverk kommer dels fra grunnvannsbrønn og dels fra innsjø (Køltjønna), begge er oppgitt som hovedkilde i opplysningene i Vannverksregisteret.

** Utvorda vannverk har både grunnvann og elv/bekk som vannkilder, begge oppført som hovedkilder.

Vedlegg 2. Oversikt over datoer for mottatte prøver

Tabell V.2: oversikt over datoer for mottatte prøver for vår og høst

| Nr | Vannverk | Dato mottatt vår | Dato mottatt høst |
|----|---------------------------|------------------|-------------------|
| 1 | Steinkjer Vannverk | 21.05.2013 | 17.10.2013 |
| 2 | Øvre Ogdal vannverk | 21.05.2013 | 07.10.2013 |
| 3 | Veldemelen vannverk | 22.05.2013 | 25.09.2013 |
| 4 | Namsos-nordsiden | 07.05.2013 | 07.10.2013 |
| 5 | Tavlåa | 07.05.2013 | 07.10.2013 |
| 6 | Bangdalen vannverk | 26.06.2013 | 20.01.2014 |
| 7 | Meråker vannverk | 24.04.2013 | 23.09.2013 |
| 8 | Flora vannverk | 14.05.2013 | 15.10.2013 |
| 9 | Stjørdal vannverk | 14.05.2013 | 15.10.2013 |
| 10 | Frosta | 26.06.2013 | ikke mottatt |
| 11 | Moen vannverk | 14.05.2013 | 15.10.2013 |
| 12 | Ulstadvatnet vasslag | 24.04.2013 | 18.09.2013 |
| 13 | Dalbygda Vassverk | 24.04.2013 | 17.10.2013 |
| 14 | Hindrem og Seter vassverk | 14.05.2013 | 17.09.2013 |
| 15 | Leksvik vassverk | 07.05.2013 | 25.09.2013 |
| 16 | Vanvikan vannverk | 19.08.2013 | ikke mottatt |
| 17 | Levanger Vannverk | 16.05.2013 | 22.10.2013 |
| 18 | Torhaugen Vannverk | 16.05.2013 | 22.10.2013 |
| 19 | Ytterøy Vassverk | 16.05.2013 | 22.10.2013 |
| 20 | Ekne vassverk | 14.05.2013 | 17.10.2013 |
| 21 | Markabydga vassverk | 24.05.2013 | 24.10.2013 |
| 22 | Øvre Skogn vasslag | 24.04.2013 | 19.09.2013 |
| 23 | Kvernbecken Vasslag | 24.04.2013 | 19.09.2013 |
| 24 | Leirsjø Vasslag | 23.05.2013 | 19.09.2013 |
| 25 | Verdal vannverk | 16.05.2013 | 08.11.2013 |
| 26 | Follafooss vannverk | 24.04.2013 | 29.10.2013 |
| 27 | Malm vannverk | 24.04.2013 | 29.10.2013 |
| 28 | Namdalseid vannverk | 13.05.2013 | 27.09.2013 |
| 29 | Statland vannverk | 13.05.2013 | 27.09.2013 |
| 30 | Inderøy kommune | 22.05.2013 | 24.09.2013 |
| 31 | Mosvik vannverk | 22.05.2013 | 24.09.2013 |
| 32 | Snåsa vannverk | 24.05.2013 | 09.10.2013 |
| 33 | Sørbygdga vannverk | 07.06.2013 | 13.12.2013 |
| 34 | Vest-Snåsa vannverk | 16.05.2013 | 23.09.2013 |
| 35 | Øverbygdga vassverk | 30.08.2013 | 07.10.2013 |
| 36 | Sandvika vannverk | 15.05.2013 | 16.09.2013 |
| 37 | Røyrvik vannverk | 07.06.2013 | 02.10.2013 |
| 38 | Namsskogan, kommunal del | 24.04.2013 | 19.09.2013 |
| 39 | Namsskogan, privat del | 24.04.2013 | 07.01.2014 |
| 40 | Brekkvasselv vannverk | 24.04.2013 | 26.09.2013 |
| 41 | Trones vannverk | 24.04.2013 | 18.09.2013 |

| | | | |
|----|-----------------------------|--------------|--------------|
| 42 | Bergsmo vannverk | 30.05.2013 | 09.10.2013 |
| 43 | Grong vannverk | 30.05.2013 | 09.10.2013 |
| 44 | Midtre Høylandet vannverk | 24.04.2013 | 19.09.2013 |
| 45 | Konovatnet fellesvannverk | 24.04.2013 | 18.09.2013 |
| 46 | Dun vannverk | 12.06.2013 | 08.10.2013 |
| 47 | Fosnesmoan vannverk | 12.06.2013 | 08.10.2013 |
| 48 | Lauvsnes vassverk | 24.04.2013 | 18.09.2013 |
| 49 | Utvorda vannverk | ikke mottatt | 09.10.2013 |
| 50 | Vik og Kvaløyseter vassverk | ikke mottatt | ikke mottatt |
| 51 | Rørvik vannverk | 26.06.2013 | 22.10.2013 |
| 52 | Ytre Vikna vannverk | 26.06.2013 | 22.10.2013 |
| 53 | Kjella vannverk | 24.05.2013 | 07.10.2013 |
| 54 | Nærøy vannverk | 24.05.2013 | 07.10.2013 |
| 55 | Oplø vannverk | 24.05.2013 | 07.10.2013 |
| 56 | Nærøy og Vikna vannverk | 24.05.2013 | 07.10.2013 |
| 57 | Månset vannverk | 30.08.2013 | 19.09.2013 |
| 58 | Leka vannverk | ikke mottatt | 23.10.2013 |

Vedlegg 3. Statistisk oversikt av resultat for grunnvann og overflatevann

Tabell V.3: Oversikt over median, minimum og maksimum for prøver fra grunnvann (n=47) og fra overflatevann (n=63) for alle grunnstoff, og forholdet mellom medianen til grunnvann og overflatevann.

| Grunnstoff | | Grunnvann | | | Overflatevann | | | Median G/O |
|------------|------|-----------|--------|--------|---------------|--------|--------|------------|
| | | Median | Min | Maks | Median | Min | Maks | |
| Aluminium | µg/l | 10 | 0,72 | 123 | 31 | 1,7 | 581 | 0,3 |
| Antimon | µg/l | 0,02 | 0,003 | 0,25 | 0,012 | 0,003 | 0,050 | 1,4 |
| Arsen | µg/l | 0,08 | 0,02 | 3,24 | 0,04 | 0,02 | 0,70 | 2,1 |
| Barium | µg/l | 6,16 | 0,57 | 77,54 | 1,40 | 0,12 | 23,01 | 4,4 |
| Beryllium | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,25 | <0,01 | <0,01 | 0,04 | - |
| Bly | µg/l | 0,56 | 0,005 | 4,43 | 0,17 | 0,026 | 1,07 | 3,3 |
| Bor | µg/l | 5,56 | 0,59 | 72,1 | 2,32 | <0,5 | 9,87 | 2,4 |
| Brom | µg/l | 33,2 | 7,71 | 212 | 23,8 | 1,90 | 69,2 | 1,4 |
| Cerium | µg/l | 0,06 | <0,001 | 2,60 | 0,05 | 0,001 | 0,31 | 1,2 |
| Cesium | µg/l | 0,02 | 0,001 | 1,68 | 0,011 | 0,001 | 0,13 | 1,4 |
| Dysprosium | µg/l | 0,03 | <0,01 | 0,43 | <0,01 | <0,01 | 0,03 | 12,2 |
| Erbium | µg/l | 0,02 | <0,001 | 0,23 | 0,002 | <0,001 | 0,02 | 11,2 |
| Fosfor | µg/l | 1,82 | 0,69 | 4,47 | 1,62 | 0,59 | 48,8 | 1,1 |
| Gallium | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,20 | <0,01 | <0,01 | 0,06 | - |
| Gull | µg/l | 0,001 | <0,001 | 0,008 | <0,001 | <0,001 | 0,007 | - |
| Hafnium | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | - |
| Holmium | µg/l | 0,006 | 0,0001 | 0,085 | 0,001 | <0,001 | 0,006 | 8,7 |
| Jern | mg/l | 0,008 | 0,0001 | 0,46 | 0,009 | 0,0002 | 0,31 | 0,9 |
| Kadmium | µg/l | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | - |
| Kalium | mg/l | 1,26 | 0,27 | 5,60 | 0,32 | 0,07 | 1,34 | 3,9 |
| Kalsium | mg/l | 12,68 | 1,69 | 49,34 | 3,58 | 0,46 | 71,97 | 3,5 |
| Klor | mg/l | 8,53 | 3,81 | 63,39 | 10,03 | 0,97 | 31,89 | 0,9 |
| Kobolt | µg/l | 0,024 | 0,004 | 1,09 | 0,015 | 0,003 | 2,44 | 1,6 |
| Kopper | mg/l | 26,42 | 0,600 | 454,75 | 16,81 | 0,1187 | 708,46 | 1,6 |
| Krom | µg/l | 0,07 | 0,011 | 0,56 | 0,041 | <0,01 | 1,4 | 1,7 |
| Kvikksølv | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - |
| Lantan | µg/l | 0,147 | 0,004 | 6,80 | 0,034 | 0,001 | 0,215 | 4,3 |
| Litium | µg/l | 0,64 | 0,03 | 14 | 0,20 | 0,06 | 0,87 | 3,1 |
| Lutetium | µg/l | 0,004 | <0,001 | 0,026 | <0,001 | <0,001 | 0,002 | - |
| Magnesium | mg/l | 2,24 | 0,65 | 15,05 | 0,58 | 0,13 | 4,15 | 3,9 |
| Mangan | µg/l | 1,62 | 0,041 | 89,5 | 1,56 | 0,048 | 52,4 | 1,0 |
| Molybden | µg/l | 0,340 | 0,012 | 8,78 | 0,020 | 0,003 | 0,174 | 17,2 |
| Natrium | mg/l | 9,66 | 1,71 | 89,8 | 4,33 | 0,76 | 15,3 | 2,2 |
| Neodym | µg/l | 0,17 | 0,002 | 6,14 | 0,027 | 0,0004 | 0,19 | 6,2 |
| Nikkel | µg/l | 0,64 | 0,13 | 12 | 0,32 | 0,02 | 10 | 2,0 |
| Praseodym | µg/l | 0,038 | 0,0003 | 1,68 | 0,007 | 0,0004 | 0,05 | 5,3 |
| Rubidium | µg/l | 1,59 | 0,22 | 5,81 | 0,67 | 0,18 | 3,32 | 2,4 |
| Samarium | µg/l | 0,038 | <0,001 | 0,78 | 0,005 | <0,001 | 0,032 | 8,0 |
| Selen | µg/l | <0,15 | <0,15 | 2,38 | <0,15 | <0,15 | 0,22 | - |
| Silisium | mg/l | 3,13 | 0,45 | 5,45 | 0,66 | 0,32 | 8,75 | 4,7 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-----|
| Sink | µg/l | 10,4 | 0,201 | 77,9 | 7,29 | 0,267 | 101 | 1,4 |
| Strontium | µg/l | 45 | 8,62 | 1155 | 10,0 | 2,07 | 69,8 | 4,5 |
| Svovel | mg/l | 2,34 | 0,65 | 11,81 | 0,43 | 0,04 | 19,69 | 5,4 |
| Terbium | µg/l | 0,005 | <0,001 | 0,076 | <0,001 | <0,001 | 0,004 | - |
| Thallium | µg/l | 0,004 | 0,001 | 0,047 | 0,002 | 0,001 | 0,007 | 1,9 |
| Thorium | µg/l | 0,003 | <0,001 | 0,103 | 0,002 | <0,001 | 0,021 | 1,4 |
| Thulium | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - |
| Tinn | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 3,41 | - |
| Titan | µg/l | 0,10 | <0,01 | 5,5 | 0,12 | <0,01 | 3,6 | 0,9 |
| Uran | µg/l | 0,68 | <0,001 | 68 | 0,007 | <0,001 | 0,32 | 95 |
| Vanadium | µg/l | 0,09 | 0,01 | 1,2 | 0,04 | 0,01 | 0,14 | 2,3 |
| Vismut | µg/l | <0,01 | <0,02 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | - |
| Wolfram | µg/l | <0,01 | <0,01 | 1,13 | <0,01 | <0,01 | 0,09 | - |
| Ytterbium | µg/l | 0,020 | <0,001 | 0,16 | 0,002 | <0,001 | 0,01 | 9,8 |
| Yttrium | µg/l | 0,34 | 0,006 | 4,41 | 0,018 | <0,001 | 0,27 | 19 |

Vedlegg 4. Statistisk oversikt over resultat fra vår og fra høst

Tabell V.4: Oversikt over median, minimum og maksimum for prøver fra vår og fra høst, og forholdet mellom medianen for vår og høst

| Grunnstoff | Vår 2013 | | | Høst 2013 | | | Median V/H |
|----------------------------|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|---------------|
| | Median | Min | Maks | Median | Min | Maks | |
| Aluminium $\mu\text{g/l}$ | 26 | 0,7 | 581 | 19,2 | 0,8 | 351 | 1,4 |
| Antimon $\mu\text{g/l}$ | 0,013 | 0,003 | 0,251 | 0,014 | 0,003 | 0,190 | 0,9 |
| Arsen $\mu\text{g/l}$ | 0,050 | 0,021 | 3,243 | 0,045 | 0,018 | 2,167 | 1,1 |
| Barium $\mu\text{g/l}$ | 2,50 | 0,123 | 67,8 | 2,15 | 0,190 | 77,5 | 1,2 |
| Beryllium $\mu\text{g/l}$ | 0,010 | <0,01 | 0,249 | 0,002 | <0,01 | 0,046 | 5,1 |
| Bly $\mu\text{g/l}$ | 0,279 | 0,005 | 2,55 | 0,253 | 0,010 | 4,43 | 1,1 |
| Bor $\mu\text{g/l}$ | 2,096 | <0,05 | 48,752 | 3,162 | 0,696 | 72,091 | 0,7 |
| Brom $\mu\text{g/l}$ | 25,3 | 4,08 | 211 | 26,3 | 1,90 | 212 | 1,0 |
| Cerium $\mu\text{g/l}$ | 0,057 | <0,001 | 2,60 | 0,043 | <0,001 | 2,55 | 1,3 |
| Cesium $\mu\text{g/l}$ | 0,012 | 0,001 | 1,55 | 0,012 | 0,001 | 1,68 | 1,0 |
| Dysprosium $\mu\text{g/l}$ | 0,004 | <0,01 | 0,427 | 0,004 | <0,01 | 0,384 | 0,9 |
| Erbium $\mu\text{g/l}$ | 0,004 | <0,001 | 0,230 | 0,003 | <0,001 | 0,216 | 1,3 |
| Fosfor $\mu\text{g/l}$ | 1,60 | 0,594 | 29,7 | 1,85 | 1,02 | 48,8 | 0,9 |
| Gallium $\mu\text{g/l}$ | <0,01 | <0,01 | 0,20 | <0,01 | <0,01 | 0,18 | - |
| Gull $\mu\text{g/l}$ | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,001 | <0,001 | 0,008 | - |
| Hafnium $\mu\text{g/l}$ | 0,001 | <0,01 | 0,009 | <0,01 | <0,01 | 0,009 | - |
| Holmium $\mu\text{g/l}$ | 0,001 | <0,001 | 0,085 | 0,001 | <0,001 | 0,078 | 1,3 |
| Jern mg/l | 0,011 | 0,0001 | 0,309 | 0,007 | 0,0005 | 0,458 | 1,6 |
| Kadmium $\mu\text{g/l}$ | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | - |
| Kalium mg/l | 0,522 | 0,070 | 5,29 | 0,491 | 0,095 | 5,60 | 1,1 |
| Kalsium mg/l | 5,37 | 0,704 | 72,0 | 5,72 | 0,463 | 56,4 | 0,9 |
| Klor mg/l | 10,0 | 1,69 | 59,6 | 9,90 | 0,974 | 63,4 | 1,0 |
| Kobolt $\mu\text{g/l}$ | 0,022 | 0,003 | 1,21 | 0,015 | 0,003 | 2,44 | 1,5 |
| Kopper mg/l | 0,025 | 0,0001 | 0,455 | 0,018 | 0,0002 | 0,708 | 1,4 |
| Krom $\mu\text{g/l}$ | 0,035 | <0,01 | 0,524 | 0,059 | 0,025 | 1,45 | 0,6 |
| Kvikksølv $\mu\text{g/l}$ | 0,001 | <0,001 | 0,004 | 0,001 | <0,001 | 0,004 | 1,0 |
| Lantan $\mu\text{g/l}$ | 0,042 | 0,001 | 5,63 | 0,039 | 0,002 | 6,80 | 1,1 |
| Litium $\mu\text{g/l}$ | 0,216 | 0,034 | 14,2 | 0,211 | 0,038 | 14,3 | 1,0 |
| Lutetium $\mu\text{g/l}$ | 0,001 | <0,001 | 0,026 | 0,001 | <0,001 | 0,026 | 1,2 |
| Magnesium mg/l | 0,93 | 0,13 | 12 | 1,0 | 0,14 | 15 | 0,9 |
| Mangan $\mu\text{g/l}$ | 2,01 | 0,041 | 89,5 | 0,926 | 0,048 | 53,4 | 2,2 |
| Molybden $\mu\text{g/l}$ | 0,050 | 0,005 | 8,78 | 0,028 | 0,003 | 4,08 | 1,8 |
| Natrium mg/l | 5,6 | 1,1 | 90 | 5,2 | 0,8 | 90 | 1,1 |
| Neodym $\mu\text{g/l}$ | 0,041 | <0,001 | 4,460 | 0,034 | 0,003 | 6,14 | 1,2 |
| Nikkel $\mu\text{g/l}$ | 0,366 | 0,021 | 10,4 | 0,367 | 0,061 | 12,2 | 1,0 |
| Praseodym $\mu\text{g/l}$ | 0,010 | <0,001 | 1,22 | 0,009 | 0,001 | 1,68 | 1,2 |
| Rubidium $\mu\text{g/l}$ | 0,745 | 0,182 | 5,81 | 0,776 | 0,175 | 5,64 | 1,0 |
| Samarium $\mu\text{g/l}$ | 0,007 | <0,001 | 0,595 | 0,007 | <0,001 | 0,776 | 1,0 |
| Selen $\mu\text{g/l}$ | <0,15 | <0,15 | 2,38 | 0,042 | <0,15 | 1,10 | - |
| Silisium mg/l | 2,2 | 0,34 | 6,7 | 1,9 | 0,32 | 8,7 | 1,1 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-----|
| Sink | µg/l | 8,81 | 0,201 | 101 | 9,80 | 0,361 | 90,9 | 0,9 |
| Strontium | µg/l | 16,80 | 2,193 | 928,4 | 16,85 | 2,065 | 1155 | 1,0 |
| Svovel | mg/l | 0,85 | 0,05 | 18 | 0,72 | 0,04 | 20 | 1,2 |
| Terbium | µg/l | 0,001 | <0,001 | 0,076 | 0,001 | <0,001 | 0,068 | 1,0 |
| Thallium | µg/l | 0,003 | 0,001 | 0,047 | 0,003 | 0,001 | 0,044 | 1,1 |
| Thorium | µg/l | 0,002 | <0,001 | 0,078 | 0,002 | <0,001 | 0,103 | 0,9 |
| Thulium | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,027 | <0,01 | <0,01 | 0,025 | - |
| Tinn | µg/l | <0,01 | <0,01 | 3,410 | <0,01 | <0,01 | 0,022 | - |
| Titan | µg/l | 0,171 | 0,032 | 3,59 | 0,086 | <0,01 | 5,46 | 2,0 |
| Uran | µg/l | 0,025 | <0,001 | 68,5 | 0,019 | 0,001 | 62,0 | 1,3 |
| Vanadium | µg/l | 0,044 | 0,010 | 1,158 | 0,043 | 0,007 | 1,061 | 1,0 |
| Vismut | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,002 | <0,01 | <0,01 | 0,025 | - |
| Wolfram | µg/l | <0,01 | <0,01 | 1,13 | <0,01 | <0,01 | 0,828 | - |
| Ytterbium | µg/l | 0,004 | <0,001 | 0,157 | 0,003 | <0,001 | 0,149 | 1,1 |
| Yttrium | µg/l | 0,040 | <0,001 | 4,412 | 0,037 | 0,004 | 3,96 | 1,1 |

Vedlegg 5. Deteksjonsgrenser

Tabell V.5: En oversikt over instrumentelle deteksjonsgrenser (instrumental detection limit – IDL), isotop, oppløsning, antall prosent av prøvene over deteksjonsgrensen for de ulike grunnstoffene det ble analysert for med ICP-MS og gjennomsnittlig RSD i prosent.

| Grunnstoff | Isotop | Oppløsning | IDL-25% (µg/L) | Antall prøver over deteksjonsgrense (%) | Gjennomsnittlig RSD (%) |
|------------|--------|------------|-------------------|---|----------------------------|
| Aluminium | 27 | Mr | 0,20 | 100 | 3,5 |
| Antimon | 121 | Mr | 0,0020 | 100 | 11,2 |
| Arsen | 75 | Hr | 0,025 | 95 | 6,7 |
| Barium | 137 | Mr | 0,013 | 100 | 6,4 |
| Beryllium | 9 | Lr | 0,0020 | 82 | 18,8 |
| Bly | 208 | Lr | 0,0020 | 100 | 15,4 |
| Bor | 11 | Lr | 0,050 | 99 | 3,6 |
| Brom | 81 | Hr | 3,0 | 99 | 3,8 |
| Cerium | 140 | Lr | 0,0002 | 99 | 5,1 |
| Cesium | 133 | Lr | 0,0005 | 100 | 4,8 |
| Dysprosium | 163 | Mr | 0,0020 | 80 | 13,8 |
| Erbium | 166 | Lr | 0,0003 | 100 | 17,5 |
| Fosfor | 31 | Mr | 0,40 | 100 | 3,9 |
| Gallium | 69 | Mr | 0,0070 | 51 | 18,7 |
| Gull | 197 | Lr | 0,0002 | 77 | 26,9 |
| Holmium | 165 | Lr | 0,0002 | 94 | 12,3 |
| Jern | 56 | Mr | 0,020 | 100 | 8,0 |
| Kadmium | 114 | Mr | 0,0100 | 40 | 17,1 |
| Kalium | 39 | Hr | 5,0 | 100 | 4,0 |
| Kalsium | 44 | Mr | 2,0 | 100 | 11,1 |
| Klor | 35 | Mr | 100 | 100 | 4,2 |
| Kobber | 63 | Mr | 0,030 | 100 | 7,9 |
| Kobolt | 59 | Mr | 0,0040 | 97 | 2,9 |
| Krom | 52 | Mr | 0,0050 | 99 | 4,1 |
| Kvikksølv | 202 | Lr | 0,0010 | 61 | 9,9 |
| Lantan | 139 | Mr | 0,0020 | 100 | 8,6 |
| Litium | 7 | Mr | 0,030 | 100 | 3,6 |
| Lutetium | 175 | Lr | 0,0002 | 87 | 32,2 |
| Magnesium | 25 | Mr | 0,35 | 100 | 3,8 |
| Mangan | 55 | Mr | 0,0060 | 100 | 3,5 |
| Molybden | 98 | Mr | 0,020 | 75 | 14,0 |
| Natrium | 23 | Mr | 10,0 | 100 | 3,8 |
| Neodym | 146 | Lr | 0,0002 | 100 | 10,3 |
| Nikkel | 60 | Mr | 0,015 | 100 | 4,8 |
| Praseodym | 141 | Lr | 0,0003 | 99 | 7,0 |
| Rubidium | 85 | Mr | 0,012 | 100 | 3,4 |
| Samarium | 147 | Lr | 0,0005 | 95 | 16,7 |

| | | | | | |
|------------------|-----|----|--------|-----|------|
| Selen | 78 | Hr | 0,150 | 38 | 31,4 |
| Silisium | 28 | Mr | 4,0 | 100 | 2,4 |
| Sink | 66 | Mr | 0,025 | 100 | 21,1 |
| Strontium | 88 | Mr | 0,025 | 100 | 11,3 |
| Svovel | 34 | Mr | 20 | 100 | 4,5 |
| Terbium | 159 | Lr | 0,0002 | 88 | 15,7 |
| Thallium | 205 | Lr | 0,0003 | 100 | 6,9 |
| Thorium | 232 | Lr | 0,0005 | 93 | 11,2 |
| Thulium | 169 | Lr | 0,0005 | 64 | 17,9 |
| Tinn | 118 | Lr | 0,001 | 84 | 8,9 |
| Titan | 47 | Mr | 0,020 | 91 | 13,1 |
| Uran | 238 | Lr | 0,0003 | 100 | 5,0 |
| Vanadium | 51 | Mr | 0,0030 | 100 | 6,7 |
| Vismut | 209 | Lr | 0,0010 | 35 | 22,2 |
| Wolfram | 182 | Lr | 0,0010 | 82 | 16,9 |
| Ytterbium | 172 | Lr | 0,0004 | 98 | 19,1 |
| Yttrium | 89 | Lr | 0,0004 | 99 | 10,5 |

Vedlegg 6. Korrelasjonsanalyser

Tabell V.6: Korrelasjoner mellom ulike grunnstoff (alle prøver over deteksjonsgrensene). (Ingen stjerne: $p < 0,001$, *: $p < 0,01$, **: $p < 0,05$ $p > 0,05$ er ikke tatt med [-])

| | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | V | Cr | Mn | Fe |
|----|--------|--------|------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Na | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,28* | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Al | - | -0,20 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Si | 0,29* | 0,33 | - | 1,00 | | | | | | | | | |
| P | - | - | - | - | 1,00 | | | | | | | | |
| S | 0,44 | 0,43 | 0,20 | - | - | 1,00 | | | | | | | |
| Cl | 0,84 | - | - | 0,20** | - | 0,50 | 1,00 | | | | | | |
| K | 0,40 | 0,52 | - | 0,36 | - | 0,31* | 0,26* | 1,00 | | | | | |
| Ca | - | 0,59 | - | 0,23** | - | 0,75 | 0,24** | 0,35 | 1,00 | | | | |
| V | 0,33 | 0,41 | - | 0,24** | - | 0,22** | 0,24** | 0,31* | 0,34 | 1,00 | | | |
| Cr | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,00 | | |
| Mn | - | - | - | - | - | 0,37 | - | - | 0,26* | - | - | 1,00 | |
| Fe | - | - | - | - | - | 0,20** | - | - | - | - | - | 0,57 | 1,00 |
| Co | - | - | - | - | - | 0,61 | - | - | 0,45 | - | - | 0,72 | 0,40 |
| Ni | - | 0,58 | - | - | - | 0,44 | - | - | 0,46 | - | 0,29* | 0,31* | 0,31* |
| Cu | - | - | - | - | - | - | 0,21* | - | - | - | - | - | - |
| Zn | - | - | - | - | 0,61 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rb | - | 0,33 | - | 0,44 | - | - | - | 0,37 | 0,34 | 0,35 | - | 0,22** | - |
| Sr | - | 0,87 | - | - | - | 0,34 | - | 0,31* | 0,47 | 0,21** | - | - | - |
| Sb | - | 0,78 | - | - | - | 0,19** | - | - | - | - | - | - | - |
| Ba | 0,30* | 0,78 | - | 0,26 | - | 0,36 | - | 0,39 | 0,28* | - | - | - | - |
| As | 0,19** | 0,51 | - | - | - | 0,25** | - | 0,21** | 0,28* | 0,56 | - | - | 0,45 |
| Li | 0,44 | 0,52 | - | 0,30* | - | 0,24** | 0,29* | 0,39 | 0,29* | 0,85 | - | - | - |
| B | 0,55 | 0,44 | - | 0,29* | - | 0,37 | 0,38 | 0,58 | 0,34 | 0,52 | - | - | - |
| Br | 0,88 | 0,41 | - | 0,29* | - | 0,45 | 0,85 | 0,45 | 0,29* | 0,42 | - | - | - |
| Tl | 0,47 | 0,24* | - | 0,27* | - | 0,25** | - | 0,44 | - | - | - | 0,24** | 0,19** |
| Pb | - | 0,21** | - | 0,24** | - | - | - | 0,28* | 0,19* | - | - | - | - |
| U | 0,32* | 0,47 | - | 0,23** | - | - | 0,19** | 0,28* | 0,22** | 0,84 | - | - | - |

| | Co | Ni | Cu | Zn | Rb | Sr | Sb | Ba | As | Li | B | Br | Tl | Pb |
|----|------|-------|-------|------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| Co | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | 0,45 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| Cu | - | - | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Zn | - | - | 0,26* | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Rb | - | - | - | - | 1,00 | | | | | | | | | |
| Sr | - | 0,65 | - | - | - | 1,00 | | | | | | | | |
| Sb | - | 0,62 | - | - | - | 0,88 | 1,00 | | | | | | | |
| Ba | - | 0,55 | - | - | 0,20** | 0,79 | 0,71 | 1,00 | | | | | | |
| As | - | 0,31* | - | - | - | 0,46 | 0,44 | 0,35 | 1,00 | | | | | |
| Li | - | - | - | - | 0,38 | 0,26* | 0,33* | 0,24** | 0,45 | 1,00 | | | | |
| B | - | - | - | - | - | 0,30* | - | 0,38 | 0,35 | 0,38 | 1,00 | | | |
| Br | - | - | - | - | - | 0,24** | - | 0,27* | 0,21** | 0,44 | 0,56 | 1,00 | | |
| Tl | - | - | - | - | 0,38 | - | - | 0,46 | - | 0,30* | 0,54 | 0,30* | 1,00 | |
| Pb | - | - | - | 0,57 | 0,38 | - | - | 0,20** | - | - | - | - | - | 1,00 |
| U | - | - | - | - | 0,39 | 0,24** | 0,33 | 0,19** | 0,43 | 0,98 | 0,28* | 0,33 | 0,25 | - |

Vedlegg 7. Oversikt over resultater for hvert enkelt vannverk

Tabell V.7a: Oversikt over alle resultat av analyse av prøver fra vår, markert med blått, for alle vannverk, alle grunnstoff har konsentrasjoner gitt i µg/l, alle prøver er korrigert for blankverdier. Alle resultater er vist, inkludert de under deteksjonsgrensene [negative resultat er utelatt (-)] Tabellen for prøvene fra vår går over 6 sider.

| Vannverk | Al | As | Au | B | Ba | Be | Bi | Br | Ca |
|----------|-------|------|---------|-------|-------|--------|--------|-----|-------|
| 1 | 106,2 | 0,05 | 0,0001 | 2,55 | 2,39 | 0,012 | 0,0003 | 25 | 7860 |
| 2 | 47,7 | 0,02 | 0,0003 | 1,38 | 5,31 | 0,192 | - | 25 | 3352 |
| 3 | 5,7 | 0,03 | 0,0003 | 1,25 | 2,66 | 0,004 | 0,0001 | 14 | 4717 |
| 4 | 13,9 | 0,02 | 0,0003 | 1,96 | 0,38 | 0,008 | 0,0001 | 17 | 1567 |
| 5 | 50,0 | 0,03 | 0,0003 | 1,55 | 1,20 | 0,012 | 0,0000 | 18 | 3460 |
| 6 | 12,0 | 0,08 | 0,0002 | 8,98 | 8,41 | 0,021 | 0,0008 | 57 | 31718 |
| 7 | 61,2 | 0,04 | 0,0003 | 0,33 | 0,93 | 0,003 | 0,0000 | 8 | 1663 |
| 8 | 22,1 | 3,24 | 0,0000 | 0,88 | 6,16 | 0,005 | 0,0001 | 14 | 9586 |
| 9 | 177,2 | 0,11 | 0,0000 | 1,23 | 1,36 | 0,009 | 0,0002 | 15 | 11677 |
| 10 | 56,7 | 0,08 | 0,0004 | 4,36 | 2,65 | 0,006 | 0,0002 | 31 | 5954 |
| 11 | 1,7 | 1,48 | 0,0000 | 5,34 | 67,79 | 0,006 | 0,0002 | 33 | 30500 |
| 12 | 3,2 | 0,05 | 0,0000 | 2,22 | 0,64 | 0,003 | 0,0001 | 15 | 6902 |
| 13 | 48,5 | 0,03 | 0,0002 | 1,93 | 1,19 | 0,007 | 0,0002 | 25 | 1814 |
| 14 | 174,7 | 0,03 | 0,0004 | 1,80 | 1,32 | 0,028 | 0,0006 | 17 | 704 |
| 15 | 38,7 | 0,03 | 0,0001 | 2,01 | 2,50 | 0,011 | 0,0001 | 17 | 3749 |
| 16 | 83,3 | 0,03 | - | 2,61 | 23,01 | 0,006 | 0,0003 | 25 | 1982 |
| 17 | 19,7 | 0,07 | 0,0002 | 1,92 | 2,16 | 0,003 | 0,0001 | 23 | 7024 |
| 18 | 0,9 | 0,26 | - | 7,51 | 5,15 | 0,002 | 0,0003 | 211 | 16395 |
| 19 | 2,5 | 1,00 | - | 32,08 | 8,29 | 0,004 | 0,0002 | 93 | 49342 |
| 20 | 30,9 | 0,04 | 0,0001 | 2,57 | 1,14 | 0,011 | 0,0001 | 20 | 1888 |
| 21 | 581,5 | 0,66 | 0,0001 | 1,89 | 3,29 | 0,018 | 0,0003 | 29 | 11547 |
| 22 | 1,7 | 0,04 | 0,0001 | 1,89 | 4,06 | 0,009 | 0,0000 | 27 | 54220 |
| 23 | 3,8 | 0,32 | 0,0000 | 3,30 | 3,25 | 0,007 | 0,0001 | 24 | 15759 |
| 24 | 79,3 | 0,06 | 0,0000 | 0,99 | 1,38 | 0,031 | 0,0002 | 18 | 1112 |
| 25 | 35,9 | 0,06 | 0,0000 | 2,26 | 2,24 | 0,005 | 0,0002 | 32 | 3693 |
| 26 | 20,5 | 0,04 | - | 2,10 | 1,57 | 0,000 | 0,0000 | 29 | 2593 |
| 27 | 74,1 | 0,08 | - | 1,68 | 3,11 | 0,013 | 0,0001 | 32 | 3957 |
| 28 | 63,1 | 0,04 | 0,0002 | 2,03 | 0,81 | 0,037 | 0,0003 | 31 | 1888 |
| 29 | 6,0 | 0,91 | 0,0001 | 48,75 | 55,27 | 0,005 | 0,0001 | 124 | 11554 |
| 30 | 43,4 | 0,07 | 0,0002 | 2,20 | 6,70 | 0,014 | 0,0004 | 25 | 4795 |
| 31 | 152,4 | 0,05 | 0,0010 | 2,16 | 1,10 | 0,002 | 0,0004 | 17 | 2246 |
| 32 | 10,0 | 0,09 | 0,0001 | 3,88 | 6,60 | 0,030 | 0,0002 | 24 | 10332 |
| 33 | 24,2 | 0,02 | 0,0003 | 1,22 | 11,59 | 0,153 | 0,0014 | 20 | 6569 |
| 34 | 4,4 | 0,03 | 0,0003 | 1,13 | 2,34 | 0,010 | 0,0002 | 28 | 71967 |
| 35 | 16,6 | 0,04 | 0,0001 | 3,62 | 13,75 | 0,043 | 0,0007 | 22 | 12772 |
| 36 | 4,2 | 0,03 | - | -0,10 | 1,55 | 0,005 | 0,0001 | 4 | 1288 |
| 37 | 2,2 | 0,05 | 0,0002 | -0,33 | 1,59 | -0,001 | 0,0004 | 4 | 1818 |
| 38 | 1,3 | 0,05 | 0,0002 | 0,59 | 8,60 | 0,011 | 0,0004 | 15 | 5372 |
| 39 | 0,7 | 0,03 | 0,00003 | 0,67 | 8,54 | 0,010 | 0,0002 | 16 | 5320 |
| 40 | 1,1 | 0,46 | - | 5,56 | 3,01 | 0,007 | 0,0000 | 26 | 27417 |
| 41 | 17,8 | 0,06 | 0,0002 | 1,48 | 5,82 | 0,030 | 0,0003 | 28 | 6491 |
| 42 | 27,2 | 0,03 | 0,0000 | 0,14 | 0,12 | 0,015 | 0,0000 | 7 | 4261 |
| 43 | 21,6 | 0,02 | 0,0002 | 6,88 | 12,33 | 0,249 | 0,0000 | 39 | 8283 |
| 44 | 2,5 | 1,47 | 0,0003 | 10,78 | 0,70 | 0,032 | 0,0002 | 89 | 32404 |
| 45 | 14,6 | 0,04 | - | 0,64 | 0,29 | 0,039 | 0,0004 | 9 | 2559 |
| 46 | 59,7 | 0,06 | - | 21,55 | 2,54 | 0,037 | 0,0006 | 97 | 6141 |
| 47 | 44,6 | 0,09 | 0,0002 | 7,35 | 4,00 | 0,058 | 0,0007 | 88 | 17111 |
| 48 | 42,1 | 0,10 | 0,0005 | 5,25 | 6,01 | 0,051 | 0,0019 | 66 | 10008 |
| 51 | 129,1 | 0,04 | 0,0004 | 1,97 | 1,45 | 0,007 | 0,0005 | 29 | 4079 |
| 52 | 40,2 | 0,05 | 0,0004 | 8,09 | 1,53 | 0,005 | 0,0002 | 68 | 8007 |
| 53 | 5,1 | 0,06 | 0,0001 | 10,14 | 17,71 | 0,016 | 0,0011 | 63 | 46455 |
| 54 | 61,2 | 0,03 | 0,0004 | 2,63 | 1,66 | 0,003 | 0,0001 | 28 | 3715 |
| 55 | 36,5 | 0,04 | - | 1,67 | 0,83 | 0,007 | 0,0001 | 28 | 1199 |
| 56 | 228,2 | 0,04 | 0,0001 | 2,27 | 1,19 | 0,020 | 0,0005 | 26 | 3506 |

| | | | | | | | | | |
|----|------|------|--------|------|------|-------|--------|----|------|
| 57 | 26,2 | 0,04 | 0,0001 | 4,84 | 0,50 | 0,007 | 0,0006 | 35 | 1401 |
|----|------|------|--------|------|------|-------|--------|----|------|

| Vannverk | Cd | Ce | Cl | Co | Cr | Cs | Cu | Dy | Er | Fe |
|----------|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|
| 1 | 0,003 | 0,1353 | 9108 | 0,02 | 0,032 | 0,009 | 69,7 | 0,0086 | 0,0052 | 19,47 |
| 2 | 0,017 | 0,1013 | 5193 | 0,01 | 0,066 | 0,023 | 2,7 | 0,1422 | 0,0800 | 13,30 |
| 3 | 0,010 | 0,0089 | 5128 | 0,03 | 0,019 | 0,012 | 16,8 | 0,0003 | 0,0010 | 29,04 |
| 4 | 0,001 | 0,0280 | 6514 | 0,04 | 0,012 | 0,004 | 3,1 | 0,0010 | 0,0013 | 8,84 |
| 5 | 0,003 | 0,0896 | 13311 | 0,05 | 0,023 | 0,011 | 10,3 | 0,0033 | 0,0033 | 7,26 |
| 6 | 0,003 | 0,0699 | 11538 | 0,01 | 0,126 | 0,003 | 65,4 | 0,0506 | 0,0396 | 10,13 |
| 7 | 0,002 | 0,0276 | 7316 | 0,01 | 0,027 | 0,007 | 2,1 | 0,0015 | 0,0019 | 3,99 |
| 8 | 0,012 | 0,0659 | 5681 | 1,03 | 0,213 | 0,050 | 21,2 | 0,0069 | 0,0047 | 300,28 |
| 9 | 0,005 | 0,0294 | 13329 | 0,01 | 0,063 | 0,016 | 4,9 | 0,0002 | 0,0012 | 16,17 |
| 10 | 0,001 | 0,0663 | 17351 | 0,02 | 0,041 | 0,006 | 0,8 | 0,0028 | 0,0024 | 3,24 |
| 11 | 0,002 | 0,0037 | 5615 | 0,30 | 0,019 | 1,554 | 37,1 | 0,0018 | 0,0026 | 1,32 |
| 12 | 0,007 | 0,0041 | 3880 | 0,01 | 0,006 | 0,006 | 423,0 | -0,0002 | 0,0013 | 0,20 |
| 13 | 0,002 | 0,0200 | 11804 | 0,01 | 0,033 | 0,015 | 34,2 | 0,0014 | 0,0015 | 2,29 |
| 14 | 0,004 | 0,2239 | 12444 | 0,05 | 0,040 | 0,028 | 19,0 | 0,0070 | 0,0043 | 10,59 |
| 15 | 0,003 | 0,0478 | 9100 | 0,01 | 0,008 | 0,035 | 28,8 | 0,0023 | 0,0023 | 1,66 |
| 16 | 0,006 | 0,0380 | 9633 | 0,04 | 0,035 | 0,031 | 9,6 | 0,0018 | 0,0016 | 4,83 |
| 17 | 0,003 | 0,0198 | 10594 | 0,01 | 0,031 | 0,005 | 0,4 | 0,0020 | 0,0013 | 0,39 |
| 18 | 0,001 | 0,0037 | 59624 | 0,01 | 0,051 | 0,009 | 0,6 | 0,0015 | 0,0026 | 0,07 |
| 19 | 0,002 | 0,0004 | 17001 | 0,14 | 0,096 | 0,021 | 4,8 | 0,0040 | 0,0045 | 1,55 |
| 20 | 0,000 | 0,0408 | 6332 | 0,00 | 0,045 | 0,002 | 64,8 | 0,0031 | 0,0033 | 4,61 |
| 21 | 0,002 | 0,1471 | 11680 | 0,10 | 0,085 | 0,092 | 6,3 | 0,0268 | 0,0170 | 211,19 |
| 22 | 0,001 | 0,0038 | 22390 | 1,21 | 0,026 | 0,037 | 61,9 | 0,0010 | 0,0005 | 36,89 |
| 23 | 0,006 | 0,0039 | 7441 | 0,01 | 0,524 | 0,005 | 407,4 | -0,0002 | 0,0007 | 3,38 |
| 24 | 0,002 | 0,3120 | 4092 | 0,01 | 0,092 | 0,029 | 56,3 | 0,0173 | 0,0086 | 17,60 |
| 25 | 0,002 | 0,0733 | 11553 | 0,02 | 0,020 | 0,005 | 70,5 | 0,0040 | 0,0045 | 8,91 |
| 26 | 0,005 | 0,0119 | 15347 | 0,02 | 0,008 | 0,004 | 18,6 | 0,0005 | 0,0005 | 15,04 |
| 27 | 0,010 | 0,0511 | 23300 | 1,09 | 0,022 | 0,005 | 24,9 | 0,0025 | 0,0016 | 152,47 |
| 28 | 0,006 | 0,2507 | 9917 | 0,04 | 0,103 | 0,009 | 42,8 | 0,0145 | 0,0111 | 72,48 |
| 29 | 0,003 | 0,0388 | 30735 | 0,02 | 0,054 | 0,040 | 11,9 | 0,0304 | 0,0284 | 162,06 |
| 30 | 0,005 | 0,0637 | 16319 | 0,05 | 0,058 | 0,052 | 8,6 | 0,0069 | 0,0041 | 3,24 |
| 31 | 0,009 | 0,0588 | 18040 | 0,14 | 0,031 | 0,008 | 1,1 | 0,0027 | 0,0028 | 19,01 |
| 32 | 0,006 | 0,8294 | 8057 | 0,04 | 0,071 | 0,006 | 81,5 | 0,2321 | 0,1221 | 133,53 |
| 33 | 0,014 | 0,8122 | 4638 | 0,39 | 0,041 | 0,073 | 440,8 | 0,2080 | 0,1226 | 64,41 |
| 34 | 0,003 | 0,0946 | 14615 | 1,21 | 0,066 | 0,009 | 0,1 | 0,0143 | 0,0093 | 308,91 |
| 35 | 0,004 | 0,5787 | 4328 | 0,02 | 0,030 | 0,055 | 37,8 | 0,3010 | 0,1493 | 7,75 |
| 36 | 0,003 | 0,0143 | 2067 | 0,01 | - | 0,006 | 143,7 | 0,0012 | 0,0014 | 0,45 |
| 37 | 0,006 | 0,0014 | 1689 | 0,01 | 0,017 | 0,007 | 2,1 | 0,0008 | 0,0005 | 1,36 |
| 38 | 0,010 | 0,0121 | 5078 | 0,01 | 0,033 | 0,001 | 454,7 | 0,0104 | 0,0065 | 0,32 |
| 39 | 0,008 | 0,0061 | 5176 | 0,01 | 0,032 | 0,002 | 29,1 | 0,0078 | 0,0050 | 0,21 |
| 40 | 0,001 | 0,0093 | 5455 | 0,00 | 0,018 | 0,103 | 22,0 | 0,0221 | 0,0124 | 1,98 |
| 41 | 0,025 | 0,2385 | 5363 | 0,03 | 0,075 | 0,022 | 74,2 | 0,1273 | 0,0894 | 11,31 |
| 42 | - | 0,0103 | 2745 | 0,01 | - | 0,010 | 1,9 | 0,0022 | 0,0015 | 2,46 |
| 43 | 0,011 | 2,6045 | 8594 | 0,05 | 0,039 | 0,085 | 24,6 | 0,4272 | 0,2300 | 45,94 |
| 44 | 0,002 | 0,0049 | 18992 | 0,00 | 0,011 | 1,534 | 9,8 | 0,3285 | 0,2161 | 0,19 |
| 45 | 0,005 | 0,0614 | 3685 | 0,04 | 0,007 | 0,009 | 31,6 | 0,0064 | 0,0043 | 15,85 |
| 46 | 0,011 | 0,8363 | 27425 | 0,04 | 0,123 | 0,013 | 62,4 | 0,1915 | 0,0888 | 74,19 |
| 47 | 0,008 | 0,7146 | 19525 | 0,02 | 0,123 | 0,008 | 12,1 | 0,2674 | 0,1452 | 18,02 |
| 48 | 0,008 | 0,6611 | 21159 | 0,04 | 0,088 | 0,006 | 26,4 | 0,0750 | 0,0407 | 57,36 |
| 51 | 0,010 | 0,1265 | 11924 | 0,04 | 0,022 | 0,021 | 0,8 | 0,0025 | 0,0020 | 13,90 |
| 52 | 0,004 | 0,0310 | 31893 | 0,01 | 0,013 | 0,017 | 112,8 | 0,0012 | 0,0008 | 2,33 |
| 53 | 0,014 | 0,0288 | 14590 | 0,02 | 0,304 | 0,005 | 5,8 | 0,0317 | 0,0204 | 10,68 |
| 54 | 0,011 | 0,0681 | 14409 | 0,08 | 0,028 | 0,020 | 27,4 | 0,0023 | 0,0015 | 14,69 |
| 55 | 0,004 | 0,0743 | 6820 | 0,02 | 0,069 | 0,015 | 14,2 | 0,0050 | 0,0030 | 40,68 |
| 56 | 0,018 | 0,2605 | 12449 | 0,08 | 0,041 | 0,020 | 98,7 | 0,0078 | 0,0045 | 14,47 |
| 57 | 0,003 | 0,0572 | 10034 | 0,01 | 0,092 | 0,015 | 36,8 | 0,0031 | 0,0021 | 9,50 |

| Vannverk | Ga | Hf | Hg | Ho | K | La | Li | Lu | Mg | Mn |
|----------|--------|---------|--------|--------|------|-------|-------|--------|-------|------|
| 1 | 0,0117 | 0,0005 | 0,0041 | 0,0014 | 489 | 0,116 | 0,21 | 0,0010 | 707 | 4,0 |
| 2 | 0,0027 | 0,0008 | - | 0,0289 | 522 | 1,725 | 0,12 | 0,0112 | 961 | 1,6 |
| 3 | 0,0025 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 470 | 0,012 | 0,06 | 0,0003 | 607 | 2,0 |
| 4 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0010 | 0,0003 | 278 | 0,018 | 0,15 | 0,0003 | 230 | 2,2 |
| 5 | 0,0086 | 0,0090 | 0,0012 | 0,0010 | 242 | 0,057 | 0,22 | 0,0007 | 460 | 6,0 |
| 6 | 0,0017 | 0,0011 | - | 0,0126 | 1901 | 0,358 | 2,05 | 0,0052 | 3851 | 0,8 |
| 7 | 0,0102 | 0,0016 | 0,0032 | 0,0009 | 139 | 0,027 | 0,09 | 0,0003 | 402 | 0,6 |
| 8 | 0,0022 | 0,0002 | 0,0021 | 0,0019 | 809 | 0,054 | 0,24 | 0,0007 | 1300 | 46,8 |
| 9 | 0,0290 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0005 | 156 | 0,024 | 0,20 | 0,0002 | 458 | 0,8 |
| 10 | 0,0090 | 0,0068 | 0,0025 | 0,0012 | 804 | 0,052 | 0,26 | 0,0008 | 1096 | 3,3 |
| 11 | 0,0043 | 0,0008 | 0,0019 | 0,0005 | 1785 | 0,005 | 1,77 | 0,0008 | 11679 | 0,8 |
| 12 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0010 | 0,0003 | 130 | 0,010 | 0,24 | 0,0001 | 609 | 0,2 |
| 13 | 0,0141 | 0,0031 | 0,0028 | 0,0010 | 304 | 0,040 | 0,11 | 0,0002 | 666 | 0,1 |
| 14 | 0,0053 | 0,0065 | 0,0008 | 0,0019 | 200 | 0,105 | 0,31 | 0,0008 | 588 | 9,7 |
| 15 | 0,0104 | 0,0055 | 0,0023 | 0,0014 | 315 | 0,033 | 0,19 | 0,0005 | 715 | 0,1 |
| 16 | 0,0122 | 0,0014 | 0,0002 | 0,0009 | 546 | 0,031 | 0,21 | 0,0003 | 932 | 9,3 |
| 17 | 0,0082 | 0,0009 | 0,0020 | 0,0007 | 627 | 0,030 | 0,16 | 0,0003 | 998 | 1,6 |
| 18 | 0,0044 | 0,0008 | - | 0,0007 | 1823 | 0,016 | 1,87 | 0,0006 | 1924 | 0,7 |
| 19 | 0,0028 | 0,0003 | - | 0,0014 | 2508 | 0,006 | 0,78 | 0,0014 | 4188 | 0,3 |
| 20 | 0,0005 | 0,0010 | - | 0,0008 | 186 | 0,027 | 0,20 | 0,0007 | 445 | 0,2 |
| 21 | 0,0598 | 0,0014 | - | 0,0058 | 1341 | 0,140 | 0,81 | 0,0022 | 1145 | 16,2 |
| 22 | 0,0016 | 0,0003 | - | 0,0000 | 653 | 0,004 | 0,25 | 0,0002 | 2106 | 33,1 |
| 23 | 0,0026 | 0,0001 | - | 0,0001 | 909 | 0,009 | 0,64 | 0,0001 | 1887 | 0,1 |
| 24 | 0,0011 | 0,0009 | - | 0,0034 | 172 | 0,215 | 0,16 | 0,0015 | 373 | 1,7 |
| 25 | 0,0051 | 0,0048 | 0,0006 | 0,0012 | 755 | 0,079 | 0,26 | 0,0007 | 834 | 11,6 |
| 26 | 0,0116 | 0,0001 | - | 0,0001 | 455 | 0,013 | 0,13 | 0,0000 | 770 | 4,8 |
| 27 | 0,0059 | 0,0012 | 0,0008 | 0,0011 | 390 | 0,033 | 0,21 | 0,0003 | 1036 | 89,5 |
| 28 | 0,0021 | 0,0011 | - | 0,0032 | 239 | 0,127 | 0,19 | 0,0016 | 580 | 5,1 |
| 29 | 0,0268 | 0,0023 | - | 0,0083 | 5288 | 0,036 | 6,11 | 0,0038 | 4844 | 43,0 |
| 30 | 0,0059 | 0,0079 | 0,0015 | 0,0020 | 758 | 0,062 | 0,27 | 0,0009 | 1065 | 9,4 |
| 31 | 0,0221 | 0,0008 | 0,0034 | 0,0007 | 483 | 0,034 | 0,21 | 0,0004 | 528 | 12,6 |
| 32 | 0,0035 | 0,0019 | 0,0002 | 0,0450 | 1515 | 1,655 | 0,23 | 0,0165 | 1819 | 0,4 |
| 33 | 0,0047 | 0,0013 | 0,0003 | 0,0434 | 1040 | 1,719 | 0,21 | 0,0193 | 1299 | 37,6 |
| 34 | 0,0027 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0028 | 404 | 0,054 | 0,17 | 0,0012 | 1712 | 52,4 |
| 35 | 0,0027 | 0,0010 | 0,0005 | 0,0572 | 2106 | 3,386 | 0,03 | 0,0183 | 2408 | 3,9 |
| 36 | 0,0010 | 0,0003 | 0,0010 | 0,0002 | 306 | 0,012 | 0,11 | 0,0001 | 365 | 0,1 |
| 37 | 0,0004 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0001 | 226 | 0,001 | 0,12 | 0,0000 | 253 | 2,1 |
| 38 | 0,0012 | 0,0001 | 0,0010 | 0,0020 | 628 | 0,038 | 0,12 | 0,0016 | 891 | 0,2 |
| 39 | 0,0005 | - | - | 0,0017 | 651 | 0,028 | 0,08 | 0,0011 | 903 | 0,1 |
| 40 | 0,0173 | 0,00002 | 0,0018 | 0,0048 | 1290 | 0,041 | 1,23 | 0,0011 | 4938 | 0,0 |
| 41 | 0,0009 | 0,0006 | 0,0010 | 0,0285 | 442 | 0,644 | 0,03 | 0,0196 | 1388 | 7,3 |
| 42 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0014 | 0,0003 | 148 | 0,007 | 0,14 | 0,0002 | 132 | 0,1 |
| 43 | 0,0014 | 0,0005 | 0,0025 | 0,0845 | 1262 | 5,627 | 0,10 | 0,0255 | 2240 | 8,2 |
| 44 | 0,1994 | 0,0005 | - | 0,0791 | 2406 | 0,080 | 14,24 | 0,0158 | 6805 | 0,1 |
| 45 | 0,0006 | 0,0001 | 0,0013 | 0,0014 | 70 | 0,034 | 0,22 | 0,0006 | 166 | 3,5 |
| 46 | 0,0170 | 0,0013 | 0,0016 | 0,0339 | 1765 | 5,001 | 0,80 | 0,0119 | 1588 | 4,1 |
| 47 | 0,0051 | 0,0018 | 0,0008 | 0,0512 | 840 | 2,917 | 0,22 | 0,0221 | 2250 | 15,4 |
| 48 | 0,0090 | 0,0014 | 0,0022 | 0,0150 | 1125 | 0,420 | 0,64 | 0,0070 | 2321 | 1,0 |
| 51 | 0,0132 | 0,0002 | 0,0039 | 0,0008 | 415 | 0,128 | 0,23 | 0,0002 | 562 | 0,9 |
| 52 | 0,0177 | 0,00004 | 0,0012 | 0,0003 | 653 | 0,028 | 0,42 | 0,0001 | 1654 | 1,4 |
| 53 | 0,0027 | - | 0,0016 | 0,0063 | 3939 | 0,636 | 1,32 | 0,0036 | 4779 | 0,6 |
| 54 | 0,0025 | - | 0,0029 | 0,0003 | 317 | 0,066 | 0,29 | 0,0002 | 716 | 4,2 |
| 55 | 0,0011 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0010 | 451 | 0,042 | 0,18 | 0,0004 | 448 | 1,9 |
| 56 | 0,0039 | 0,0001 | 0,0028 | 0,0017 | 415 | 0,212 | 0,23 | 0,0006 | 592 | 4,6 |
| 57 | 0,0015 | 0,0001 | 0,0020 | 0,0006 | 266 | 0,046 | 0,29 | 0,0002 | 548 | 0,4 |

| Vannverk | Mo | Na | Nd | Ni | P | Pb | Pr | Rb | S | Sb |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 1 | 0,08 | 3444 | 0,089 | 0,58 | 1,99 | 0,15 | 0,024 | 0,82 | 580 | 0,016 |
| 2 | 0,03 | 3557 | 1,155 | 1,46 | 1,03 | 0,05 | 0,321 | 1,70 | 653 | 0,006 |
| 3 | 0,01 | 2893 | 0,004 | 0,10 | 29,72 | 0,13 | 0,001 | 0,78 | 167 | 0,008 |
| 4 | 0,01 | 3754 | 0,019 | 0,12 | 1,05 | 0,05 | 0,005 | 0,51 | 91 | 0,005 |
| 5 | 0,04 | 6140 | 0,049 | 0,28 | 0,82 | 0,03 | 0,012 | 0,48 | 393 | 0,014 |
| 6 | 1,07 | 9369 | 0,324 | 0,35 | 2,37 | 0,53 | 0,077 | 0,71 | 2340 | 0,012 |
| 7 | 0,01 | 9165 | 0,019 | 0,26 | 0,88 | 0,11 | 0,006 | 0,37 | 184 | 0,010 |
| 8 | 0,46 | 1729 | 0,035 | 3,65 | 0,86 | 0,24 | 0,010 | 1,91 | 2926 | 0,009 |
| 9 | 0,05 | 2432 | 0,016 | 0,31 | 1,20 | 0,13 | 0,004 | 0,38 | 260 | 0,015 |
| 10 | 0,07 | 11178 | 0,037 | 0,35 | 1,53 | 0,06 | 0,010 | 0,63 | 886 | 0,017 |
| 11 | 1,32 | 7916 | 0,002 | 10,23 | 1,69 | 0,46 | 0,000 | 0,69 | 6457 | 0,251 |
| 12 | 0,02 | 2077 | 0,005 | 0,51 | 2,76 | 1,07 | 0,002 | 0,20 | 334 | 0,017 |
| 13 | 0,03 | 11257 | 0,028 | 0,32 | 1,59 | 0,14 | 0,007 | 0,75 | 443 | 0,009 |
| 14 | 0,02 | 8425 | 0,055 | 0,24 | 1,00 | 0,41 | 0,017 | 0,49 | 373 | 0,015 |
| 15 | 0,03 | 5585 | 0,021 | 0,32 | 1,02 | 0,07 | 0,006 | 0,72 | 586 | 0,009 |
| 16 | 0,03 | 12729 | 0,018 | 0,24 | 3,71 | 0,15 | 0,006 | 1,23 | 4728 | 0,011 |
| 17 | 0,08 | 3269 | 0,019 | 0,36 | 6,00 | 0,05 | 0,005 | 0,68 | 722 | 0,012 |
| 18 | 1,40 | 89815 | 0,017 | 0,35 | 1,69 | 0,00 | 0,004 | 0,50 | 11811 | 0,015 |
| 19 | 0,92 | 15035 | 0,009 | 0,22 | 1,63 | 0,80 | 0,001 | 0,72 | 5938 | 0,020 |
| 20 | 0,01 | 3322 | 0,025 | 0,21 | 13,31 | 0,46 | 0,007 | 0,31 | 233 | 0,007 |
| 21 | 0,17 | 7500 | 0,158 | 1,10 | 3,26 | 0,15 | 0,035 | 3,32 | 1155 | 0,030 |
| 22 | 0,02 | 3757 | 0,000 | 4,27 | 1,49 | 0,35 | 0,000 | 2,16 | 18173 | 0,005 |
| 23 | 0,34 | 4864 | 0,004 | 0,37 | 4,31 | 0,56 | 0,001 | 0,52 | 1321 | 0,018 |
| 24 | 0,02 | 2347 | 0,186 | 0,18 | 1,45 | 0,36 | 0,049 | 0,52 | 390 | 0,018 |
| 25 | 0,10 | 6763 | 0,053 | 0,41 | 1,34 | 0,07 | 0,014 | 0,89 | 612 | 0,013 |
| 26 | 0,06 | 8930 | 0,004 | 0,12 | 0,98 | 0,07 | 0,002 | 0,56 | 520 | 0,008 |
| 27 | 0,06 | 22303 | 0,020 | 0,45 | 0,96 | 0,07 | 0,005 | 0,69 | 1056 | 0,054 |
| 28 | 0,01 | 5078 | 0,129 | 1,30 | 1,15 | 0,20 | 0,034 | 0,42 | 328 | 0,021 |
| 29 | 6,25 | 73672 | 0,053 | 0,36 | 2,04 | 0,08 | 0,012 | 1,87 | 10013 | 0,029 |
| 30 | 0,05 | 9931 | 0,046 | 1,23 | 3,24 | 0,99 | 0,012 | 2,16 | 896 | 0,011 |
| 31 | 0,05 | 7954 | 0,030 | 0,99 | 3,47 | 0,18 | 0,008 | 0,88 | 347 | 0,007 |
| 32 | 0,20 | 13090 | 1,959 | 1,00 | 1,49 | 2,26 | 0,505 | 3,61 | 1984 | 0,030 |
| 33 | 0,01 | 3333 | 1,509 | 3,78 | 2,39 | 0,69 | 0,388 | 5,24 | 2586 | 0,008 |
| 34 | 0,02 | 2633 | 0,058 | 10,40 | 6,69 | 0,06 | 0,014 | 0,83 | 12611 | 0,003 |
| 35 | 0,79 | 3306 | 3,071 | 0,43 | 2,24 | 0,66 | 0,830 | 4,73 | 3491 | 0,012 |
| 36 | 0,02 | 1284 | 0,012 | 0,32 | 2,41 | 0,47 | 0,003 | 0,73 | 147 | 0,011 |
| 37 | 0,11 | 1094 | 0,001 | 0,37 | 2,86 | 0,55 | 0,000 | 0,50 | 153 | 0,013 |
| 38 | 0,10 | 2866 | 0,047 | 0,67 | 1,67 | 0,64 | 0,011 | 1,59 | 855 | 0,012 |
| 39 | 0,09 | 2820 | 0,031 | 0,61 | 1,65 | 0,77 | 0,008 | 1,75 | 853 | 0,006 |
| 40 | 1,34 | 8873 | 0,054 | 0,17 | 1,60 | 0,13 | 0,011 | 1,83 | 2688 | 0,024 |
| 41 | 0,01 | 3426 | 0,813 | 1,43 | 0,69 | 2,55 | 0,193 | 1,48 | 1052 | 0,020 |
| 42 | 0,02 | 1583 | 0,010 | 0,02 | 0,91 | 0,03 | 0,002 | 0,36 | 49 | 0,006 |
| 43 | 1,26 | 14895 | 3,530 | 1,31 | 1,31 | 0,84 | 0,999 | 4,42 | 2001 | 0,010 |
| 44 | 8,78 | 24666 | 0,165 | 0,63 | 1,78 | 0,12 | 0,027 | 5,67 | 4067 | 0,053 |
| 45 | 0,03 | 1946 | 0,041 | 0,09 | 2,89 | 0,15 | 0,009 | 0,18 | 64 | 0,009 |
| 46 | 2,58 | 31364 | 4,460 | 0,28 | 0,86 | 1,73 | 1,225 | 1,46 | 2844 | 0,018 |
| 47 | 0,39 | 11564 | 2,876 | 1,53 | 2,26 | 2,34 | 0,738 | 1,41 | 2078 | 0,016 |
| 48 | 0,32 | 10301 | 0,517 | 0,64 | 1,28 | 0,71 | 0,132 | 0,62 | 1938 | 0,008 |
| 51 | 0,03 | 4358 | 0,068 | 0,13 | 0,90 | 0,42 | 0,019 | 0,77 | 489 | 0,016 |
| 52 | 0,16 | 15276 | 0,017 | 0,31 | 0,90 | 0,39 | 0,005 | 0,87 | 1137 | 0,017 |
| 53 | 0,23 | 7336 | 0,352 | 1,87 | 2,28 | 0,29 | 0,094 | 5,81 | 3821 | 0,011 |
| 54 | 0,02 | 5250 | 0,036 | 0,67 | 1,21 | 0,39 | 0,010 | 0,62 | 513 | 0,013 |
| 55 | 0,03 | 3625 | 0,051 | 0,73 | 8,20 | 0,18 | 0,012 | 0,85 | 329 | 0,013 |
| 56 | 0,02 | 4472 | 0,121 | 0,23 | 0,74 | 0,28 | 0,035 | 0,74 | 433 | 0,013 |
| 57 | 0,02 | 5879 | 0,040 | 0,16 | 0,59 | 0,45 | 0,010 | 0,55 | 244 | 0,015 |

| Vannverk | Se | Si | Sm | Sn | Sr | Tb | Th | Ti | Tl | Tu |
|----------|-------|------|--------|--------|-----|---------|--------|-------|-------|---------|
| 1 | 0,032 | 600 | 0,0137 | 0,0018 | 19 | 0,0012 | 0,0027 | 0,101 | 0,002 | 0,0010 |
| 2 | 0,043 | 2792 | 0,1935 | 0,0069 | 15 | 0,0261 | 0,0011 | 0,902 | 0,005 | 0,0100 |
| 3 | 0,029 | 378 | 0,0001 | 0,0008 | 13 | 0,0001 | 0,0009 | 0,088 | 0,001 | 0,0003 |
| 4 | 0,017 | 521 | 0,0050 | 0,0018 | 2 | 0,0001 | 0,0008 | 0,091 | 0,003 | 0,0002 |
| 5 | 0,024 | 3044 | 0,0061 | 0,0042 | 16 | 0,0005 | 0,0022 | 1,327 | 0,003 | 0,0005 |
| 6 | 0,121 | 4108 | 0,0552 | 0,0099 | 115 | 0,0081 | 0,0026 | 0,162 | 0,001 | 0,0046 |
| 7 | 0,036 | 661 | 0,0051 | 0,0018 | 6 | 0,0001 | 0,0012 | 0,054 | 0,001 | 0,0004 |
| 8 | 0,071 | 450 | 0,0060 | 0,0087 | 34 | 0,0009 | 0,0005 | 1,606 | 0,005 | 0,0006 |
| 9 | 0,018 | 563 | 0,0032 | 0,0012 | 28 | 0,0000 | 0,0013 | 0,174 | 0,001 | 0,0003 |
| 10 | 0,032 | 4957 | 0,0040 | 0,0011 | 48 | 0,0003 | 0,0033 | 1,643 | 0,002 | 0,0003 |
| 11 | 2,381 | 2427 | - | 0,0041 | 928 | 0,0001 | 0,0008 | 0,046 | 0,001 | 0,0003 |
| 12 | - | 681 | 0,0011 | - | 25 | -0,0002 | 0,0006 | 0,054 | 0,001 | 0,0001 |
| 13 | 0,044 | 2334 | 0,0032 | 0,0209 | 7 | 0,0002 | 0,0015 | 0,509 | 0,003 | 0,0002 |
| 14 | 0,062 | 5628 | 0,0113 | 0,0088 | 5 | 0,0011 | 0,0034 | 2,109 | 0,002 | 0,0008 |
| 15 | 0,021 | 4969 | 0,0069 | 0,0048 | 13 | 0,0004 | 0,0029 | 1,594 | 0,002 | 0,0004 |
| 16 | 0,035 | 359 | 0,0038 | 0,0017 | 9 | 0,0003 | 0,0012 | 0,081 | 0,004 | 0,0005 |
| 17 | 0,019 | 738 | 0,0061 | - | 31 | 0,0006 | 0,0007 | 0,061 | 0,002 | 0,0004 |
| 18 | 0,201 | 3239 | 0,0045 | 0,0023 | 55 | 0,0002 | 0,0001 | 0,032 | 0,002 | 0,0004 |
| 19 | 0,169 | 3259 | 0,0013 | 0,0170 | 240 | 0,0003 | 0,0003 | 0,087 | 0,001 | 0,0006 |
| 20 | 0,025 | 744 | 0,0039 | - | 12 | 0,0004 | 0,0059 | 0,102 | 0,001 | 0,0004 |
| 21 | 0,048 | 2193 | 0,0324 | 0,0011 | 47 | 0,0043 | 0,0096 | 0,428 | 0,007 | 0,0017 |
| 22 | 0,028 | 1418 | - | - | 55 | -0,0002 | 0,0012 | 0,441 | 0,006 | 0,00001 |
| 23 | 0,148 | 4481 | - | 0,0002 | 38 | -0,0002 | 0,0004 | 0,115 | 0,004 | - |
| 24 | 0,051 | 368 | 0,0310 | - | 5 | 0,0030 | 0,0206 | 0,450 | 0,002 | 0,0013 |
| 25 | 0,009 | 4434 | 0,0087 | 0,0002 | 17 | 0,0008 | 0,0025 | 0,940 | 0,002 | 0,0007 |
| 26 | 0,121 | 581 | - | - | 10 | 0,0000 | 0,0003 | 0,032 | 0,002 | 0,0001 |
| 27 | 0,032 | 1243 | 0,0016 | 0,0071 | 14 | 0,0004 | 0,0006 | 0,059 | 0,003 | 0,0001 |
| 28 | 0,037 | 605 | 0,0216 | - | 5 | 0,0025 | 0,0068 | 0,313 | 0,002 | 0,0015 |
| 29 | 0,022 | 4426 | 0,0106 | 0,0012 | 96 | 0,0033 | 0,0038 | 0,385 | 0,047 | 0,0039 |
| 30 | 0,222 | 6737 | 0,0083 | 0,0108 | 15 | 0,0010 | 0,0039 | 1,559 | 0,004 | 0,0007 |
| 31 | 0,016 | 881 | 0,0057 | 0,0124 | 14 | 0,0006 | 0,0021 | 0,176 | 0,003 | 0,0003 |
| 32 | 0,158 | 3359 | 0,3864 | 0,0046 | 29 | 0,0425 | 0,0166 | 0,236 | 0,009 | 0,0158 |
| 33 | 0,091 | 4007 | 0,2848 | 0,0071 | 26 | 0,0369 | 0,0076 | 1,055 | 0,008 | 0,0153 |
| 34 | 0,001 | 440 | 0,0124 | - | 70 | 0,0019 | 0,0046 | 3,591 | 0,002 | 0,0009 |
| 35 | 0,068 | 3003 | 0,5318 | 0,0025 | 51 | 0,0563 | 0,0777 | 0,207 | 0,012 | 0,0184 |
| 36 | 0,025 | 863 | 0,0016 | 0,0027 | 8 | 0,0002 | 0,0017 | 0,036 | 0,002 | 0,0002 |
| 37 | 0,017 | 340 | 0,0003 | 0,0046 | 8 | -0,0001 | 0,0003 | 0,074 | 0,002 | 0,0001 |
| 38 | 0,075 | 2302 | 0,0127 | 0,0010 | 16 | 0,0017 | 0,0007 | 0,036 | 0,002 | 0,0012 |
| 39 | 0,059 | 2363 | 0,0065 | 0,0013 | 16 | 0,0011 | 0,0004 | 0,035 | 0,003 | 0,0006 |
| 40 | 0,092 | 4008 | 0,0135 | - | 51 | 0,0029 | 0,0027 | 0,034 | 0,002 | 0,0011 |
| 41 | 0,014 | 2443 | 0,1586 | 0,0095 | 23 | 0,0211 | 0,0051 | 0,218 | 0,006 | 0,0128 |
| 42 | 0,012 | 382 | 0,0023 | 0,0007 | 4 | 0,0002 | 0,0007 | 0,035 | 0,001 | 0,0002 |
| 43 | 0,142 | 3780 | 0,5600 | - | 31 | 0,0755 | 0,0027 | 0,037 | 0,019 | 0,0270 |
| 44 | 0,533 | 4350 | 0,0876 | 0,0008 | 194 | 0,0411 | 0,0015 | 0,062 | 0,004 | 0,0232 |
| 45 | 0,137 | 651 | 0,0104 | 0,0047 | 3 | 0,0011 | 0,0023 | 0,149 | 0,002 | 0,0006 |
| 46 | 0,070 | 2934 | 0,5951 | 0,0052 | 42 | 0,0418 | 0,0138 | 3,061 | 0,004 | 0,0102 |
| 47 | 0,096 | 2403 | 0,4803 | 0,0075 | 102 | 0,0487 | 0,0260 | 0,628 | 0,008 | 0,0189 |
| 48 | 0,137 | 2212 | 0,1048 | 0,0007 | 41 | 0,0125 | 0,0211 | 1,962 | 0,003 | 0,0056 |
| 51 | 0,050 | 541 | 0,0084 | 0,0021 | 8 | 0,0005 | 0,0020 | 0,171 | 0,004 | 0,0003 |
| 52 | 0,005 | 517 | 0,0018 | 0,0028 | 47 | 0,0000 | 0,0015 | 0,067 | 0,004 | 0,0001 |
| 53 | 0,127 | 4817 | 0,0444 | 0,0204 | 153 | 0,0047 | 0,0017 | 0,373 | 0,004 | 0,0026 |
| 54 | 0,024 | 665 | 0,0048 | - | 7 | 0,0003 | 0,0012 | 0,084 | 0,004 | 0,0002 |
| 55 | 0,034 | 369 | 0,0077 | - | 4 | 0,0008 | 0,0073 | 0,257 | 0,004 | 0,0003 |
| 56 | 0,041 | 550 | 0,0146 | 3,4097 | 6 | 0,0012 | 0,0005 | 0,141 | 0,005 | 0,0005 |
| 57 | 0,039 | 1063 | 0,0061 | 0,0084 | 4 | 0,0004 | 0,0063 | 0,171 | 0,004 | 0,0001 |

| Vannverk | U | V | W | Y | Yb | Zn |
|----------|--------|-------|---------|--------|--------|-------|
| 1 | 0,022 | 0,042 | 0,0022 | 0,0701 | 0,0050 | 6,0 |
| 2 | 0,096 | 0,023 | 0,0017 | 1,0000 | 0,0625 | 1,7 |
| 3 | 0,003 | 0,027 | 0,0001 | 0,0110 | 0,0010 | 100,9 |
| 4 | 0,007 | 0,062 | 0,0067 | 0,0135 | 0,0024 | 3,2 |
| 5 | 0,020 | 0,075 | 0,0027 | 0,0291 | 0,0040 | 2,1 |
| 6 | 2,082 | 0,080 | 0,0537 | 0,7386 | 0,0284 | 11,6 |
| 7 | 0,005 | 0,017 | 0,0011 | 0,0116 | 0,0014 | 3,3 |
| 8 | 0,231 | 0,289 | 0,0014 | 0,0622 | 0,0047 | 15,2 |
| 9 | 0,007 | 0,044 | 0,0436 | 0,0148 | 0,0016 | 4,1 |
| 10 | 0,048 | 0,036 | 0,0042 | 0,0296 | 0,0032 | 1,5 |
| 11 | 7,168 | 0,032 | 0,0429 | 0,0493 | 0,0027 | 5,2 |
| 12 | 0,004 | 0,012 | -0,0001 | 0,0078 | 0,0008 | 45,4 |
| 13 | 0,001 | 0,016 | 0,0017 | 0,0136 | 0,0012 | 4,7 |
| 14 | 0,007 | 0,035 | 0,0014 | 0,0396 | 0,0042 | 5,0 |
| 15 | 0,002 | 0,023 | 0,0021 | 0,0180 | 0,0031 | 3,0 |
| 16 | 0,003 | 0,022 | 0,0011 | 0,0139 | 0,0020 | 10,9 |
| 17 | 0,003 | 0,041 | 0,0007 | 0,0182 | 0,0021 | 1,2 |
| 18 | 1,591 | 0,077 | 0,0030 | 0,0269 | 0,0035 | 0,2 |
| 19 | 0,169 | 0,441 | 0,0151 | 0,0776 | 0,0055 | 6,7 |
| 20 | 0,006 | 0,040 | 0,0003 | 0,0228 | 0,0035 | 8,5 |
| 21 | 0,259 | 0,143 | 0,0491 | 0,2698 | 0,0133 | 4,6 |
| 22 | 0,010 | 0,028 | 0,0002 | 0,0062 | 0,0008 | 9,1 |
| 23 | 0,195 | 0,147 | 0,0009 | 0,0086 | 0,0004 | 43,9 |
| 24 | 0,014 | 0,071 | 0,0004 | 0,0968 | 0,0084 | 9,5 |
| 25 | 0,004 | 0,039 | 0,0015 | 0,0431 | 0,0033 | 7,1 |
| 26 | 0,000 | 0,026 | 0,0015 | 0,0024 | 0,0003 | 8,8 |
| 27 | 0,000 | 0,037 | 0,0005 | 0,0184 | 0,0023 | 4,7 |
| 28 | 0,026 | 0,075 | 0,0018 | 0,1012 | 0,0107 | 6,9 |
| 29 | 21,771 | 0,382 | 1,1314 | 0,4787 | 0,0226 | 6,5 |
| 30 | 0,008 | 0,035 | 0,0025 | 0,0453 | 0,0044 | 25,5 |
| 31 | 0,019 | 0,058 | 0,0012 | 0,0202 | 0,0021 | 7,8 |
| 32 | 0,197 | 0,176 | 0,0014 | 1,3176 | 0,0979 | 35,3 |
| 33 | 0,198 | 0,058 | 0,0011 | 1,6249 | 0,1027 | 10,2 |
| 34 | 0,072 | 0,129 | 0,0001 | 0,1147 | 0,0084 | 0,3 |
| 35 | 0,696 | 0,033 | 0,0050 | 1,8046 | 0,1137 | 9,9 |
| 36 | 0,002 | 0,015 | 0,0009 | 0,0101 | 0,0014 | 12,3 |
| 37 | 0,001 | 0,011 | 0,0345 | 0,0002 | 0,0001 | 12,6 |
| 38 | 0,032 | 0,022 | 0,0017 | 0,0568 | 0,0073 | 17,5 |
| 39 | 0,029 | 0,018 | 0,0027 | 0,0436 | 0,0058 | 13,8 |
| 40 | 1,682 | 0,132 | 0,5445 | 0,2883 | 0,0066 | 9,5 |
| 41 | 0,036 | 0,010 | 0,0009 | 1,0447 | 0,1007 | 63,9 |
| 42 | 0,067 | 0,051 | 0,0237 | 0,0111 | 0,0013 | 0,4 |
| 43 | 0,643 | 0,011 | 0,0011 | 3,0467 | 0,1572 | 10,4 |
| 44 | 68,481 | 1,158 | 0,3699 | 4,4119 | 0,1104 | 5,1 |
| 45 | 0,046 | 0,016 | 0,0012 | 0,0403 | 0,0040 | 6,0 |
| 46 | 2,248 | 0,306 | 0,1212 | 0,9234 | 0,0660 | 32,9 |
| 47 | 0,975 | 0,115 | 0,0044 | 1,5843 | 0,1234 | 23,4 |
| 48 | 0,698 | 0,098 | 0,0016 | 0,4709 | 0,0392 | 24,9 |
| 51 | 0,014 | 0,055 | 0,0021 | 0,0243 | 0,0014 | 9,5 |
| 52 | 0,005 | 0,053 | 0,0023 | 0,0080 | 0,0012 | 8,7 |
| 53 | 0,739 | 0,106 | 0,0084 | 0,3409 | 0,0155 | 9,7 |
| 54 | 0,007 | 0,027 | 0,0003 | 0,0159 | 0,0017 | 26,0 |
| 55 | 0,025 | 0,096 | 0,0033 | 0,0253 | 0,0025 | 8,0 |
| 56 | 0,015 | 0,045 | 0,0003 | 0,0549 | 0,0031 | 9,0 |
| 57 | 0,023 | 0,078 | 0,0041 | 0,0174 | 0,0019 | 10,6 |

Tabell V.7b: Oversikt over alle resultat av analyse av prøver fra høst, markert med rødt, for alle vannverk, alle grunnstoff har konsentrasjoner gitt i µg/l, alle prøver er korrigert for blankverdier. Alle resultater er vist, inkludert de under deteksjonsgrensene [negative resultat er utelatt (-)]. Tabellen for prøvene fra høst går over 6 sider.

| Vannverk | Al | As | Au | B | Ba | Be | Bi | Br | Ca |
|----------|-------|------|--------|-------|-------|-------|--------|-----|-------|
| 1 | 92,0 | 0,05 | 0,0051 | 3,19 | 2,25 | 0,002 | 0,0006 | 31 | 13294 |
| 2 | 40,6 | 0,02 | 0,0019 | 2,61 | 5,63 | 0,038 | 0,0001 | 25 | 3618 |
| 3 | 8,8 | 0,03 | 0,0013 | 2,47 | 3,32 | 0,002 | 0,0006 | 18 | 5720 |
| 4 | 17,0 | 0,03 | 0,0015 | 3,73 | 0,50 | 0,002 | 0,0001 | 19 | 1331 |
| 5 | 129,6 | 0,05 | 0,0018 | 2,78 | 1,17 | 0,003 | 0,0002 | 26 | 3580 |
| 6 | 2,0 | 0,06 | 0,0030 | 10,41 | 11,36 | 0,003 | 0,0001 | 62 | 36851 |
| 7 | 34,4 | 0,06 | 0,0015 | 1,32 | 0,67 | 0,002 | 0,0003 | 8 | 1312 |
| 8 | 24,7 | 2,17 | 0,0012 | 1,71 | 2,54 | 0,003 | 0,0004 | 8 | 5975 |
| 9 | 115,2 | 0,09 | 0,0012 | 2,32 | 1,37 | 0,002 | 0,0000 | 21 | 13569 |
| 11 | 2,9 | 1,21 | 0,0011 | 6,46 | 77,54 | 0,001 | 0,0004 | 66 | 35108 |
| 12 | 3,1 | 0,04 | 0,0009 | 2,97 | 0,62 | 0,001 | 0,0061 | 14 | 7176 |
| 13 | 22,1 | 0,02 | 0,0012 | 2,75 | 1,43 | 0,001 | 0,0002 | 23 | 1474 |
| 14 | 76,2 | 0,03 | 0,0015 | 2,67 | 1,42 | 0,004 | 0,0002 | 18 | 551 |
| 15 | 31,6 | 0,03 | 0,0010 | 2,75 | 2,53 | 0,002 | 0,0003 | 21 | 3677 |
| 17 | 18,6 | 0,07 | 0,0017 | 3,19 | 2,15 | 0,001 | 0,0001 | 29 | 6835 |
| 18 | 1,1 | 0,27 | 0,0064 | 7,97 | 4,29 | 0,001 | 0,0001 | 212 | 13698 |
| 19 | 0,8 | 1,46 | 0,0018 | 72,09 | 7,90 | 0,003 | 0,0001 | 91 | 49090 |
| 20 | 28,1 | 0,04 | 0,0011 | 3,88 | 0,96 | 0,003 | 0,0003 | 25 | 1545 |
| 21 | 350,6 | 0,70 | 0,0012 | 2,95 | 2,74 | 0,003 | 0,0001 | 32 | 13196 |
| 22 | 1,8 | 0,05 | 0,0034 | 2,78 | 3,65 | 0,001 | 0,0221 | 24 | 56396 |
| 23 | 3,0 | 0,35 | 0,0006 | 4,70 | 3,27 | 0,001 | 0,0004 | 26 | 16073 |
| 24 | 64,8 | 0,06 | 0,0005 | 2,09 | 1,49 | 0,006 | 0,0004 | 25 | 1147 |
| 25 | 27,3 | 0,06 | 0,0008 | 3,60 | 1,71 | 0,000 | 0,0000 | 25 | 3343 |
| 26 | 31,1 | 0,04 | 0,0074 | 2,32 | 1,36 | 0,001 | 0,0010 | 23 | 2283 |
| 27 | 46,1 | 0,08 | 0,0064 | 2,59 | 1,83 | 0,003 | 0,0007 | 28 | 2401 |
| 28 | 9,1 | 0,03 | 0,0021 | 2,69 | 0,62 | 0,002 | 0,0005 | 16 | 1805 |
| 29 | 5,5 | 0,72 | 0,0077 | 51,50 | 42,73 | 0,002 | 0,0002 | 125 | 13939 |
| 30 | 44,6 | 0,04 | 0,0031 | 3,56 | 5,81 | 0,003 | 0,0004 | 28 | 4690 |
| 31 | 35,4 | 0,04 | 0,0027 | 3,10 | 1,88 | 0,001 | 0,0004 | 27 | 2274 |
| 32 | 10,7 | 0,07 | 0,0010 | 4,10 | 2,45 | 0,004 | 0,0005 | 27 | 8302 |
| 33 | 35,6 | 0,02 | 0,0010 | 2,53 | 11,06 | 0,031 | 0,0031 | 18 | 5989 |
| 34 | 1,9 | 0,03 | 0,0021 | 2,54 | 2,06 | 0,002 | 0,0002 | 18 | 40576 |
| 35 | 16,5 | 0,05 | 0,0010 | 5,18 | 14,62 | 0,008 | 0,0004 | 23 | 13167 |
| 36 | 6,1 | 0,03 | 0,0003 | 1,22 | 1,72 | 0,001 | 0,0004 | 6 | 1305 |
| 37 | 3,5 | 0,03 | - | 0,70 | 3,42 | 0,003 | 0,0003 | 2 | 463 |
| 38 | 1,1 | 0,03 | 0,0009 | 1,85 | 8,96 | 0,002 | 0,0025 | 21 | 5482 |
| 39 | 1,0 | 0,04 | 0,0010 | 1,96 | 9,90 | 0,003 | 0,0001 | 23 | 6086 |
| 40 | 1,6 | 0,41 | 0,0006 | 6,83 | 2,80 | 0,001 | 0,0253 | 27 | 23884 |
| 41 | 5,6 | 0,10 | 0,0013 | 3,16 | 5,87 | 0,001 | 0,0004 | 32 | 31163 |
| 42 | 4,6 | 0,02 | 0,0007 | 1,33 | 0,41 | 0,004 | 0,0001 | 7 | 4412 |
| 43 | 19,2 | 0,03 | 0,0012 | 9,82 | 12,20 | 0,046 | 0,0000 | 40 | 8524 |
| 44 | 2,5 | 1,40 | 0,0018 | 10,59 | 0,57 | 0,007 | 0,0003 | 84 | 27966 |
| 45 | 11,1 | 0,03 | 0,0008 | 1,46 | 0,27 | 0,006 | 0,0003 | 12 | 5071 |
| 46 | 59,6 | 0,03 | 0,0021 | 8,65 | 3,41 | 0,011 | 0,0002 | 81 | 6999 |
| 47 | 42,9 | 0,06 | 0,0020 | 8,95 | 3,49 | 0,012 | 0,0003 | 101 | 16412 |
| 48 | 122,5 | 0,21 | 0,0017 | 7,01 | 6,36 | 0,015 | 0,0064 | 73 | 12677 |
| 49 | 120,8 | 0,08 | 0,0012 | 15,79 | 0,93 | 0,006 | 0,0005 | 83 | 1686 |
| 51 | 21,5 | 0,03 | 0,0009 | 3,23 | 1,26 | 0,001 | 0,0001 | 30 | 4395 |
| 52 | 47,0 | 0,06 | 0,0031 | 9,87 | 1,40 | 0,002 | 0,0004 | 69 | 7464 |
| 53 | 1,2 | 0,08 | 0,0012 | 10,71 | 18,26 | 0,003 | 0,0002 | 63 | 45349 |
| 54 | 19,9 | 0,03 | 0,0010 | 3,21 | 1,06 | 0,002 | 0,0017 | 30 | 4048 |
| 55 | 22,0 | 0,04 | 0,0004 | 2,82 | 0,50 | 0,002 | 0,0002 | 21 | 1754 |
| 56 | 33,2 | 0,03 | 0,0007 | 2,98 | 1,15 | 0,001 | 0,0003 | 29 | 4038 |
| 57 | 17,5 | 0,03 | 0,0009 | 5,41 | 0,44 | 0,002 | 0,0003 | 38 | 1174 |
| 58 | 10,6 | 0,41 | 0,0005 | 5,28 | 0,19 | 0,001 | 0,0001 | 59 | 1112 |

| Vannverk | Cd | Ce | Cl | Co | Cr | Cs | Cu | Dy | Er | Fe |
|----------|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 0,002 | 0,0729 | 9178 | 0,01 | 0,052 | 0,011 | 16,6 | 0,0069 | 0,0045 | 21,13 |
| 2 | 0,019 | 0,1014 | 5794 | 0,01 | 0,051 | 0,022 | 1,3 | 0,1579 | 0,0801 | 7,89 |
| 3 | 0,006 | 0,0426 | 5269 | 0,03 | 0,060 | 0,012 | 11,1 | 0,0050 | 0,0032 | 34,14 |
| 4 | 0,002 | 0,0504 | 5512 | 0,02 | 0,047 | 0,005 | 38,2 | 0,0051 | 0,0030 | 10,94 |
| 5 | 0,004 | 0,1848 | 10753 | 0,08 | 0,054 | 0,016 | 0,9 | 0,0100 | 0,0058 | 63,05 |
| 6 | 0,003 | 0,0060 | 13107 | 0,01 | 0,164 | 0,002 | 210,7 | 0,0305 | 0,0243 | 1,42 |
| 7 | 0,001 | 0,0407 | 7645 | 0,01 | 0,038 | 0,008 | 0,2 | 0,0015 | 0,0012 | 4,38 |
| 8 | 0,006 | 0,0563 | 5084 | 0,33 | 0,130 | 0,032 | 35,2 | 0,0097 | 0,0064 | 458,00 |
| 9 | 0,001 | 0,0154 | 14010 | 0,02 | 0,385 | 0,019 | 19,0 | 0,0014 | 0,0007 | 26,39 |
| 11 | 0,006 | 0,0041 | 6145 | 0,32 | 0,044 | 1,684 | 247,0 | 0,0038 | 0,0038 | 3,97 |
| 12 | 0,004 | 0,0024 | 3903 | 0,01 | 0,052 | 0,006 | 179,1 | 0,0016 | 0,0011 | 1,27 |
| 13 | 0,001 | 0,0134 | 10408 | 0,01 | 0,041 | 0,015 | 33,9 | 0,0010 | 0,0009 | 1,14 |
| 14 | 0,005 | 0,1336 | 10910 | 0,02 | 0,050 | 0,037 | 9,2 | 0,0047 | 0,0032 | 4,91 |
| 15 | 0,003 | 0,0453 | 8142 | 0,01 | 0,051 | 0,036 | 95,7 | 0,0021 | 0,0020 | 2,11 |
| 17 | 0,001 | 0,0161 | 10436 | 0,01 | 0,048 | 0,005 | 0,4 | 0,0023 | 0,0021 | 0,70 |
| 18 | 0,002 | 0,0009 | 63392 | 0,01 | 0,059 | 0,003 | 0,6 | 0,0007 | 0,0004 | 0,51 |
| 19 | 0,003 | 0,0002 | 20946 | 0,02 | 0,088 | 0,028 | 2,2 | 0,0051 | 0,0059 | 6,56 |
| 20 | 0,001 | 0,0553 | 6791 | 0,01 | 0,063 | 0,001 | 33,3 | 0,0044 | 0,0031 | 5,69 |
| 21 | 0,001 | 0,0591 | 19494 | 0,03 | 0,082 | 0,075 | 15,2 | 0,0178 | 0,0121 | 44,97 |
| 22 | 0,008 | 0,0044 | 21178 | 0,79 | 0,108 | 0,036 | 106,8 | 0,0007 | 0,0006 | 55,02 |
| 23 | 0,006 | 0,0025 | 7184 | 0,01 | 0,558 | 0,005 | 107,8 | 0,0007 | 0,0007 | 2,25 |
| 24 | 0,005 | 0,2858 | 4192 | 0,01 | 0,108 | 0,029 | 708,5 | 0,0167 | 0,0100 | 11,65 |
| 25 | 0,003 | 0,0749 | 9950 | 0,01 | 0,045 | 0,005 | 17,8 | 0,0044 | 0,0038 | 6,33 |
| 26 | 0,008 | 0,0180 | 10852 | 0,01 | 0,030 | 0,005 | 29,9 | 0,0008 | 0,0007 | 15,09 |
| 27 | 0,004 | 0,0592 | 15758 | 0,48 | 0,048 | 0,004 | 1,6 | 0,0024 | 0,0021 | 4,75 |
| 28 | 0,002 | 0,0204 | 7316 | 0,00 | 0,052 | 0,008 | 17,3 | 0,0025 | 0,0021 | 7,25 |
| 29 | 0,002 | 0,0214 | 28150 | 0,01 | 0,034 | 0,033 | 11,0 | 0,0158 | 0,0175 | 4,35 |
| 30 | 0,004 | 0,0584 | 15523 | 0,03 | 0,076 | 0,044 | 0,7 | 0,0060 | 0,0044 | 3,00 |
| 31 | 0,007 | 0,0550 | 14978 | 0,01 | 0,059 | 0,134 | 10,4 | 0,0035 | 0,0027 | 34,48 |
| 32 | 0,002 | 0,9232 | 7303 | 0,03 | 0,103 | 0,006 | 33,6 | 0,2161 | 0,1147 | 117,06 |
| 33 | 0,013 | 1,1499 | 3805 | 0,37 | 0,077 | 0,076 | 88,8 | 0,2877 | 0,1632 | 135,58 |
| 34 | 0,001 | 0,0035 | 16462 | 2,44 | 0,130 | 0,009 | 0,6 | 0,0006 | 0,0004 | 76,82 |
| 35 | 0,007 | 0,4996 | 4431 | 0,02 | 0,046 | 0,052 | 87,7 | 0,3012 | 0,1454 | 6,68 |
| 36 | 0,001 | 0,0081 | 1978 | 0,00 | 0,040 | 0,007 | 48,3 | 0,0016 | 0,0010 | 0,75 |
| 37 | 0,002 | 0,0033 | 974 | 0,00 | 0,035 | 0,003 | 0,3 | 0,0006 | 0,0007 | 1,28 |
| 38 | 0,011 | 0,0084 | 4686 | 0,01 | 0,076 | 0,001 | 173,4 | 0,0101 | 0,0071 | 1,42 |
| 39 | 0,009 | 0,0067 | 5205 | 0,01 | 0,065 | 0,002 | 48,0 | 0,0113 | 0,0074 | 0,47 |
| 40 | 0,001 | 0,0276 | 5164 | 0,01 | 0,052 | 0,098 | 35,8 | 0,0242 | 0,0142 | 2,99 |
| 41 | 0,015 | 0,1009 | 5708 | 0,06 | 0,076 | 0,065 | 48,8 | 0,0299 | 0,0225 | 268,08 |
| 42 | 0,003 | 0,0122 | 2442 | 0,00 | 0,025 | 0,009 | 5,8 | 0,0026 | 0,0019 | 3,85 |
| 43 | 0,009 | 2,1645 | 8533 | 0,04 | 0,057 | 0,088 | 23,0 | 0,3841 | 0,2160 | 10,72 |
| 44 | 0,004 | 0,0040 | 18666 | 0,00 | 0,048 | 1,386 | 8,8 | 0,2821 | 0,2001 | 0,89 |
| 45 | 0,003 | 0,0150 | 2694 | 0,00 | 0,032 | 0,010 | 9,2 | 0,0025 | 0,0019 | 3,96 |
| 46 | 0,006 | 1,0034 | 19138 | 0,03 | 0,106 | 0,002 | 24,9 | 0,2449 | 0,1212 | 20,68 |
| 47 | 0,007 | 0,6003 | 18043 | 0,03 | 0,168 | 0,009 | 9,0 | 0,2878 | 0,1578 | 21,46 |
| 48 | 0,006 | 2,5516 | 18113 | 0,10 | 0,218 | 0,016 | 2,8 | 0,2305 | 0,1299 | 169,90 |
| 49 | 0,004 | 0,5176 | 12426 | 0,03 | 0,177 | 0,005 | 7,7 | 0,0289 | 0,0157 | 110,47 |
| 51 | 0,006 | 0,0594 | 11519 | 0,04 | 0,041 | 0,019 | 18,9 | 0,0016 | 0,0012 | 52,52 |
| 52 | 0,005 | 0,0378 | 30889 | 0,02 | 0,052 | 0,016 | 3,2 | 0,0011 | 0,0009 | 3,07 |
| 53 | 0,017 | 0,0050 | 14428 | 0,02 | 0,251 | 0,005 | 141,1 | 0,0239 | 0,0147 | 7,09 |
| 54 | 0,005 | 0,0508 | 9900 | 0,04 | 0,038 | 0,019 | 33,1 | 0,0015 | 0,0009 | 2,55 |
| 55 | 0,004 | 0,0499 | 5412 | 0,02 | 0,079 | 0,008 | 12,7 | 0,0039 | 0,0023 | 19,72 |
| 56 | 0,008 | 0,1463 | 10666 | 0,08 | 0,106 | 0,020 | 3,9 | 0,0036 | 0,0020 | 9,85 |
| 57 | 0,002 | 0,0347 | 8948 | 0,01 | 0,107 | 0,012 | 32,1 | 0,0018 | 0,0015 | 6,32 |
| 58 | 0,002 | 0,0230 | 11256 | 0,03 | 1,448 | 0,002 | 6,9 | 0,0023 | 0,0017 | 25,95 |

| Vannverk | Ga | Hf | Hg | Ho | K | La | Li | Lu | Mg | Mn |
|----------|--------|---------|---------|--------|------|-------|-------|--------|-------|------|
| 1 | 0,0120 | 0,0005 | 0,0014 | 0,0017 | 434 | 0,086 | 0,17 | 0,0007 | 766 | 0,7 |
| 2 | 0,0007 | 0,0004 | - | 0,0301 | 498 | 1,783 | 0,08 | 0,0109 | 1030 | 1,6 |
| 3 | 0,0008 | 0,0001 | - | 0,0010 | 491 | 0,037 | 0,08 | 0,0006 | 694 | 5,5 |
| 4 | 0,0009 | 0,0001 | 0,0010 | 0,0011 | 190 | 0,035 | 0,24 | 0,0006 | 220 | 0,9 |
| 5 | 0,0229 | 0,0064 | 0,0006 | 0,0019 | 277 | 0,140 | 0,30 | 0,0009 | 381 | 7,5 |
| 6 | 0,0018 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0072 | 2324 | 0,190 | 2,64 | 0,0036 | 4945 | 0,2 |
| 7 | 0,0115 | 0,0002 | 0,0015 | 0,0004 | 220 | 0,030 | 0,10 | 0,0002 | 340 | 0,8 |
| 8 | 0,0015 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0020 | 327 | 0,054 | 0,19 | 0,0010 | 1382 | 4,6 |
| 9 | 0,0340 | 0,0002 | 0,0010 | 0,0003 | 224 | 0,012 | 0,18 | 0,0002 | 567 | 2,1 |
| 11 | 0,0055 | 0,0010 | 0,0001 | 0,0010 | 2042 | 0,005 | 1,90 | 0,0008 | 15048 | 1,9 |
| 12 | 0,0010 | 0,0002 | 0,00001 | 0,0003 | 138 | 0,008 | 0,24 | 0,0002 | 629 | 0,1 |
| 13 | 0,0090 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0002 | 354 | 0,017 | 0,16 | 0,0002 | 596 | 0,2 |
| 14 | 0,0055 | 0,0056 | 0,0006 | 0,0012 | 453 | 0,083 | 0,32 | 0,0006 | 520 | 9,1 |
| 15 | 0,0062 | 0,0061 | 0,0003 | 0,0006 | 357 | 0,033 | 0,19 | 0,0004 | 765 | 0,1 |
| 17 | 0,0077 | 0,0003 | 0,0021 | 0,0006 | 594 | 0,026 | 0,18 | 0,0003 | 1052 | 0,2 |
| 18 | 0,0035 | 0,0001 | 0,0008 | 0,0001 | 2130 | 0,004 | 2,29 | 0,0001 | 1617 | 0,4 |
| 19 | 0,0034 | 0,0004 | 0,0010 | 0,0017 | 2877 | 0,004 | 1,29 | 0,0019 | 5637 | 0,6 |
| 20 | 0,0012 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0011 | 153 | 0,037 | 0,21 | 0,0008 | 437 | 0,8 |
| 21 | 0,0436 | 0,0008 | 0,0017 | 0,0042 | 638 | 0,085 | 0,87 | 0,0017 | 1268 | 1,1 |
| 22 | 0,0017 | 0,0002 | 0,0016 | 0,0002 | 789 | 0,004 | 0,22 | 0,0001 | 2066 | 15,9 |
| 23 | 0,0041 | 0,0002 | 0,0009 | 0,0002 | 910 | 0,010 | 0,68 | 0,0002 | 1937 | 0,1 |
| 24 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0012 | 0,0031 | 185 | 0,205 | 0,17 | 0,0014 | 399 | 0,8 |
| 25 | 0,0062 | 0,0027 | 0,0007 | 0,0011 | 766 | 0,077 | 0,22 | 0,0006 | 817 | 0,4 |
| 26 | 0,0087 | 0,0002 | 0,0039 | 0,0002 | 359 | 0,019 | 0,12 | 0,0002 | 547 | 0,8 |
| 27 | 0,0099 | 0,0004 | 0,0029 | 0,0007 | 273 | 0,033 | 0,16 | 0,0004 | 651 | 6,1 |
| 28 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0022 | 0,0007 | 163 | 0,015 | 0,21 | 0,0005 | 428 | 0,2 |
| 29 | 0,0182 | 0,0036 | 0,0024 | 0,0049 | 5599 | 0,022 | 6,77 | 0,0026 | 7018 | 3,9 |
| 30 | 0,0046 | 0,0085 | 0,0020 | 0,0014 | 594 | 0,055 | 0,30 | 0,0009 | 1102 | 8,7 |
| 31 | 0,0145 | 0,0050 | 0,0015 | 0,0009 | 321 | 0,043 | 0,26 | 0,0004 | 770 | 0,4 |
| 32 | 0,0047 | 0,0021 | 0,0003 | 0,0420 | 1398 | 1,723 | 0,12 | 0,0148 | 1697 | 0,2 |
| 33 | 0,0064 | 0,0023 | 0,0014 | 0,0568 | 1023 | 2,137 | 0,23 | 0,0255 | 1226 | 37,3 |
| 34 | 0,0010 | 0,0004 | 0,0009 | 0,0001 | 371 | 0,002 | 0,18 | 0,0001 | 1730 | 51,1 |
| 35 | 0,0032 | 0,0016 | 0,0001 | 0,0555 | 2159 | 3,229 | 0,04 | 0,0185 | 2382 | 4,1 |
| 36 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | 321 | 0,011 | 0,11 | 0,0002 | 337 | 0,0 |
| 37 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0009 | 0,0002 | 95 | 0,003 | 0,09 | 0,0001 | 145 | 0,3 |
| 38 | 0,0012 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0022 | 577 | 0,039 | 0,13 | 0,0021 | 964 | 0,2 |
| 39 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0025 | 623 | 0,041 | 0,11 | 0,0019 | 1012 | 0,2 |
| 40 | 0,0211 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0058 | 1177 | 0,040 | 1,27 | 0,0010 | 4813 | 1,1 |
| 41 | 0,0013 | 0,0007 | 0,0021 | 0,0064 | 1172 | 0,147 | 0,67 | 0,0049 | 4662 | 53,4 |
| 42 | 0,0005 | 0,00003 | 0,0011 | 0,0005 | 134 | 0,008 | 0,16 | 0,0002 | 136 | 0,2 |
| 43 | 0,0009 | 0,0008 | 0,0015 | 0,0783 | 1369 | 4,696 | 0,11 | 0,0229 | 2521 | 6,9 |
| 44 | 0,1769 | 0,0006 | 0,0002 | 0,0701 | 2216 | 0,078 | 14,32 | 0,0156 | 6583 | 0,1 |
| 45 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0009 | 0,0007 | 144 | 0,008 | 0,15 | 0,0004 | 149 | 0,3 |
| 46 | 0,0036 | 0,0018 | 0,0017 | 0,0446 | 959 | 6,804 | 0,06 | 0,0156 | 1632 | 6,4 |
| 47 | 0,0061 | 0,0020 | 0,0011 | 0,0562 | 870 | 3,245 | 0,19 | 0,0223 | 2354 | 8,3 |
| 48 | 0,0347 | 0,0060 | 0,0013 | 0,0462 | 1337 | 1,362 | 0,82 | 0,0211 | 2734 | 2,3 |
| 49 | 0,0108 | 0,0008 | 0,0016 | 0,0050 | 997 | 0,452 | 0,65 | 0,0019 | 1044 | 4,7 |
| 51 | 0,0043 | 0,0001 | 0,0008 | 0,0004 | 369 | 0,065 | 0,22 | 0,0002 | 562 | 2,1 |
| 52 | 0,0154 | 0,0001 | 0,0011 | 0,0002 | 636 | 0,026 | 0,51 | 0,0002 | 1772 | 1,7 |
| 53 | 0,0023 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0050 | 3893 | 0,503 | 1,46 | 0,0028 | 4618 | 0,6 |
| 54 | 0,0045 | 0,0001 | 0,0004 | 0,0004 | 392 | 0,047 | 0,19 | 0,0002 | 571 | 2,9 |
| 55 | 0,0005 | 0,0001 | 0,0007 | 0,0008 | 224 | 0,025 | 0,20 | 0,0004 | 303 | 1,2 |
| 56 | 0,0036 | 0,0002 | 0,0011 | 0,0008 | 390 | 0,112 | 0,23 | 0,0003 | 577 | 6,3 |
| 57 | 0,0008 | 0,0004 | 0,0010 | 0,0003 | 244 | 0,035 | 0,27 | 0,0002 | 474 | 0,3 |
| 58 | 0,0017 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0006 | 278 | 0,017 | 0,17 | 0,0003 | 4146 | 0,4 |

| Vannverk | Mo | Na | Nd | Ni | P | Pb | Pr | Rb | S | Sb |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|------|-------|-------|
| 1 | 0,05 | 3999 | 0,064 | 0,38 | 1,40 | 0,08 | 0,0165 | 0,78 | 572 | 0,016 |
| 2 | 0,01 | 3580 | 1,173 | 1,16 | 2,07 | 0,05 | 0,3452 | 1,59 | 661 | 0,003 |
| 3 | 0,01 | 3367 | 0,027 | 0,10 | 48,79 | 0,18 | 0,0064 | 0,91 | 304 | 0,008 |
| 4 | 0,01 | 3590 | 0,042 | 0,06 | 1,35 | 0,12 | 0,0107 | 0,42 | 103 | 0,010 |
| 5 | 0,03 | 6238 | 0,110 | 0,37 | 1,83 | 0,52 | 0,0296 | 0,64 | 332 | 0,015 |
| 6 | 0,41 | 9783 | 0,150 | 0,28 | 1,59 | 0,50 | 0,0375 | 0,70 | 2608 | 0,011 |
| 7 | 0,01 | 5155 | 0,027 | 0,26 | 1,38 | 0,03 | 0,0068 | 0,62 | 231 | 0,008 |
| 8 | 0,24 | 1711 | 0,050 | 1,77 | 2,70 | 1,66 | 0,0125 | 0,75 | 3046 | 0,016 |
| 9 | 0,04 | 2865 | 0,011 | 0,46 | 2,71 | 0,09 | 0,0025 | 0,52 | 285 | 0,019 |
| 11 | 0,67 | 9659 | 0,007 | 12,21 | 3,28 | 1,43 | 0,0013 | 0,80 | 8071 | 0,190 |
| 12 | 0,01 | 2186 | 0,007 | 0,32 | 1,53 | 0,57 | 0,0018 | 0,19 | 394 | 0,014 |
| 13 | 0,01 | 7069 | 0,011 | 0,32 | 2,30 | 0,12 | 0,0029 | 0,86 | 371 | 0,006 |
| 14 | 0,01 | 8003 | 0,087 | 2,31 | 1,23 | 0,34 | 0,0148 | 1,05 | 431 | 0,009 |
| 15 | 0,02 | 5802 | 0,020 | 0,36 | 1,77 | 0,13 | 0,0062 | 0,76 | 685 | 0,009 |
| 17 | 0,04 | 3390 | 0,019 | 0,39 | 1,67 | 0,06 | 0,0048 | 0,67 | 700 | 0,015 |
| 18 | 1,05 | 89553 | 0,003 | 0,30 | 1,30 | 0,01 | 0,0007 | 0,22 | 10528 | 0,022 |
| 19 | 0,80 | 25851 | 0,010 | 1,01 | 1,51 | 0,06 | 0,0016 | 1,00 | 10078 | 0,031 |
| 20 | 0,00 | 3522 | 0,035 | 0,12 | 6,02 | 0,39 | 0,0094 | 0,23 | 210 | 0,011 |
| 21 | 0,08 | 11900 | 0,095 | 0,71 | 1,02 | 0,59 | 0,0217 | 1,55 | 1079 | 0,022 |
| 22 | 0,02 | 2933 | 0,003 | 3,37 | 2,76 | 0,83 | 0,0008 | 2,52 | 19687 | 0,011 |
| 23 | 0,15 | 4926 | 0,007 | 0,27 | 3,97 | 0,63 | 0,0016 | 0,50 | 1402 | 0,017 |
| 24 | 0,01 | 2368 | 0,171 | 0,31 | 1,74 | 0,53 | 0,0467 | 0,52 | 480 | 0,019 |
| 25 | 0,05 | 6681 | 0,053 | 0,37 | 1,62 | 0,07 | 0,0147 | 0,93 | 567 | 0,018 |
| 26 | 0,03 | 6121 | 0,013 | 0,16 | 1,46 | 0,12 | 0,0036 | 0,52 | 346 | 0,009 |
| 27 | 0,02 | 11055 | 0,026 | 0,51 | 2,11 | 0,03 | 0,0074 | 0,51 | 932 | 0,040 |
| 28 | 0,00 | 3891 | 0,016 | 0,10 | 1,10 | 0,06 | 0,0042 | 0,34 | 273 | 0,007 |
| 29 | 2,65 | 64742 | 0,029 | 0,15 | 1,82 | 0,24 | 0,0067 | 1,72 | 7775 | 0,022 |
| 30 | 0,03 | 10275 | 0,043 | 2,36 | 3,45 | 0,60 | 0,0109 | 1,76 | 903 | 0,012 |
| 31 | 0,02 | 9515 | 0,034 | 0,52 | 2,82 | 0,62 | 0,0088 | 0,84 | 653 | 0,009 |
| 32 | 0,19 | 15070 | 1,777 | 0,55 | 1,95 | 0,76 | 0,4770 | 3,53 | 1756 | 0,023 |
| 33 | 0,01 | 3146 | 2,058 | 4,12 | 2,04 | 0,78 | 0,5464 | 5,13 | 2244 | 0,009 |
| 34 | 0,01 | 2846 | 0,003 | 3,25 | 1,17 | 0,03 | 0,0007 | 0,73 | 15467 | 0,005 |
| 35 | 0,41 | 3396 | 2,844 | 0,67 | 1,63 | 1,19 | 0,7706 | 4,95 | 3583 | 0,019 |
| 36 | 0,01 | 1392 | 0,011 | 0,18 | 5,48 | 0,15 | 0,0026 | 0,78 | 260 | 0,008 |
| 37 | 0,00 | 763 | 0,003 | 0,17 | 3,24 | 0,17 | 0,0008 | 0,26 | 465 | 0,011 |
| 38 | 0,04 | 4100 | 0,042 | 0,64 | 2,23 | 0,54 | 0,0105 | 1,43 | 1023 | 0,008 |
| 39 | 0,05 | 3237 | 0,045 | 0,67 | 1,86 | 0,86 | 0,0111 | 1,68 | 723 | 0,006 |
| 40 | 0,69 | 9053 | 0,060 | 0,13 | 1,77 | 0,08 | 0,0127 | 1,66 | 2569 | 0,023 |
| 41 | 0,15 | 4134 | 0,167 | 1,64 | 1,85 | 0,50 | 0,0389 | 5,02 | 1688 | 0,011 |
| 42 | 0,01 | 1411 | 0,011 | 0,07 | 1,48 | 0,08 | 0,0025 | 0,33 | 39 | 0,006 |
| 43 | 0,73 | 11230 | 2,990 | 1,17 | 1,51 | 1,01 | 0,8751 | 4,76 | 1979 | 0,013 |
| 44 | 4,08 | 23342 | 0,141 | 0,13 | 1,76 | 0,17 | 0,0246 | 5,15 | 3894 | 0,092 |
| 45 | 0,02 | 1516 | 0,011 | 0,09 | 1,46 | 0,04 | 0,0032 | 0,36 | 159 | 0,007 |
| 46 | 0,06 | 11511 | 6,136 | 0,17 | 2,94 | 1,31 | 1,6767 | 1,06 | 1592 | 0,017 |
| 47 | 0,18 | 11580 | 3,021 | 0,60 | 4,09 | 1,15 | 0,8122 | 1,56 | 2214 | 0,017 |
| 48 | 0,33 | 11018 | 1,660 | 4,35 | 2,03 | 0,27 | 0,4242 | 0,80 | 2490 | 0,029 |
| 49 | 1,12 | 14667 | 0,343 | 0,21 | 4,47 | 0,15 | 0,0978 | 0,52 | 1903 | 0,019 |
| 51 | 0,02 | 4372 | 0,030 | 0,29 | 1,52 | 0,25 | 0,0085 | 0,68 | 463 | 0,013 |
| 52 | 0,07 | 14153 | 0,019 | 0,25 | 2,13 | 0,23 | 0,0057 | 0,86 | 1124 | 0,019 |
| 53 | 0,12 | 6661 | 0,265 | 1,73 | 2,30 | 4,43 | 0,0739 | 5,64 | 3411 | 0,024 |
| 54 | 0,01 | 4183 | 0,023 | 0,23 | 1,96 | 0,29 | 0,0070 | 0,68 | 441 | 0,013 |
| 55 | 0,01 | 2897 | 0,032 | 0,76 | 4,06 | 0,17 | 0,0078 | 0,42 | 172 | 0,013 |
| 56 | 0,02 | 4326 | 0,069 | 0,21 | 2,15 | 0,13 | 0,0198 | 0,64 | 479 | 0,015 |
| 57 | 0,01 | 5307 | 0,025 | 0,20 | 1,56 | 0,38 | 0,0072 | 0,50 | 298 | 0,014 |
| 58 | 0,01 | 6783 | 0,017 | 7,96 | 1,81 | 0,27 | 0,0047 | 0,18 | 758 | 0,050 |

| Vannverk | Se | Si | Sm | Sn | Sr | Tb | Th | Ti | Tl | Tu |
|----------|--------|------|--------|--------|------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 1 | 0,046 | 695 | 0,0107 | 0,0046 | 23 | 0,0012 | 0,0015 | 0,093 | 0,002 | 0,0006 |
| 2 | 0,042 | 2856 | 0,2047 | 0,0036 | 17 | 0,0281 | 0,0006 | 0,032 | 0,004 | 0,0109 |
| 3 | 0,029 | 466 | 0,0048 | 0,0024 | 16 | 0,0009 | 0,0021 | 0,119 | 0,001 | 0,0005 |
| 4 | 0,027 | 940 | 0,0075 | 0,0022 | 2 | 0,0009 | 0,0012 | 0,085 | 0,002 | 0,0005 |
| 5 | 0,039 | 3915 | 0,0173 | 0,0030 | 17 | 0,0020 | 0,0036 | 1,506 | 0,003 | 0,0009 |
| 6 | 0,184 | 5452 | 0,0256 | 0,0028 | 148 | 0,0043 | 0,0012 | 0,066 | 0,001 | 0,0032 |
| 7 | 0,017 | 336 | 0,0035 | 0,0010 | 6 | 0,0005 | 0,0006 | 0,043 | 0,002 | 0,0002 |
| 8 | 0,040 | 651 | 0,0118 | 0,0207 | 26 | 0,0018 | 0,0027 | 4,502 | 0,002 | 0,0009 |
| 9 | 0,034 | 632 | 0,0016 | 0,0082 | 30 | 0,0003 | 0,0010 | 0,106 | 0,002 | 0,0001 |
| 11 | 1,101 | 2727 | 0,0018 | 0,0217 | 1155 | 0,0005 | 0,0007 | 0,012 | 0,001 | 0,0007 |
| 12 | 0,017 | 753 | 0,0016 | 0,0033 | 25 | 0,0003 | 0,0003 | - | 0,001 | 0,0002 |
| 13 | 0,025 | 1930 | 0,0017 | 0,0019 | 6 | 0,0002 | 0,0010 | 0,314 | 0,001 | 0,0001 |
| 14 | 0,024 | 5740 | 0,0071 | 0,0062 | 5 | 0,0007 | 0,0016 | 1,909 | 0,004 | 0,0005 |
| 15 | 0,032 | 4546 | 0,0039 | 0,0030 | 13 | 0,0005 | 0,0017 | 1,390 | 0,002 | 0,0003 |
| 17 | 0,041 | 824 | 0,0032 | 0,0024 | 32 | 0,0004 | 0,0010 | 0,006 | 0,002 | 0,0002 |
| 18 | 0,238 | 3181 | 0,0010 | 0,0074 | 48 | 0,0001 | 0,0001 | 0,011 | 0,001 | 0,0001 |
| 19 | 0,164 | 3843 | 0,0036 | 0,0050 | 438 | 0,0006 | 0,0001 | 0,026 | 0,002 | 0,0009 |
| 20 | 0,034 | 597 | 0,0066 | 0,0037 | 11 | 0,0008 | 0,0031 | 0,086 | 0,002 | 0,0004 |
| 21 | 0,049 | 2491 | 0,0186 | 0,0043 | 51 | 0,0031 | 0,0034 | 0,148 | 0,004 | 0,0017 |
| 22 | 0,064 | 871 | 0,0008 | 0,0110 | 56 | 0,0001 | 0,0010 | 0,421 | 0,006 | 0,0002 |
| 23 | 0,150 | 4744 | 0,0015 | 0,0025 | 40 | 0,0001 | 0,0002 | 0,075 | 0,005 | 0,0001 |
| 24 | 0,063 | 417 | 0,0294 | 0,0017 | 5 | 0,0033 | 0,0100 | 0,321 | 0,002 | 0,0014 |
| 25 | 0,028 | 3613 | 0,0076 | 0,0173 | 16 | 0,0008 | 0,0019 | 0,740 | 0,002 | 0,0006 |
| 26 | 0,038 | 516 | 0,0024 | 0,0014 | 9 | 0,0002 | 0,0009 | 0,021 | 0,002 | 0,0002 |
| 27 | 0,022 | 511 | 0,0038 | 0,0035 | 9 | 0,0004 | 0,0012 | 0,057 | 0,002 | 0,0003 |
| 28 | 0,027 | 322 | 0,0029 | 0,0007 | 5 | 0,0004 | 0,0014 | 0,000 | 0,002 | 0,0003 |
| 29 | 0,095 | 4630 | 0,0067 | 0,0015 | 105 | 0,0021 | 0,0052 | 0,245 | 0,044 | 0,0026 |
| 30 | 0,048 | 8749 | 0,0073 | 0,0057 | 16 | 0,0010 | 0,0046 | 1,673 | 0,003 | 0,0007 |
| 31 | 0,032 | 4126 | 0,0054 | 0,0018 | 10 | 0,0007 | 0,0025 | 1,271 | 0,003 | 0,0004 |
| 32 | 0,111 | 2476 | 0,3631 | 0,0027 | 25 | 0,0420 | 0,0121 | 0,177 | 0,020 | 0,0145 |
| 33 | 0,051 | 3883 | 0,4136 | 0,0101 | 24 | 0,0547 | 0,0361 | 1,465 | 0,007 | 0,0198 |
| 34 | 0,038 | 461 | 0,0004 | 0,0050 | 50 | 0,0001 | 0,0041 | 0,841 | 0,002 | 0,0001 |
| 35 | 0,075 | 3132 | 0,5045 | 0,0045 | 55 | 0,0566 | 0,0185 | 0,144 | 0,011 | 0,0186 |
| 36 | 0,017 | 794 | 0,0019 | 0,0016 | 10 | 0,0002 | 0,0034 | - | 0,002 | 0,0003 |
| 37 | -0,002 | 326 | 0,0011 | 0,0006 | 13 | 0,0001 | 0,0010 | 0,031 | 0,001 | 0,0001 |
| 38 | 0,051 | 2321 | 0,0104 | 0,0030 | 17 | 0,0018 | 0,0012 | 0,003 | 0,002 | 0,0013 |
| 39 | 0,051 | 2310 | 0,0101 | 0,0006 | 19 | 0,0019 | 0,0006 | - | 0,003 | 0,0012 |
| 40 | 0,079 | 3955 | 0,0159 | 0,0004 | 45 | 0,0036 | 0,0036 | 0,005 | 0,003 | 0,0013 |
| 41 | 0,040 | 3957 | 0,0331 | 0,0163 | 94 | 0,0049 | 0,0034 | 0,105 | 0,011 | 0,0036 |
| 42 | 0,010 | 423 | 0,0024 | 0,0000 | 4 | 0,0004 | 0,0010 | 0,015 | 0,002 | 0,0002 |
| 43 | 0,150 | 3765 | 0,4814 | - | 35 | 0,0684 | 0,0047 | 0,003 | 0,018 | 0,0246 |
| 44 | 0,562 | 4170 | 0,0783 | 0,0041 | 197 | 0,0380 | 0,0023 | 0,010 | 0,003 | 0,0224 |
| 45 | 0,016 | 382 | 0,0023 | 0,0025 | 4 | 0,0004 | 0,0010 | 0,012 | 0,003 | 0,0002 |
| 46 | 0,115 | 2136 | 0,7763 | 0,0042 | 50 | 0,0556 | 0,0303 | 0,187 | 0,006 | 0,0141 |
| 47 | 0,142 | 2331 | 0,5198 | 0,0060 | 102 | 0,0553 | 0,0466 | 0,630 | 0,007 | 0,0209 |
| 48 | 0,237 | 2019 | 0,3512 | 0,0127 | 52 | 0,0456 | 0,1031 | 5,458 | 0,003 | 0,0167 |
| 49 | 0,136 | 1147 | 0,0562 | 0,0029 | 10 | 0,0054 | 0,0205 | 1,901 | 0,005 | 0,0021 |
| 51 | 0,033 | 504 | 0,0046 | 0,0038 | 7 | 0,0003 | 0,0040 | 0,023 | 0,004 | 0,0002 |
| 52 | 0,054 | 419 | 0,0019 | 0,0054 | 46 | 0,0002 | 0,0038 | 0,057 | 0,004 | 0,0002 |
| 53 | 0,171 | 4729 | 0,0380 | 0,0125 | 154 | 0,0044 | 0,0034 | 0,000 | 0,004 | 0,0021 |
| 54 | 0,032 | 562 | 0,0035 | 0,0016 | 6 | 0,0003 | 0,0028 | 0,027 | 0,003 | 0,0001 |
| 55 | 0,032 | 437 | 0,0078 | 0,0065 | 3 | 0,0006 | 0,0042 | 0,128 | 0,003 | 0,0002 |
| 56 | 0,046 | 548 | 0,0094 | 0,0114 | 6 | 0,0008 | 0,0020 | 0,094 | 0,005 | 0,0003 |
| 57 | 0,029 | 883 | 0,0038 | 0,0022 | 3 | 0,0003 | 0,0032 | 0,081 | 0,003 | 0,0003 |
| 58 | 0,122 | 1648 | 0,0031 | 0,0027 | 7 | 0,0005 | 0,0028 | 0,156 | 0,001 | 0,0002 |

| Vannverk | U | V | W | Y | Yb | Zn |
|----------|--------|-------|--------|--------|--------|------|
| 1 | 0,029 | 0,064 | 0,0043 | 0,0525 | 0,0042 | 2,3 |
| 2 | 0,096 | 0,007 | 0,0006 | 1,0677 | 0,0673 | 1,5 |
| 3 | 0,004 | 0,030 | 0,0002 | 0,0393 | 0,0031 | 90,9 |
| 4 | 0,011 | 0,056 | 0,0015 | 0,0295 | 0,0027 | 4,5 |
| 5 | 0,041 | 0,133 | 0,0028 | 0,0609 | 0,0067 | 2,5 |
| 6 | 2,025 | 0,061 | 0,0334 | 0,4650 | 0,0195 | 24,8 |
| 7 | 0,001 | 0,022 | 0,0004 | 0,0132 | 0,0006 | 0,8 |
| 8 | 0,416 | 0,116 | 0,0006 | 0,0725 | 0,0058 | 27,7 |
| 9 | 0,007 | 0,050 | 0,0024 | 0,0104 | 0,0013 | 3,0 |
| 11 | 8,595 | 0,033 | 0,0583 | 0,0602 | 0,0039 | 25,6 |
| 12 | 0,003 | 0,014 | 0,0006 | 0,0118 | 0,0011 | 20,6 |
| 13 | 0,001 | 0,017 | 0,0009 | 0,0072 | 0,0005 | 7,4 |
| 14 | 0,006 | 0,039 | 0,0016 | 0,0368 | 0,0035 | 5,2 |
| 15 | 0,003 | 0,026 | 0,0011 | 0,0193 | 0,0020 | 7,1 |
| 17 | 0,005 | 0,035 | 0,0014 | 0,0182 | 0,0016 | 1,3 |
| 18 | 1,841 | 0,091 | 0,0023 | 0,0060 | 0,0006 | 0,4 |
| 19 | 0,303 | 0,622 | 0,0260 | 0,0909 | 0,0082 | 4,0 |
| 20 | 0,007 | 0,040 | 0,0004 | 0,0301 | 0,0041 | 5,1 |
| 21 | 0,315 | 0,097 | 0,0862 | 0,2040 | 0,0105 | 16,9 |
| 22 | 0,016 | 0,027 | 0,0004 | 0,0063 | 0,0007 | 35,5 |
| 23 | 0,214 | 0,158 | 0,0014 | 0,0133 | 0,0006 | 33,8 |
| 24 | 0,019 | 0,069 | 0,0005 | 0,0903 | 0,0077 | 16,6 |
| 25 | 0,006 | 0,036 | 0,0026 | 0,0373 | 0,0033 | 12,9 |
| 26 | 0,001 | 0,025 | 0,0024 | 0,0092 | 0,0007 | 13,4 |
| 27 | 0,001 | 0,042 | 0,0007 | 0,0214 | 0,0017 | 3,7 |
| 28 | 0,007 | 0,037 | 0,0005 | 0,0172 | 0,0025 | 1,7 |
| 29 | 22,921 | 0,284 | 0,8281 | 0,2924 | 0,0146 | 8,1 |
| 30 | 0,009 | 0,030 | 0,0039 | 0,0470 | 0,0057 | 15,8 |
| 31 | 0,003 | 0,027 | 0,0065 | 0,0260 | 0,0028 | 11,4 |
| 32 | 0,515 | 0,172 | 0,0022 | 1,2408 | 0,0918 | 8,6 |
| 33 | 0,255 | 0,079 | 0,0015 | 1,9234 | 0,1423 | 19,5 |
| 34 | 0,008 | 0,021 | 0,0008 | 0,0067 | 0,0003 | 0,4 |
| 35 | 0,733 | 0,036 | 0,0050 | 1,6858 | 0,1168 | 22,6 |
| 36 | 0,002 | 0,019 | 0,0025 | 0,0096 | 0,0009 | 3,5 |
| 37 | 0,003 | 0,013 | 0,0001 | 0,0040 | 0,0006 | 7,2 |
| 38 | 0,035 | 0,022 | 0,0020 | 0,0604 | 0,0085 | 12,1 |
| 39 | 0,036 | 0,023 | 0,0013 | 0,0654 | 0,0090 | 22,1 |
| 40 | 1,633 | 0,160 | 0,6452 | 0,2880 | 0,0066 | 1,4 |
| 41 | 0,171 | 0,032 | 0,0063 | 0,2397 | 0,0248 | 25,9 |
| 42 | 0,023 | 0,014 | 0,0067 | 0,0143 | 0,0013 | 5,5 |
| 43 | 0,804 | 0,012 | 0,0012 | 2,6688 | 0,1492 | 10,4 |
| 44 | 62,050 | 1,061 | 0,3310 | 3,9639 | 0,1086 | 5,3 |
| 45 | 0,049 | 0,024 | 0,0015 | 0,0191 | 0,0017 | 2,5 |
| 46 | 0,223 | 0,050 | 0,0144 | 1,1922 | 0,0926 | 10,0 |
| 47 | 1,250 | 0,108 | 0,0031 | 1,7487 | 0,1277 | 17,3 |
| 48 | 0,881 | 0,262 | 0,0045 | 1,4262 | 0,1144 | 14,4 |
| 49 | 1,623 | 0,401 | 0,2270 | 0,1623 | 0,0129 | 6,3 |
| 51 | 0,008 | 0,043 | 0,0015 | 0,0122 | 0,0008 | 11,7 |
| 52 | 0,006 | 0,065 | 0,0039 | 0,0103 | 0,0009 | 9,8 |
| 53 | 0,675 | 0,100 | 0,0290 | 0,2646 | 0,0155 | 77,9 |
| 54 | 0,007 | 0,050 | 0,0010 | 0,0092 | 0,0007 | 12,5 |
| 55 | 0,014 | 0,069 | 0,0104 | 0,0206 | 0,0020 | 11,8 |
| 56 | 0,010 | 0,055 | 0,0018 | 0,0248 | 0,0022 | 7,3 |
| 57 | 0,018 | 0,066 | 0,0031 | 0,0122 | 0,0016 | 10,3 |
| 58 | 0,004 | 0,050 | 0,0009 | 0,0158 | 0,0015 | 5,4 |

Vedlegg 8. Brev til vannverkene

Drikkevannsprøver for analyse av sporelementer

Med utgangspunkt i HUNT, Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag, som er en del av NTNU og et av NTNU sine satsningsområder, er det opprettet et prosjekt for å kartlegge innholdet av sporelementer i drikkevann i Nord-Trøndelag. Prosjektet utføres som en masteroppgave ved NTNU, av undertegnede. Vannprøvene skal analyseres med Institutt for kjemi høyoppløselige ICP-MS-instrument, som er det mest følsomme kommersielt tilgjengelige instrumentet for bestemmelse av mange grunnstoffer (opp til 70) samtidig i en prøve. Pga. instrumentets lave deteksjonsgrenser kan vi få data for sporelementer som før i liten eller ingen grad har vært bestemt i drikkevann.

Dette prosjektet vil framskaffe en oversikt over innholdet av et stort antall grunnstoffer i drikkevannet til flertallet av befolkningen i Nord-Trøndelag. I nært samarbeid med HUNT vil dataene også bli gjort tilgjengelig og tilrettelagt i så stor grad som mulig for bruk i ulike prosjekter i HUNT, f.eks. i studier av sykdommer der innholdet av spesifikke grunnstoffer i drikkevannet kan tenkes å være en av faktorene som kan påvirke sykdommen.

Det vil være en tidkrevende jobb å reise rundt til alle vannverkene i Nord-Trøndelag for å selv hente inn vannprøvene. Derfor håper vi at vannverkene kan være behjelpelig med prøvetakingen. Alle vannverkene som deltar i prøvetakingen vil få tilsendt analyseresultatene. For å få med ulike årstider og dermed et mer representativt bilde av drikkevannet håper vi å få tatt prøver fra hvert vannverk to ganger i løpet av året, en gang nå på våren og en gang på høsten. Emballasjen (de 2 prøverørene) som ligger ved denne forsendelsen gjelder bare for første prøvetaking.

Instruks for prøvetaking:

Prøvene tas fra ferdig behandlet drikkevann, og det er viktig at vannet i springen der prøven tas får renne fritt i noen minutter før prøven blir tatt. Deretter skylles begge de 2 vedlagte prøverørene og korkene med vannet to ganger, før rørene fylles opp med vann og korkene skruses godt på.

Det er viktig at rørene ikke er åpne i lengre tid enn nødvendig. Forsøk å unngå at støv, partikler e.l. fra kran, klær, e.a. kommer ned i røret eller i korken.

De 2 prøverørene med godt påskrudde korker legges i plastposen, som lukkes og legges i en passende konvolutt, som sendes til følgende adresse:

Institutt for kjemi v/Trond Peder Flaten
NTNU
7491 Trondheim

For at denne undersøkelsen skal bli vellykket bør den omfatte så mange som mulig av deltakerne i HUNT. Undersøkelsen er helt avhengig av hjelp og assistanse fra dere ved de lokale vannverkene. Når analyseresultatene foreligger vil vannverket altså få disse tilsendt.

På forhånd hjertelig takk.

Med vennlig hilsen

Ingrid Husby
Masterstudent
Institutt for kjemi, NTNU

Trond Peder Flaten
Professor
Institutt for kjemi, NTNU

Drikkevannsprøver for analyse av sporelementer, 2. prøvetaking

I slutten av april sendte vi ut prøverør for drikkevann til alle vannverk i Nord-Trøndelag. Responsen var svært god; hjertelig takk til alle dere ved vannverkene som har vært behjelpelige! Som vi skrev i følgebrevet til utsendelsen i april, er målet få tatt prøver fra hvert vannverk to ganger. Denne forsendelsen (2 prøverør) er andre og siste utsendelse, og vi håper at dere kan være behjelpelig denne gangen også. Alle vannverkene som deltar i prøvetakingen vil få tilsendt analyseresultatene.

Drikkevannsprøvene skal analyseres for alle grunnstoffer (sporelementer/tungmetaller) som kan bestemmes med vårt ICP-MS-instrument, som er det mest følsomme kommersielt tilgjengelige instrumentet for bestemmelse av mange grunnstoffer (opp til 70) samtidig i en prøve. Dette NTNU-prosjektet vil dermed framskaffe en oversikt over innholdet av et stort antall grunnstoffer i drikkevannet til flertallet av befolkningen i Nord-Trøndelag. Dataene vil også bli gjort tilgjengelig og tilrettelagt i så stor grad som mulig for bruk i ulike prosjekter i HUNT (Helseundersøkelsen i Nord-Trøndelag), f.eks. i studier av sykdommer der innholdet av spesifikke grunnstoffer i drikkevannet kan tenkes å være en av faktorene som kan påvirke sykdommen.

Instruks for prøvetaking:

Begge de 2 vedlagte prøverørene tas samtidig, helst ved den første anledningen som er praktisk for dere. Prøvene tas fra **ferdig behandlet drikkevann**, og det er viktig at vannet i springen der prøven tas får renne fritt i noen minutter før prøven blir tatt. Deretter skylles prøverørene og korkene med vannet to ganger, før rørene fylles opp med vann og korkene skrues godt på.

Det er viktig at rørene ikke er åpne i lengre tid enn nødvendig. Forsøk å unngå at støv, partikler e.l. fra kran, klær, e.a. kommer ned i røret eller i korken.

De 2 prøverørene med godt påskrudde korker legges i plastposen, som lukkes og legges i en passende konvolutt, som sendes til følgende adresse:

Institutt for kjemi v/Trond Peder Flaten
NTNU
7491 Trondheim

For at denne undersøkelsen skal bli vellykket bør den omfatte så mange som mulig av deltakerne i HUNT. Undersøkelsen er helt avhengig av hjelp og assistanse fra dere ved de lokale vannverkene. Når analyseresultatene fra de 2 prøveseriene foreligger vil vannverket altså få disse tilsendt.

På forhånd hjertelig takk.

Med vennlig hilsen

Ingrid Husby
Masterstudent
Institutt for kjemi, NTNU

Trond Peder Flaten
Professor
Institutt for kjemi, NTNU