

Kartlegging og studie av metaller og naturlig organisk materiale i elver på Svalbard

Sara Jenny Katrine Hald

Master i realfag

Innlevert: desember 2014

Hovedveileder: Øyvind Mikkelsen, IKJ

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Forord

Arbeid med denne oppgaven forgikk høsten 2014, som avsluttende masteroppgave på lektorutdanningen i realfag -LUR- med spesialisering i kjemi og matte ved Institutt for kjemi på Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU).

Først og fremst vil jeg takke veilederen min, Øyvind Mikkelsen, som har gitt meg anledningen til å reise til Svalbard og jobbe med denne spennende oppgaven. Takk for god og lærerik veiledning, og takk for utførte DOC-analyser. Jeg vil også takke deg for oppholdet i Ny-Ålesund og for godt samarbeid i felt.

Jeg ønsker også å takke Torunn Berg, Eiliv Steinnes, Marit Damhaug og Sigrid Kveli for all hjelp og god stemning i Ny-Ålesund. En ekstra takk til Marit Damhaug som har vært ved min side hele semesteret.

Jeg vil også takke Syverin Lierhagen for utførte analyser med HR-ICP-MS og hjelp med tolking av resultatene og Excel.

Helt til slutt vil jeg si at jeg er veldig takknemlig for tiden jeg har hatt som student her i Trondheim de siste årene. Takk til alle som har gjort studietiden uforglemmelig.



Figur 1: Kronebreen, Kongsfjorden(Foto:Sara Hald)

Sammendrag

I denne oppgaven har det blitt utført kartlegging av innhold av elementer og oppløst organisk materiale (DOC) i Bayelva på Svalbard. I tillegg har Londnelva og fire mindre elver som renner ned fra Lovénbreene, Pedersenbreen og Botnfjellbreen også blitt prøvetatt. Parametere som ledningsevne, redokspotensiale, løst oksygen, turbiditet, pH og temperatur ha også blitt målt. Prøvetakingen foregikk i to perioder, der første periode var i juni/juli og andre periode var i august. Alle vannprøver ble tatt manuelt, filtret med $0,45 \mu\text{m}$ filter og analysert med HR-ICP-MS.

Resultatene viser generelt lave konsentrasjoner av oppløste spormetaller i alle elvene og spormetallene er i samme konsentrasjonsområde som i tidligere studier. Det ble målt signifikant høyere verdier av kvikksølv, bly, kobber, kadmium, sink og nikkel i prøvene tatt i første periode. Denne trenden ble observert i alle elvene og kan knyttes til snøsmeltingen på våren. Blant annet hadde kvikksølv en gjennomsnittkonsentrasjon på $0,00405 \mu\text{g}/\text{l}$ i første periode og $0,00250 \mu\text{g}/\text{l}$ i andre periode. Dette tilsvarer en nedgang på 38,3 %. Det er mulig at AMD episoder på våren fører til avsetning av Hg på snøen og at dette bidrar til konsentrasjonene i første periode. Smeltevann i nedbørsfeltet vil også kunne transportere med seg metaller fra mineraljord og jordvann, som igjen vil føre til høyere konsentrasjoner av metaller i vannfasen. I elvene fra Lovénbreene, Pedersenbreen og Botnfjellbreen ble det målt spesielt høye verdier av kobber i første periode. Dette kan knyttes til geologien i område.

Innhold av oppløst organisk materiale er lavt, men øker betraktelig i andre periode. Generelt er innhold av oppløst organisk materiale høyere enn verdier funnet i tidligere studier. Det er mulig at DOC-konsentrasjonene i første periode skyldes en fortynningseffekt som følge av smelteperioden.

I Bayelva ble det funnet signifikant positive korrelasjoner mellom aluminium og jern, og mellom bly, sink, kobber og tinn. Korrelasjon mellom metaller er en indikasjon på felles kilde, geokjemiske egenskaper eller transportmekanisme. Ingen korrelasjon ble funnet mellom DOC og spormetaller.

Summary

In this master thesis the concentrations of dissolved elements and dissolved organic carbon (DOC) has been determined in the arctic river Bayelva on Svalbard. In addition, the river Londonelva on Blomsterhalvøya and four smaller rivers from the Lovén, Pedersen and Botnfjellet glaciers have also been sampled. Parameters such as conductivity, redox potential, dissolved oxygen, turbidity, pH and temperature have also been measured. Sampling was carried out during the spring and autumn of 2014. All water samples were taken manually and filtered with a $0.45\mu\text{m}$ filter before being analyzed with HR ICP-MS.

The results show generally low concentrations of dissolved trace metals in all of the sampled rivers. Dissolved trace metal concentrations are in the same range as in previous studies. Significantly higher levels of mercury, lead, copper, cadmium, chromium, zinc and nickel were found in samples taken during the spring excursion. This trend was observed in all rivers and can be linked to the thawing of snow and permafrost. Hg concentrations decreases with 38.3 % from the first field period to the second. This change, can possibly be linked to the AMD events in the Arctic which has led to deposition of Hg on snow. In the rivers from the Lové, Pedersen and Botnfjell glaciers, particularly high levels of copper were found in the spring period.

Dissolved organic carbon concentrations are low but increases significantly in the fall period. In general, concentrations of dissolved organic matter are higher in this study than seen in previous studies. The low DOC-concentrations are seen in the spring, during the snow-melting season, and may be due to a dilution effect in the river water as a result of the melting snow.

In Bayelva, there was found significant positive correlations between aluminum and iron, and between lead, zinc, copper and tin. Correlations between metals is an indication that the metals have a common source or similar geochemical characteristics or transport mechanism. No significant correlation was found between DOC and trace metals.

Innhold

1	Innledning	1
2	Teori	3
2.1	Bakgrunn - Svalbard	3
2.2	Geologi	5
2.3	Ny Ålesund	7
2.4	Bayelva	7
2.4.1	Geologi	8
2.5	Londonelva	9
2.6	Forurensning i Arktis	13
2.6.1	Tungmetaller i Arktis	13
	Kilder til tungmetaller i og utenfor Arktis	13
2.6.2	Speciering av metaller i vann	15
	Kompleksring	16
2.6.3	Tungmetaller analysert i denne oppgaven	16
	Kvikksølv	16
	Kilder til kvikksølv i Arktis	18
	Negativ endring i konsentrasjon av atmosfærisk kvikksølv (GEM) på våren i polare strøk	18
	Speciering av kvikksølv i vann	19
	Kadmium	20
	Bly	20
	Jern	21
2.7	Elver	23
2.7.1	Opprinnelse av elementer funnet i elver	23
2.7.2	DOC og SUVA	24
2.7.3	Metaller og døgnvariasjoner i elver	25

2.7.4	Arktiske Elver	26
	Metaller og sesongvariasjoner i arktiske elver	26
2.7.5	Tilstandsklasser for forurensning i elver	27
2.8	Parametere	29
2.8.1	Ledningsevne	29
	Kvantitativt uttrykk for ledningsevne	29
	Oppløste salter	30
2.8.2	Turbiditet	30
2.8.3	pH	30
3	Metode og eksperimentelt	32
3.1	Feltarbeid i Ny-Ålesund	32
3.2	Prøvetakingsmetode	33
3.2.1	Vannprøver til ICP-MS	38
3.2.2	DOC-prøver	38
3.2.3	Parametere	38
3.3	Behandling av data	39
3.3.1	Gjennomsnitt	39
3.3.2	Standardavvik	39
3.3.3	t-test	39
3.3.4	Korrelasjoner	40
3.3.5	Hardhet	40
3.3.6	ArcGis	40
3.4	Analytiske Metoder	42
3.4.1	ICP-MS Prinsipper	42
3.4.2	HR-ICP-MS	43
4	Resultater og diskusjon	44
4.1	Oversikt over resultatene	44
4.1.1	Sporelementer	44
4.1.2	Parametere	51
4.1.3	Hovedioner	52
4.2	Trender mellom første og andre periode - Bayelva	54
4.2.1	Spormetaller	54
4.2.2	Hovedioner	58
4.2.3	Parametere	59
4.3	Forskjeller innad og mellom elvene	59
4.3.1	Bayelva	59
4.3.2	Londonelva	60
4.4	Korrelasjoner	61

4.5	DOC og SUVA	63
4.6	Dagsvariasjoner	65
5	Konklusjon	68
A	Bilder av Bayelva	77
B	Kartdatatablad - Bayelva	80
C	Parametere	105
D	ICP-MS	114
E	Korrelasjoner i Bayelva	120
F	Konsentrasjonstrender	124
G	DOC, UVA₂₅₄ og SUVA	127
H	t-tester	129

Figurer

1	Kronebreen, Kongsfjorden(Foto:Sara Hald)	i
2.1	Kart over Svalbard [16].	4
2.2	Månedlig gjennomsnittsverdier for nedbør i perioden 1961-1990 [58].	5
2.3	Gjennomsnittlig sammensetning av bergarter [4].	6
2.4	Kart over elveområde Bayelva [16].	10
2.5	Geologisk kart over Ny-Ålesund-området [28].	11
2.6	Kart over nedbørfeltet Londonelva. Den røde prikken refererer til NVE sin målestasjon [16].	12
2.7	Månedlig avrenning og sedimentkonsentrasjoner for år 2000 i Lon- donelva [16].	12
2.8	Globale utslipp av metaller til atmosfæren i 1983, naturlige kontra antropogeniske [6].	14
2.9	Ulike specier i vann som metaller (her Cu) forekommer i [57].	15
2.10	Hydratisert metallion koordinert med 6 vannmolekyler.	16
2.11	Forenklet skjematisk fremstilling av kvikksølvsyklusen i miljøet.	17
2.12	Eksempel på AMDE i Ny-Ålesund våren 2000 [15].	19
2.13	dominansdiagram over hydroksyd- og kloro-komplekser av Hg^{2+} i vann som funksjon av pH og klorkonsentrasjon [17].	20
2.14	Speciering av Pb(II) (10^{-9}) i ferskvann [57]	21
2.15	speciering Fe(III) ($10^{-9}M$) som funksjon av pH [57].	22
2.16	Naturlige kilder til elementer i elver [19].	24
2.17	Nefelometrisk måling av turbiditet [52].	31
2.18	De relative proporsjonene av forskjellige former for uorganisk kar- bon i forhold til pH-verdien i vannet under normale betingelser [19].	31
3.1	Prøvetakingspunkter i Bayelva.	35
3.2	Prøvetakingspunkter i Londonelva.	36

3.3	Prøvetakingspunkter de 4 elvene østover fra Ny-Ålesund.	37
4.1	bilde tatt fra første feltperiode (til venstre) og andre feltperiode (til høyre). Bildet er tatt fra punkt 1 i Bayelva.	54
4.2	Kvikksølvkonsentrasjoner i Bayelva fra første til andre prøvetakingsperiode	55
4.3	Kvikksølvkonsentrasjoner i de 4 elvene østover fra Ny-Ålesund, første og andre prøvetakingsperiode	57
4.4	Dagsvariasjon av ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$), løst oksygen (%), temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og pH i Bayelva 02.07.2014.	66
4.5	Dagsvariasjon av Pb, Ni, Fe, Zn, Al og Mn i Bayelva 02.07.2104.	67
A.1	Bilde av av Bayelva (foto:Marit Damhaug).	78
A.2	Bilde av prøvepunkt 1 i Bayelva (Foto:Øyvind Mikkelsen).	79
A.3	Bilde av prøvepunkt 6 i Bayelva (Foto:Øyvind Mikkelsen).	79
B.1	Gjennomsnittskonsentrasjon av kadmium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	81
B.2	Gjennomsnittskonsentrasjon av kadmium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	82
B.3	Gjennomsnittskonsentrasjon av kvikksølv ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	83
B.4	Gjennomsnittskonsentrasjon av kvikksølv ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	84
B.5	Gjennomsnittskonsentrasjon av jern ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	85
B.6	Gjennomsnittskonsentrasjon av jern ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	86
B.7	Gjennomsnittskonsentrasjon av bly ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	87
B.8	Gjennomsnittskonsentrasjon av bly ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	88
B.9	Gjennomsnittskonsentrasjon av sink ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	89
B.10	Gjennomsnittskonsentrasjon av sink ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	90
B.11	Gjennomsnittskonsentrasjon av aluminium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	91
B.12	Gjennomsnittskonsentrasjon av aluminium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	92

B.13 Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	93
B.14 Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	94
B.15 Gjennomsnittskonsentrasjon av nikkel ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	95
B.16 Gjennomsnittskonsentrasjon av nikkel ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	96
B.17 Gjennomsnittskonsentrasjon av kalsium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	97
B.18 Gjennomsnittskonsentrasjon av kalsium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	98
B.19 Gjennomsnittskonsentrasjon av magnesium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli).Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	99
B.20 Gjennomsnittskonsentrasjon av magnesium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene	100
B.21 Gjennomsnittskonsentrasjon av silisium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	101
B.22 Gjennomsnittskonsentrasjon av silisium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	102
B.23 Gjennomsnittskonsentrasjon av klor ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli).Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	103
B.24 Gjennomsnittskonsentrasjon av klor ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.	104
E.1 Korrelasjon mellom aluminium og jern ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva over begge perioder	120
E.2 Korrelasjon mellom aluminium og bly ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva over begge perioder	121
E.3 Korrelasjon mellom bly og kobber ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva over begge perioder	121
E.4 Korrelasjon mellom nikkel og kobber ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva over begge perioder	122
E.5 Korrelasjon mellom sink og tinn ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva over begge perioder	122
E.6 Korrelasjon mellom bly og sink ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva over begge perioder	123

F.1	Gjennomsnittskonsentrasjoner av kvikksølv ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for kvikksølv som funksjon av tid.	124
F.2	Gjennomsnittskonsentrasjoner av bly ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for bly som funksjon av tid.	125
F.3	Gjennomsnittskonsentrasjoner av kobber ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for kvikksølv som funksjon av tid.	125
F.4	Gjennomsnittskonsentrasjoner av sink ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for sink som funksjon av tid.	126
F.5	Gjennomsnittskonsentrasjoner av jern ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for jern som funksjon av tid.	126

Tabeller

2.1	Gjennomsnittlig månedlig avrenning i Bayelva fra 1991-2001 [58]. . .	8
2.2	Tilstandsklasser ut fra innhold av oppløste metaller i elver [11] . . .	28
3.1	Prøvepunkter og koordinater.	34
4.1	Gjennomsnittkonsentrasjoner for oppløste metaller i andre arktiske elver	46
4.2	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 0.	46
4.3	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 1.	47
4.4	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 2.	48
4.5	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 3.	48
4.6	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 4.	49
4.7	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 5.	49
4.8	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 6.	49
4.9	Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Londonelva	50
4.10	Konsentrasjon av utvalgte sporelementer som funksjon av tid i fire elver øst for Ny-Ålesund	50
4.11	Gjennomsnittsverdier og standardavvik for målt pH, temperatur, ledningsevne, mettet O ₂ og turbiditet i Bayelva og Londonelva for begge periodene.	52

4.12	Gjennomsnittlige konsentrasjoner av hovedioner i Bayelva og Londonelva over begge periodene.	52
4.13	Gjennomsnittlig konsentrasjon av utvalgte elementer i Bayelva - fra første til andre feltperiode. Antall prøver står i parentes.	56
4.14	Gjennomsnittlig pH, temperatur, ledningsevne, O ₂ , turbiditet og hardhet i Bayelva fra første til andre prøvetakingsperiode.	59
4.15	Korrelasjoner mellom metaller i Bayelva	61
4.16	Korrelasjoner mellom metaller i Bayelva første periode	62
4.17	Korrelasjoner mellom metaller i Bayelva andre periode.	62
4.18	Gjennomsnittsverdier og standardavvik for UVA ₂₅₄ , DOC og SUVA i Bayelva første periode	64
4.19	UVA ₂₅₄ , DOC og SUVA-verdier for de fire elvene øst for Ny-Ålesund (første periode) og DOC-konsentrasjon for andre periode.	64
C.1	Målte parametere fra automatiske målinger i Bayelva.	106
C.2	Turbiditet og redokspotensiale fra alle manuelle målinger i Bayelva	111
D.1	Gjennomsnitt, standardavvik, minimum, maksimum og median for oppløste elementer i elvene.	115
D.2	Deteksjonsgrenser for HR-ICP-MS analyse	118
G.1	UVA ₂₅₄ , DOC-konsentrasjon og SUVA for alle prøver i Bayelva	128
H.1	Signifikanstester på forskjeller mellom metaller i første og andre periode.	129

Kapittel 1

Innledning

Arktiske elver befinner seg ofte langt unna industriell aktivitet og kan ansees som relativt uberørte økosystem [60]. Likevel er arktiske elver utsatt for langtransportert forurensning av blant annet tungmetaller fra sørlige breddegrader [12]. Tungmetaller er av bekymring på grunn av sine toksiske egenskaper i miljøet. Spesielt kvikksølv, kadmium og bly blir ofte utnevnt av forskningsprogrammer som overvåker og kartlegger miljøstatus i Arktis [6, 7]. I tillegg forekommer tungmetaller også naturlig i miljøet og konsentrasjoner varierer med den lokale geologien [7].

Elver mottar tungmetaller fra omgivelsene. Kjemisk forvitring av mineraler i nedbørsfeltet, tilførsel fra atmosfæren, utsvasking av mineraler fra jordfasen og antropogen forurensning er hovedkildene og har en innvirkning på vannkjemien og vannkvaliteten i elver. Tilførsel av naturlig organisk materiale er med på å ytterligere påvirke vannkjemien og spesiering av metaller i vannfasen [19].

Kvikksølv er en giftig miljøforurensner og i tillegg blant metallene som i størst grad bioakkumuleres i næringskjeder [14]. I nyere tid har det vært mye fokus på 'Atmospheric mercury depletion events' (AMDE), et fenomen som oppstår i polare strøk når solen kommer tilbake på våren. Under AMD episoder blir GEM oksidert til RGM, som kan avsettes på snø og is, og det har blitt funnet forhøyede konsentrasjoner av Hg i snø under og etter episodene. Siden den første observasjonen i Canada, har slike episoder blitt funnet i en rekke andre polare strøk, blant annet i Ny-Ålesund, Svalbard [55]. Utgangspunktet for denne oppgaven er et større NFR prosjekt om Hg-spesiering i atmosfæren i forbindelse med

AMD episoder på Svalbard. I den forbindelse har det vært interessant å kartlegge kvikksølv og andre metaller i ellevann i Ny-Ålesund for å sammenligne disse resultatene med tidligere studier og for å undersøke innholdet av oppløst kvikksølv og andre sporemetaller i vannfasen.

Kapittel 2

Teori

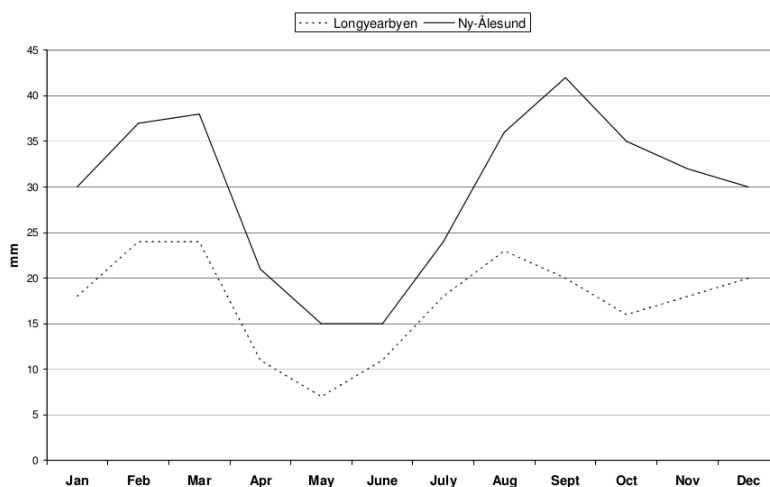
2.1 Bakgrunn - Svalbard

Svalbard er en øygruppe i arktis mellom 74° og 81° nordlig bredde og 10° og 35° østlig lengde (se Figur 2.1). Landarealet er på totalt $63,000\text{km}^2$ der hele 60% av arealet er dekket av isbreer. Spitsbergen er den største øyen med et areal på omtrent $39,000\text{km}^2$. Klima på Svalbard er avhengig av vekslende varme og kalde strømmer. Nordatlantestrømmen når vestkysten av Spitsbergen og fører til et mildt klima sammenlignet med det som ellers er vanlig for arktiske områder. Årets middeltemperatur er på -6°C , mens temperaturen på sommeren ofte kan nå 10°C . Det er generelt lite nedbør, med minimumsverdier i april-juni og maksimumsverdier både i august og fra februar til mars [58]. Figur 2.2 viser månedlig gjennomsnittsverdier for nedbør i Longyearbyen og Ny-Ålesund.

Snøsmelteperioden på Svalbard kan være intens, med størst elveavrenning i månedene fra juni-september. Utenom denne perioden er mange av Svalbards elver frosne, bortsett fra noen få elver som holdes aktive av kilder. Snøsmelting fra isbre-frie områder er som regel ferdig allerede i juni. Studier viser at årlig gjennomsnitt for avrenning på Svalbard ligger mellom 300-500 mm i lavere terreng, og mellom 1200-1500 mm foran mange isbreer. Avrenning fra nedbørsfelt med isbreer avhenger av isbreens massebalanse. Isbreer med negativ massebalanse vil friggi mer vann enn det de får som nedbør og snø. Nedbørsfeltet Bayelva er et godt eksempel på dette [58].



Figur 2.1: Kart over Svalbard [16].

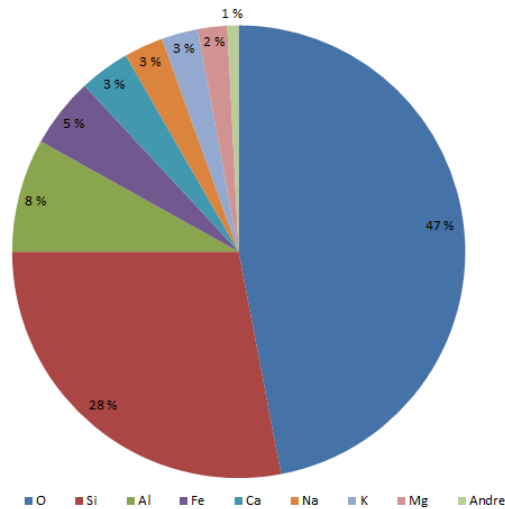


Figur 2.2: Månedlig gjennomsnittsverdier for nedbør i perioden 1961-1990 [58].

2.2 Geologi

Figur 2.3 viser gjennomsnittlig sammensetning av bergartene som utgjør jordskorpen. Som figuren viser, er oksygen og silisium hovedelementene og utgjør henholdsvis 47 % og 28 %. Silisium og oksygen danner SiO_4 -tetrahederet, byggesteinen i silikatmineralene som er den største mineralgruppen. Det er også en del aluminium (8 %), jern (5 %), magnesium (2 %), natrium (3 %), kalium (3 %), kalsium (3 %), i tillegg til fosfor og titan i jordskorpen. Omtrent 1 % utgjør alle andre elementer og kalles sporelementer [39]. Sporelementer blir tatt opp i krystallstrukturen til bergdannende mineraler ved substitusjon av hovedioner som jern, aluminium og silisium. Noen bergarter assosieres med mange ulike sporelementer noe som fører til at de lettere forvitres. Etersom Si øker, blir de mer resistente. Kvarts som nesten ikke inneholder sporelementer er derfor i høy grad resistent mot forvitring. Av tungmetallene er vanligvis mangan og barium de med høyest konsentrasjon i jordskorpen, mens kadmium og sølv har lavest konsentrasjon. Sink har ofte høy konsentrasjon sammenlignet med andre metaller som for eksempel kobber, bly og nikkel [4].

Svalbard er et svært unikt sted med tanke på at man her finner bergarter fra alle geologiske perioder, fra urtida (prekambrium) for over 400 millioner år siden og frem til nytida (kvartær) for 2 millioner år siden [23].



Figur 2.3: Gjennomsnittlig sammensetning av bergarter [4].

Geologien på Svalbard kan deles inn i tre hovedenheter; grunnfjell, sedimentære bergarter og løsmasser, der grunnfjellet er den eldste formasjonen. Grunnfjellet på Svalbard er å finne langs vestkysten og i nordlige deler av Spitsbergen. Dette er hovedsakelig magmatiske og metamorfe bergarter som ble dannet i tidsrommet prekambrium-silur. Grunnfjellet har gjennomgått flere fjellkjededannelser, hvor den siste (den kaledonske fjellkjededannelsen) fant sted for 470-400 millioner år siden [23].

Erosjon av den kaledonske fjellkjeden førte til at sedimentære bergarter som sandstein, konglomerater og skifer ble avsatt i kystnære miljøer, deltaer og innsjøer. Sandstein fra devontiden har ofte en karakteristisk rød farge som skyldes et høyt innhold av jernoksid (FeO_3) og tyder på at lagene ble avsatt i et ørkenaktig klima, da Svalbard befant seg like nord for ekvator [23]. Jernrik sandstein inneholder også ofte relativt høye verdier av andre metaller som As, Ba, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, V og Zn [4].

Under karbontiden fortsatte Svalbard å drive fra ørkenklima som var i devontiden og inn i et mer tropisk klima. Typiske bergarter fra denne tiden er karbonater som kalkstein (CaCO_3) og dolomittstein ($(\text{CO}_3)_2$), og sulfater som gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) og anhydritt (CaSO_4). Gips- og anhydrittlagene ble dannet i et tørt og varmt

klima ved at sulfatsalter ble felt ut ved inntørrking av saltvannslaguner. På sentrale deler av Spitsbergen finnes også karbonholdig sandstein. I trias-, jura- og kritt-periodene ble det avsatt bergarter som skifer, siltsteiner og sandsteiner. Disse opptrer i Sentral- og Sør-Spitsbergen og de østlige øyene. Avsetningene fra denne tiden tyder på et temperert og fuktig klima [23]. Under kvartærtiden ble klima kaldere og Svalbard ble dekket av tykk is. Løse avsetninger ble dannet, i form av elveavsetninger, sandavsetninger, urer og blokkamark [23].

2.3 Ny Ålesund

Ny-Ålesund er et lite samfunn som ligger i Kongsfjorden, nord for Longyearbyen. Byen ligger omtrent 2 km unna nedbørsfeltet til Bayelva. Gjennomsnittstemperaturen i Ny-Ålesund ligger på -6.3°C med 4.9°C i gjennomsnitt i Juli måned. Som ellers på Svalbard, er det sparsomme mengder nedbør, og årlig gjennomsnitt ligger på 385 mm [58]. Fram til tidlig 1960 foregikk det kullutvinning i Ny-Ålesund, noe det fortsatt finnes spor av i område rundt byen. Det er også en liten flyplass der. Tvillingvatnet (en liten innsjø øst for Bayelva) brukes som drikkevann for beboerne i Ny-Ålesund.

2.4 Bayelva

Bayelva befinner seg på Brøggerhalvøya 79° nord og 12° øst i Kongsfjorden, vest for Ny-Ålesund. Nedbørsfeltet er på 33 km^2 hvor 55% er dekket av is. Høyeste punkt til nedbørsfeltet er 742 moh. Hovedkilden til Bayelva er to tynne (<150 meter) polytermiske isbreer: Austre Brøggerbre (11.7 km^2) og Vestre Brøggerbre (5.3 km^2) [60, 32]. Bilde av Bayelva er vist i Vedlegg A.

Smeltevannet fra isbreene renner i kanaler som tilføres sedimenter fra forvitrede morener i isen. Konsentrasjon av sedimenter i elva varierer fra år til år, men har blitt estimert til $586\text{ tonn}/\text{km}^2/\text{år}$. Kanalene fra de to breene Austre Brøggerbre og Vestre Brøggerbre kobles sammen etter ca 1 km og blir til Bayelva. Hele systemet er ca 3 km langt. Det er to hovedbielver, Tvillingvassbekken og Mørebekken. Mørebekken filtreres gjennom morener, og begge bekkene har lave nivåer med sedimenter. Det er vanligvis ingen avrenning i Bayelva fra begynnelsen av oktober til slutten av mai, mens snø- og bresmelting fører til stor strømming i sommermånedene Juni, Juli og August. Ved målestasjonen til Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er det målt gjennomsnittlig årlig avrenning på $1,12\text{ m}^3/\text{s}$

[60]. NVE sin målestasjon ligger 300 meter opp-strøms for utløpet til Bayelva. Her har det blitt gjort automatiske og kontinuerlige målinger fra 1989 til i dag [58]. Tabell 2.1 viser gjennomsnittlig månedlig arvrenning i Bayelva fra 1991-2001. Vanntemperaturen er lav og ligger som regel under 4°C [60].

Tabell 2.1: Gjennomsnittlig månedlig arvrenning i Bayelva fra 1991-2001 [58].

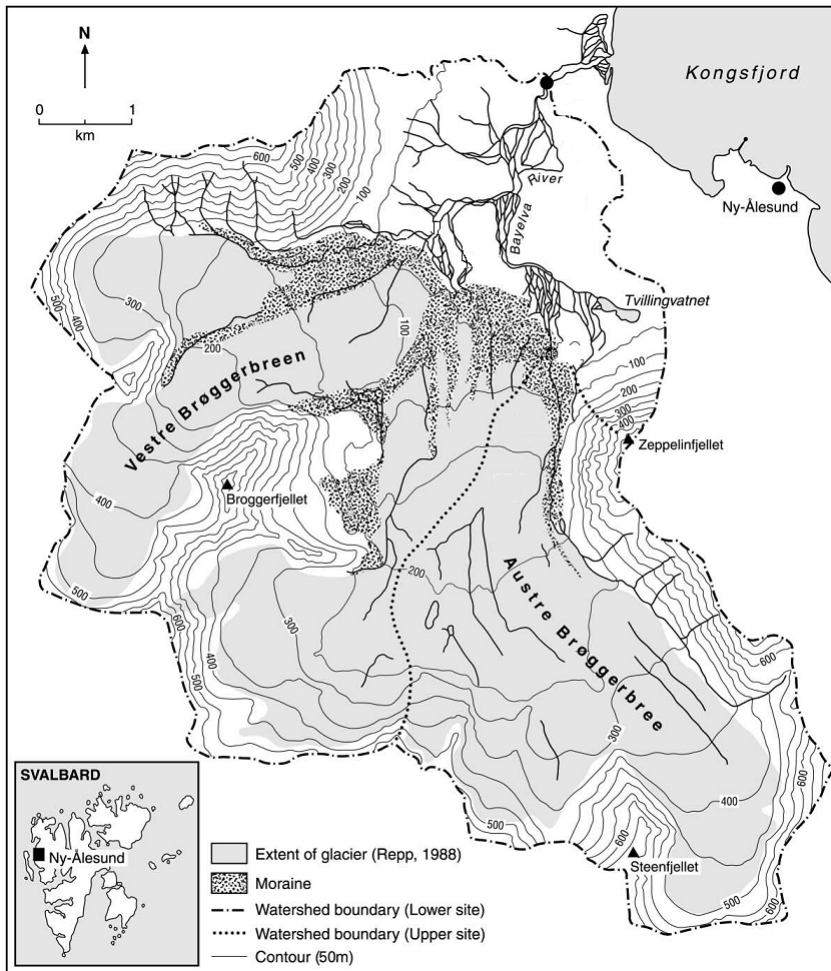
Månedlig gjennomsnitt	
	Bayelva
	mm
Mai	0
Juni	200
Juli	438
August	318
September	112
Oktober	5
November	0
Årlig	1073

2.4.1 Geologi

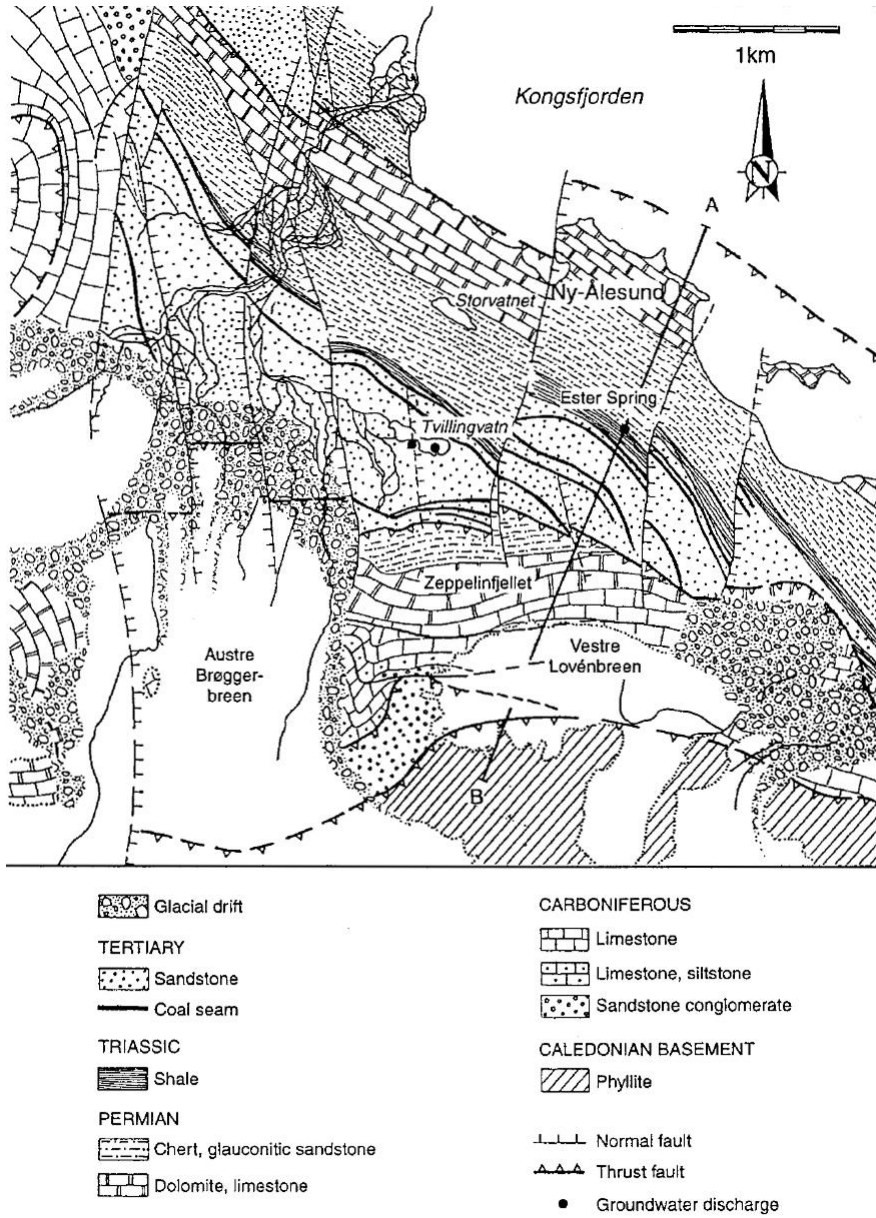
Geologisk kart over området rundt Bayelva og Ny-Ålesund er vist i Figur 2.5. Fra kartet kan man se at nedbørsfeltet ligger på metamorfe og sedimentære bergarter som sandstein, skifer, dolomitt, fyllitt og kalkstein fra flere av de geologiske periodene. Kvartsitt og fyllitt fra oldtiden finnes i fjellene i sør og sør-øst i nedbørsfeltet. Kvartsitt er en bergart som tilhører gruppen tektusilikater (SiO_4^{4-}) mens fyllitt ofte består av mineraler som glimmer og har $X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH, F)_4$ som kjemisk formel der X er K, Na eller Ca, Y er Al, Mg eller Fe og Z er Si eller Al. Lenger nord og vest i nedbørsfeltet finnes karbonater som kalkstein ($\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$) og dolomitt ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), silikater som chert og sandstein av glaukokerinitt ($(Zn, Cu)_10Al_6(SO_4)_3(OH)_{32}18H_2O$). Det finnes også mye rød sandstein i området, der den røde fargen kommer av hematitt (Fe_2O_3) [28, 37, 32, 13].

2.5 Londonelva

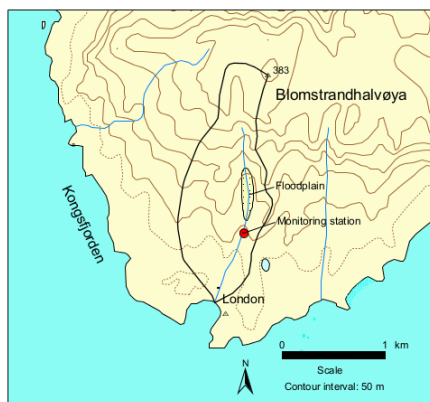
Londonelva befinner seg på øyen Blomsterhalvøya på nordsiden av Kongsfjorden, omtrent 7 km fra Ny-Ålesund. Nedbørsfeltet er på 0.7 km^2 . Londonelva er ett av de få nedbørsfeltene på Svalbard som ikke er knyttet til noen isbreer. Geologien i område består av karbonatbergarter dekket over av morener og frostsprengt berggrunn [16]. Nedre del av elven består hovedsakelig av dolomitt ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) med innskudd av kvartz (SiO_2) og kalsitt (CaCO_3), mens øvre del består av kalsitt og dolomittmarmor. I nord-sør retning er det også noen flekker med sandstein fra devontiden [38]. Sedimentene i elven stammer fra forvitring av stein og erosjon av avleiret slam og morener. Elveavrenningen er begrenset til en liten periode fra slutten av juni til begynnelsen av september, og knyttes til snøsmelting. 70-90% av den årlige sedimenttransporten skjer i helt i begynnelsen av denne perioden som vist i Figur 2.7 [58]. NVE har gjort kontinuerlige målinger her siden 1992. Som typisk for arktiske elver, er Londonelva preget av en ustabil elveprofil. Det er ikke veldefinerte kanaler bortsett fra der NVE har sin målestasjon. Målestasjonen ligger nedstrøms for en 500 meter lang og 200 meter bred elveslette. Sedimentkonsentrasjoner målt ved NVE sin målestasjon viser høye konsentrasjoner av suspensjonsediment på begynnelsen av smelteperioden. Senere i sesongen er målingene lave. Det er liten korrelasjon mellom elveavrenning og sedimentkonsentrasjoner [16]. Figur 2.6 viser kart over nedbørsfeltet til Londonelva.



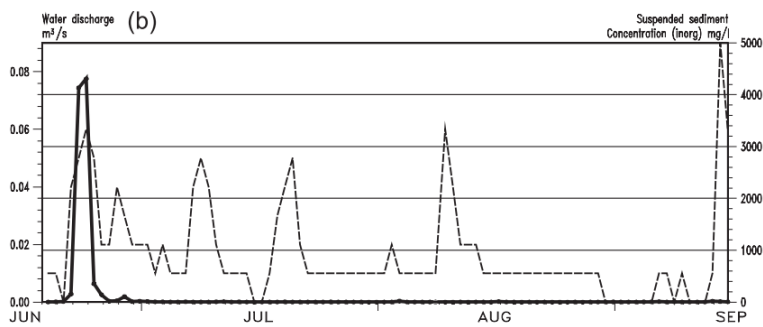
Figur 2.4: Kart over elveområde Bayelva [16].



Figur 2.5: Geologisk kart over Ny-Ålesund-området [28].



Figur 2.6: Kart over nedbørfeltet Londonelva. Den røde prikken refererer til NVE sin målestasjon [16].



Figur 2.7: Månedlig avrenning og sedimentkonsentrasjoner for år 2000 i Londonelva [16].

2.6 Forurensning i Arktis

Arktis er et rent miljø med få lokale kilder til forurensning. Det er derimot et svært utsatt område for langtransportert forurensning. Transport av forurensning via store atmosfæriske og marine transportveier fører til at potensielt giftige metaller, syrer og organiske forbindelser når dette sårbare området. Miljøgifter som for eksempel kvikksølv og kadmium, samt lipofile og persistente stoffer som PCP og POPS bioakkumuleres og biomagnifiseres i arktiske dyr og næringskjeder og er derfor av spesiell bekymring [12].

Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) er en internasjonal organisasjon som arbeider under ledelsen av, og rapporterer til det Arktiske Råd. Siden AMAP ble etablert i 1991, har de hatt som mandat å gjennomføre overvåkning og vurdering av Arktis med hensyn på forurensning og klimaspørsmål. De har publisert flere rapporter som dokumenterer nivåer, trender, kilder og transportveier av metaller til Arktis, og i dette kapittelet er det derfor lagt vekt på disse rapportene [5].

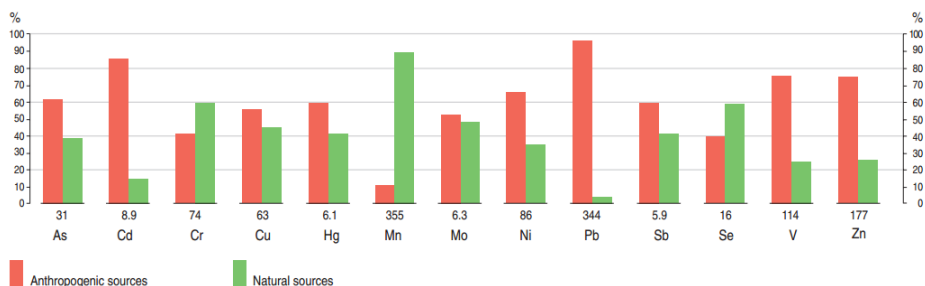
2.6.1 Tungmetaller i Arktis

Tungmetaller kan defineres som metaller med densitet større enn 5 g/cm^3 [56]. De finnes naturlig i alle økosystemer, men med store variasjoner i konsentrasjon, blant annet på grunn av variasjoner i den lokale geologien i område. Eksempler på vanlige tungmetaller er bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), jern (Fe), kvikksølv (Hg), kobber (Cu), mangan (Mn), nikkel (Ni), platina (Pt), sink (Zn), wolfram (W) og tinn (Sn). Bekymringer rundt helse- og miljøkonsekvenser varierer fra metall til metall. Noen metaller, som for eksempel krom, jern, nikkel, kobber og mangan, er viktige næringsstoffer ved lave konsentrasjoner, men kan også være toksiske dersom konsentrasjonen blir for høy. Kadmium, kvikksølv, bly og kadmium kan derimot være giftige selv ved lave konsentrasjoner, i tillegg til at de kan akkumulere i næringskjeder. På grunn av de skadelige effektene disse metallene har på menneske- og dyreliv blir ofte Hg, Pb og Cd vektlagt i studier om antropogen forurensning [8, 6, 7].

Kilder til tungmetaller i og utenfor Arktis

Som nevnt tidligere, finnes det både naturlige og antropogene kilder til tungmetaller i miljøet. Erosjon, vulkanutbrudd og skogbrannbrann er blant de naturlige kildene og utgjør en stor del av den totale utslippsmengden. Av antropogene

kilder er metallindustrien ansvarlig for utslipp av store mengder kadmium, bly, kvikksølv, arsen, kobber, selenium og sink. Forbrenning av fossil brensel fører til utslipp av nikkel og vanadium og forbrenning av avfall fører til utslipp av blant annet kvikksølv, kadmium, arsen og sink [6]. Figur 2.8 gir en global oversikt over naturlige og antropogener utslipp av metaller.



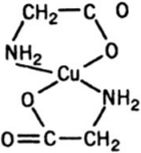

Figur 2.8: Globale utslipp av metaller til atmosfæren i 1983, naturlige kontra antropogener [6].

På Svalbard er det som nevnt få lokale kilder til forurensning, men metaller fra utslipp utenfor Arktis kan transporteres med luft- og havstrømmer fra sørlige breddegrader. Utslipp av metaller i gassform kan kondensere på små partikler i atmosfæren. Disse partiklene blir ofte suspendert i luften og fraktes videre med luftstrømmer som beveger seg over Arktis. Dette skjer spesielt om vinteren, og luftmålinger viser at konsentrasjonen av tungmetaller er mer enn 1 størrelsesorden høyere på vinteren enn på sommeren. Modeller som simulerer langtransportert forurensning blir brukt til å studere transportveier for metaller til arktisk strøk. Flere studier som har anvendt slike modeller konkluderer med at Eurasia og spesielt Russiske kilder er ansvarlig for 60-70 % av all luftforurensning i Arktis om vinteren, mens resten kommer fra Europa og Nord-Amerika [7, 6].

Også elver, innsjøer og hav blir påvirket av metallutslipp. Studier viser at utslipp av metaller til vann overgår utslipp til atmosfæren. Avfallsvann og kloakkslam er hovedkilder til metaller i akvatiske systemer. Andre kilder er forbrenning av kull og metallindustri. I Arktis er gruvedrift og metallurgisk industri en lokal kilde til forurensning av akvatiske systemer [6]. Elver er en viktig transportvei for forurensning til arktiske områder fra lavere breddegrader og til marine økosystemer i Arktis fra terrestriske økosystemer i Arktis [7].

2.6.2 Speciering av metaller i vann

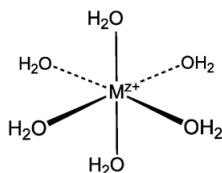
Metaller forekommer som ulike specier. Speciering av metaller i akvatiske systemer kontrolleres av flere faktorer, blant annet ionisk styrke, pH, redokspotensialet, organiske ligander og temperatur [7]. I vann kan metaller eksistere som ulike specier: fritt (hydratisert) metallion, uorganisk kompleks, organisk kompleks, kolloider, bundet til overflate eller til fast flate eller i gitter [57]. Figur 2.9 viser eksempelvis ulike specier av kobber (Cu) i vann. De toksiske effektene til et metall, samt deres evne til bioakkumulasjon avhenger sterkt av hvilken specie metallet foreligger som. Frie metallioner og svake organiske komplekser har vist seg å ofte være mer biotilgjengelige enn sterke komplekser og metaller som er bundet til partikler, men dette varierer en del fra metall til metall [3]. Eksempelvis er kobber mer giftig som fritt ion enn kobber i organiske komplekser, mens organisk kvikksølv (CH_3Hg) er betydelig mer giftig enn Hg^{1+} og Hg^{2+} [34]. Hvilken form et metall forekommer som og dermed hvor biotilgjengelig metallet er, avhenger av parametre som blandt annet pH, redoks-forhold, oksidasjonstilstand, temperatur, tilstedeværelse av organisk materiale og mikrobiologisk aktivitet [36].

Free metal ion	Inorganic complexes	Organic complexes	Colloids Large polymers	Surface bound	Solid bulk phase, lattice
Cu-aq^{2+}	CuCO_3 CuOH^+ $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2$ $\text{Cu}(\text{OH})_2$	 <p>Fulvate</p>	Inorganic Organic	Fe-OCu 	CuO $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ Solid solution
True solution					
Dissolved			Particular		
Dialysis, gel filtration, membrane filtration					

Figur 2.9: Ulike specier i vann som metaller (her Cu) forekommer i [57].

Kompleksring

Metallioner er positivt ladet. Kompleksring er når metallkationer kombineres med molekyler eller ioner med frie elektronpar (baser). Metallionet kalles for sentralatomet og basen som komplekseres med sentralatomet kalles for ligand. Ligander kan være monodentate eller multidentate, avhengig av hvor mange ligandatomer det inneholder. I vann med lav pH (vanligvis under pH 7) vil de fleste metallioner foreligge som hydratiserte ioner, koordinert med 4 eller 6 vannmolekyler avhengig av metallets koordinasjonstall (se Figur 2.10). Når vann koordineres med et metall, vil aciditeten til vannmolekylene øke grunnet frastøtende krefter mellom hydrogenatomene. Løst i vann vil derfor metallet oppføre seg som en Lewis syre. Ved økende pH vil vannmolekylene i økende grad erstattes av hydroksid (OH) eller okso-ligander (O^{2-}) [57].



Figur 2.10: Hydratisert metallion koordinert med 6 vannmolekyler.

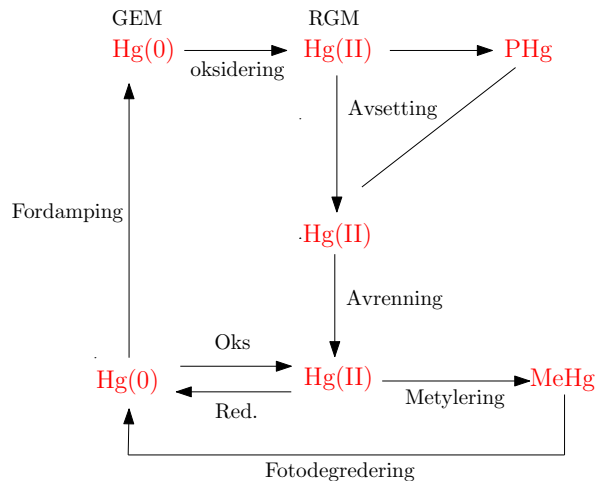
I tillegg til å danne aquo-, hydrokyl- og oxo-komplekser, kan metallioner også binde seg til andre negative ligander i vannet. Metallioner som Cd, Cu, og Pb kan danne komplekser med uorganiske ligander som HCO_3^- og NH_3 , eller med organiske ligander som glycin oksalsyre og humussyre [57].

2.6.3 Tungmetaller analysert i denne oppgaven

Kvikksølv

Kvikksølv i Arktis er av stor interesse på grunn av den toksiske effekten metallet har på mennesker og evnen metallet har til å bioakkumulere i næringskjeder. En betydelig andel av den totale mengden kvikksølv funnet i arter på toppen av næringskjeder i Arktis, stammer fra antropogene kilder og konsentrasjonene overgår regelmessig retningslinjene satt for inntak av metallet. Som et resultat av dette er det funnet høye konsentrasjoner kvikksølv i mennesker som bor i arktiske områder. [12, 9].

Kvikksølv finnes i flere forskjellige kjemiske og fysiske former, og med varierende egenskaper [12]. De kjemiske og fysiske egenskapene til kvikksølv er avgjørende for hvordan metallet oppfører seg i atmosfæren [53]. Kvikksølv specier i miljøet kan deles inn etter oksidasjonstilstand; flyktig (Hg^0), lite løselige organiske komplekser (Hg^{1+}) og lettløselige uorganiske forbindelser (Hg^{2+}) [17]. I atmosfæren er elementær kvikksølv damp (oksidasjonstilstand 0) og den vannløselige uorganiske formen mest vanlig, mens oksidasjonstilstand +1 forekommer svært sjeldent [53, 17]. Elementær kvikksølv damp (Hg^0) er en stabil enatomisk gass og kalles også for 'gaseous elemental mercury' (GEM). GEM må oksideres til en vannløselig uorganisk form (Hg^{2+}) for at kvikksølv skal kunne avsettes på bakken med nedbør. Den oksiderte formen (Hg^{2+}) blir ofte kalt 'reactiv gaseous mercury' (RGM). RGM kan avsettes på snø og is, eller fester seg til partikler i luft og danne (PHg). RGM som avsettes på bakken kan enten reduseres tilbake til GEM (Hg^0) og bli re-emittert til atmosfæren eller det kan bli metylert av mikroorganismer og danne metylkvikksølv (CH_3Hg) [34]. Metylkvikksølv er av spesiell bekymring siden det brytes sakte ned i miljøet, bioakkumuleres i næringskjeder, og har kan passere gjennom biologiske barrierer som blod-hjerene og blod-placenta [12, 34]. Figur 2.11 viser en forenklet oversikt over kvikksølv syklusen i miljøet.



Figur 2.11: Forenklet skjematisk fremstilling av kvikksølv syklusen i miljøet.

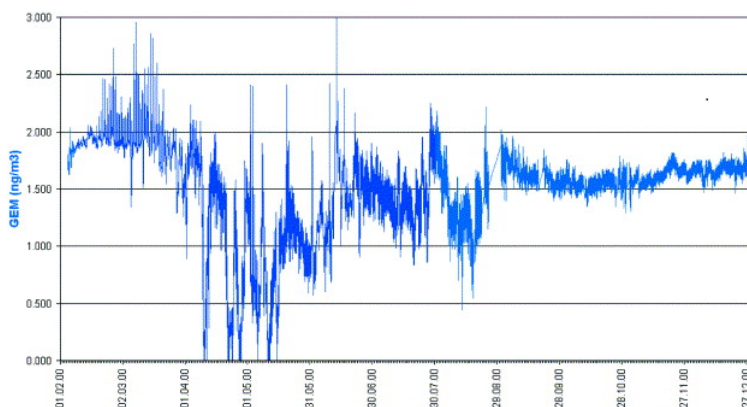
Kilder til kvikksølv i Arktis

Atmosfærisk tilførsel av kvikksølv har både naturlige og antropogene kilder. Naturlige kilder til kvikksølv er avgassing fra mantel, fordampning fra vannmasser og jord, vulkansk aktivitet, skogbrann og re-emisjon av kvikksølv til atmosfæren [53, 34]. Det er estimert at naturlige emisjons-prosesser utgjør mellom 200 og 250 tonn kvikksølv hvert år. Antropogene utslipp til atmosfæren har sunket, fra omtrent 3600 tonn/år på 1980-tallet til omtrent 2000 tonn/år på slutten av 1990-tallet [14]. Forbrenning av kull er den viktigste kilden og bidrar med 26% av totale mengden utslipp i atmosfæren ([10]). Andre viktige kilder er klor-alkali produksjon, cement produksjon, metallsmelteanlegg, gull produksjon og forbrenning av avfall [14, 10].

Emittert kvikksølv kan forbli i atmosfæren i opp til 2 år som GEM, og vil dermed kunne transporteres langt før den avsettes på bakken. Transportveier av atmosfærisk kvikksølv blir studert ved bruk av modeller som blant annet global/regional atmospheric heavy metals (GRAHM) modellen. Modellen simulerer utslipp og luftkonsentrasjoner av kvikksølv, og studier indikerer at luftkonsentrasjoner av kvikksølv i Arktis er sesongavhengig, med lavere konsentrasjoner i juli og høyere konsentrasjoner på vinteren [7].

Negativ endring i konsentrasjon av atmosfærisk kvikksølv (GEM) på våren i polare strøk

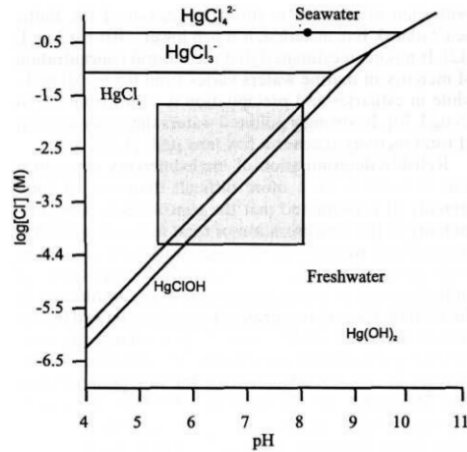
I Alert i Canada, ble det i 1995 for første gang observert episoder på våren med veldig lave konsentrasjoner av GEM i luften. GEM konsentrasjonen sank fra omtrent $1,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ til verdier under $0,1 \text{ ng}/\text{m}^3$ på under 24 timer. Episodene skjedde når solen kom tilbake om våren og har vist seg å korrelere sterkt ($r^2 \approx 0,8$) med fortykning av ozon (O_3) [55]. Siden den første observasjonen i Canada, har slike episoder blitt observert i en rekke andre polare strøk, blant annet i Ny-Ålesund, og fenomenet har fått navnet atmospheric mercury depletion events (AMDE) [15]. Under AMDE blir GEM omdannet til Hg_P og RGM, men bare 50% av den omdannede GEM forblir i atmosfæren. Resten avsettes trolig på snø og isoverflater. Hvor mye av den avsatte kvikksølven som blir igjen i snøen og hvor mye som blir re-emittert via fotoreduksjon ser ut til å variere. I en studie fra Barrow i 2002 målte Lindberg et al. konsentrasjoner opp til $90 \text{ ng}/\text{l}$ i snøen under og etter AMD episoden, noe som er høyere enn normalt [41, 55]. I en annen studie fra Svalbard i 2005 fant Ferrari et. al ingen økning i kvikksølvkonsentrasjoner i snøen i forbindelse med AMDE [24, 55]. Figur 2.12 viser et eksempel på AMD episode i Ny-Ålesund våren 2000.



Figur 2.12: Eksempel på AMDE i Ny-Ålesund våren 2000 [15].

Spesiering av kvikksølv i vann

I overflatevann eksisterer kvikksølv vanligvis ikke som frie Hg^{2+} -ioner, men som hydroksyd- og kloro-komplekser avhengig av pH, red-oksforhold og konsentrasjon av klorioner. Figur 2.13 viser et diagram over dominerende kvikksølvspesier i vann som funksjon av pH og klorkonsentrasjonen. I oksygenrikt vann med lav pH dominerer de vannløselige kvikksølvforbindelsene som HgCl_2 , mens ved høyere pH dominerer hydroksydkomplekser som HgOH og $\text{Hg}(\text{OH})_2$. I sjøvann er klorkomplekser den dominerende kvikksølvforbindelsen [17, 61]. Kvikksølv kan også danne stabile komplekser med mange organiske ligander, spesielt fulvosyre og humussyre i tillegg til ligander som inneholder svovel. I naturlig vann blir kvikksølvforbindelser sterkt bundet til partikulært materiale. Partikulært materiale transporterer kvikksølv i elver og bidrar til at kvikksølv akkumuleres i bunnsedimenter. Kvikksølv kan også danne vann- og fettløselige forbindelser, hovedsakelig metylkvikksølv (CH_3Hg). Metylkvikksølv dannes via mikrobiologiske og kjemiske prosesser, der kjemiske prosesser involverer naturlige organiske stoffer som fulvosyrer [7].



Figur 2.13: dominansdiagram over hydroksyd- og kloro-komplekser av Hg^{2+} i vann som funksjon av pH og kloridkonsentrasjon [17].

Kadmium

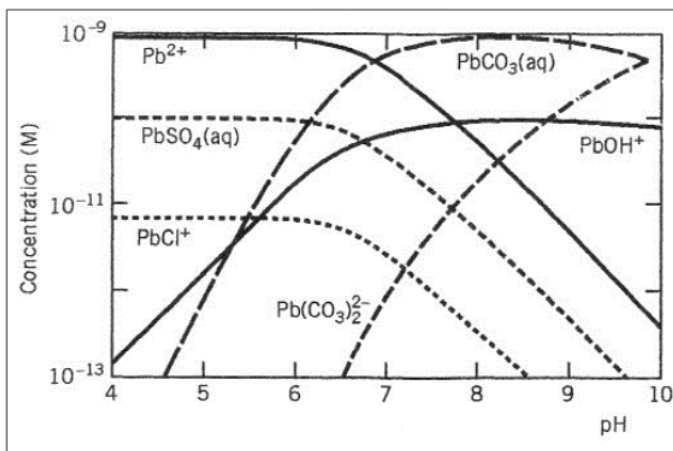
Kadmium (Cd) er av bekymring på grunn av metallets evne til å opphøpe seg i biologiske vev. Globale antropogene og naturlige utslipp av kadmium er estimert til å være henholdsvis 7600 og 1200 tonn/år. Cu-Ni-Zn produksjon og sementproduksjon er hovedkildene til antropogene utslipp, mens vulkanutbrudd er en viktig naturlig kilde [12]. I jorden er den naturlige konsentrasjonen av kadmium mellom 0,1 og 1mg/kg, men kan være høyere, spesielt i sedimentære bergarter som skifer [4]. Kadmiumkonsentrasjoner i nedbørfelt som ligger langt unna industriområder er som regel under deteksjonsgrensen ($< 0.02 \mu\text{g/liter}$) og varierer med den lokale geologien og innhold av organisk materiale i sedimentene [9]. I elvevann er Cd^{2+} og CdCO_3 de dominerende spesiene. Eksperimentelle målinger har vist at 70-90% av den totale mengden vil være tilstede som frie hydratiserte ioner eller labile komplekser [25].

Bly

Giftigheten av bly er veldokumentert[12]. Globale antropogene og naturlige utslipp av bly er estimert til å være henholdsvis 332,000 og 18,000 tonn/år. De

antropogene kildene med størst bidrag er forbrenning av fossil brensel og metallproduksjon, mens vulkanutbrudd er en naturlig kilde til bly i miljøet [12]. Bly finnes i silisium og karbonatbergarter ved at det erstatter K^+ i silisiumgitteret eller Ca^{2+} i karbonater. Skifer inneholder høyere konsentrasjoner av bly (22 mg/kg) enn sandstein (10 mg/kg)[4].

Figur 2.14 viser de dominerende speciene av bly i ferskvann. Figuren viser at ved nøytral pH vil frie blyioner (Pb^{2+}) og blykarbonat ($PbCO_3(aq)$) være dominerende specier, mens ved $pH > 7$ vil konsentrasjonen av frie blyioner falle drastisk, samtidig som $Pb(CO_3)_2^{2-}$ og $PbOH^+$ øker.

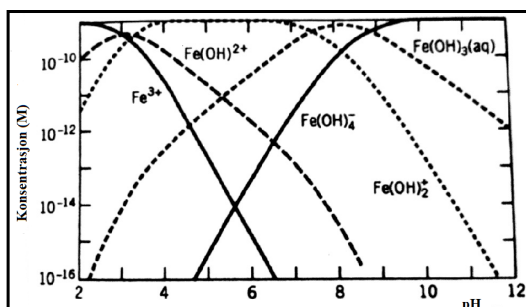


Figur 2.14: Speciering av Pb(II) (10^{-9}) i ferskvann [57]

Jern

Jern forekommer naturlig i mange bergarter. Naurlige forvittringsprosesser fører til at jern derfor det mest utbredte metallet i ellevann. Den dominerende oksidasjonstilstanden i oksygenert vann er Fe(III). Fe(III) kan reagere med organiske og uorganiske ligander og danne komplekse kolloider og suspenderte partikler. Kolloide partikler av jern er jern(III)-oksider med negativ ladning, vanligvis assosiert med naturlig organisk materiale som humus, leire og silika [31]. Figur 2.15 viser speciering av Fe(III) i ferskvann som funksjon av pH. Som vist i figuren, og som tidligere studier også har indikert, eksisterer Fe(III) hovedsakelig som $Fe(OH)_3$

når $\text{pH} > 7$. Dette gjelder også i sjøvann [25].



Figur 2.15: speciering Fe(III) (10^{-9}M) som funksjon av pH [57].

2.7 Elver

En elv er et kompleks system av rennende vann som drenerer et spesifikt landområde. Hele dette systemet kalles et nedbørsfelt eller elveområde. Det er vanlig å klassifisere elver etter hydrologiske og kjemiske egenskaper. Eksempler på hydrologiske egenskaper kan være størrelse på nedbørsfeltet, geologi, gjennomsnittlig mengde avrenning, vannets hastighet til og mengde suspendert stoff i elven [19]. De kjemiske egenskapene til vann blir ofte studert for å kunne beskrive vannkvaliteten. Fysiske faktorer som beskriver vannkjemien i en elv er temperatur, pH, farge, ledningsevne, turbiditet og total suspendert stoff. Kjemiske faktorer som beskriver vannkjemien inkluderer ofte hovedioner som overskrider 1 mg/L. Disse er Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- og noen ganger CO_3^{2-} dersom $\text{pH} > 8.2$. Ioner (F^- og borate) som forekommer i konsentrasjoner mellom 0.1 og 1 mg/L, metaller som Fe, Mn, Al, Cd, Hg, Cu, Pb og Zn, løst oksygen (O_2), næringsstoffer og naturlig organisk materiale (NOM) blir også ofte studert [44].

2.7.1 Opprinnelse av elementer funnet i elver

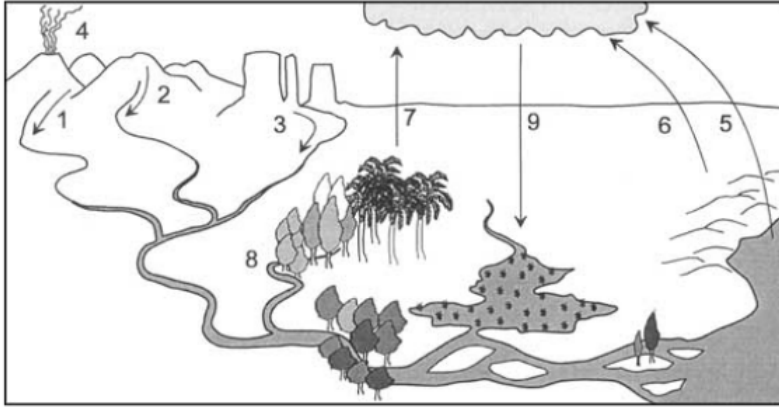
Under naturlige forhold vil elementer tilføres elvevannet fra ulike kilder: atmosfærisk tilførsel (figur Figur 2.16 ,kilde 9), utvasking av jordsmonn (Figur 2.16 ,kilde 8) og forvitring av stein (figur Figur 2.16 ,kilde 1,2,3). Elementer som tilføres elven fra atmosfæren stammer opprinnelig fra (i) hav-aerosoler (kilde 5) rike på Na^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} og SO_4^{2-} , (ii) oppløsning av partikler fra jordsmonn (kilde 6), og (iii) aerosoler som stammer fra forvitring av planter (kilde 7).

I områder som kan anses å være upåvirket av menneskelig aktivitet, avhenger vannkvaliteten av følgende faktorer [19]:

- forekomsten av mineraler som lett forvitrer. Rekkefølgen for forvitring er halitt>gips>kalsitt>dolomitt>pyritt>olivin
- Avstand til kystlinje
- forhold mellom nedbørsmengde og avrenning
- hvor mye organiske materiale som blir frigitt til elven

Forvitring av stein fører til dannelsen av hovedkationer (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), løst silisium (SiO_2) og bikarbonat (HCO_3^-). Hvilke elementer tilføres elven er derfor i stor grad avhengig av den lokale geologien. De vanligste bergartene er skifer, granitt, gneis, sandstein, basalt og karbonatbergarter som kalkstein. Bergarter

som granitt og gneis fører til vann med lavt mineralinnhold, mens lavabergarter og kalkstein gir mer mineralisert vann [19, 44].



Figur 2.16: Naturlige kilder til elementer i elver [19].

2.7.2 DOC og SUVA

Naturlig organisk materiale (NOM) finnes i alle akvatiske miljøer, og kan defineres som alt forvitret materiale fra planter og dyr og deres nedbrytningsprodukter. Dette er nesten alle forbindelser som inneholder organisk bundet karbon og NOM uttrykkes derfor som total organisk karbon (TOC). Oppløst organisk karbon (DOC) er da den oppløste fraksjonen av TOC og måles som enheter av karbon.

I elver og andre ferskvannssystemer, stammer naturlig organisk materiale hovedsakelig fra nedbryting av planter og dyr i hele nedbørsfeltet, og kan derfor stamme fra kilder både utenfor og i vannfasen [35]. I Arktis har vårfloppen stor innvirkning på DOC-konsentrasjoner i elver, og flere studier viser at DOC øker med økende vannføring i forbindelse med snøsmelting [51, 27]. Årsaken til dette fenomenet er at vann fra snøsmeltingen siver gjennom forvitningsprodukter og DOC-rikt vann i øverste jordlag og drar med seg organisk materiale fra jorden [51, 27].

Innhold av organisk materiale i elver er av interesse fordi det gir viktig informasjon om prosesser innenfor nedbørsfeltet, og hvor mye NOM som transporteres fra elv til hav. Oppløste organiske forbindelser kan danne komplekser med metaller,

endre løseligheten av metaller og endre de toksiske egenskapene til metallet ved at biotilgjengeligheten til metallet forandres [35]. Ofte kan det sees en sterk positiv korrelasjon mellom metaller og DOC i arktiske elver, spesielt i forbindelse med snøsmelting på våren [51].

SUVA (spesifikk UVA) er en parameter som kan gi viktig informasjon om innholdet av naturlig organisk materiale [59]. SUVA er forholdet mellom UVA_{254} og DOC-konsentrasjon, og regnes ut etter følgende formel:

$$SUVA = (UVA_{254}/DOC) \times 100 \quad (2.1)$$

SUVA kan gi et kvantitativt mål på mengde aromatiske forbindelser per enhetkonsentrasjon av organisk karbon. SUVA øker med økende molekylvekt og SUVA-verdier over $4 \text{ mg}^{-1} \text{ m}^{-1}$ tyder på et relativt høyt innhold av hydrofobiske og aromatiske forbindelser. SUVA-verdier ≤ 3 indikerer ikke-humiske, hydrofile forbindelser med lav molekylvekt [59].

2.7.3 Metaller og døgnvariasjoner i elver

Variasjoner i pH, løst oksygen og vanntemperatur er vanlig i elver og kommer av variasjoner i blant annet værforhold, fotosyntese, respirasjon. Lite forskning har blitt gjort på døgnvariasjoner av oppløste metaller i elver, men nyere studier viser at metallkonsentrasjoner kan variere betydelig i løpet av et døgn, som resultat av fysiske, geokjemiske og biologiske mekanismer. For eksempel kan variasjoner i vannføring bidra til å øke eller senke metallkonsentrasjoner. Vanligvis vil metallkonsentrasjon være lavere ved høy vannføring på grunn av en fortynningseffekt [48]. Redoksreaksjoner kan føre til variasjoner i konsentrasjon av mangan ved at oppløst mangan kan oksideres i samsvar med økende pH og solstråling utover dagen. Dette vil føre til en nedgang i akvatisk mangan. På en annen side kan manganoksider reduseres med synkende DO i løpet av natten og dermed friggi mangan til vannet [48].

Døgnvariasjoner på grunn av fotoreduksjon av oppløst jern har blitt rapportert i alpine elver med lav pH. I disse elvene har solstråling i løpet av dagen induisert reduksjon av hydratisert jernoksid, noe som øker konsentrasjon av Fe^{2+} og total oppløst jern. Reduskjon og oppløsning av jernoksid vil også kunne føre til at ioner som er absorbert på overflaten til jernoksid også frigis. Da vil også konsentrasjonen av andre metaller øke samtidig [48].

Variasjoner i pH og temperatur kan føre til utfelling og oppløsning av hydratiserte oksider, karbonater og andre metallholdige mineraler. For eksempel kan utfelling

og oppløsning av kalsitt gi høyere konsentrasjoner av sink, kadmium og mangan siden disse metallene er forbundet med kalsitt. Temperatur og pH kan også ha en effekt på adsorpsjon av metaller. Når pH eller temperatur øker, burde kationadsorpsjon også øke, mens anionadsorpsjon bør synke [48].

2.7.4 Arktiske Elver

Nedbør i arktiske strøk er ofte sparsom, men smelting fra snø og isbreer gjør at elver og bekker likevel er utbredt [60]. Elvesystemene i disse områdene nord for trengrensen domineres ofte av enten isbre-smelting, sesong-smelting eller grunnvann [18]. I områder som Svalbard er grunnvann begrenset på grunn av permafrost, mens dette er utbredt i mer sørlige områder. Elver i Arktis kan variere i størrelse. Elvene på Svalbard er ofte korte, men vannføringen kan være stor og avhenger som regel av snø- og isavsmelting. Vannkjemien i arktiske elver varierer også i stor grad, og er blant annet avhengig av geologien i område. Elvene på Svalbard har ofte høyt innhold av løst stoff, sammenlignet med andre elver, da de ofte ligger på sedimentære bergarter. Generelt er arktiske elver ofte næringsfattige, med lav vanntemperatur og ustabil kanalføring. Mangelen på næringsstoffer, den lave temperaturen og lange perioder med is og snø fører til et ugunstig miljø for akvatisk biota og artsmangfoldet er derfor begrenset i disse områdene [60].

Med tanke på forurensning er arktiske elver et av de mest uberørte økosystemene i verden. Samtidig er de under press fra global og regional antropogen påvirkning [60]. Over tid kan klimaendringer føre til høyere temperaturer, mindre permafrost og økt isavsmelting. Økt smelting fra isbreer kan blant annet føre lavere vanntemperatur og kan føre til endringer i kanalføring og sedimentlast [18].

Metaller og sesongvariasjoner i arktiske elver

Få studier har sett på trender og sesongvariasjoner forbundet med transport av spormetaller i arktiske elver på Svalbard, men det har blitt gjort noen studier i andre polare strøk. I en studie som undersøkte trender i DOC og sporelementer i elver i arktiske Alaska, fant Robert Rember og John Trefry at innholdet av metaller, DOC og suspendert materiale (TSS) i elvevannet i stor grad påvirkes av vårfloppen. Studien, som gikk ut på å ta vannprøver før, under og etter smelteperioden i juni, konkluderte med at konsentrasjoner av DOC, kobber, jern, bly og sink i elvevannet økte betraktelig under smelteperioden når vannføringen i elvene var på sitt høyeste. DOC økte fra 167 til 742 $\mu\text{g}/\text{l}$ under maksimalvannføring. Liknende trender ble funnet for konsentrasjoner av spormetallene, som var 3-25

ganger høyere under maksimalvannføringen i elven. Forfatterne mener økningen i DOC og spormetaller skyldes at organisk karbon og oppløste sporelementer i vanddammer som dannes under snøsmeltingen skylles ut i elven [51]. I en annen studie fant Holemann et. al liknende resultater i elven Lena i arktiske Siberia. Her økte konsentrasjoner av jern, mangan, kobber, nikkel, sink og bly betydelig under smelteperioden i mai-juni. Snøsmeltingen på våren fører til endringer i vannkjemien i elvene. pH synker, mens DOC konsentrasjoner kan stige til 1000 eller mer. Disse endringene i vannkjemien kan også føre til at konsentrasjoner av spormetaller i partikulær og løst fase endrer seg [33].

Liknende trender har også blitt funnet for kvikksølv i arktiske elver [40]. I en studie fra 2006 av elven Mackenzie i Canada, fant Leitch et. al at konsentrasjonen av $[\text{Hg}]_{\text{D}}$ og $[\text{Hg}]_{\text{P}}$ og var omtrent 7 ganger så høy under vårflommen sammenlignet med senere på sommeren. Også her ble funnet en sterk korrelasjon mellom vannføring og $[\text{Hg}]_{\text{D}}$ og mellom $[\text{Hg}]_{\text{D}}$ og DOC. Forfatterne foreslår at økningen i kvikksølvkonsentrasjon skyldes at økningen i overflateavrenning fører til mobilisering av kvikksølv. Kvikksølv danner sterke bindinger til organiske materiale i jord og erosjon forårsaket av flom vil derfor kunne føre til høyere konsentrasjoner i elven [40].

2.7.5 Tilstandsklasser for forurensning i elver

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har på oppdrag fra Miljødirektoratet (tidligere Statens forurensningstilsyn) utarbeidet et klassifiseringssystem klassifisering av miljøkvalitet i vann. Hovedhensikten med dette systemet er at det kan brukes som et verktøy for vurdering av ulike typer vannforekomster i Norge [11].

Systemet er indelt i tilstandsklasser fra I-V, der tilstandsklasse I betyr at vannet er ubetydelig forurenset og tilstandsklasse V betyr at vannet er meget sterkt forurenset. Tabell Tabell 2.2 gir en oversikt over verdier og tilstandsklasser for noen tungmetaller målt i vann.

Tabell 2.2: Tilstandsklasser ut fra innhold av oppløste metaller i elver [11]

Metall	Tilstandsklasse				
	I Ubetydelig forurenset	II Moderat forurenset	III Markert forurenset	IV Sterkt forurenset	V Meget sterkt forurenset
Pb ($\mu\text{g/L}$)	< 0.5	0.5 - 1.2	1.2 - 2.5	2.5 - 5	> 5
Cd ($\mu\text{g/L}$)	< 0.04	0.04 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.4	> 0.4
Cu ($\mu\text{g/L}$)	< 0.6	0.6 - 1.5	1.5 - 3	3 - 6	> 6
Cr ($\mu\text{g/L}$)	< 0.2	0.2 - 2.5	2.5 - 10	10 - 50	> 50
Hg ($\mu\text{g/L}$)	< 0.002	0.002 - 0.005	0.005 - 0.01	0.01 - 0.02	> 0.02
Ni ($\mu\text{g/L}$)	< 0.5	0.5 - 2.5	2.5 - 5	5 - 10	> 10
Zn ($\mu\text{g/L}$)	< 5	5 - 20	20 - 50	50 - 100	> 100

2.8 Parametere

Ledningsevne, turbiditet, pH, temperatur og løst oksygen (O_2) ble registrert i forbindelse med prøvetaking i felt. I denne oppgaven ble disse parameterne målt in situ ved bruk av bærbara instrumenter. Disse parameterne er viktige variabler innenfor vannundersøkelser og kan ha en innvirkning på vannkjemien og spesiering av metaller i vann. En beskrivelse av de ulike parameterne følger.

2.8.1 Ledningsevne

Et stoff som danner ioner når det løses i vann og som derfor danner en elektrisk ledende strøm i vannet kalles elektrolytter. Elektrolyttløsninger er løsninger (vanligvis vannløsninger) som inneholder elektrolytter og som leder elektrisk strøm [29]. Ledningsevne, eller elektrisk konduktivitet (EC) som det også heter, er et mål på hvor godt en løsning leder elektrisk strøm. Forholdet mellom ionestyrke og elektrisk konduktivitet er tilnærmet lineært for konsentrasjoner under 1000 mg/L og kan derfor brukes som et grovt mål på antall ioner i løsningen. Andre faktorer som påvirker EC er ionenes egenskaper, løsningens temperatur, og løsningens viskositet [46].

Kvantitativt uttrykk for ledningsevne

Elektrisk motstand er definert ved Ohms lov som

$$R = V/I \quad (2.2)$$

Der R er elektrisk motstand (ohm), V er spenning (volt) og I er strømstyrke (ampere). Konduktans, symbolisert med G , er inversen av elektrisk motstand ($G = 1/R$) og har benevnelse Siemens (S) i SI-systemet.

Den elektriske konduktiviteten til et stoff kan defineres som konduktansen til en enhetskube laget av stoffet. Den spesifikke resistiviteten til et stoff er definert ved elektrisk motstand mellom flatene til en enhetskube laget av stoffet og har benevnelsen ohm/meter. Elektrisk konduktivitet er inversen av resistivitet og har derfor benevnelsen 1/ohm per meter eller siemens per meter (S/m) i SI-systemet [46]. I denne oppgaven er konduktiviteten målt i microsiemens/cm. I de fleste ferskvann ligger konduktiviteten mellom 10 og 1000 $\mu S/cm$ [19].

Oppløste salter

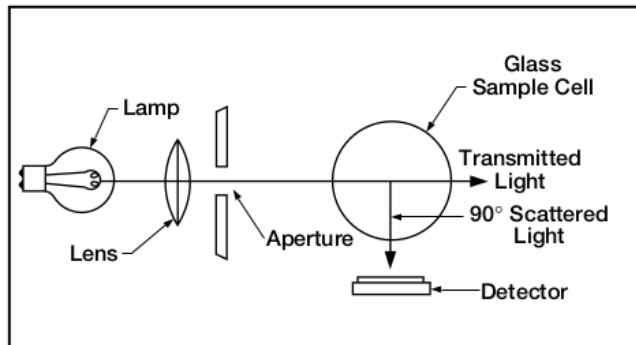
Ledningsevnen kan brukes som et grovt mål på antall ioner løst i vannet. Den kan også si noe om geologien i området, siden geologien i stor grad vil påvirke konduktiviteten i elver. Berggrunn av granitt, for eksempel, gir lavere konduktivitet fordi granitt er laget av inert materiale som ikke ioniseres når det skylles ut i vannet. Elver og bekker som renner over områder der berggrunnen inneholder mye leire vil på en annen side gi høyere konduktivitet målinger da leire inneholder materiale som ioniseres når det skylles ut i vannet [62].

2.8.2 Turbiditet

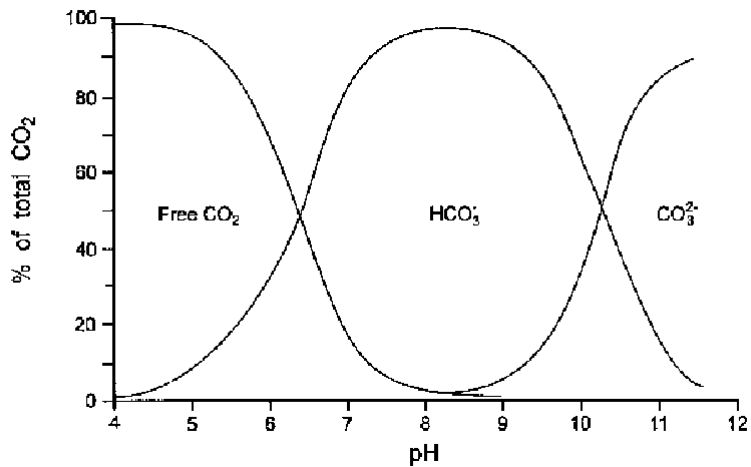
En annen viktig parameter som ofte måles i forbindelse med vannundersøkelser er turbiditet. Turbiditet er et grovt mål på mengden partikulært materiale suspendert i vannet og kan defineres som reduksjonen i klarhet i en væske forårsaket av uoppløst materiale [1]. Turbiditet måler spredningseffekten partikulært materiale har på lys. Materialer som fører til høy turbiditet i vannet er leire, slam, organisk og uorganisk materiale, plankton og mikroorganismer [63]. Turbiditet ble i denne oppgaven målt med et bærbart instrument som er kalibrert ved bruk av standardprøver. Det ble i tillegg til enkeltmålinger også foretatt målinger som viser i hvilken hastighet sedimentering forekommer. Nefelometri er den mest brukte kvantitative metoden for måling av turbiditet i vann, og måler turbiditeten i NTU (Nefelometrisk Turbidity Unit). I nefelometriske målinger blir turbiditet målt ved at det måles spredning av lys ved 90 grader fra inkommende lysstråle [52]. Vanlige verdier for turbiditet i vann ligger mellom 1 og 1000 NTU [19]. Figur 2.17 gir en enkel oversikt over nefelometrisk måling av turbiditet.

2.8.3 pH

pH er en viktig parameter innefor kvalitetsvurdering av vann. pH er et mål på syrebalansen til en løsning og er definert som $-\log [H^+]$. pH-skalaen går fra 0-14, der pH 7 representerer en nøytralt forhold. I uforurensede vann blir pH hovedsakelig kontrollert av balansen mellom karbondioksid, karbonat og bikarbonationer (se Figur 2.18) og ligger som regel mellom 6.0 og 8.5 i naturlige vann. Lavere verdier kan forekomme i vann med høyt innhold av organiske forbindelser og høyere verdier i næringsriktvann, grunnvann og saltsjøer [19].



Figur 2.17: Nefelometrisk måling av turbiditet [52].



Figur 2.18: De relative proporsjonene av forskjellige former for uorganisk karbon i forhold til pH-verdien i vannet under normale betingelser [19].

Kapittel 3

Metode og eksperimentelt

Feltarbeidet i Ny-Ålesund gikk ut på å ta vannprøver i flere punkter i Bayelva, som er hovedfokus for denne oppgaven. I tillegg ble Londonelva og en rekke andre elver øst for Ny-Ålesund også prøvetatt. All feltarbeid og prøvetaking ble gjort i Ny-Ålesund sommeren 2014. Feltarbeidet ble delt inn i to perioder, der den første perioden var fra 26. juni til 7. juli og den andre perioden var fra 11. august til 18. august. Det ble tatt vannprøver til ICP-MS og DOC. I tillegg ble ledningsevne, pH, turbiditet, temperatur, redokspotensial og O_2 målt. Vannprøvene som ble tatt ble oppbevart i kjøleskap i Ny-Ålesund fram til de ble fraktet med fly til NTNU, hvor de ble analysert.

3.1 Feltarbeid i Ny-Ålesund

Som nevnt i innledning foregikk feltarbeidet forbundet med denne oppgaven i to perioder sommeren 2014: 26. juni til 7. juli og 11. august til 18. august. I Bayelva ble det valgt ut seks prøvepunkter hovedsakelig basert på tidligere studier og med innspill fra veileder: ett punkt ved utløpet av Bayelva (punkt 0), ett punkt rett oppstrøms for NVE sin målestasjon (punkt 1), ett punkt i sidebekken fra Vestre Brøggerbre (punkt 2), ett punkt i sidebekken fra Austre Brøggerbre (punkt 3), ett punkt rett nedenfor Vestre Brøggerbre (punkt 5) og ett punkt rett nedenfor Austre Brøggerbre (punkt 6). I tillegg ble det også tatt prøver

av Tvillingvassbekken, som renner fra Tvillingvatn og inn i Bayelva (punkt 4). Prøvetakingspunktene er vist i figur Figur 3.1.

I Londonelva ble det valgt ut 3 prøvepunkter: ett punkt ca 100 meter oppstrøms fra utløpet til Kongsfjorden (L0), ett punkt like nedenfor NVE sin målestasjon (L1) og ett punkt øverst i Londonelva (L2). Det ble også tatt prøver fra fire elver øst for Ny-Ålesund som renner ned fra breene langs østsiden av Kongsfjorden. Kart over prøvetakingspunktene i Londonelva og de fire elvene øst for Ny-Ålesund er vist i figur Figur 3.2 og Figur 3.3. Punkter og GPS-koordinater for alle elvene er vist i Tabell 3.1

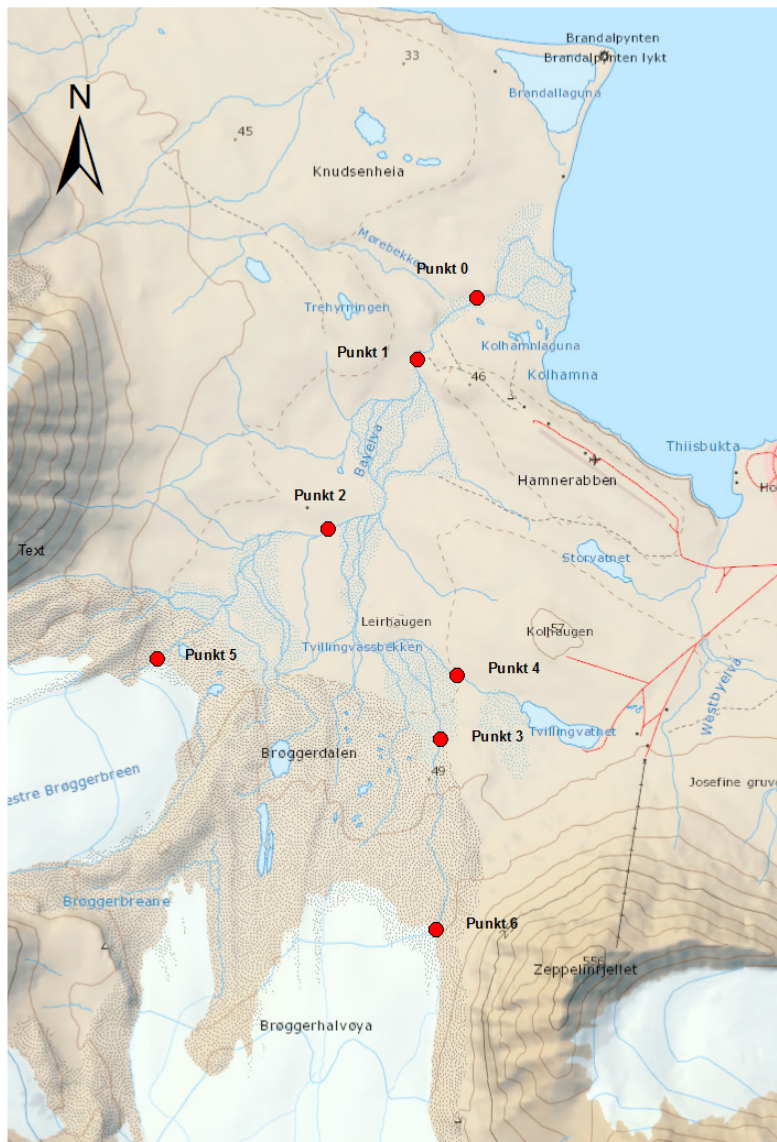
I periode 1 ble det tatt prøver fra punkt 0, 1, 2, 3 og 4 i Bayelva, samt i alle elvene østover fra Ny-Ålesund. I periode 2 ble det tatt prøver fra alle punkter i Bayelva, Londoneelva og elvene øst for Ny-Ålesund. Prøvepunkt 1 i Bayelva ligger like ved NVE sin målestasjon. Dette punktet ble prøvetatt flest ganger siden det anses som et hovedpunkt i elven. Kanalene fra Vestre og Østre Brøggerbre, samt Tvillingvassbekken og Mørebekken samles til en kanal like oppstrøms for dette punktet. Ledningsevne, temperatur, pH, redokspotensiale, turbiditet og O_2 ble registrert for hver prøve. I tillegg ble det gjort kontinuerlige målinger av ledningsevne, pH, temperatur og O_2 .

3.2 Prøvetakingsmetode

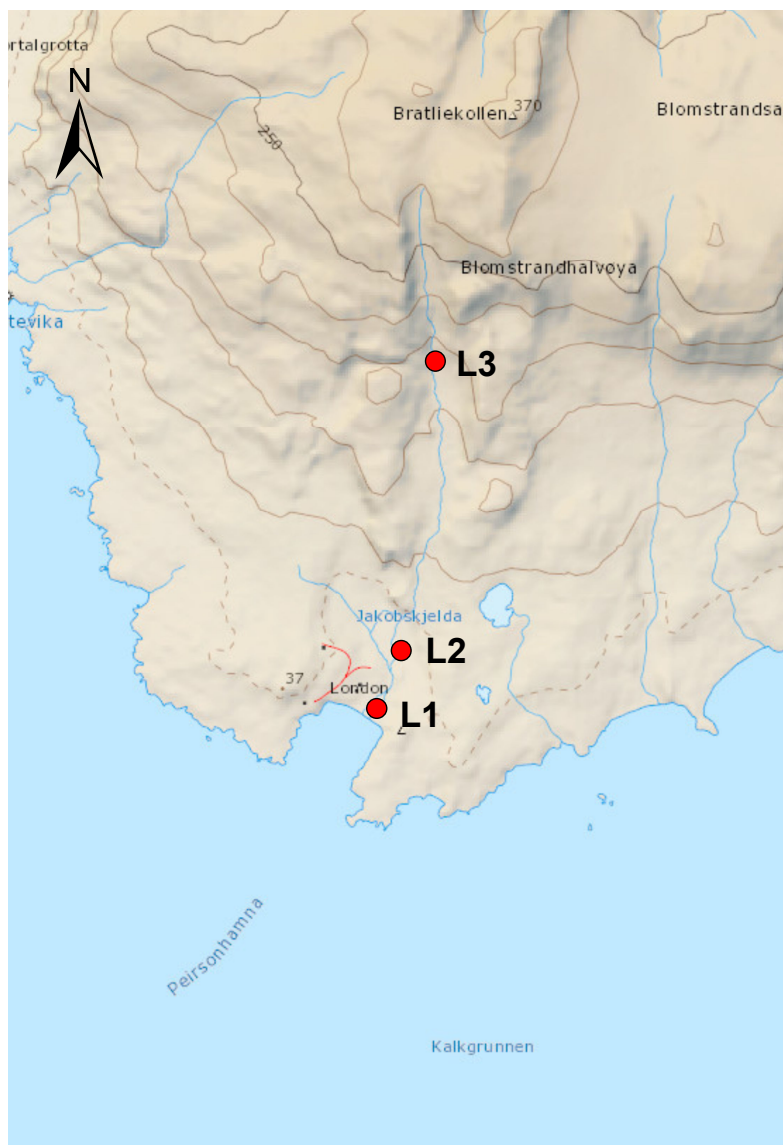
Prøvetakingen er et viktig steg i analysen av vannprøver. Feil som gjøres i dette steget vil kunne gjøre analysen upålitelig. Ved prøvetaking fra elv bør det, om mulig, velges ut prøvepunkter der det både er sideveis og vertikal blanding av vannet. Ved prøvetaking av vann like under overflaten (intill 25 cm fra vannoverflaten) er det ofte tilstrekkelig å senke en beholder ned i elven og deretter overføre innholdet til passende prøvebeholder. Det er viktig at beholderen som brukes til prøvetakingen ikke kommer i kontakt med elvebredden eller elvebunnen da disse er mulige kontamineringskilder. Prøvetakingsflasker bør være av typen LD-polyeten, polypropen eller FEP (fluoro-eten-propen) med lokk av samme materiale. Det er viktig at all materiale som brukes under prøvetakingen ikke inneholder stoff som kan påvirke analytten, og alt utstyr som kommer i kontakt med vannet bør skylles med prøvevannet før bruk [47]. For å unngå at metaller adsorberes på veggene til prøvebeholderen bør prøvene surgjøres med saltpetersyre (HNO_3) til ca $pH=1$ [2]. I tillegg bør prøvene oppbevares i kjøleskap ved $4^\circ C$ for å minimalisere mikrobiell aktivitet og tap av elementer [42].

Tabell 3.1: Prøvepunkter og koordinater.

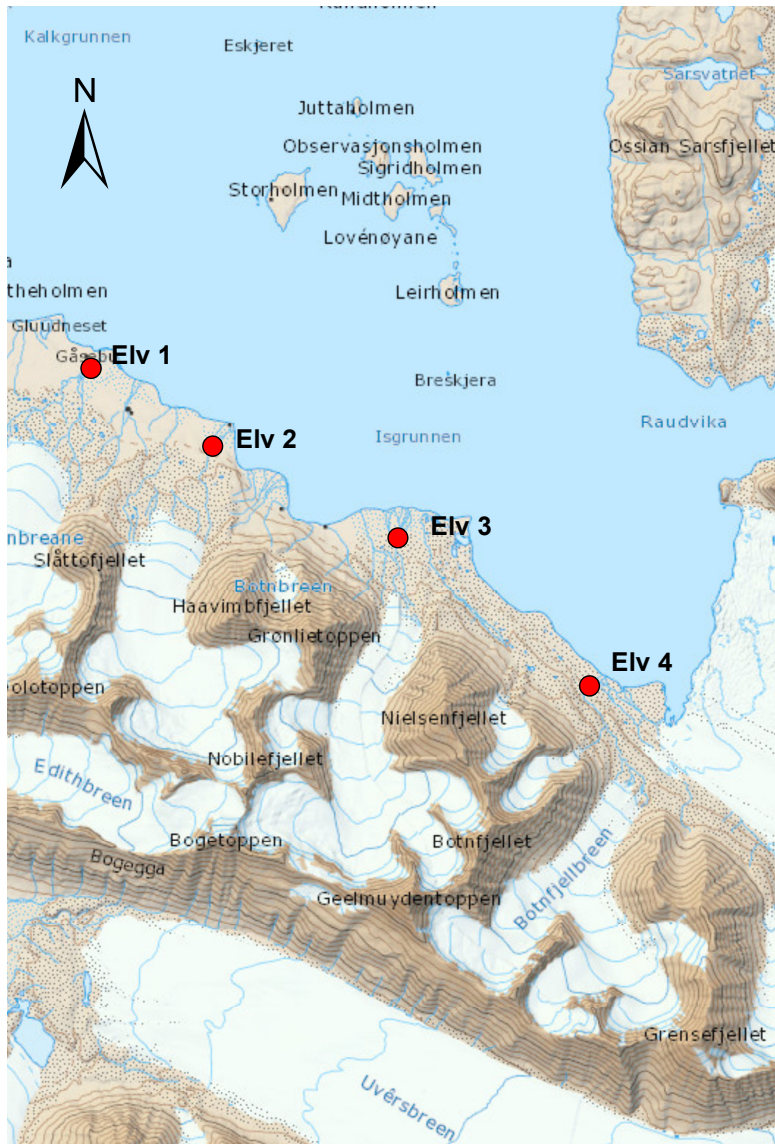
Elv	Prøvepunkt	Koordinater	
Bayelva	0	78,9349 N	11,8467 Ø
	1	78,9321 N	11,8341 Ø
	2	78,9246 N	11,8162 Ø
	3	78,9158 N	11,8439 Ø
	4	78,9186 N	11,8468 Ø
	5	78,9186 N	11,7796 Ø
	6	78,9076 N	11,8453 Ø
Londnelva	L1	78,9627 N	12,0509 Ø
	L2	78,9647 N	12,0547 Ø
	L3	78,9745 N	12,0581 Ø
Elv 1		78,9086 N	12,0930 Ø
Elv 2		78,8993 N	12,1774 Ø
Elv 3		78,8886 N	12,3043 Ø
Elv 4		78,8706 N	12,4369 Ø



Figur 3.1: Prøvetakingspunkter i Bayelva.



Figur 3.2: Prøvetakingspunkter i Londonelva.



Figur 3.3: Prøvetakingspunkter de 4 elvene østover fra Ny-Ålesund.

3.2.1 Vannprøver til ICP-MS

Vannprøvene analysert med ICP-MS ble tatt manuelt ved bruk av en teflonbeholder knyttet til et tau. Prøvene ble tatt fra elvebredden ved at beholderen ble kastet ut i elven. Denne metoden ble brukt for at prøvene skal stamme fra midten av elven der det er god dybde og vannføring. En 30 ml plastikkspøyte ble først skylt med prøveløsningen flere ganger, før sprøyten på nytt ble fylt opp med prøveløsning 20 ml. Prøverørene ble først skylt med filtrert prøvevann og deretter fylt opp med 10 ml filtrert prøve. Det ble brukt nytt filter (0,45 μm) for hver prøve, og nye filtre ble skylt med prøveløsningen før bruk. Vannprøvene ble surgjort i felt med tre dråper ultraren HNO_3 . Prøvene ble oppholdt i kjøleskap fram til avreise fra Ny-Ålesund. Totalt ble det tatt 94 filtrerte vannprøver, der 67 er fra Bayelva, 3 fra Londonelva og 8 fra de fire elvene øst for Ny-Ålesund. Alle prøvene ble analysert med HR-ICP-MS av Syverin Lierhagen på NTNU i løpet av august og september 2014.

3.2.2 DOC-prøver

Vannprøvene til DOC-analyse ble tatt på samme måte som de ICP-MS-prøvene, men til DOC-prøvene ble det brukt 50 ml prøverør. Prøverørene ble skylt minst to ganger med filtrert prøveløsning før de på nytt ble fylt opp med minimum 20 ml filtrert prøve. Det ble totalt tatt 45 DOC-prøver av elvevannet, 34 i første feltperiode og 11 i den andre perioden. Prøvene ble oppholdt på kjølerom ved 4 °i lukket beholder fram til analyse. Prøvene fra første periode ble målt for absorbans ved 254 nm i UV-spektrofotometer på NTNU i løpet av august 2014. Alle prøvene ble analysert av Øyvind Mikkelsen ved bruk av Torch combustion Analyser from Teledyne Tekmar og NDIR detektor.

3.2.3 Parametere

Ledningsevne, pH, temperatur, redokspotensiale, O_2 og turbiditet ble målt rett i elven for hver prøve som ble tatt. I tillegg ble det gjort automatiske målinger av ledningsevne, pH, temperatur og O_2 utvalgte dager.

pH, ledningsevne og O_2 ble målt med multimeteret WTW 350i Multimeter. Turbiditet ble målt med Turbiquant 1100 IR og redoks ble målt med en redokspenn av typen YSI ORP 15 Eco Sense(R).

3.3 Behandling av data

3.3.1 Gjennomsnitt

Når data skal analyseres kan det være nyttig å finne den gjennomsnittlige verdien til dataene. Det aritmetiske gjennomsnittet beregnes ved å summere alle resultatene og dele dette på antall data slik som vist i likning (3.1). For normalfordelte data, vil \bar{X} gå mot det sanne gjennomsnittet (μ) når n er stor.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.1)$$

3.3.2 Standardavvik

Standardavvik er et mål på hvor mye datapunkt i et datasett varierer fra gjennomsnittet. Det beregnes ved å trekke ut roten av det gjennomsnittlige kvadrerte avviket slik som vist i likning (3.2). Standardavviket til n prøver er et estimat på det sanne standardavviket (σ).

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.2)$$

I analytisk kjemi blir ofte relativ standardavvik brukt (RSD), der standardavviket uttrykkes som en prosent, slik som vist i likning (3.3). RSD gir et umiddelbart inntrykk av presisjonen til målingene og ligger vanligvis på 1-5% for rutinemålinger [30].

$$RSD = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3.3)$$

3.3.3 t-test

t-test (hypotesetest) er en statistisk metode som kan brukes til å sammenligne gjennomsnittet (\bar{X}) til to ulike datasett (1 og 2), for å bestemme om forskjellen mellom datasettene er signifikant. slik som vist i likning (3.4).

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (3.4)$$

der \bar{X}_1 er gjennomsnittet til datasett 1, \bar{X}_2 er gjennomsnittet til datasett 2, S_1 er standardavviket for datasett 1, S_2 er standardavviket for datasett 2, n_1 er antall prøver i datasett 1 og n_2 er antall prøver i datasett 2.

3.3.4 Korrelasjoner

Korrelasjoner er et begrep som beskriver hvorvidt to variabler har en lineær sammenheng. Korrelasjonen varierer mellom -1 og 1, der 1 tyder på sterk positiv lineær sammenheng, -1 tyder på sterk negativ lineær sammenheng og 0 tyder på liten lineær sammenheng. Korrelasjon beregnes etter to variablers estimerte kovarians (likning (3.5)) delt på deres standardavvik, slik at korrelasjonen beregnes etter likning (3.6)

$$S_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (3.5)$$

$$R = \frac{S_{XY}}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.6)$$

3.3.5 Hardhet

Det finnes ulike måter å bestemme hardheten i vann. I denne oppgaven ble hardhet beregnet ved bruk av følgende formel:

$$\text{Hardhet}(\text{°dH}) = [\text{Ca}^{2+}]/7, 13 + [\text{Mg}^{2+}]/4, 33 + [\text{Sr}^{2+}]/15, 60 + [\text{Ba}^{2+}]/24, 45 \quad (3.7)$$

3.3.6 ArcGis

ArcGis er et geografisk informasjonssystem utviklet av esri (Environmental System Research Institute). I denne oppgaven ble ArcGis brukt til å plote analyseresul-

tatene i kart. Dette ble gjort ved å laste opp en Excel fil som inneholdt resultatene og GPS-koordinater. Bakgrunnskart ble hentet fra geodata.npolar.no.

3.4 Analytiske Metoder

Ulike analytiske metoder kan benyttes for analyse av metaller i vann. De vanligste metodene inkluderer spektrofotometri, atomabsorpsjon, ICP-OES, ICP-MS, XRF, nøytronaktivering og voltametri. Når metode skal velges må det taes hensyn til metodens følsomhet, nøyaktighet og presisjon. Dersom det skal analyseres flere elementer i samme prøve bør metoden være rask å utføre, og dersom lave konsentrasjoner skal analyseres, må metoden være sensitiv nok til detektere lave konsentrasjoner. Det må også taes hensyn til økonomi, da kostnader forbundet med de ulike metodene varierer mye. I denne oppgaven ble prøvene analysert med ICP-MS. som er en rask, sensitiv, og pålitelig metodene innenfor vannanalyse. ICP-MS kan detektere flere elementer samtidig på svært kort tid, og kan brukes til analyse av både enkle og komplekse matrikser ([54]).

3.4.1 ICP-MS Prinsipper

Ved ICP-MS kombineres en høytemperatur plasma kilde (ICP) med et massespektrometer (MS). ICP kilden består av tre quartz kanaler som har felles midtpunkt. På innsiden av disse kanalene strømmer argonioner. Når argonionene kolliderer med andre argonioner, dannes et plasma. Temperaturen i plasmaet ligger typisk på 6000-10000 Kelvin. Ved bruk ICP-MS injiseres prøven i plasmaet vanligvis som aerosoler. Når prøven blir injisert inn i ICP fakkelen, omdannes aerosolene til ioner, vanligvis på formen M^+ eller M^{2+} . Disse ionene blir deretter transportert til et massespektrometer. Siden ICP kilden opererer med atmosfærisktrykk mens et massespektrometer opererer ved høyt vakuum ($< 10^{-6}$ torr), gjøres dette gjennom et mellomliggende vakuuområde. Dette er for å sikre at en stor nok del av ionene blir transportert til massespektrometeret. Vakuuområde er konstruert av to metalliske grensekjegler som heter prøvetaker (sampler) og oppsamler (skimmer). Hver kjele har små åpninger (1 mm) for å tillate ionene å passere gjennom til ioneoptikk, som guider dem til massespektrometeret. I massespektrometeret blir ionene separert som funksjon av deres masse/ladning forhold [54, 64].

Det mest vanlige massespektrometeret er kvadrupol massefilter, som består av 4 stenger. I kvadrupol massefilteret påsettes vekslende AC og DC spenninger til motstående par av stavnene slik at et elektrostatiske filter etableres. Resultatet er at kun ioner med et bestemt masse-ladningsforhold (m/e) å passere gjennom stavnene til detektoren i et gitt tidsøyeblikk [64].

3.4.2 HR-ICP-MS

Et typisk kvadrupol massefilter har en oppløsning på mellom 0.7 – 1.0 amu. Et vanlig problem med ICP-MS er at denne oppløsningen ikke alltid er tilstrekkelig til å separere interferenser fra overlappende molekylære specier. I denne oppgaven er det brukt høyoppløselig ICP-MS (HR-ICP-MS). I HR-ICP-MS brukes både en magnetisk sektor og en elektrisk sektor for å separere og fokusere ionene, noe som blir kalt dobbeltfokuserende høyoppløselig massespektrometer. Bruk av høyoppløselig (HR) eller magnetisk sektor massespektrometer har blitt mer vanlig innen ICP-MS fordi innretningen kan eliminere eller redusere interferenser som skyldes masseoverlapp. HR-ICP-MS [64]. HR-ICP-MS har også sine begrensinger ved at de er 2 – 3 ganger dyrere enn quadrupole ICP-MS instrumentet. De er også mer komplekse maskiner å operere og vedlikeholde. Økningen i oppløsning fører også til redusert signal intensitet. Dette kan begrense deteksjon av analytter med veldig lav konsentrasjon. I tillegg er de tar det lenger tid å kjøre prøvene i HR-ICP-MS sammenlignet med ICP-MS. HR-ICP-MS egner seg derfor ikke til analyser der det er krav til spesiell høy produktivitet [64].

Kapittel 4

Resultater og diskusjon

4.1 Oversikt over resultatene

4.1.1 Sporelementer

Innhold av oppløste sporelementer ble bestemt med ICP-MS som tidligere beskrevet. Resultatene for utvalgte sporelementer (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn, As, Ni, Cr, Al og Mn) i Bayelva er vist i Tabell 4.2 - Tabell 4.8. Tabellene viser også gjennomsnittkonsentrasjon og standardavvik i de ulike prøvepunktene i elven. Resultatene fra Londonelva og de fire elvene øst for Ny-Ålesunder er vist i henholdsvis Tabell 4.9 og Tabell 4.10. Fullstendig oversikt over alle sporelementer er vist i Vedlegg D.

ICP-MS analysene viser at konsentrasjonen av oppløste sporelementer er relativt lave i alle elvene og at de fleste spormetallene ligger under grenseverdier satt for spormetaller i vann (Tabell 2.2). I Bayelva er unntaket kvikksølv og kadmium, som har noe forhøyede verdier, spesielt i første prøvetakingperiode. Kvikksølv og kadmium har gjennomsnittkonsentrasjon på henholdsvis 0,004 $\mu\text{g}/\text{l}$ og 0,052 $\mu\text{g}/\text{l}$, noe som tilsvarer moderat forurenset tilstand. Det er imidlertid en prøve som drar gjennomsnittet til kadmium betydelig opp. Tar man bort denne prøven er gjennomsnittlig innhold av kadmium 0,0189 $\mu\text{g}/\text{l}$, noe som tilsvarer ubetydelig forurenset etter Tabell 2.2.

Metallkonsentrasjonene i Bayelva kan sammenlignes med det som ble målt i Bayelva sommeren 2011 (Tabell 4.1). Gjennomsnittkonsentrasjon av arsen, kobber, jern, nikkel og bly er i samme konsentrasjonsområde som i 2011. På en annen side er kadmium- og kvikksølvverdiene noe høyere i denne oppgaven, i tillegg til at gjennomsnittlig sink-konsentrasjon er mye høyere; $3,4 \mu\text{g/l}$ sammenlignet med $0,3 \mu\text{g/l}$ i 2011 [49]. Årsaken til den store forskjellen i sink-konsentrasjon er uklar, men i denne oppgaven er det stor variasjon i konsentrasjonen, fra $<0,025$ til $30,7 \mu\text{g/l}$. Sammenlignet med andre arktiske elver (Tabell 4.1) er det også forskjeller. Kadmium, bly, kvikksølv og sink har i snitt høyere konsentrasjoner, mens arsen, kobber, jern og nikkel ligger i samme område eller noe lavere. De andre arktiske elvene i Tabell 4.1 som er brukt som sammenligningsgrunnlag er målt i august og september, når vannføring og metallkonsentrasjoner kan være lavere enn i juni når vannføringen ofte er høy. I tillegg er konsentrasjonen av sporelementer sterkt avhengig av den lokale geologien, og forskjeller i mengde og sammensetning i uforurensede elver kommer derfor stort sett av forskjeller i geologi. I tillegg kan noen av elvene være påvirket av antropogen forurensning, som også vil ha en innvirkning på konsentrasjoner. Det er også forskjeller når det gjelder hydrologisk karakterer, der de andre arktiske elvene i Tabell 4.1 er mye større enn Bayelva, både når det gjelder lende og vannføring.

I de fire elvene øst for Ny-Ålesund er det høye verdier av kobber, spesielt i første prøvetakingsperiode der kobberinnholdet i elv 1, 2, 3 og 4 er målt til henholdsvis $7,26$, $5,79$, $14,9$ og $1,93 \mu\text{g/l}$. Disse konsentrasjonene tilsvarer meget sterk forurensning, sterkt forurensning, meget sterkt forurensning og markert forurensning tilstand i følge Tabell 2.2. Verdiene er også høye sammenlignet med Bayelva, der gjennomsnittlig konsentrasjon av kobber er $0,457 \mu\text{g/l}$, og de andre arktiske elvene i Tabell 4.1 der kobberkonsentrasjoner varierer fra $0,001$ - $2,41 \mu\text{g/l}$. Jordprøver tatt av mineraljord viser også høyere verdier av kobber i samme område. Konsentrasjonen av kobber i mineraljorden ble målt til $25,4 \mu\text{g/g}$, og er høyere enn konsentrasjoner funnet i Bayelva område [21]. Dette kan tyde på at mineraljorden er rik på kobber i dette område og at snøsmeltingen har forårsaket forhøyede verdier av oppløst kobber i disse elvene.

Kvikksølvverdiene i elvene øst for Ny-Ålesund ligger i samme område som verdiene funnet i Bayelva. Med tanke på kvikksølv er alle elvene bortsett fra elv 4 moderat forurensning i første prøvetakingsperiode. Elvene øst for Ny-Ålesund ble bare prøvetatt totalt to ganger (en gang hver periode) og det kan derfor være vanskelig å sammenligne konsentrasjonene med de funnet i andre elvene, siden konsentrasjonen av sporelementer kan variere fra prøve til prøve.

I Londonelva er innholdet av sporelementer generelt lavere enn i Bayelva og alle elementene ligger under grenseverdier satt for sporelementer i vann. Verdiene er tilnærmet like de målt i Londonelva 2011 [49], men det ble tatt færre prøver fra

Londonelva (n=3) i denne oppgaven, så konsentrasjonene kan være vanskelig å sammenligne.

Alle elvene viser svovel (S) som hovedelement med en gjennomsnittkonsentrasjon og medianverdi på henholdsvis 1 740 og 1 070 $\mu\text{g/l}$ i Bayelva. I Londonelva er gjennomsnittlig svovel 5 930 $\mu\text{g/l}$. Sulfat kommer hovedsakelig fra hav-aerosoler og forvitring av svovelholdige mineraler, som for eksempel gips eller sedimentære bergarter som pyritt [19] og kan være en årsak til det høye svovelinnholdet. Sulfatkonsentrasjoner i naturlige vann ligger vanligvis mellom 2 000 og 8 000 $\mu\text{g/l}$ [19].

Tabell 4.1: Gjennomsnittkonsentrasjoner for oppløste metaller i andre arktiske elver

Elv	Referanse	As ($\mu\text{g/l}$)	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cu ($\mu\text{g/l}$)	Hg ($\mu\text{g/l}$)	Fe ($\mu\text{g/l}$)	Ni ($\mu\text{g/l}$)	Pb ($\mu\text{g/l}$)	Zn ($\mu\text{g/l}$)
Bayelva	Denne oppgaven	0,04463	0,051597414	0,464564353	0,003651	4,783945241	0,125414177	0,045735132	3,375016
Bayelva	[49]	0,049	0,0054	0,26	0,0011	5,3	0,098	0,02	0,3
Coville	[51]	-	-	0,7	-	3,8	-	0,012	0,032
Kuparuk	[51]	-	-	0,69	-	10,3	-	0,0056	0,042
Lena	[43]	0,15	0,006	0,62	-	22,9	0,31	0,02	0,35
Ob	[20]	-	0,006 - 0,008	1,85 - 2,41	0,00056	24,00 - 36,54	1,23 - 1,39	0,00114 - 0,0171	-
Sagavanirktok	[51]	-	-	0,24	-	2,1	-	0,0048	0,063
Yenisey	[20]	-	0,0012 - 0,0018	1,37 - 1,87	0,0003	14,02 - 17,71	0,52 - 0,55	0,0052 - 0,0061	-
Gjennomsnitt verden	[51]	-	-	1,5	-	49,986	-	0,031	0,602

Tabell 4.2: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 0.

Punkt 0	Konsentrasjon ($\mu\text{g/l}$)											
	Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
	04.07.14 - 10:10	0,00521	0,0108	0,00549	2,85	0,252	0,332	0,0415	0,0898	0,0389	5,41	3,21
	04.07.14 - 10:40	0,00484	0,0659	0,0298	9,02	1,01	5,06	0,0531	0,157	0,0520	12,0	3,57
	12.08.14 - 10:45	0,00733	0,00537	0,00834	1,35	0,138	0,305	0,0476	0,0659	0,0598	4,99	2,89
	12.08.14 - 11:15	0,00291	0,00879	0,00985	2,17	0,121	0,232	0,0445	0,0604	0,0509	5,60	3,08
	12.08.14 - 11:45	<0,001	0,00583	0,00838	1,14	0,123	0,201	0,0367	0,0492	0,0594	4,95	3,54
	12.08.14 - 12:15	0,00251	0,00430	0,00727	0,834	0,0832	0,144	0,0396	0,0564	0,0403	4,29	3,42
	Gj.Snitt	0,00392	0,0169	0,0115	2,89	0,287	1,05	0,0439	0,0799	0,0502	6,20	3,29
	St.avvik	0,00234	0,0242	0,00906	3,092	0,357	1,97	0,00592	0,0403	0,00902	2,85	0,271

Tabell 4.3: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 1.

Punkt 1	Konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$)										
	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
29.06.14 - 12:30	0,00177	0,0787	0,00677	3,68	0,524	1,45	0,0412	0,116	0,0564	5,88	3,07
29.06.14 - 13:00	0,00302	0,0923	0,02180	4,49	0,673	4,01	0,0473	0,151	0,0695	7,28	2,80
29.06.14 - 13:30	0,00307	0,0778	0,00698	1,51	0,309	2,36	0,0441	0,0887	0,0520	4,95	3,17
29.06.14 - 14:00	0,00341	0,0729	0,00668	1,57	0,832	2,63	0,0458	0,170	0,0717	4,68	3,46
29.06.14 - 14:30	0,00353	0,0811	0,01552	2,10	0,485	8,26	0,0299	0,131	0,0606	5,67	3,24
29.06.14 - 15:00	0,00534	0,0796	0,00430	3,80	0,212	3,25	0,0389	0,094	0,0654	5,93	2,80
29.06.14 - 15:30	0,00457	0,194	0,09797	5,98	1,94	30,7	0,0430	0,359	0,1207	14,3	3,30
29.06.14 - 16:00	0,00374	0,0790	0,00712	2,91	0,252	4,75	0,0352	0,102	0,0596	5,31	2,84
29.06.14 - 17:00	0,00407	0,0651	0,00830	3,16	0,651	11,8	0,0414	0,164	0,0594	7,53	2,91
01.07.14 - 10:00	0,00704	0,0742	0,00618	4,29	0,212	1,89	0,0474	0,075	0,0564	5,12	3,60
01.07.14 - 12:30	0,00458	0,0341	2,15970	6,26	0,459	4,46	0,0560	0,162	0,0596	7,74	3,44
02.07.14 - 09:45	0,00189	0,0379	0,05281	3,53	0,624	9,79	0,0306	0,149	0,1189	9,46	2,03
02.07.14 - 10:15	0,00481	0,0197	0,00742	4,24	0,279	2,76	0,0495	0,111	0,0392	6,16	3,39
02.07.14 - 10:45	0,00376	0,0118	0,00621	3,32	0,175	0,516	0,0406	0,075	0,0279	5,40	3,34
02.07.14 - 11:15	0,00364	0,00680	0,00461	1,59	0,160	0,350	0,0563	0,082	0,0363	4,11	3,36
02.07.14 - 11:45	0,00345	0,0494	0,01277	6,39	0,445	8,50	0,0445	0,146	0,0658	9,59	4,26
02.07.14 - 12:15	0,00347	0,0915	0,01760	7,48	0,870	23,7	0,0549	0,243	0,1060	14,27	5,00
02.07.14 - 12:45	0,00248	0,00788	0,00599	2,53	0,171	1,10	0,0428	0,083	0,0625	4,36	3,38
02.07.14 - 13:15	0,00353	0,0918	0,14896	8,70	2,52	6,02	0,0578	0,306	0,0839	13,77	3,61
02.07.14 - 13:45	0,00538	0,0369	0,01222	4,12	0,317	2,35	0,0464	0,116	0,0590	6,17	3,54
03.07.14 - 19:00	0,00583	0,0972	0,03505	7,17	2,06	8,20	0,0489	0,332	0,0878	8,28	4,26
03.07.14 - 19:15	0,00394	0,0318	0,01077	4,27	0,793	2,56	0,0542	0,155	0,0433	5,75	4,08
06.07.14 - 13:40	0,00308	0,0307	0,00683	7,37	0,529	1,52	0,0434	0,133	0,0473	7,71	4,43
06.07.14 - 14:00	0,00223	0,0440	0,01093	4,75	0,721	2,61	0,0480	0,157	0,0369	6,16	4,63
12.08.14 - 13:15	0,00061	0,00577	0,00746	0,73	0,0991	0,184	0,0350	0,077	0,0301	4,29	3,46
12.08.14 - 13:45	0,00245	0,0144	0,00822	3,95	0,330	0,448	0,0421	0,074	0,0382	12,30	3,36
12.08.14 - 14:15	0,00174	0,00509	0,00659	1,91	0,107	0,229	0,0521	0,053	0,0459	4,96	3,77
12.08.14 - 14:30	0,00307	0,0716	0,01216	9,00	0,692	2,65	0,0396	0,197	0,0927	19,80	4,21
15.08.14 - 14:45	0,00048	0,00457	0,00599	1,24	0,0933	0,277	0,0473	0,058	0,0556	4,16	4,98
Gj.snitt	0,00345	0,0547	0,0936	4,21	0,605	5,15	0,0450	0,143	0,0624	7,62	3,58
Std.avvik	0,00147	0,04152	0,39859	2,27	0,597	6,91	0,0073	0,079	0,0243	3,83	0,68

Tabell 4.4: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 2.

Punkt 2		Konsentrasjon ($\mu\text{g/l}$)									
Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
01.07.14 - 11:00	0,00205	0,0754	0,0996	4,15	0,625	7,49	0,0441	0,219	0,143	7,06	0,597
01.07.14 - 11:30	0,00407	0,0590	0,00836	2,05	0,337	4,33	0,0545	0,106	0,0984	3,07	0,523
01.07.14 - 12:00	0,00549	0,0057	0,00621	1,52	0,146	0,810	0,0679	0,0881	0,0522	2,97	1,154
15.08.2014	0,00090	0,0040	0,00382	2,27	0,248	0,527	0,0533	0,0819	0,0783	5,34	0,289
Gj.snitt	0,00313	0,0360	0,0295	2,50	0,339	3,29	0,0549	0,124	0,0929	4,61	0,641
Std.avvik	0,00205	0,0366	0,0468	1,15	0,206	3,29	0,00980	0,0642	0,0382	1,97	0,366

Tabell 4.5: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 3.

Punkt 3		Konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$)									
Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
30.06.14 - 10:15	0,00617	0,0941	0,0393	5,67	0,659	5,08	0,044	0,117	0,0634	7,59	6,27
30.06.14 - 10:45	0,00258	0,0867	0,0608	3,69	0,645	5,91	0,051	0,149	0,0638	8,09	6,62
30.06.14 - 11:15	0,00464	0,0719	0,0053	2,42	0,204	2,08	0,039	0,0699	0,0424	3,86	6,47
30.06.14 - 11:45	0,00575	0,0766	0,0055	2,87	0,197	0,83	0,051	0,0586	0,0367	4,33	6,38
30.06.14 - 12:15	0,00564	0,0697	0,0070	3,33	0,218	2,16	0,041	0,0687	0,0409	4,34	6,24
30.06.14 - 12:45	0,00701	0,0903	0,0070	3,40	0,224	3,27	0,039	0,0642	0,0453	4,48	6,45
30.06.14 - 13:00	0,00407	0,1430	0,2391	5,26	1,418	9,28	0,051	0,279	0,0924	18,6	6,71
30.06.14 - 13:15	0,00629	0,0795	0,0057	2,74	0,193	0,779	0,039	0,0569	0,0428	4,21	6,44
30.06.14 - 13:30	0,00390	0,0874	0,0054	2,05	0,180	1,71	0,037	0,0558	0,0416	3,86	6,56
30.06.14 - 13:45	0,00469	0,0727	0,0061	2,49	0,179	0,779	0,037	0,0636	0,0315	4,04	6,49
05:07.14 - 12:20	0,00264	0,0301	0,0104	6,61	1,012	2,43	0,036	0,216	0,1633	7,20	9,00
05:07.14 - 12:50	0,00427	0,0383	0,0266	5,75	1,281	2,27	0,042	0,209	0,0493	7,79	8,06
05:07.14 - 13:10	0,00418	0,0123	0,0069	6,04	0,181	0,420	0,025	0,0796	0,0192	6,53	8,34
05:07.14 - 13:40	0,00283	0,0155	0,0073	7,02	0,224	0,496	0,034	0,0700	0,1677	5,98	8,38
05:07.14 - 14:10	0,00281	0,0132	0,0093	5,17	0,222	0,621	0,038	0,0659	0,0197	6,24	8,36
05:07.14 - 14:40	0,00314	0,0082	0,0082	5,00	0,173	0,931	0,042	0,0632	0,0243	5,44	8,27
05.07.14 - 15:10	0,00489	0,0111	0,0078	4,72	0,205	0,547	0,035	0,0636	0,0200	5,78	8,25
05.07.14 - 15:40	0,00305	0,0323	0,0100	19,7	0,409	4,19	0,031	0,123	0,4460	7,49	8,33
Gj.snitt	0,00436	0,0574	0,0260	5,22	0,435	2,43	0,040	0,104	0,0784	6,43	7,313
Std.avvik	0,00138	0,0384	0,0552	3,93	0,404	2,37	0,007	0,067	0,102	3,38	0,999

Tabell 4.6: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 4.

Punkt 4	Konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$)										
Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
03.07.14 - 09:45	0,00394	0,00827	0,00568	4,09	0,218	1,37	0,0376	0,222	0,0361	3,00	2,56
03.07.14 - 10:45	0,00264	0,00904	0,00466	3,56	0,199	2,07	0,0372	0,239	0,0403	3,53	2,67
13.08.14 - 09:45	0,00319	0,00201	0,00195	0,445	0,216	1,09	0,0455	0,0790	0,0617	3,65	2,02
13.08.14 - 10:15	0,00413	0,00511	0,00151	0,528	0,198	0,806	0,0498	0,101	0,0562	3,69	0,185
13.08.14 - 10:45	0,00255	0,0351	0,00174	32,8	0,253	0,689	0,0431	0,110	0,101	37,3	0,533
Gj.snitt	0,00329	0,0119	0,00311	8,28	0,217	1,20	0,0426	0,150	0,0589	10,2	1,59
Std.avvik	0,000729	0,0133	0,00192	13,8	0,0221	0,551	0,0053	0,0745	0,0256	15,1	1,16

Tabell 4.7: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 5.

Punkt 5	Konsentrasjon ($\mu\text{g/l}$)										
Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
15.08.14 - 13.00	0,00456	0,00885	0,00565	4,84	0,255	1,01	0,0764	0,153	0,0611	7,98	0,514
15.08.14 - 13.30	0,00137	0,00660	0,00303	1,70	0,229	0,536	0,0886	0,0862	0,0492	6,09	0,293
Gj.snitt	0,00297	0,00772	0,00434	3,27	0,242	0,774	0,0825	0,120	0,0551	7,036	0,404
Std.avvik	0,00226	0,00159	0,00185	2,21	0,0184	0,337	0,00860	0,0473	0,00845	1,338	0,156

Tabell 4.8: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Bayelva punkt 6.

Punkt 6	Konsentrasjon ($\mu\text{g/l}$)										
Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al	Mn
15.08.14 - 10.00	0,00088	0,00729	0,00427	2,40	0,161	0,742	0,0289	0,0586	0,0166	3,92	6,02
15.08.14 - 10.25	0,00314	0,0713	0,00832	22,1	0,489	1,97	0,0281	0,228	0,0478	14,5	10,6
Gj.snitt	0,00201	0,0393	0,00630	12,2	0,325	1,36	0,0285	0,143	0,0322	9,23	8,30
St.avvik	0,00160	0,0453	0	13,9	0,232	0,870	0,0005	0,120	0,022	7,51	3,23

Tabell 4.9: Konsentrasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik for utvalgte sporelementer i Londonelva

Londonelva	Konsentrasjon ($\mu\text{g/l}$)										
	Dato - Tid	Hg	Pb	Cd	Fe	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Al
13.08.14 - 13.45 (L1)	0,00294	0,00374	<0,002	0,859	0,177	0,765	0,133	0,1174	0,0315	2,00	0,0703
13.08.14 - 14.05 (L2)	0,00175	0,00260	<0,002	1,60	0,055	0,583	0,166	0,0724	0,0371	2,57	0,0371
13.08.2014 (L3)	0,00181	0,00369	<0,002	0,722	0,117	0,847	0,090	0,0492	0,0358	2,25	0,00355
Gj.snitt	0,00217	0,00334	<0,002	1,06	0,116	0,731	0,130	0,0797	0,0348	2,27	0,0370
std.avvik	0,000670	0,00065	<0,002	0,473	0,0610	0,135	0,0379	0,0347	0,0029	0,288	0,0334

Tabell 4.10: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer som funksjon av tid i fire elver øst for Ny-Ålesund

Dato	Elv 1		Elv 2		Elv 3		Elv 4	
	04.jul	14.aug	04.jul	14.aug	04.jul	14.aug	04.jul	14.aug
Hg $\mu\text{g/l}$	0,00404	0,00148	0,00366	0,00091	0,00423	0,00179	0,00117	0,00337
Pb $\mu\text{g/l}$	0,177	0,0298	0,0381	0,0327	1,48	0,0882	0,0172	0,0121
Cd $\mu\text{g/l}$	0,0642	0,0480	0,168	0,00252	0,0833	0,0104	0,00700	0,00476
Fe $\mu\text{g/l}$	29,3	11,0	8,96	17,5	32,8	13,5	1,87	4,99
Cu $\mu\text{g/l}$	7,26	0,416	5,79	0,0946	14,8	1,20	1,93	0,145
Zn $\mu\text{g/l}$	9,97	1,90	14,6	0,322	17,4	3,02	0,501	0,107
As $\mu\text{g/l}$	0,0529	0,0512	0,0415	0,0569	0,0829	0,0869	0,0411	0,0417
Ni $\mu\text{g/l}$	0,944	3,48	8,84	0,193	1,28	0,399	0,204	0,0525
Cr $\mu\text{g/l}$	0,0801	0,0273	0,0813	0,0729	0,421	0,137	0,0315	0,0119
Al $\mu\text{g/l}$	23,0	18,8	19,0	21,8	33,9	29,0	5,50	7,39
Mn $\mu\text{g/l}$	9,96	44,6	62,5	16,1	19,5	20,1	25,6	28,6
Mg $\mu\text{g/l}$	1 456	3 649	1 871	1 455	1 914	3 567	1 618	1 426
Ca $\mu\text{g/l}$	7 811	23 988	12 316	8 957	9 566	15 280	10 098	10 965
Na $\mu\text{g/l}$	2 366	1 202	3 557	1 104	2 810	1 309	778	183
K $\mu\text{g/l}$	868	1 116	716	1 050	1 273	1 617	654	654
Cl $\mu\text{g/l}$	4 338	1 584	6 413	1 515	4 973	1 384	1 435	306
Si $\mu\text{g/l}$	234	402	293	268	256	356	151	128

4.1.2 Parametere

Gjennomsnittelig målt pH, temperatur, ledningsevne, O₂ og turbiditet for alle punkter i Bayelva og Londonelva er vist i tabell Tabell 4.11.

Gjennomsnittlig pH i Bayelva ble målt til 8,5 med en maksimum verdi på 9,2 og en minimum verdi på 8,0. I Londonelva var gjennomsnittet 8,3. Etter sammenligning med tidligere studier er de målte pH-verdiene noe høyere. Krawczyk et. al målte pH-verdier mellom 7,68 og 8,64 i Bayelva 2007, og i 2011 var gjennomsnittlig pH 8,0 [37, 49]. Dersom de målte verdiene er høyere enn de reelle verdiene kan dette skyldes feil med pH-elektroden eller kalibreringsløsningen. Siden pH ble målt direkte i elven, kan det også ha oppstått feilmålinger på grunn av den lave temperaturen i elven.

Ledningsevnen i Bayelva hadde en gjennomsnittsverdi på 81,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ med en maksimum verdi på 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (punkt 4) og en minimum verdi på 32,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (punkt 3). I Londonelva var gjennomsnittlig ledningsevne 260,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Turbiditeten hadde en gjennomsnittsverdi på 120,9 NTU med en maksimum verdi på 236,7 NTU (punkt 1) og en minimum verdi på 1,6 NTU (punkt 4). Punkt 4 i Tvillingvassbekken hadde gjennomgående lav turbiditet, sammenlignet med de andre punktene i elven. Londonelva hadde også lav turbiditet, med et gjennomsnitt på 1,2.

I Bayelva var gjennomsnittstemperatur på 0,4 °C i første periode og 3,9 °C i andre periode. Temperaturen i Londonelva ble bare målt i andre periode, da temperaturen i vannet generelt var høyere enn i første periode. Gjennomsnittlig temperatur målt i Londonelva var da 4,8 °C.

Redokspotensiale i Bayelva var 236 mv i gjennomsnitt og varierte lite fra dette. Det ble imidlertid bare gjort noen få målinger (n=18) av redokspotensiale de første dagene av første feltperiode fordi instrumentet ble mistet i elven og forsvant. Av den grunn ble det heller ikke gjort målinger av redokspotensiale i noen av de andre elvene.

Tabell 4.11: Gjennomsnittsverdier og standardavvik for målt pH, temperatur, ledningsevne, mettet O₂ og turbiditet i Bayelva og Londonelva for begge periodene.

Prøvepunkt	pH		Temperatur		Ledningsevne		DO		Turbiditet	
	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
Bayelva	8,5	0,3	1,3	1,9	81,0	32,8	86,0	43,7	120,9	53,3
0	8,9	0,3	3,0	1,5	84,1	6,9	37,7	44,2	133,8	14,3
1	8,5	0,3	1,1	1,4	80,1	3,8	97,1	37,8	151,6	39,5
3	8,2	0,0	0,1	0,1	59,0	6,7	110,6	10,9	99,9	39,0
4	8,2	0,2	4,1	3,6	159,5	63,2	67,4	41,6	10,0	10,8
5	8,9	0,0	2,0	0,0	73,3	0,4	11,4	0,6	94,9	10,5
6	8,4	0,3	0,1	0,1	49,3	0,0	12,4	0,6	168,8	6,0
Londonelva	8,3	0,1	4,8	0,0	260,1	34,8	43,5	0,5	1,2	-

4.1.3 Hovedioner

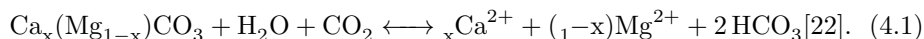
Tabell 4.12: Gjennomsnittlige konsentrasjoner av hovedioner i Bayelva og Londonelva over begge periodene.

Element	Bayelva							Londonelva
	0	1	2	3	4	5	6	Gj.snitt
Ca ²⁺ µg/l	11 000	8 960	13 040	5 025	21 380	10 440	6 420	40 270
Mg ²⁺ µg/l	2 260	1 970	3 550	1 240	6 230	2 330	1 350	7 280
Na ⁺ µg/l	1 330	2 460	2 140	3 570	2 210	495	701	2 030
K ⁺ µg/l	417	434	343	390	670	243	403	480
Cl ⁻ µg/l	2 070	5 003	3 900	7 310	2 970	871	1 450	3 180
Si µg/l	170	178	254	127	461	161	136	568

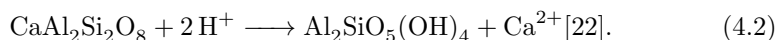
En oversikt over hovedioner (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻ og Si) i Bayelva og Londonelva er gitt i tabell Tabell 4.12. Gjennomsnittlig kalsium, magnesium, natrium, kalium, klor og silisium i Bayelva er henholdsvis 9 170 µg/l, 2 200 µg/l, 2 490 µg/l, 421 µg/l, 4 880 µg/l og 188 µg/l. I Londonelva er konsentrasjonene henholdsvis 40 000 µg/l, 7 280 µg/l, 2 030 µg/l, 480 µg/l, 3 180 µg/l og 568 µg/l.

Alle punktene i Bayelva og Londonelva hadde Ca^{2+} som hovedion, bortsett fra punkt 3 i Bayelva som hadde Cl^- som hovedion etterfulgt av Ca_2^+ .

Som nevnt i teorien skyldes hovedioner først og fremst forvitring av bergarter og vil av den grunn kunne variere adskillig fra sted til sted [19]. Ca^{2+} og Mg^{2+} frigis ved forvitring av kalsitt ved følgende reaksjon:



I tillegg kan kalsiumholdige silikater frigi Ca^{2+} ved følgende reaksjon:



Selv om kalsium er hovedionet i begge elvene har Londonelva i gjennomsnitt 336 % høyere innhold av kalsium sammenlignet med Bayelva. Forskjellen mellom kalsiuminnholdet i de to elvene kan forklares ut fra forskjeller i geologien i nedbørsfeltene. Som sett i Figur 2.5 ligger område rundt Bayelva delvis på sedimentære bergarter som kalkstein og sandstein, mens Londonelva domineres av løselig karbonatstein. Karbonbergartene forvitrer lett og bidrar til de høye kalsiumverdiene i vannet. Vanligvis ligger kalsiumkonsentrasjoner i naturlige vann på under 1500 $\mu\text{g}/\text{l}$, og øker dersom karbonatbergarter er utstrakt [19].

Silisium er tilstede i mindre mengder enn alle de andre hovedioner i Tabell 4.12, både i Bayelva og i Londonelva. Silisiuminnholdet i vann varierer også med geologien i område. I vann som ikke anses å være påvirket av antropogen aktivitet, stammer silisium hovedsakelig fra kjemisk forvitring av silikater som for eksempel kvartsitt. Bindingen mellom Si-O i kvartsitt er meget sterke og forvitringsprosessen er langsom [19]. Det er derfor naturlig at det er lavere nivåer av silisium selv om silikater som sandstein også er tilstede i området.

Klor ligger vanligvis under 10 mg/l og konsentrasjonen av klor i Bayelva ligger langt under dette, men skyldes sannsynligvis atmosfærisk avsetning av aerosoler fra havet [19].

Hardheten i Bayelva og Londonelva er lav; henholdsvis 1,4 (°dH) og 7,3 (°dH). Svært bløtt vann har hardhet <4 (°dH), mens bløtt vann har hardhet fra 4-8 (°dH). Dermed kan Bayelva og Londonelva karakteriseres som henholdsvis svært bløtt og bløtt.

4.2 Trender mellom første og andre periode - Bayelva

4.2.1 Spormetaller

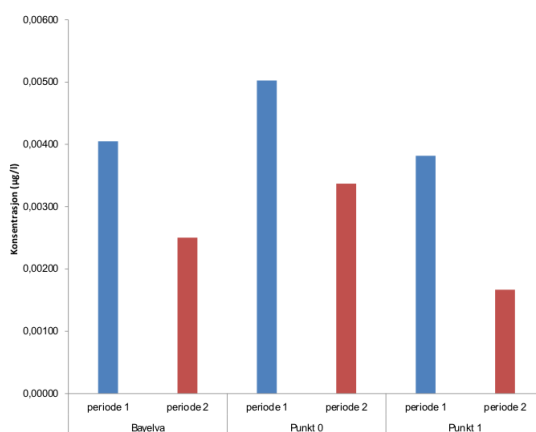
Som tidligere nevnt var prøvetakingen delt inn i to perioder der første feltperiode var fra 27.juni til 07.juli og andre feltperiode var fra 11. til 18. august. Under første periode var snøsmeltingen godt i gang, og det var fortsatt en del snø og mye smeltevann i området rundt Bayelva og Ny-Ålesund. Smeltevannvannet dekket store deler av området og gjorde det vanskelig å bevege seg langs elven. Det ble derfor bare tatt prøver fra punkt 0, 1, 2, 3 og 4 i denne perioden. I andre periode var all snøen borte og området var relativt tørt. Denne gangen ble det tatt prøver fra punkt 0, 1, 2, 4 og 5. De fleste prøvene ble tatt i punkt 1, etterfulgt av 0. Det er derfor lagt vekt på disse to punktene under sammenligning av først og andre feltperiode. Figur 4.1 viser bilde av Bayelva i første og andre feltperiode.



Figur 4.1: bilde tatt fra første feltperiode (til venstre) og andre feltperiode (til høyre). Bildet er tatt fra punkt 1 i Bayelva.

Tabell 4.13 viser gjennomsnittlig konsentrasjon av oppløste metaller i Bayelva første prøvetakingsperiode sammenlignet med andre. Resultatene viser at konsentrasjonen av kvikksølv, bly, kadmium, sink, nikkel og kobber er lavere i andre periode, mens arsen viser liten forandring (se Vedlegg H for t-test). Som sett fra tabellen og Figur 4.2, sank gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjonen fra $0,00405 \mu\text{g/l}$ til $0,00250 \mu\text{g/l}$ i Bayelva sett under ett. Dette tilsvarer en nedgang på ca 38 %. Også i punkt 0 og 1 sank konsentrasjonen, fra henholdsvis $0,00503 \mu\text{g/l}$ til $0,00337 \mu\text{g/l}$ i punkt 0 (ca 40 %) og fra $0,00382$ til $0,00167 \mu\text{g/l}$ i punkt 1 (ca 50 %). Bly sank betydelig i Bayelva, fra $0,00562 \mu\text{g/l}$ til $0,00157$

$\mu\text{g/l}$. Dette tilsvarer en nedgang på 71 %. Kadmium sank også, fra 0,0674 $\mu\text{g/l}$ til 0,00615 $\mu\text{g/l}$, altså med hele 91 %. Sink sank fra 4,30 til 0,708 $\mu\text{g/l}$, en nedgang på ca 83 %. Nikkel sank med ca 32 %, fra 0,137 $\mu\text{g/l}$ i første periode til 0,0934 $\mu\text{g/l}$ i andre periode og kobber sank med ca 58 %, fra 0,547 $\mu\text{g/l}$ til 0,336 $\mu\text{g/l}$. Trendene i Bayelva kan også sees i Vedlegg F, Figur F.1 som viser konsentrasjon av oppløst Hg, Pb, Zn, og Cu som funksjon av tid.



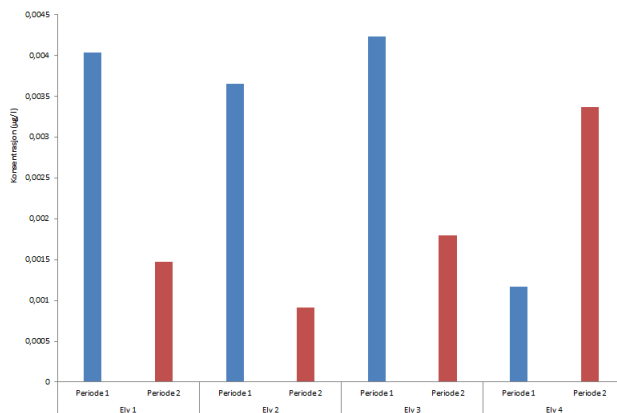
Figur 4.2: Kvikksølvkonsentrasjoner i Bayelva fra første til andre prøvetakingsperiode

Tabell 4.13: Gjennomsnittlig konsentrasjon av utvalgte elementer i Bayelva - fra første til andre feltperiode. Antall prøver står i parentes.

Prøvepunkt		Bayelva		0		1	
Periode		1 (49)	2 (17)	1 (2)	2 (4)	1 (24)	2 (5)
Hg	$\mu\text{g/l}$	0,00405	0,00250	0,00503	0,00337	0,00382	0,00167
Pb	$\mu\text{g/l}$	0,0562	0,0157	0,0384	0,0061	0,0619	0,0203
Cd	$\mu\text{g/l}$	0,0674	0,00615	0,0176	0,00846	0,111	0,00808
Fe	$\mu\text{g/l}$	4,62	5,26	5,94	1,37	4,38	3,37
Cu	$\mu\text{g/l}$	0,547	0,226	0,630	0,116	0,676	0,264
Zn	$\mu\text{g/l}$	4,300	0,708	2,70	0,220	6,06	0,757
As	$\mu\text{g/l}$	0,0436	0,0469	0,0473	0,0421	0,0453	0,0432
Ni	$\mu\text{g/l}$	0,137	0,0934	0,123	0,0580	0,154	0,0917
Cr	$\mu\text{g/l}$	0,0697	0,0556	0,0454	0,0526	0,0644	0,0525
Al	$\mu\text{g/l}$	6,70	8,70	8,68	4,96	7,32	9,10
Mn	$\mu\text{g/l}$	4,69	3,13	3,39	3,23	3,50	3,96
Mg	$\mu\text{g/l}$	1 790	3 400	1 770	2 500	1 870	2 440
Ca	$\mu\text{g/l}$	7 490	14 230	8 260	12 370	8 330	11 970
Na	$\mu\text{g/l}$	2 300	1 110	2 270	861	2 800	838
K	$\mu\text{g/l}$	400	502	336	458	427	469
Cl	$\mu\text{g/l}$	6 070	1 580	4 170	1 020	5 740	1 180
Si	$\mu\text{g/l}$	173	230	185	164	183	158

Også i de fire elvene øst for Ny-Ålesund er det som tidligere vist i Tabell 4.10 målt høyere konsentrasjoner av kvikksølv, bly, kadmium, kobber og sink i prøvene som ble tatt i juli sammenlignet med de fra august. Figur 4.3 viser endringen i kvikksølvkonsentrasjon fra første til andre periode. Figuren viser at kvikksølv sank i tre av de fire elvene, fra 0,00404 $\mu\text{g/l}$ til 0,00148 $\mu\text{g/l}$ i elv 1, fra 0,00366 $\mu\text{g/l}$ til 0,000914 $\mu\text{g/l}$ i elv 2 og fra 0,00423 $\mu\text{g/l}$ til 0,00179 $\mu\text{g/l}$ i elv 3. I elv 4 ser det ut til at kvikksølvkonsentrasjonen økte, fra 0,00117 $\mu\text{g/l}$ til 0,00337

$\mu\text{g/l}$. Kobber skiller seg vesentlig ut fra resten av spormetallene i elvene østover. I første periode er som tidligere beskrevet målt veldig høye verdier av oppløst kobber, mens konsentrasjonene i andre periode er på samme nivå som i Bayelva.



Figur 4.3: Kvikksølvkonsentrasjoner i de 4 elvene østover fra Ny-Ålesund, første og andre prøvetakingsperiode

Resultatene fra Bayelva og elvene østover kan tyde på at smelteperioden er forbundet med høyere konsentrasjoner av disse spormetallene. Som nevnt i teorien har tidlige studier påvist at økningen i vannføring som er et resultat av snøsmeltingen i juni-juli kan bidra til å gi høyere konsentrasjoner av oppløste spormetaller som kvikksølv, kobber, jern, bly og sink i arktiske elver [33, 51, 40]. Snøsmeltingen fører til en økning i vannføring og smeltevannet fra terrestriske vanddammer kan inneholde større mengder sporelementer og DOC. I tillegg vil erosjon i nedbørsfeltet føre til mer sedimentært materiale i elven, noe som vil bidra til å øke konsentrasjonen av metaller [51]. En mulig forklaring på de høye verdiene i første periode kan også være at snøvann som tilføres elvene har kommet via mineraljorden. Som tidligere diskutert ble det funnet høyere verdier av blant annet kobber i mineraljorden på østsiden av Kongsfjorden [21]. Humuslaget er tynt i område rundt Ny-Ålesund. Det er derfor ikke utenkelig at smeltevann har blitt skylt ut i elvene via mineraljorden, noe som følgelig vil kunne føre til høyere metallkonsentrasjoner. Det ble ikke hentet inn data om vannføring i Bayelva i denne oppgaven, men tidligere trender, vist tidligere i Tabell 2.1, øker avrenning fra juni-juli og synker fra jul-august. Dette stemmer også med observasjoner fra feltarbeidet.

Smelteperioden kan være en mulig forklaring på forskjellen i metallkonsentrasjoner mellom først og andre prøvetakingsperiode, men det kan likevel være andre årsaker til at konsentrasjonen ser ut til å synke for disse metallene. I Bayelva er det større variasjon i konsentrasjoner i første periode, med enkeltprøver med høye verdier som drar opp gjennomsnittet. Det ble også tatt flere prøver i første periode enn i andre periode, og det ble tatt prøver fra flere punkter lenger opp i nedbørsfeltet (punkt 5 og 6). Det ble heller ikke tatt prøver mellom første og andre periode, noe som hadde gitt et klarere bilde av trender over tid. Elv 1, 2, 3 og 4 øst for Ny-Ålesund ble bare prøvetatt totalt to ganger hver. Dette må taes i betraktning når man analyserer resultatene. Metallkonsentrasjoner kan variere med naturlige svingninger i elven, og én prøve er derfor ikke nok til å kunne gi tilstrekkelig informasjon om gjennomsnittkonsentrasjoner av elementer. I tillegg er det vanskelig å utelukke kontaminering av prøvene, siden det ikke er noen prøver å sammenligne med.

4.2.2 Hovedioner

Tabell 4.13 viser Ca^{2+} , Mg^{2+} og K^+ øker signifikant fra første til andre periode, mens Na^+ og Cl^- synker (t-test er vist i Vedlegg H). Ca^{2+} og Mg^{2+} øker begge med 90 %, fra henholdsvis 7 490 $\mu\text{g/l}$ til 14 230 $\mu\text{g/l}$ og 1 790 $\mu\text{g/l}$ til 3 400 $\mu\text{g/l}$. K^+ øker med 25 %, fra 400 $\mu\text{g/l}$ i periode 1 til 502 $\mu\text{g/l}$ i periode 2. Samtidig synker Na^+ med 63 %, fra 3 000 $\mu\text{g/l}$ i periode 1 til 1 110 $\mu\text{g/l}$ i periode 2. Cl^- synker med 74 %, fra 6 070 $\mu\text{g/l}$ til 1 580 $\mu\text{g/l}$.

Konsentrasjonen av hovedioner i elvesystemer kan være preget av sesongvariasjoner. I en studie fra 1991 i elven Lena i arktiske Siberia, ble det funnet at Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SiO_2 og SO_4^{2-} hadde en drastisk nedgang i konsentrasjon etter som vannføringen økte fra minimal vannføring i april til maksimal vannføring i juni. Deretter sank konsentrasjonene i takt med vannføringen ([26]). Dette er en annen trend en det som ble observert i Bayelva, men det er også andre faktorer som spiller inn, som geologi og grunnvanntilførsel og værforhold.

Siden kalsium, magnesium og kalium hovedsakelig kommer fra forvitring av bergarter, er det naturlig å tenke at smeltevannet som i elvene i første periode førte til lavere konsentrasjoner. Samtidig, kan klor i snøen som følge av atmosfærisk nedbør føre til høyere konsentrasjoner av dette i første periode.

4.2.3 Parametere

Tabell Tabell 4.14 viser endring i gjennomsnittlig pH, ledningsevne, O₂ og turbiditet i Bayelva fra første til andre periode. Som tabellen viser, øker pH, temperatur, ledningsevne og hardhet noe i alle sammenlignbare punkter, mens O₂ synker. Gjennomsnittlig pH stiger fra 8,3 til 8,8.

Temperaturen i elven stiger fra 0,4 til 3,9 °C. Lufttemperaturen i Ny-Ålesund økte også, fra et gjennomsnitt på 2 °C i juni til 5,4 °C i juli og 4,2 °C i august. Det er derfor naturlig at temperaturen i ellevannet også øker, spesielt siden det heller ikke var noe kalt smeltevann fra snø i andre periode. Økningen i temperatur kan også forklare økningen i oppløste ioner i vannet og derfor også økningen i ledningsevnen, som øker fra 72,5 μS/s i første periode til 105,4 μS/s i andre periode. Hardheten øker fra 1,11 til 2,32 i Bayelva. Siden hardhet hovedsakelig bestemmes av kalsium- og magnesiumkonsentrasjoner, vil en økning i disse ionene også føre til hardere vann.

Tabell 4.14: Gjennomsnittlig pH, temperatur, ledningsevne, O₂, turbiditet og hardhet i Bayelva fra første til andre prøvetakingsperiode.

Parameter	pH		Temperatur (°C)		Ledningsevne (μS/s)		O ₂ (%)		Turbiditet (NTU)		Hardhet (°dH)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Bayelva	8,3	8,8	0,4	3,9	72,5	105,4	110,7	15,5	120,5	122,1	1,111	2,324
0	8,4	9,1	0,5	3,8	72,7	87,9	110,8	13,4	144,3	125,9	1,567	2,313
1	8,4	9,1	0,6	4,4	79,1	86,5	111,1	14,6	144,1	183,3	0,835	0,681
4	8,1	8,4	0,6	7,6	99,0	220,0	107,2	27,5	21,8	2,1	2,347	5,833

4.3 Forskjeller innad og mellom elvene

4.3.1 Bayelva

Innad i Bayelva var det tydelige forskjeller på vannet fra Vestre Brøggerbre og vannet fra Østre Brøggerbre. Vannet fra Vestre Brøggerbre (punkt 5 og 2) var observerbart klarere og inneholdt mindre sediment enn vannet fra Vestre Brøggerbre (punkt 6 og 3). Dette vises i turbiditeten, som var lavere i punkt 5 (94,9 NTU) sammenlignet med punkt 6 hvor gjennomsnittlig turbiditet var 169 NTU og i ICP-MS analysene hvor innhold av jern, aluminium, mangan og sink er lavere i

punkt 5 sammenlignet med punkt 6. Spesielt mangan viser stor forskjell i konsentrasjon, henholdsvis 0,404 $\mu\text{g/l}$ og 8,30 $\mu\text{g/l}$ i punkt 5 og 6. Forskjellene mellom punktene i Bayelva kan forklares ut fra geologien. Punktene som ligger i kanalen fra Austre Brøggerbre ser ut til å ligge på mer rød sandstein enn punktene i kanalen fra Vestre Brøggerbre.

Det var ingen av punktene som skilte seg ut når det kommer til konsentrasjoner av Hg, Pb og Cd. Kvikksølv varierte lite fra punkt til punkt, men høyeste konsentrasjon av Hg ble funnet i punkt 0 (0,0073 $\mu\text{g/l}$). Høyeste konsentrasjon av Pb ble funnet i punkt 3 (0,094 $\mu\text{g/l}$) og høyeste konsentrasjon av Cd var i punkt 1 (2,16 $\mu\text{g/l}$).

Vanntemperaturen i elver som blir tilført vann fra breer og smeltevann er ofte 0 °C øverst ved breen og er forventet å øke nedover elven ettersom vannet varmes. Dette ser også ut til å være tilfellet i Bayelva, spesielt fra punkt 3 og nedover [45]. I første periode var temperaturen 0 °C i punkt 3, og økte til 0,5 i punkt 0. Tidligere studier viser også at vanntemperaturen korrelerer positivt med lufttemperatur [45], og siden lufttemperatur varierte fra dag til dag, kan det ikke utelukkes at dette også er en årsak til endringer i vanntemperatur, siden punkt 3 og 0 ikke ble prøvetatt samme dag.

Også ledningsevnen forventet å øke nedover elven, ettersom vannet drar med seg sedimentært materiale nedover elven. Med unntak av punkt 4, ser dette også ut til å være tilfellet i Bayelva, der gjennomsnittlig ledningsevne øker fra 59 i punkt 3 til 84 i punkt 0.

Punkt 4 i Tvillingvassbekken skilte seg også ut fra resten av Bayelva. Vannet her kommer fra Tvillingvatnet og blir derfor ikke tilført sedimenter fra breene. Vannet var av den grunn også mye klarere og hadde lavest turbiditet av alle punktene (10 NTU). I tillegg inneholder prøvene tatt i dette punktet høyere konsentrasjoner av alle hovedionene (vist tidligere i Tabell 4.12. Det høye innholdet av kalsium og magnesium bidrar til at hardheten og ledningsevnen i dette punktet også er høyere enn i resten av elven. Det er også høyere konsentrasjoner av jern og aluminium i dette punktet.

4.3.2 Londonelva

Det var ingen klare forskjeller mellom punktene i Londonelva, men det var stor forskjell på elven sammenlignet med Bayelva. Londonelva er en mindre elv enn Bayelva og avrenning skyldes hovedsakelig smelting av snø og det er ingen isbreer som tilfører vann til elven. Derfor er det også betydelig mindre mengder sediment i Londonelva sammenlignet med Bayelva. Dette kan sees på turbiditeten som

er veldig lav i (1,2 NTU). Ledningsevnen og hardhet er høyere i Londonelva (henholdsvis 260 μ g/l og 7,33 °dH), noe som gir mening ut fra konsentrasjonen av Ca, Mg og Si som er vesentlig høyere sammenlignet med Bayelva. Londonelva har generelt lavere nivåer av Pb, Cd, Fe, Cu, Zn, As, Ni, Cr og Al (vist tidligere i Tabell 4.9).

4.4 Korrelasjoner

Korrelasjoner ble beregnet som tidligere beskrevet i teorien. I Bayelva (kombinert første og andre periode) er det sterkt positiv korrelasjon mellom aluminium og jern ($r = 0,732$). Det var også en noe svakere positiv korrelasjon mellom bly, sink, kobber og tinn ($r > 0,6$), og mellom nikkel og kobber ($r = 0,713$). Det var ingen korrelasjon mellom DOC og Hg, Pb, Cu, Zn eller Al, og heller ingen korrelasjon mellom hardhet og metaller. Tabell Tabell 4.15 viser de tydeligste korrelasjonene mellom metaller i Bayelva, 1. og 2. periode sammenlagt.

Tabell 4.15: Korrelasjoner mellom metaller i Bayelva

	Pb	Zn	Cu	Sn	Ni	Al	Fe
Pb	1						
Zn	0,679	1					
Cu	0,588	0,600	1				
Sn	0,646	0,700	0,750	1			
Ni	0,492	0,564	0,713	0,588	1		
Al	0,291	0,288	0,365	0,420	0,335	1	
Fe	0,136	0,121	0,295	0,225	0,334	0,732	1

I første feltperiode er det en god positiv korrelasjon mellom Al, Zn, og Sb ($r > 0,7$). Det er også en god positiv korrelasjon mellom Al og Cu ($r = 0,745$). Sn korrelerer positivt med både Al, Cu og Zn ($r > 0,7$). Korrelasjonen mellom Al og Fe er svak i første feltperiode ($r = 0,476$). I andre periode er det derimot en sterk positiv korrelasjon mellom Al og Fe ($r = 0,903$). Det er også en korrelasjon mellom Al, Fe og Pb, samt mellom Sn, Ni, Cu og Zn. Oversikt over de tydeligste korrela-

sjonene i første og andre feltperiode er vist i Tabell 4.16 og Tabell 4.17, mens korrelasjonsplot er vist i Vedlegg E.

Tabell 4.16: Korrelasjoner mellom metaller i Bayelva første periode

	Al	Fe	Pb	Cu	Zn	Sb	Sn
Al	1						
Fe	0,476	1					
Pb	0,543	0,05197	1				
Cu	0,745	0,365	0,560	1			
Zn	0,693	0,219	0,657	0,569	1		
Sb	0,721	0,260	0,446	0,560	0,743	1	
Sn	0,756	0,323	0,596	0,749	0,702	0,601	1

Tabell 4.17: Korrelasjoner mellom metaller i Bayelva andre periode.

	Al	Fe	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr	Sn
Al	1							
Fe	0,903	1						
Pb	0,687	0,678	1					
Cu	0,570	0,421	0,871	1				
Zn	0,486	0,376	0,835	0,954	1			
Ni	0,550	0,585	0,888	0,8503	0,859	1		
Cr	0,711	0,527	0,494	0,561	0,535	0,508	1	
Sn	0,492	0,313	0,740	0,873	0,856	0,688	0,562	1

Korrelasjoner mellom metaller kan tyde på at metallene har felles kilde eller liknende geokjemiske egenskaper og transportmekanismer [50]. Kobber, bly og sink er alle tungmetaller som kan finnes i mineraler som skifer [4], en bergart som

som finnes i nedbørsfeltet og som lett forvitres. Dette er en mulig felles kilde til disse metallene, men det er ikke tilstrekkelig informasjon til å kunne anta dette. Kobber, bly og sink har alle liknende geokjemiske egenskaper, ved at de alle kan forekomme som divalente ioner eller hydroksider som kan reagere med DOC og danne metallorganiske komplekser [50]. Dette kan også være en mulig forklaring til korrelasjonen.

Aluminium og jern er utbredte metall i berggrunnen. Korrelasjonen mellom aluminium og jern er forventet, siden disse vanligvis korrelerer positivt med hverandre i tillegg til å korrelere inverst med pH i vann [22].

Det var ingen korrelasjon mellom DOC og oppløste metaller. Det ser dermed ikke ut til at DOC spiller en vesentlig rolle i mobilisering av disse elementene.

4.5 DOC og SUVA

Tabell 4.18 viser gjennomsnittsverdier for UVA_{254} , DOC og SUVA i Bayelva første periode. Gjennomsnittlig DOC-konsentrasjon i Bayelva var 1,75 ppmC og gjennomsnittlig $SUVA_{254}$ var 0,940. Resultatene avviker noe fra verdier som ble målt i Bayelva i 2011, da gjennomsnittlig DOC og $SUVA_{254}$ var henholdsvis 0,346 ppm og 7,9 [49]. Prøvene som ble tatt i andre periode av feltarbeidet ble ikke analysert med UVA_{254} , men gjennomsnittlig DOC-konsentrasjon fra denne perioden var 4,54 ppmC, en økning på 159 %. Tabell 4.19 viser DOC-konsentrasjon for de fire elvene på østsiden av Kongsfjorden i første og andre periode. Tabellen mangler UVA_{254} og SUVA for andre periode, men i første periode ligger UVA_{254} , SUVA og DOC i samme område som i Bayelva. I andre periode øker DOC, slik som i Bayelva.

Som nevnt i teorien korrelerer DOC-konsentrasjoner som regel sterkt positivt med vannføring som følge av avrenning fra overflatejord og tining av permafrost [51]. Selv om vannføring ikke ble målt i denne oppgaven, var det observerbart mindre vann i alle elvene i andre periode. DOC følger altså ikke samme trend som forventet. En mulig forklaring på de lave DOC-konsentrasjonene i første periode kan være at det skyldes en fortynningseffekt i elvevannet som følge av snøsmeltingen. SUVA-verdiene er som følge av de høye DOC-verdiene også lave. Som nevnt i teorien indikerer $SUVA$ -verdier ≤ 3 på ikke-humiske og hydrofile forbindelser.

DOC-verdiene er som sagt høyere enn tidligere målte verdier. DOC-prøvene ble ikke analysert før i slutten av november 2014 på grunn av komplikasjoner med instrumentet som ble brukt, og det er i tillegg usikkert om instrumentet var i

orden under analysen. Dersom det er feil i DOC-verdiene, vil dette videreføres i SUVA-verdiene, som også er lave sammenlignet med tidligere år.

Tabell 4.18: Gjennomsnittsverdier og standardavvik for UVA_{254} , DOC og SUVA i Bayelva første periode

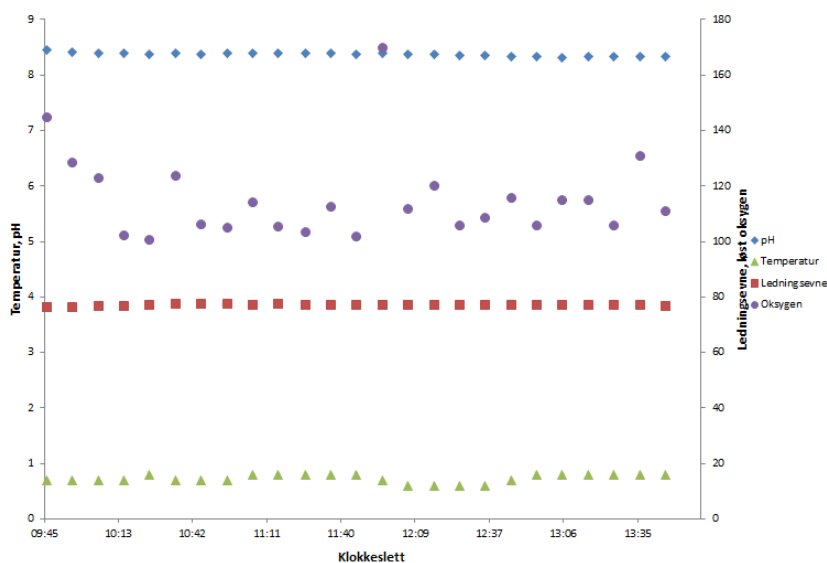
Punkt	Antall prøver	UVA_{254}		DOC (ppmC)		SUVA	
		Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
0	1	0,010	-	2,036	-	0,490	-
1	17	0,019	0,019	1,705	0,841	1,140	1,486
3	5	0,008	0,001	1,751	0,506	0,460	0,446
4	1	0,014	-	2,082	-	0,670	-
Bayelva totalt	24	0,016	0,016	1,750	0,725	0,940	1,188

Tabell 4.19: UVA_{254} , DOC og SUVA-verdier for de fire elvene øst for Ny-Ålesund (første periode) og DOC-konsentrasjon for andre periode.

Dato	Prøvepunkt	UVA_{254}	DOC (ppmC)	SUVA
04.07.2014	Elv 1	0,008	1,75	0,458
04.07.2014	Elv 2	0,006	1,86	0,323
04.07.2014	Elv 3	0,006	1,44	0,416
04.07.2014	Elv 4	0,01	2,22	0,451
14.08.2014	Elv 1	-	7,27	-
14.08.2014	Elv 2	-	4,44	-
14.08.2014	Elv 3	-	4,12	-
14.07.2014	Elv 4	-	4,73	-

4.6 Dagsvariasjoner

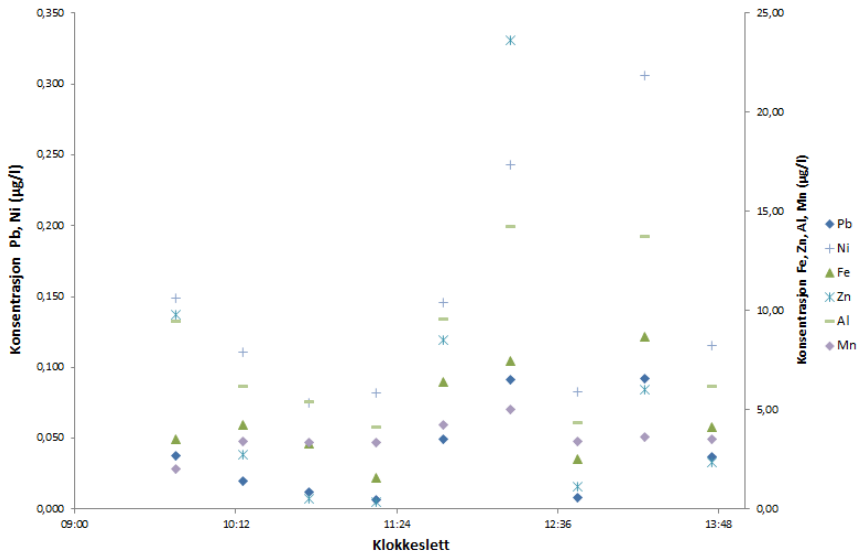
Som nevnt i teorien, kan metallkonsentrasjoner og parametere som pH, løst oksygen og vanntemperatur variere i løper av et døgn som følge av fotosyntese, respirasjon og værforhold. I denne oppgaven ble det ikke gjort kontinuerlige målinger for å se på døgnvariasjoner i parametere og metallkonsentrasjon. Det ble gjort kontinuerlige målinger hvert tiende minutt av pH, temperatur, ledningsevne og O_2 på dagtid og vannprøver ble tatt hver halvtime i opp til 5 timer i strekk i punktene 1 og 3. Figur 4.4 og Figur 4.5 viser hvordan ledningsevne, temperatur, pH og O_2 , samt hvordan konsentrasjonen av Pb, Ni, Fe, Zn, Al og Mn varierer fra klokken 09:45 til 13:45 i Bayelva, punkt 3 den 02.07.2014.



Figur 4.4: Dagsvariasjon av ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$), løst oksygen (%), temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og pH i Bayelva 02.07.2014.

Som Figur 4.4 viser, er det liten variasjon i pH, ledningsevne og temperatur i løpet av tiden denne dagen. O_2 % varierer derimot noe fra måling til måling, men det er ingen lineær trend å observere. Figur 4.5 viser at metallkonsentrasjonene varierer i takt med hverandre, men uten korrelasjon med parameterne. Som nevnt i teorien kan variasjoner i pH, temperatur og solstråling utover dagen

føre til redoksreaksjoner og utfellinger av metaller [48]. Siden pH og temperatur er relativt stabile under hele prøvetaking, ser det ikke ut til at variasjon i metallkonsentrasjon skyldes dette. Heller ikke sollys ser ut til å være en forklarende faktor siden det generelt var få dager med sol i løpet av feltperioden. Uten data for vannføring er det ikke mulig å si om vannføring har en betydning for variasjonen i metallkonsentrasjon.



Figur 4.5: Dagsvariasjon av Pb, Ni, Fe, Zn, Al og Mn i Bayelva 02.07.2104.

Kapittel 5

Konklusjon

I denne oppgaven har det blitt lagt fram resultater fra vannprøver tatt sommeren 2014 i Bayelva, Londonelva og fire andre elver på Svalbard, som all har utløp i Kongsfjorden. Resultatene viser at konsentrasjonen av oppløste sporelementer er relativt lave i alle elvene og at de fleste metallene ligger under grenseverdier satt for spormetaller i vann. Innhold av oppløste elementer er i omtrent samme konsentrasjonsområde som funnet i tidligere studier.

Resultatene viser generelt lave konsentrasjoner av oppløste spormetaller i alle elvene og spormetallene er i samme konsentrasjonsområde som i tidligere studier. Det ble målt signifikant høyere verdier av kvikksølv, bly, kobber, kadmium, sink og nikkel i prøvene tatt i første periode. Denne trenden ble observert i alle elvene og kan knyttes til snøsmeltingen på våren. Blant annet hadde kvikksølv hadde en gjennomsnittkonsentrasjon på $0,00405 \mu\text{g/l}$ i første periode og $0,00250 \mu\text{g/l}$ i andre periode. Dette tilsvarer en nedgang på 38,3 %. Det er mulig at AMD episoder på våren fører til avsetning av Hg på snøen og at dette bidrar til konsentrasjonene i første periode. Smeltevann i nedbørsfeltet vil også kunne transportere med seg metaller fra mineraljord og jordvann, som igjen vil føre til høyere konsentrasjoner av metaller i vannfasen. I elvene fra Lovénbreene, Pedersenbreen og Botnfjellbreen ble det målt spesielt høye verdier av kobber i første periode. Dette kan knyttes til geologien i område.

Oppløst organisk karbon (DOC) viser motsatt trend enn den observert for spormetaller. Det ble funnet lave konsentrasjoner av DOC i første periode, men konsentrasjonene øker betraktelig i andre periode. Det er mulig at de lave DOC-

verdiene i første periode skyldes at smeltevannet som tilføres elven i denne perioden fører til en fortynningseffekt. Generelt er innhold av oppløst organisk materiale høyere enn verdier funnet i tidligere studier.

I Bayelva ble det funnet en rekke signifikant positive korrelasjoner mellom spormetaller, blant annet mellom aluminium og jer, kobber, sink, bly og tinn, og mellom nikkel og kobber. Korrelasjoner mellom metaller er en indikasjon på felles kilde, liknende egeokjemiske egenskaper eller transportmekanismer. Ingen korrelasjon ble funnet mellom DOC og spormetaller og heller ingen korrelasjon ble funnet mellom parametere og spormetaller eller DOC.

Det ble observert dagsvariasjoner i konsentrasjoner av oppløste spormetaller, men uten korrelasjon med ledningsevne, løst oksygen, pH eller temperatur. Ledningsevne, temperatur og pH holt seg relativt stabile gjennom dagen.

Videre Arbeid

I videre arbeid kan det være interessant å undersøke sammenhengen mellom vannføring i Bayelva og innhold av oppløste sporelementer og DOC. Det kan også være interessant å utføre prøvetaking over en lengre periode for å få en bedre forståelse av hvordan smelteperioden påvirker vannkjemien i elvene, samt å utføre systematisk prøvetaking over ett døgn for å kunne tydeligere undersøke døgnvariasjoner i parametere og konsentrasjon av oppløse elementer.

Bibliografi

- [1] Vannundersøkelse : Bestemmelse av turbiditet (ISO 7027:199), 1999.
- [2] Vannundersøkelse - prøvetaking del 6: Veiledning i prøvetaking fra elver og bekker, 2006.
- [3] H. Allen. The significance of trace metal speciation for water, sediment and soil quality criteria and standards. *Science of the total environment*, (1988):23-45, 1993.
- [4] Brian Alloway, J. and Jack Trevors, T., editors. *Heavy Metals in Soils - Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Brian2013, 3 edition, 2013.
- [5] AMAP. Arctic Monitoring and Assessment Programme.
- [6] AMAP. Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report. Technical report, Arctic monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, 1997.
- [7] AMAP. AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Technical report, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 1998.
- [8] AMAP. Arctic Pollution 2002: Persistent Organic Pollutants, Heavy Metals, Radioactivity, Human Health, Changing Pathways. Technical report, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2002.
- [9] AMAP. AMAP Assessment 2002 : Heavy Metals in the Arctic. Technical report, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, 2005.

- [10] AMAP. AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Technical report, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2011.
- [11] Jon Roar Andersen, Jon Lasse Bratli, Eirik Fjeld, Magne Grande, Lars Hem, Hans Holtan, Truls Krogh, Vidar Lund, and Dag Rosland. Veiledning 97:04. Technical report, Statens forurensningstilsyn, 1997.
- [12] L. A. Barrie, D. Gregor, B. Hargrave, R. Lake, D. Muir, R. Shearer, B. Tracey, and T. Bidleman. Arctic contaminants: sources, occurrence and pathways. *The Science of the total environment*, 122(1-2):1–74, July 1992.
- [13] D. Barthelmy. Mineralogy Database.
- [14] Torunn Berg, Eirik Fjeld, and Eiliv Steinnes. Atmospheric mercury in Norway: contributions from different sources. *Science of the total environment*, 368(1):3–9, September 2006.
- [15] Torunn Berg, Siri Sekkesaeter, Eiliv Steinnes, Anne Kari Valdal, and Grethe Wibetoe. Springtime depletion of mercury in the European Arctic as observed at Svalbard. *The Science of the total environment*, 304(1-3):43–51, March 2003.
- [16] J. Bogen and T. Bø nsnes. Erosion and sediment transport in High Arctic rivers, Svalbard. *Polar Research*, 22(2):175–189, 2003.
- [17] L. Boszke, G. Glosinska, and J. Siepak. Some Aspects of Speciation of Mercury in a Water Environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4):285–298, 2002.
- [18] J Brittain and A. Milner. Ecology of glacier-fed rivers: current status and concepts. *Freshwater Biology*, 46(12):1571–1578, 2001.
- [19] D. Chapman. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota , Sediments and Water in Environmental Monitoring*. E&FN Spon, 2 edition, 1996.
- [20] Min-Han Dai and Jean-Marie Martin. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-estuarine systems (Ob and Yenisey) and in the adjacent Kara Sea, Russia. *Earth and Planetary Science Letters*, 131(3-4):127–141, April 1995.
- [21] Marit Damhaug. Studie av kvikksølv, svovel og naturlig organisk materiale i jord i Ny-Ålesund, Svalbard. Technical report, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, 2014.

-
- [22] W. DeVos and T. Tarvainen. Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figure, Maps, and Related publications. In *Geochemical Atlas of Europe*. EuroGeoSurveys, 2006.
- [23] S. Elvevold, W. Dallmann, and D. Blomeier. *Svalbards geologi*. Norsk Polarinstitutt, 2007.
- [24] C. Ferrari, P. Gauchard, K. Aspino, A. Dommergue, O. Magand, E. Bahlmann, S. Nagorski, C. Temme, R. Ebinghaus, and A. Steffen. Snow-to-air exchanges of mercury in an Arctic seasonal snow pack in Ny-Ålesund, Svalbard. *Atmospheric Environment*, 39(39):7633–7645, December 2005.
- [25] T. Florence. The speciation of trace elements in waters. *Talanta*, 29(5):345–364, May 1982.
- [26] V. Gordeev and I. Sidorov. Concentrations of major elements and their outflow into the Laptev Sea by the Lena River. *Marine Chemistry*, (43):33–45, 1993.
- [27] Claire Griffin, Karen Frey, John Rogan, and Robert Holmes. Spatial and interannual variability of dissolved organic matter in the Kolyma River, East Siberia, observed using satellite imagery. *Journal of Geophysical Research*, 116(G3):G03018, August 2011.
- [28] S. Haldorsen and M. Heim. An Arctic Groundwater System and its Dependence upon Climatic Change: An Example from Svarbard. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10:137–149, 1999.
- [29] Morten Helbæk and Signe Kjelstrup. *Fysikalsk kjemi*. Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke, Bergen, 2 edition, 1999.
- [30] B. Hibbert and J. Gooding. *Data Analysis for Chemistry: an introductory guide for students and laboratory scientists*. Oxford University Press, New York, 2006.
- [31] M. Hiraide, M. Ishii, and A. Mizuike. Speciation of iron in river water. *Analytical sciences*, 4(December):605–609, 1988.
- [32] Andy Hodson, Martyn Tranter, Angela Gurnell, Mike Clark, and Jon Ove Hagen. The hydrochemistry of Bayelva, a high Arctic proglacial stream in Svalbard. *Journal of Hydrology*, 257(1-4):91–114, February 2002.
- [33] J. Holeman, M. Schirmacher, and A. Prange. Seasonal variability of trace metals in the Lena River and the southeastern Laptev Sea: Impact of the spring freshet. *global and Planetary Change*, 48:112–125, 2005.

- [34] C. Klaassen. *Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons*, volume 12. McGraw-Hill Education, 8 edition, 2008.
- [35] W. Kordel, M. Dassenakis, J. Lintelmann, and S. Padberg. The importance of natural organic material for environmental processes in waters and soils (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 69(7):1571–1600, January 1997.
- [36] A. Kot and J. Namiesnik. The role of speciation in analytical chemistry. *TrAc Trends in Analytical Chemistry*, 19(2-3):69–79, 2000.
- [37] Wieslawa Ewa Krawczyk, Bernard Lefauconnier, and Lars-Evan Pettersson. Chemical denudation rates in the Bayelva Catchment, Svalbard, in the Fall of 2000. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(28-32):1257–1271, January 2003.
- [38] Wieslawa Ewa Krawczyk and Lars-Evan Pettersson. Chemical denudation rates and carbon dioxide drawdown in an ice-free polar karst catchment: Londoneiva, Svalbard. *Permafrost and Periglacial Processes*, 18(4):337–350, October 2007.
- [39] K. Kullereud. Bergarter, 2003.
- [40] Daniel Leitch, Jesse Carrie, David Lean, Robie Macdonald, Gary Stern, and Feiyue Wang. The delivery of mercury to the Beaufort Sea of the Arctic Ocean by the Mackenzie River. *The Science of the total environment*, 373(1):178–95, February 2007.
- [41] Steve Lindberg, Steve Brooks, C. Lin, Karen Scott, Matthew Landis, Robert Stevens, Mike Goodsite, and Andreas Richter. Dynamic Oxidation of Gaseous Mercury in the Arctic Troposphere at Polar Sunrise. *Environmental Science & Technology*, 36(6):1245–1256, March 2002.
- [42] Jorge Marcovecchio, Sandra Botte, and Ruben Freije. Heavy Metals, Major Metals, Trace Elements. In Leo M. L. Nollet, editor, *Handbook of Water Analysis*, chapter 11, pages 278–293. CRC Press, 3 edition, 2007.
- [43] J. Martin, D. Guan, F. Elbaz-Poulichet, A. Thomas, and V. Gordeev. Preliminary assessment of the distributions of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in a pristine aquatic environment: The Lena River estuary (Russia). *Marine Chemistry*, 43(1-4):185–199, July 1993.
- [44] M. Meybeck. Chemical Characteristics of Rivers. Technical report, University of Paris VI, Paris, Francy, 2005.
- [45] R. Moore, S. Fleming, B. Menounos, R. Wheate, A. Fountain, K. Stahl, K. Holm, and M. Jakob. Glacier change in western North America: influences

-
- on hydrology, geomorphic hazards and water quality. *Hydrological Processes*, 23(1):42–61, January 2009.
- [46] R D Dan Moore, G Richards, and A Story. Electrical Conductivity as an Indicator of Water Chemistry and Hydrologic Process. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 11(2):25–29, 2008.
- [47] Munro Mortimer, Jochen Muller, and Matthias Liess. Sampling Methods in Surface Waters. In Leo M. L. Nollet, editor, *Handbook of Water Analysis*, chapter 1, pages 2–42. CRC Press, 3 edition, 2007.
- [48] David Nimick, Christopher Gammons, Thomas Cleasby, James Madison, Don Skaar, and Christine Brick. Diel cycles in dissolved metal concentrations in streams: Occurrence and possible causes. *Water Resources Research*, 39(9):n/a–n/a, September 2003.
- [49] Mats Nordum. Metaller og naturlig organisk materiale i arktiske elver på Svalbard. Technical report, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, 2012.
- [50] John Peckenham, Steven Kahl, and Barry Mower. Background Mercury Concentrations in River Water in Maine, U.S.A. *Environmental Monitoring and Assessment*, 89(2):129–152, December 2003.
- [51] Robert Rember and John Trefry. Increased concentrations of dissolved trace metals and organic carbon during snowmelt in rivers of the Alaskan Arctic. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(3):477–489, 2004.
- [52] M. Sadar. Turbidity science. *Technical Information Series*, (11), 1998.
- [53] W. Schroeder and J. Munthe. Atmospheric mercury - An overview. *Atmospheric Environment*, 32(5):809–822, March 1998.
- [54] D. Skoog, D. West, J. Holler, and S. Crouch. *Fundamentals of Analytical Chemistry*, volume 398. 2004.
- [55] A. Steffen, T. Douglas, M. Amyot, P. Ariya, K. Aspö, T. Berg, J. Bottenheim, S. Brooks, F. Cobbett, A. Dastoor, A. Dommergue, R. Ebinghaus, C. Ferrari, K. Gardfeldt, M. E. Goodsite, and D. Lean. A synthesis of atmospheric mercury depletion event chemistry in the atmosphere and snow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(6):1445–1482, 2008.
- [56] Store Norske Leksikon. Tungmetaller - Store norske leksikon, 2009.
- [57] Werner (Ed.) Stumm and James J (ed.) Morgan. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, volume Third. John Wiley & Sons Ltd, 3 edition, 1993.

- [58] Monica Sund. Polar hydrology. Technical report, Noregian water Resources and Energy Directorate, 2008.
- [59] J. Swietlik and E. Sikorska. Characterization of Natural Organic Matter Fractions by High Pressure Size-Exclusion Chromatography, Specific UV Absorbance and Total Luminescence Spectroscopy. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(1):145–153, 2005.
- [60] K. Tockner, U. Uehlinger, and C. Robinson. Arctic Rivers. In *Rivers of Europe*, pages 337–380. 2009.
- [61] D. Turner. Speciation and Cycling of Arsenic , Cadmium , Lead and Mercury in Natural Waters. In *Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*. John Wiley & Sons Ltd, 1987.
- [62] United States Environmental Agency. 5.9 Conductivity.
- [63] United States Geological Survey. Understanding turbidity, 2013.
- [64] R. Wolf. What is ICP-MS? \dots and more importantly, what can it do?, 2005.

Vedlegg A

Bilder av Bayelva



Figur A.1: Bilde av av Bayelva (foto:Marit Damhaug).



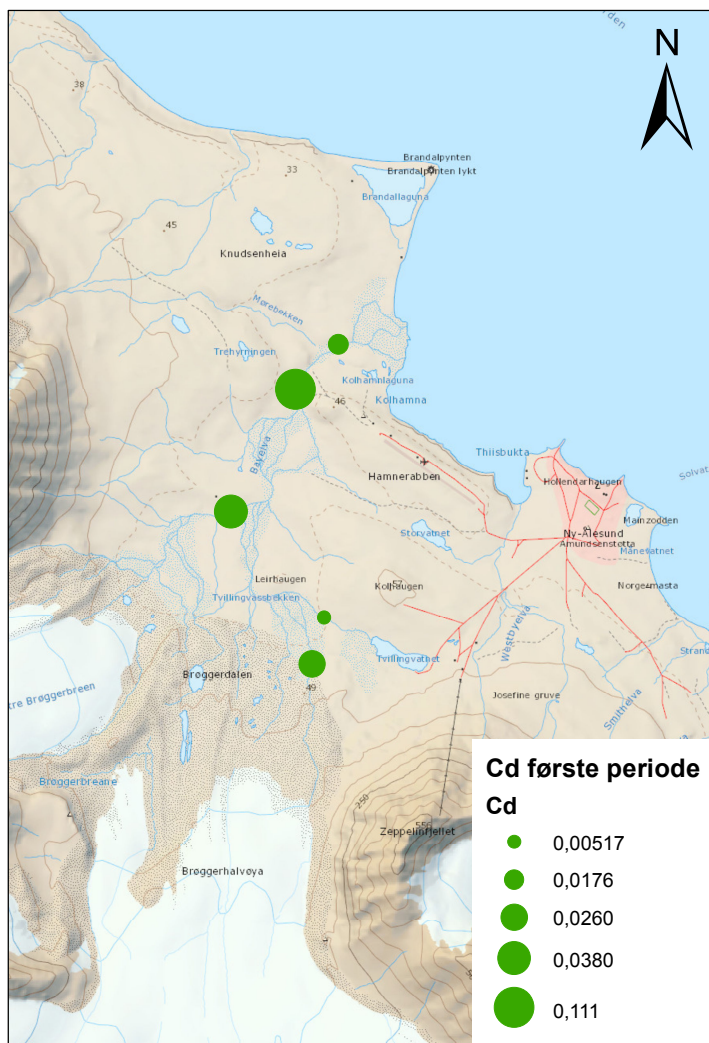
Figur A.2: Bilde av prøvepunkt 1 i Bayelva (Foto:Øyvind Mikkelsen).



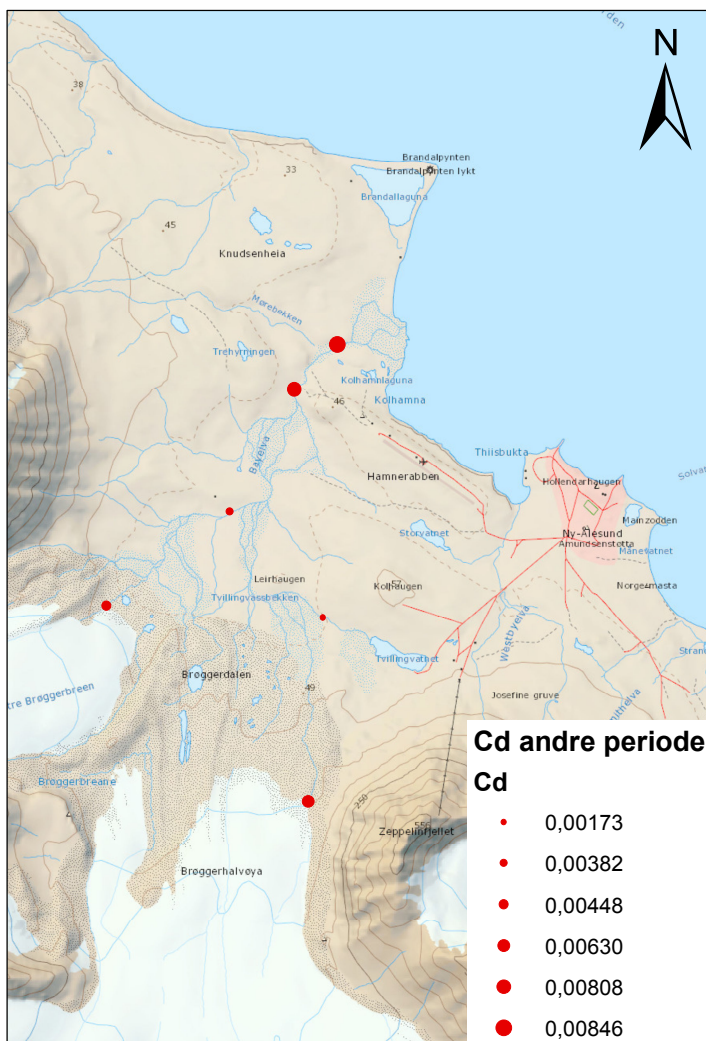
Figur A.3: Bilde av prøvepunkt 6 i Bayelva (Foto:Øyvind Mikkelsen).

Vedlegg B

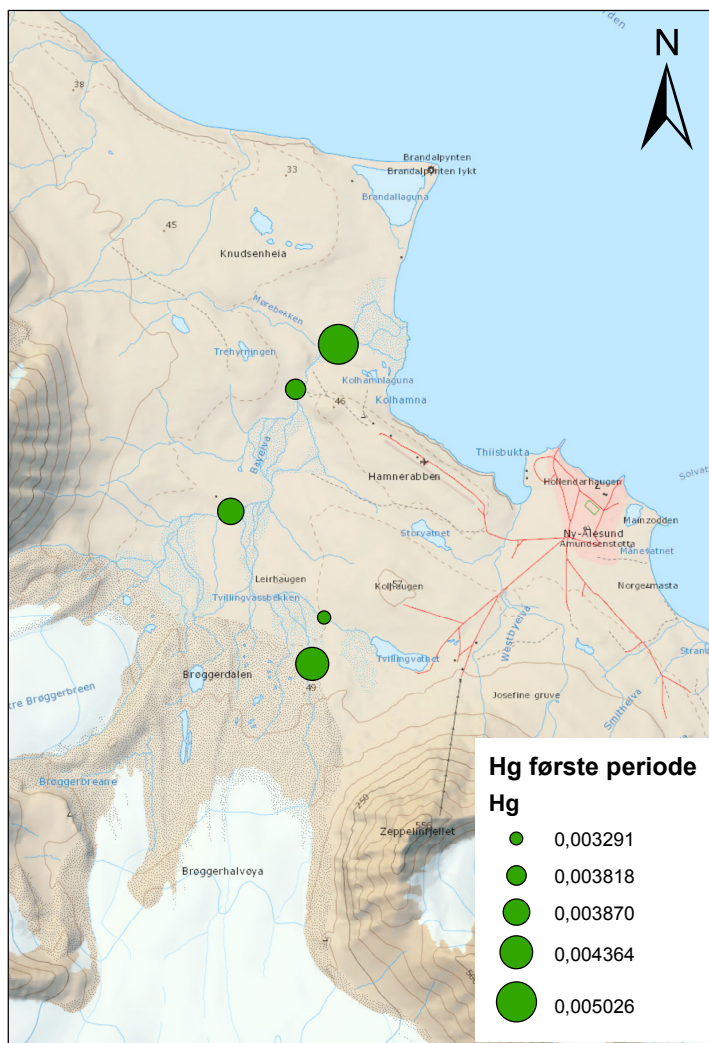
Kartdatablad - Bayelva



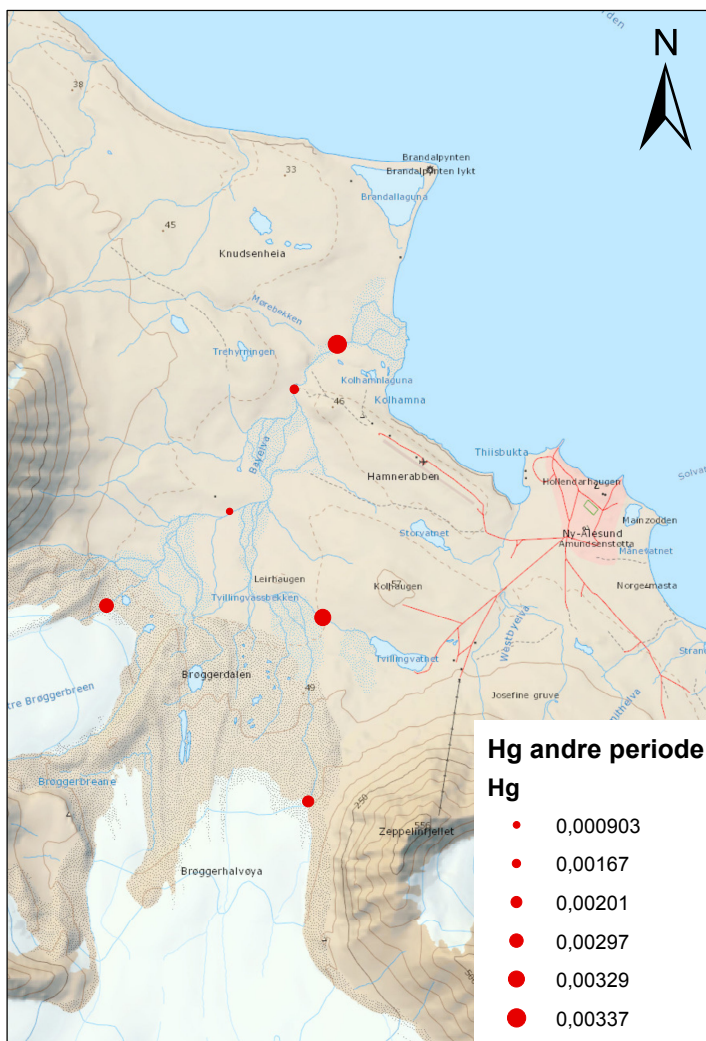
Figur B.1: Gjennomsnittskonsentrasjon av kadmium ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



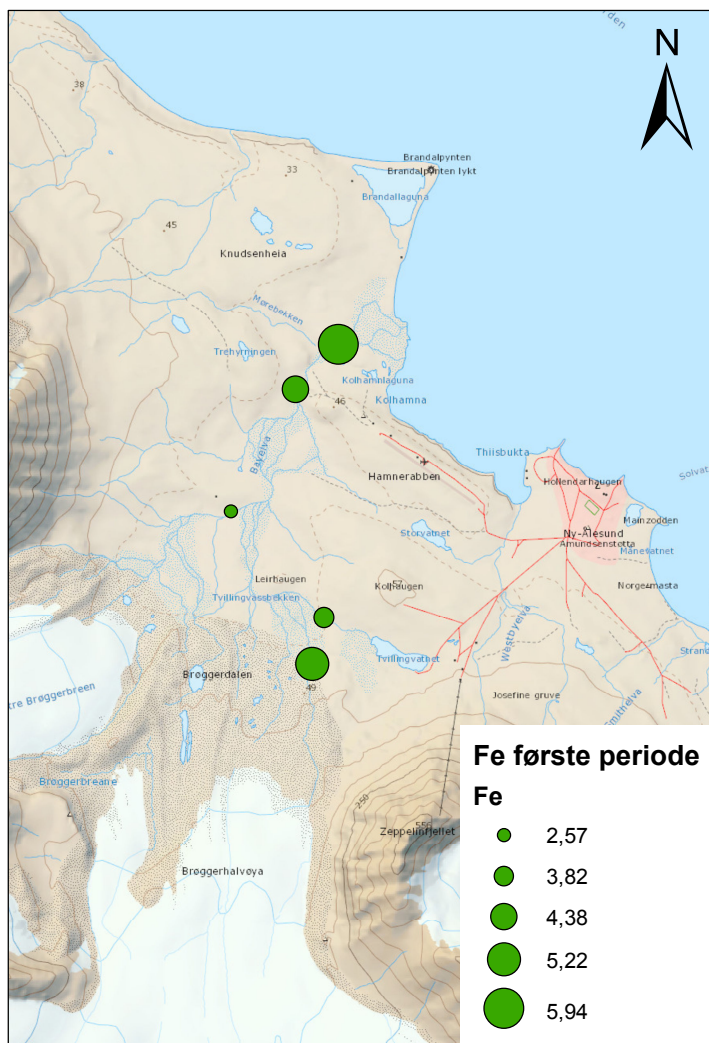
Figur B.2: Gjennomsnittskonsentrasjon av kadmium ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



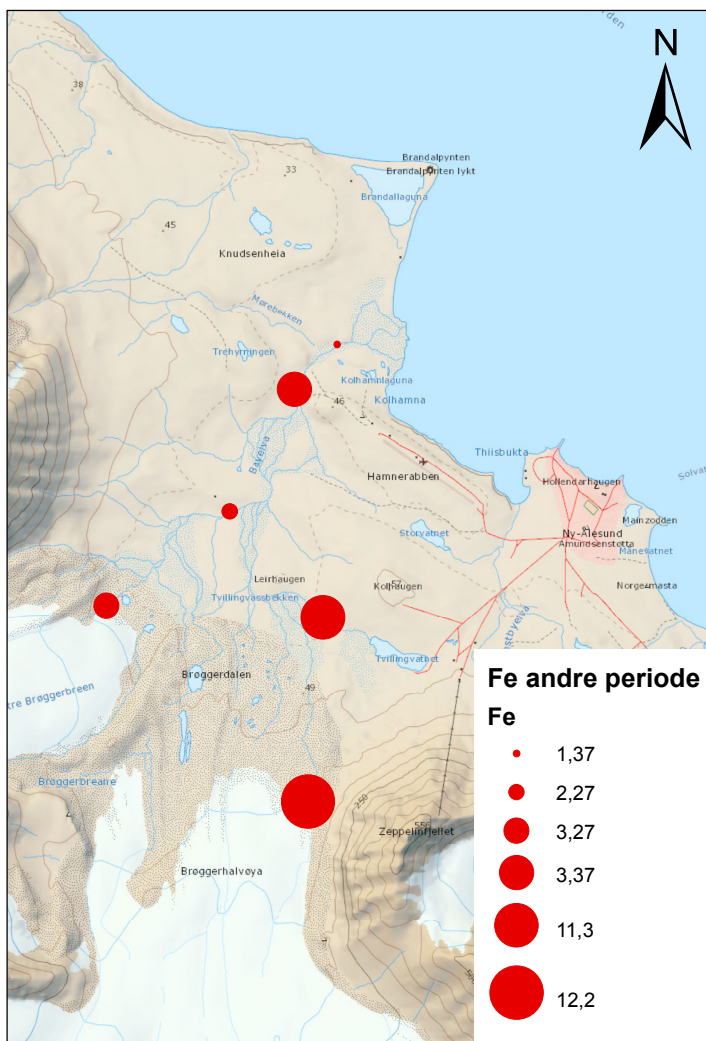
Figur B.3: Gjennomsnittskonsentrasjon av kvikksølv ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



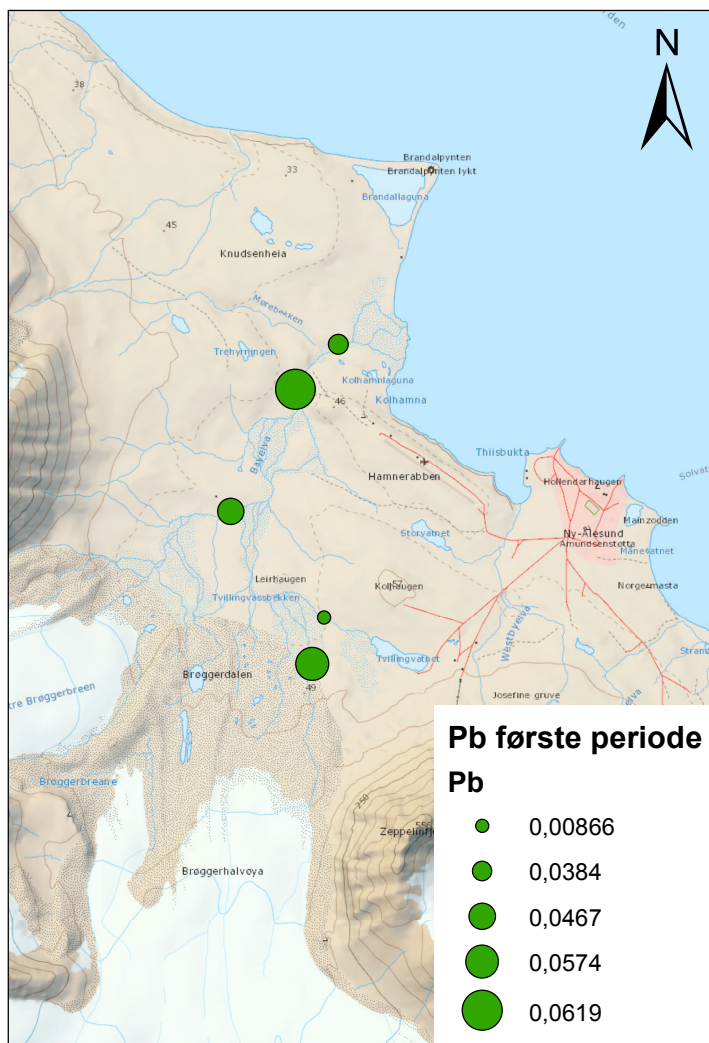
Figur B.4: Gjennomsnittskonsentrasjon av kvikksølv ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



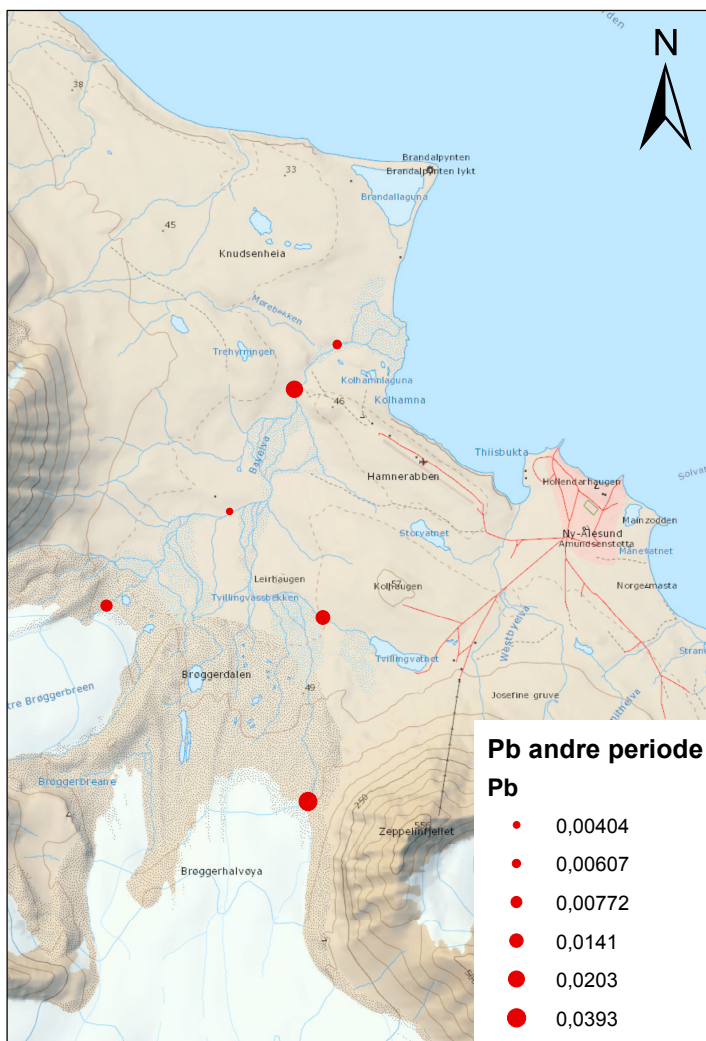
Figur B.5: Gjennomsnittskonsentrasjon av jern ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



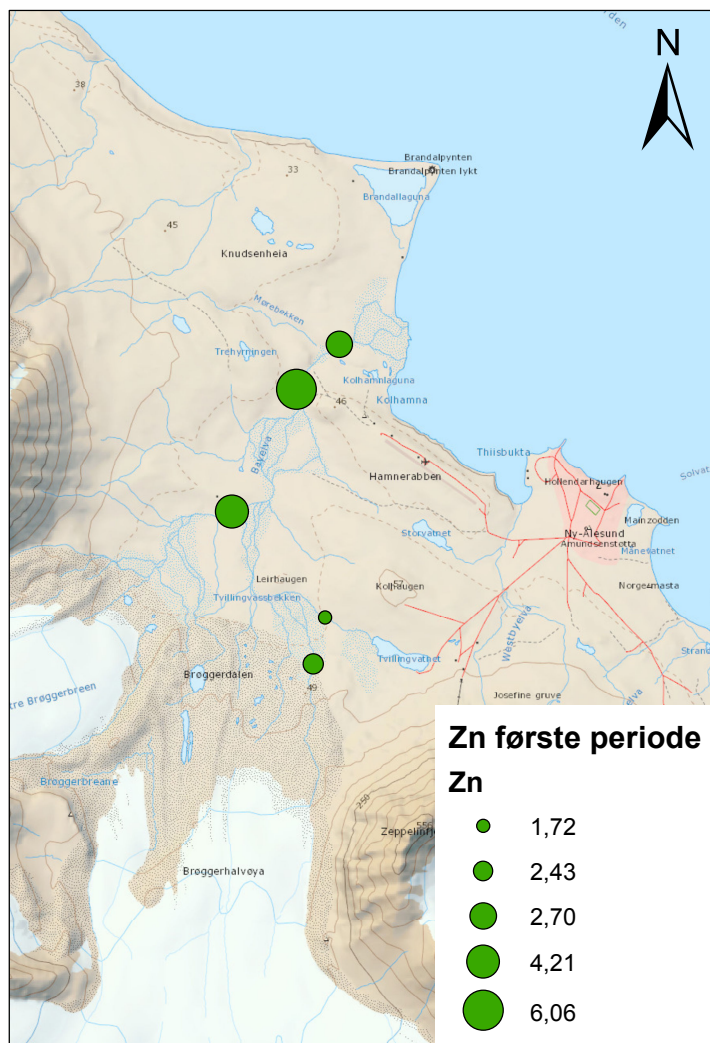
Figur B.6: Gjennomsnittskonsentrasjon av jern ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



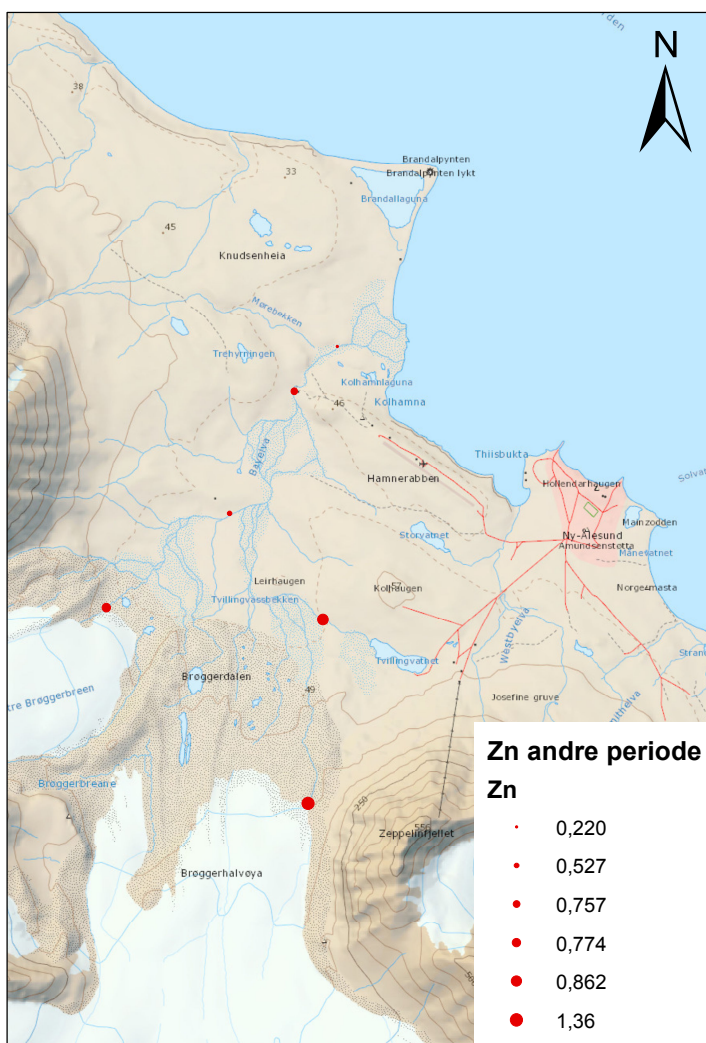
Figur B.7: Gjennomsnittskonsentrasjon av bly ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



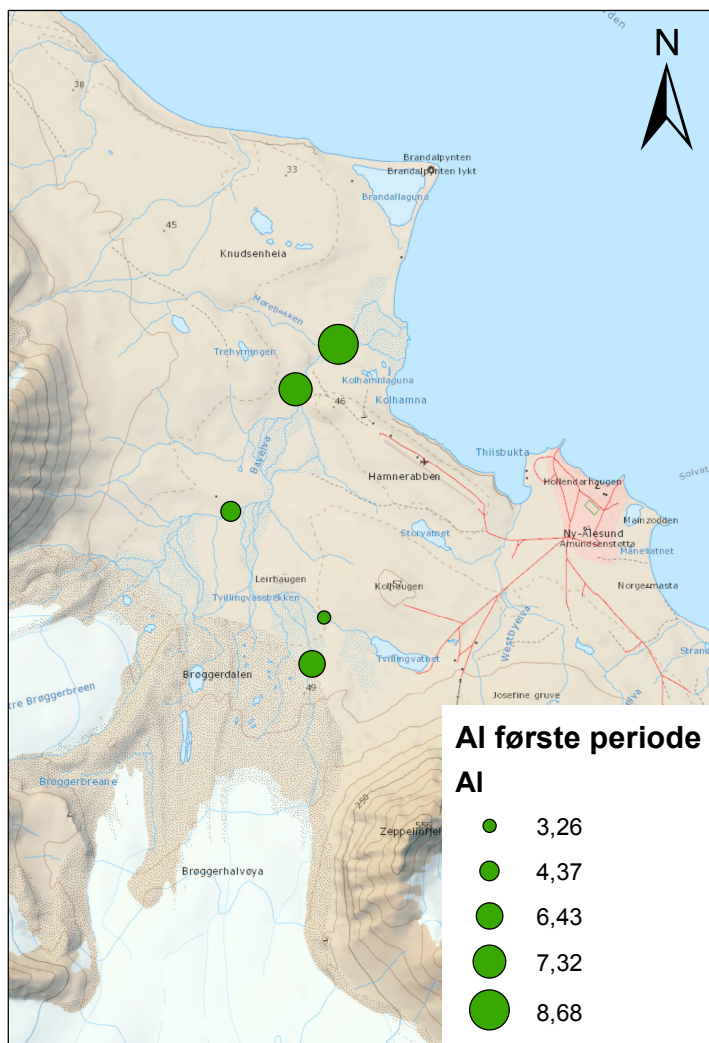
Figur B.8: Gjennomsnittskonsentrasjon av bly ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



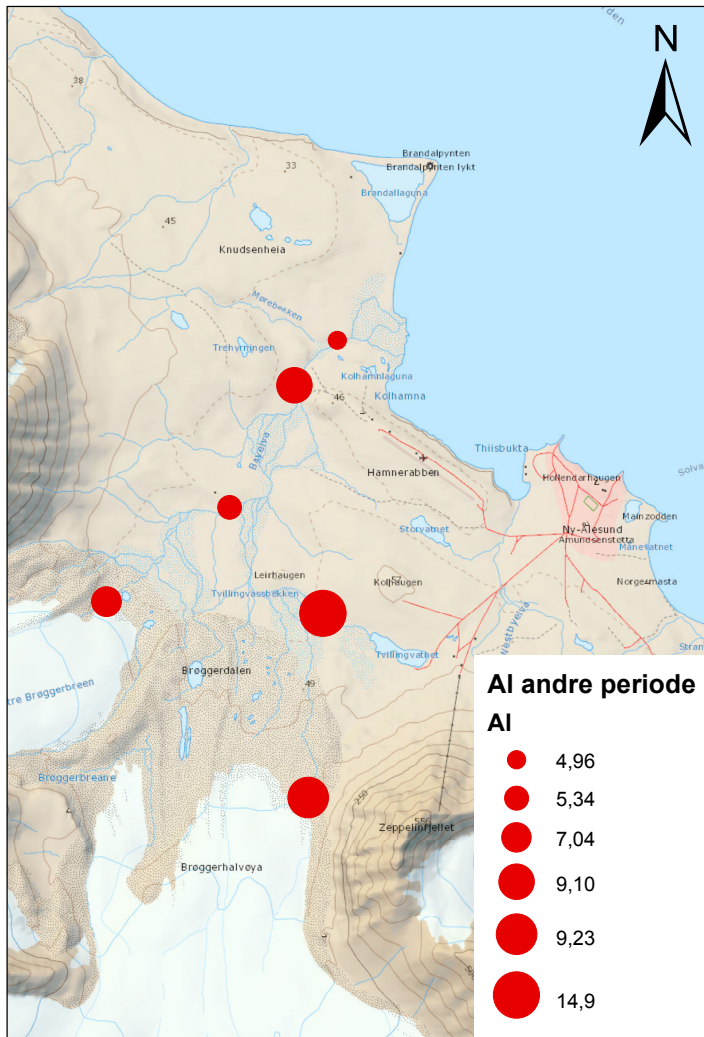
Figur B.9: Gjennomsnittskonsentrasjon av sink ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



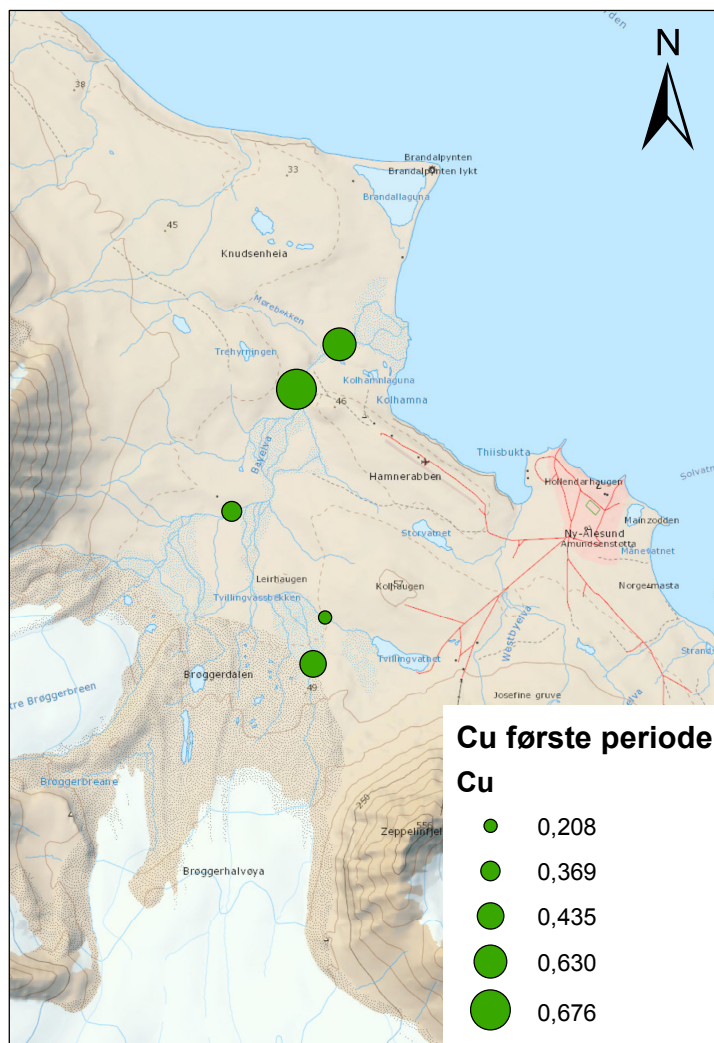
Figur B.10: Gjennomsnittskonsentrasjon av sink ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



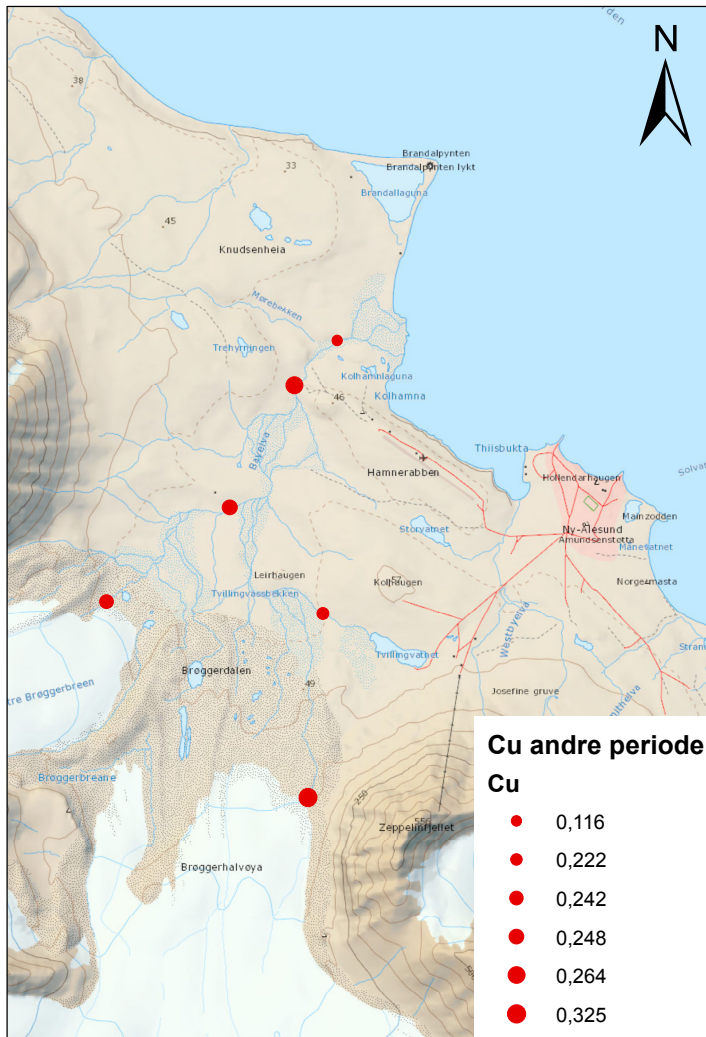
Figur B.11: Gjennomsnittskonsentrasjon av aluminium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



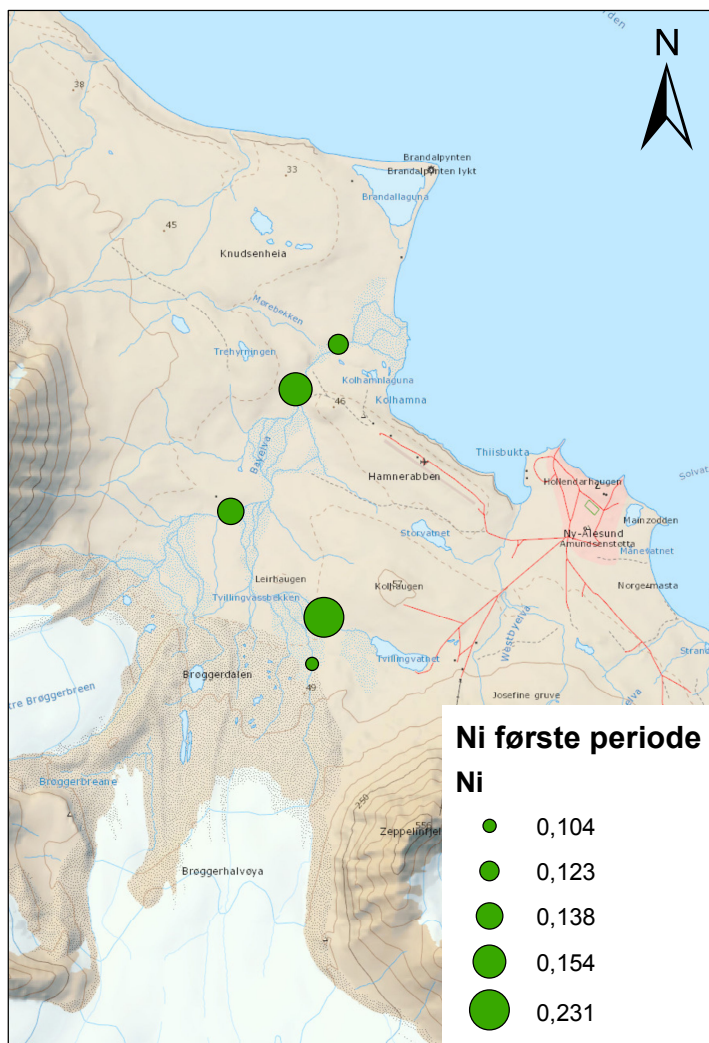
Figur B.12: Gjennomsnittskonsentrasjon av aluminium ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



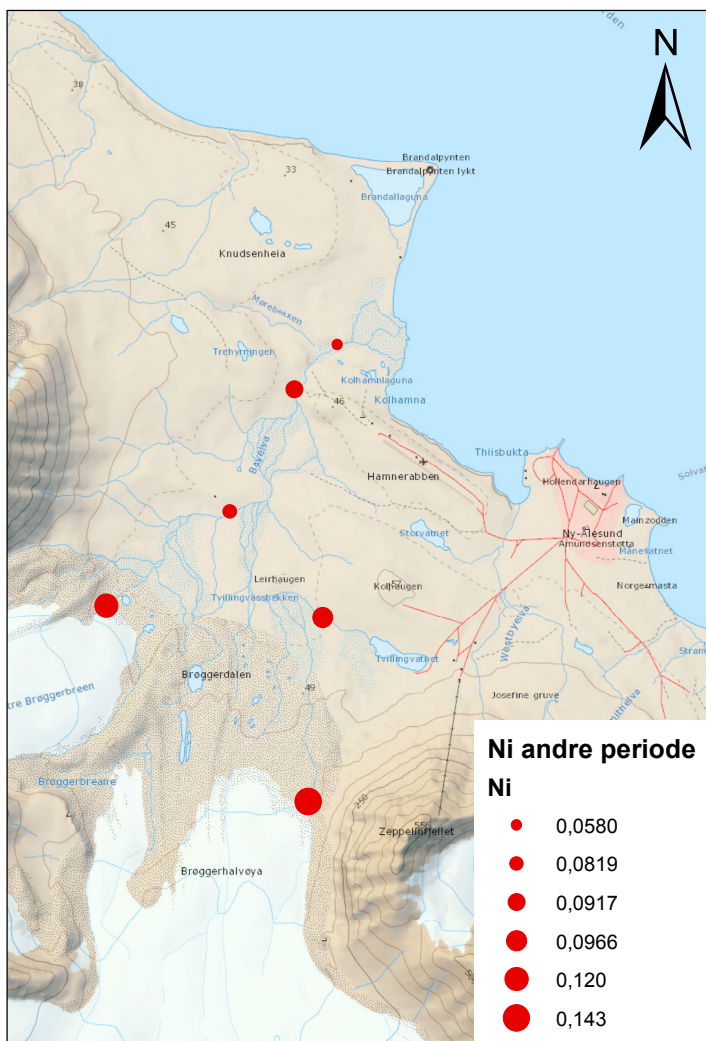
Figur B.13: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



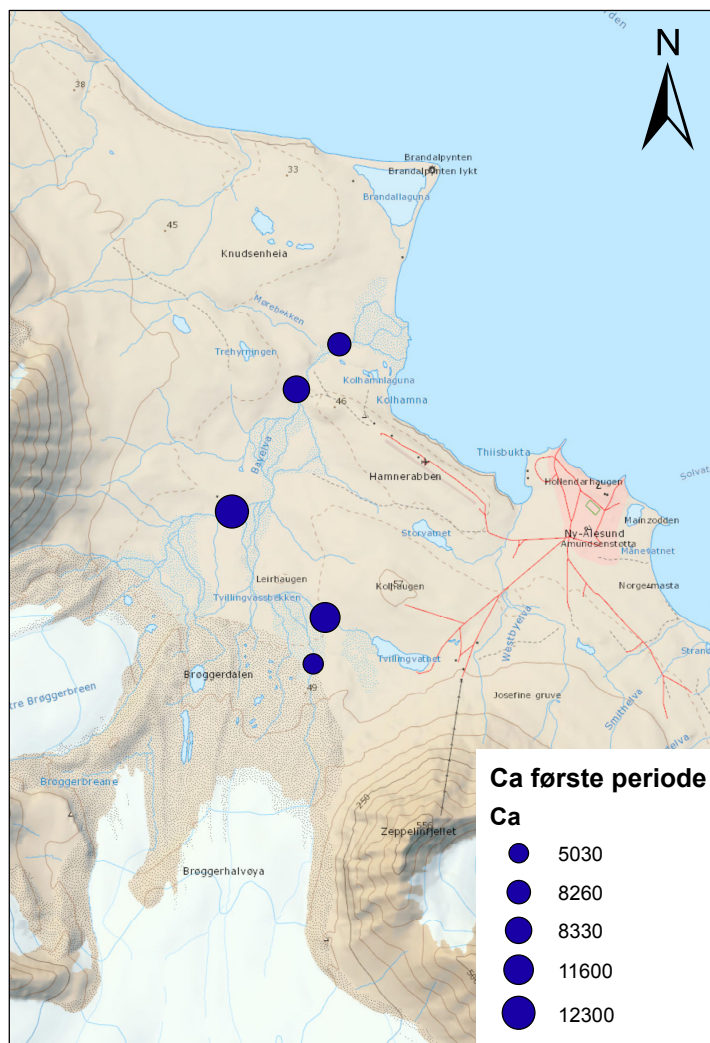
Figur B.14: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (augst). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



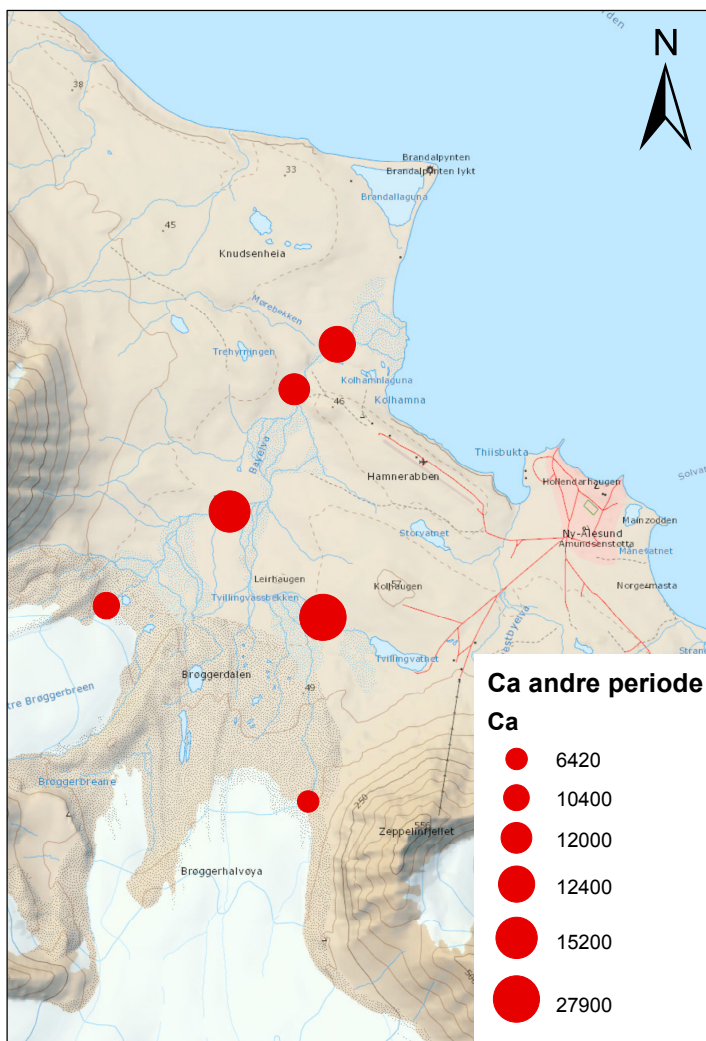
Figur B.15: Gjennomsnittskonsentrasjon av nikkell ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



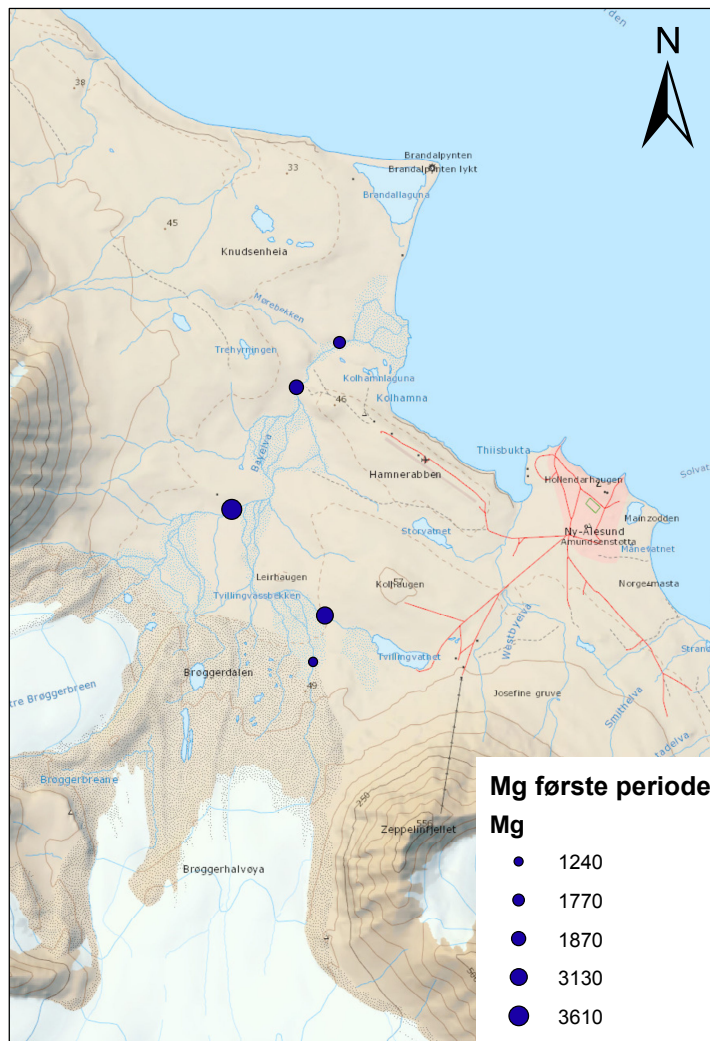
Figur B.16: Gjennomsnittskonsentrasjon av nikkel ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



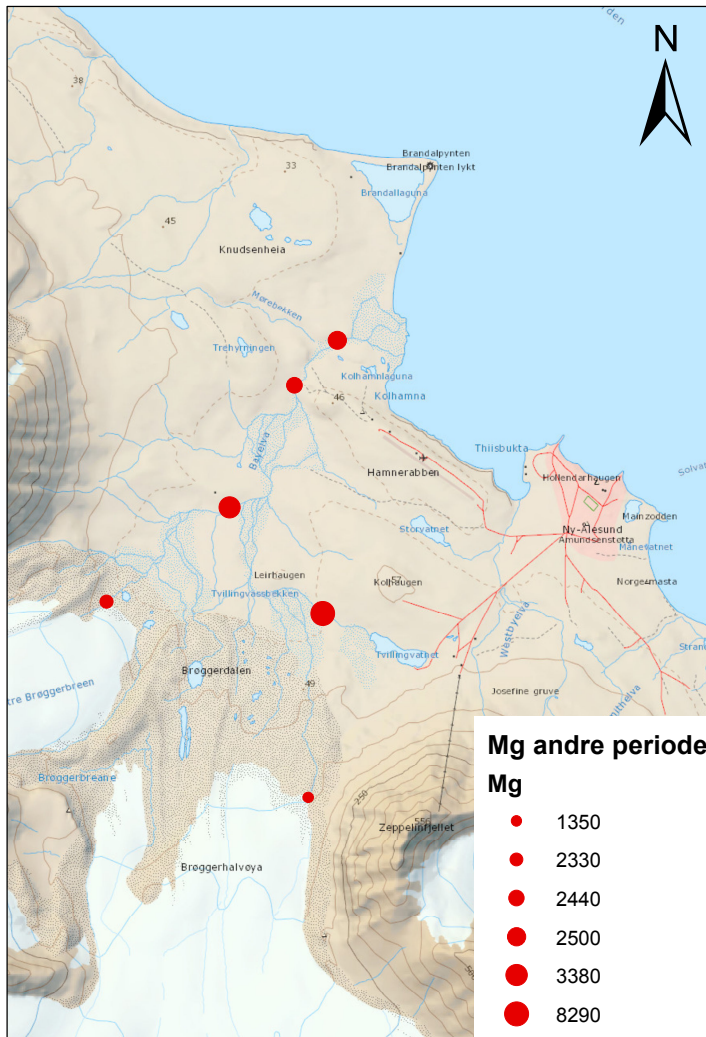
Figur B.17: Gjennomsnittskonsentrasjon av kalsium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



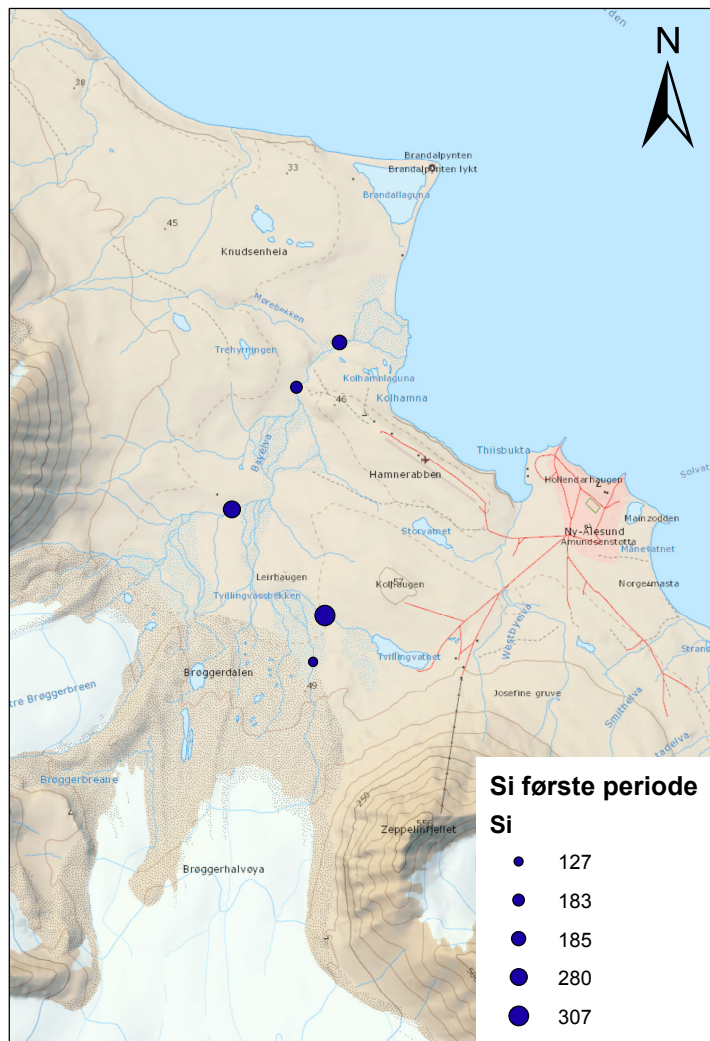
Figur B.18: Gjennomsnittskonsentrasjon av kalsium ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



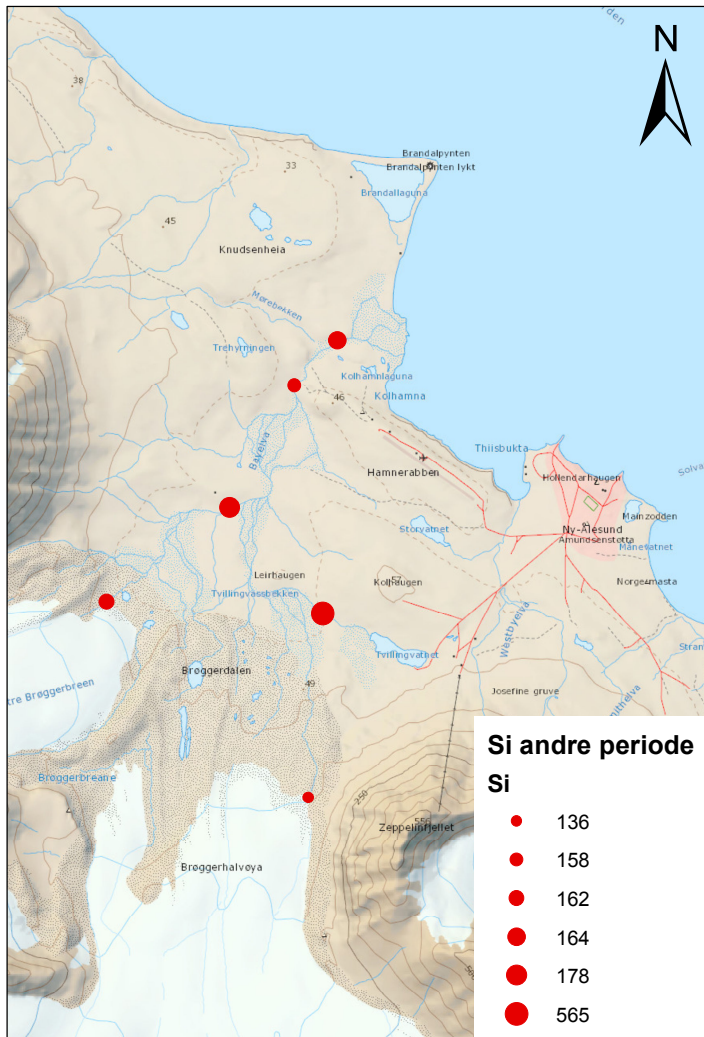
Figur B.19: Gjennomsnittskonsentrasjon av magnesium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli).Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



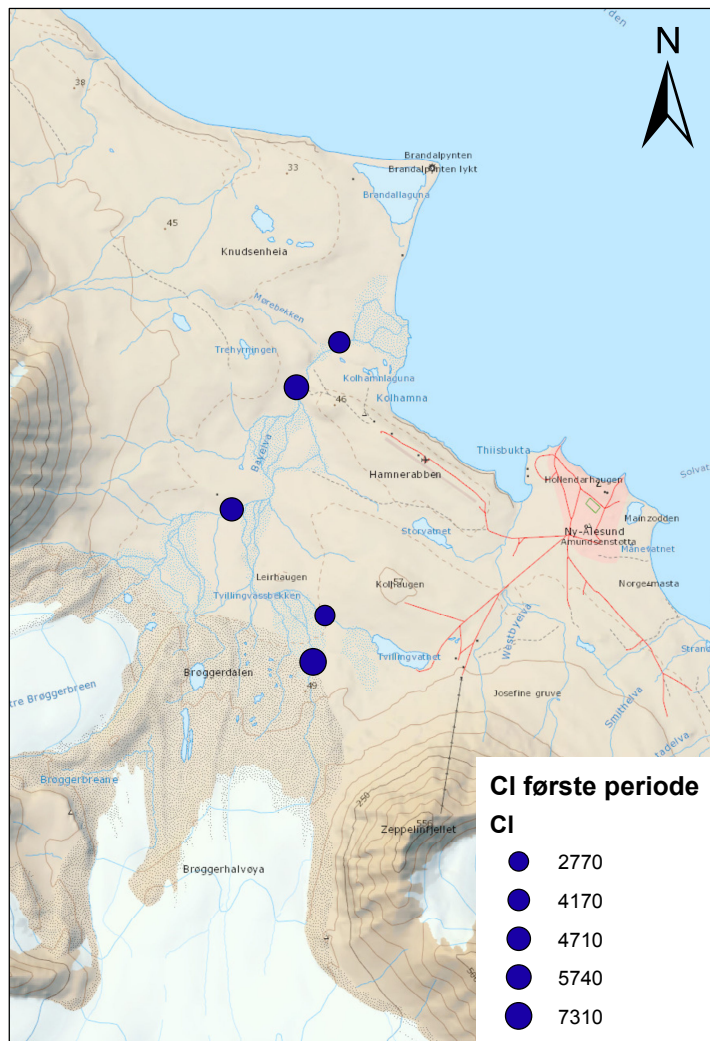
Figur B.20: Gjennomsnittskonsentrasjon av magnesium ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene



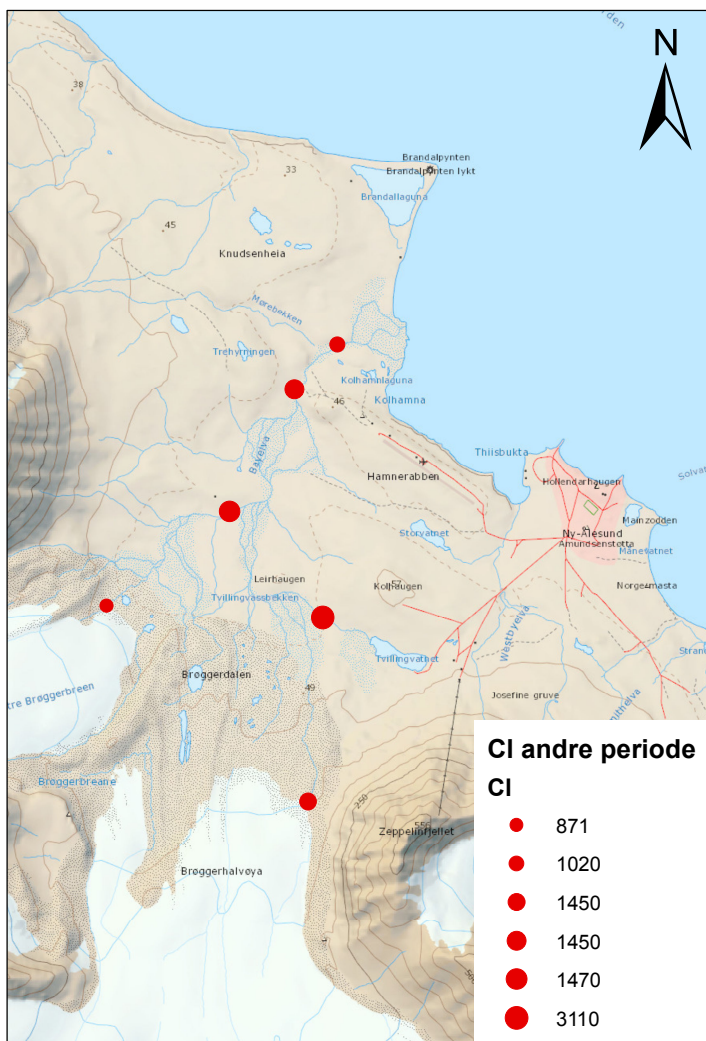
Figur B.21: Gjennomsnittskonsentrasjon av silisium ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



Figur B.22: Gjennomsnittskonsentrasjon av silisium ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



Figur B.23: Gjennomsnittskonsentrasjon av klor ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i første feltperiode (28.juni-06.juli). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.



Figur B.24: Gjennomsnittskonsentrasjon av klor ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva i andre feltperiode (august). Merk at skalaen er ulik på de ulike kartene.

Vedlegg C

Parametere

Tabell C.1: Målte parametere fra automatiske målinger i Bayelva.

punkt	Dato	klokkeslett	pH	Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sat O ₂ (%)	°C
1	29.06.2014	11:36:52	8,532	82,7	88,3	0,4
1	29.06.2014	11:46:52	8,522	82,4	92,7	0,3
1	29.06.2014	11:56:52	8,524	82,5	95	0,4
1	29.06.2014	12:06:52	8,528	82,6	97,2	0,3
1	29.06.2014	12:16:52	8,388	82,3	89,7	0,4
1	29.06.2014	12:26:52	8,517	81,6	91,9	0,4
1	29.06.2014	12:36:52	8,53	81,9	95,4	0,4
1	29.06.2014	12:46:52	8,415	82,3	60,2	0,4
1	29.06.2014	12:56:52	8,528	82,2	95,2	0,4
1	29.06.2014	13:06:52	8,532	82,1	104,5	0,4
1	29.06.2014	13:16:52	8,473	82	107,7	0,5
1	29.06.2014	13:26:52	8,542	81,7	109,4	0,5
1	29.06.2014	13:36:52	8,553	80,8	109,7	0,4
1	29.06.2014	13:46:52	8,503	81,4	111,4	0,5
1	29.06.2014	13:56:52	8,561	81,6	112	0,5
1	29.06.2014	14:06:52	8,533	81,5	112,6	0,5
1	29.06.2014	14:16:52	8,524	81,4	112,5	0,5
1	29.06.2014	14:26:52	8,546	81,3	111,8	0,4
1	29.06.2014	14:36:52	8,562	81,4	111,8	0,4
1	29.06.2014	14:46:52	8,55	80,9	112,5	0,4
1	29.06.2014	14:56:52	8,536	81	112,1	0,4
1	29.06.2014	15:06:52	8,554	81,2	112,8	0,4
1	29.06.2014	15:16:52	8,556	80,8	112,4	0,5
1	29.06.2014	15:26:52	8,559	80,9	112,2	0,4
1	29.06.2014	15:36:52	8,327	80,9	112,3	0,4
3	30.06.2014	10:45:11	8,229	64,5	109	0
3	30.06.2014	10:55:11	8,242	32,9	114,3	0
3	30.06.2014	11:05:11	8,227	60,7	123,9	0
3	30.06.2014	11:15:11	8,213	65,1	114,7	0

punkt	Dato	klokkeslett	pH	Ledningsevne (uS/cm)	Sat o2 (%)	°C
3	30.06.2014	11:25:11	8,222	65,3	123,3	0
3	30.06.2014	11:35:11	8,203	65,2	115,3	0
3	30.06.2014	11:45:11	8,202	65,5	113,8	0
3	30.06.2014	11:55:11	8,205	65,6	113,8	0
3	30.06.2014	12:05:11	8,199	65,7	130,6	0
3	30.06.2014	12:15:11	8,201	65,7	124,4	0
3	30.06.2014	12:25:11	8,192	65,5	132,5	0,1
3	30.06.2014	12:35:11	8,201	65,6	124,2	0
3	30.06.2014	12:45:11	8,224	65,7	114,1	0
3	30.06.2014	12:55:11	8,208	65,8	118,2	0
3	30.06.2014	13:05:11	8,247	65,8	122,2	0
3	30.06.2014	13:15:11	8,211	65,8	132,4	0
3	30.06.2014	13:25:11	8,225	65,8	122,6	0,1
3	30.06.2014	13:35:11	8,198	65,8	115	0,1
1	01.07.2014	12:34:42	8,535	79,7	112,1	0,3
1	02.07.2014	09:46:16	8,455	76,5	144,9	0,7
1	02.07.2014	09:56:16	8,412	76,5	128,5	0,7
1	02.07.2014	10:06:16	8,4	76,8	122,9	0,7
1	02.07.2014	10:16:16	8,391	76,7	102,2	0,7
1	02.07.2014	10:26:16	8,369	77,1	100,6	0,8
1	02.07.2014	10:36:16	8,385	77,6	123,7	0,7
1	02.07.2014	10:46:16	8,379	77,6	106	0,7
1	02.07.2014	10:56:16	8,393	77,6	105	0,7
1	02.07.2014	11:06:16	8,386	77,3	114	0,8
1	02.07.2014	11:16:16	8,4	77,5	105,2	0,8
1	02.07.2014	11:26:16	8,401	77,3	103,6	0,8
1	02.07.2014	11:36:16	8,394	77,2	112,4	0,8
1	02.07.2014	11:46:16	8,383	77,3	102	0,8
1	02.07.2014	11:56:16	8,387	77,2	169,7	0,7
1	02.07.2014	12:06:16	8,375	77,3	111,7	0,6
1	02.07.2014	12:16:16	8,371	77,2	120	0,6

punkt	Dato	klokkeslett	pH	Ledningsevne (uS/cm)	Sat o2 (%)	°C
1	02.07.2014	12:26:16	8,362	77,3	105,9	0,6
1	02.07.2014	12:36:16	8,348	77,1	108,4	0,6
1	02.07.2014	12:46:16	8,338	77,1	115,6	0,7
1	02.07.2014	12:56:16	8,336	77,2	105,8	0,8
1	02.07.2014	13:06:16	8,321	77	115	0,8
1	02.07.2014	13:16:16	8,342	77	114,9	0,8
1	02.07.2014	13:26:16	8,341	77	105,6	0,8
1	02.07.2014	13:36:16	8,334	77	130,7	0,8
1	02.07.2014	13:46:16	8,338	76,8	110,8	0,8
4	03.07.2014	09:56:29	8,211	98,9	105,8	0,6
4	03.07.2014	10:06:29	8,107	99	107,4	0,6
4	03.07.2014	10:16:29	8,075	99,2	108,3	0,6
4	03.07.2014	10:26:29	8,055	99,2	107,5	0,6
4	03.07.2014	10:36:29	8,047	99,1	107,6	0,6
4	03.07.2014	10:46:29	8,034	98,8	106,4	0,7
1	03.07.2014	19:07:57	8,475	70,5	163,8	0,4
1	03.07.2014	19:17:57	8,43	70,4	143,3	0,4
0	04.07.2014	10:24:18	8,43	72,7	117,4	0,4
0	04.07.2014	10:34:18	8,413	72,7	107,1	0,5
0	04.07.2014	10:44:18	8,42	72,6	107,9	0,5
3	05.07.2014	12:34:55	8,126	54,8	103,2	0,2
3	05.07.2014	12:44:55	8,151	54,8	98,7	0,2
3	05.07.2014	12:54:55	8,111	54,9	102,5	0,2
3	05.07.2014	13:04:55	8,152	55,4	102,6	0,2
3	05.07.2014	13:14:55	8,148	55,3	107,9	0,2
3	05.07.2014	13:24:55	8,158	55,3	104,7	0,2
3	05.07.2014	13:34:55	8,155	55,1	100	0,2
3	05.07.2014	13:44:55	8,147	55,1	103,7	0,2
3	05.07.2014	13:54:55	8,181	55,6	97,9	0,2
3	05.07.2014	14:04:55	8,144	55,4	98,8	0,2
3	05.07.2014	14:14:55	8,146	55,3	101,4	0,2

punkt	Dato	klokkeslett	pH	Ledningsevne (uS/cm)	Sat o2 (%)	°C
3	05.07.2014	14:24:55	8,181	55	98,1	0,2
3	05.07.2014	14:34:55	8,167	55,1	97,9	0,2
3	05.07.2014	14:44:55	8,159	54,7	97,2	0,2
3	05.07.2014	14:54:55	8,147	54,9	97,8	0,2
3	05.07.2014	15:04:55	8,142	54,9	100,2	0,2
3	05.07.2014	15:14:55	8,105	54,7	98,7	0,2
3	05.07.2014	15:24:55	8,107	54,8	110,2	0,1
3	05.07.2014	15:34:55	8,127	54,7	113,1	0,2
3	05.07.2014	15:44:55	8,126	54,9	104,3	0,2
0	12.08.2014	03:27:47	9,054	89,1	-	3,8
0	12.08.2014	03:37:47	9,061	88,8	-	3,8
0	12.08.2014	03:47:47	9,083	88,4	-	3,8
0	12.08.2014	03:57:47	9,068	88,1	-	3,8
0	12.08.2014	04:07:47	9,107	87,8	-	3,8
0	12.08.2014	04:17:47	9,09	87,6	-	3,8
0	12.08.2014	04:27:47	9,107	87,4	-	3,8
0	12.08.2014	04:37:47	9,101	87,1	-	3,7
0	12.08.2014	04:47:47	9,09	86,9	-	3,7
1	12.08.2014	13:15:28	9,278	88,1	-	3,8
1	12.08.2014	13:25:28	9,19	88,1	-	4
1	12.08.2014	13:35:28	9,134	87,4	-	4,1
1	12.08.2014	13:45:28	9,176	85,9	-	4,2
1	12.08.2014	13:55:28	9,129	86,1	-	4,4
1	12.08.2014	14:05:28	9,071	86,1	-	4,6
1	12.08.2014	14:15:28	9,085	86,7	-	4,8
1	12.08.2014	14:25:28	9,116	85,1	-	4,8
1	12.08.2014	14:35:28	9,056	85,2	-	4,8
4	13.08.2014	09:59:57	8,455	220	-	7,5
4	13.08.2014	10:09:57	8,401	220	-	7,5
4	13.08.2014	10:19:57	8,383	220	-	7,5
4	13.08.2014	10:29:57	8,372	220	-	7,6

punkt	Dato	klokkeslett	pH	Ledningsevne (uS/cm)	Sat o2 (%)	°C
4	13.08.2014	10:39:57	8,372	220	-	7,6
4	13.08.2014	10:49:57	8,371	220	-	7,7
6	15.08.2014	10:01:16	8,985	49,2	-	0,1
6	15.08.2014	10:11:16	8,44	49,3	-	0,1
6	15.08.2014	10:21:16	8,24	49,3	-	0,1
6	15.08.2014	10:31:16	8,071	49,3	-	0,2
Mellom østre og vestre	15.08.2014	11:39:20	8,687	95,4	-	2,9
Mellom østre og vestre	15.08.2014	11:49:20	8,678	95,3	-	3
Mellom østre og vestre	15.08.2014	11:59:20	8,663	95,2	-	3,1
Mellom østre og vestre	15.08.2014	12:09:20	8,653	95,1	-	3,3
5	15.08.2014	13:13:30	8,903	73,6	-	2
5	15.08.2014	13:23:30	8,854	73,4	-	2
5	15.08.2014	13:33:30	8,824	72,9	-	2
Gj.snitt			8,456	80,985	110,662	1,310
Standardavvik			0,314	32,837	14,169	1,906
Minimumsverdi			8,034	32,900	60,2	0,000
Maksimumsverdi			9,278	220,000	169,700	7,700

Tabell C.2: Turbiditet og redokspotensiale fra alle manuelle målinger i Bayelva

Punkt	Dato	Turbiditet	Redokspotensiale
0	02.07.14 - 14:15	136,5	-
0	04.07.14 - 10:10	152,9	-
0	04.07.14 - 10:40	143,6	-
1	29.06.14 - 12:30	168,8	253
1	29.06.14 - 13:00	236,7	255
1	29.06.14 - 13:30	218,8	249
1	29.06.14 - 14:00	193,9	243
1	29.06.14 - 14:30	210	255
1	01.07.14 - 10:00	95,38	226
1	01.07.14 - 12:30	131,5	226
1	02.07.14 - 09:45	107,5	217
1	02.07.14 - 10:15	123,8	-
1	02.07.14 - 10:45	139,6	-
1	02.07.14 - 11:15	144,5	-
1	02.07.14 - 11:45	127,7	-
1	02.07.14 - 12:15	113,9	-
1	02.07.14 - 12:45	112,8	-
1	02.07.14 - 13:15	106,7	-
1	02.07.14 - 13:45	134,5	-
1	03.07.14 - 19:00	120,9	-
1	03.07.14 - 19:15	130,8	-
1	04.07.14 - 11:00	158,5	-
1	06.07.14 - 13:40	128,9	-
1	06.07.14 - 14:10	120,6	-
3	30.06.14 - 10:15	66,96	231
3	30.06.14 - 10:45	72,95	232

Punkt	Dato	Turbiditet	Redokspotensiale
3	30.06.14 - 11:15	59,56	237
3	30.06.14 - 11:45	79,62	232
3	30.06.14 - 12:15	68,4	234
3	30.06.14 - 12:45	64,73	234
3	30.06.14 - 13:00	67,89	233
3	30.06.14 - 13:15	61,18	232
3	30.06.14 - 13:30	70,9	229
3	30.06.14 - 13:45	62,14	230
3	05.07.14 - 12:20	126,1	-
3	05.07.14 - 12:50	159,8	-
3	05.07.14 - 13:10	154	-
3	05.07.14 - 13:40	157,6	-
3	05.07.14 - 14:10	118	-
3	05.07.14 - 14:40	132,8	-
3	05.07.14 - 15:10	131,5	-
3	05.07.14 - 15:40	144,6	-
4	03.07.14 - 09:45	22,6	-

Punkt	Dato	Turbiditet	Redokspotensiale
4	03.07.14 - 10:45	20,9	-
0	12.08.14 - 10:45	114	-
0	12.08.14 - 11:15	117,8	-
0	12.08.14 - 11:45	128,9	-
0	12.08.14 - 12:15	142,8	-
1	12.08.14 - 13:15	154	-
1	12.08.14 - 13:45	174,9	-
1	12.08.14 - 14:15	194,9	-
1	12.08.14 - 14:30	191,1	-
1	15.08.14 - 14:45	201,8	-
4	13.08.14 - 09:45	3,17	-
4	13.08.14 - 10:15	1,6	-
4	13.08.14 - 10:45	1,66	-
5	15.08.14 - 13:00	104	-
5	15.08.14 - 13:30	85,8	-
6	15.08.14 - 10:00	174	-
6	15.08.14 - 10:25	163,6	-

Vedlegg D

ICP-MS

Tabell D.1: Gjennomsnitt, standardavvik, minimum, maksimum og median for oppløste elementer i elvene.

Prøvepunkt		Bayelva				
Antall Prøver		67				
Element	Enhet	Gj.snitt	Std.avvik	Min	Maks	Median
Li	$\mu\text{g/l}$	0,341	0,181	0,171	1,106	0,297
Be	$\mu\text{g/l}$	0,002	0,002	-0,001	0,012	0,001
B	$\mu\text{g/l}$	2,326	0,904	0,762	5,485	2,254
Se	$\mu\text{g/l}$	0,203	0,071	0,091	0,460	0,194
Br	$\mu\text{g/l}$	24,964	20,145	5,489	160,230	23,378
Y	$\mu\text{g/l}$	0,015	0,006	0,008	0,036	0,014
Cd	$\mu\text{g/l}$	0,050	0,262	0,002	2,160	0,007
Mo	$\mu\text{g/l}$	0,206	0,072	0,067	0,455	0,192
Sn	$\mu\text{g/l}$	0,007	0,006	-0,001	0,028	0,005
Cs	$\mu\text{g/l}$	0,002	0,001	0,000	0,009	0,002
Ce	$\mu\text{g/l}$	0,024	0,016	0,004	0,112	0,021
Pr	$\mu\text{g/l}$	0,004	0,002	0,001	0,011	0,004
Nd	$\mu\text{g/l}$	0,016	0,006	0,007	0,038	0,015
Sm	$\mu\text{g/l}$	0,003	0,001	0,001	0,009	0,003
Tb	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Dy	$\mu\text{g/l}$	0,002	0,001	0,001	0,007	0,002
Ho	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Er	$\mu\text{g/l}$	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001
Tm	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	$\mu\text{g/l}$	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001

Element	Enhet	Gj.snitt	Std.avvik	Min	Maks	Median
Lu	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hf	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ir	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pt	$\mu\text{g/l}$	0,005	0,037	0,000	0,307	0,000
Au	$\mu\text{g/l}$	0,005	0,002	0,002	0,009	0,004
W	$\mu\text{g/l}$	0,003	0,001	0,001	0,009	0,002
Hg	$\mu\text{g/l}$	0,004	0,002	0,000	0,007	0,004
Tl	$\mu\text{g/l}$	0,004	0,015	0,001	0,123	0,002
Pb	$\mu\text{g/l}$	0,045	0,039	0,002	0,194	0,036
Bi	$\mu\text{g/l}$	0,037	0,067	0,000	0,311	0,012
Th	$\mu\text{g/l}$	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
U	$\mu\text{g/l}$	0,292	0,119	0,050	0,539	0,262
Na	$\mu\text{g/l}$	2494,231	1080,764	487,377	4333,285	2808,975
Mg	$\mu\text{g/l}$	2196,408	1475,359	1054,214	8449,960	1856,334
Al	$\mu\text{g/l}$	7,141	5,106	2,970	37,288	5,709
Si	$\mu\text{g/l}$	188,874	92,698	115,257	597,174	174,729
P	$\mu\text{g/l}$	2,671	1,654	0,883	12,883	2,458
S	$\mu\text{g/l}$	1743,974	2683,385	451,237	14289,344	1063,422
Cl	$\mu\text{g/l}$	4881,721	2409,966	751,727	8990,222	5632,932
K	$\mu\text{g/l}$	421,787	125,482	196,284	924,447	395,281
Ca	$\mu\text{g/l}$	9167,510	4866,782	4715,466	28713,297	8398,732
Sc	$\mu\text{g/l}$	0,001	0,001	0,000	0,004	0,001
Ti	$\mu\text{g/l}$	0,158	0,106	0,014	0,591	0,136
V	$\mu\text{g/l}$	0,056	0,095	0,016	0,812	0,040
Cr	$\mu\text{g/l}$	0,065	0,056	0,017	0,446	0,054
Mn	$\mu\text{g/l}$	4,321	2,420	0,185	10,584	3,557
Fe	$\mu\text{g/l}$	4,785	4,974	0,445	32,841	3,684

Element	Enhet	Gj.snitt	Std.avvik	Min	Maks	Median
Co	$\mu\text{g/l}$	0,026	0,019	0,005	0,152	0,022
Ni	$\mu\text{g/l}$	0,130	0,083	0,049	0,469	0,101
Cu	$\mu\text{g/l}$	0,457	0,473	0,083	2,524	0,250
Zn	$\mu\text{g/l}$	3,315	5,009	0,144	30,679	1,933
Ga	$\mu\text{g/l}$	0,006	0,002	0,001	0,016	0,006
Rb	$\mu\text{g/l}$	0,282	0,102	0,057	0,655	0,272
Sr	$\mu\text{g/l}$	10,268	3,835	5,775	25,781	9,417
Ag	$\mu\text{g/l}$	0,005	0,005	-0,003	0,023	0,004
Sb	$\mu\text{g/l}$	0,026	0,020	0,008	0,126	0,018
Ba	$\mu\text{g/l}$	7,090	3,833	3,426	23,702	6,298
La	$\mu\text{g/l}$	0,015	0,006	0,005	0,040	0,014
As	$\mu\text{g/l}$	0,044	0,011	0,025	0,089	0,043
Nb	$\mu\text{g/l}$	0,073	0,455	-0,001	3,522	0,001

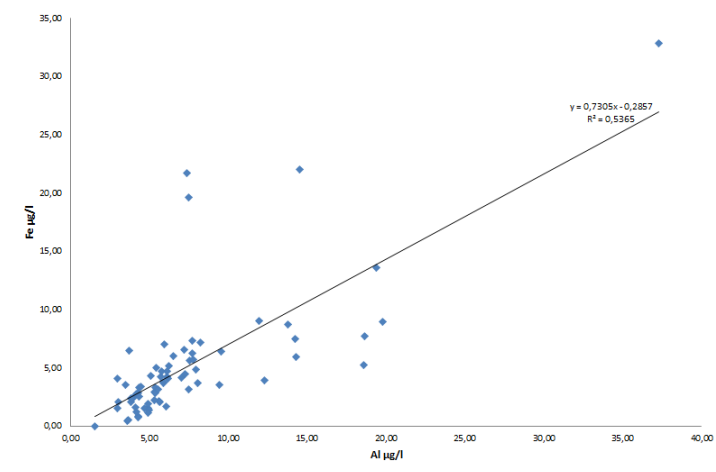
Tabell D.2: Deteksjonsgrenser for HR-ICP-MS analyse

Element	Isotop	Oppløsning	Filtrert vann (μ g/l)
			IDL - 25%
Al	27	Mr	0,2
Sb	121	Mr	0,002
As	75	Hr	0,025
Be	9	Lr	0,002
B	11	Lr	0,05
Cd	114	Lr	0,002
Ca	43	Mr	10
Cl	35	Mr	100
Cr	52	Mr	0,005
Co	59	Mr	0,004
Cu	65	Mr	0,02
Fe	56	Mr	0,02
Pb	208	Lr	0,002
Li	7	Lr	0,03
Mg	25	Mr	0,35
Mn	55	Mr	0,006
Hg	202	Lr	0,001
Mo	98	Mr	0,02
Ni	60	Mr	0,015
K	39	Mr	5
Se	78	Mr	0,15
Si	30	Mr	4
Na	23	Mr	10
Sr	88	Mr	0,025
S	34	Mr	20

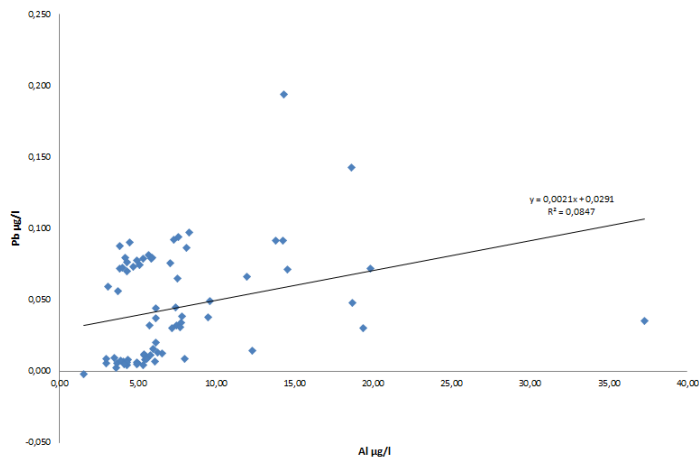
Element	Isotop	Oppløsning	Filtrert vann (μ g/l)
			IDL - 25%
Tl	205	Lr	0,0003
Sn	118	Lr	0,001
Ti	47	Mr	0,02
U	238	Lr	0,003
V	51	Mr	0,003
Zn	66	Mr	0,025

Vedlegg E

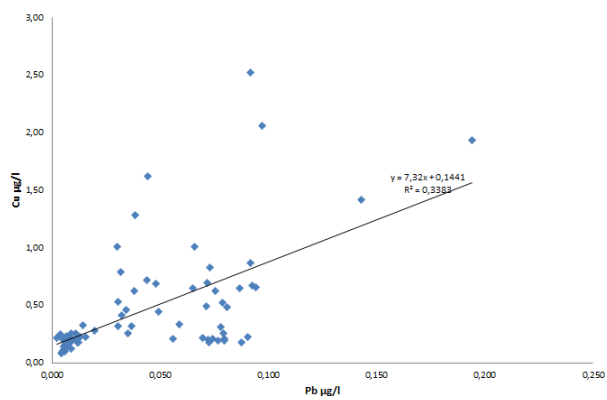
Korrelasjoner i Bayelva



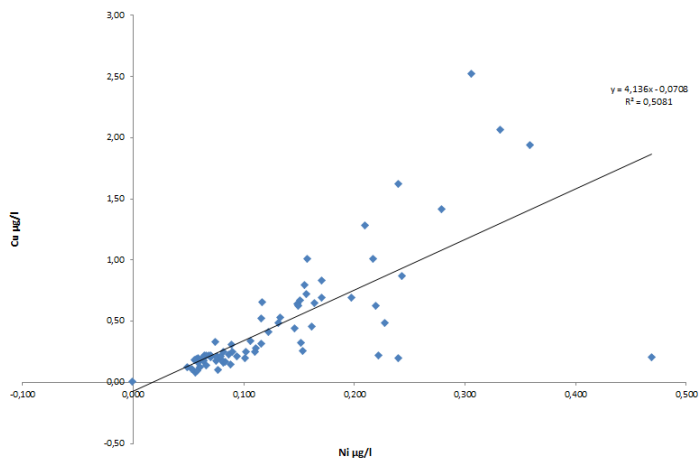
Figur E.1: Korrelasjon mellom aluminium og jern ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva over begge perioder



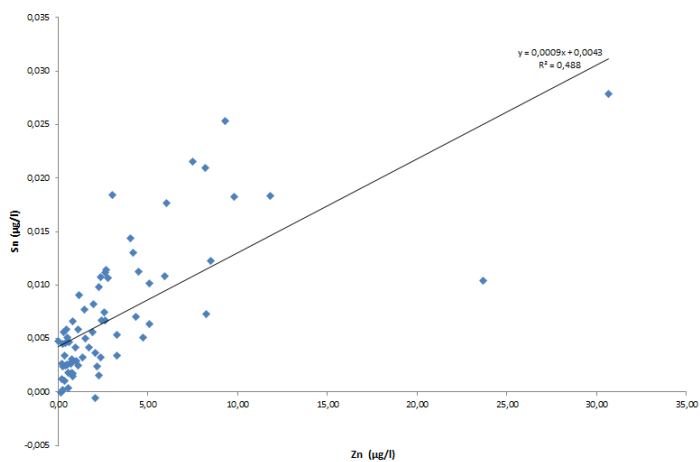
Figur E.2: Korrelasjon mellom aluminium og bly ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva over begge perioder



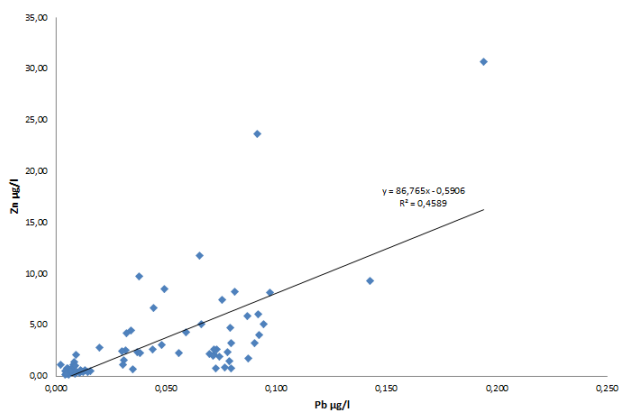
Figur E.3: Korrelasjon mellom bly og kobber ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva over begge perioder



Figur E.4: Korrelasjon mellom nikkel og kobber ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva over begge perioder



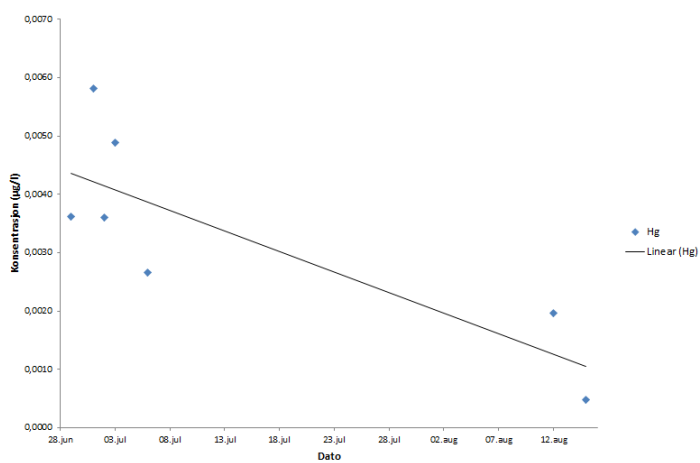
Figur E.5: Korrelasjon mellom sink og tinn ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva over begge perioder



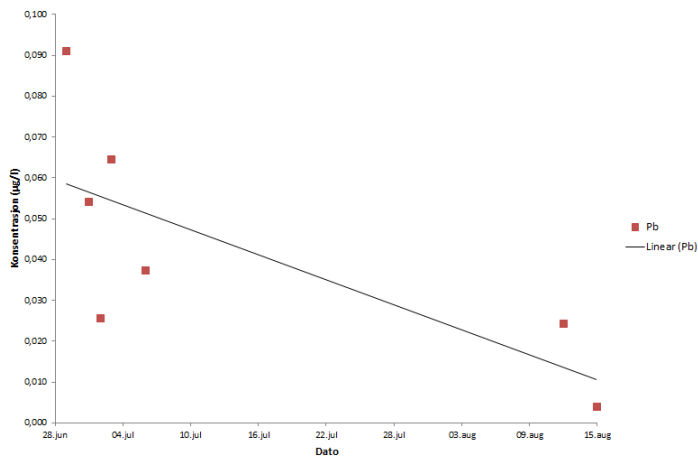
Figur E.6: Korrelasjon mellom bly og sink ($\mu\text{g/l}$) i Bayelva over begge perioder

Vedlegg F

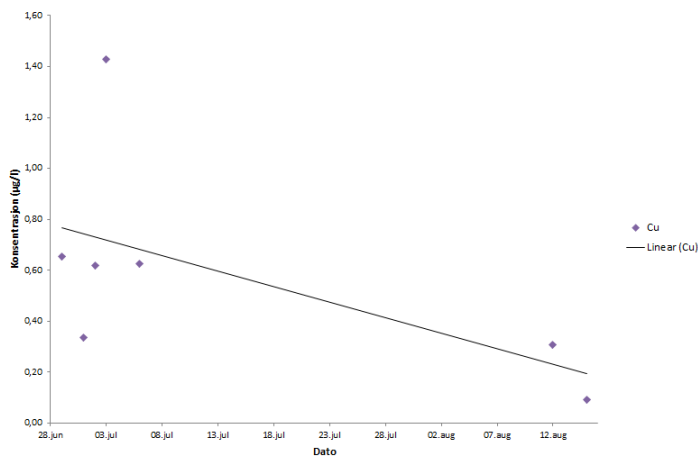
Konsentrasjonstrender



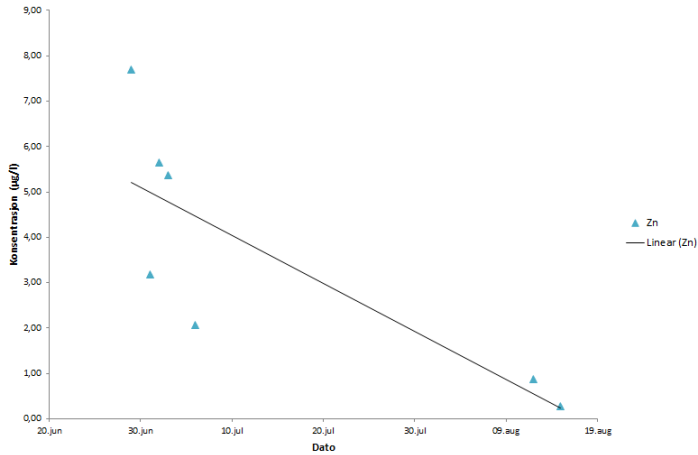
Figur F.1: Gjennomsnittskonsentrasjoner av kvikksølv ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for kvikksølv som funksjon av tid.



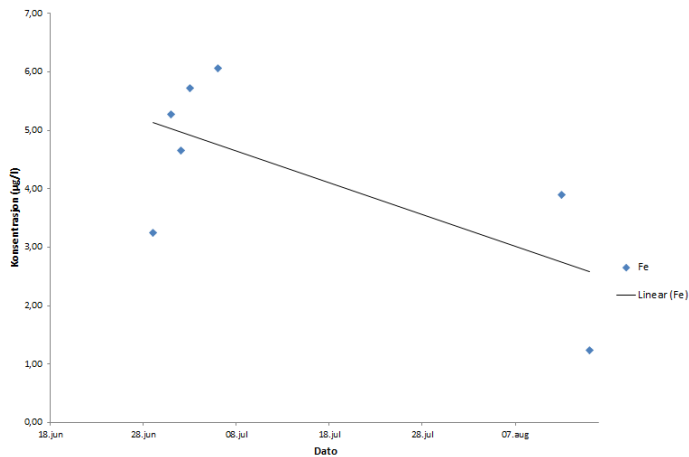
Figur F.2: Gjennomsnittskonsentrasjoner av bly ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for bly som funksjon av tid.



Figur F.3: Gjennomsnittskonsentrasjoner av kobber ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for kvikksølv som funksjon av tid.



Figur F.4: Gjennomsnittskonsentrasjoner av sink ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for sink som funksjon av tid.



Figur F.5: Gjennomsnittskonsentrasjoner av jern ($\mu\text{g/l}$) i punkt 1 som funksjon av tid (29.06.14, 01.07.14, 02.07.14, 03.07.14, 06.07.14, 12.08.14 og 15.08.14) samt lineær trend for jern som funksjon av tid.

Vedlegg G

DOC, UVA_{254} og SUVA

Tabell G.1: UVA_{254} , DOC-konsentrasjon og SUVA for alle prøver i Bayelva

Dato	Prøvepunkt	UVA_{254}	DOC (ppmC)	SUVA
28.06.2014	1	0,025	1,375	1,819
28.06.2014	1	0,010	3,162	0,316
28.06.2014	1	0,019	3,553	0,535
28.06.2014	1	0,090	1,094	8,229
29.06.2014	1	0,021	-	-
29.06.2014	1	0,017	1,450	1,173
29.06.2014	1	0,015	-	-
29.06.2014	1	0,020	-	-
29.06.2014	1	0,012	1,065	1,127
29.06.2014	1	0,012	1,123	1,068
29.06.2014	1	0,014	1,367	1,024
30.06.2014	3	0,008	2,491	0,321
30.06.2014	3	0,007	1,406	0,498
30.06.2014	3	0,010	-	-
30.06.2014	3	0,008	1,663	0,481
30.06.2014	4	0,001	1,540	0,065
01.07.2014	1	0,015	1,098	1,366
01.07.2014	1	0,011	1,032	1,066
02.07.2014	1	0,009	2,336	0,385
02.07.2014	1	0,010	1,719	0,582
02.07.2014	0	0,070	-	-
03.07.2014	4	0,014	2,082	0,672
03.07.2014	1	0,017	1,114	1,526
04.07.2014	0	0,010	2,036	0,491
05.07.2014	3	0,007	1,444	0,485
06.07.2014	1	0,014	2,389	0,586
12.08.2014	1	-	4,308	-
12.08.2014	0	-	4,390	-
13.08.2014	4	-	3,382	-
13.08.2014	L3	-	4,216	-
15.08.2014	6	-	4,987	-
15.08.2014	5	-	4,062	-

Vedlegg H

t-tester

Tabell H.1: Signifikanstester på forskjeller mellom metaller i første og andre periode.

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Hg Bayelva 1. - 2. periode	Hg første	Hg andre
Mean	0,00407	0,00250
Variance	1,66447E-06	3,09106E-06
Observations	45	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	23	
t Stat	3,369155609	
P(T<=t) one-tail	0,001324565	
t Critical one-tail	1,713871528	
P(T<=t) two-tail	0,002649131	
t Critical two-tail	2,06865761	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Pb Bayelva 1. - 2. periode	Pb første	Pb andre
Mean	0,056172065	0,015652207
Variance	0,001523595	0,000496922
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	49	
t Stat	5,217003625	
P(T<=t) one-tail	1,83024E-06	
t Critical one-tail	1,676550893	
P(T<=t) two-tail	3,66048E-06	
t Critical two-tail	2,009575237	

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Cd Bayelva 1. - 2. periode	Cd periode 1	Cd periode 2
Mean	0,067365013	0,006149627
Variance	0,094890312	9,32939E-06
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	48	
t Stat	1,390868801	
P(T<=t) one-tail	0,085339853	
t Critical one-tail	1,677224196	
P(T<=t) two-tail	0,170679705	
t Critical two-tail	2,010634758	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Fe 1. - 2. periode	Fe periode 1	Fe periode 2
Mean	4,619040237	5,259259664
Variance	8,411104482	77,70990002
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	17	
t Stat	-0,293974908	
P(T<=t) one-tail	0,386168054	
t Critical one-tail	1,739606726	
P(T<=t) two-tail	0,772336108	
t Critical two-tail	2,109815578	

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Cu 1. - 2. periode	Cu første periode	Cu andre periode
Mean	0,547476965	0,225583538
Variance	0,273712187	0,025124045
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	63	
t Stat	3,829924567	
P(T<=t) one-tail	0,000148891	
t Critical one-tail	1,669402222	
P(T<=t) two-tail	0,000297783	
t Critical two-tail	1,998340543	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Zn 1. - 2.periode	Zn periode 1	Zn periode 2
Mean	4,30013653	0,708491528
Variance	31,26682993	0,462842835
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	52	
t Stat	4,40328309	
P(T<=t) one-tail	2,66744E-05	
t Critical one-tail	1,674689154	
P(T<=t) two-tail	5,33489E-05	
t Critical two-tail	2,006646805	

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
As 1. - 2.periode	As periode 1	As periode 2
Mean	0.043600587	0.046948631
Variance	6.90995E-05	0.000234849
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	-0.858054549	
P(T<=t) one-tail	0.200778642	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	0.401557284	
t Critical two-tail	2.093024054	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Ni 1. - 2.periode	Ni periode 1	Ni periode 2
Mean	0.136527228	0.093382439
Variance	0.005760227	0.002687906
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	41	
t Stat	2.59857573	
P(T<=t) one-tail	0.006474283	
t Critical one-tail	1.682878002	
P(T<=t) two-tail	0.012948567	
t Critical two-tail	2.01954097	

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Cr 1. -2. periode	Cr periode 1	Cr periode 2
Mean	0.069734987	0.055565654
Variance	0.004181589	0.000433008
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	64	
t Stat	1.346912109	
P(T<=t) one-tail	0.091379359	
t Critical one-tail	1.669013025	
P(T<=t) two-tail	0.182758719	
t Critical two-tail	1.997729654	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Al 1. - 2.periode	Al periode 1	Al periode 2
Mean	6.702470891	8.697242423
Variance	10.24802577	74.41194742
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	-0.931453413	
P(T<=t) one-tail	0.181972425	
t Critical one-tail	1.734063607	
P(T<=t) two-tail	0.363944849	
t Critical two-tail	2.10092204	

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Mn 1. -2.periode	Mn periode 1	Mn periode 2
Mean	4,690467844	3,126877197
Variance	5,081567037	6,81210211
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	25	
t Stat	2,201547503	
P(T<=t) one-tail	0,018573457	
t Critical one-tail	1,708140761	
P(T<=t) two-tail	0,037146914	
t Critical two-tail	2,050538553	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Mg 1. - 2. periode	Mg periode 1	Mg periode 2
Mean	1794,469585	3399,962575
Variance	466726,9559	5660541,202
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	17	
t Stat	-2,743338263	
P(T<=t) one-tail	0,006930076	
t Critical one-tail	1,739606726	
P(T<=t) two-tail	0,013860152	
t Critical two-tail	2,109815578	
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
Ca 1. - 2. periode	Ca første periode	Ca andre periode
Mean	7490,93576	14233,39574
Variance	5189212,213	47199272,9
Observations	49	17
Hypothesized Mean Difference	0	
df	17	
t Stat	-3,971426398	
P(T<=t) one-tail	0,000493218	
t Critical one-tail	1,739606726	
P(T<=t) two-tail	0,000986436	
t Critical two-tail	2,109815578	