

Cornelia Horn

# Hvilken effekt har gruveavrenningen fra Nordgruvefeltet på vannkvaliteten i Glomma?

Masteroppgave i Kjemi  
Veileder: Øyvind Mikkelsen  
Juli 2023



Cornelia Horn

# Hvilken effekt har gruveavrenningen fra Nordgruvefeltet på vannkvaliteten i Glomma?

Masteroppgave i Kjemi  
Veileder: Øyvind Mikkelsen  
Juli 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for naturvitenskap  
Institutt for kjemi



## Sammendrag

I denne oppgaven ble vannkvaliteten i Glomma nært Nordgruvefeltet undersøkt. Hensikten med oppgaven var å undersøke hvilken effekt gruveavrenning fra Nordgruvefeltet hadde på vannkvaliteten i Glomma. Gruvearbeidet i Røros er kjent for å utvinne kobber. På grunn av dette ble det fokusert på konsentrasjonene av kobber, men også sink, svovel, jern og kadmium som er kjent til å korrelere med utvinning av kobber.

Det ble tatt vann-, sediment og bunndyrprøver i perioden fra høst 2022 til vår 2023. Prøvene ble så analysert med ICP-MS, i tillegg til at det ble målt standardparameterne pH, ledningsevne og turbiditet under prøvetaking.

Resultatene viste en signifikant økning av konsentrasjonene til kobber, sink, jern, og flere andre metaller i prøvepunktene som lå nedstrøms i utløpet av Orva, som er eleven som renner fra Nordgruvefeltet ut i Glomma. PCA-analyse antydte at prøvepunkt 4 (Orva) korrelerte med de fleste metallene og at prøvepunkt 3 (utløpet av Orva i Glomma) er delvis påvirket av prøvepunkt 4. Kobberkonsentrasjonene i prøvepunkt 4 var høyest over alle lokasjoner (82,21 µg/L), og ble funnet til å være 335% høyere enn den nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Den kjemiske tilstandsgraden for kobberkonsentrasjonene i punktene nærmest Nordgruvefeltet (punkt 3 og 4) ble definert til å være svært dårlig, mens ved punktene som ligger lenger nedstrøms Orva (punkt 1 og 2) var tilstandsgraden god.

Både tilstandsgraden for vannkvalitet og observert bestanddel av bunndyr har ledet til konklusjon om at avrenningen av Nordgruvefeltet påvirker vannkvaliteten i Glomma på en negativ måte, og at tiltak for å forhindre slik forurensning bør vurderes.

## Abstract

The purpose of this thesis was to investigate the water quality in Glomma that is located near the Nordgruvefelt and to determine which effect the mine runoff had on the water quality. The mining work in Røros is known for the extraction of copper, which is the reason why there was a specific focus on the concentrations of copper, zinc, sulfur, iron, and cadmium which are elements that are closely related to the extraction of copper.

There were taken samples of the water, sediment, and biota in Glomma in the period between fall 2022 and spring 2023. These samples were analysed by ICP-MS, in addition to measuring the parameters for water quality: pH, conductivity and turbidity, whilst collecting the samples.

The results of the analysis showed a significant increase of the concentrations of copper, zinc, iron, and other elements downstream of the outlet of the river Orva, which is the river connected to the mines in Nordgruvefeltet. The PCA-analysis suggested that location 4 (Orva) is closely related to most of the metals and that location 3 (outlet of Orva) is partially affected by location 4. Location 4 had the highest concentration of copper over all locations 82,21 µg/L and had 335% more copper than the location with the next highest concentration, which was location 3. The copper concentrations at location 3 and 4 were much higher than the limit, which means that the runoff from the mines affect the water quality and biota negatively, whilst the concentrations downstream were within the limits.

Both the observed concentrations and the constituent of benthic animals lead to conclude that the runoff from the mines had a negative effect on the water quality in Glomma, and that measures should be taken to prevent more pollution.

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet under lektorutdanning i realfag, LUR, ved institutt for kjemi på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven ble utført i perioden august 2022 til juli 2023.

Jeg vil starte med å takke min veileder, professor Øyvind Mikkelsen, som har hjulpet meg gjennom hele prosessen, både med feltarbeid og skrijving av masteroppgaven. Jeg vil også takke senioringeniørene Kyyas Seyitmuhammedov og Anica Simic, som har gjennomført ICP-MS analysen av prøvene.

Til slutt vil jeg takke mine gode venninner Minda Nielsen og Ellen Bull, som har vært utrolig viktige støttespillere både i og utenfor studiene. Jeg vil også takke min gode venn og «partner-in-crime» Robin Nikolai Terjesen, som har gjort feltarbeid, studietid og fritiden mer spennende, og som alltid vet hvilke knapper han må trykke for å sette meg ut. Jeg vil også takke gruppen jeg spiller D&D med og kollegaene mine, som har bidratt til pauser i masterskriving. Og til slutt vil jeg takke Lena Berg Hamnes som har brukt tid på korrekturlesning.

# Innhold

1 Innledning.....	1
2 Teori .....	2
2.1 Kilder til forurensning.....	2
2.1.1 Naturlige kilder .....	2
2.1.2 Antropogene kilder .....	3
2.1.3 Gruvedrift i Røros .....	5
2.2 Jordkjemi.....	5
2.3 Vannkjemi .....	7
2.3.1 Temperatur .....	7
2.3.2 pH .....	8
2.3.3 Ledningsevne.....	10
2.3.4 Turbiditet .....	10
2.3.5 Metaller og metalloider i vann.....	11
2.3.6 Konsekvenser for miljøet.....	13
2.4 Bunnlevende organismer.....	13
2.5 Instrumentelle teknikker .....	15
2.5.1 Analysemetoder: pH, ledningsevne og turbiditet .....	15
2.5.2 ICP-MS.....	18
2.6 Kvalitetssikring og statistisk analyse.....	19
2.6.1 Prøvetaking .....	19
2.6.2 Statistisk behandling av data .....	20
3 Metode.....	24
3.1 Prøvetaking av vannprøver og måling av parameterne .....	24
3.2 Beskrivelse av hvert prøvepunkt .....	26
3.2.1 Punkt 1 (62.5525153499435, 11.290491779976195) .....	27
3.2.2 Punkt 2 (62.586570, 11.328784).....	28
3.2.3 Punkt 3 (62.625490, 11.371146).....	30
3.2.4 Punkt 4 (62.632699, 11.370581).....	32
3.2.5 Punkt 5 (62.634622, 11.389462).....	33
3.2.6 Punkt 6 (62.670336, 11.430070).....	35
3.3 Bunndyrsprøvene og sediment prøver .....	36
3.3.1 Punkt 3a (62.626259, 11.371181) .....	37
3.3.2 Punkt 5a (62.633460, 11.379453) .....	39
3.3.3 Behandling av sediment og bunndyrsprøver.....	39
3.4 Prosedyre for ICP-MS analyse .....	40
4 Resultater .....	40
4.1 Parametere .....	41



4.1.1	Temperatur .....	41
4.1.2	pH .....	42
4.1.3	Ledningsevne .....	43
4.1.4	Turbiditet .....	44
4.2	Resultater fra ICP-MS .....	45
4.2.1	Vannprøver .....	45
4.2.2	Sediment og bunndyrprøver .....	55
5	Diskusjon .....	59
5.1	Observasjoner gjort under prøvetaking .....	59
5.2	PCA og parameterne for vannkvalitet .....	60
5.3	Utfelling.....	62
5.4	Grenseverdier .....	63
5.4.1	Grenseverdier for ferskvann .....	63
5.4.2	Grenseverdier for sediment.....	65
5.4.3	Grenseverdier for bunndyr .....	66
5.5	Tiltak mot forurensing.....	67
5.6	Sammenligning av historiske dataverdier med nåværende verdier .....	68
5.7	Kvalitet av prosjektet og videre arbeid .....	69
6	Konklusjon .....	70
7	Kilder .....	71
	Vedlegg A – Mann Whitney U test .....	74
	Vedlegg B – Utregning av konsentrasjon til CaCO <sub>3</sub> i prøvepunktene 1-4.....	75
	Vedlegg C – Data for parameterne ved de ulike prøvepunktene .....	76
	Vedlegg D – Data for vannprøvene i de ulike prøvepunktene .....	78
	Vedlegg E – Data for sediment og bunndyrprøver ved punkt 3a og 5a .....	85

# 1 Innledning

Røros er kjent for mye forskjellig, fin natur, koselig vintermarked og ikke minst gruvedrift. Siden 1980 har Røros stått på UNESCOs liste over verdens mest bevaringsverdige kulturminner på grunn av bergstadens særegne gruvemiljø og trearkitektur. Gruvedriften var aktiv i 333 år, og skapte rikdom for eiere og staten, men det som har vært med på å gi Røros tittelen som verdensarvsted har også medført store konsekvenser for miljøet. Til tross for at gruvedriften i Røros ble avsluttet i cirka 1977, er gruvene og slagghaugene fortsatt med på å forurense vann. Overvåkingen av forurensningen startet på 1970-tallet, men få tiltak for å hindre videre forurensning har blitt gjort siden da. Miljødirektoratet vurderer stadig tiltak som kan rette på forurensningen, som har ført til dårlig vannkvalitet flere steder, men statusen Røros har som verdensarvby kan sette en stopper for slike tiltak. Til tross for tittelen som verdensarvsted er det nødvendig å forhindre utslippene, da vi fortsatt ser effekten av de 50 år etter at gruvedriften stoppet i Røros ([1](#)).

De viktigste gruvefeltene i Røros er Storz-området og Nordgruvefeltet. Denne masteroppgaven er en studie om gruveavrenning fra Nordgruvefeltet, hvor det har blitt undersøkt om avrenningen fra gruvene har en effekt på vannkvaliteten i Glomma. Avrenningen fra Nordgruvefeltet stammer blant annet fra Kongens gruve via Orva som har utløp i Glomma. I denne oppgaven har det blitt gjennomført undersøkelser av vannkvaliteten av Glomma i høsten 2022, i tillegg til prøvetakinger av sediment og bunndyrprøver i våren 2023. Det har blitt undersøkt parametere for vannkvalitet, i tillegg til at det har blitt analysert vannprøver, sediment- og bunndyrprøver ved hjelp av ICP-MS. Ved å sammenligne resultatene for vannkvaliteten som pH, ledningsevne, turbiditet og konsentrasjonsverdier for ulike grunnstoff i punkter som ligger oppstrøms og nedstrøms for utløpet har det blitt forsøkt å svare på problemstillingen som lyder:

*«Hvilken effekt har gruveavrenningen fra Nordgruvefeltet på vannkvaliteten i Glomma?».*

I tillegg har det blitt gjort en vurdering av forurensningsnivåene for ulike grunnstoffer langs de ulike prøvetakingspunktene opp mot norske grenseverdier.

## 2 Teori

### 2.1 Kilder til forurensning

Tungmetaller angis ofte som grunnstoffer med en tetthet som er lik eller høyere enn  $5 \text{ g/cm}^3$ . Tungmetaller forekommer gjerne naturlig i naturen og kan fungere som mikronæringsstoffer for planter. Dette medfører at noen planter har lett for å ta opp slike tungmetaller. Siden store mengder tungmetaller virker giftige, vil dette medføre store problemer ovenfor dyre- og planteliv (2). Siden tungmetallforurensning er et stort miljøproblem er det viktig å minimere utslipp, og å overvåke områder der det er kjent at det er blitt sluppet ut mye tungmetaller til naturen. Slike områder kan være alt fra landbruksområder, industriområder, gruvedriftsområder og utslipp av tettsted. Det skilles mellom naturlige og antropogene, eller menneskeskapte, kilder.

#### 2.1.1 Naturlige kilder

Naturlige kilder for tungmetaller stammer som oftest fra moderbergarter. Innholdet av tungmetaller varierer mellom forskjellige bergarter (3). Når disse bergarter forvitres, enten kjemisk eller fysisk, blir disse brudd ned i mindre bestanddeler, og gjør det dermed enklere for metaller og tungmetaller å slippes inn i naturen. Typiske bergarter i Røros området og spesielt ved Nordgruvefeltet er Kalkfylitt (405), Gabbro (113) og Metagråvakke (421) (4), se figur 2.1.1.1. Gabbro er for eksempel typiske kilder for kopper (Cu), sink (Zn), Mangan (Mn) og Vanadium (V). Det er i tillegg vanlig å finne kobberkis ( $\text{CuFeS}_2$ ) i Røros. Kobberkis er gjerne assosiert med andre tungmetaller, som Zn, bly (Pb), kadmium (Cd), arsen (As), selen (Se), antimon (Sb), nikkel (Ni), platina (Pt), molybden (Mo), gull (Au), tellur (Te) (5).



**Figur 2.1.1.1:** Oversikt over typer bergarter som finnes i nærheten av Nordgruvefeltet og ved Glomma (4).

## 2.1.2 Antropogene kilder

Det finnes også en rekke antropogene, eller menneskeskapte, kilder for forurensning i naturen, slik som landbruk, industri og gruvedrift.

### 2.1.2.1 Gruvedrift

En av historiens mest signifikante kilde til forurensning er grunnet metallholdig malm som ligger igjen i naturen etter gruvedrift. Det dannes sedimenter fra finmalte partikler av disse malmene, som er kjent som avgangsmasser eller slagghauger. Tidligere ble de sluppet direkte ut i elver, men for å unngå for mye kontaminering har blant annet The Rivers Pollution Prevention Act funnet opp en løsning hvor gruveavrenning skal gjennom to dammer før de kan slippes ut i elver. På denne måten vil metallene kunne havne i sedimentene til dammene og ikke i elvene (5). I Norge finnes Loven om erverv og utvinning av mineralressurser (mineralloven) som etablerer et system for tilgang til mineralressurser og som regulerer leting, undersøkelse og utvinning av mineraler. I tillegg tar denne reguleringen også hensyn til miljøet. Ifølge mineralloven § 50 har aktuelle aktører oppryddingsplikt, og må sørge for forsvarlig opprydding

av området mens arbeidet pågår og etter det er avsluttet (6). Direktoratet for mineralforvaltning, som har fått fullmakt fra Nærings- og fiskeridepartementet, sørger for forsvarlig sikring etter tidligere mineralvirksomhet, og skal gjennomføre tiltak for å redusere miljøkonsekvenser av slik virksomhet (7). Slike tiltak kan være et slamdeponi som The Rivers Pollution Prevention Act har beskrevet, sikring av gruvemassene mot avrenning ved tildekking av et tett sjikt, eller utbedring av grøftesystem og survannnett, for å minimere mengden rent vann som tilføres til gruveområdet (8).

#### 2.1.2.2 Landbruk

Landbruk er også signifikante kilder for tungmetaller i naturen. En oversikt over vanlige gjennomsnittlige konsentrasjoner av tungmetaller i Europa er vist i tabell 2.1.2.2.1. Studier har vist at gjødsel fra husdyr som kveg, gris og kylling er gode kilder for Cu og Zn i jord (5).

**Tabell 2.1.2.2.1:** Gjennomsnittlig vekt (mg/kg) av tungmetaller i ulike typer gjødsel (5).

<b>Manure</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Cattle FYM</b>	0.3	7.5	23	4.4	3.8	119
<b>Cattle Slurry</b>	0.4	6.9	42	6.2	5.6	207
<b>Pig slurry</b>	0.3	9.4	193	12	3.0	934
<b>Broiler (Chicken/Turkey)</b>	0.4	20	89	6.2	3.7	353

#### 2.1.2.3 Byjord og industriell kontaminering

Det har vist seg at konsentrasjonen av tungmetaller i jord nær bygder og andre infrastrukturer som veger er høyere enn i jord på landet. Typiske tungmetaller er Pb, Cd og Zn. For byjord finnes det mange ulike typer kilder som påvirker denne typen jord. Eksempel på slike kilder er deponisjon av støv og aerosol partikler fra forbrenning av fossilt brensel, korrosjon av metallstrukturer som gjerder, broer, etc., eller teknogenisk materiale. Teknogeniske materialer dekker et stort område og er substanser som er laget av mennesker. Dette kan innebære steinbruddsavfall, rester fra konstruksjon, riveavfall, asker, og mer (5). Teknogenisk avfall er ofte forbundet med industriell kontaminering. Gjennomsnittlige konsentrasjoner av Cu, Zn, Pb, Hg, Ni og Sn er høyere i industriell jord enn i byjord. Innholdet av tungmetaller er avhengig av hvilken type industri det er i nærheten.

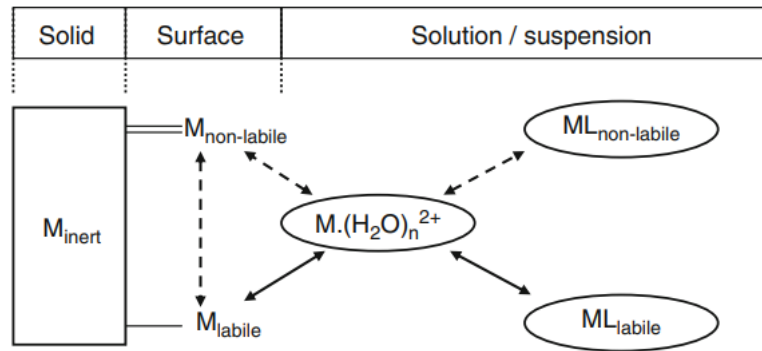
### 2.1.3 Gruvedrift i Røros

Gruvedrift i Nordgruvefeltet omfatter kobbergruver og hadde en driftsperiode fra 1657 til 1977. Gruvedriften var sporadisk i begynnelsen, da driften ved Nordgruvene gikk dårlig, men i 1849 ble det gjort gjennomslag. På det tidspunktet ble det lettere å transportere vann og malm ut av gruvene. I 1889 ble det for eksempel transportert 32 000 tonn svovelkis ( $\text{FeS}_2$ ) og 4 800 smeltemalm (9). Nordgruvefeltet har bidratt med 60% av kobbertilførselen og 70% av sinktilførselen som var del av forurensningen ut i Glomma. Overvåking av avrenning fra gruvene ble startet på 1970-tallet. Gruveavrenning fra Nordgruvefeltet drenerer til elven Orva, som renner ut i Glomma og er preget av slam som gjennom flere hundre år har kommet med Orva (10).

En årsrapport fra 2021 har overvåket miljøtilstanden i vannforekomster ved Nordgruvefeltet. I denne rapporten ble det tatt prøver fra tre lokaliteter. Prøven ble tatt fra Orva som er nærmeste resipient til Nordgruvefeltet. I tillegg ble det tatt prøver oppstrøms og nedstrøms av utløpet til Orva i Glomma. Det har blitt påvist en svært dårlig kjemisk og økologisk tilstand i Orva. Dette påvirket også prøvepunktet i Glomma som ligger nedstrøms for Orva, som hadde mye dårligere tilstandsklassifisering enn prøvepunktet som lå oppstrøms (11). Analyser av vannprøver har vist at gjennomsnittskonsentrasjonene av kobber, sink og kadmium overstiger grenseverdien for årlig gjennomsnitt (AA-EQS) gitt i Vannforskriften i både Orva og i prøvepunktet som ligger nedstrøms av utløpet. Gjennomsnittsverdiene for kobber, sink og kadmium for prøvepunktet som ligger oppstrøms for utløpet er lavere enn den angitte AA-EQS. Det er altså tydelig at avrenning fra Nordgruvefeltet har en negativ påvirkning på den kjemiske tilstanden i elven ifølge årsrapporten fra 2021. Den gjennomsnittlige kobberkonsentrasjonen øker fra 1,16  $\mu\text{g/L}$  før utløpet av Orva til 38,65  $\mu\text{g/L}$  etter utløpet av Orva (11).

## 2.2 Jordkjemi

Metaller og metalloider undergår ulike reaksjoner og interaksjoner i jorden. Figur 2.2.1 viser hvordan metaller deler seg i den faste fasen og forandres til ulike specier i en løst fase.



**Figur 2.2.1:** Skjematisk representasjon av likevekten til tre fase divalent metallion i jord (5).

$M_{\text{inert}}$  er metaller som kun responderer til forandringer i løsninger over lenger tid, enten ved forvitring, organisk nedbrytning eller forandringer i redoksstadiene.  $M_{\text{inert}}$  kan omdannes til  $M_{\text{non-labile}}$  eller til  $M_{\text{labile}}$  former når de befinner seg på kontaktflaten mellom fast fase og løsning.  $M_{\text{non-labile}}$  representerer «ikke-labile» metaller som ikke er reversible og viser sorpsjonshysterese. De holdes i former som er kinetisk begrenset og reagerer sakte på skiftende forhold. Det kan likevel oppstå desorpsjon uten forandringer i redoksstadiet eller dekomposisjon av absorpsjonssubstratet. Ikke-labile metaller eksisterer i jordfaste stoffer eller i løsninger knyttet til ligander (ML) som humussyre.  $M_{\text{labile}}$  representerer «labile» metallioner som responderer reversibelt (adsorpsjon og desorpsjon) og nesten umiddelbart til forandringer i løsningslikevekten og viser ikke sorpsjonshysterese. Disse eksisterer i mange forskjellige kjemiske former, inkludert også løselige ligandkomplekser.  $M.(H_2O)_n^{2+}$  representerer de frie hydrerte metallionene. Disse blir ofte definert som de biotilgjengelige metallformer, men det er også gode bevis for at komplekser i løsninger ( $ML_{\text{labile}}$  og  $M_{\text{non-labile}}$ ) også bidrar til biotilgjengeligheten av metaller. De formene som befinner seg i jordløsningen som  $M.(H_2O)_n^{2+}$ ,  $ML_{\text{labile}}$  og  $ML_{\text{non-labile}}$  er lette å transportere via dreneringsvann (5).

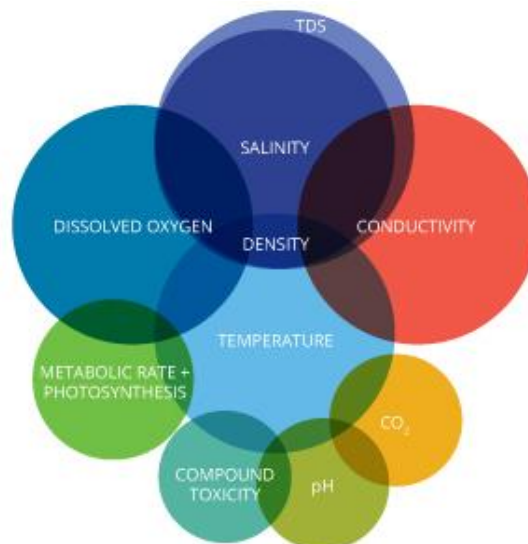
Tungmetaller og spormetaller blir ofte adsorbent av kolloidale partikler i jord, blant annet humus. Jord inneholder store bestanddeler av humus, som er en kompleks sammensetning av ulike organiske forbindelser. Dette materialet er et organisk materiale som dannes i jord når planter og dyr brytes ned. Humus inneholder mange kjemiske grupperinger som gjør det enkelt for tungmetaller å binde seg til. En konsekvens med dette er at det gjør det enklere for tungmetaller å bli fraktet til overflatevann, som elver eller innsjøer (12). Slik avrenning er en viktig kilde for tungmetaller i vann. Tungmetaller i overflatejord i gruveområder migrerer som oftest ved hjelp av avrenning og sediment transport som er påvirket av nedbør (13).

## 2.3 Vannkjemi

Vannkjemi fokuserer på kjemiske reaksjoner og prosesser som påvirker fordelingen og sirkulasjonen av kjemiske specie i naturlige vann ([14](#)). Kjemiske specie er definert som i hvilken spesifikk form et grunnstoff eksisterer i når det befinner seg i vann. Eksempelvis kan et grunnstoff presentere seg som et hydrert ion, et molekyl, en kompleksdannelse med et annet ion eller molekyl, og så videre ([14](#)). Innholdet av grunnstoffer i naturlig vann er et resultat av et kontinuerlig samarbeid mellom jorden og vannet. Gjennom forvitring, erosjon og jord- og sediment dannelse blir det tilført, fjernet eller omdannet mange bestanddeler i vann. Andre faktorer som påvirker hvordan kjemiske specie oppfører seg er temperatur og pH.

### 2.3.1 Temperatur

Temperatur kan påvirke en rekke egenskaper ved vann, blant annet smak, lukt, løselighet og viskositet. I tillegg kan temperatur påvirke kjemiske reaksjoner og biosorpsjonsprosesser av oppløste metaller i vann ([15](#)). Når kvaliteten av vann vurderes er det en rekke parametere som blir påvirket av temperatur, se figur 2.3.1.1.



**Figur 2.3.1.1:** Temperaturen i vann påvirker nesten alle andre parametere for vannkvalitet ([16](#)).



Uten å ta hensyn til andre parametere kan temperatur påvirke metabolske hastigheter og biologisk aktivitet til vannlevende organismer. Temperatur kan påvirke oppførselen til akvatiske organismer ved at organismene flytter seg til varmere eller kaldere vassdrag (16).

Temperatur kan også påvirke løseligheten og dermed toksisiteten til ulike kjemiske forbindelser, blant annet metaller som Cd, Zn og Pb. Grunnen til dette er at metallene kan bli omdannet til mer toksiske specier av seg selv og blir dermed mer biotilgjengelige (16). Løseligheten av metaller vil også påvirke ledningsevnen til vannet. Det er mange salter som er mer løselige ved høyere temperaturer, som vil medføre at de blir løst opp og blir om til ioner i vannløsningen. Siden det da er mer ioner til stede vil også ledningsevnen til vannet være høyere (16). pH påvirkes ved at ionekonsentrasjonen av hydrogen ( $H^+$ ) og hydroksyl ( $OH^-$ ) forandrer seg, alt etter om temperaturen øker eller synker. Dette betyr derimot ikke at en løsning blir mer surt eller basisk, men at hele pH skalaen vil forandre seg, slik at naturlig vann vil ha en annen pH-verdi enn 7. Ved  $0^\circ C$  vil pH-verdien ligge på 7,47, ved  $25^\circ C$  vil pH-verdien ligge på 7,00, og ved  $100^\circ C$  vil pH-verdien være 6,14 (16).

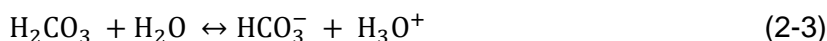
Andre parametere som blir påvirket av temperatur er tettheten av vann, løseligheten av gasser som  $O_2$ , og så videre.

### 2.3.2 pH

pH er et av de viktigste parameterne innenfor vannkvalitet og defineres som den negative logaritmen av konsentrasjonen til hydrogenioner ( $H^+$ ) eller oksoniumioner ( $H_3O^+$ ), se formel (2-1) (17).

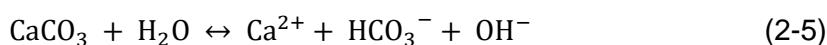
$$pH = -\log[H_3O^+] \quad (2-1)$$

pH indikerer hvorvidt en løsning er sur eller basisk. Dersom en løsning, for eksempel vann, er sur inneholder en høyere konsentrasjon av hydrogenioner ( $H^+$ ), mens en basisk løsning vil inneholde høyere konsentrasjoner av hydroksylioner ( $OH^-$ ) (15). pH rangeres fra 0 til 14, hvor 7 har en nøytral pH, det vil si det er lik konsentrasjon av hydrogen- og hydroksylioner. Rent vann har en teoretisk pH-verdi på 7 ved  $25^\circ C$ , men det er en rekke faktorer som kan påvirke pH-verdien i vann. For eksempel har regnvann en pH-verdi på sirka 5,6 grunnet forsurening av atmosfærisk karbondioksid gass ( $CO_2$ ) (15). Dette er fordi  $CO_2$  løses opp i vann og inngår en likevekt som



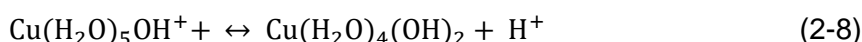
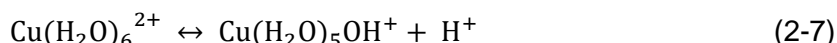
Denne likevekten blir forskjøvet etter påvirkning utenfra systemet, det vil si at det blir høyere konsentrasjoner av  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ved høyere konsentrasjoner av  $\text{CO}_2$ . Denne forskyvingen av likevekt følger Le Chatelier prinsippet, som er en regel om hvordan kjemiske reaksjoner i kjemisk likevekt forskyver seg når de blir påvirket. Prinsippet går i tillegg ut på at likevekten blir forskjøvet på en slik måte at effekten motvirkes. Faktorer som påvirker dette prinsippet er blant annet konsentrasjonen i reaktantene eller produktene, endring i trykk eller volum eller endring i temperatur ([18](#)).

Ved tilstedeværelse av kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) kan kalk oppføre seg som buffer for forandring av pH-verdien i vann.  $\text{CaCO}_3$  kan binde seg sammen med  $\text{H}^+$  ioner for å nøytralisere pH ([19](#)), se formel (2-5) og (2-6). Disse reaksjonene er også påvirket av Le Chatelier prinsippet. I tilfeller hvor det er overflødig  $\text{CaCO}_3$  tilstede vil dette medføre en økning av pH i vannet, og vannet vil være lett basisk ([20](#)).



Kalking av vassdrag er et vanlig tiltak for å nøytralisere syrer i vann og dermed forbedre vannkvaliteten og beskytte det biologiske mangfoldet i vann ([21](#)).

Når det kommer til metallioner kan disse eksistere som ulike specier i vann. I vann kan oksygenatomet oppføre seg som en lewisbase, i den formen at den donerer elektroner,  $e^-$ . På samme måte kan metallioner anses som å være en svak lewisbase, som aksepterer  $e^-$ . Mange metallioner koordinerer fire til seks vannmolekyler per ion, som da fører til at  $\text{H}_2\text{O}$  oppfører seg som en svak syre.  $\text{H}_2\text{O}$  molekyler som er i hydreringsskallet til et metall er mye surere enn  $\text{H}_2\text{O}$  molekyler i vann. Dette er grunnet frastøtning av protoner fra  $\text{H}_2\text{O}$  molekylet når det binder seg til positivt ladde metaller, se eksempel i formel (2-7) og (2-8).



Den generelle syrekonstant for specier med  $m$  hydroksogrupper er  $K_m$ , se formel (2-9).

$$K_m = \frac{[\text{Me}(\text{OH})_m^{(n-m)}][\text{H}^+]^m}{[\text{Me}^{n+}]} \quad (2-9)$$

På grunn av dette er det forventet at surheten av akvatiske metallioner vil øke med avtagende radius og en økning av ioneladningen av senterionet (14).

### 2.3.3 Ledningsevne

Ledningsevne i vann måler evnen av en løsning til å bære eller lede en elektrisk strøm. Siden elektrisk strøm blir båret av ioner, vil ledningsevnen øke når konsentrasjonen av ioner/salter i løsningen også øker (15). Det er ulike faktorer som kan påvirke konsentrasjonen av ionene i vannet. Dersom det for eksempel finnes steiner i elver, kan ledningsevnen øke dersom steinene bryter lett ned. Dette er avhengig av geologien i området. I områder hvor det for eksempel finnes hovedsakelig granitt vil ledningsevnen ikke være like høy, siden granitt består av bestanddeler som ikke ioniseres i like stor grad (22). Årstiden kan også påvirke ledningsevnen. Dersom temperaturen blir varmere, stiger ledningsevnen, fordi vannet fordampes og konsentrasjonen av saltinnholdet øker. Når det dannes is om vinteren kan ledningsevnen i vannet også øke, da salter ikke er en del av isdannelsen. Om våren, når isen smelter, synker ledningsevnen, siden smeltevannet fortynner konsentrasjonen av saltene (23).

### 2.3.4 Turbiditet

Turbiditet i vann omhandler hvor mange partikler det er i vannet, det vil si hvor klart vannet er (15). Det kan forekomme partikler fra eksempelvis plankton eller alger, som gjør at vannet kan bli mer uklart. Turbiditet er proporsjonalt avhengig av mengde partikler i vannet. Det vil si at vann med høy turbiditet inneholder mer partikler enn vann med lave verdier for turbiditet (24). Denne parameteren kan bli påvirket av ulike forhold, blant annet vær. Ved snøsmelting eller mye regn blir partikler transportert fra landområde til elver og innsjøer. I tillegg til dette kan også hastigheten av elveavrenningen øke med økte mengder vann. I slike tilfeller kan det forekomme en økt fluks fra sedimenter i elvene. En annen kilde som påvirker turbiditet er alger, da vekst av disse organismene forhindrer at sollys trenger gjennom til vannkolonnen (24). Turbiditet er med på å påvirke konsentrasjonen av tungmetaller i vann. Suspenderte partikler i vannet kan bidra med adsorpsjon av tungmetaller som kvikksølv, krom eller Pb (15). Det vil si at det forekommer mer adsorpsjon av tungmetaller i vann med høy turbiditet, enn i vann med lav turbiditet.

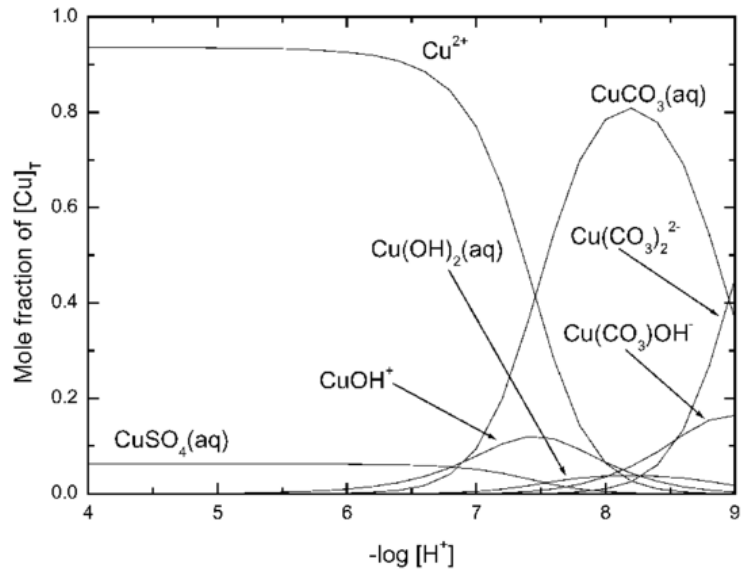
### 2.3.5 Metaller og metalloider i vann

De fleste metaller og metalloider i vann presenteres som suspenderte kolloider eller er fiksert av organiske eller mineralske stoffer. Mange metaller eksisterer ikke som løselige specier veldig lenge, før de akkumuleres i bunnsedimenter eller plankton. Den kjemiske specie av metallene i vann er avhengig av en rekke faktorer, som pH, hvilken andre specier som er til stede, og egenskapen til metallionene og de bundne funksjonelle gruppene av speciene som blir formet (25). Tabell 2.3.5.1 viser en oversikt over typiske specier som finnes i vann.

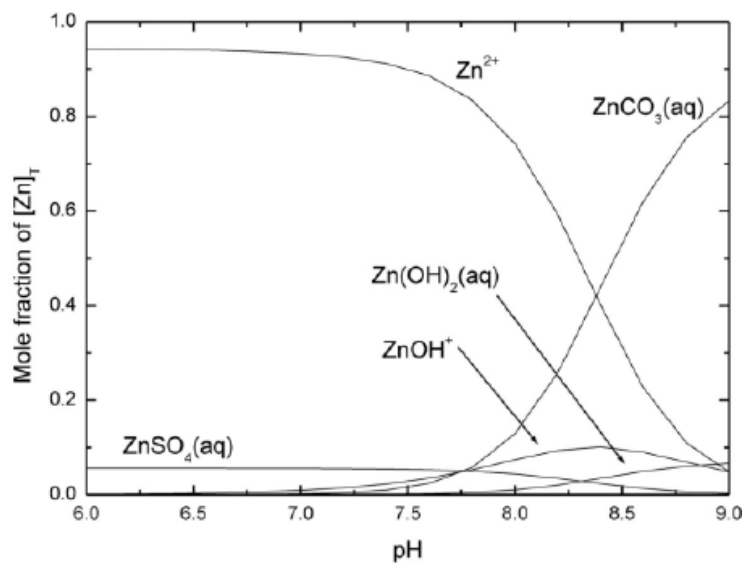
**Tabell 2.3.5.1:** Oversikt over typiske kjemiske specier som kan bli funnet i naturlige vannkilder (25).

Tungmetall	Kjemiske specier
Li	$\text{Li}^+$
B	$\text{B}(\text{OH})_3$ , $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$
Al	$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$
Cr	$\text{Cr}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4^+$ , $\text{CrO}_4^{2-}$
Mn	$\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{MnCl}^+$
Fe	$[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$ , $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^-$
Co	$\text{Co}^{2+}$
Ni	$\text{Ni}^{2+}$
Cu	$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Cu}(\text{OH})^+$ , $\text{Cu}^{2+}\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cu}^{2+}\text{CO}_3^{2-}$
Zn	$\text{Zn}(\text{OH})^+$ , $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , $\text{ZnCl}^+$ , $\text{ZnCl}_2$ , $\text{ZnCO}_3$ , $\text{Zn}^{2+}$
Se	Se(IV), Se(VI)
Rb	$\text{Rb}^+$
Mo	$\text{MoO}_4^{2-}$
Cd	$\text{CdCl}^+$ , $\text{CdCl}_2$ , $\text{CdCl}_3^-$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{CdCO}_3$
Cs	$\text{Cs}^+$
Hg	$\text{HgCl}_2$ , $\text{HgCl}_3^-$ , $\text{HgCl}_4^{2-}$ , $\text{HgOHCl}$ , $\text{Hg}(\text{OH})_2$
Pb	$\text{Pb}^{2+}$ , $\text{PbCO}_3$ , $\text{PbCl}^+$ , $\text{PbCl}_2$ , $\text{PbCl}_3^-$ , $\text{Pb}(\text{OH})^+$ , $\text{Pb}(\text{OH})_2$ , $\text{Pb}(\text{OH})_3^-$ , $\text{Pb}_3(\text{OH})_4^{2+}$ , $\text{Pb}_4(\text{OH})_4^{4+}$

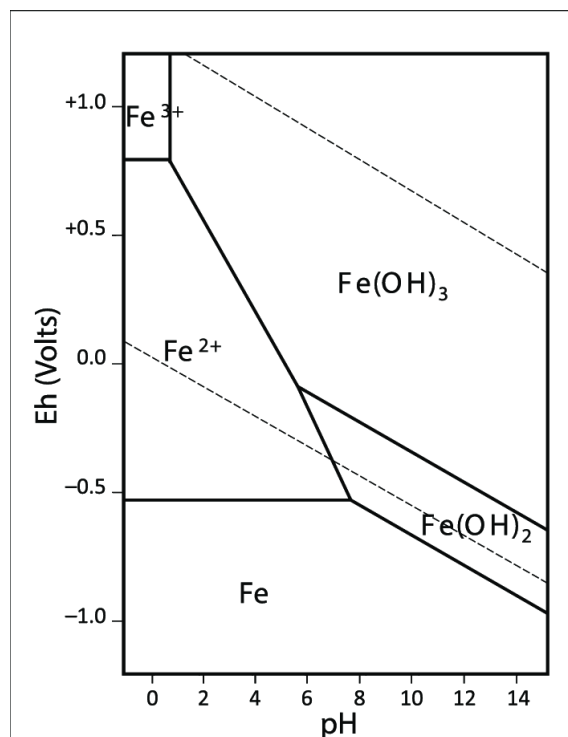
Figurene 2.3.5.1, 2.3.5.2 og 2.3.5.3 viser også en oversikt over i hvilken form metallene Cu, Zn og Fe mest sannsynligvis vil eksistere ved en gitt pH og redokspotensiale (figur 2.3.5.3).



Figur 2.3.5.1: Diagram som viser oversikt over kjemiske specier av kobber ved ulike pH-verdier (26).



Figur 2.3.5.2: Diagram som viser oversikt over kjemiske specier av sink ved ulike pH-verdier (27).



**Figur 2.3.5.3:** Diagram som viser oversikt over kjemiske specier av jern ved ulike pH-verdier og redokspotensiale (28).

### 2.3.6 Konsekvenser for miljøet

Forurensing av vann kan medføre en rekke ulemper. Den kan for eksempel forandre pH av vann, som kan gjøre miljøet farlig for dyre- og plantelivet i vannet. Forsuring av vannet kan for eksempel forminske bestanddelen av ulike dyrearter og organismer i vannet, ved at membran blir skadet, og mindre fiskeegg klekkes. pH påvirker i tillegg kjemikalier som er løst i vann, enten ved å øke løseligheten eller at andre specier av kjemikaliene blir dannet. Tungmetaller som kadmium, bly og krom løses opp enklere i veldig surt vann, som kan danne mer toksiske varianter av disse metallene, i tillegg til at de blir mer løselige og biotilgjengelige. I tillegg til forandringer av pH-verdien kan metaller ved for høye konsentrasjoner være toksiske for dyre- og planteliv.

## 2.4 Bunnlevende organismer

Det er mange levende organismer i ferskvann, blant annet bunndyr. Bunndyr er små virvelløse dyr som lever hele eller deler av livet på bunnen i ferskvann. Bunndyr er først og fremst insekter, men det kan også være mark, igler, muslinger, små krepsdyr og vannmidd. Bunndyr

er en mangeartet gruppe og reagerer ulikt på forskjellige typer forurensning (29). Bunndyr og vanninsekter bidrar med blant annet filtrering og rensing av vann. I tillegg har bunndyr et relativt langt liv i vassdrag, er stedefne og beveger seg ikke noe særlig (30). Derfor er bunndyr nyttig i miljøovervåkning i vann, fordi de er gode indikatorer for forskjellige typer forurensning og miljøbelastninger (31). Noen bunndyrarter finnes i mange miljø, mens andre har strenge miljøkrav og finnes kun i miljøer som tilfredsstillende disse kravene. Slike miljøfaktorer er for eksempel pH i vann eller temperatur. Ved forurensning avtar antall arter og den relative mengden av forurensningsfølsomme bunndyr avtar til fordel for mer forurensningstolerante bunndyr (29). Andre faktorer er miljøgifter som tungmetaller. I tillegg til å se om bunndyr overlever i ulike miljø kan bunndyr også brukes til å teste verdier av tungmetaller. Dette er fordi de kan akkumulere tungmetaller ofte over tid, og det vil medføre at resultatene blir mindre påvirket av kortvarige endringer av konsentrasjoner i vannet (29).

Å bruke bunndyr i miljøovervåkning kalles biomonitorering, og er et svært nyttig redskap til å vurdere forurensning av metaller i det akvatiske økosystemet, i tillegg til effektene slik forurensning kan ha. Ved hjelp av denne vitenskapelige metoden kan miljøet, og hvorvidt mennesker er utsatt for naturlige eller syntetiske kjemikalier, vurderes. Ved å ta prøver og analysere disse organismene, kan det observeres om organismene har blitt eksponert for noen kjemikalier. Kjemikaliene etterlater seg spesifikke markører som kan være tegn på at organismene har blitt eksponert. Det kan være kjemikalien som har blitt tatt opp, eller biprodukt som produseres når kjemikaliene blir brutt ned i organismen. Biomonitorering gir informasjon om konsentrasjonen av kjemikaliene, og de korresponderende effektene kjemikaliene kan ha. Organismene som brukes til biomonitorering bør ha spesielle egenskaper for å egne seg som en bioindikator. Eksempler for slike egenskaper er at de kan akkumulere høye nivåer av forurensningen uten at organismene dør, at de ikke forflytter seg for mye, og derfor representerer lokal forurensning, at de lever i vann, har en viktig posisjon i næringskjeden, og mange flere. Fordeler med biomonitorering i forhold til vann og sediment analyser er blant annet at de avslører biologiske forandringer av organismer som blir påvirket av eksogene kjemikalier, og at de kan oppdage konsentrasjoner av kjemikalier som ikke blir oppdaget under andre instrumentelle analyser, for å bare nevne noen (32).

Bunndyr blir samlet ved å bruke sparkemetoden (33), som beskrevet i NS-EN ISO 10870:2012. En håv på cirka 25 x 25 cm med et finmasket nett (cirka 250 µm) plasseres mot bunnen. Det «sparkes» opp stein og grus på bunnen opp foran håven. På denne måten vil løsnete bunndyr bli fanget opp av håven. Ulemper med sparkemetoden er at den ikke er tilstrekkelig til å være

egnet til bestandsestimering, men den gir uansett nok informasjon om lokaliteten og om den er utsatt for tilførsel av miljøgifter (34).

Ifølge en årsrapport fra 2021 har det blitt foretatt biotaundersøkelser i Glomma. Området rett nedstrøms utløp fra Orva har blitt vurdert som uegnet i 2018, grunnet mye mudder og sand. Likevel ble det foretatt bunndyrsprøver selv om det har blitt forventet lav artsdiversitet og at det ikke eksisterte noe sammenligningsgrunnlag. I 2021 ble det funnet ett individ av de mest forurensingssensitive ETP-artene. ASPT-indeksen indikerer også dårlig økologisk tilstand siden det var svært få dyr i prøven. Dette kan indikere forurenset gruveavrenning som årsak, men de fysiske forholdene med mye mudder og fin sand kan også ha påvirket resultatet (11).

## 2.5 Instrumentelle teknikker

### 2.5.1 Analysemetoder: pH, ledningsevne og turbiditet

Det finnes flere analysemetoder for å teste de ulike parametere som er sentrale innenfor vannkjemi. Blant disse parameterne er det pH, ledningsevne og turbiditet.

#### 2.5.1.1 pH

Det finnes ulike teknikker for å måle hydrogenioneaktiviteten av en løsning. Disse er delt inn i visuelle, fotometriske og potensiometriske metoder (17). Både visuelle og fotometriske metoder er avhengige av fargeforandringer, og kan i noen tilfelle være upålitelige. Faktorer som kan påvirke om visuelle og fotometriske metoder er pålitelige er om løsninger er uklar eller om de inneholder kjemiske forbindelser som kan oksidere eller redusere fargene på indikatorene og dermed produsere ukorrekte resultater. Dette problemet har ikke potensiometriske metoder, som bruker pH-sensitive elektroder til å måle det elektriske potensialet i en løsning.

Glasselektroder er et av de viktigste indikatorelektrodene for hydrogenioner. Det er et allsidig verktøy og kan brukes for å måle pH under mange ulike forhold. Denne elektroden kan brukes i en rekke løsninger uten at sterke oksidanter, reduktanter, protein eller gasser påvirker resultatet, i tillegg til at det egner seg å bruke glass elektroder i feltarbeid (35). For å kunne reproducere resultatene flere ganger i flere laboratorier er det viktig at det finnes en standard



definisjon av pH. Denne definisjonen er omtrent lik den teoretiske definisjonen av pH, og ble blant annet godkjent av National Institute of Standards and Technology (NIST) og IUPAC. Disse standardene baserer seg på kalibrering av pH-meteret med standard buffere og deretter måling av ukjent pH (35). Når elektroden befinner seg i standardbufferen kan  $pH_s$  defineres som

$$pH_s = \frac{E_s - C}{0,0592} \quad (2-10)$$

Hvor  $E_s$  er det elektriske potensialet som dannes fra bufferen, C er en konstant som baserer seg på potensialet i referanselektroden og 0,0592V er gasskonstanten og Faraday konstanten forenklet til Nernst konstanten. På lik måte kan  $pH_U$  bestemmes for en ukjent løsning som

$$pH_U = -\frac{E_U - C}{0,0592} \quad (2-11)$$

Ved å kombinere disse to definisjonene for pH, blir det dannet den operasjonelle definisjonen av pH, se formel (2-12).

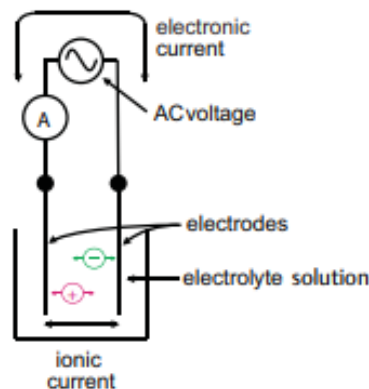
$$pH_U = pH_s - \frac{E_U - E_s}{0,0592} \quad (2-12)$$

Det er viktig å merke seg at den ikke har evnen til å måle aktiviteten til ioner, så den operasjonelle definisjonen gir ikke den eksakte pH som den er teoretisk definert, se formel (2-1) (35).

Til tross for fordelene glasselektroden medfører finnes det også ulemper som er viktig å være klar over. Det vil blant annet forekomme avvik i målingene når pH er under 0,5 og over 9. Ved pH under 0,5 kan verdiene, som blir registrert av glasselektroden, være høyere enn de egentlig er. Den kan i tillegg gi lavere pH-verdier ved pH over 9, da den kan bli sensitiv ovenfor alkalimetallioner. Dersom løsningen har en lav ionisk styrke, kan pH avvike med opptil 2 enheter. Dette kan forekomme i vann som elver eller innsjøer (35). Hovedgrunnen til denne feilkilden er at det har oppstått ikke-reproduserbare krysspensialer grunnet delvis tetting av pluggen eller det porøse fiberet som blir brukt til å forminske flyten av løsningen fra saltbroen til analyttløsningen. Det finnes dog løsninger som frie diffusjonskryss av ulike typer som skal forhindre slik tetting. En fundamental kilde som ikke kan løses er kryss-potensiale variasjonen som resulterer fra ulikhetene mellom den standard og den ukjente løsningen. Til sist er det også viktig å ha kalibrert pH-meteret korrekt og å ha riktige kalibreringsløsninger tilgjengelig, da feil ved dette steget kan medføre feil pH målinger i fremtidige prøvetakinger (35).

### 2.5.1.2 Ledningsevne

Ledningsevne er en parameter som måler hvor godt en løsning leder strøm. Dette gjøres ved hjelp av en konduktivitetsensor eller et multimeter. Det finnes to typer sensorer: kontaktende og induktiv. Valget av hvilken sensor som bør brukes er avhengig av hvor bra ledningsevne løsningen har, hvor etsende den er og hvor mange suspenderte partikler som er til stede. Generelt sett er den induktive sensoren mest egnet når det er høy ledningsevne, løsningen er etsende eller det er suspenderte partikler til stede. I andre tilfeller er det best med kontaktende sensorer (36). Slike sensorer består av to metall elektroder, som er i kontakt med elektrolytt løsningen, se figur 2.5.1.2.1.



**Figur 2.5.1.2.1:** Ved denne to-elektrode konduktivitessensor blir bevegelsen av ioner i det elektriske feltet ført gjennom løsningen som strøm (36).

Analysatoren tilfører en vekselspanning til elektrodene, som fører til et elektrisk felt som tvinger ioner til å bevege seg fram og tilbake, og dermed produsere strøm. Denne strømmen blir kalt ionisk strøm. Analysatoren måler strømmen og bruker Ohm's lov til å beregne motstanden av løsningen (motstand = spenning/strøm). Ledningsevnen til løsningen er lik motstanden. Noen sensorer har fire elektroder, hvor analysatoren sender vekselspanning gjennom de to ytre elektrodene og måler spenningen gjennom de to indre elektrodene (36). Hastigheten på strømflyten er så avhengig av konsentrasjonen til ionene som er til stede. Dersom konsentrasjonen av ionene er høy, er ledningsevnen høy. Dersom ionekonsentrasjonen er lav vil ledningsevnen ikke være like høy, og avlesningen vil også være lavere (37).

Måleenheten for ledningsevne er microsiemens per centimeter ( $\mu\text{s/cm}$ ) og vanlige verdier i ferskvann som elver er mellom 0-200  $\mu\text{s/cm}$  (23). Måleinstrumentene som måler ledningsevne

er temperaturavhengig, slik at ledningsevnen kan øke med omtrent 2% per °C. Grunnen til dette er at mobiliteten til ioner øker når temperaturen øker, i tillegg til at løseligheten av mange salter og mineraler i vann også øker (38).

### 2.5.1.3 Turbiditet

Turbiditet måles med et turbidimeter, som bruker enheten NTU. Turbidimeteret måler antallet partikler i vann ved å sende lys gjennom prøven og detektere lyset som blir sluppet gjennom prøven. Retningen til den transmitterte lysbanen vil forandre seg når lyset treffer partikler i vannprøven (39). Dersom turbiditeten måles til å være lav vil det si at det ikke eksisterer mange partikler i vannprøven, som medfører at lyset ikke treffer særlig mange partikler og lysbanen ikke vil forandre seg like mye. Mengden av reflektert lys er proporsjonelt til mengden av partikler i vannet, jo mer partikler i vann, dess mer lys blir reflektert, og det måles høyere turbiditet. Turbiditet med mer enn 5 NTU kan være synlig for det blotte øyet, mens gjørmete vann kan ha en turbiditet på mer enn 100 NTU. Grunnvann har forholdsvis lav turbiditet fordi jorden som vannet renner gjennom oppfører seg som en naturlig filter (15).

### 2.5.2 ICP-MS

Induktiv koblet plasma massespektrometri (ICP-MS) baseres på at en induktiv koblet plasma (ICP) er koblet til et masse spektrometer. ICP blir brukt til å ionisere elementene i prøven. Ionene som dannes blir så separert ut fra forholdet mellom ionets masse og ladning. ICP-MS er spesielt nyttig i grunnstoff analyser på spornivåer. ICP-MS-analysen er sekvensiell, men fordelen ved den er dens evne til å analysere prøven så fort at den oppleves som simultant (25).

Prøven, oftest i væskeform, blir pumpet inn i introduksjonssystemet, hvor den blir omdannet til en aerosol og finner sin vei til injektoren på basen av plasmaet. På vei gjennom plasmabrenneren blir den tørket, fordampet, atomisert og ionisert. Prøven går altså fra å være en væske aerosol, til tørre partikler og så til gass. Når prøven når den analytiske sonen ved 6000-7000K eksisterer prøven som ioner i gassfase, som representerer den elementære sammensetningen av prøven. Atomer som fortsatt eksisterer i grunntilstanden sin, kan bli omdannet til ioner ved å tilsette nok energi i plasmaet. Da fjernes ett elektron fra atomets orbital slik at et fritt ion blir skapt. Det er akkurat denne genereringen, transporter og deteksjonen

av positivt ladde ioner som gir ICP-MS dens evne til å detektere ionene. Det er også viktig å legge merke til at ICP ikke kun danner positive ioner, men også negative ioner. Men fordi ekstraksjonen og transportering av negative ioner er annerledes, er de mest kommersielle instrument ikke egnet til å måle negativt ladde ioner (40).

Det finnes tre ulike typer interferenser som kan hindre gode resultater fra en ICP-MS-analyse. Disse er spektral-, matriks- og fysisk-baserte interferenser. Men med moderne analyseinstrument, kombinert med gode analytiske metoder, kan konsekvensene av interferensene bli forminset (40). I tillegg til interferenser er det også viktig å ta hensyn til eventuell kontaminering når prøvene blir tatt, og eventuelt også senere ved behandling og ved analysen (40).

## 2.6 Kvalitetssikring og statistisk analyse

### 2.6.1 Prøvetaking

Som oftest finnes sporelementer i naturlige prøver i svært små mengder, enten µg/L eller ng/L. Derfor er det viktig med en god prosedyre når prøvene tas for å forhindre kontaminering av prøvene og tap av analyttene. Ved å følge ISO-rutiner kan ulike prosjekt kvalitetssikres. Ved hjelp av ISO-rutiner kan prosjektet eller forsøket bli repetert av andre, og på denne måten vil resultatene kunne sammenlignes uten å måtte bekymre seg for altfor mange feilkilder. Vannprøver kan tas fra en rekke ulike områder, som for eksempel vannkraner, overflatevann fra elver, innsjøer, estuarine eller havvann, regnvann, og de ulike typer avrenninger assosiert med industri, gruvedrift, deponiavfall, motorveier og kloakk- og vannbehandlingsanlegg. For å få representative og reproducerbare prøver er det viktig å ta prøvene ofte over en lengre periode (25).

Før prøvetaking bør beholderne for prøven behandles for å unngå kontaminering. Beholderne som anvendes bør kun bestå av polyetylen eller Teflon. Disse bør ha blitt vasket og lagret i 10% HNO<sub>3</sub> for to dager, og renses med dobbel destillert deionisert vann. Alle beholdere som har blitt renses bør lagres i rene polypropylenposer frem til de skal anvendes. Ved prøvetaking av overflatevann er det vanlig å bruke beholdere laget av polyetylen. Det er mulig å benytte seg av en teleskoparm som har en slik beholder festet til seg for å unngå kontaminering grunnet støv eller oppvirvling av sedimenter. De fleste vannprøver må filtreres umiddelbart etter prøvetakingen. Dette fjerner alger, bakterier og partikler som kan kontaminere eller

adsorbere spormetaller fra vannet. Ved filtrering er det anbefalt å bruke 0,5 µm membran filter. Etter prøvene ble tatt må prøvene forsures, vanligvis med 2 mL HNO<sub>3</sub> eller 5 M HCl, for å redusere eller eliminere sporelementadsorpsjon og hydrolyse (25).

I teorien bør alle prøvene analyseres med en gang, men i realiteten er dette ikke praktisk gjennomførbart. Derfor bør det igangsettes stabiliseringstiltak for å kunne lagre prøvene. Før slike tiltak blir gjennomført må alle assosierte målinger som pH, ledningsevne og temperatur fullføres. Vannprøvene bør så lagres et kjølig, mørkt sted, gjerne i et kjøleskap, ved 4°C (25).

Konsentrasjoner av spormetaller i jord og sedimenter er gjerne mye høyere enn i vannprøver, men prosedyren for rengjøring av prøvebeholderne er lik som for vannprøver. Ved sediment prøver er det viktig med en gjennomtenkt strategi når det kommer til prøvetakingen. Det er viktig å ta variasjonen av sesongen, klima, vannføring og dybde på for eksempel elven i betraktning, da disse faktorene kan ha en innvirkning på både sedimentene og de assosierte biota (25). Etter at prøvene har blitt samlet bør de tørkes før de kan bli dekomponert.

## 2.6.2 Statistisk behandling av data

### 2.6.2.1 Generell statistikk

Gjennomsnittet er en matematisk metode for å beregne middelveidien i et datasett, og representeres av symbolet  $\bar{x}$ . (35) Gjennomsnittet beregnes ved å dele summen av verdiene på antall verdier i et datasett, se formel (2-13).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2-13)$$

Gjennomsnittet kan så brukes for å bestemme standardavviket, som måler presisjonen til et gitt datasett. Standardavviket,  $\sigma$ , måler variasjonen av verdiene i forhold til gjennomsnittsverdien, og beregnes ved å bruke formel (2-14).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2-14)$$

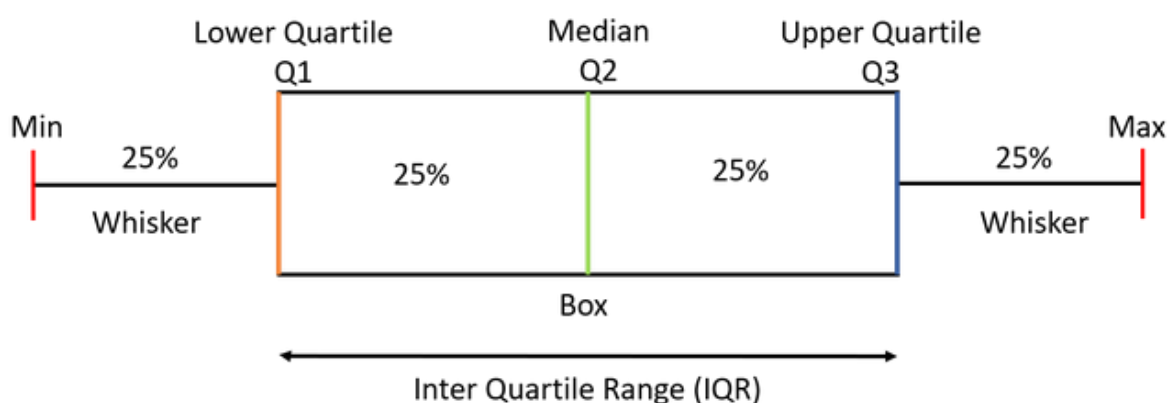
Hvor  $\bar{x}$  er gjennomsnittet og N er antallet datapunkt av populasjonen. Lave standardavvik indikerer at verdiene er nærme gjennomsnittet, som igjen vil bety at verdiene er presise.

Median er middelverdien i et datasett som har blitt arrangert i numerisk rekkefølge. Median brukes dersom datasett har verdier som avviker vesentlig fra andre verdier i datasettet, som kan påvirke gjennomsnittsverdien på en signifikant måte. På denne måten vil disse verdiene ikke ha like mye effekt.

### 2.6.2.2 Boksdiagram

Et boksdiagram er en grafisk metode som visualiserer fordelingen av data i kvartiler og fremhever gjennomsnittet og uteliggere. Datasettet deles inn i kvartiler, og det lages en boks mellom det første og tredje kvartil. I det andre kvartilet vil median markeres med en linje. Gjennom boksen vil det strekke en vertikal linje som kalles whisker. Denne linjen angir variasjonen utenfor øvre og nedre kvartil, og punktene som ligger utenfor whiskers betraktes som uteliggere (41). Boksdiagramer kan anvendes til å visualisere og sammenligne data mellom ulike lokasjoner.

Median markeres i det andre kvartilet som betyr at 50% av observasjonene er mindre enn median. På lik måte er 25% av observasjonene mindre enn nedre kvartil og 75% av observasjonene mindre enn øvre kvartil. Whisker vil representere minimum- og maksimumsverdien utenfor første og tredje kvartil. Punktene utenfor whisker vil være uteliggere. Et eksempel på et boksdiagram er gitt i figur 2.6.2.2.1.



Figur 2.6.2.2.1: Eksempel på et boksdiagram (42).

### 2.6.2.3 Mann-Whitney U test

Mann-Whitney U test brukes for å undersøke kontinuerlige eller ordinære datasett som ikke er normalfordelt, og leter etter signifikante forskjeller mellom to uavhengige grupper. Testen slår sammen dataene fra begge gruppene og sorterer dataene etter verdien (rang), for å så sammenligne hele fordelingen i datasettet. Ettersom Mann-Whitney U test ikke bruker gjennomsnittsverdien vil uteliggere i datasett ikke ha stor effekt på sammenligningen. Dersom distribusjonen til de to gruppene har en lignende form, vil den også sammenligne medianen til hver gruppe. Ved symmetrisk distribusjon er median det samme som gjennomsnittet (43).

Hypotesene ved en Mann-Whitney U test er ganske lik hypotesene for den uavhengige t-test, og kan være følgende:

Null hypotesen: Der er ingen forskjell mellom de to gruppene

Alternativ hypotese: Der er en forskjell mellom de to gruppene.

For å beregne Mann-Whitney U Test slår den sammen dataen fra begge gruppene og rangerer de fra lavest til høyest verdi. Dette gjøres for å bestemme rangerings summen,  $T_1$  eller  $T_2$ , som skal brukes til å bestemme U-verdien, se tabell 2.6.2.3.1, hvor  $n_1$  er antall rangeringer i gruppe 1 og  $n_2$  er antall rangeringer i gruppe 2. I Mann-Whitney U testen blir det minste tallet av  $U_1$  eller  $U_2$  anvendt. U-verdien brukes så til å bestemme z-verdien, se tabell 2.5.2.3.1, hvor  $\mu_U$  er den forventede U-verdien og  $\sigma_{u_{corr}}$  er standardfeilen av U. Dersom  $n_1 + n_2 < 30$  brukes den eksakte signifikansen, z-verdi. Er  $n_1 + n_2 > 30$ , blir det anvendt p-verdien som er en asymptotisk signifikans. Ved hjelp av kalkulatorer kan z-verdien omregnes til p-verdien. I tilfeller hvor den kalkulerte z-verdien er større enn den kritiske z-verdien, er det forskjeller mellom gruppene (43). U-verdiene kan også sammenlignes med kritiske U-verdier fra tabeller for å bestemme om det er en signifikant forskjell. Dersom U er større eller lik den kritiske verdien blir dette ansett som at det er en signifikant forskjell mellom datasettene (44). I tillegg brukes effektstørrelse,  $r$ , til å måle styrken av forholdet mellom to variabler i datasett. I tilfeller hvor  $r$  er mindre enn 0,3 har forholdet lite effekt. Dersom  $r$  er mellom 0,3 og 0,5 vil den ha medium effekt og er  $r$  større enn 0,5 har den stor effekt. Dette betyr at  $r$  verdier som er lave har liten betydning for forholdet mellom variablene eller forskjellen mellom gruppene.

**Tabell 2.6.2.3.1:** Ulike statistiske verdier av Mann-Whitney U Testen oppsummert.

Rangerings sum	$T_1$ eller $T_2$	$\sum_{i=1}^{n_1} T_{1i}$
Mann-Whitney U	$\text{Min}(U_1, U_2)$	$U_1 = n_1 * n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - T_1$ $U_2 = n_1 * n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - T_2$
z-verdi	z	$z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_{u_{corr}}}$
Effektstørrelse	r	$r = \frac{ z }{\sqrt{n}}$

#### 2.6.2.4 Prinsipalkomponentanalyse (PCA)

Prinsipalkomponentanalyse (PCA) er en statistisk teknikk for å tolke resultater fra store datasett. Datasett kan ha mange variabler å ta hensyn til når disse skal tolkes, som kan gjøre det vanskeligere å sammenligne data mot hverandre. PCA omdanner alle data til unike punkt i et koordinatsystem som kan ha flere dimensjoner. PCA reduserer så dimensjonaliteten til koordinatsystemene og øker tolkningsevnen uten å miste verdifull informasjon (45). Denne analysemetoden brukes så til å finne mønster og korrelasjoner mellom ulike verdier. Disse korrelasjonene mellom observasjonene og variablene blir presentert som punkter i et to-dimensjonalt koordinatsystem (46). Når PCA plot skal tolkes må det brukes score og dens tilhørende loadings plot. Scores er koordinatene av prøvene i det nye systemet, og loadings er det korresponderende forholdet mellom de originale variablene og de nye prinsipielle bestanddelene. PCA forkaster ingen prøver eller egenskaper (variabler). I stedet blir dataene komprimert til prinsipalkomponenter (PC). PCs beskriver variasjonene og redegjør for de varierende påvirkningene av de opprinnelige egenskapene. Disse påvirkningene (loadings) kan spores tilbake fra PCA-plottet for å finne ut hva som produserer forskjellene mellom klyngene. Når det forekommer et vanlig eller underliggende element som korrelerer med mange ulike variabler kalles dette en latent variabel (47).

Når PCA brukes, er det viktig å ha kjennskap til ulike feilkilder. På denne måten kan man unngå mistolkninger av analysen. Den beste strategien er å unngå å gjøre feil under analysen, siden

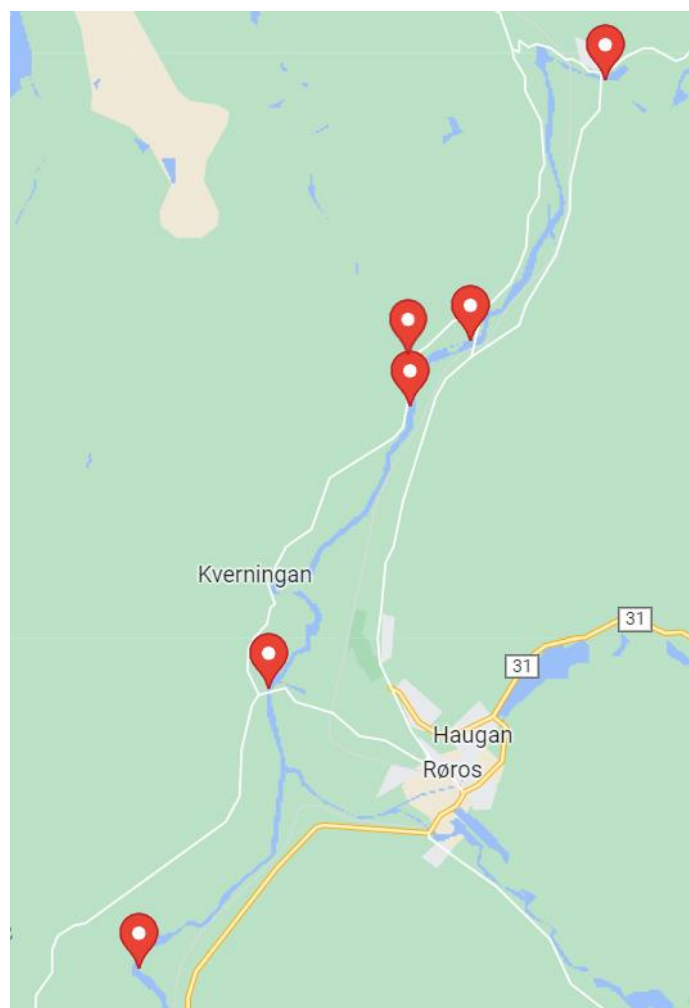


dette er den største feilkilden. Andre feil kan oppstå når datasettene ikke inneholder informasjonen man tror, man bruker for få eller for mange PCs, man ikke fjerner de rette feil, og mange flere (47).

## 3 Metode

### 3.1 Prøvetaking av vannprøver og måling av parameterne

Vannprøver og måling av parameterne pH, ledningsevne, temperatur og turbiditet ble tatt ved seks ulike prøvepunkter langs elven Glomma, hvor prøvepunktene har blitt avbildet i figur 3.1.1. Prøvetakingen ble foretatt i løpet av høsten 2022: 26. September, 11. Oktober, 21. Oktober og 22. Oktober.



**Figur 3.1.1:** Oversikt over plasseringene hvor prøvene ble tatt. Øverst oppstrøm og nederst nedstrøms.

Utstyret som ble brukt under prøvetakingen var lik for alle prøvetakingspunktene og kan sees listet opp i tabell 3.1.1.

**Tabell 3.1.1:** Oversikt over hvilket utstyr som ble brukt, samt hva utstyret ble laget av.

Utstyr	Materiale	Artikkelnummer
Kasteflaske	High Density Polyetylen (HDPE), med skrulokk laget av polypropylen, PP	NALG312199-0008 ( <a href="#">48</a> )
Prøveflaske, 100 mL	Low Density Polyetylen (LDPE)	215-5631 ( <a href="#">49</a> )
Prøverør, 15 mL	Sentrifugerør PP med polyetylen (PE) kork, metallfri	525-1121 ( <a href="#">50</a> )
Prøverør, 50 mL	Sentrifugerør PP med PE-kork, metallfri	525-1125 ( <a href="#">50</a> )
Sprøyte, 20 mL	Sprøyter i PP til engangsbruk. polyisopren-stopper, uten lateks	613-2046 ( <a href="#">51</a> )
Sprøytefilter, 0.45 µm	Polyetersulfon (PES) membran, Hylsen rundt membran PP	PES 514-1261 ( <a href="#">52</a> )
CC-kopp, 20 mL	Polystyren (PS) med PE-lokk	720-0812 ( <a href="#">53</a> )
Salpetersyre, HNO <sub>3</sub>	Ultra Pure, destillert med IKJ med Milestone SubPur System	
Certified Reference Material, 50 g	MODAS-2 Bottom Sediment (M-2 BotSed)	No. 0382

Prosedyren for prøvetakingen og målingen av de ulike parameterne var lik ved alle prøvetakingspunktene. Prosedyren for vannprøvetaking i elver og bekker fulgte NS-EN ISO 5667-6:2016 ([54](#)). Vannprøvene ble samlet ved hjelp av en kasteflaske som ble renses tre ganger med ellevann fra hvert prøvepunkt. Det ble samlet en ufiltrert prøve i en 100 mL stor prøveflaske som også har blitt renses tre ganger på forhånd for å unngå kontaminering. Det ble fylt vann i prøveflasken med skrulokk, og flasken ble ristet, slik at flasken ble skylt med vann. Deretter ble flasken tømt, og renseprosedyren ble repetert to ytterligere ganger.

Prøvene til ICP-MS ble tatt med en 20 mL sprøyte fra kasteflasken. Sprøyten ble skylt tre ganger ved å trekke inn vann inni sprøyten og deretter tømme sprøyten for vannet. Etter at sprøytene ble renses ble det satt på et sprøytefilter. Dette filteret og prøverøret ble renses

samtidig ved å sprute 3 mL vann gjennom filteret i prøverøret. Prøverøret ble skrudd igjen med skrulokket og røret ble ristet. Vannet ble så tømt, og prosedyren ble gjentatt slik at røret og filteret ble rensset totalt tre ganger. Til slutt ble det filtrert 10 mL av vannet i prøverøret. For hvert punkt ble det tatt to prøver til ICP-MS. Til sammen ble det tatt 48 vannprøver til ICP-MS.

Sprøytene som ble brukt til å samle vannet for ICP-MS prøvene ble byttet ut etter hvert. Totalt ble det brukt tre sprøyter for hver gang. Det ble brukt en sprøyte for prøvepunkt 1, 2 og 3 (nedstrøms), en sprøyte for punkt 4 (i forurensningskilden) og en sprøyte for punkt 5 og 6 (oppstrøms).

Proseduren for måling av pH fulgte NS-EN ISO 10523:2012 (55). For å måle pH og temperatur ble det anvendt et WTW 3430 multimeter med en SenTix 940 pH elektrode. Dette multimeteret ble kalibrert med en bufferløsning av pH 4, 7 og 10. Det ble brukt et sertifisert referansemateriale (referanse ved 20°C), Centipur®, Supelco® (56). Prosedyren for å måle ledningsevne fulgte NS-ISO 7888:1985 (57) og instrumentet som ble brukt var et WTW 350i multimeter med en ConOX elektrode. Multimeteret ble kalibrert med en konduktivitets-standard ved 25°C; med 0,007 mol/L KCl, for å nå en konduktivitet på 1000 µS/cm (58). Elektrodene av de to apparatene ble plassert i vannet cirka en meter unna elvekanten, hvor de lå i minimum fem minutter i vannet, før verdiene for temperatur, pH og ledningsevne ble avlest. Prosedyren for turbiditet fulgte NS-EN ISO 7027-1:2016 (59) og ble målt ved hjelp av et Turbiquant 1100 IR instrument. Kalibreringen av instrumentet ble gjort ved hjelp av kalibrerings set til Turbiquant 110IR med tre standarder, 1000 NTU, 10 NTU og 0,02 NTU (60). Vannet ble samlet ved hjelp av en kasteflaske, og turbiditet ble målt umiddelbart etter innhenting av prøven.

Vannprøvene ble forberedt til ICP-MS analysen ved å tilsette 3 dråper av 1M HNO<sub>3</sub> til hvert av prøverørene. Prøvene ble så lagret i kjøleskapet med en temperatur på under 5°C, fram til de ble analysert.

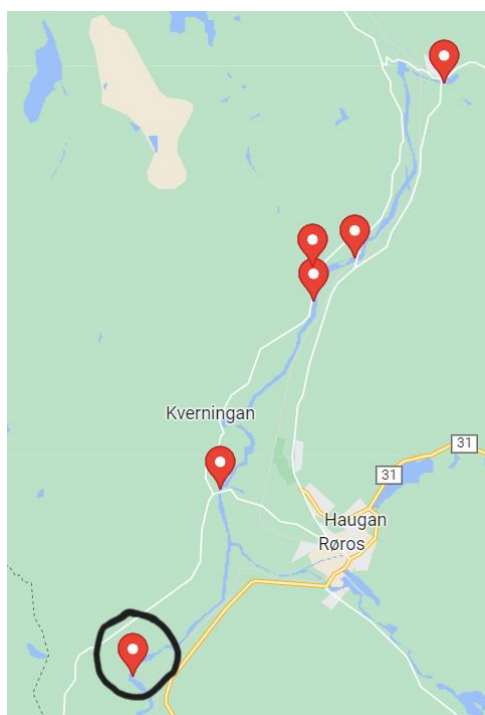
### 3.2 Beskrivelse av hvert prøvepunkt

Prøvene ble samlet i en gitt rekkefølge hvor prøvetakingen startet nedstrøms og ble avsluttet oppstrøms av bekken som antakeligvis er mest kontaminert. Tabell 3.2.1 viser også en oversikt over noen fellesfaktorer for hvert prøvepunkt.

**Tabell 3.2.1:** Oversikt over mulige fellesfaktorer for hvert prøvepunkt.

Fellesfaktor	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6
Nedstrøms	x	x	x			
Oppstrøms					x	x
Bilveier	x	x			x	x
Vegetasjon	x	x			x	x
Landbruk	x					
Jern			x	x		
Kalk					x	x

### 3.2.1 Punkt 1 (62.5525153499435, 11.290491779976195)



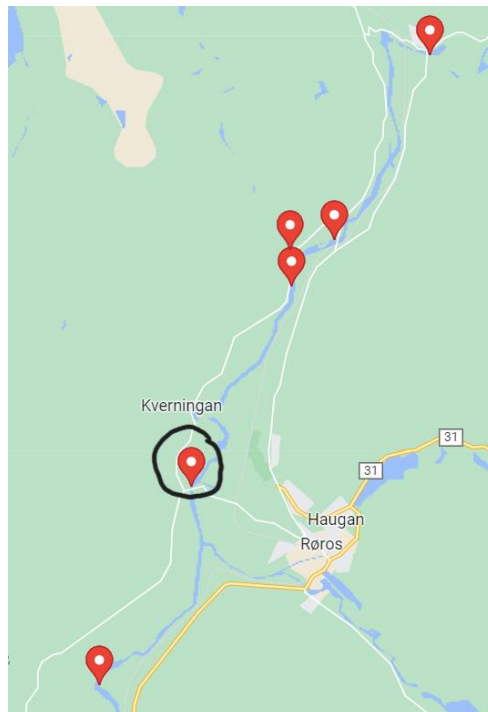
**Figur 3.2.1.1:** Oversikt over plassering av Punkt 1 i kart, markert med ring rundt (nedstrøms).

Punkt 1 befinner nedstrøms og lengst unna elven Orva som er direkte knyttet til avrenningen av Nordgruvefeltet. Denne lokasjonen befinner seg nedstrøms av Røros Gjenvinningsstasjon. Det ble observert litt vegetasjon i elven, nærmest elvekanten.



**Figur 3.2.1.2:** Bildet av Punkt 1.

3.2.2 Punkt 2 (62.586570, 11.328784)



**Figur 3.2.2.1:** Oversikt over plassering av Punkt 2 i kart, markert med ring rundt (nedstrøms).

Punkt 2 befinner seg nedstrøms av Orva som er knyttet til Nordgruvefeltet. Den ligger i tillegg nært Røros lufthavn, og ligger nært en vei som sannsynligvis er høyt trafikkert. Det fantes også en del vegetasjon langs elvekanten.

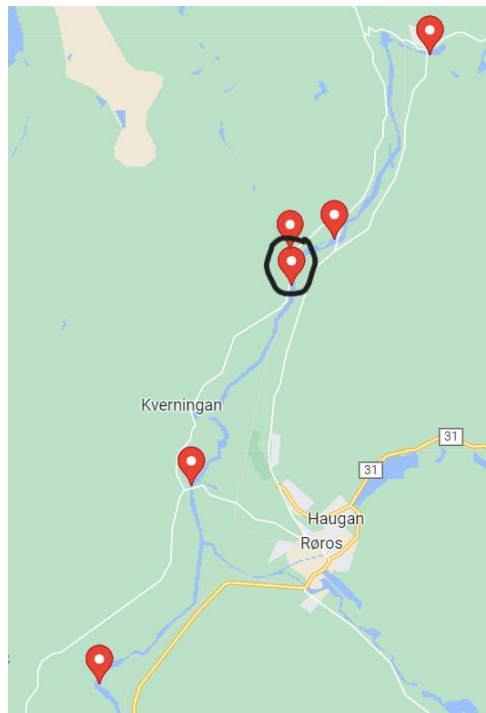


**Figur 3.2.2.2:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 2.



**Figur 3.2.2.3:** Mye vegetasjon langs elvekanten.

### 3.2.3 Punkt 3 (62.625490, 11.371146)



**Figur 3.2.3.1:** Oversikt over plassering av Punkt 3 i kart, markert med ring rundt (nedstrøms).

Punkt 3 befinner seg rett ved utløpet av Orva i Glomma. Denne lokasjonen ligger ikke ved en vei som er like høyt trafikkert som de andre, da denne ligger langs en grusvei. I forhold til de siste to prøvestedene var vannet relativt grunt. I tillegg ble det observert mye sand og stein som var rødfarget.



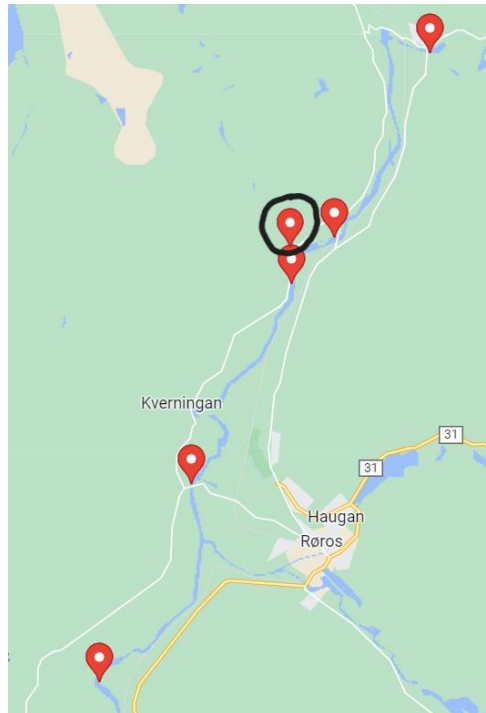
**Figur 3.2.3.2:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 3.



**Figur 3.2.3.3:** Rødlig observert farge på både stein og i sanden.



### 3.2.4 Punkt 4 (62.632699, 11.370581)



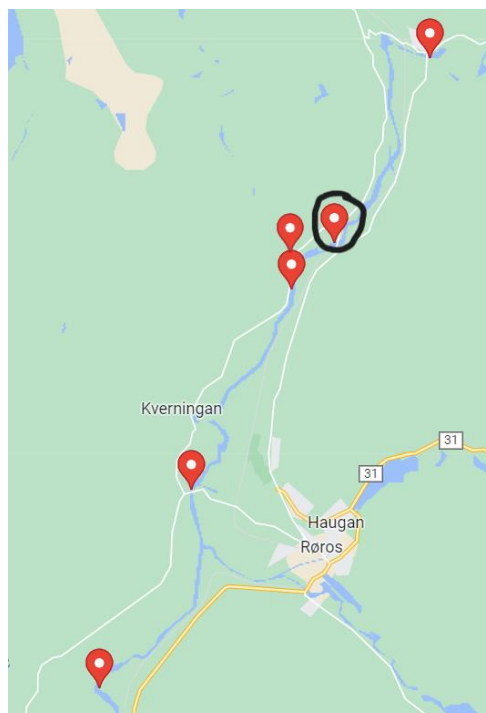
**Figur 3.2.4.1:** Oversikt over plassering av Punkt 4 i kart, markert med ring rundt (forurensningskilde).

Punkt 4 (Orva) ligger adskilt fra hovedveiene og ligger nært en grusvei som sannsynligvis ikke har veldig mye trafikk. Denne elven er stedet hvor avrenningen kommer direkte fra gruvene. Det er mye mer strøm i denne elven enn det har blitt observert ved de andre prøvestedene. Elven er ganske grunn. Her har det blitt observert en rødlig farge på steinene, som ved Punkt 3.



**Figur 3.2.4.2:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 4.

### 3.2.5 Punkt 5 (62.634622, 11.389462)



**Figur 3.2.5.1:** Oversikt over plassering av Punkt 5 i kart, markert med ring rundt (oppstrøms).

Punkt 5 befinner seg oppstrøms for Orva som er knyttet til gruveavrenning. Det ligger også nærme en vei som har mye trafikk. Det har blitt observert et hvitt belegg på steinene rundt,

som kan være et tegn på at området har blitt kalket tidligere. I tillegg kan det også observeres litt algevekst på steinene langs vannkanten.

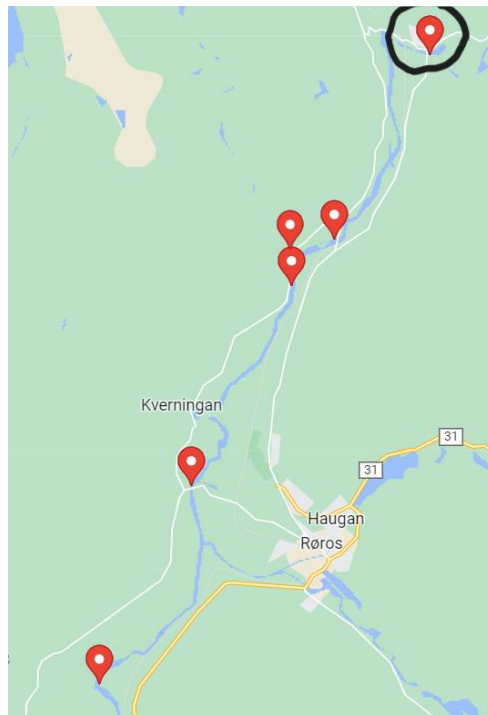


**Figur 3.2.5.2:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 5.



**Figur 3.2.5.3:** Hvit belegg observert på steinene.

### 3.2.6 Punkt 6 (62.670336, 11.430070)



**Figur 3.2.6.1:** Oversikt over plassering av Punkt 6 i kart, markert med ring rundt (oppstrøms).

Punkt 6 befinner seg oppstrøms av Orva som er knyttet til Nordgruvefeltet. Dette punktet ligger relativt nærme en trafikkert veg, i tillegg til at det ligger ved en liten bygd med mye infrastruktur. Det har blitt observert vegetasjon i vannet, og her er vannet ganske dypt og er veldig stille. I tillegg er det blitt observert litt grått belegg på steinene.



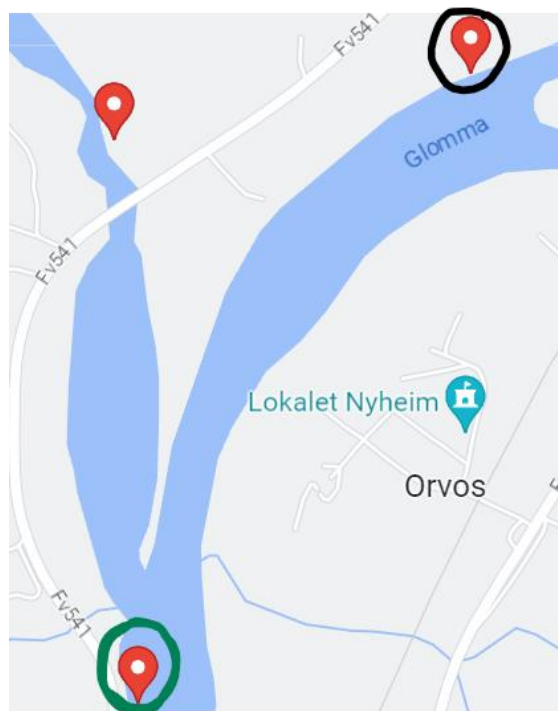
**Figur 3.2.6.2:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 6.



**Figur 3.2.6.3:** Hvit belegg observert på steinene og grønske i vannet.

### 3.3 Bunndyrprøvene og sedimentprøver

Bunndyrprøver og sedimentprøver ble samlet på samme dag, 19. April 2023. Prøvene ble tatt rett nedstrøms og oppstrøms for bekken Orva, som kommer fra Nordgruvefeltet, se figur 3.3.1



**Figur 3.3.1:** Plassering av punktene hvor det ble tatt sedimentprøver (nedstrøms (grønn) og oppstrøms (svart)) og bunndyrprøven (oppstrøms (svart)).

### 3.3.1 Punkt 3a (62.626259, 11.371181)

Det ble tatt prøve nedstrøms for bekken, se figur 3.3.1, markert med grønn ring. Det ble observert en rødlig farge i sanden og på steinene rundt, i tillegg kunne man se et skimrende lag i sanden. Det ble i tillegg tatt sedimentprøve, der det ble brukt en spade til å grave opp sediment fra elvebunnen. Det ble observert svart sediment, også sedimentet hadde et skimmer. Det ble også tatt prøve av noe som lignet på alger.



**Figur 3.3.1.1:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 3a.



**Figur 3.3.1.2:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 3a, rødlig farge på sand og stein, samt litt skimmer.



**Figur 3.3.1.3:** Fargen av sediment, etter det har blitt gravd opp.

### 3.3.2 Punkt 5a (62.633460, 11.379453)

Det ble tatt prøve oppstrøms for bekken, se figur 3.3.1, markert med svart ring. Det ble ikke observert noe uvanlig farge ved dette punktet. Det ble fanget bunndyr ved dette punktet, ved å sparke opp bunnen på elven og fange dyrene med en håv. Totalt ble det fanget seks bunndyr. I tillegg ble det tatt sedimentprøve ved å grave opp sediment fra bunnen.



**Figur 3.3.2.1:** Oversikt over hvordan det så ut ved Punkt 5a.

### 3.3.3 Behandling av sediment og bunndyrsprøver

Sedimentprøvene og den antatte algeprøven ble frysetørket og gjort klar til dekomponering ved hjelp av UltraClave. Det ble veid ut omtrent 250-350 mg av hver av de tørkede sediment prøvene, og av tre ganger av referanse materialet MODAS-2 Bottom Sediment (M-2 BotSed). Deretter ble det tilsatt 9 mL av 50 %  $\text{HNO}_3$ , til hver av sedimentprøvene, referansematerialet i tillegg til tre blankprøver. Den organiske prøven (bunndyrene) ble veid ut til 9,5 mg, før det ble tilsatt 2 mL 50 %  $\text{HNO}_3$ . Når bunndyrsprøven ble dekomponert var det for få bunndyr, slik at minste vektmenge ikke kunne bli oppnådd. Alle sedimentprøvene, bunndyrsprøven inkludert, ble dekomponert ved hjelp av UltraClave. Etter fullført UltraClave ble prøvene fortynnet med ultrapure vann, til cirka 109,8 g for sedimentprøvene og til cirka 20 g til den organiske prøven. Etter dekomponering ble prøvene sendt til analyse til ICP-MS.



### 3.4 Prosedyre for ICP-MS analyse

Prosedyren for analyse av sporelementer med ICP-MS i vannprøve fulgte NS-EN ISO 17294-1:2006 (61). Instrumentet brukt for ICP-MS analysen er et 8800 Triple Quadropole ICP-MS system fra Agilent, med en prepFAST M5 autosamplere (ESI). Systemparameterne gjennom analysen er listet opp i tabell 3.4.1.

**Tabell 3.4.1:** ICP-MS Parametere (07.03.2023)

<b>Generelle Parametere</b>	
RF Power	1600 W
Nebulizer Gas	0.78 L/min
Makeup Gas	0.38 L/min
Sample depth	8.0 mm
Ion lenses	s-lens
<b>H<sub>2</sub> mode</b>	
H <sub>2</sub> gas flow	7.5 mL/min
He gas flow	3.5 mL/min
<b>O<sub>2</sub> mode</b>	
O <sub>2</sub> gas flow	0.6 mL/min
He gas flow	2.0 mL/min

## 4 Resultater

I dette kapitlet vil det bli presentert resultater fra parameterne temperatur, pH, ledningsevne og turbiditet. Det vil også bli presentert resultater fra ICP-MS-analysen både for vann-, sediment- og de organiske prøvene.

## 4.1 Parametere

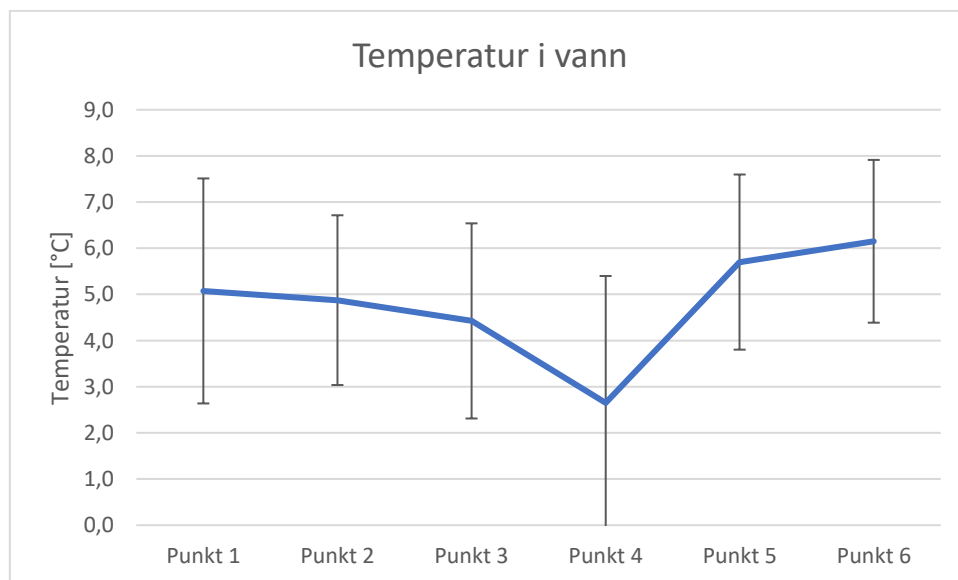
### 4.1.1 Temperatur

Resultatene for de målte temperaturene ved hvert prøvepunkt er presentert i tabell 4.1, som viser gjennomsnittsverdi, standardavvik, median og min/maks verdier.

**Tabell 4.1:** Resultater for målte temperaturer ved hvert prøvepunkt. Gjennomsnittsverdi, Standardavvik, median og min/maks.

Parametere	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik	Median	Min	Max
Punkt 1	5,1	2,4	4,4	3,2	8,4
Punkt 2	4,9	1,8	4,5	3,2	7,4
Punkt 3	4,4	2,1	4,1	2,3	7,2
Punkt 4	2,7	2,7	2,1	0,0	6,4
Punkt 5	5,7	1,9	5,4	3,9	8,1
Punkt 6	6,2	1,8	5,8	4,6	8,4

De gjennomsnittlige verdiene inkludert standardavvik for temperatur ved hvert prøvepunkt er presentert i figur 4.1. Det kan observeres at det er gjennomsnittlig kaldere ved punkt 4 i forhold til de andre punktene.



**Figur 4.1:** Gjennomsnittlig temperatur på hvert prøvepunkt, med standardavvik.

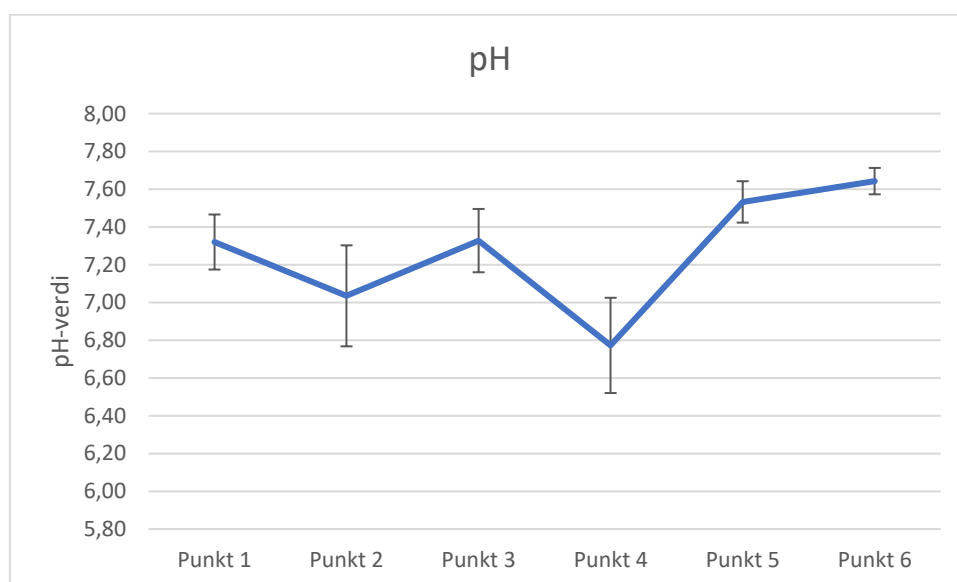
## 4.1.2 pH

Resultatene for pH-verdier ved hvert prøvepunkt er presentert i tabell 4.2, som viser gjennomsnittsverdier, standardavvik, median og min/maks verdier.

**Tabell 4.2:** Resultater for målte pH-verdier ved hvert prøvepunkt. Gjennomsnittsverdi, Standardavvik, median og min/maks.

Parametere	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik	Median	Min	Max
Punkt 1	7,32	0,15	7,35	7,12	7,47
Punkt 2	7,04	0,27	7,04	6,75	7,31
Punkt 3	7,33	0,17	7,30	7,18	7,53
Punkt 4	6,77	0,25	6,76	6,49	7,08
Punkt 5	7,53	0,11	7,52	7,43	7,67
Punkt 6	7,64	0,07	7,64	7,56	7,73

Gjennomsnittsverdien av pH målt ved hver lokasjon er vist i figur 4.2. pH-verdiene for punkt 1-3 som ligger nedstrøms utløpet av Orva til Glomma, holder seg omtrent stabil, med et lite dypp i punkt 2. Ved punkt 4, som er i Orva er det observert et fall i pH-verdien. Punkt 5 og 6, som ligger oppstrøms Orva har høyere pH-verdier enn alle de andre punktene.



**Figur 4.2:** Gjennomsnittlig pH-verdi fra de seks forskjellige prøvepunktene, med standardavvik.

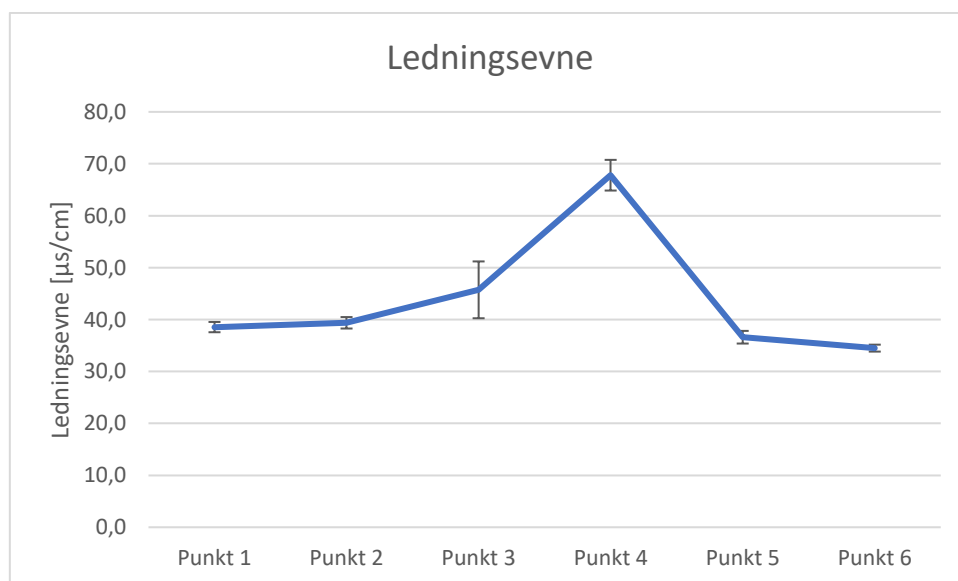
### 4.1.3 Ledningsevne

Resultatene for ledningsevne ved hvert prøvepunkt er presentert i tabell 4.3, som viser en oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median og min/maks verdi.

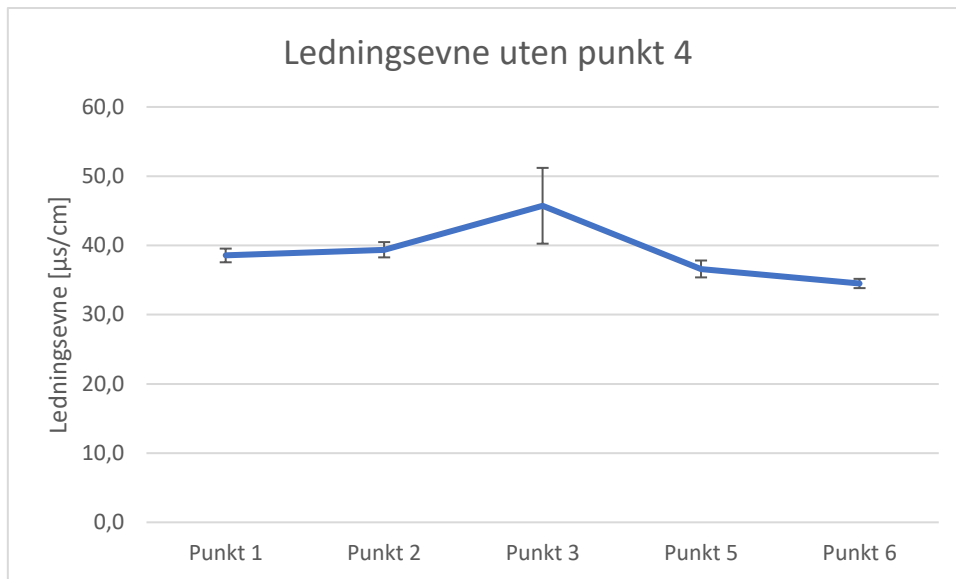
**Tabell 4.3:** Resultater for ledningsevne ved hvert prøvepunkt. Gjennomsnittsverdi, Standardavvik, median og min/maks.

Parametere	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik	Median	Min	Max
Punkt 1	38,6	1,0	38,9	37,1	39,3
Punkt 2	39,4	1,1	39,0	38,6	41,0
Punkt 3	45,7	5,5	45,9	39,0	52,1
Punkt 4	67,8	3,0	67,0	65,2	72,0
Punkt 5	36,6	1,2	36,7	35,4	37,7
Punkt 6	34,5	0,7	34,4	33,8	35,4

De gjennomsnittlige verdiene for ledningsevne målt ved de ulike prøvepunktene er vist i figur 4.3. Det kan observeres en tydelig forskjell i ledningsevnen i punkt 4 i forhold til de andre punktene. Figur 4.4 viser derfor de resterende prøvepunktene uten prøvepunkt 4, for å vise variasjonen bedre i disse punktene. I figur 4.4 kan det observeres en økning av ledningsevnen i punkt 3 som er direkte nedstrøms for utløpet av Orva til Glomma. Ledningsevnen i punkt 1 og 2 (nedstrøms) er også høyere enn i punkt 5 og 6 (oppstrøms).



**Figur 4.3:** Gjennomsnittlig ledningsevne fra de seks forskjellige prøvepunktene, med standardavvik.



**Figur 4.4:** Gjennomsnittlig ledningsevne fra de forskjellige prøvepunktene, uten prøvepunkt 4, med standardavvik.

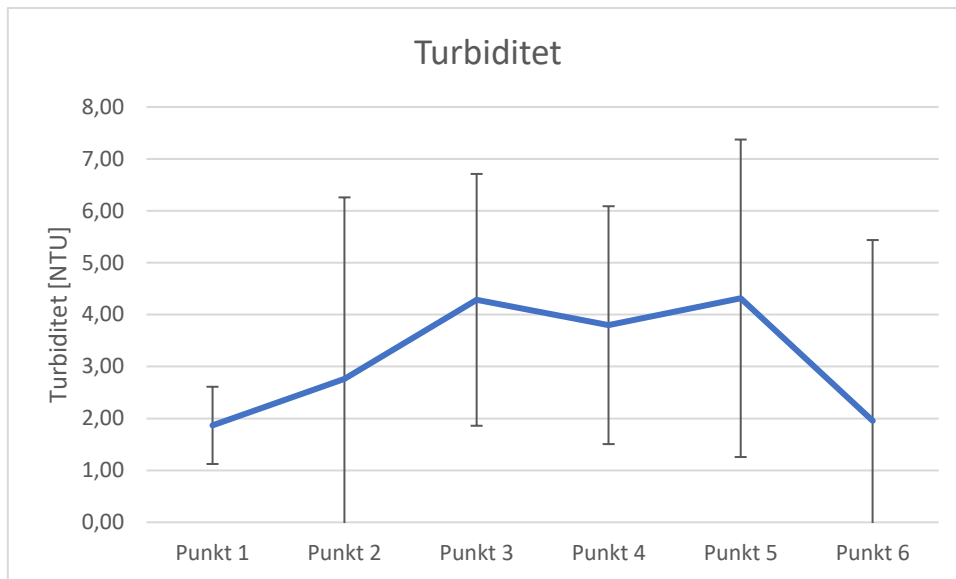
#### 4.1.4 Turbiditet

Resultatene for turbiditet ved hvert prøvepunkt er presentert i tabell 4.4, som viser en oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median og min/maks verdi.

**Tabell 4.4:** Resultater for turbiditet ved hvert prøvepunkt. Gjennomsnittsverdi, Standardavvik, median og min/maks.

Parametere	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik	Median	Min	Max
Punkt 1	1,87	0,74	1,73	1,21	2,80
Punkt 2	2,76	3,50	1,13	0,80	8,00
Punkt 3	4,29	2,42	3,73	2,01	7,68
Punkt 4	3,80	2,29	4,02	0,96	6,20
Punkt 5	4,32	3,06	4,58	0,53	7,57
Punkt 6	1,96	3,48	0,30	0,07	7,17

De gjennomsnittlige verdiene for turbiditet er vist i figur 4.5. De målte verdiene for prøvepunktene 1, 2 og 6 er lavere i forhold til prøvepunktene 3-5.



**Figur 4.5:** Gjennomsnittlig turbiditet fra de forskjellige prøvepunktene, med standardavvik

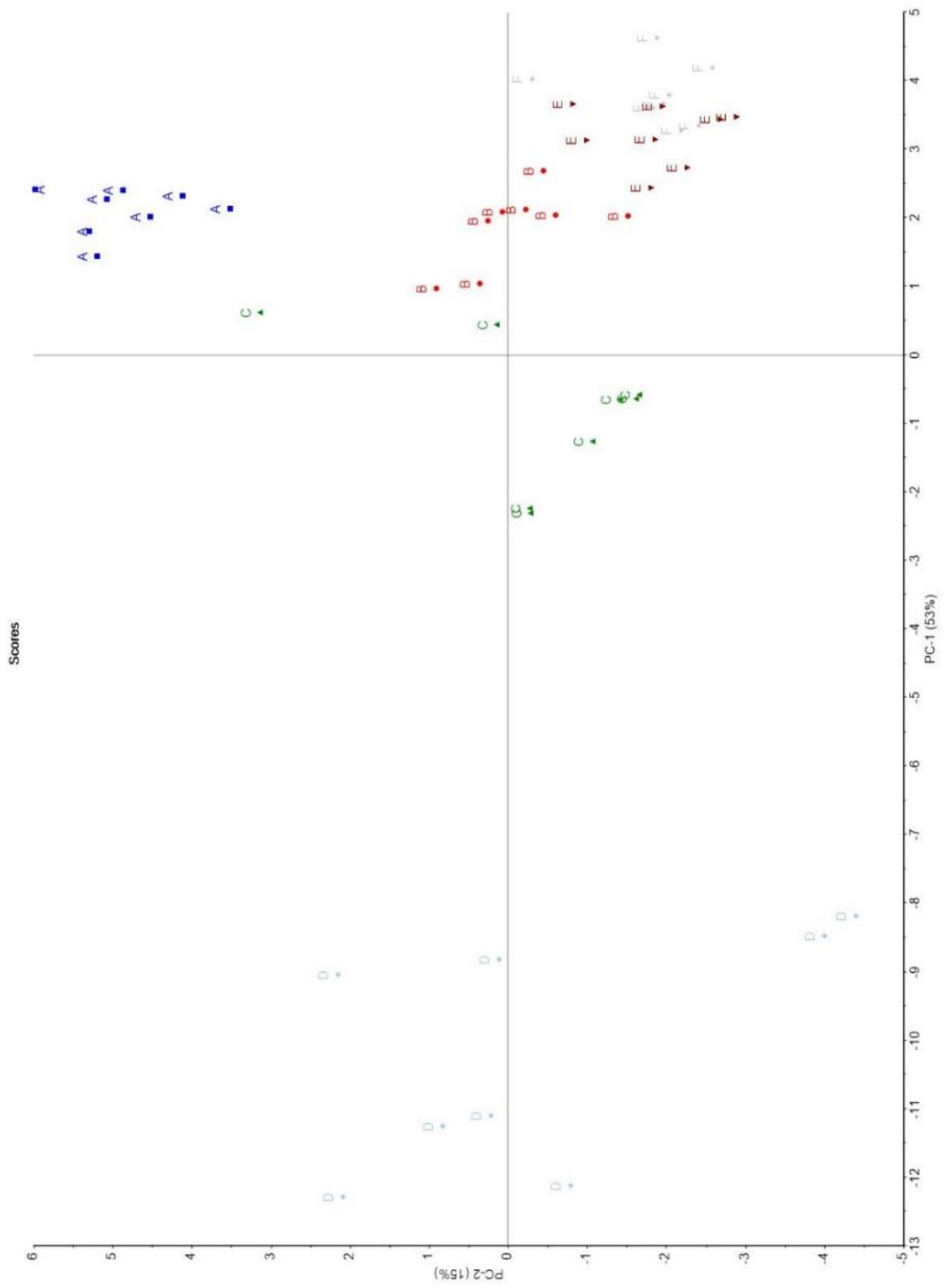
## 4.2 Resultater fra ICP-MS

### 4.2.1 Vannprøver

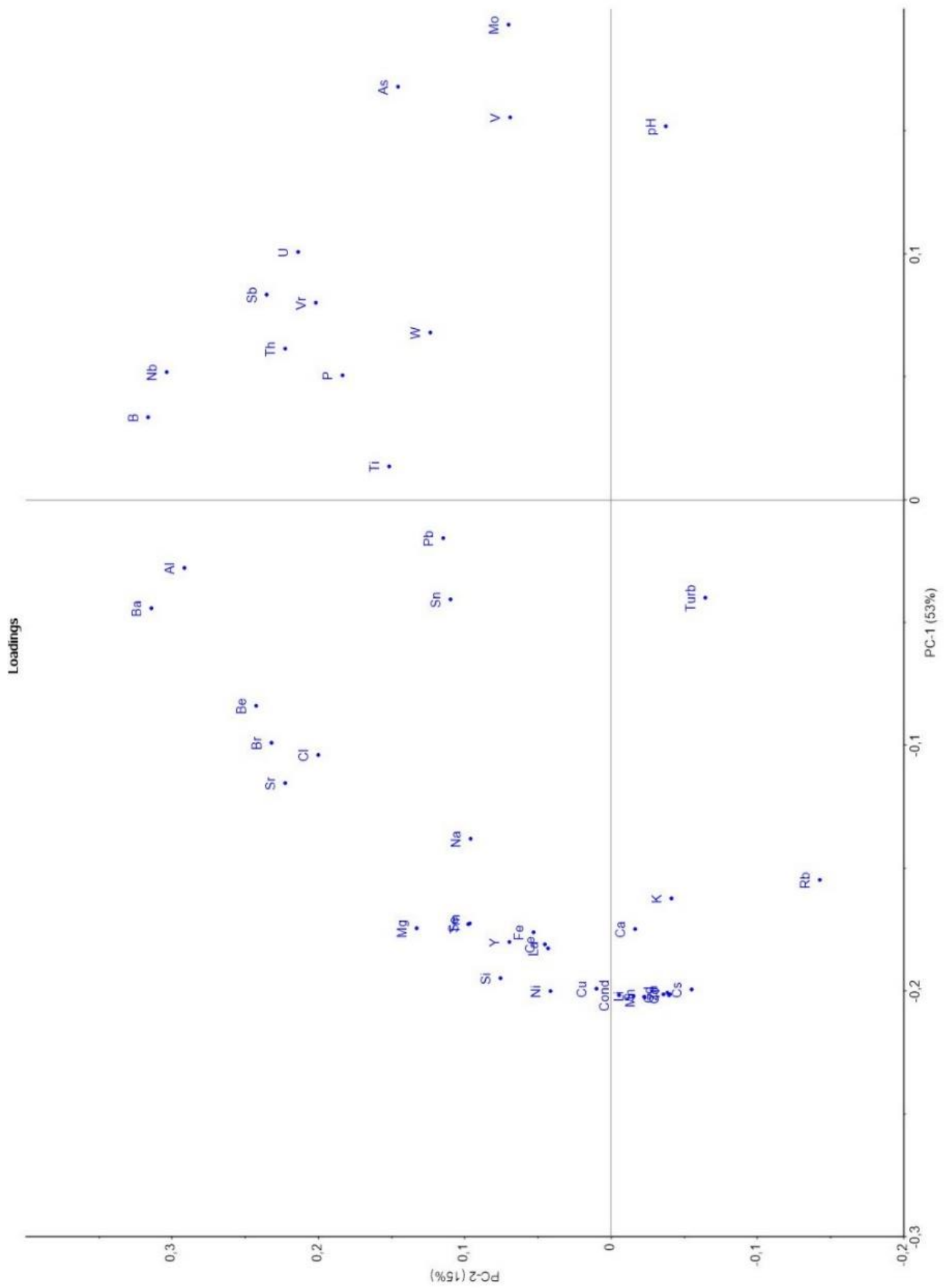
#### 4.2.1.1 PCA

I figurene 4.6 og 4.7 er det presentert henholdsvis score og loading plot av PCA. I figur 4.7 vises korrelasjonen mellom de ulike prøvepunktene. Disse har blitt navngitt som A-E istedenfor 1-6. I dette tilfellet er lokasjon A det samme som prøvepunkt 1, og så videre. Det kan observeres at prøvepunkt 4 (D) skiller seg fra de andre prøvepunktene. Ut fra figur 4.8 kan det observeres at prøvepunktet er assosiert med metallene Cu, Zn, Fe, Cd, Ca, S, Co, Ti, Mn, Ni, K og Mg. Det kan observeres at prøvepunkt 3 (C) er delvis påvirket av prøvepunkt 4. Det kan også observeres at det er en negativ korrelasjon fra prøvepunkt 4 og pH, altså at pH er høyere når den ikke er ved prøvepunkt 4.

Prøvepunkt 1 (A) skiller seg også fra de andre prøvepunktene. Det kan observeres en høyre korrelasjon mellom Al og Ba i dette punktet.



Figur 4.6: Score plot for prøvepunktene.

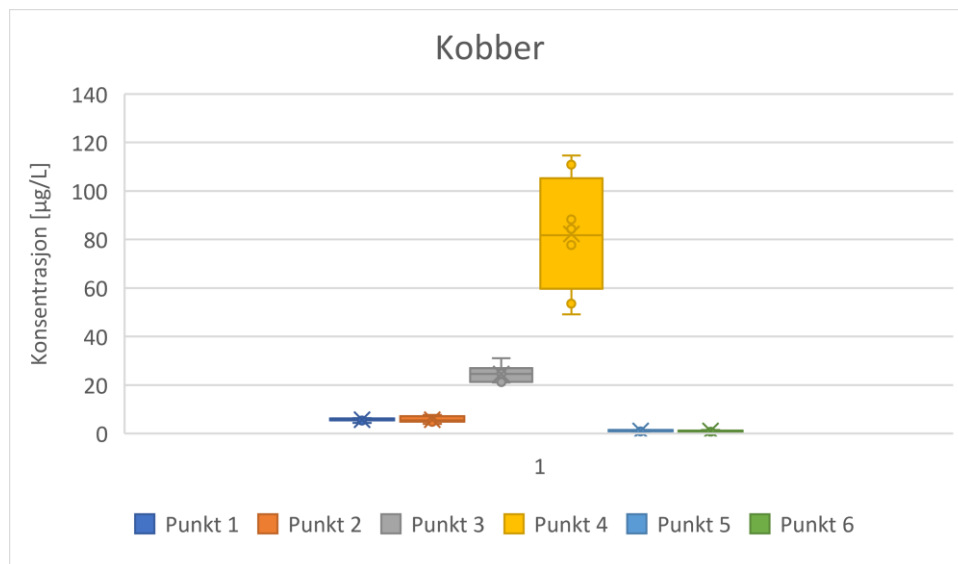


Figur 4.7: Loading plot for prøvepunktene.

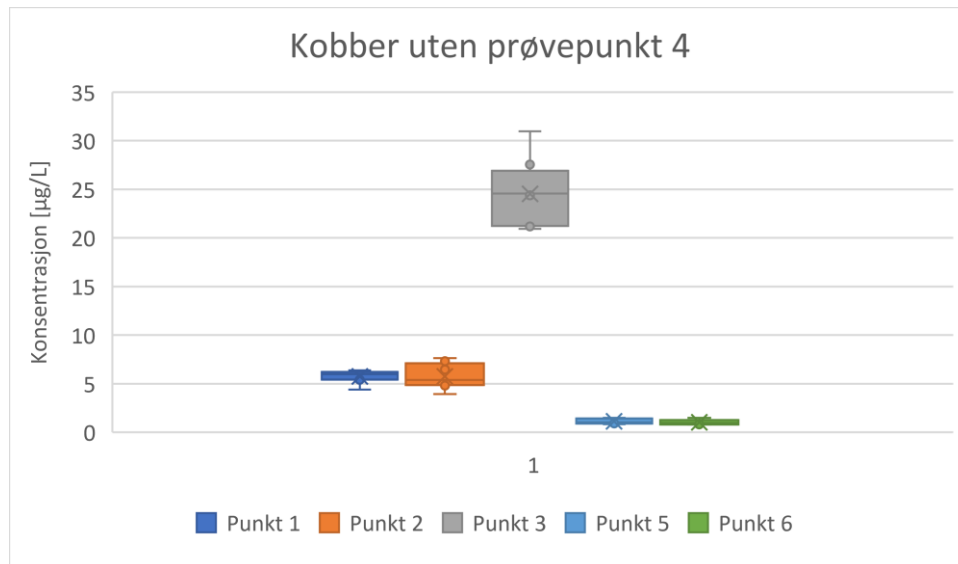


#### 4.2.1.2 Kobber (Cu)

Resultatene for analyse av kobber er presentert i figur 4.8, som viser boksdiagram av kobber i de ulike prøvepunktene. Snittkonsentrasjonen for Cu var 20,06 µg/L over alle lokalitetene. Prøvepunkt 4 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (82,21 µg/L), og ble funnet til å være 335% høyere enn den nest høyeste konsentrasjonen som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 6 med 1,039 µg/L. Grunnet variasjonen mellom punkt 4 og de andre punktene ble det laget figur 4.9 som viser boksdiagram av konsentrasjoner til kobber uten prøvepunkt 4. Ved hjelp av Mann Whitney U-test ble det funnet til å være en signifikant forskjell mellom prøvepunktene 1, 2 og 3 (nedstrøms) og 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,0000062, se Vedlegg A.



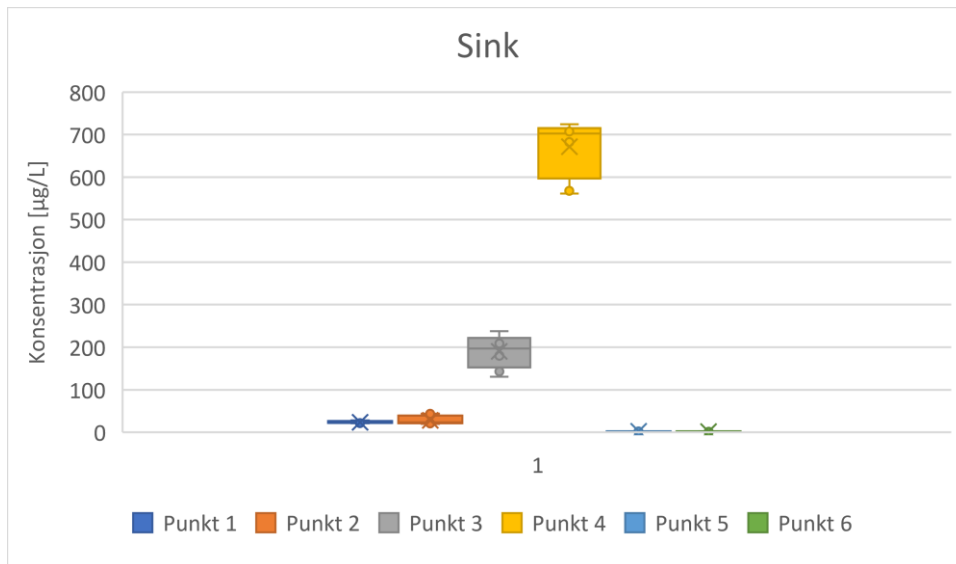
**Figur 4.8:** Boksdiagram for kobber for de forskjellige prøvepunktene.



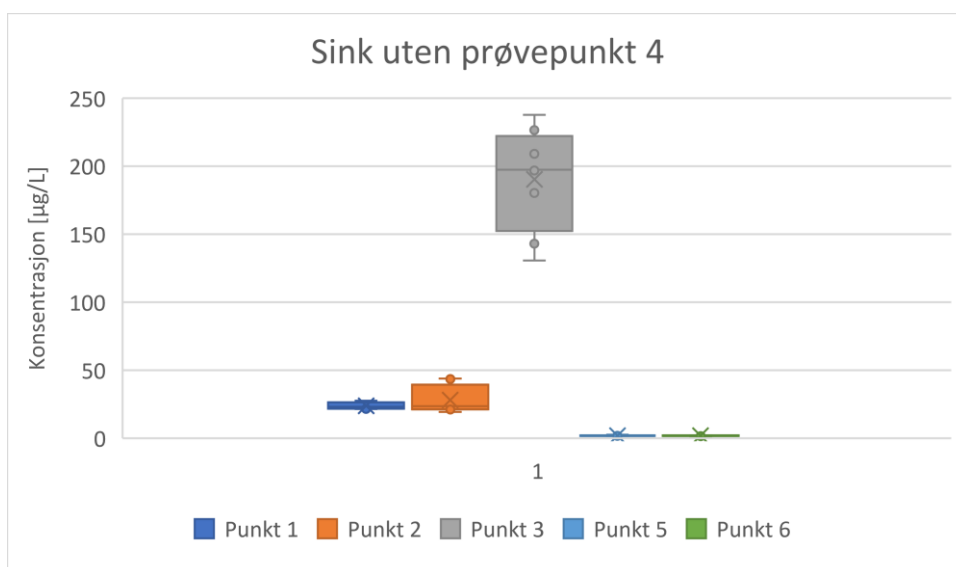
**Figur 4.9:** Boksdiagram for kobber for de forskjellige prøvepunktene, uten prøvepunkt 4.

#### 4.2.1.3 Sink (Zn)

Resultatene for sink er presentert i figur 4.10. Snittkonsentrasjonen for Zn var 158,8 µg/L over alle lokalitetene. Prøvepunkt 4 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (671,1 µg/L), og ble funnet til å være 353% høyere enn den nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 6 med 1,917 µg/L. Grunnet variasjonen mellom prøvepunkt 4 og de andre punktene ble det laget figur 4.11, som viser boksdiagram for Zn uten prøvepunkt 4. Ved hjelp av Mann-Whitney U test ble det funnet at punktene 1-3 (nedstrøms) har høyere Zn konsentrasjoner enn punktene 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,0000062.



**Figur 4.10:** Boksdiagram for sink for de forskjellige prøvepunktene.

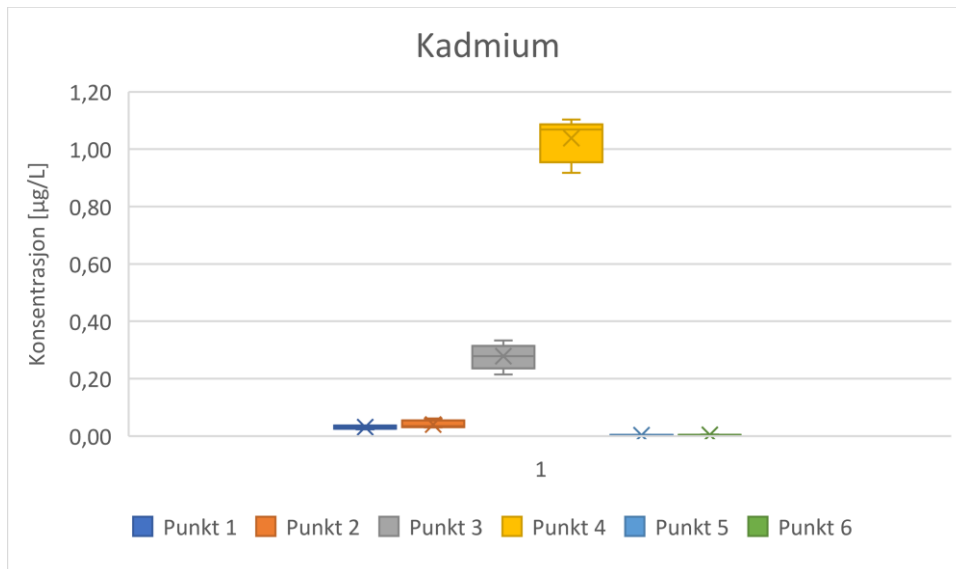


**Figur 4.11:** Boksdiagram for sink for de forskjellige prøvepunktene, uten prøvepunkt 4.

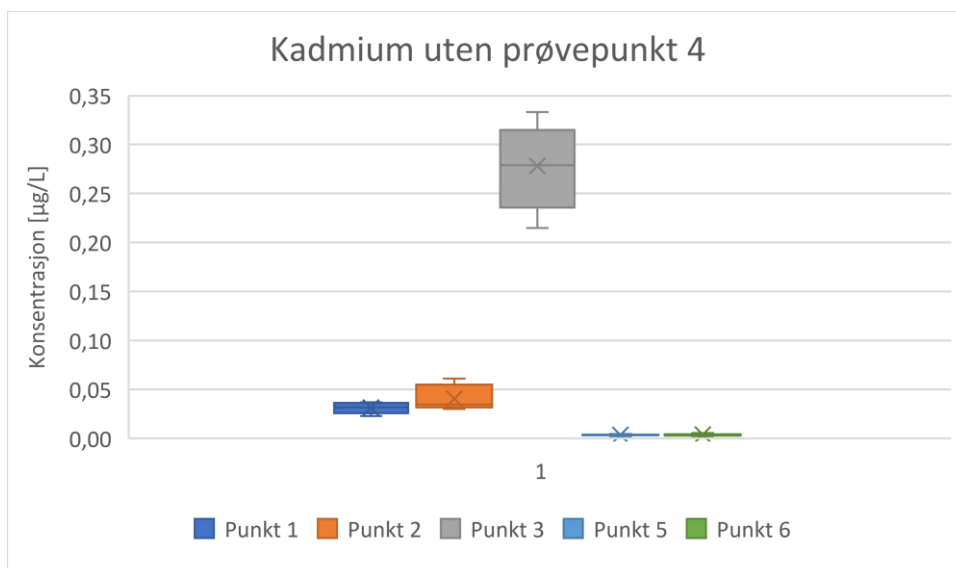
#### 4.2.1.4 Kadmium (Cd)

Resultatene for konsentrasjonene til kadmium blir presentert i figur 4.12. Snittkonsentrasjonen for Cd var 0,2323 µg/L over alle lokalitetene. Prøvepunkt 4 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (1,039 µg/L), og ble funnet til å være 373% høyere enn den nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 5 med 0,0034 µg/L. Grunnet variasjonen mellom prøvepunkt 4 og de andre punktene ble det laget figur 4.13, som viser boksplottene for Cd uten prøvepunkt 4. Ved hjelp av Mann-Whitney U

test ble det funnet at punktene 1-3 (nedstrøms) har høyere Cd konsentrasjoner enn punktene 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,0000062.



**Figur 4.12:** Boksdiaagram for kadmium for de forskjellige prøvepunktene.

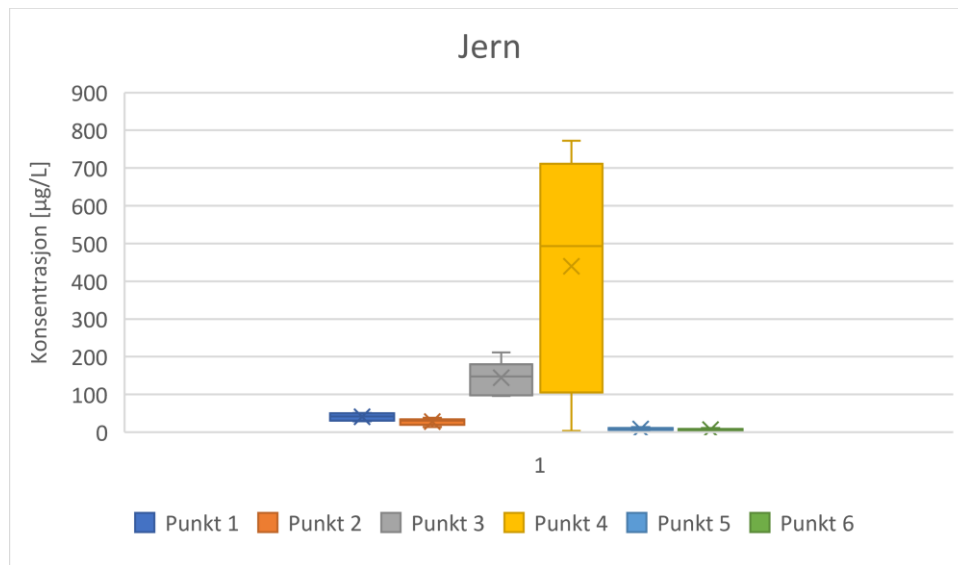


**Figur 4.13:** Boksdiaagram for kadmium for de forskjellige prøvepunktene, uten prøvepunkt 4.

#### 4.2.1.5 Jern (Fe)

Resultatene for jern er presentert i figur 4.14. Snittkonsentrasjonen for Fe var 111,4  $\mu\text{g/L}$  over alle lokalitetene. Prøvepunkt 4 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (439,4  $\mu\text{g/L}$ ), og ble funnet

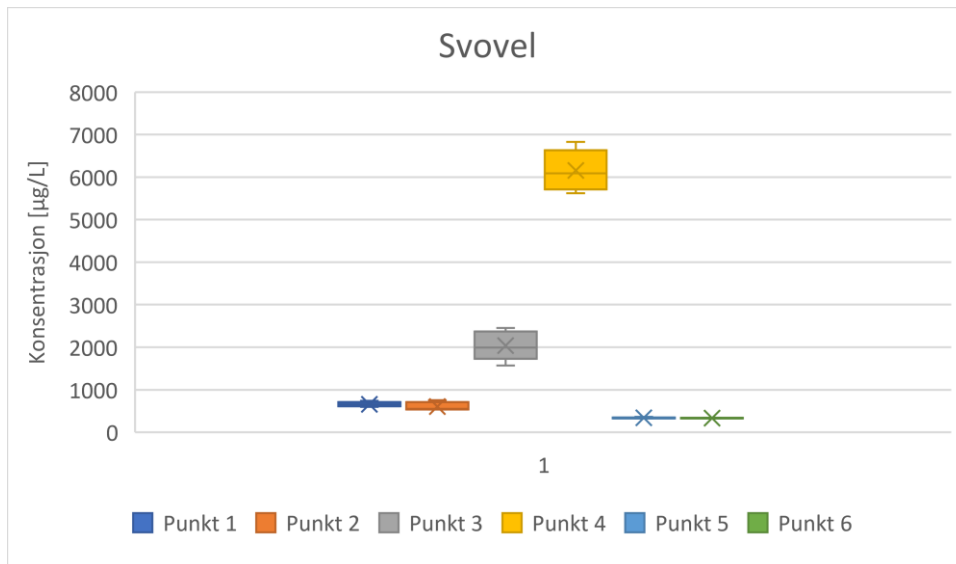
til å være 305% høyere enn nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 6 med 6,829 µg/L. Ved hjelp av Mann-Whitney U test ble det funnet at punktene 1-3 (nedstrøms) har høyere Fe konsentrasjoner enn punktene 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,0000062.



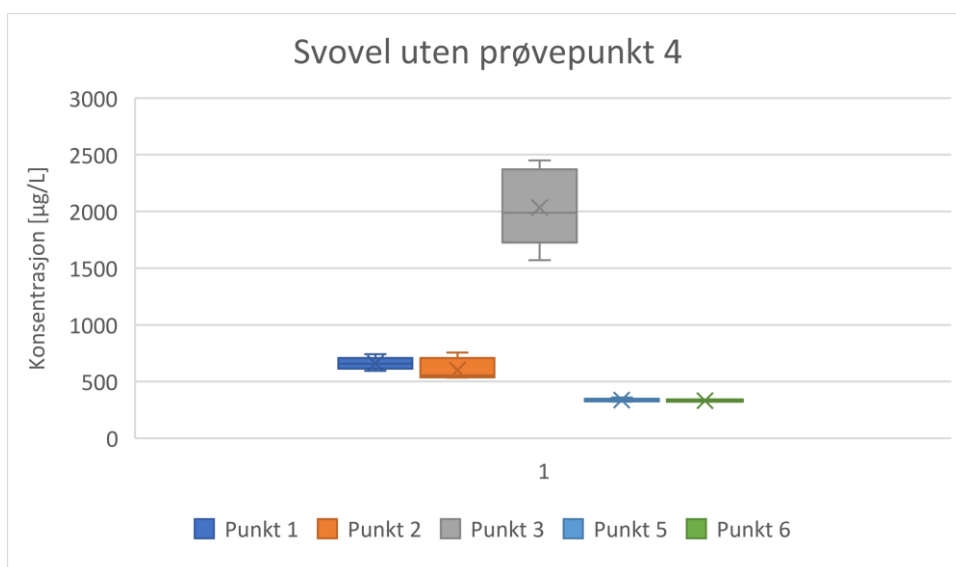
**Figur 4.14:** Boksdiaagram for jern for de forskjellige prøvepunktene.

#### 4.2.1.6 Svovel (S)

Resultatene for svovel er presentert i figur 4.15. Snittkonsentrasjonen for S var 1687 µg/L over alle lokalitetene. Prøvepunkt 4 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (6156 µg/L), og ble funnet til å være 302% høyere enn nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 6 med 332,2 µg/L. Grunnet variansen mellom prøvepunkt 4 og de andre prøvepunktene ble det laget figur 4.16. Ved hjelp av Mann-Whitney U test ble det funnet at punktene 1-3 (nedstrøms) har signifikant høyere S konsentrasjoner enn punktene 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,0000062.



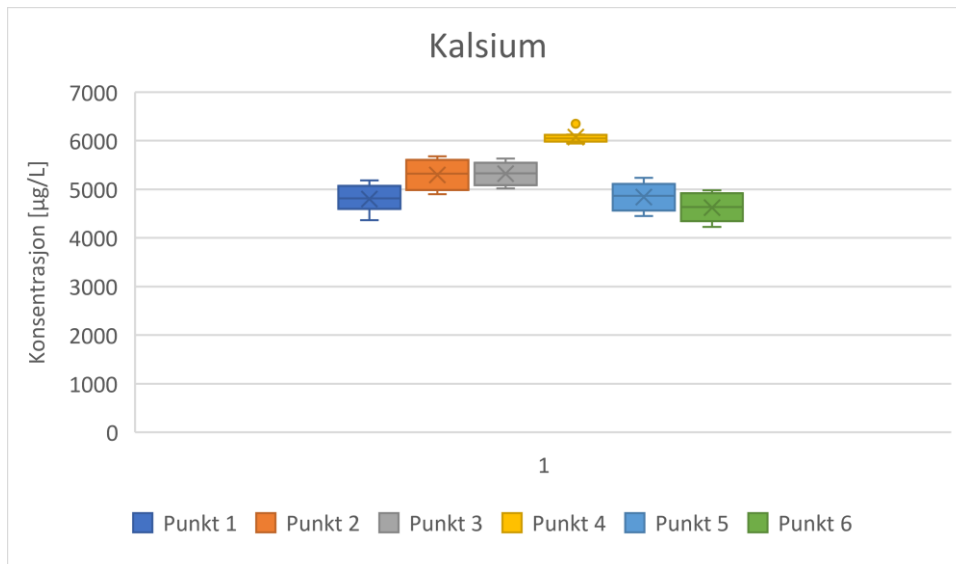
**Figur 4.15:** Boksdiagram for svovel for de forskjellige prøvepunktene.



**Figur 4.16:** Boksdiagram for svovel for de forskjellige prøvepunktene, uten prøvepunkt 4.

#### 4.2.1.7 Kalsium (Ca)

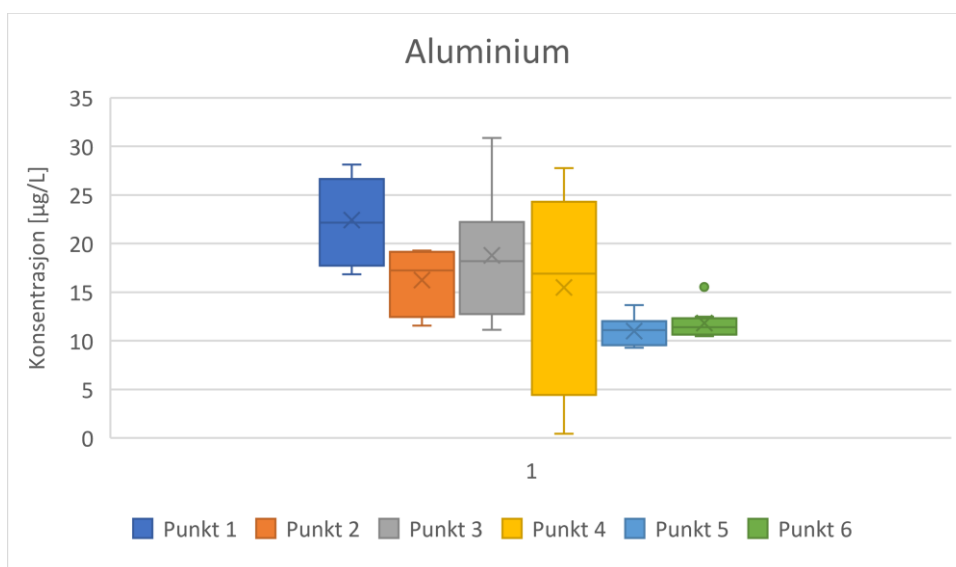
Resultatene for kalsium er presentert i figur 4.17. Snittkonsentrasjonen for Ca var 5158 µg/L over alle lokalitetene. Prøvepunkt 4 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (6074 µg/L), og ble funnet til å være 114% høyere enn nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 6 med 4624 µg/L. Ved hjelp av Mann-Whitney U test ble det funnet at punktene 1-3 (nedstrøms) har signifikant høyere Ca konsentrasjoner enn punktene 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,0005895.



**Figur 4.17:** Boksdiagram for kalsium for de forskjellige prøvepunktene.

#### 4.2.1.8 Aluminium (Al)

Resultatene for konsentrasjonene av aluminium er vist i figur 4.18. Snittkonsentrasjonen for Al var 15,95 µg/L over alle lokalitetene. Prøvepunkt 1 hadde høyeste snittkonsentrasjonen (22,40 µg/L), og ble funnet til å være 119% høyere enn nest høyeste konsentrasjon som var i prøvepunkt 3. Laveste konsentrasjon ble funnet i prøvepunkt 5 med 11,00 µg/L. Ved hjelp av Mann-Whitney U test ble det funnet at punktene 1-3 (nedstrøms) har signifikant høyere Al konsentrasjoner enn punktene 5 og 6 (oppstrøms), med en p-verdi på 0,000003624.

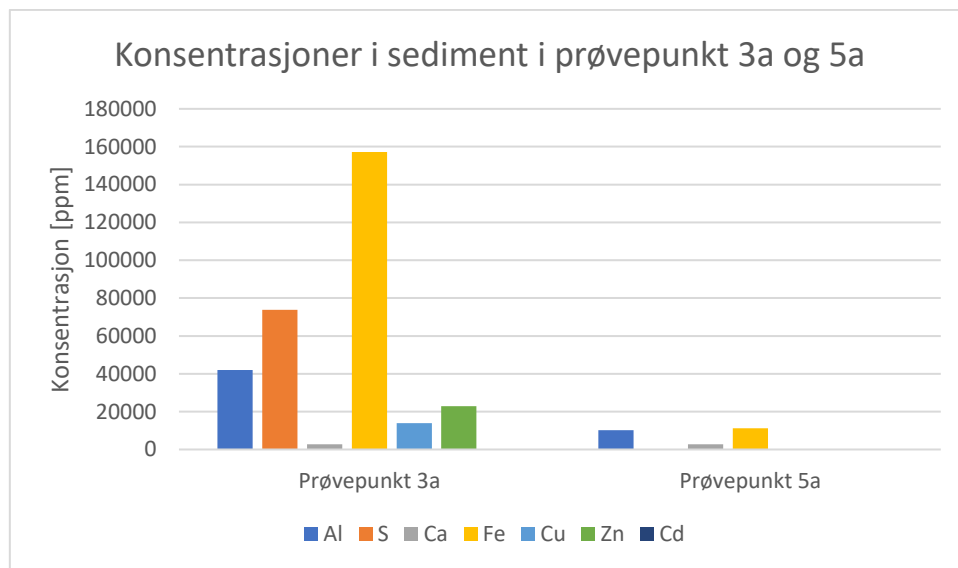


**Figur 4.18:** Boksdiagram for aluminium for de forskjellige prøvepunktene.

## 4.2.2 Sediment og bunndyrprøver

### 4.2.2.1 Sediment prøver

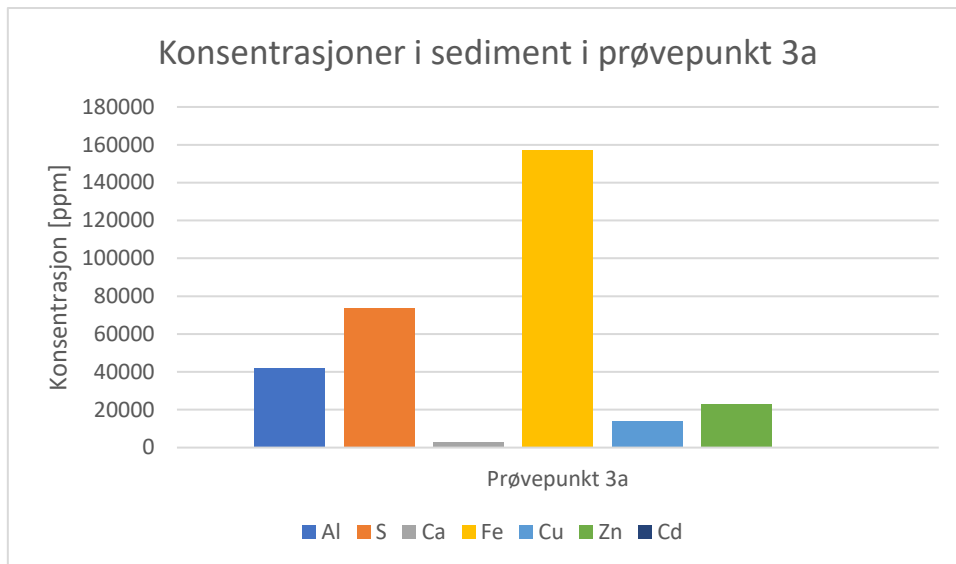
Konsentrasjonene av ulike grunnstoff i sedimenter er gitt i figur 4.19, som viser oversikt i prøvepunktene 3a og 5a. Det kan observeres at konsentrasjonene i sedimentet ved prøvepunkt 3a (nedstrøms) er signifikant høyere enn ved prøvepunkt 5a (oppstrøms), med en p-verdi på 0,01311. Av den grunn ble det laget to diagrammer som viser konsentrasjonene i prøvepunktene hver for seg selv, se figur 4.20 og 4.21.



**Figur 4.19:** Konsentrasjoner i sedimenter i prøvepunkt 3a og 5a.

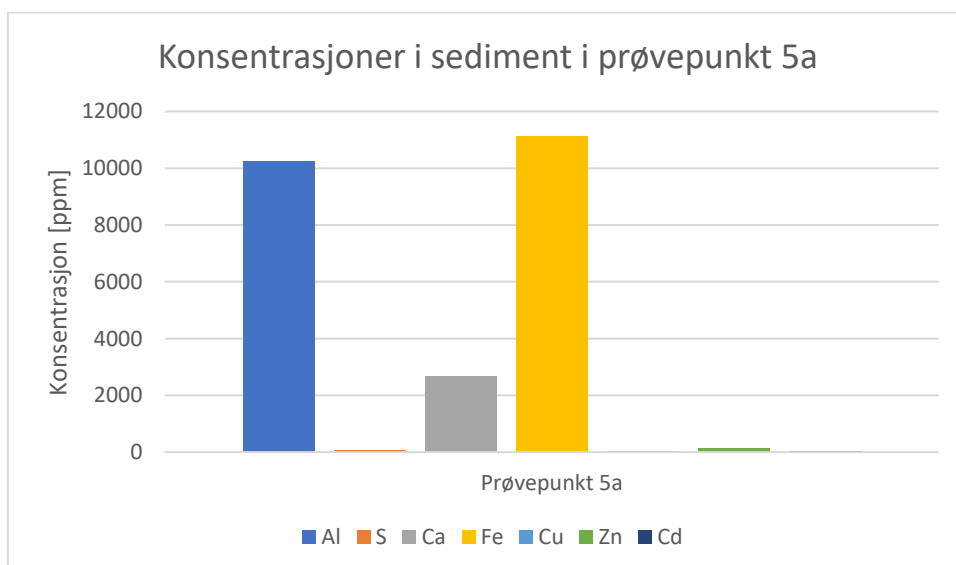
I figur 4.20, som viser en oversikt over konsentrasjonene i prøvepunkt 3a, kan det observeres at konsentrasjonen av Fe (15700 mg/kg) er 213% høyere enn konsentrasjonen av S (73720 mg/kg), som var grunnstoffet med nest høyest konsentrasjon. Metallet med minst konsentrasjon i prøvepunkt 3a var Cd med 47,37 mg/kg.



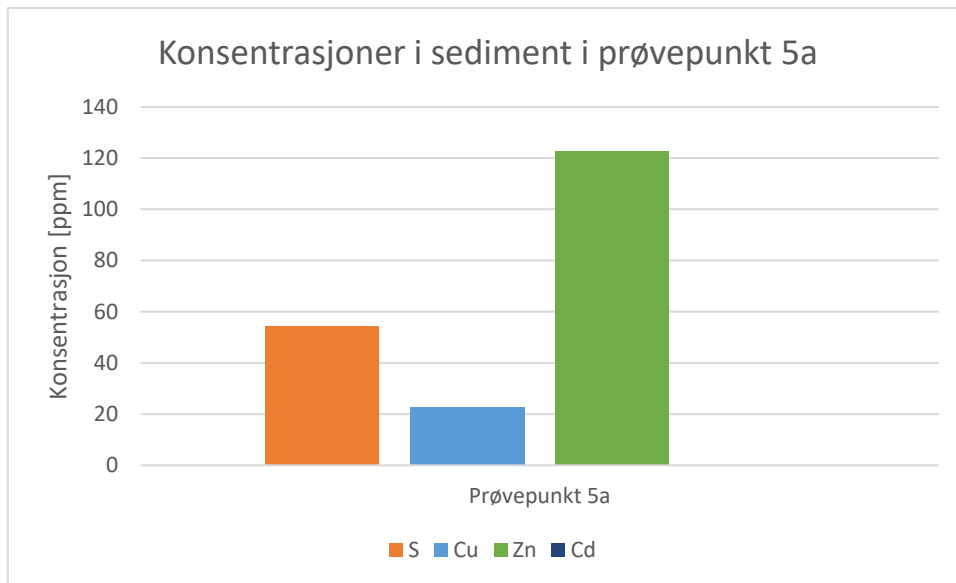


**Figur 4.20:** Konsentrasjoner i sedimenter i prøvepunkt 3a.

Figurene 4.21 og 4.22 viser oversikten over konsentrasjonene i prøvepunkt 5a. Konsentrasjonene for Al, Fe og Ca er gjennomsnittlig 16030% høyere enn den gjennomsnittlige konsentrasjonen av S, Cu, Zn og Cd, grunnet dette viser figur 4.22 kun oversikten over konsentrasjonene av S, Cu, Zn og Cd. I diagrammene for prøvepunkt 5a kan det observeres at det er høyest konsentrasjon av Fe 11130 mg/kg, som er 109% høyere konsentrasjon enn nest høyeste metall Al (10230 mg/kg). Grunnstoffet med lavest konsentrasjon i prøvepunkt 5a (oppstrøms) er Cd (0,13 mg/kg).



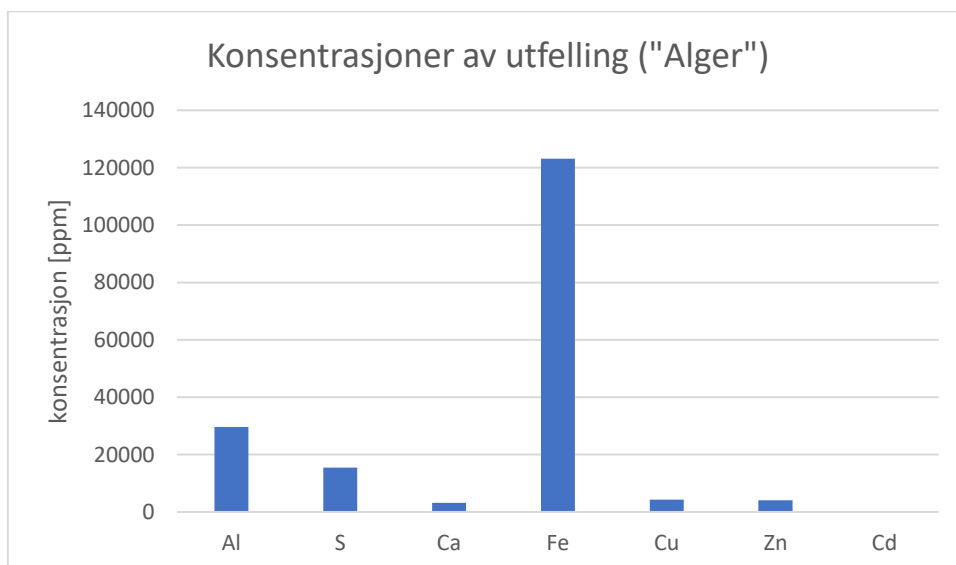
**Figur 4.21:** Konsentrasjoner i sedimenter i prøvepunkt 5a.



**Figur 4.22:** Konsentrasjoner av S, Cu, Zn og Cd i sedimenter i prøvepunkt 5a.

#### 4.2.2.2 Utfelling («Alger»)

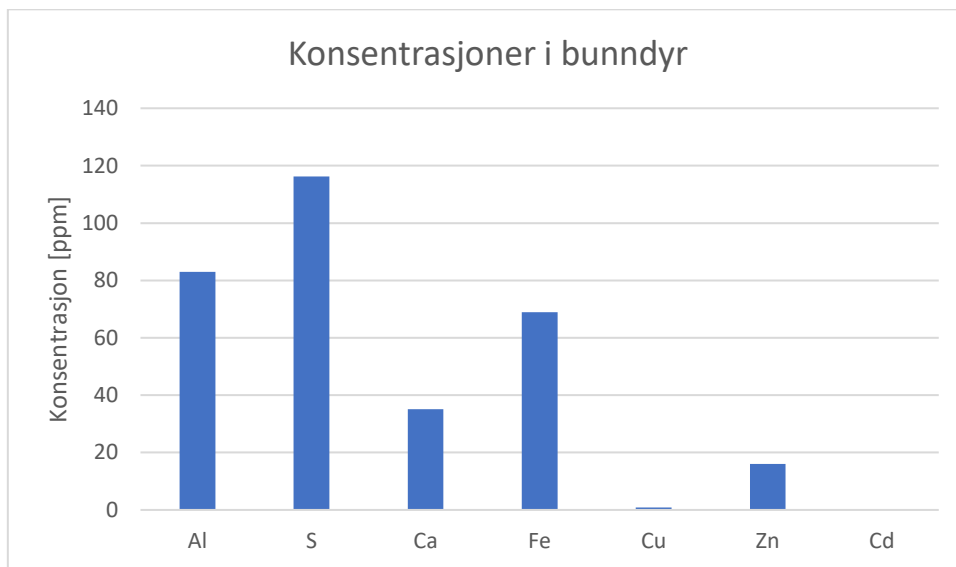
Figur 4.23 viser en oversikt over konsentrasjonene av ulike grunnstoff i prøvepunkt 3a. Det kan observeres at konsentrasjonen til Fe er høyest med 123200 mg/kg og er 415% høyere en konsentrasjonen til Al (29630 mg/kg), som er det grunnstoffet med den nest høyeste konsentrasjonen. Den laveste konsentrasjonen hadde Cd med 8,350 mg/kg.



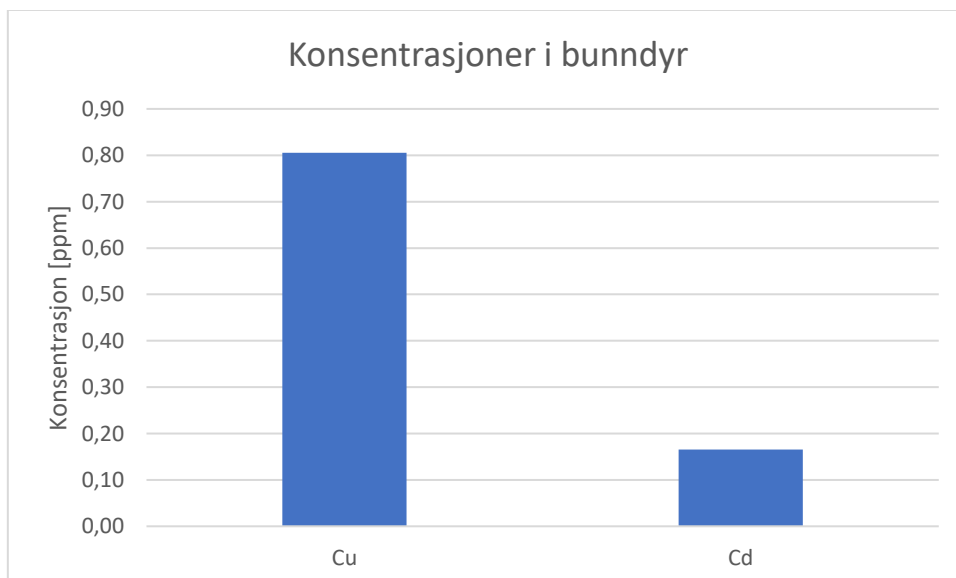
**Figur 4.23:** Konsentrasjoner av grunnstoff i utfelling («Alger») i prøvepunkt 3a.

#### 4.2.2.3 Bunndyr

Figur 4.24 viser en oversikt over konsentrasjoner av ulike grunnstoff i bunndyrene. Det kan observeres at største konsentrasjonen i bunndyr er S (116,2 mg/kg), som er 140% høyere konsentrasjon enn Al (83,03 mg/kg), som er det metallet som har nest høyest konsentrasjon. Både Cu (0,81 mg/kg) og Cd (0,17 mg/kg) har lave konsentrasjoner, og blir derfor vist i figur 4.25 uten de andre grunnstoffene.



**Figur 4.24:** Konsentrasjoner av grunnstoff i bunndyr i prøvepunkt 5a.



**Figur 4.25:** Konsentrasjoner av Cu og Cd i bunndyr i prøvepunkt 5a.

## 5 Diskusjon

Diskusjonen vil ta for seg observasjoner gjort under prøvetakingen og det vil bli presentert sammenhengen mellom PCA og parameterne. Det vil bli diskutert mulig utfelling av metaller. Så vil det bli tatt en vurdering av tilstandsgraden for vann- og sediment prøvene, for å så vurdere mulige tiltak mot forurensingen. Til slutt blir resultatene sammenlignet med tidligere studier, og diskutert påliteligheten av prosjektet.

### 5.1 Observasjoner gjort under prøvetaking

Under selve prøvetakingen har det blitt gjort en rekke observasjoner som kan tyde på forurensing fra gruvedriften, hvordan de påvirker vannkvaliteten i området og eventuelle tiltak som kan ha blitt gjort for å forminske effekten av forurensningen.

Oppstrøms (punkt 5) for utløpet av Orva til Glomma har det blitt observert et hvitt belegg på steinene rundt vannet. Dette kan tyde på at det har blitt tilsatt kalk i vannet, for å motvirke effektene av forurensingen lengre nedstrøms elvene. Ved punkt 3 og 4 som er i Orva og hvor Orva renner ut i Glomma har det blitt observert en rødlig farge på steinene og i sanden rundt område. Fra teorikapittel 2.3.5 vet vi at metaller og metalloider presenteres som suspenderte kolloider eller er fiksert av organiske eller mineralske stoffer. Siden metaller ikke eksisterer som løselige specier i lange perioder og akkumuleres ofte som bunnsedimenter (25). Dette kan bety at det er mye jern til stede ved disse lokasjonene, og at det eventuelt har blitt felt ut jern som har startet å samle seg. I tillegg til observerte fargeforskjeller på stein har det blitt observert at det er ulik aktivitet av bunndyr ved ulike punkter. Det har blitt tatt bunndyrsprøver rett oppstrøms utløpet (punkt 5a) og rett nedstrøms utløpet (punkt 3a). Ved punkt 5a har det blitt observert bunndyr, som har blitt samlet for videre analyse. Ved punkt 3a derimot har det ikke blitt observert noen form for bunndyr. Dette kan tyde på at der er forurensing til stede og at levevilkårene for bunndyr er dårligere ved punkt 3a enn ved punkt 5a. Forurensing er ikke eneste faktoren som kan ha påvirket aktiviteten til bunndyr. Det er også mulig at temperatur har en viktig rolle når det kommer til aktiviteten. Bunndyrsprøvene ble tatt sent i april, og det var fortsatt mye snø i området, i tillegg til at det har blitt observert isflak i vannet. Kalde temperaturer i vann kan ha påvirket aktiviteten til bunndyrene.

Det har også blitt gjort andre observasjoner gjennom tiden som kan ha vært med på å påvirke vannkvaliteten og de ulike parameterne. Den 11. Oktober 2022 har det blant annet blitt observert at det har blitt gjødslet et felt som befant seg i nærheten av prøvepunkt 1. Siden gjødsel og landbruk kan være en kilde for forurensing kan dette ha vært med på å øke konsentrasjonen av blant annet Cu, Zn og Cd (5) i prøvepunkt 1 i forhold til prøvepunkt 2. De gjennomsnittlige verdiene for Cu, Zn og Cd i prøvepunkt 1 (henholdsvis 5,749 µg/L, 23,73 µg/L og 0,031 µg/L) var lik eller lavere enn ved prøvepunkt 2 (Cu – lik, Zn – 27,96 µg/L, Cd – 0,04 µg/L). Dette kan antyde at gjødsling den dagen ikke bidro noe særlig til konsentrasjonene av metallene i vannet ved prøvepunkt 1. Samme dag (11. Oktober 2022) har det også blitt observert en høyere vannstand ved prøvepunkt 5. Dette kan ha vært med på å fortynne konsentrasjonene av de ulike grunnstoffene i vannet. Ved høyere vannmengder vil blant annet ledningsevne påvirkes (15). Ved mer vanntilførsel kan konsentrasjonene til ioner/salter synke, som medfører lavere ledningsevne i vannet. Dette samsvarer også med den målte verdien for ledningsevne ved prøvepunkt 5, som hadde lavest oppmålte ledningsevne med 35,4 µS/cm, se tabell C.5 i Vedlegg C.

Senere, den 22. Oktober 2022 har det blitt observert is som fløt i vannet ved prøvepunkt 4. Ut fra teorien kan dette ha en effekt på de ulike parameterne som undersøker vannkvalitet. Et eksempel er effekten på ledningsevne. Isdannelse er med på å øke ionekonsentrasjonen i vannet (23), siden ionene forblir i vannet. Den økte ionekonsentrasjonen vil da være med på å øke ledningsevnen i vannet. De oppmålte verdiene for ledningsevne ved prøvepunkt 4 viser derimot at verdien var lavest for den datoen, se tabell C.4 i Vedlegg C.

## 5.2 PCA og parameterne for vannkvalitet

Ut fra delkapittel 4.1 og 4.2.1.1 kan det utledes en rekke informasjon, og det kan observeres en sammenheng mellom prøvepunktene og parameterne ved de ulike punktene. Spesielt punkt 4 (D – Orva), punkt 3 (C – rett nedstrøms Orva) og punkt 1 (A – lengst nedstrøms Orva) skiller seg ut i PCA plot.

Først kan det observeres at prøvepunkt 4 (D – Orva) skiller seg fra de andre prøvepunktene, se figur 4.7. Sammenlignes dette med parameterne kan det observeres at det er en tydelig trend i dette punktet. Det er for eksempel lavest pH-verdier og høyest ledningsevne, noe som også PCA bekrefter. Ut fra figur 4.8 kan det observeres at prøvepunkt 4 assosieres med høyere konsentrasjoner av metallene Cu, Ni, Fe, Ca og S. Siden prøvepunkt 4 er avrenningen

som stammer direkte fra Nordgruvene kan dette tyde på at gruveavrenningen har en stor effekt på metallinnholdet i vannet. Fra kapittel 2.3.2 om pH vet vi at metallioner i pH har evnen til å gjøre vannet surere da de kan oppføre seg som protondonorer når de er løst opp i vann (14). Dette kan forklare hvorfor pH-verdien er lavest ved prøvepunkt 4 (Orva). Ved samme prøvepunktet kan det observeres en høy korrelasjon med ledningsevne, som også kan observeres ved hjelp av målingene, se figur 4.3, som viser at punkt 4 har høyest ledningsevne. Fra delkapittel 2.3.3 vet vi at høyere konsentrasjoner av oppløste ioner vil også øke ledningsevnen i vannet (15).

Punkt 3 (C – rett nedstrøms Orva) virker til å være delvis påvirket av punkt 4, se figur 4.6 Punkt 3 har høyere metallkonsentrasjoner, i tillegg til at det prøvepunktet korrelerer med de samme metallene som punkt 4. Metallkonsentrasjonene for Cu, Zn, Cd, Fe og S var høyere i prøvepunkt 4 enn i prøvepunkt 3, se figur 4.8 – 4.16. Cu konsentrasjonene var 335% høyere i punkt 4 enn i punkt 3, Zn varierte med 353%, Cd varierte med 373%, Fe varierte med 305% og S varierte med 302%. Det kan i tillegg observeres at pH-verdien er høyere (7,33) og ledningsevnen er lavere (45,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) i punkt 3 enn ved punkt 4 (pH = 6,77; ledningsevne = 67,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Dette kan forklares ved at metallkonsentrasjonene har blitt fortynnet mellom punkt 4 og 3, enten ved mer vannføring eller ved at det har blitt dannet utfellinger av metallionene. Uansett kan det sies at Nordgruvefeltet har en tydelig effekt på vannkvaliteten i Glomma, spesielt ved punktet rett nedstrøms Orva.

Punkt 1 (A – lengst nedstrøms Orva) skiller seg ut fra de andre prøvepunktene i PCA plottet, se figur 4.6. Ved hjelp av 4.7 kan det observeres at det prøvepunktet korrelerer med Ba og Al. Ut fra figur 4.18 kan det observeres at punkt 1 hadde høyest konsentrasjon av Al (22,40  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) over alle lokalitetene. Det kan også observeres at konsentrasjonen til Al har økt mellom prøvepunkt 2 og 1, som kan bety at det finnes en kilde for Al mellom punkt 2 og 1. Slike kilder kan være både naturlige og antropogen. En mulig antropogen kilde kan være en gjenvinningsstasjon som ligger mellom prøvepunktene 2 og 1, og som ligger ganske nærme Glomma. Det er en rekke avfall man kan levere til gjenvinningsstasjoner, blant annet metall, bildekk, EE-avfall og mange andre ting. Det er mulig at dette avfallet inneholder mengder aluminium. Det er en fare for at det blir forurenset avrenning når avfallet kommer i kontakt med nedbør som regn eller snø (62). Det er mulig at noe av avrenningen av avfallet kan ha hatt Al i seg, som så havnet i Glomma.

## 5.3 Utfelling

I resultatdelen har det blitt presentert data for konsentrasjoner av en rekke metaller og grunnstoffer, som har hovedsakelig fulgt samme trenden om at konsentrasjonene i punkt 4 (Orva) har vært høyest, og at det har vært en nedgang i konsentrasjonene desto lenger nedstrøms prøvene ble tatt (Punkt 1-3, hvor 1 er lengst nedstrøms). En grunn til dette kan være at metallkonsentrasjonene har blitt fortynnet av vannmengden. En annen grunn kan være at metallene som Cu, Zn og Fe har blitt felt ut og er dermed utilgjengelig som oppløste ioner i vann. Dette vil da medføre at de faktiske konsentrasjonene ikke kan bli bestemt. Fra delkapittel 2.3.5 vet vi at metallioner forekommer som ulike specier i vann, og at disse kan forandre seg ved ulike pH-verdier (25).

Nedgangen for Zn fra 671,1 µg/L i Orva (punkt 4) til 23,72 µg/L i prøvepunkt 1 som ligger lengst nedstrøms kan være et eksempel for slik speciering i vann. Ved hjelp av figur 2.3.5.2 (27) ble det bestemt at Zn hovedsakelig vil eksistere som  $Zn^{2+}$  (aq) ioner og  $ZnSO_4$  (aq) når pH-verdiene er mellom 6,77 og 7,33 (Prøvepunkt 1-4). Ved pH-verdier rundt 7,33 øker mengden av  $ZnCO_3$  (aq) og  $ZnOH^+$ , og mengden av  $Zn^{2+}$  (aq) vil starte å minke. Blant annet  $ZnCO_3$  og  $ZnSO_4$  er uløselig i vann og danner utfellinger. Havner disse saltene på bunnen vil de ikke være til stede i vannet, når vannprøvene analyseres for å finne konsentrasjonene av Zn.

Konsentrasjonen til Cu gikk fra 82,21 µg/L i Orva til 5,749 µg/L i prøvepunkt 1. pH-verdiene ligger mellom 6,77 (prøvepunkt 4) til 7,33. Ved hjelp av figur 2.3.5.1 (26) ble det bestemt at Cu eksisterer som  $Cu^{2+}$  (aq) ioner og  $CuSO_4$  (aq) i Orva, siden pH-verdien er gjennomsnittlig på 6,77. Ved en pH-verdi på 7,33 starter mengden av  $Cu^{2+}$  (aq) ioner og  $CuSO_4$  (aq) med å minke og det Cu vil eksistere som  $CuOH^+$  (aq),  $CuOH_2$  (aq) og  $CuCO_3$  (aq). Både  $CuOH_2$  (aq) og  $CuCO_3$  (aq) felles ut, som kan forklare hvorfor konsentrasjonene til Cu minker des lenger nedstrøms prøvene ble tatt, da disse ikke lenger eksisterer som oppløste specier i vann.

Som tidligere nevnt er det observert en rødlig farge i området i Orva (punkt 4) og ved utløpet (punkt 3), i tillegg til at det har blitt tatt prøver av noe som ligner alger, men noe som også kan være jernutfelling. For å bestemme specieringen av Fe ble figur 2.3.5.3 brukt (28). Siden redokspotensialet ikke har blitt målt, antas den til å være over null, som medfører at Fe vil eksistere som  $Fe^{2+}$  ioner i vann og  $Fe(OH)_3$ .  $Fe(OH)_3$  blir felt ut som et rust-brun gelatinøst faststoff, noe som beskriver «alge-prøven» veldig godt. Det kan derfor antas at «algene» er

jernutfelling, noe som også forklarer hvorfor «alge-prøven» hadde høyest konsentrasjon av Fe (123200 mg/kg).

## 5.4 Grenseverdier

Ut fra miljødirektoratets veileder om grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota kan det vurderes hvor alvorlig tilstanden er i Glomma. Grenseverdiene og klassegrensene er utarbeidet av Aquateam og kvalitetssikret av NIVA. Gjennom internasjonalt etablerte systemer for miljøkvalitetsstandarder og risikovurderinger av kjemikalier i EU har klassegrensene blitt fastlagt. Klassifiseringssystemet viser den økende grad av skade en kan forvente på organismsamfunnet i vannsøylen og sedimentene (63), se tabell 5.4.1.

**Tabell 5.4.1:** Klassifiseringssystem for vann og sediment (63)

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtidseksponering	Akutt toksiske effekter ved korttidseksponering	Omfattende toksiske effekter

### 5.4.1 Grenseverdier for ferskvann

I tabell 5.4.1.1 blir det presentert tilstandsklasser for stoffer i ferskvann ( $\mu\text{g/L}$ ), som gir grunnlag for videre vurdering av vannkvaliteten i Glomma, se tabell 5.4.1.2.

**Tabell 5.4.1.1:** Tilstandsklasser for stoffer i ferskvann ( $\mu\text{g/L}$ ) for Cd, Cu og Zn (63).

Navn på stoff	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Kadmium	0 – 0,003	Fotnote 1	Fotnote 2	Fotnote 3	Fotnote 3
Kobber	0 – 0,3	0,3 – 7,8		7,8 – 15,6	> 15,6
Sink	0 – 1,5	1,5 - 11		11 – 60	> 60

1) Klasse II Cd verdier avhengig av vannets hardhet:  $\leq 0.08$  ( $< 40$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ );  $0.08$  ( $40 - < 50$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ );  $0.09$  ( $50 - < 100$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ );  $0.15$  ( $100 - < 200$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ );  $0.25$  ( $\geq 200$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ).



2) Klasse III Cd verdier avhengig av vannets hardhet:  $\leq 0.45$  ( $< 40$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 0.45 (40 -  $< 50$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 0.60 (50 -  $< 100$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 0.9 (100 -  $< 200$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 1.5 ( $\geq 200$  mg CaCO<sub>3</sub>/L).

3) Klasse IV Cd verdier avhengig av vannets hardhet:  $\leq 4.5$  ( $< 40$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 4.5 (40 -  $< 50$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 6.0 (50 -  $< 100$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 9.0 (100 -  $< 200$  mg CaCO<sub>3</sub>/L); 15 ( $\geq 200$  mg CaCO<sub>3</sub>/L).

Verdier over tilhører klasse V.

**Tabell 5.4.1.2:** Tilstandsklasser for stoffer i ferskvann ( $\mu\text{g/L}$ ) for Cd, Cu og Zn før prøvepunktene 1-6.

Metall	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6
Kadmium	0,03115	0,04034	0,2782	1,039	0,003413	0,003688
Kobber	5,749	5,738	24,51	82,21	1,113	1,039
Sink	23,73	27,96	190,2	671,1	1,990	1,917

Når det kommer til vurdering av tilstandsgraden for Cd, må vannets hardhet beregnes. Dette gjøres ved å bruke Ca innholdet ved hvert punkt, og beregne vannets hardhet, ved å multiplisere Ca innholdet med 2,5. For å beregne hardheten til vannet antas det at det totale innholdet av Ca funnet ved hjelp av ICP-MS analysen er Ca<sup>2+</sup> ioner. Siden Ca kan også forekomme som andre specier som CaOH<sup>+</sup> (aq) og Ca(OH)<sub>2</sub> (aq), kommer den estimerte verdien for vannets hardhet ikke til å være helt realistisk. Uansett kan det gi en indikasjon på hardheten av vannet, da Ca hovedsakelig er til stede som Ca<sup>2+</sup> ioner, se Vedlegg B.

Sammenlignes disse verdiene med de gjennomsnittsverdiene fra prøvetakingene som har blitt tatt, kan det observeres at prøvepunktene som ligger oppstrøms (punkt 5 og 6) klassifiseres som å ha en god tilstandsgrad. Det vil si at metallene ikke har noen toksiske effekter oppstrøms for forurensningskilden. Lenger nedstrøms, i forurensningskilden Orva (punkt 4), og ved utløpet (punkt 3), observeres det signifikante forskjeller i konsentrasjoner. Verdiene for Cu og Zn overstiger grenseverdiene og klassifiseres som tilstandsgrad V, som betyr at vannkvaliteten ved i Orva og ved utløpet er svært dårlig. Verdiene for Cd er ikke like alvorlige som Cu og Zn. Likevel kan Cd forårsake akutt toksiske effekter ved kortvarig eksponering i Orva. Ved utløpet er tilstandsgraden III (moderat) og kan føre til kroniske effekter ved langtidseksponering. Punktene 1 og 2 som ligger lengst nedstrøms fra forurensningskilden har bedre verdier, og tilstandsgraden for Cu og Cd klassifiseres som god. Zn derimot har høyere konsentrasjoner og klassifiseres som dårlig.

I en tidligere studie gjennomført i 2021 (11), har tilstandsgraden for metallene i Orva og nedstrøms utløp Orva blitt klassifisert som ikke god. I dette prosjektet vil dette omtrent tilsvare Punkt 3 og 4. Studiet fra 2021 har også klassifisert tilstanden oppstrøms som god. I dette prosjektet vil dette tilsvare omtrent samme lokasjon som punkt 5, som også har blitt klassifisert som god i dette prosjektet. En rapport fra 2002 har også klassifisert forurensingsnivåene i Orva som dårlig og i Glomma som middels, som antyder at forurensingstrendene ikke har forandret seg noe særlig gjennom årene (64). Dette betyr at resultatene for klassifisering av tilstandsgraden fra dette prosjektet stemmer godt overens med resultater funnet for tidligere studier.

#### 5.4.2 Grenseverdier for sediment

Tabell 5.4.2.1 presenterer tilstandsklasser for metaller i sediment som gir grunnlag for videre vurdering av tilstanden av vannkvaliteten i Glomma, se tabell 5.4.2.2.

**Tabell 5.4.2.1:** Tilstandsklasser for stoffer i sediment (mg/kg TS) for Cd, Cu og Zn (63).

Navn på stoff	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Kadmium	0 – 0,2	0,2 – 1,5 <sup>(a)</sup>	1,5 – 16 <sup>(a)</sup>	16 - 157	> 157
Kobber	0 – 20	20 - 210		210 - 400	> 400
Sink	0 – 90	90 - 139	139 - 750	750 - 6690	> 6690

<sup>(a)</sup> Hardhet: < 40 mg CaCO<sub>3</sub>/L

**Tabell 5.4.2.2:** Tilstandsklasser for stoffer i sediment for Cd, Cu og Zn for prøvepunktene 3a og 5a.

Metall	Enhet	Punkt 3a	Punkt 5a
Kadmium	mg/kg TS	47,37	0,13
Kobber	mg/kg TS	13,93 * 10 <sup>3</sup>	22,92
Sink	mg/kg TS	22,85 * 10 <sup>3</sup>	122,6

Ut fra disse verdiene kan de observeres at tilstanden for sediment i prøvepunktet som ligger oppstrøms er god, og at disse verdiene ikke gir noen toksiske effekter. Selv om det ikke er en signifikant forskjell mellom konsentrasjonen i prøvepunkt 3a og 5a, med en p-verdi på 0,1, kan

det observeres at tilstanden for prøvepunkt 3a klassifiseres som dårlig og svært dårlig. Dette vil si at tilstanden kan føre til akutt toksiske effekter ved korttidseksposering og omfattende toksiske effekter.

### 5.4.3 Grenseverdier for bunndyr

Bunndyr er svært følsomme ovenfor forsurening i tillegg til organisk belastning. Tilstandsgraden til bunndyr kan blant annet fastsettes ved hjelp av terskelindikatorer (65), se tabell 5.4.3.1.

**Tabell 5.4.3.1:** Klassifisering av tilstandsgrad for Biota med hensyn til tilstedeværelse av bunndyr (65).

Tilstandsklasse	Biota
Referanseverdi	Ikke definert
Svært god	Til stede
God	Til stede, men noe tilbakegang er påvist
Moderat	Til stede, men betydelig tilbakegang er påvist
Dårlig	Mangler, men er tidligere påvist
Svært dårlig	Ikke definert

Grunnet manglende informasjon om hvilke typer arter bunndyrene var, og ulikheter mellom klassifiseringsmetoder gjort i dette prosjektet og i Veilederen om klassifisering av miljøtilstanden i vann, vil grenseverdiene kun vurderes ut fra tabell 5.4.3.1. Senere vil det også bli diskutert miljøtilstanden av bunndyr i dette prosjektet i forhold til tidligere studier.

Bunndyrene har blitt samlet rett oppstrøms (punkt 5a) og rett nedstrøms (punkt 3a) utløpet av Orva. Resultatene fra tidligere studier blir diskutert senere, frem til da har det blitt tatt en vurdering av tilstandsgraden ut fra observasjoner gjort under prøvetakingen, se tabell 5.4.3.2. Ved hjelp av Veilederen om klassifisering av miljøtilstanden i vann har den økologiske tilstanden i dette prosjektet blitt klassifisert som moderat ved punkt 5a (oppstrøms) og som dårlig ved punkt 3a (nedstrøms). Merk at disse resultatene og bestanden av bunndyr kan skyldes andre faktorer enn forurensing i vannet.

**Tabell 5.4.3.2:** Klassifisering av tilstandsgrad ved prøvepunktene 3a og 5a

Lokasjon	Biota
5a (oppstrøms Orva)	Til stede – men lite
3a (nestrøms Orva)	Mangler

## 5.5 Tiltak mot forurensing

Det har fram til nå blitt diskutert at gruveavrenningen fra Nordgruvefeltet har en effekt på vannkvaliteten av Glomma. Sediment og bunndyrsprøvene kan indikere at denne forurensingen har vart lenge og har hatt en langtidseffekt på vannkvaliteten i Glomma. Det har også blitt tatt en vurdering av tilstandsgraden i Glomma i henhold til offisielle grenseverdier. Ut fra dette har det blitt gjort en vurdering om at vannkvaliteten nedstrøms utløpet av Orva kan klassifiseres som dårlig til svært dårlig. Med tanke på dette bør det vurderes tiltak mot forurensingen som har en tydelig effekt på tilstanden i Glomma.

I delkapittel 5.1 har det blitt nevnt at det har blitt observert et hvitt belegg på steinene i områdene av prøvepunktene 5 og 6 som ligger oppstrøms utløpet av Orva. Dette kan indikere at det har blitt igangsatt tiltak mot forurensingen, slik som kalking. Ut fra delkapittel 2.3.2 vet vi at kalking er et tiltak som er med på å nøytralisere syrer i vann. Ved å tilsette kalk i vassdrag forbedres vannkvaliteten og dermed også det biologiske mangfoldet. Ved å tilsette det oppstrøms øker konsentrasjonen av  $\text{CaCO}_3$ , og vil transporteres lenger nedstrøms. På denne måten vil pH-verdier som er sure nøytraliseres. Slik kalking kan være en grunn for at pH-verdien har økt fra 6,77 til 7,33 mellom henholdsvis prøvepunkt 4 (Orva) og 3 (rett nedstrøms Orva). Ved å øke pH-verdien vil det også bli felt ut mer metaller, som diskutert tidligere i kapittel 5.3. Det er også generelt høye konsentrasjoner av Ca fordelt over alle lokasjoner, se figur 4.17. Det er viktig å huske at Ca ikke kun kommer fra tiltak som kalking, men også er en kjent bestanddel i gabbro, som det er mye av i akkurat dette området, se figur 2.1.1.1 (4).

Kalking er ikke det eneste tiltaket som kan bli gjort. Andre tiltak inkluderer slamdeponi, fjerning av slagghaugene, og reduksjon av vannmengder på gruveavfallet som kan bli om til gruveavrenning. Fra 1991 ble dammene som inneholdt flotasjonsavgang fra den siste driften tettet og dekket med morene og tilsådd med gress. 1994 ble også bergveltene ved Kongens gruve dekket med morene (66). En utfordring med dette er at Nordgruvene har tittel som verdenskulturarv, og dermed er tiltakene for inngripende. Ut fra grenseverdiene for metallene i både vann og sediment har det blitt funnet dårlige kjemiske tilstander nedstrøms utløpet, så

det bør absolutt vurderes andre tiltak enn kalking for å forbedre tilstanden i Glomma rundt Nordgruvefeltet.

## 5.6 Sammenligning av historiske dataverdier med nåværende verdier

Tidligere ble det diskutert at tilstandsgraden for vannkvaliteten og sediment klassifiseres som dårlig til svært dårlig i området direkte nedstrøms av Orva, i forhold til områder som befinner seg oppstrøms. Dette tyder på at vannkjemien i Orva og nedstrøms Orva er sterkt preget av avrenning fra Nordgruvefeltet. Nå skal det vurderes om resultatene og trender i dette prosjektet stemmer overens med resultatene og trendene fra tidligere studier.

Glomma har en stedegen grenseverdi for kobber på 10 µg/L, som skiller seg fra grenseverdiene gitt i miljødirektoratets veileder for grenseverdier. Vannprøvene fra punkt 3 (nedstrøms utløpet av Orva) i dette prosjektet overskrider denne grenseverdien (24,51 µg/L). Dette gjorde også vannprøvene tatt i 2021. I tillegg har det blitt observert i 2021 at den gjennomsnittlige kobberkonsentrasjonen økte fra 1,16 µg/L før utløpet av Orva til 38,65 µg/L etter utløpet til Orva (11). I dette prosjektet har de gjennomsnittlige kobberkonsentrasjonene økt fra 1,113 µg/L før utløpet av Orva til 24,51 µg/L etter utløpet til Orva. Til tross for at konsentrasjonene fra begge årene følger trenden om at avrenningen fra Nordgruvefeltet påvirker Glomma, viser det seg at konsentrasjonen fra 2021 er høyere enn konsentrasjonen fra 2022. De gjennomsnittlige kobberkonsentrasjonene i Orva i dette prosjektet er en del lavere (82,21 µg/L) enn konsentrasjonene i 2021 (137,72 µg/L) og 2020 (220,4 µg/L). En studie fra 2002 har også vist at konsentrasjonene av Cu var 340 µg/L. Kobberkonsentrasjonene i 2021 har altså blitt redusert til 40% av hva den var i 2002 (64). Dette følger den overordnede trenden som går tilbake til 1990-tallet om at utlekkingen fra Nordgruvefeltet til Orva er avtakende over tid (11).

Fra det tidligere studiet i 2021 ble det også observert at gruvesystemet har høyt innhold av løst jern, som felles ut nedstrøms gruvesystemet. Da kom det også fram at det kan observeres mye rød jernutfelling i Orva og områdene rundt. Dette fenomenet ble også observert i dette prosjektet. Det som tidligere har blitt antatt til å være alger (punkt 3a – nedstrøms Orva), kan være tegn på slik jernutfelling. Slik jernutfelling kan være en grunn til at jernkonsentrasjonene ikke er like høye ved punkt 1 og 2 (nedstrøms), sammenlignet med punkt 3.

Det har også blitt gjort observasjoner av pH-verdier for Glomma fra 2013 til 2021. I disse dataene har det vist seg at pH-verdiene holdt seg nøytral oppstrøms for utløpet av Orva, og at metallkonsentrasjonene holdt seg lav. Nedstrøms utløpet av Orva har metallkonsentrasjonene økt, men pH-verdien holdt seg fremdeles nøytral (11). Dette kan også observeres i dette prosjektet, hvor pH-verdien direkte oppstrøms Orva hadde en gjennomsnittlig verdi på 7,53 og nedstrøms hadde en verdi på 7,33. I Orva, som har høyest konsentrasjon av metaller blant annet Fe, Cu, Zn, er pH-verdien lavest med en gjennomsnittlig verdi på 6,77, som er svakt surt. Dette har en sammenheng med blant annet metallkonsentrasjoner da metallioner løst opp i vann kan oppføre seg som en lewisyre. En annen grunn for den lave pH-verdien kan være store nedbørsmengder eller snøsmelting. I slike perioder blir oksygenrikt vann tilført til gruvene som medfører oksidasjon av pyrittminerale, som gir utlekking av svovelsyre. Økte mengder med svovelsyre senker pH i avrenningen. Orva ble observert til å være veldig svovelholdig, som kan indikere forekomsten av slik svovelsyre.

I tidligere studier fra 2021, som brukte bunndyr i miljøovervåkinger i Glomma, ble det funnet et moderat antall EPT-arter i Glomma oppstrøms utløpet, hvorav noen tilhører de mest forurensingssensitive familiene. Det var likevel noe lavere enn man ville forvente ved en slik lokalitet, og det har vist seg til å være en nedgang fra prøvetaking i 2018. Siden denne lokasjonen har blitt antatt til å være upåvirket av gruvevann kan det ha mange mulige årsaker som ikke er relatert til Nordgruvefeltet (11). I dette prosjektet ble det tatt bunndyrprøver kun en gang, og disse ble observert kun ved prøvepunktet rett oppstrøms Orva og ikke nedstrøms Orva. På grunn av dette kan det ikke sies med sikkerhet om den reduserte bestanden skyldes forurensing eller andre faktorer som temperatur eller tidspunktet prøven ble tatt (April 2023). Studiet fra 2021 har uansett påvist at resultatet av den økologiske tilstanden nedstrøms Orva var klart dårligere enn oppstrøms Orva (11). Tilførselen av gruvevann påvirket altså tydelig forholdene i vannmiljøet ved innblandingssonen, som kan forklare hvorfor det ikke har blitt observert bunndyr når prøvene ble tatt for dette prosjektet. Det må uansett sies at det har blitt tatt for få biotaundersøkelser i dette prosjektet til å kunne si hvordan gruveavrenningen påvirker bestanden.

## 5.7 Kvalitet av prosjektet og videre arbeid

Når det kommer til gjennomføringen av prosjektet har det blitt fulgt flere ISO-rutiner for å kunne forsikre seg om at metoden i prosjektet er reproducerbart. I tillegg skulle det unngås systematiske feil ved å bruke ISO-rutiner. Alle prøvene har blitt tatt ved bruk av samme metode

ved alle lokasjoner, som kan indikere at resultatene ikke er påvirket så mye av systematiske feil. I tillegg har det blitt brukt prøvebeholdere som har blitt tidligere behandlet med syre, og har blitt bevart i polyetylenposer, for å forhindre kontaminering før prøvene ble tatt. Det kunne uansett ha blitt kontaminasjon mens prøvene ble samlet. Det ha vært et alternativ å ta flere vannprøver gjennom prøvetakingsperioden for å forsikre seg om det kan ha forekommet kontaminasjon underveid. I tillegg kunne det vært fint å tatt flere prøver over flere dager for å kunne spesifisere om metallkonsentrasjonene i vannet kan ha blitt påvirket av andre faktorer som mye nedbør, etc. På grunn av for lite data tilgjengelig kan det være litt usikkerhet rundt dette.

I tillegg kunne det ha blitt tatt flere prøver av bunndyr, også over en lengre periode. I dette prosjektet er det blitt vanskelig å vurdere om ulikhetene i bestanden av bunndyr ved de ulike lokasjoner skyldes forurensing, eller andre faktorer som for eksempel tidspunktet prøvene har blitt tatt.

## 6 Konklusjon

Gjennom en rekke observasjoner har det blitt gjort antakelser om at gruveavrenningen fra Nordgruvefeltet har en effekt på vannkvaliteten i Glomma. Dette har blitt bekreftet ved hjelp av målinger av parametere som pH og ledningsevne, og ved hjelp av vann-, sediment- og bunndyrsprøver. Konsentrasjonene av metallene i vannprøvene har vært signifikant høyere i Orva som er direkte knyttet til gruveavrenningen, i forhold til konsentrasjonene i Glomma. Denne nedgangen kan skyldes en rekke faktorer som blant annet utfelling, tiltak som kalking og fortykning av konsentrasjonene gjennom vannmengder. Uansett har det blitt påvist at den kjemiske og økologiske tilstandsgraden i Glomma er dårligere nedstrøms Orva enn oppstrøms Orva, som igjen er en god indikasjon på at gruveavrenningen påvirker Glomma på en negativ måte. Dette følger også trenden som tidligere studier har observert.

## 7 Kilder

1. Kampestuen KÅ. Det som gjør Røros til verdensarvby fortsetter å ødelegge miljøet. nrk. 2021.
2. RENAS. Tungmetaller RENAS.no: RENAS; [cited 2023 22.03]. Available from: <https://renas.no/encyclopedia/tungmetaller/>.
3. Wu Y, Li X, Yu L, Wang T, Wang J, Liu T. Review of soil heavy metal pollution in China: Spatial distribution, primary sources, and remediation alternatives. Resources, Conservation and Recycling. 2022;181:106261.
4. NGU, cartographer B e r g g r u n n - Nasjonal berggrunnsdatabase. geo.ngu.no: ngu.
5. Heavy Metals in Soils. 3. ed: Springer Dordrecht; 2013 18 July 2012.
6. Lov om erverv og utvinning av mineralressurser (mineralloven), (2009).
7. Svalbard DfmmBf. DMFs oppgaver - sikring og miljø dirmin.no2022 [cited 2023 09.06]. Available from: <https://dirmin.no/dmfs-oppgaver-sikring-og-miljo>.
8. Grinden J. Helhetlig tiltaksplan for Follidal gruver overlevert dirmin.no2022 [cited 2023 09.06]. Available from: <https://dirmin.no/aktuelt/helhetlig-tiltaksplan-follidal-gruver-overlevert-0>.
9. Borgos RoS, Amund. Nordgruvefeltet Verdensarven Røros bergstad og Circumferensen2001 [Available from: <https://verdensarvenroros.no/nordgruvefeltet#969>].
10. Berg Å. Ren kultur – forurenset natur? VANN. 2012;01:68-75.
11. Evensen LoS, Leif. Overvåkning av gruvepåvirkede vassdrag ved Nordgruvefeltet på Røros. 2022.
12. Vogt Y. Giftige tungmetaller i ferskvann. Apollon Forskningsmagasinet. 2012.
13. Qiao P, Wang S, Li J, Zhao Q, Wei Y, Lei M, et al. Process, influencing factors, and simulation of the lateral transport of heavy metals in surface runoff in a mining area driven by rainfall: A review. Science of The Total Environment. 2023;857:159119.
14. Stumm W. Aquatic chemistry : chemical equilibria and rates in natural waters. 3rd ed. Morgan JJ, editor. New York: Wiley; 1996.
15. Nayla Hassan O. Water Quality Parameters. In: Kevin S, editor. Water Quality. Rijeka: IntechOpen; 2019. p. Ch. 1.
16. Fondriest Environmental I. Water Temperature fondriest.com2014 [cited 2023 17.06]. Available from: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/water-temperature/>.
17. What is the pH of water and how is pH measured? What does pH measure? YSI.com [Available from: <https://www.ysi.com/parameters/ph>].
18. Pedersen B. Le Châtelier-prinsippet Store Norske Leksikon: snl.no; [cited 2023 22.05]. Available from: [https://snl.no/Le\\_Ch%C3%A2telier-prinsippet](https://snl.no/Le_Ch%C3%A2telier-prinsippet).
19. Ichikawa K. Buffering Dissociation/Formation Reaction of Biogenic Calcium Carbonate. Chemistry – A European Journal. 2007;13(36):10176-81.
20. Fondriest Environmental I. pH of water 2013 [cited 2023 22.05]. Available from: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/ph/>.
21. Vøllestad LA. kalking av vassdrag Store norske leksikon: snl.no; 2022 [cited 2023 22.05]. Available from: [https://snl.no/kalking\\_av\\_vassdrag#:~:text=Kalking%20er%20%C3%A5%20tilsette%20kalk,Norge%20\(se%20sur%20nedb%C3%B8r\)](https://snl.no/kalking_av_vassdrag#:~:text=Kalking%20er%20%C3%A5%20tilsette%20kalk,Norge%20(se%20sur%20nedb%C3%B8r)).
22. EPA. 5.9 Conductivity archive.epa.gov: EPA- United States Environmental Protection Agency; 2012 [cited 2023 16.06]. Available from: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html#area>.
23. DataStream. Conductivity datastream.org [cited 2023 27.04]. Available from: [https://datastream.org/en/guide/conductivity#:~:text=Conductivity%20in%20lakes%20and%20streams,of%20saline%20\(salty\)%20conditions](https://datastream.org/en/guide/conductivity#:~:text=Conductivity%20in%20lakes%20and%20streams,of%20saline%20(salty)%20conditions).
24. YSI. Turbidity Measurement ysi.com [Available from: <https://www.ysi.com/parameters/turbidity>].



25. Fifield FW, Haines PJ. Environmental analytical chemistry. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science; 2000.
26. Kipton J, Powell, Brown P, Byrne R, Gajda T, Hefter G, et al. CHEMICAL SPECIATION OF ENVIRONMENTALLY SIGNIFICANT METALS WITH INORGANIC LIGANDS PART 2: THE Cu 2–OH–, Cl–, CO 3 2–, SO 4 2–, AND .... Pure Appl Chem Z Chai (ChinaPoland); P Minkinen (Finland); K Murray (USA); National Representatives: C Balarew (Bulgaria); E Dominguez (Spain); S Kocaoba (Turkey); Z Mester (Canada); B Spivakov (Russia. 2007;79:895-950.
27. Powell K, Brown P, Byrne R, Gajda T, Hefter G, Leuz A-K, et al. Chemical Speciation of Environmentally Significant Metals: An IUPAC contribution to reliable and rigorous computer modelling. Chemistry International. 2015;37.
28. Monhemius J. The iron elephant: A brief history of hydrometallurgists' struggles with element no. 26. CIM Journal. 2017;8:197-206.
29. Ann Kristin L. Schartau TB. Økologiske vannkvalitetsmål i ferskvann – Forslag til nytt klassifiseringssystem for bunndyr. Vannforeningen-sammen for vannet. 2008;43.
30. Persson J. Funksjonelle egenskaper ved bunndyrsamfunn i vassdrag – et mulig verktøy i fremtidig miljøovervåking? NIVA; 2014. Report No.: 6702-2014.
31. NINA. Bunndyr og vanninsekter Norsk institutt for naturforskning2023 [Available from: <https://www.nina.no/naturmangfold/bunndyr-og-vanninsekter>].
32. Zhou Q, Zhang J, Fu J, Shi J, Jiang G. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Analytica Chimica Acta. 2008;606(2):135-50.
33. Furse MT, Wright JF, Armitage PD, Moss D. An appraisal of pond-net samples for biological monitoring of lotic macro-invertebrates. Water Research. 1981;15(6):679-89.
34. Bongard ToA, Kaare. BIOKLASS. Klassifisering av økologisk status i norske vannforekomster - elver. Forslag til bunndyrindeks for definisjon av Vanddirektivets fem nivåer for økologisk status. NINA; 2006. Report No.: 113.
35. Skoog DA, Skoog DA, West DM, Holler FJ, Crouch SR. Fundamentals of analytical chemistry. Tenth edition, student edition. ed. Pacific Grove: Brooks/Cole; 2022.
36. Analytical R. THEORY AND APPLICATION OF CONDUCTIVITY. Application Data Sheet. 2010;ADS 43-018/rev.D.
37. RS. Conductivity Meters RS-online.com [cited 2023 27.04]. Available from: <https://no.rs-online.com/web/c/test-measurement/environmental-test-measurement/conductivity-meters/>.
38. Fondriest Environmental I. Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids. Fundamentals of Environmental Measurements2014 [cited 2023 27.04]. Available from: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/#:~:text=Conductivity%20and%20Temperature,many%20salts%20and%20minerals%2030>.
39. Omar AF, Matjafri MZ. Turbidimeter design and analysis: a review on optical fiber sensors for the measurement of water turbidity. Sensors (Basel). 2009;9(10):8311-35.
40. Thomas R. A Beginner's Guide to ICP-MS. Spectroscopy. 2001;16:75.
41. Microsoft. Opprette et boksdiagram: microsoft.com; [cited 2023 27.04]. Available from: <https://support.microsoft.com/nb-no/office/opprette-et-boksdiagram-62f4219f-db4b-4754-aca8-4743f6190f0d>.
42. shristikotaiah. Box Plot [cited 2023 27.04]. Available from: <https://www.geeksforgeeks.org/box-plot/>.
43. Kingdom S. Mann-Whitney U Test statskingdom.com: Statistic Kingdom; [cited 2023 08.05]. Available from: [https://www.statskingdom.com/test\\_mann\\_whitney.html](https://www.statskingdom.com/test_mann_whitney.html).
44. Mann-Whitney Table real-statistics.com: Real Statistic Using Excel; [cited 2023 08.05]. Available from: <https://real-statistics.com/statistics-tables/mann-whitney-table/>.
45. Jolliffe IT, Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2016;374(2065):20150202.

46. Syms C. Principal Components Analysis☆. In: Fath B, editor. Encyclopedia of Ecology (Second Edition). Oxford: Elsevier; 2019. p. 566-73.
47. Esbensen KH, Guyot D, Westad F, Houmoller LP. Multivariate data analysis: in practice: an introduction to multivariate data analysis and experimental design: Multivariate Data Analysis; 2002.
48. Bottles, wide neck, HDPE, round, with screw cap, IP2: vwr; [Available from: <https://no.vwr.com/store/product/7064401/bottles-wide-neck-hdpe-round-with-screw-cap-ip2>.
49. VWR®, Flaske, vid hals, med skrulokk no.vwr.com: vwr; [Available from: [https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog\\_number=215-5631](https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog_number=215-5631).
50. VWR®, Centrifuge Tubes, Metal-Free, Sterile no.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: <https://no.vwr.com/store/product?keyword=525-1121>.
51. Sprøyter, tredelt, HENKE-JECT® no.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: [https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog\\_number=613-2046](https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog_number=613-2046).
52. VWR®, Syringe Filters no.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: [https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog\\_number=514-1261](https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog_number=514-1261).
53. Analysebeholder, Coulter® no.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: [https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product\\_id=547750#order](https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product_id=547750#order).
54. Norge S. NS-EN ISO 5667-6:2016. standard.no2016. p. 40.
55. Norge S. NS-EN ISO 10523:2012. 2012. p. 20.
56. Buffer solutions, ready to use, referenced at 20 °C, Certipur®, Supelco® no.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: <https://no.vwr.com/store/product/804829/buffer-solutions-ready-to-use-referenced-at-20-nbsp-c-certipur-supelco>.
57. Norge S. NS-ISO 7888:1985. standard.no1985. p. 16.
58. Konduktivitets-standarder (25 °C; KCl) for måling av ledningsevne no.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: [https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product\\_id=711195](https://no.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product_id=711195).
59. Norge S. NS-EN ISO 7027-1:2016. standard.no2016. p. 20.
60. Calibration standards for Turbiquant®, Supelco® dk.vwr.com: vwr; [cited 2023 03.05]. Available from: [https://dk.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product\\_id=810318](https://dk.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product_id=810318).
61. Norge S. NS-EN ISO 17294-1:2006. standard.no2007. p. 40.
62. Franzen O. Forprosjekt risikovurdering ny gjenvinningsstasjon Meråker Stormyra. statsforvalteren.no; 2020.
63. Grenseverdier for klassifisering  
av vann, sediment og biota –  
revidert 30.10.2020, (2020).
64. Gundersen P. Concentrations and speciation of Cu, Zn, Cd, and Al in mine-polluted Norwegian rivers : influence of main water parameters and consequences to fish: NTNU; 2002.
65. Klassifisering av miljøtilstand i vann, (2018).
66. Iversen ER. Elvestrekninger påvirket av gruveforurensning. Norsk institutt for vannforskning; 2002.

## Vedlegg A – Mann Whitney U test

Resultatene for den gjennomførte Mann – Whitney U test for grunnstoffene Cu, Zn, S, Fe, Cd, Ca og Al, inkludert sedimentprøvene, er presentert i tabell A.1.

**Tabell A.1:** Tabell som viser oversikt over antall prøver (n), U, T, z – og p – verdi i tillegg til effektstørrelse for vannprøver og sedimentprøver.

<b>Hypotesetest: Cu, Zn, Fe, S, Cd</b>	<b>Antall prøver (n)</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>U - verdi</b>	<b>0</b>
<b>Oppstrøms</b>	16	384	136	<b>Z - verdi</b>	5,2869
<b>Nedstrøms</b>	24	0	684	<b>P - verdi</b>	0,0000062
				<b>Effekt</b>	0,836
<b>Hypotesetest: Ca</b>	<b>Antall prøver (n)</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>U - verdi</b>	<b>74</b>
<b>Oppstrøms</b>	16	310	210	<b>Z - verdi</b>	3,2439
<b>Nedstrøms</b>	24	74	610	<b>P - verdi</b>	0,0005895
				<b>Effekt</b>	0,513
<b>Hypotesetest: Al</b>	<b>Antall prøver (n)</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>U - verdi</b>	<b>29</b>
<b>Oppstrøms</b>	16	355	165	<b>Z - verdi</b>	4,4863
<b>Nedstrøms</b>	24	29	655	<b>P - verdi</b>	3,624E-06
				<b>Effekt</b>	0,709
<b>Hypotesetest: Sediment</b>	<b>Antall prøver (n)</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>U-verdi</b>	<b>7</b>
<b>5a</b>	7	42	35	<b>Z – Verdi</b>	2,2229
<b>3a</b>	7	7	70	<b>P – Verdi</b>	0,01311
				<b>Effekt</b>	0,581
<b>Hypotesetest: Sediment Cu, Zn, Cd</b>	<b>Antall prøver</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>U-verdi</b>	<b>1</b>
<b>5a</b>	3	8	7	<b>Z- Verdi</b>	1,2816
<b>3a</b>	3	1	14	<b>P - verdi</b>	0,1
				<b>Effekt</b>	0,535

## Vedlegg B – Utregning av konsentrasjon til CaCO<sub>3</sub> i prøvepunktene 1-4

Det har blitt brukt formelen  $2,5 \cdot$  konsentrasjon av  $[Ca^{2+}]$  i mg/L. Merk at dette mest sannsynligvis varierer fra sanne verdier, men at disse verdiene ble brukt for å få en indikasjon og kunne vurdere tilstandsgraden til Cd.

Punkt 1:

$$4,798 \cdot 2,5 = 11,995$$

Punkt 2:

$$5,295 \cdot 2,5 = 13,2375$$

Punkt 3:

$$5,321 \cdot 2,5 = 13,3025$$

Punkt 4:

$$6,074 \cdot 2,5 = 15,185$$

## Vedlegg C – Data for parameterne ved de ulike prøvepunktene

I tabellene C.1 – C.6 er det presentert de målte verdiene for vannkvalitetsparameterne pH, ledningsevne, temperatur og turbiditet ved hvert prøvepunkt og for hvert tidspunkt prøvene ble tatt.

**Tabell C.1:** Oversikt over de oppmålte verdier for parametere i prøvepunkt 1 ved ulike tidspunkt.

Dato	pH	Ledningsevne [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Turbiditet [NTU]
26.09.2022	7,34	39,3	8,4	2,8
11.10.2022	7,47	37,1	5,4	1,21
21.10.2022	7,12	39	3,2	1,33
22.10.2022	7,35	38,8	3,3	2,13

**Tabell C.2:** Oversikt over de oppmålte verdier for parametere i prøvepunkt 2 ved ulike tidspunkt.

Dato	pH	Ledningsevne [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Turbiditet [NTU]
26.09.2022	7,31	41	7,4	1,23
11.10.2022	7,21	38,6	5	1,02
21.10.2022	6,87	38,8	3,9	8
22.10.2022	6,75	39,1	3,2	0,8

**Tabell C.3:** Oversikt over de oppmålte verdier for parametere i prøvepunkt 3 ved ulike tidspunkt.

Dato	pH	Ledningsevne [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Turbiditet [NTU]
26.09.2022	7,18	52,1	7,2	4,12
11.10.2022	7,2	39	4,8	2,01
21.10.2022	7,4	47,3	3,4	7,68
22.10.2022	7,53	44,5	2,3	3,33

**Tabell C.4:** Oversikt over de oppmålte verdier for parametere i prøvepunkt 4 ved ulike tidspunkt.

Dato	pH	Ledningsevne [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Turbiditet [NTU]
26.06.2022	6,49	67,5	6,4	4,97
11.10.2022	6,85	66,5	2,8	3,06
21.10.2022	6,67	72	1,4	6,2
22.10.2022	7,08	65,2	0	0,96

**Tabell C.5:** Oversikt over de oppmålte verdier for parametere i prøvepunkt 5 ved ulike tidspunkt.

Dato	pH	Ledningsevne [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Turbiditet [NTU]
------	----	---	--------------------------------------	---------------------

26.09.2022	7,57	37,6	8,1	7,57
11.10.2022	7,43	35,4	6,3	0,53
21.10.2022	7,46	37,7	4,5	5,8
22.10.2022	7,67	35,7	3,9	3,36

**Tabell C.6:** Oversikt over de oppmålte verdier for parametere i prøvepunkt 6 ved ulike tidspunkt.

<b>Dato</b>	<b>pH</b>	<b>Ledningsevne [<math>\mu</math>S/cm]</b>	<b>Temperatur [°C]</b>	<b>Turbiditet [NTU]</b>
26.09.2022	7,73	35,4	8,4	0,07
11.10.2022	7,56	33,8	6,7	0,46
21.10.2022	7,63	34,3	4,9	0,13
22.10.2022	7,65	34,5	4,6	7,17

## Vedlegg D – Data for vannprøvene i de ulike prøvepunktene

**Tabell D.1:** Oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median, min/maksverdier for ulike parametere og metaller i prøvepunkt 1.

Parametere	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik	Median	Min	Max
Temperatur	5,1	2,4	4,4	3,2	8,4
pH	7,32	0,15	7,35	7,12	7,47
Ledningsevne	38,6	1,0	38,9	37,1	39,3
Turbiditet	1,87	0,74	1,73	1,21	2,80
<b>Metaller</b>					
<b>Li</b>	0,17663	0,02239246	0,17130	0,15180	0,21290
<b>Be</b>	0,01245	0,00490859	0,00955	0,00790	0,01850
<b>B</b>	0,55021	0,03843724	0,54595	0,49280	0,59930
<b>Na</b>	963,35221	77,9948527	952,15765	883,81000	1051,93958
<b>Mg</b>	1147,47435	102,168854	1121,00873	1049,81360	1290,87634
<b>Al</b>	22,40307	4,51624811	22,13380	16,83410	26,42610
<b>Si</b>	1151,49612	30,4994565	1136,68561	1123,60767	1198,18054
<b>P</b>	1,74465	0,98854628	1,13865	0,93530	3,03370
<b>S</b>	660,36717	51,6707633	657,55734	593,38959	753,72308
<b>Cl</b>	1164,59453	171,112682	1103,82190	979,57758	1394,87622
<b>K</b>	519,35368	45,8478533	518,65999	465,67450	669,25873
<b>Ca</b>	4798,47095	274,189712	4810,31177	4362,71631	5646,97559
<b>Ti</b>	0,12925	0,07513915	0,09775	0,06070	0,44180
<b>V</b>	0,02979	0,00527404	0,02810	0,02590	0,04250
<b>Vr</b>	0,11444	0,03996126	0,09385	0,08350	0,17050
<b>Mn</b>	5,99764	0,5706284	5,85700	5,33450	10,28420
<b>Fe</b>	41,01940	9,72148498	41,77005	29,28410	50,97100
<b>Co</b>	0,07845	0,01399408	0,08010	0,05870	0,24060
<b>Ni</b>	1,11038	0,05289392	1,12485	1,03200	1,14170
<b>Cu</b>	5,74881	0,64818952	5,96140	4,39400	6,45120
<b>Zn</b>	23,72802	2,46343687	23,14430	21,44150	43,61160
<b>As</b>	0,06491	0,00585453	0,06510	0,05700	0,07180
<b>Se</b>	0,03204	0,00585636	0,03160	0,02360	0,04140
<b>Br</b>	4,85276	0,1601195	4,81260	4,63680	5,12040
<b>Rb</b>	1,70318	0,14562853	1,69535	1,55120	2,32410
<b>Sr</b>	16,05444	1,07825861	15,87040	15,04760	17,09280
<b>Y</b>	0,12850	0,02574851	0,13045	0,09990	0,15510
<b>Nb</b>	0,00069	0,0001126	0,00070	0,00050	0,00080
<b>Mo</b>	0,03680	0,00170294	0,03740	0,03370	0,03980
<b>Cd</b>	0,03115	0,00541928	0,03165	0,02280	0,06100
<b>Sn</b>	0,00103	0,00087364	0,00105	0,00000	0,00150
<b>Sb</b>	0,01004	0,00238084	0,01025	0,00680	0,01170
<b>Cs</b>	0,02445	0,0022123	0,02425	0,02150	0,03420
<b>Ba</b>	12,35618	0,90138448	12,14460	11,49920	13,49130
<b>La</b>	0,13673	0,03576314	0,13930	0,09810	0,17190
<b>Ce</b>	0,16579	0,04256801	0,17205	0,11390	0,20750

<b>Tm</b>	0,00188	0,00038079	0,00185	0,00150	0,00230
<b>W</b>	0,00205	0,00145012	0,00195	0,00050	0,00290
<b>TI</b>	0,00225	0,00047509	0,00200	0,00180	0,00410
<b>Pb</b>	0,01416	0,00342301	0,01355	0,01060	0,01890
<b>Th</b>	0,01087	0,00381079	0,01070	0,00660	0,01550
<b>U</b>	0,06079	0,0099301	0,06055	0,05090	0,07090

**Tabell D.2:** Oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median, min/maksverdier for ulike parametere og metaller i prøvepunkt 2.

<b>Parametere</b>	<b>Gjennomsnittsverdi</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Median</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Temperatur	4,9	1,8	4,5	3,2	7,4
pH	7,04	0,27	7,04	6,75	7,31
Ledningsevne	39,4	1,1	39,0	38,6	41,0
Turbiditet	2,76	3,50	1,13	0,80	8,00
<b>Metaller</b>					
<b>Li</b>	0,144125	0,029154502	0,1351	0,1145	0,1909
<b>Be</b>	0,0043125	0,003286526	0,0028	0,0021	0,0104
<b>B</b>	0,358112503	0,035607843	0,36665	0,28940001	0,40400001
<b>Na</b>	912,7302714	84,81879122	905,089356	831,018494	1011,40009
<b>Mg</b>	852,465889	82,13897406	842,708618	769,132019	957,491211
<b>Al</b>	16,2266251	3,216883147	17,23625	11,5648003	19,2786999
<b>Si</b>	928,441284	67,33240181	932,568848	836,888916	1011,63788
<b>P</b>	1,432074981	0,805730307	1,06955001	0,69819999	2,4928
<b>S</b>	600,957771	95,69694637	554,038574	535,041992	755,44342
<b>Cl</b>	1123,97924	101,0603577	1095,94745	993,22467	1275,77478
<b>K</b>	587,8999939	69,50490174	579,794953	515,844604	669,258728
<b>Ca</b>	5295,385071	308,375544	5318,74146	4897,54395	5675,98584
<b>Ti</b>	0,116350001	0,139823408	0,0518	0,026	0,4418
<b>V</b>	0,029725	0,00670112	0,0269	0,0246	0,0425
<b>Vr</b>	0,066875	0,011611048	0,06015	0,0556	0,0826
<b>Mn</b>	6,617749983	2,299442948	5,52029992	4,84919977	10,3133001
<b>Fe</b>	28,23793781	8,58657843	30,3999005	14,0383997	38,3166008
<b>Co</b>	0,144637501	0,061898997	0,1196	0,0913	0,2467
<b>Ni</b>	0,631999992	0,118866439	0,57350001	0,54769999	0,82429999
<b>Cu</b>	5,738350035	1,283508522	5,39590002	3,92840004	7,62540007
<b>Zn</b>	27,96158743	10,07699309	23,6775503	19,3892002	43,908699
<b>As</b>	0,0542125	0,003780944	0,0548	0,0492	0,0605
<b>Se</b>	0,0258875	0,005067103	0,0265	0,0189	0,0352
<b>Br</b>	4,589075028	0,230274675	4,58204985	4,30870008	4,93590021
<b>Rb</b>	2,091462523	0,207877584	2,07590002	1,89100003	2,33340001
<b>Sr</b>	14,17378746	0,808989226	14,1212001	13,2448997	15,1013002
<b>Y</b>	0,093475	0,017169054	0,09845	0,0643	0,1132
<b>Nb</b>	0,0002375	0,000118773	0,0002	1E-04	0,0004
<b>Mo</b>	0,0371875	0,002470648	0,0369	0,0335	0,0413
<b>Cd</b>	0,040337501	0,012847672	0,0347	0,03	0,061



<b>Sn</b>	0,001462525	0,001824365	0,001	2E-07	0,0057
<b>Sb</b>	0,0078125	0,001288895	0,00745	0,006	0,0101
<b>Cs</b>	0,0294625	0,003536721	0,02895	0,0252	0,0342
<b>Ba</b>	6,514087498	0,774027033	6,37855005	5,76779985	7,55679989
<b>La</b>	0,111925	0,024299956	0,12065	0,0685	0,1339
<b>Ce</b>	0,150899999	0,035287633	0,1622	0,0896	0,1864
<b>Tm</b>	0,0012875	0,000188509	0,00135	0,001	0,0015
<b>W</b>	0,0014375	0,00094406	0,0013	0,0005	0,0026
<b>Tl</b>	0,0028375	0,00076146	0,0026	0,002	0,0041
<b>Pb</b>	0,0081625	0,006796414	0,0067	0,0026	0,0243
<b>Th</b>	0,0065375	0,003094667	0,00595	0,0034	0,0106
<b>U</b>	0,048187501	0,010304983	0,04835	0,035	0,0589

**Tabell D.3:** Oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median, min/maksverdier for ulike parametere og metaller i prøvepunkt 3.

<b>Parametere</b>	<b>Gjennomsnittsverdi</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Median</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Temperatur	4,4	2,1	4,1	2,3	7,2
pH	7,33	0,17	7,30	7,18	7,53
Ledningsevne	45,7	5,5	45,9	39,0	52,1
Turbiditet	4,29	2,42	3,73	2,01	7,68
<b>Metaller</b>					
<b>Li</b>	0,376324996	0,072717259	0,3748	0,27829999	0,491
<b>Be</b>	0,00625	0,00280102	0,0049	0,004	0,0109
<b>B</b>	0,331400007	0,023627162	0,33205001	0,29120001	0,3635
<b>Na</b>	930,1929858	66,39145825	927,697632	865,1604	1000,55701
<b>Mg</b>	991,0379565	93,66969695	994,032775	880,108398	1109,86121
<b>Al</b>	18,79109978	6,397506309	18,1722994	11,1317997	30,8509998
<b>Si</b>	1124,199227	79,62684217	1134,2425	994,315002	1209,22021
<b>P</b>	1,094425007	0,952054074	0,60420001	0,45359999	2,63820004
<b>S</b>	2035,581133	327,9059804	1989,8844	1571,5343	2448,896
<b>Cl</b>	1123,13426	110,3248702	1084,10107	1033,43274	1326,36938
<b>K</b>	580,2932586	52,90742306	573,433838	526,153381	654,553101
<b>Ca</b>	5320,803283	230,3192564	5326,29199	5019,4165	5627,99219
<b>Ti</b>	0,150962496	0,264276814	0,04165	0,0241	0,79759997
<b>V</b>	0,0265625	0,007915795	0,02265	0,0215	0,0444
<b>Vr</b>	0,0536625	0,027822494	0,04155	0,0323	0,1151
<b>Mn</b>	28,62657523	6,770011554	27,2790499	19,4220009	37,6514015
<b>Fe</b>	144,2536355	44,59184898	148,065247	96,4126968	211,138397
<b>Co</b>	0,979749993	0,215455207	1,00830001	0,64929998	1,25279999
<b>Ni</b>	1,250912525	0,197894358	1,21225	0,96600002	1,56060004
<b>Cu</b>	24,51069951	3,484556407	24,5492993	20,9393997	30,9748993
<b>Zn</b>	190,1698625	37,60897607	197,260803	130,524307	237,607193
<b>As</b>	0,0433	0,002383276	0,04335	0,0391	0,0471
<b>Se</b>	0,03165	0,006311894	0,03325	0,0219	0,0401
<b>Br</b>	4,670599998	0,127385519	4,69064999	4,48719978	4,8217001

<b>Rb</b>	2,140000015	0,202228448	2,11319995	1,9339	2,40310001
<b>Sr</b>	14,32827495	0,64416205	14,3035998	13,5035	15,0820999
<b>Y</b>	0,221012497	0,045931606	0,22255	0,1628	0,29519999
<b>Nb</b>	0,000175	7,07107E-05	0,0002	1E-04	0,0003
<b>Mo</b>	0,0297	0,001738636	0,0292	0,0274	0,0323
<b>Cd</b>	0,278224997	0,042168325	0,2788	0,2148	0,33309999
<b>Sn</b>	0,00066325	0,000791997	0,00035	3E-06	0,0021
<b>Sb</b>	0,0075	0,00222967	0,007	0,0053	0,0121
<b>Cs</b>	0,0391625	0,004838222	0,03885	0,0341	0,0455
<b>Ba</b>	6,510500074	0,542671709	6,41764999	5,94239998	7,25990009
<b>La</b>	0,404187501	0,097693662	0,39855	0,2886	0,57359999
<b>Ce</b>	0,647049997	0,155189671	0,64839998	0,4623	0,90390003
<b>Tm</b>	0,002425	0,000567576	0,0024	0,0017	0,0032
<b>W</b>	0,00115	0,000560612	0,00125	0,0005	0,0019
<b>Tl</b>	0,0054125	0,001027393	0,00535	0,0042	0,0069
<b>Pb</b>	0,027525	0,030758774	0,01805	0,0094	0,1027
<b>Th</b>	0,0054125	0,001806684	0,0054	0,0029	0,0082
<b>U</b>	0,0408	0,009480808	0,04185	0,0286	0,0515

**Tabell D.4:** Oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median, min/maksverdier for ulike parametere og metaller i prøvepunkt 4.

<b>Parametere</b>	<b>Gjennomsnittsverdi</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Median</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Temperatur	2,7	2,7	2,1	0,0	6,4
pH	6,77	0,25	6,76	6,49	7,08
Ledningsevne	67,8	3,0	67,0	65,2	72,0
Turbiditet	3,80	2,29	4,02	0,96	6,20
<b>Metaller</b>					
<b>Li</b>	1,033937484	0,122019049	1,07674998	0,80180001	1,15330005
<b>Be</b>	0,0120125	0,004055134	0,01115	0,0066	0,0182
<b>B</b>	0,303587496	0,044899328	0,2878	0,2656	0,39219999
<b>Na</b>	1051,052733	43,12517192	1045,65808	992,682373	1118,854
<b>Mg</b>	1446,650513	78,62981682	1472,96253	1313,01868	1514,45325
<b>Al</b>	15,48168757	10,19628225	16,9088507	0,42770001	27,7434006
<b>Si</b>	1817,968856	94,87704005	1822,71405	1689,28625	1940,47021
<b>P</b>	0,805562508	0,844763411	0,4188	0,191	2,45490003
<b>S</b>	6156,373291	453,4229171	6090,49756	5620,87354	6828,81689
<b>Cl</b>	1251,896866	112,599738	1239,0849	1116,12329	1411,89111
<b>K</b>	694,9903794	50,19244353	698,713074	621,496521	762,378723
<b>Ca</b>	6073,826661	126,8065218	6049,60938	5939,59912	6345,48877
<b>Ti</b>	0,070062499	0,076224479	0,03595	0,0062	0,2097
<b>V</b>	0,0116	0,005636615	0,01155	0,0047	0,0206
<b>Vr</b>	0,033624999	0,041547209	0,0274	0,0019	0,12989999
<b>Mn</b>	95,48027515	10,71246728	98,119549	79,8110962	106,133102
<b>Fe</b>	439,3962255	300,0973312	492,892288	3,45860004	772,142029
<b>Co</b>	3,323662459	0,330855785	3,42585003	2,80789995	3,68079996

<b>Ni</b>	3,476812513	0,334990114	3,56844998	2,95129991	3,7974
<b>Cu</b>	82,21061331	23,45208543	81,7793999	49,1786995	114,634003
<b>Zn</b>	671,0888749	66,9094215	702,415192	561,212219	724,265015
<b>As</b>	0,02385	0,006223687	0,0211	0,0185	0,0369
<b>Se</b>	0,0486	0,009450926	0,04995	0,0339	0,0625
<b>Br</b>	4,862799943	0,380761292	4,94455004	4,32060003	5,28389978
<b>Rb</b>	2,52708751	0,201201498	2,55585003	2,24609995	2,78740001
<b>Sr</b>	15,87336254	0,347063723	15,8933502	15,3481998	16,5629005
<b>Y</b>	0,575762498	0,320276428	0,63695002	0,0986	0,93190002
<b>Nb</b>	0,000128125	9,92809E-05	1E-04	0,00001	0,0003
<b>Mo</b>	0,009075	0,00337882	0,0094	0,0044	0,0139
<b>Cd</b>	1,038512499	0,075164833	1,06889999	0,91799998	1,10290003
<b>Sn</b>	0,002200466	0,003878211	0,00035	2,6E-08	0,0108
<b>Sb</b>	0,0056375	0,002548914	0,00505	0,0035	0,0112
<b>Cs</b>	0,069187499	0,003850209	0,0703	0,0623	0,0726
<b>Ba</b>	8,21175009	0,228593682	8,19250012	7,9229002	8,58790016
<b>La</b>	1,187674995	0,650714835	1,24589998	0,2471	2,00929999
<b>Ce</b>	1,882574986	1,122954424	2,08364999	0,2209	3,1710999
<b>Tm</b>	0,005825	0,003461111	0,00695	0,0005	0,0091
<b>W</b>	0,000425	0,000260494	0,00035	1E-04	0,0008
<b>Tl</b>	0,0144125	0,001219412	0,0149	0,0123	0,0156
<b>Pb</b>	0,0141125	0,014034695	0,01445	-0,0037	0,0338
<b>Th</b>	0,0029125	0,002435122	0,00225	0,0005	0,0067
<b>U</b>	0,0290125	0,017118614	0,0366	0,0019	0,0432

**Tabell D.5:** Oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median, min/maksverdier for ulike parametere og metaller i prøvepunkt 5.

<b>Parametere</b>	<b>Gjennomsnittsverdi</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Median</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Temperatur	5,7	1,9	5,4	3,9	8,1
pH	7,53	0,11	7,52	7,43	7,67
Ledningsevne	36,6	1,2	36,7	35,4	37,7
Turbiditet	4,32	3,06	4,58	0,53	7,57
<b>Metaller</b>					
<b>Li</b>	0,086025	0,007091593	0,0883	0,0763	0,0941
<b>Be</b>	0,0038375	0,003409205	0,0021	0,0018	0,0096
<b>B</b>	0,278112499	0,039258027	0,28655	0,2175	0,3335
<b>Na</b>	832,9593508	75,39515316	826,273713	749,463013	932,526917
<b>Mg</b>	739,9122391	72,14468726	729,06015	662,096619	845,24408
<b>Al</b>	11,00080001	1,520870119	11,0764504	9,29259968	13,6695995
<b>Si</b>	762,2105026	40,96807101	764,840149	694,245483	826,874817
<b>P</b>	1,09240003	0,795420319	0,6972	0,58380002	2,52920008
<b>S</b>	337,7373314	12,93635036	335,146088	322,284485	360,697815
<b>Cl</b>	983,6813588	113,2622932	952,776154	863,341797	1226,78674
<b>K</b>	528,1704405	44,3578473	528,365906	480,301605	591,192322
<b>Ca</b>	4836,744934	283,2941481	4862,80249	4446,17871	5234,89941

<b>Ti</b>	0,0579	0,0440381	0,03715	0,0202	0,1302
<b>V</b>	0,0292375	0,003011852	0,0282	0,0267	0,0361
<b>Vr</b>	0,064812499	0,027173751	0,05015	0,0455	0,1105
<b>Mn</b>	0,851037503	0,182034829	0,7692	0,7234	1,25310004
<b>Fe</b>	8,737475159	3,09260182	8,94090033	4,13940001	13,5050001
<b>Co</b>	0,012475	0,001916656	0,01215	0,0104	0,0162
<b>Ni</b>	0,3495625	0,033757197	0,33825	0,3082	0,41080001
<b>Cu</b>	1,112837508	0,255636558	1,03595001	0,83359999	1,48080003
<b>Zn</b>	1,989987493	0,312132836	2,00440002	1,62199998	2,55049992
<b>As</b>	0,05245	0,004166534	0,0507	0,0481	0,0593
<b>Se</b>	0,0237	0,003052868	0,02425	0,019	0,0275
<b>Br</b>	4,511874974	0,200625915	4,54180003	4,20620012	4,74749994
<b>Rb</b>	1,993175001	0,176111623	1,96095008	1,82009995	2,24460006
<b>Sr</b>	13,45531261	0,643856325	13,4933005	12,7230997	14,3814001
<b>Y</b>	0,050687501	0,010502849	0,05035	0,0388	0,0652
<b>Nb</b>	0,00017525	0,000103028	0,0002	0,000002	0,0003
<b>Mo</b>	0,035012499	0,001666851	0,0357	0,0315	0,0366
<b>Cd</b>	0,0034125	0,000655608	0,0034	0,0023	0,0044
<b>Sn</b>	0,00055	0,000547723	0,00035	0	0,0014
<b>Sb</b>	0,0071625	0,000722965	0,007	0,0063	0,0082
<b>Cs</b>	0,026562501	0,002846018	0,0264	0,0237	0,0308
<b>Ba</b>	5,288075029	0,4220349	5,24709988	4,79930019	5,88980007
<b>La</b>	0,053525	0,014393327	0,05325	0,0382	0,0735
<b>Ce</b>	0,045175	0,009981376	0,0448	0,0307	0,0609
<b>Tm</b>	0,000775	0,000205287	0,0007	0,0006	0,0011
<b>W</b>	0,001375	0,000844732	0,00125	0,0004	0,0027
<b>Tl</b>	0,0020875	0,000425735	0,002	0,0015	0,0028
<b>Pb</b>	0,014875	0,041876851	-0,0003	-0,0026	0,1183
<b>Th</b>	0,0047125	0,001884097	0,00485	0,0025	0,0068
<b>U</b>	0,045725	0,011744147	0,0461	0,0327	0,0577

**Tabell D.6:** Oversikt over gjennomsnittsverdi, standardavvik, median, min/maksverdier for ulike parametere og metaller i prøvepunkt 6.

<b>Parametere</b>	<b>Gjennomsnittsverdi</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Median</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Temperatur	6,2	1,8	5,8	4,6	8,4
pH	7,64	0,07	7,64	7,56	7,73
Ledningsevne	34,5	0,7	34,4	33,8	35,4
Turbiditet	1,96	3,48	0,30	0,07	7,17
<b>Metaller</b>					
<b>Li</b>	0,089075001	0,006794273	0,0899	0,0795	0,096
<b>Be</b>	0,0044875	0,004078318	0,00235	0,0019	0,0117
<b>B</b>	0,306374997	0,042434448	0,31549999	0,23379999	0,37090001
<b>Na</b>	820,9501573	63,08598184	820,910309	751,537598	892,809692
<b>Mg</b>	719,8128204	61,47535301	706,154602	653,582275	809,32373
<b>Al</b>	11,82555008	1,643719908	11,3966999	10,4633999	15,5199003

<b>Si</b>	767,4113236	34,57421041	772,773896	703,893982	813,672119
<b>P</b>	1,084850014	0,889519659	0,6444	0,56330001	2,8901
<b>S</b>	332,1774254	9,115546461	331,115692	321,896606	343,141998
<b>Cl</b>	939,5534058	103,7098818	920,237458	834,543884	1126,46472
<b>K</b>	503,0811996	38,05089755	501,339996	463,4646	551,046387
<b>Ca</b>	4623,727905	284,2813468	4636,26343	4227,80811	4976,34375
<b>Ti</b>	0,062100001	0,060714745	0,0368	0,0235	0,19750001
<b>V</b>	0,032825	0,003955376	0,0327	0,0271	0,0404
<b>Vr</b>	0,077037499	0,064112865	0,04985	0,042	0,23019999
<b>Mn</b>	0,489712503	0,250952378	0,43870001	0,0264	0,81559998
<b>Fe</b>	6,829237438	2,540907703	6,97569991	3,40770006	10,8066998
<b>Co</b>	0,01115	0,00138873	0,01085	0,0096	0,013
<b>Ni</b>	0,328562498	0,024043238	0,32965	0,30019999	0,37540001
<b>Cu</b>	1,039037502	0,271446674	0,97139999	0,7888	1,4914
<b>Zn</b>	1,916537449	0,424469985	1,8186	1,48179996	2,83839989
<b>As</b>	0,0535	0,004359554	0,05325	0,0483	0,0603
<b>Se</b>	0,0262875	0,003981901	0,0271	0,0213	0,0306
<b>Br</b>	4,216037513	0,141594899	4,17575002	4,02320004	4,51049995
<b>Rb</b>	1,915325031	0,160388904	1,88150001	1,76590002	2,12520003
<b>Sr</b>	12,97928751	0,689710513	13,0030499	12,1021996	13,7622004
<b>Y</b>	0,050125	0,010863274	0,05085	0,0391	0,0624
<b>Nb</b>	0,0002125	0,00013562	0,00015	1E-04	0,0004
<b>Mo</b>	0,0361875	0,001196945	0,03645	0,0344	0,038
<b>Cd</b>	0,0036875	0,000943303	0,0038	0,0022	0,0053
<b>Sn</b>	0,000625	0,000567576	0,00045	1E-04	0,0015
<b>Sb</b>	0,007525	0,001456758	0,00685	0,0066	0,0108
<b>Cs</b>	0,024275	0,00217699	0,0244	0,0211	0,0275
<b>Ba</b>	4,952812493	0,344675996	4,93505001	4,58150005	5,37779999
<b>La</b>	0,0556375	0,01515029	0,05555	0,0393	0,0724
<b>Ce</b>	0,045075001	0,013013702	0,0452	0,03	0,0619
<b>Tm</b>	0,0007625	0,000176777	0,00075	0,0006	0,001
<b>W</b>	0,0011125	0,000693722	0,00095	0,0004	0,0023
<b>Tl</b>	0,0020375	0,000370087	0,002	0,0015	0,0025
<b>Pb</b>	0,0011125	0,005580179	-0,0007	-0,0026	0,0141
<b>Th</b>	0,00515	0,001680136	0,0049	0,0034	0,0073
<b>U</b>	0,045987499	0,010524318	0,0463	0,0312	0,0573

## Vedlegg E – Data for sediment og bunndyrprøver ved punkt 3a og 5a

**Tabell E.1:** Oversikt over lokasjoner, hvilken typer prøver det var og konsentrasjoner for Al, S, Ca, Fe, Cu, Zn og Cd, samt veid vekt for prøvene og total fortyning.

	mg	ml	Al	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Cd
<b>Sted 3a</b>	284	109,93	42047,6043	73723,6893	2810,90996	157256,114	13929,7233	22850,8422	47,3651434
<b>Sted 3a - Alger</b>	265	109,9	29634,7919	15473,3068	3131,36658	123179,341	4312,01217	4106,07039	8,35018354
<b>Sted 5a</b>	298,4	110,09	10229,0959	54,2916903	2670,00111	11133,1011	22,9153271	122,594344	0,13274784
<b>Sted 5a - Bunndyr</b>	95	20,26	83,0341546	116,235749	35,1124299	68,9418063	0,80521636	16,025992	0,16564166

