

SKB P-24-15

ISSN 1651-4416

ID 2001375

September 2025

Hydrokemisk övervakning av ytnära grundvatten, ytvatten, gölar och nederbörd i Forsmark

Resultat från provtagningsperioden januari–december 2023

Susanne Qvarfordt, Micke Borgiel
Sveriges Vattenekologer AB

Oskar Örneholm
Svensk Kärnbränslehantering AB

Nyckelord: Monitorering, Övervakning, Provtagning, Hydrokemi, Ytvatten, Ytnära grundvatten, Gölar, Nederbörd

Data i SKB:s databas kan ändras av olika skäl. Mindre ändringar i SKB:s databas kommer inte nödvändigtvis att resultera i en reviderad rapport. Revideringar av data kan även presenteras som supplement, tillgängliga på www.skb.se.

Denna rapport är publicerad på www.skb.se

© 2025 Svensk Kärnbränslehantering AB

Sammanfattning

Rapporten dokumenterar den hydrokemiska övervakningen av ytnära grundvatten, ytvatten, gölar och nederbörd i Forsmarksområdet under provtagningsperioden januari till december 2023.

I övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten ingick sju jordrör och tre dricksvattenbrunnar. Ytvattenövervakningen omfattade tio provpunkter i havet, fyra i sjöar och fyra i vattendrag. I övervakningen av gölar ingick två naturliga och sex anlagda gölar. Nederbörd samlades in på en provtagningspunkt.

Syftet med övervakningen av ytnära grundvatten, ytvatten och nederbörd är främst att övervaka vattnens sammansättning och samla långa tidsserier. I första skedet för att beskriva naturliga variationer och i nästa skede för att upptäcka och följa eventuella förändringar i samband med byggande och drift av slutförvaret för använt kärnbränsle.

Byggnation och drift av det planerade slutförvaret kommer att medföra verksamhet som kan påverka naturen i området, bland annat kommer ett småvatten som idag är reproduktionslokal för den rödlistade gölgrödan (*Pelophylax lessonae*) att fyllas igen. För att kompensera för den förlorade reproduktionslokalen har sex nya småvatten/gölar skapats. Syftet med övervakningsprogrammet för gölarna är att följa upp att miljöerna i de anlagda gölar passar för gölgrödor som har specifika krav på sin livsmiljö.

Provtagningarna i samtliga program förutom nederbörd omfattar fältmätningar av ORP (redoxpotential), pH, löst syre, elektrisk konduktivitet och vattentemperatur samt kemiska analyser av huvudkomponenter, närsalter, kolföreningar, spårelement och isotoper. För hav, sjöar och gölar mättes även turbiditet. För nederbörd omfattar fältmätningarna endast pH, elektrisk konduktivitet och vattentemperatur samt de kemiska analyserna huvudkomponenter, totalt organiskt kol, spårelement och isotoper

Fältmätningar och insamling av vatten till analyser genomfördes på samtliga provpunkter för ytnära grundvatten, ytvatten och gölar i januari, april, augusti och oktober. I februari, mars, maj, juni, september, november och december varierade omfattningen av provtagningen mellan programmen.

Resultaten från 2023 års övervakning av ytnära grundvatten, ytvatten, gölar och nederbörd visar inga överraskningar. Rutinerna kring programmets utförande är etablerade och fungerar väl efter många års provtagning, analys och administration. Programmen har löpt på utan större avvikelser eller oväntade händelser. Nederbörd samlades in veckovis och analyserades månadsvis som samlingsprov motsvarande en månads nederbörd, dvs. totalt tolv samlingsprov under provtagningsperioden januari till december 2023. Dricksvattenbrunnarna provtogs i augusti.

Abstract

This report documents the hydrochemical monitoring of near-surface groundwater, surface waters, ponds and precipitation in the Forsmark area during the sampling period January to December 2023.

The monitoring programme for near-surface groundwater included seven earth pipes and three drinking water wells. The monitoring programme for surface waters included ten sites located in the sea, four sites in lakes and four sites in streams. The monitoring of the ponds included two natural ponds and six constructed ponds. Precipitation was collected at one sampling location.

The purpose of monitoring near-surface groundwaters, surface waters and precipitation is primarily to monitor the composition of the waters and to collect long time series. In the first stage to describe natural variations and in the next stage to detect and follow any changes linked with the construction and operation of the final repository for spent nuclear fuel.

Construction and operation of the planned repository will entail activities that will affect the nature in the area, including the loss of a small water body that is a reproduction site for the red-listed pool frog (*Pelophylax lessonae*). To compensate for the lost habitat, six new ponds have been created. The purpose of this monitoring program is to follow up that the habitats in the constructed ponds are suitable for pool frogs, which have specific requirements for their habitat.

The sampling in all programs, except precipitation, includes field measurements of ORP (redox potential), pH, dissolved oxygen, electrical conductivity and water temperature, as well as chemical analyses of main components, nutrients, carbon compounds, trace elements and isotopes. For sites located in the sea, lakes and ponds, turbidity was also measured. Precipitation sampling only includes field measurements of pH, electrical conductivity and water temperature, as well as chemical analyses of main components, total organic carbon, trace elements and isotopes.

Field measurements and collection of water for analyses were carried out at all sites, except in the drinking water wells, in January, April, August and October. In February, March, May, June, September, November and December, the extent of sampling varied between programs. Precipitation was sampled weekly and analysed as collective monthly samples twelve times during January to December 2023. The drinking water wells were only sampled in August.

The results of the 2023 monitoring of near-surface groundwaters, surface waters, ponds and precipitation show no surprises. The routines surrounding the implementation of the programs are established and work well after many years of sampling, analysis and administration. The programs have run on without major deviations or unexpected events.

Innehåll

1	Introduktion.....	5
2	Ytnära grundvatten.....	7
2.1	Omfattning	7
2.2	Lokaler och provtagningsschema	7
2.2.1	Jordrör för provtagning av ytnära grundvatten.....	7
2.2.2	Provtagningschema	8
2.3	Utrustning.....	8
2.3.1	Provtagningsutrustning.....	8
2.3.2	Multiinstrument	9
2.4	Utförande.....	9
2.4.1	Provtagningsförberedelser.....	9
2.4.2	Provtagning och fältmätning	10
2.4.3	Provhantering och analys	10
2.4.4	Avvikelse	11
2.5	Resultat.....	11
2.5.1	Fältmätningar	11
2.5.2	Vattenanalyser.....	13
2.6	Diskussion och slutsats.....	19
3	Ytvatten.....	20
3.1	Omfattning	20
3.2	Lokaler och provtagningsschema	20
3.3	Utrustning.....	23
3.3.1	Provtagningsutrustning.....	23
3.3.2	Multiinstrument	24
3.3.3	Övrig fältutrustning	24
3.4	Utförande.....	25
3.4.1	Provtagningsförberedelser.....	25
3.4.2	Provtagning	25
3.4.3	Fältmätning.....	26
3.4.4	Provhantering och analys	26
3.4.5	Datahantering	27
3.4.6	Avvikelse	27
3.5	Resultat.....	29
3.5.1	Fältmätningar	29
3.5.2	Vattenanalyser.....	32
3.6	Diskussion och slutsats.....	46
4	Gölar.....	47
4.1	Omfattning	47
4.2	Lokaler och provtagningsschema	47
4.2.1	Anlagda gölar.....	47
4.2.2	Referensgölar	48
4.2.3	Provtagningschema	48
4.3	Utrustning.....	49
4.3.1	Provtagningsutrustning.....	49
4.3.2	Multiinstrument	49
4.4	Utförande.....	49
4.4.1	Provtagningsförberedelser.....	49
4.4.2	Provtagning	50
4.4.3	Fältmätning.....	50
4.4.4	Fotodokumentation.....	50
4.4.5	Provhantering och analys	50
4.4.6	Datahantering	50

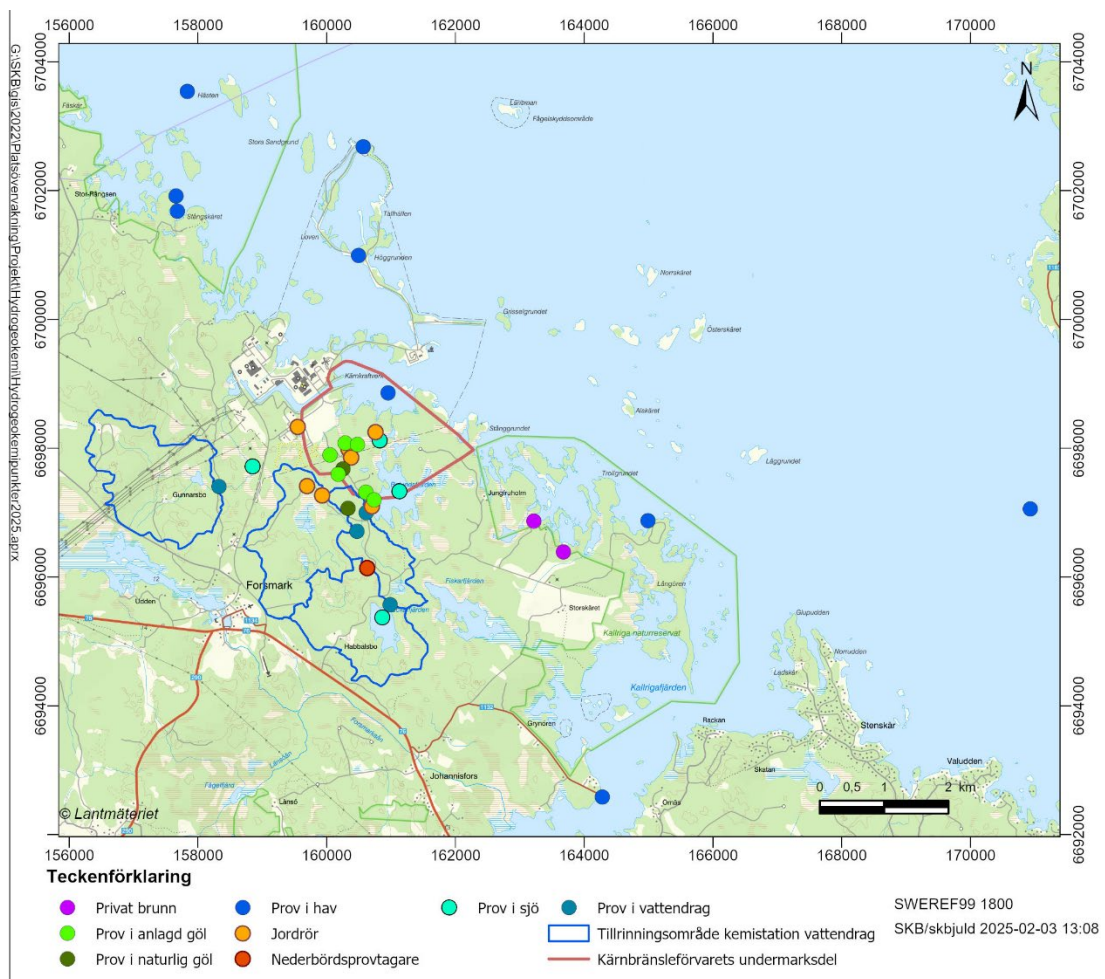
4.4.7	Avvikelser	51
4.5	Resultat.....	52
4.5.1	Fältnätningar	52
4.5.2	Vattenanalyser.....	54
4.5.3	Övriga observationer	61
4.6	Diskussion och slutsats.....	62
5	Nederbörd	63
5.1	Omfattning	63
5.2	Insamlingslokal och provtagningsschema.....	63
5.3	Utrustning.....	64
5.4	Utförande.....	64
5.4.1	Provtagning	64
5.4.2	Analyser	65
5.5	Resultat.....	66
5.5.1	Fältnätningar	66
5.5.2	Vattenanalyser.....	67
5.6	Diskussion och slutsats.....	71
	Referenser	72
	Appendix	73
A	Data från övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten	73
B	Data från övervakningsprogrammet för ytvatten (hav, sjö och vattendrag).....	73
C	Data från övervakningsprogrammet för gölar	73
D	Data från övervakningsprogrammet för nederbörd	73

1 Introduktion

När platsundersökningarna i Forsmark avslutades i juni 2007 (SKB 2001, SKB 2005a) startade ett mindre provtagningsintensivt övervakningsprogram för ytvatten och ytnära grundvatten (SKB 2007). Provtagning av ytvatten och ytnära grundvatten i detta undersökningsområde har pågått i någon form sedan år 2001 och styrs idag av övervakningsprogrammet.

Det huvudsakliga syftet med övervakningsprogrammet är att samla in långa tidserier som kan användas till att beskriva den naturliga variationen i områdets ytvatten och ytnära grundvatten. Detta för att kunna upptäcka och identifiera eventuella förändringar orsakade av SKB:s aktiviteter i området under byggandet och kommande drift av slutförvaret för kärnavfall. Provtagningspunkter som ingår i programmet visas i Figur 1-1.

Övervakningen av ytnära grundvatten omfattade under 2023 provtagning av vatten från sju jordrör samt två privata brunnar (kapitel 2). Ytvattenprogrammet inkluderade tio provtagningspunkter i havet, fyra provtagningspunkter i sjöar och fyra provtagningspunkter i vattendrag (kapitel 3).



Figur 1-1. Karta över provtagningsområdet med samliga provtagningspunkter som redovisas i denna rapport markerade. I kartan är även kärnbränsleförvarets undermarksdel markerad liksom tillrinningsområdena för vattendragen.

År 2012 grävdes fyra nya småvatten, så kallade gölar, i syfte att skapa nya habitat för gölgröda (*Pelophylax lessonae*). Detta eftersom byggnationen av det planerade slutförvaret innebär att en reproduktionslokal för den rödlistade gölgrödan försvinner. De fyra ersättningshabitaten kompletterades år 2014 med ytterligare två grävda gölar. År 2012 startade ett övervakningsprogram med syftet att följa upp att miljöerna i de nya gölarna passar för gölgrödor som har specifika krav på sin livsmiljö. I programmet ingår även två naturliga gölar som referensobjekt. Övervakningsprogrammet för gölarna omfattar totalt åtta gölar och inkluderar fältmätningar, kemiska vattenanalyser samt fotodokumentation (kapitel 4).

Hydrokemisk övervakning av nederbörd har utförts med syftet att förbättra förståelsen av grundvattenformation och andra hydrogeologiska förhållanden på platsen samt för att bidra till ett mer komplett underlag för uppförandet av en anläggning som är anpassad för berggrunden och dess egenskaper. Det är vidare av betydelse för utvecklingen av säkerhets- och miljökonsekvensbedömningar. Övervakningen av nederbörd omfattade under 2023 provtagning och insamling av nederbörd på en insamlingslokal (kapitel 5).

I detta dokument presenteras resultat från fältmätningar och kemiska vattenanalyser från ytnära grundvatten, ytvatten, gölar och nederbörd samt hur övervakningsprogrammen fortlöpt under perioden januari-december 2023.

I Tabell 1-1 redovisas gällande aktivitetsplan, metodbeskrivningsdokument samt SKB:s interna kontrolldokument. Rådata från provtagningarna läggs in och sparas i SICADA-databasen och är sökbara via aktivitetsplansnummer (AP SFK-23-003, AP SFK-23-004, AP SFK-23-013). Data i SICADA kan revideras utan att det föranleder ändringar i denna rapport. Data som presenteras i denna rapport ska därför betraktas som kopior av rådata och endast data i databasen ska användas till ytterligare tolkningar och modelleringar.

Tabell 1-1. Gällande aktivitetsplan och metodbeskrivningar

Aktivitetsplan	
Hydrokemiskt övervakningsprogram för ytvatten, ytnära grundvatten och gölar 2023.	AP SFK-23-003
Hydrokemiskt övervakningsprogram för nederbörd 2023	AP SFK-23-004
Provtagning och inventering av privata brunnar 2023	AP SFK-23-013
Metodbeskrivning (samtliga dokument interna)*	Nummer
Metodbeskrivning för hydrokemisk provtagning av ytvatten	SKB MB 900.004, ver. 3.0
Metodbeskrivning för hydrokemisk provtagning i grundvattenrör.	SKB MD 425.003, ver. 2.0
Metodbeskrivning för provtagning och analys av nederbörd	SKB MD 423.003, ver. 4.0
Kvalitetsparametrar för kemianalyser – SKB:s kemiklasser, aktuella detektions-, rapporteringsgränser samt mätosäkerheter	SKBdoc id 1494275, ver. 1.0
Provtagningstyper och felkällor	SKBdoc id 1072751, ver. 6.0
Provtagning och provhantering	(SKBdoc id 1063531, ver. 17.0)

* Vattenprovtagning och provtagningsmetodik beskrivs även i SKB PIR-04-09 "Metodik för provtagning av ekologiska parametrar i hav" (SKBdoc id 1266010 ver 1.0, internt dokument), SKB PIR-04-06 (SKBdoc id 1266007 ver 1.0, internt dokument), "Metodik för provtagning av ekologiska parametrar i sjöar och vattendrag", and SKB PIR-04-12, "Översikt över provhanterings- och analysrutiner för vattenprov" (SKBdoc id 1266013 ver 1.0, internt dokument).

2 Ytnära grundvatten

2.1 Omfattning

Under perioden januari-december 2023 ingick provtagning av vatten från sju jordrör vid fyra tillfällen (januari, april, augusti och oktober) under året i övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten. Provtagningarna inkluderade fältmätningar och insamling av vatten för kemiska analyser.

Övervakningsprogrammet omfattade även tre privata dricksvattenbrunnar som provtas vid ett tillfälle under året. Provtagningen omfattade fältmätningar och analys av dricksvattenparametrar.

2.2 Lokaler och provtagningsschema

2.2.1 Jordrör för provtagning av ytnära grundvatten

Provtagningsrören i övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten utgörs av två typer. Enkla jordrör nära borrhälsplatser samt dubbla jordrör där ett av rören är avsett för vattenprovtagning och det andra har en permanent sensor som mäter grundvattentrycket. Samtliga rör är av HDPE-plast.

För båda typerna av rör motsvarar filterdelen den övre och nedre sektionsgränsen (Secup och Seclow) i SICADA-databasen. Sektionsgränserna avser avståndet till rörets topp (Top Of Casing/TOC). Rören som ingår i övervakningsprogrammet redovisas i Tabell 2-1 och deras läge i undersökningsområdet i Figur 2-1.



Figur 2-1. De sju jordrören och de två brunnarnas placering i undersökningsområdet samt i förhållande till det planerade kärnbränsleförvarets undermarksdel.

Tabell 2-1. Jordrör för provtagning av ytnära grundvatten

Id-kod	Kommentar	Rörtyp
SFM0001	Jordrör nära borrhälsplats	Plast
SFM0002	Dubbelrör för kemiprovtagning	Plast
SFM0011	Dubbelrör för kemiprovtagning	Plast
SFM0032	Dubbelrör för kemiprovtagning	Plast
SFM0037	Dubbelrör för kemiprovtagning	Plast
SFM0049	Dubbelrör för kemiprovtagning	Plast
SFM0057	Dubbelrör för kemiprovtagning	Plast

Tabell 2-2. Privata dricksvattenbrunnar. Kommentaren baseras på 2009 års fältinventering

Id-kod	Brunnstyp	Kommentar
PFM000001	Borrad	utanför påverkansomr.
PFM000009	Borrad	innanför påverkansomr.
PFM006382	Borrad	innanför påverkansomr.

2.2.2 Provtagningsschema

Provtagningsschemat för 2023 års provtagning av ytnära grundvatten och privata dricksvattenbrunnar presenteras i Tabell 2-3. Insamling av provvatten och analyser genomfördes enligt SKBs analysprogram D för ytnära grundvatten och enligt analysprogram E för de privata dricksvattenbrunnarna. För mer detaljer om analysprogrammen se aktivitetsplan AP SFK-23-003.

Tabell 2-3. Provtagningsschema för januari-december 2023

År	Månad	Vecka	Provtagningsobjekt	Analysprogram
2023	januari	3–4	Jordrör	D
2023	april	16–17	Jordrör	D
2023	augusti	32–33	Jordrör	D
2023	oktober	41–42	Jordrör	D
2023	september	-	Privata brunnar	E

2.3 Utrustning

2.3.1 Provtagningsutrustning

För provtagning av grundvatten från jordrören användes dränkbara pumpar (12V, Awimex) som sänktes ned i rören. På pumpen satt en 5–10 m lång polyamidslang (Tecalan) med en diameter på 8 mm och pumpen var kopplad till en batterienhet (figur 2-2). Batterienheten hade en regulator som gjorde det möjligt att justera vattenflödet. Pumpningshastigheten anpassas efter tillrinningen i respektive rör men bör inte överstiga 0,5 liter per minut.

För filtrering av provvatten till vissa analyser användes engångsfilter (0,45µm) som monterades på 60 ml sprutor.

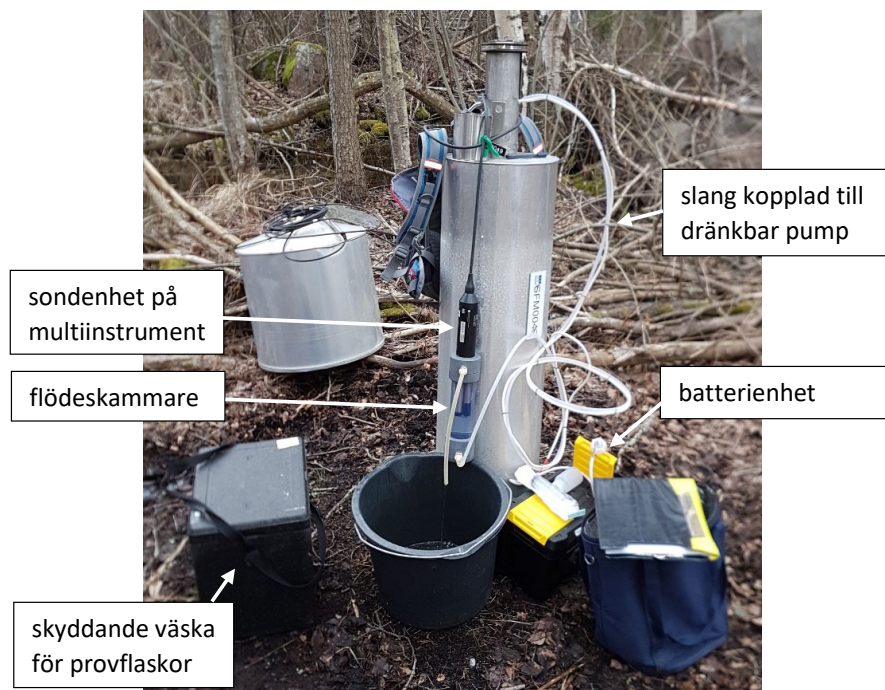
Ingen provtagningsutrustning behövdes för provtagning av de privata brunnarna då provvatten erhöles från befintliga brunnskranar anslutna innan vattnet passerat genom eventuella dricksvattenfilter.

2.3.2 Multiinstrument

Fältmätningar utfördes med ett multiinstrument, YSI Pro DSS. Instrumentet består av en enhet med flera mätsonder. Mätning sker i en flödeskammare som kopplas på slangen (Figur 2-2). Sondenheten är kopplad till en handenhet för manuell loggning och kontroll av data i fält.

Fältmätningarna i ytnära grundvatten inkluderade pH, vattentemperatur, syrgas, ORP (redoxpotential) och konduktivitet.

Fältmätningar för de privata brunnarna utfördes med fältinstrumentet Hach HQ40D och inkluderade pH, vattentemperatur och konduktivitet.



Figur 2-2. Provtagning av jordrör med pumpenhet och multiinstrument som gör fältmätningar i flödeskammare.

2.4 Utförande

2.4.1 Provtagningsförberedelser

Innan provtagning märktes provflaskor och provrör med förprintade etiketter. Salpetersyra tillsattes till provflaskan för analys av spårelement samt till två arkivflaskor. Saltsyra tillsattes till provflaskan för järnanalys. De märkta provbehållarna packades därefter per provtagningsobjekt i skyddande väskor, och väskan märktes med provtagningsobjektets id-kod och provnummer. För att undvika kontaminering packades flaskor med syra i en separat påse som transporterades utanför den skyddande väskan. Pumpar diskades med fosfatfritt diskmedel och sista sköljningen gjordes med avjonat vatten. Pumpar, och övrig provtagningsutrustning, förvarades och transporterades i skyddande väskor. Multiinstrumentet kalibrerades enligt tillverkarens anvisningar.

2.4.2 Provtagning och fältmätning

Ytnära grundvatten provtogs generellt enligt följande beskrivning. Röret öppnades och eventuell mätsond togs upp varefter grundvattennivån bestämdes med klucklod. Tid för öppning av rör samt grundvattennivån noterades i fältprotokollet. Baserat på grundvattennivå samt rörets djup och diameter beräknades omsättningsvolym. Generellt omsattes vattnet i röret fem gånger innan provtagning. Vid långsam vattentillrinning kunde mindre volymer omsättas, dock alltid minst tre gånger vattenvolymen i röret.

Flödeskammaren monterades på multiinstrumentets sondenhet och pumpen sänktes ned i röret till provtagningsdjup strax ovanför filtrets övre gräns. Pumpslangen kopplades till flödeskammaren så att kammaren fylldes och utflödet samlades upp i en litergraderad hink. Utflödet kontrollerades för bubblor och flödeskammarens tätning till sondenheten justerades vid behov för att minimera mängden bubblor. Pumphastigheten justerades för att vara max 0,5 liter per minut. Omsättningsvolymen mättes med hjälp av hinken. Hinken tömdes minst tio meter från röret. Start- och stopptid för omsättningspumpningen, samt omsatt volym, noterades i fältprotokollet.

Multiinstrumentet sattes på under omsättningspumpningen, minst tio minuter innan mätning. Mätning utfördes efter avslutad omsättningspumpning och när värdena bedömts vara stabila. En grov bedömning av värdenas rimlighet gjordes direkt i fält och tiden för mätning noterades i protokollet.

Provtagaren förberedde sig sedan genom att ta på engångshandskar innan den skyddande väskan öppnades och provflaskorna hanterades. Alla provflaskor och rör, utom de med syratillsats, sköljdes tre gånger med provvatten innan provtagning. De fylldes enligt instruktion från platslaboratoriet. Filtrering av provfraktioner utfördes i fält med engångsfilter (0,45µm) monterade på en 60 ml spruta. Varje nytt filter sköljdes med provvatten innan provtagning. Provfraktioner som filtrerades är huvudkomponenter, spårelement, järn, närsalter och DOC/DIC. Till provflaskor för analys av svavelväte tillsattes 0,5 mL NaOH och 0,5 mL ZnAc med engångspipetter i fält. Efter hantering av NaOH och ZnAc bytte provtagaren engångshandskar. Provflaskor med tillsatt syra fylldes sist, när övriga provflaskor var klara och den skyddande väskan stängts.

Efter provtagningen mättes återigen grundvattennivån i röret med klucklod, varefter eventuell mätsond återfördes innan röret stängdes. Uppmätt grundvattennivå och tid för stängning noterades i protokollet.

Privata brunnar provtogs direkt från befintliga tappkranar anslutna innan vattnet passerat eventuella filter. Innan provtagning togs smuts, som kan rinna ner och kontaminera flaskorna, bort från kranen. För att få bort eventuellt stående vatten i slangar omsattes vattnet genom att låta det rinna under några minuter innan provflaskorna sköljdes och fylldes enligt instruktion. Ingen filtrering utfördes i fält och flaskorna hanterades med engångshandskar.

2.4.3 Provhantering och analys

Mätningar/analyser av pH(lab), konduktivitet (lab) och alkalinitet samt spektrofotometriska analyser av total järnkoncentration och Fe(II) utfördes inom 24 h på platslaboratoriet.

2.4.4 Avvikelser

Provtagningen under perioden januari-december 2023 genomfördes som planerat med enstaka, mindre kommentarer. I Tabell 2-4 redovisas vilka jordrör och privata brunnar som provtagits under 2023 samt vilka veckor provtagningen utförts.

Provtagning genomfördes endast i två av totalt tre planerade privata brunnar på grund av otillgänglighet till PFM000001. Provtagningen genomfördes även i augusti i stället för september.

Tabell 2-4. Provtagning (objekt och tidpunkt) under perioden januari-december 2023 (X = insamlat prov)

Id-kod	Vecka/År					Totalt antal tillfällen
	4/23	16/23	33/23	32/23	42/23	
Jordrör						
SFM0001	X	X	X	-	X	4
SFM0002	X	X	X	-	X	4
SFM0011	X	X	X	-	X	4
SFM0032	X	X	X	-	X	4
SFM0037	X	X	X	-	X	4
SFM0049	X	X	X	-	X	4
SFM0057	X	X	X	-	X	4
Privata brunnar						
PFM000001	-	-	-	-	-	0
PFM000009	-	-	-	X	-	1
PFM006382	-	-	-	X	-	1
Totalt	7	7	7	2	7	30

I april analyserades inte TOC och DOC pga. analystekniska problem. Analystekniska problem i oktober innebar även att Fe för rör SMF0049 analyserades 22 timmar efter provtagning.

Fältmätningarna av syrekonzentration och löst syre i jordrören gav i januari och april negativa värden trots upprepade kalibreringar och byte av syresond. Negativa värden har ändrats till 0 i SICADA och appendix. I Sicada har ändrade värden kommenterats för framtida spårbarhet.

2.5 Resultat

Resultat från provtagning av jordrör presenteras nedan och i appendix A. Resultat från de privata brunnarna redovisas endast i appendix A, tabell A-6.

2.5.1 Fältmätningar

Resultaten från fältmätningarna av pH, konduktivitet, löst syre, syremättnad, vattentemperatur och redoxpotential (ORP) redovisas i tabell A-1 i appendix A.

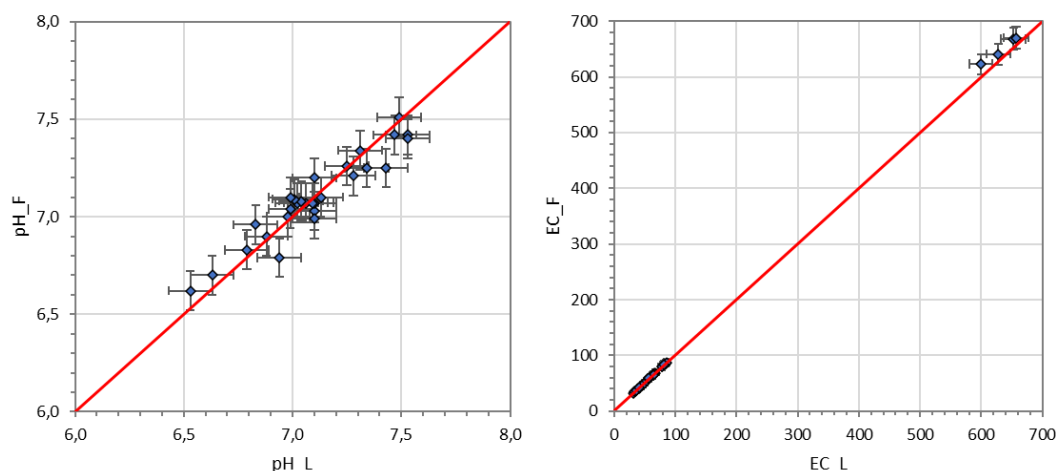
pH-mätningar

Fältmätningarna av pH korrelerar väl med motsvarande laboratoriemätningar på det insamlade vattnet. Fältmätt pH plottat mot laboratoriemätt pH visar god överensstämmelse (Figur 2-3). De avvikelser som syns kan sannolikt förklaras av olika vattentemperatur i fält och på insamlat vatten samt tidsskillnaden mellan fält- och laboratoriemätningar.

Konduktivitet

Fältmätningarna av konduktivitet korrelerar väl med motsvarande laboratoriemätningar på insamlat vatten. Fältmätt konduktivitet plottat mot laboratoriemätt konduktivitet visar mycket god överensstämmelse (Figur 2-3).

De högsta konduktivitetsvärdena uppmättes i grundvattnet från rör SFM0011. Konduktiviteten i rör SFM0011 var över 600 mS/m vid samtliga fyra mättillfällen under 2023. I övriga rör var konduktiviteten under 100 mS/m. Rör SFM0011 hade även de högsta pH-värdena.



Figur 2-3. Vänster: Värden för pH mätt i fält (pH_F) i förhållande till pH mätt på laboratorium (pH_L). Höger: Värden för konduktivitet mätt i fält (EC_F) i förhållande till konduktivitet mätt på laboratorium (EC_L). Fältvärden mätts vid rådande temperatur och värden på laboratorium vid 25° C. Felstaplarna visar mätosäkerheten.

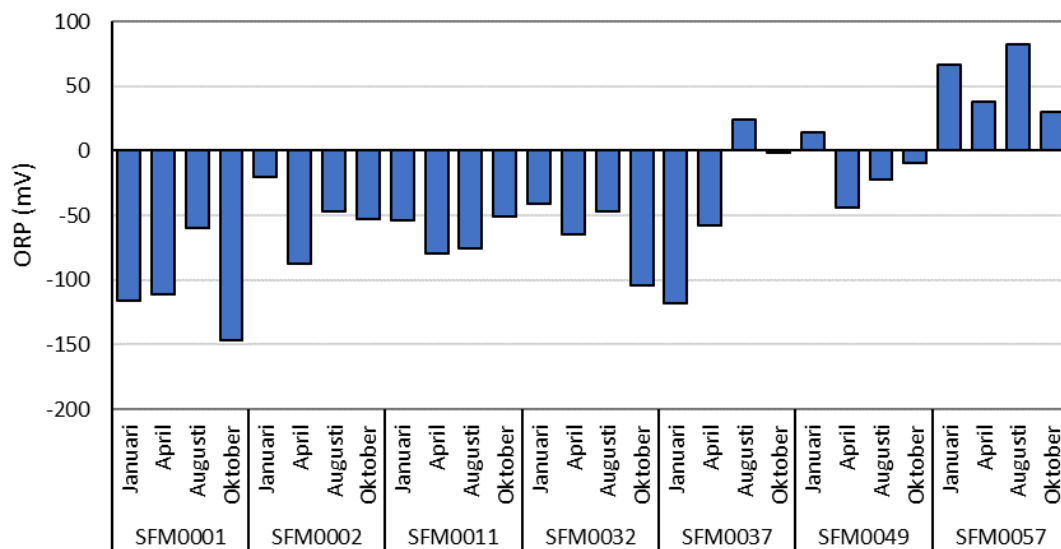
Löst syre

En tidigare indikation på generellt högre syrevärden i rör SFM0037 jämfört med övriga sex rör stöds inte av resultaten från fältmätningar under 2023. Under 2020, 2021 och 2022 uppmättes de högsta syrevärdena i rör SFM0037. Under 2023 uppmättes högre värden även i SFM0002, SFM0011 och SFM0051 under oktoberprovtagningen.

Under de åren 2020–2022, har negativa syrevärden ofta uppmätts i det ytnära grundvattnet. Under 2023 var samtliga fältmätta syrevärdena (mg/l och %) i januari och april negativa i det ytnära grundvattnet trots frekvent kalibrering av sonder enligt tillverkarens anvisningar. De negativa värdena redovisas som nollvärden i SICADA och i tabell A-1, appendix A.

ORP-mätningar och redox-förhållanden

Redoxpotential (ORP) är ett mått på balansen mellan oxiderande och reducerande ämnen. Av de sju provtagna jordrören särskiljer sig SFM0057 med en positiv ORP vid samtliga fyra mättillfällen (Figur 2-4). I de övriga sex jordrören som provtogs under 2023 uppmättes positiv ORP endast vid ett tillfälle i SFM0037 respektive SFM0049.



Figur 2-4. ORP mätt i fält under januari, april, augusti och oktober i de sju jordrör som provtogs inom övervakningsprogrammet under 2023.

2.5.2 Vattenanalyser

Data från vattenanalyserna av insamlat ytnära grundvatten från jordrören redovisas i tabellerna A-2, A-3, A-4 och A-5 i appendix A.

Huvudkomponenter

Vattenanalyserna av huvudkomponenter i ytnära grundvatten omfattar Na, K, Ca, Mg, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$, Br, F, Si, Fe, Fe tot, Fe(II), Mn, Li, Sr, S₂ och I samt även pH och konduktivitet. Data från analyserna av huvudkomponenter redovisas i tabell A-2, appendix A.

Jonbalansen (Relativ Charge Balance error, RCB) ger en indikation på analyskvalité och mätosäkerhet och beräknades enligt följande ekvation (2-1):

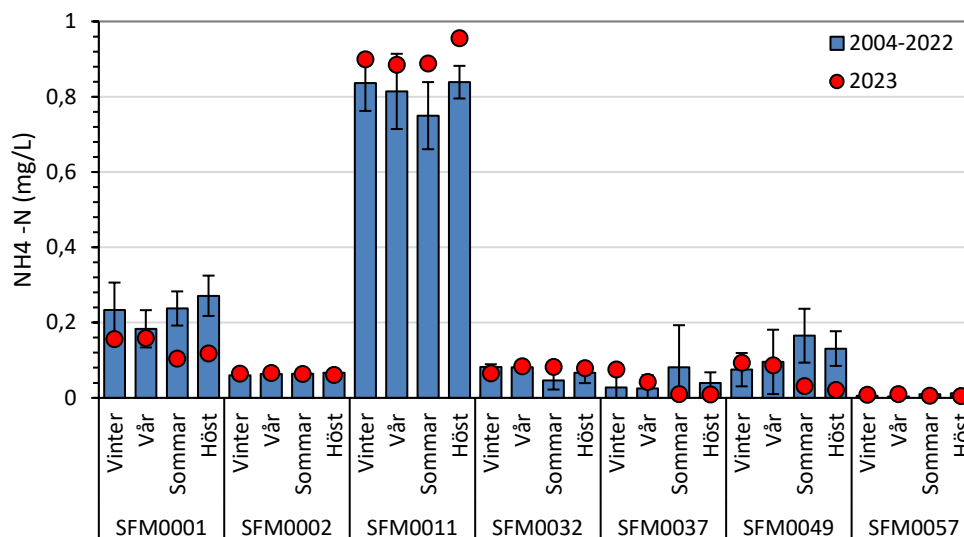
$$\text{rel. error (\%)} = 100 \times \frac{\sum \text{katjon (ekvivalenter)} - \sum \text{anjon (ekvivalenter)}}{\sum \text{katjon (ekvivalenter)} + \sum \text{anjon (ekvivalenter)}} \quad (2-1)$$

Relativa fel inom 5 % anses vara acceptabla för grundvatten. Under 2023 låg endast ett utanför gränsen på 5 %. Det relativa felet låg på 5,30 för oktoberprovet från jordrör SFM0049. Under 2022 togs de åtta prov med relativa fel större än 5 % under augusti- och oktoberprovtagningarna. Dubbelprov, som analyseras av ett annat laboratorium eller med en annan metod, tas regelbundet för några av huvudkomponenterna för att ytterligare kontrollera analysernas tillförlitlighet. Denna kontrolldata redovisas inte i rapporten men kan sökas ut i SICADA.

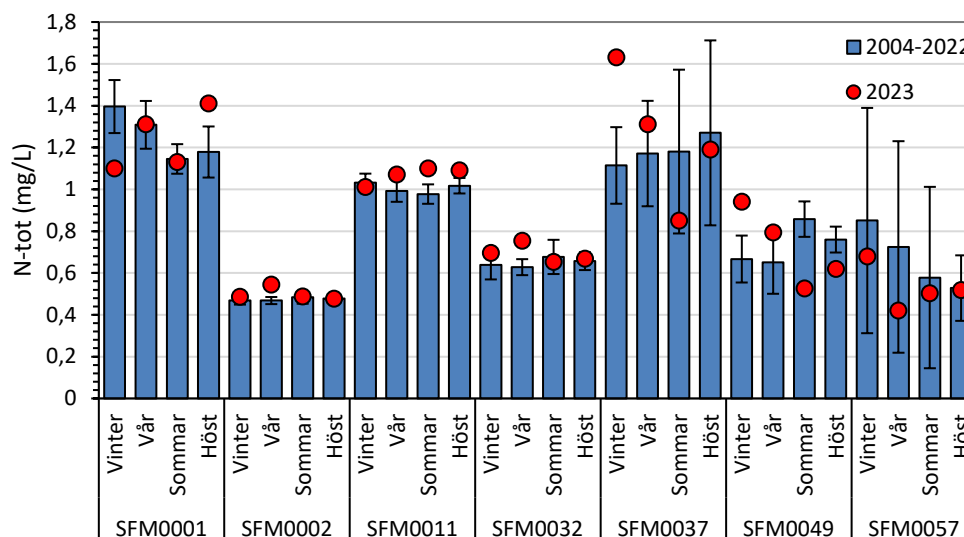
Ytvatten komplement

Analyser av ytnära grundvatten i jordrör inkluderar ytvattentilläggen ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitritkväve ($\text{NO}_2\text{-N}$), summa nitrit-nitratkväve ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), totalkväve (N-tot), totalfosfor (P-tot), fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), kisel ($\text{SiO}_2\text{-Si}$), totalt organiskt kol (TOC), löst organiskt kol (DOC) och löst inorganiskt kol (DIC). TOC och DOC saknas emellertid för aprilproverna år 2023 pga. analystekniska problem.

Resultaten från perioden 2004–2023 visar inga generella årstidstrender i ammoniumkväve-, totalkväve- eller fosfatfosforhalter i det ytnära grundvattnet (figur 2-5abc). Närsaltshalterna kan variera under året beroende på nedbrytningsprocesser och variationer i redoxpotential. Årstidsvariation är mer uttalad i ytvatten men kan även synas i ytnära grundvatten. Resultaten från 2004–2022 indikerar en tendens till högre halter av ammoniumkväve-, totalkväve- och fosfatfosforhalter under sommar- och höstprovtagningar i det grundnära ytvattnet från rör SFM0049 (figur 2-5abc). Under 2023 var det emellertid högre halter under vinter och vår jämfört med sommar och höst.



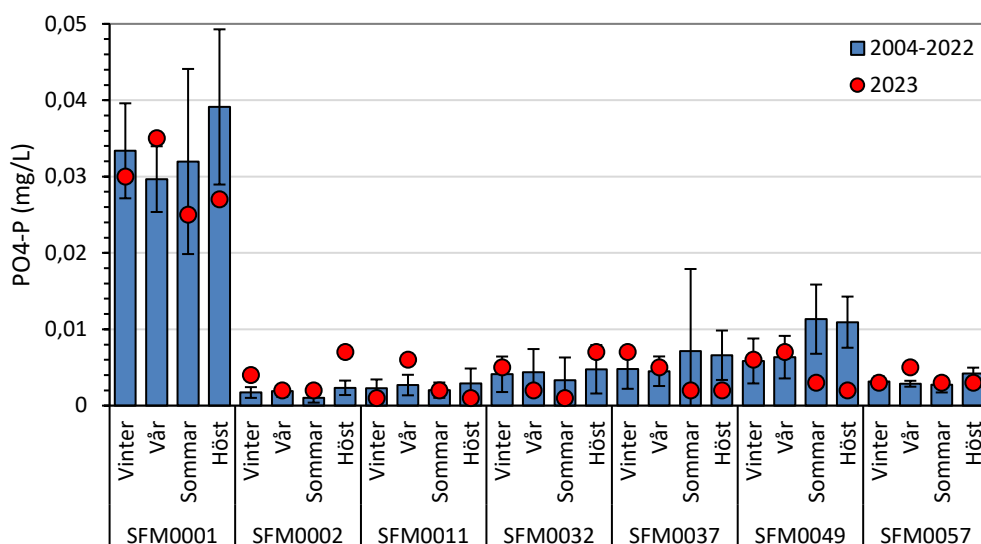
Figur 2-5a. Ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) i de sju jordrören under olika årstider. I graferna visas 2023 års värden (punkter) i förhållande till perioden 2004–2022 (staplar, medelvärde $\pm$ standardavvikelse). Grafen baseras på ett värde per årstid och år för perioden 2004–2023 (rör SFM0001, SFM0032, SFM0037, SFM0049) eller för perioden 2016–2023 (SFM0002, SFM0011, SFM0057). Vinterprover har tagits i januari, vårprover i mars-maj, sommarprover i juli/augusti och höstprover i oktober.



Figur 2-5b. Totalkväve (N-tot) i de sju jordrören under olika årstider. I graferna visas 2023 års värden (punkter) i förhållande till perioden 2004–2022 (staplar, medelvärde $\pm$ standardavvikelse). Grafen baseras på ett värde per årstid och år för perioden 2004–2023 (rör SFM0001, SFM0032, SFM0037, SFM0049) eller för perioden 2016–2023 (SFM0002, SFM0011, SFM0057). Vinterprover har tagits i januari, vårprover i mars-maj, sommarprover i juli/augusti och höstprover i oktober.

Halterna av ammoniumkväve-, totalkväve och fosfatfosfor i det ytnära grundvattnet varierar både mellan rör och mellan år. Rör SFM0002 särskiljer sig från övriga med mycket stabila halter av både ammonium- och totalkväve under hela perioden det röret har provtagits, 2016–2023 (figur 2-5ab).

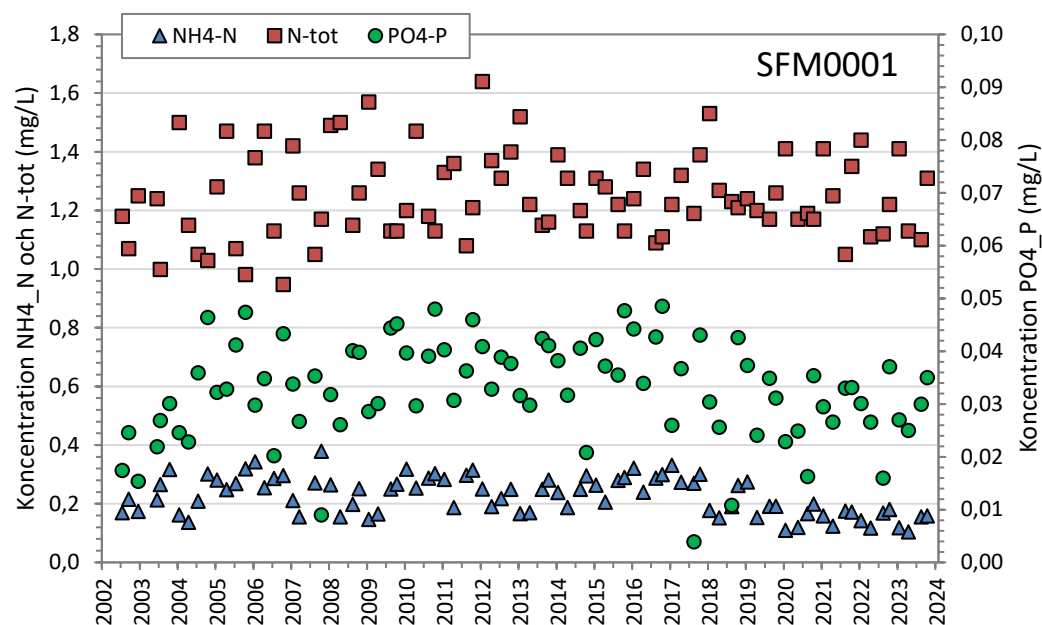
De högsta ammoniumkvävehalterna har konstant uppmätts i ytnära grundvatten från rör SFM0011 (figur 2-5a). Även rör SFM0001 har generellt haft högre värden medan SFM0057 däremot har haft mycket låga koncentrationer.



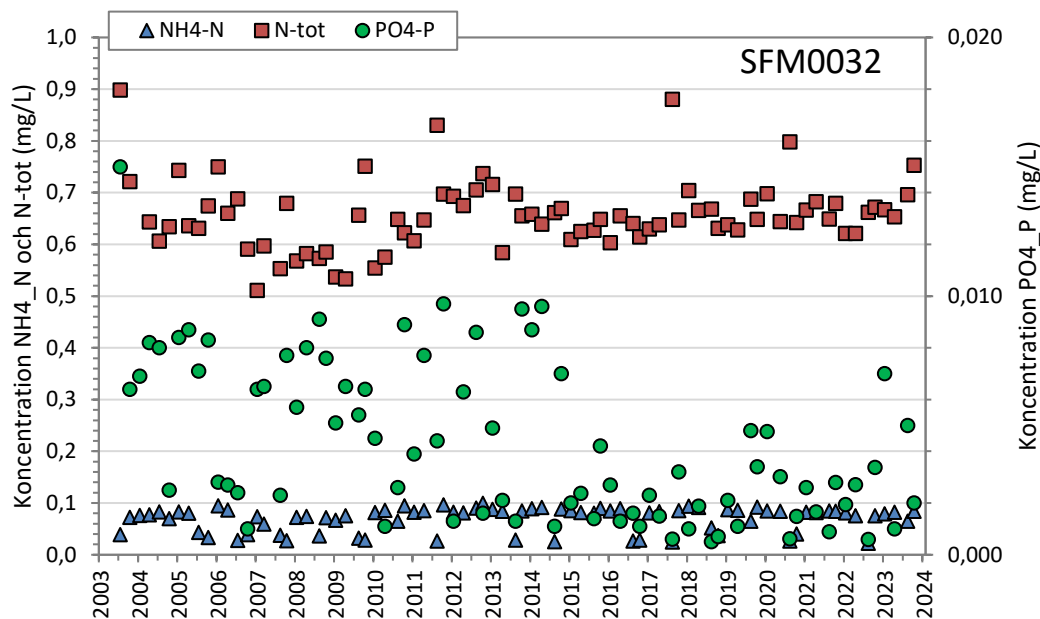
Figur 2-5c. Fosfatfosfor ($PO_4\text{-P}$) i de sju jordrören under olika årstider. I graferna visas 2023 års värden (punkter) i förhållande till perioden 2004–2022 (staplar, medelvärde $\pm$ standardavvikelse). Grafen baseras på ett värde per årstid och år för perioden 2004–2023 (rör SFM0001, SFM0032, SFM0037, SFM0049) eller för perioden 2016–2023 (SFM0002, SFM0011, SFM0057). Vinterprover har tagits i januari, vårprover i mars-maj, sommarprover i juli/augusti och höstprover i oktober.

Rören SFM0001 och SFM0011 har även, tillsammans med rör SFM0037 generellt haft högre halter av totalkväve jämfört med rören SFM0002, SFM0032 och SFM0049 (figur 2-5b). Rör SFM0057 har haft stor mellanårsvariation i totalkvävehalter under perioden det röret har provtagits, 2016–2023. Även rör SFM0037 har haft relativt stor mellanårsvariation i totalkvävehalter.

Rör SFM0001 särskiljer sig dessutom från övriga rör med avseende på fosfatfosfor (figur 2-5c). Grundvattnet från rör SFM0001 har konstant haft betydligt högre koncentrationer av fosfatfosfor jämfört med de övriga rören.

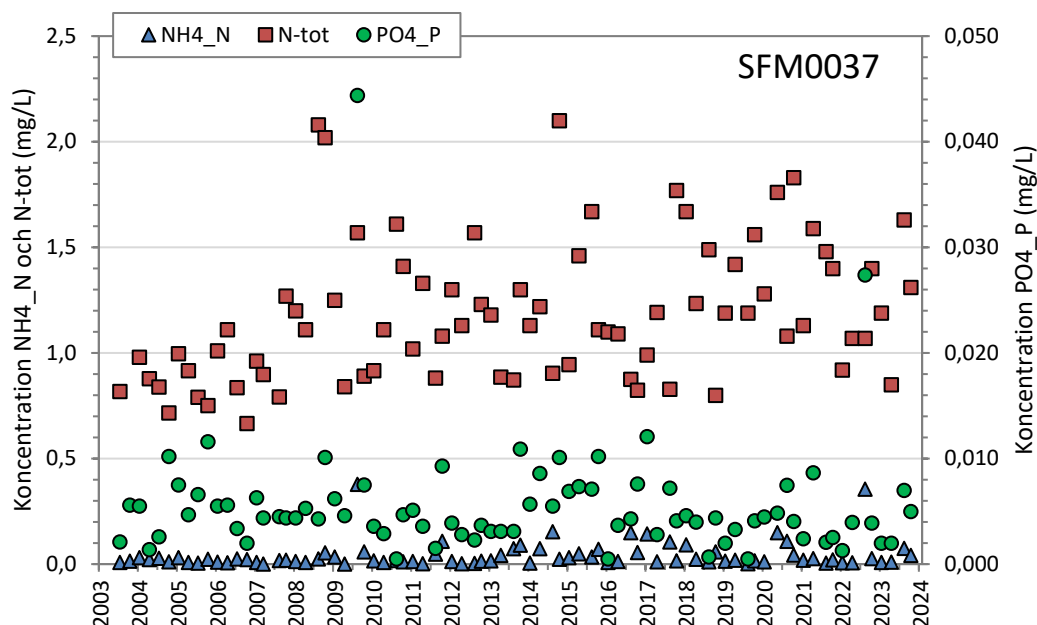


Figur 2-6a. SFM0001. Ammoniumkväve ($NH_4\text{-N}$), totalkväve ($N\text{-tot}$) och fosfatfosfor ($PO_4\text{-P}$) under perioden 2002–2023. I graferna visar vänster y-axeln koncentration $NH_4\text{-N}$ och $N\text{-tot}$ (mg/l) och höger y-axel koncentration $PO_4\text{-P}$ (mg/l).

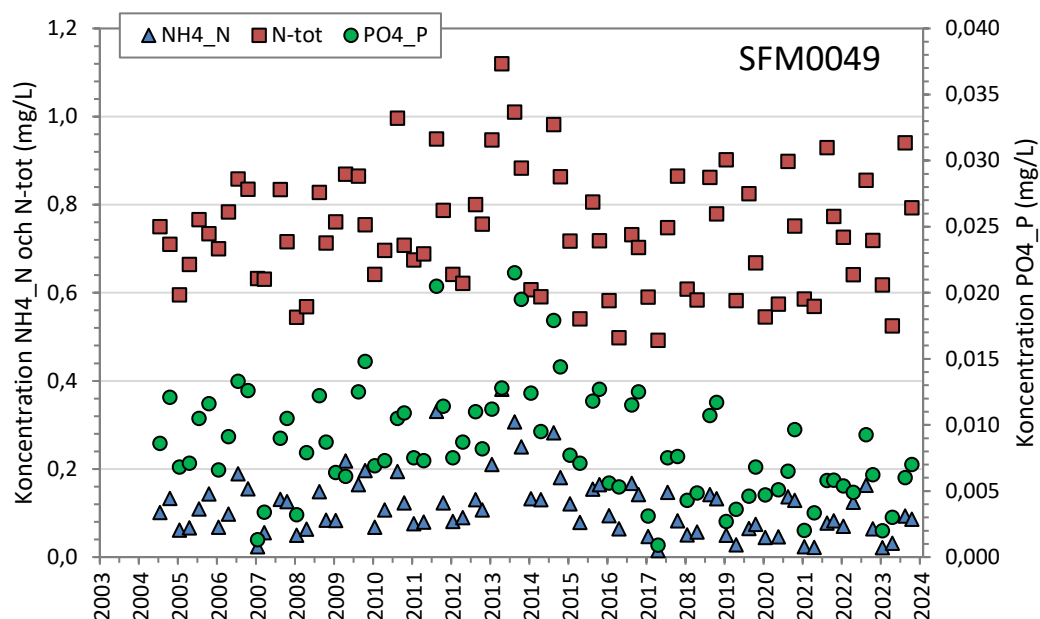


Figur 2-6b. SFM0032. Ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), totalkväve (N-tot) och fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) under perioden 2003–2023. I graferna visar vänster y-axeln koncentration $\text{NH}_4\text{-N}$ och N-tot (mg/l) och höger y-axel koncentration $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l).

Grundvattnet i rör SFM0001 har haft likartade koncentrationer av ammoniumkväve, totalkväve och totalfosfor under perioden 2002–2023 (figur 2-6a). I rör SFM0032 syns däremot en kraftig minskning av fosfatfosforhalter efter 2015 (figur 2-6b). De högre totalkvävehalter som då och då uppmätts i SFM0032 har främst förekommit under sommarprovtagningen i juli/augusti och i juli 2003 uppmättes även en ovanligt hög fosfatfosforhalt.



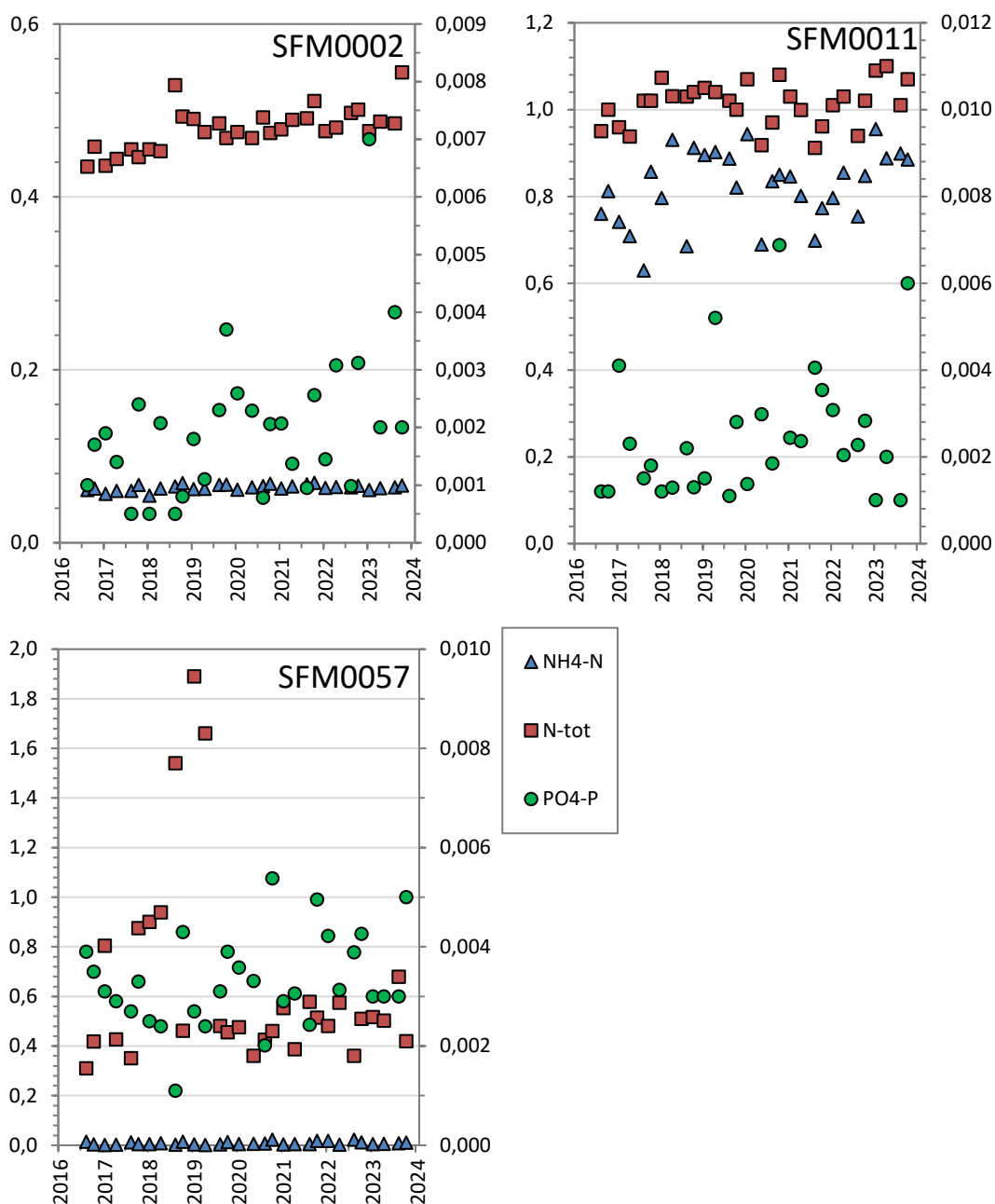
Figur 2-6c. SFM0037. Ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), totalkväve (N-tot) och fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) under perioden 2003–2023. I graferna visar vänster y-axeln koncentration $\text{NH}_4\text{-N}$ och N-tot (mg/l) och höger y-axel koncentration $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l).



Figur 2-6d. SFM0049. Ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), totalkväve (N-tot) och fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) under perioden 2004–2023. I graferna visar vänster y-axeln koncentration $\text{NH}_4\text{-N}$ och N-tot (mg/l) och höger y-axel koncentration $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l).

I rör SFM0037 har ovanligt höga fosfatfosforhalter uppmätts vid två augustiprovtagningar 2009 och 2022 (figur 2-6c). De uppmätta fosfatfosforhalterna 2009 och 2022 var 0,0444 mg/l respektive 0,0274 mg/l jämfört med övriga värden mellan 0,0005–0,0121 mg/l. I SFM0037 kan möjligen också en svag trend mot ökande halt av totalkväve anas.

SFM0049 har haft förhållandevis likartade halter av ammoniumkväve, totalkväve och fosfatfosfor under 2002–2023 (figur 2-6d). Kring år 2013 noterades emellertid tillfälligt högre halter av ammoniumkväve, totalkväve och fosfatfosfor.



Figur 2-6e. SFM0002, SFM0011 och SFM0057. Ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), totalkväve (N-tot) och fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) under perioden 2016–2023. I graferna visar vänster y-axeln koncentration $\text{NH}_4\text{-N}$ och N-tot (mg/l) och höger y-axeln koncentration $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l).

I rör SFM0002 uppmättes en ovanligt hög fosfatfosforhalt i januari 2023, 0,0070 mg/L jämfört med övriga år då halterna legat inom 0,0005–0,0040 mg/L (figur 2-6e). I rörets grundvatten kan även en svag trend mot ökande totalkvävehalter anas under perioden 2016–2023. Även i fosfatfosforhalter finns en svag indikation på ökande halter under perioden. I rör SFM0011 syns inga trender men relativt höga fosfatfosforhalter har uppmätts vid fyra tillfällen, dock både olika år och årstider.

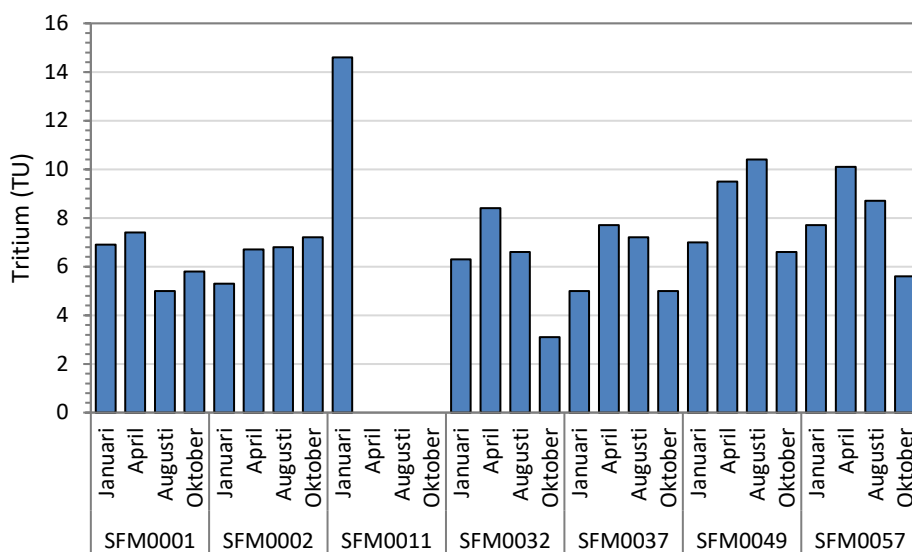
Den stora variationen i årsmedel för totalkvävehalter i rör SFM0057 (figur 2-5b) beror främst på tre ovanligt höga värden i augusti 2018 samt januari och april 2019 (figur 2-6e). I oktober 2018 var halterna på, för röret, normal nivå. Från oktober 2017-april 2018 kan emellertid en ökning anas och det finns även ett relativt högt värde från januari 2017. Efter extremvärdena i början av 2019 har totalkvävekoncentrationen i grundvattnet legat på en stabil normalnivå för röret.

Spårämnen

Analyserna av spårämnen och ovanliga komponenter omfattar Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Hg, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pd, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, Y, Yb, Zn och Zr. Dessa ämnen finns i allmänhet i låga koncentrationer i grundvattnet (tabell A-4 i appendix A).

Isotoper

Isotopanalyserna omfattar den radioaktiva isotopen ^3H (TU) samt de stabila isotoperna δD och $\delta^{18}\text{O}$. Tritiumhalterna (^3H) i det ytnära grundvattnet låg generellt inom intervallet 3,1–10,4 TU under provtagningarna i januari, april, augusti och oktober 2023 (figur 2-7). Undantaget var rör SFM0011 där ett ovanligt högt (14,6 TU) värde uppmättes i januari 2023. Under följande provtagningar i april, augusti och oktober låg värdena i grundvattnet från rör SFM0011 i stället under analysens detektionsgräns på 0,8 TU. Även i augusti 2022 låg tritiumhalten i rör SFM0011 under detektionsgränsen, men det högsta tritiumvärdet rapporterades det året för rör SFM0037. Koncentrationer av deuterium (δD) och oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) redovisas tillsammans med tritium i tabell A-5, appendix A.



Figur 2-7. Tritiumkoncentration i det ytnära grundvattnet från de sju jordrören under 2023. I april, augusti och oktober var tritiumhalten i SFM0011 under rapporteringsgränsen.

2.6 Diskussion och slutsats

Resultaten från 2023 års övervakning av ytnära grundvatten inom övervakningsprogrammet visar inga överraskningar. Rutinerna kring programmets utförande är etablerade och fungerar väl efter många års provtagning, analys och administration. Programmet har löpt på utan större avvikelser eller oväntade händelser.

Jämförelserna av närsaltskoncentrationerna över längre tid indikerar emellertid en förändring i fosfatfosforhalten sedan 2016 i rör SFM0032 och stor variation i totalkvävehalten i rör SFM0057. Detta upptäcktes endast med analyser av längre tidsserier, vilket därför med fördel bör göras regelbundet även för övriga ämnen i syfte att följa grundvattnets sammansättning.

3 Ytvatten

3.1 Omfattning

Provtagning och analyser av ytvatten i Forsmarksområdet startade år 2002 under platsundersökningsfasen. Efter platsundersökningarna fortsatte ett övervakningsprogram för ytvatten. Programmet fokuserade på det prioriterade området i nordvästra delen av undersökningsområdet i Forsmark (SKB 2005b). Programmet reviderades och modifierades under 2010. Förändringarna innebar minskad provtagningsfrekvens på provtagningspunkter i sjöar och hav samt färre isotopanalyser, men även utökad provtagning av miljömetaller på provpunkter i vattendragen. Miljömetaller ingår från och med 2010 vid varje provtagningsstillfälle. År 2016 tillkom sex havspunkter, vilka kompletterades med ytterligare en år 2020. Från och med 2016 ingår även provpunkten vid kylvattenutloppet (Biotesten) i samma omfattning som övriga punkter, tidigare togs endast tritiumprov på punkten.

Provtagningarna inom övervakningsprogrammet för ytvatten omfattar fältmätningar och insamling av vatten för kemiska analyser.



Figur 3-1. Vinterprovtagning på sjö.

3.2 Lokaler och provtagningsschema

I övervakningsprogrammet ingår tio provpunkter i havet, fyra i sjöar och fyra i vattendrag (Figur 3-2, Tabell 3-1). Omfattningen varierar mellan provtagningsstillfällena. Provpunkterna i de fyra vattendragen samt en punkt i havet (PFM102269 vid utloppet av Biotestsjön) provtas vid elva tillfällen (en gång per månad, utom i juli). Vid dessa tillfällen genomförs även fältmätningar på en provpunkt i sjön Norra bassängen (PFM000097). Punkterna i de övriga tre sjöarna provtas en gång per årstid, dvs. vid fyra tillfällen (januari, april, augusti och oktober). Sju av de övriga havspunkterna besöks en gång per månad, med undantag för juli, under perioden april till oktober, dvs. vid sex tillfällen. Havspunkten PFM000062 i Asphällsfjärden samt provpunkt PFM000082 i hamnen provtas utöver detta även i januari. Provtagningsschema visas i tabell 3-2a och 3-2b. I aktivitetsplanen AP SFK-23-003 finns detaljer om analysprogrammet.



Figur 3-2. Karta över provtagningspunkter för ytvatten i vattendrag, sjöar och hav. I kartan är även det planerade kärnbränsleförvarets undermarksdell markerad liksom tillrinningsområdena för vattendragen.



Figur 3-3. På väg tillbaka till stranden efter provtagning av provpunkt PFM000074 i januari 2023 då sjön Labboträsket hade is som delvis bar.

**Tabell 3-1. Lokaler för provtagning av ytvatten uppdelat i hav, sjö och vattendrag.
Koordinater är angivna i SWEREF99 E, N**

Lokaler	Koordinater	Lokalnamn	Kommentar
Hav			
PFM000062	16 09 53, 66 98 857	SV Forslingens grund	
PFM102269	16 05 64, 67 02 678	Kylvattenutsläpp, Biotestsjön	Före augusti 2016 endast kontroll av tritiumförorening.
PFM000082	16 49 90, 66 96 874	Hamnen	Första provtagningen i juni 2022.
PFM000083	16 49 90, 66 96 874	Kallrigafjärden	Första provtagningen i oktober 2016.
PFM000084	16 42 79, 66 92 581	Olandsån	Första provtagningen i oktober 2016.
PFM007783	16 04 93, 67 00 992	Uppströms böjen, Biotestsjön	Första provtagningen i oktober 2016.
PFM007910	15 76 78, 67 01 680	Skaten-Rångsenomr.	Första provtagningen i augusti 2017.
PFM007911	15 76 61, 67 01 917	Skaten-Rångsenomr.	Första provtagningen i augusti 2017.
PFM007912	15 78 36, 67 03 539	Skaten-Rångsenomr.	Första provtagningen i augusti 2017.
PFM008211	17 09 30, 66 97 058	Öregrundsgrepen	Första provtagningen 2020.
Sjö			
PFM000074	15 88 47, 66 97 715	Labboträsket	
PFM000097	16 08 22, 66 98 124	Norra bassängen	Endast fältnätningar
PFM000107	16 11 26, 66 97 329	Bolundsfjärden	
PFM000117	16 08 62, 66 95 372	Eckarfjärden	
Vattendrag			
PFM000066	15 83 26, 66 97 403	Öster Gunnarsboträsket	
PFM000068	16 06 11, 66 96 998	Kungsträsket	
PFM000069	16 04 70, 66 96 707	Bolundsskogen	
PFM000070	16 09 84, 66 95 569	Norr Eckarfjärden	

Tabell 3-2a. Provtagningschema för ytvatten under perioden januari-december 2023. X= provtagning

Månad	Hav										Sjö				Vattendrag			
Lokal	PFM000062	PFM102269	PFM000082	PFM000083	PFM000084	PFM007783	PFM007910	PFM007911	PFM007912	PFM008211	PFM000074	PFM000097	PFM000107	PFM000117	PFM000066	PFM000068	PFM000069	PFM000070
Januari	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Februari	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X
Mars	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X
April	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Maj	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X
Juni	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X
Juli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Augusti	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
September	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X
Oktober	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
November	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X
December	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X

Tabell 3-2b. Provtagningschema för ytvatten under perioden januari-december 2023. Analysprogram A = utökad provtagning, B = normal provtagning, C = endast fältmätning och F = hamnprovtagning. I aktivitetsplanen AP SFK-23-003 finns detaljer om analysprogrammen

Månad	Vecka	Analysprogram	Kommentar
Januari	3-4	ACF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
Februari	7	BC	C gäller endast PFM000097
Mars	11	BC	C gäller endast PFM000097
April	14, 17	ACF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
Maj	20	BCF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
Juni	26	BCF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
Juli	-	-	ingen provtagning
Augusti	32	ACF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
September	36	BCF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
Oktober	41-42	ACF	C gäller PFM000097, F gäller PFM000082
November	45	BC	C gäller endast PFM000097
December	49	BC	C gäller endast PFM000097

3.3 Utrustning

3.3.1 Provtagningsutrustning

För provtagning av ytvatten användes en slangpump (peristaltisk pump, Solinst modell 410). Pumpen var monterad på en cirka 4 m lång teflonslang (FEP 140) med en innerdiameter på 5 mm. Pumphastigheten var justerbar med ett reglage. Pumpsystemet visas i Figur 3-4.

För filtrering av provvatten till vissa analyser användes engångsfilter (0,45 µm) som monterades på 60 ml sprutor.

Ersättningsutrustningen vid utrustningsproblem bestod av vattenkanna för ytvatten och ruttnerhämtare för insamling av djupare vatten.

3.3.2 Multiinstrument

Fältmätningar utfördes med ett multiinstrument, YSI Pro DSS. Instrumentet består av en enhet med flera mätsonder som sänks ned i vattnet. Sondenheten är kopplad till en handenhet för manuell loggning och kontroll av data.

Fältmätningarna i ytvatten inkluderade datum, tid, pH, vattentemperatur (° C), syrgas (mg/l och %), ORP (redoxpotential, mV), konduktivitet (mS/cm), turbiditet (NTU) och djup (m). Turbiditet mäts inte i vattendragen och på punkt PFM000082 i hamnen mättes endast temperatur, pH och konduktivitet.



Figur 3-4. Vårprovtagning av ytvatten med slangpump på en havspunkt. Under fotografiet visas en schematisk bild av pumpenheten.

3.3.3 Övrig fältutrustning

Övrig utrustning inkluderade ett handhållet ekolod (Plastimo, Echotest, LCD digitalt ekolod, mätnöjsäkerhet $\pm 0,05$ m) för att lokalisera provtagningsplats i sjöar och på havspunkter. Siktdjup mättes med siktskiva och vattenkikare. För bestämning av flöde i vattendragen användes ett tidtagningsur och måttband. I hamnen användes en rörhämtare vid provtagning från piren.

3.4 Utförande

3.4.1 Provtagningsförberedelser

Innan provtagning märktes provflaskor och provrör med förprintade etiketter. Salpetersyra tillsattes till provflaskan för analys av spårelement samt till två arkivflaskor. De märkta provbehållarna packades därefter per provtagningsobjekt i skyddande väskor, och väskan märktes med provtagningsobjektets id-kod och provnummer. För att undvika kontaminering packades flaskor med salpetersyra i en separat påse som transporterades utanför den skyddande väskan.

Slangpumpen diskades med syra (0,1 M HCL) och sköljdes med avjonat vatten inför varje provtagningsomgång. På varje provtagningspunkt pumpades provvatten igenom slangen under några minuter innan provtagning. Pump och övrig provtagningsutrustning förvarades och transporterades i skyddande väskor. Multiinstrumentet kalibrerades enligt tillverkarens anvisningar.

3.4.2 Provtagning

Vattenprover insamlades med slangpumpen. På provpunkterna i havet och sjöarna togs vatten från 0,5 m djup och i vattendrag strax under ytan på cirka 0,1 m djup. Vid is på sjöarna togs prov både på 0,5 m djup och 0,5 m från botten, dvs. både ett ytprov och ett bottenprov. Detta för att provta vatten både över och under eventuell skiktning.

Provtagning utfördes enligt följande förfarande: Provtagaren förberedde sig genom att ta på engångshandskar innan den skyddande väskan öppnades och provflaskorna hanterades. Alla provflaskor och rör, utom de med syratillsats, sköljdes en gång med provvatten innan provtagning. De fylldes sedan enligt instruktion från laboratoriet. Filtrering av provfraktioner utfördes i fält med engångsfilter (0,45µm) monterade på en 60 ml spruta. Varje nytt filter sköljdes med provvatten innan provtagning. Provfraktioner som filtrerades är huvudkomponenter, spårelement, järn, närsalter och DOC/DIC. Provflaskor med salpetersyra fylldes sist, när övriga provflaskor var klara och den skyddande väskan stängts.

Tabell 3-3. Djup för fältmätningar på provpunkter i sjö och hav (X = mätning)

Lokaler	Mätdjup (m)									
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Sjö										
PFM000074	X									
PFM000097	X									
PFM000107	X	X								
PFM000117	X	X	X							
Hav										
PFM000062	X	X		X	X					
PFM007910	X	X	X							
PFM007911	X	X		X	X	X	X			
PFM007912	X	X		X	X	X	X	X	X	X
PFM102269	X									
PFM000082	X									
PFM000083	X									
PFM000084	X									
PFM007783	X									
PFM008211	X									

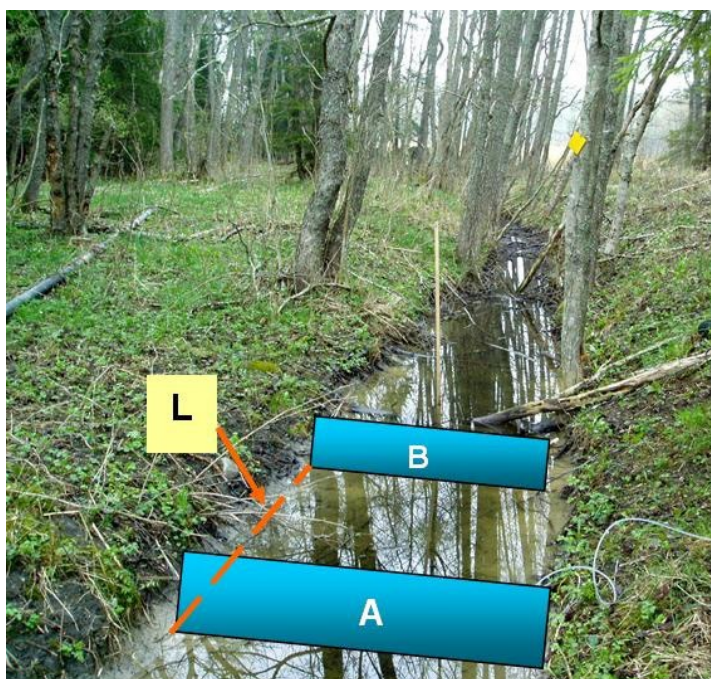
3.4.3 Fältmätning

Parametrarna pH, vattentemperatur (°C), syrgas (mg/l och %), ORP (redoxpotential, mV), konduktivitet (mS/cm), turbiditet (NTU) och djup (m) mättes med multiinstrumentet. På provpunkterna i vattendragen gjordes mätningarna på 0,1 m djup. I sjöarna utfördes mätningarna på 0,5 m djup samt varje halvmeter ned till botten i de två sjöar där djupet översteg 1 m (tabell 3-3). På fem av provpunkterna i havet utfördes fältmätningar endast på 0,5 m djup men på övriga fyra gjordes mätningar på 0,5 m samt varje hel meter ned till botten, utom på den grunda PFM007910 där mätningar gjordes varje halvmeter (tabell 3-3).

Siktdjup mättes med siktskiva och vattenkikare på provpunkter i hav och sjöar. Provpunkterna i vattendragen fotograferades vid varje provtagningstillfälle. Fotografiet tas från samma ställe, i samma riktning varje gång i syfte att underlätta tolkning av data, till exempel dokumenteras om vattendraget är torrlagd, igenväxt och dylikt.

För beräkning av flöde i vattendragen användes en enkel ”flytande flaskan” metod (Johansson 2005). Fältmätningen är ett komplement till instrumentmetoder med permanent installerade flödesmätare. Den enkla metoden utförs genom att uppskatta arean (djup x bredd) på vattenmassan i bäcken i genomskärning (Figur 3-5) och mäta tiden det tar för ett en vattenfylld flaska, som är nära neutral i vattnet, att flyta en bestämd sträcka (L).

Tre mätningar av tiden det tar för flaskan att flyta sträckan görs innan medeltiden (s) divideras med sträckan (m) och multipliceras med area (m²), vilket ger en grov uppskattning av flödet (m³/s).



Figur 3-5. Skiss av den enkla metoden att uppskatta flödet i vattendrag.

3.4.4 Provhantering och analys

Mätningar/analyser av pH(lab), konduktivitet (lab) och alkalinitet samt spektrofotometriska analyser av total järnkoncentration utfördes inom 24 h på platslaboratoriet. Övriga analyser utfördes av externa laboratorier.

3.4.5 Datahantering

Under provtagning användes ett fältprotokoll där datum, tid, provtagare, multiinstrument-id och provnummer noterades. I fältprotokollet noterades även väderobservationer och övriga kommentarer/observationer till provtagningstillfället. Övriga kommentarer/observationer utgjordes främst av iakttagelser som kunde påverka analysresultat och mätvärden.

Fältprotokollens grunddata och provtagningsförhållanden fördes in i SICADA. Även avvikelser från program eller rutiner fördes in i SICADA.

Fältmätningsdata

Den loggade datan från multiinstrumentets handenhet exporterades digitalt till excelfiler som sedan användes för inskrivning i SICADA. Originalfilen samt fotografier och kommentarer om provtagningen sparas i SICADAs filarkiv. Datafilerna (en per provomgång) döptes enligt följande exempel: Vatten_v42_22data.xls. Kommentarsfiler (en per provomgång) döptes enligt följande exempel: Noterat v42-22.doc. Fotografier (fyra per provomgång) sparades med id-koden på provpunkten, till exempel PFM68.

Övrig information och data

Observationer av väderförhållanden och andra parametrar som beskriver provtagningsförhållandena sammanställdes i en separat tabell *Weather_data* i SICADA. Tabellen innehåller information om lufttemperatur, molntäckning, nederbörd, vindriktning, vindstyrka, siktdjup, vattenflöde, vattendjup, snödjup samt istjocklek. Dessa data redovisas inte i denna rapport men kan användas vid analys av data.

3.4.6 Avvikelser

Under provtagningsperioden januari-december 2023 noterades en del avvikelser (tabell 3-4). Flödesmätningar i vattendrag genomfördes inte vid alla planerade tillfällen pga. till exempel is, torrlagda vattendrag eller för mycket vegetation (tabell 4-5). Vid torrlagda vattendrag gjordes heller ingen fältmätning eller provtagning.

Tabell 3-4. Utförda provtagningar (X) samt avvikelser under 2023

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt antal provtillfällen
Hav												
PFM000062	X			X	X	X	X	X	X			7
PFM102269	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
PFM000082	X			X	X	X	X	X	X			7
PFM000083				X	X	X	X	X	X			6
PFM000084				X	X	X	X	X	X			6
PFM007783				X	X	X	X	X	X			6
PFM007910				X	X	X	X	X	X			6
PFM007911				X	X	X	X	X	X			6
PFM007912				X	X	X	X	X	X			6
PFM008211				X	X	X	X	X	X			6
Sjö												
PFM000074	X			X			X		X			4
PFM000097	S	S	S	S	S	S	S4	S	S	S	S2	10
PFM00107	X1			X			X		X			4
PFM00117	X1			X			X		X			4
Vattendrag												
PFM000066	X	X	X	X	X	G	X	X	X	X	X3	10
PFM000068	X	X	X	X	X	GS	X	X	X	X	X3	10
PFM000069	X	X	X	X	X	GS	X	X	X	X	X3	10
PFM000070	X	X	X	X	X	G	X	X	X	X	X3	10
Totalt antal lokaler	11	6	6	18	15	11	18	15	18	6	5	129
1 – yt- och bottenprov pga. is. 2 - ej prov eller mätning pga. svag is. 3 - provtagning m kanna pga. kyla 4 – svårt att få stabila turbiditetsvärden pga. vind GS - torrlagt, endast mätning, ej prov G - torrlagt, ej mätning eller prov												

Tabell 3-5. Avvikelser gällande flödesmätningar i vattendragen

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Antal mätn.
Vattendrag												
PFM000066			C			G					C	8
PFM000068		C	C			G		B			C	6
PFM000069			C			G		F			C	7
PFM000070						G		B			D	8
Antal mätningar	4	3	1	4	4	0	4	1	4	4	0	29
A - blockerat flöde							D - ej mätning pga. delvis is					
B - ej mätning pga. mkt vegetation							F - ej mätning pga. lågt flöde					
C - ej mätning pga. helt is							G - torrlagt, ej mätning eller prov					

Övrigt

- Under året har negativ turbiditet ofta uppmäts, trots omkalibreringar.
- Kisel (SiO₂-Si) saknas för augustiproverna eftersom analysen inte kunde genomföras av externt laboratorium.
- Uranresultat saknas för septemberprovtagningen.
- Tritium saknas för juniprover pga. ifrågasatta analysresultat och ej tillräckligt med vatten för omanalys.

3.5 Resultat

Ytvattenövervakningen under perioden januari-december 2023 omfattade 121 vattenprover och 256 fältmätningar från 18 provpunkter i hav, sjö och vattendrag samt tillhörande fältdokumentation. En del data finns sammanställda i appendix B och all data finns sparad i SICADA där de är sökbara via aktivitetsplansnummer.

Sötvattnet i Forsmarksområdet är välbuffrade med hög alkalinitet, högt pH och höga kalciumhalter. Vatten som periodvis har, eller tidigare har haft, kontakt med havsvatten har dessutom höga natriumkloridkoncentrationer. Kopplingen mellan strandlinjen och saliniteten i vattnet på lokalerna har visats i (Nilsson et al. 2003). En detaljerad utvärdering av ytvattendata från mars 2002 – mars 2004 finns i (Berg et al. 2015) och en sammanställning av resultaten från övervakningsprogrammet för perioden 2005–2009 finns i (Nilsson et al. 2010).

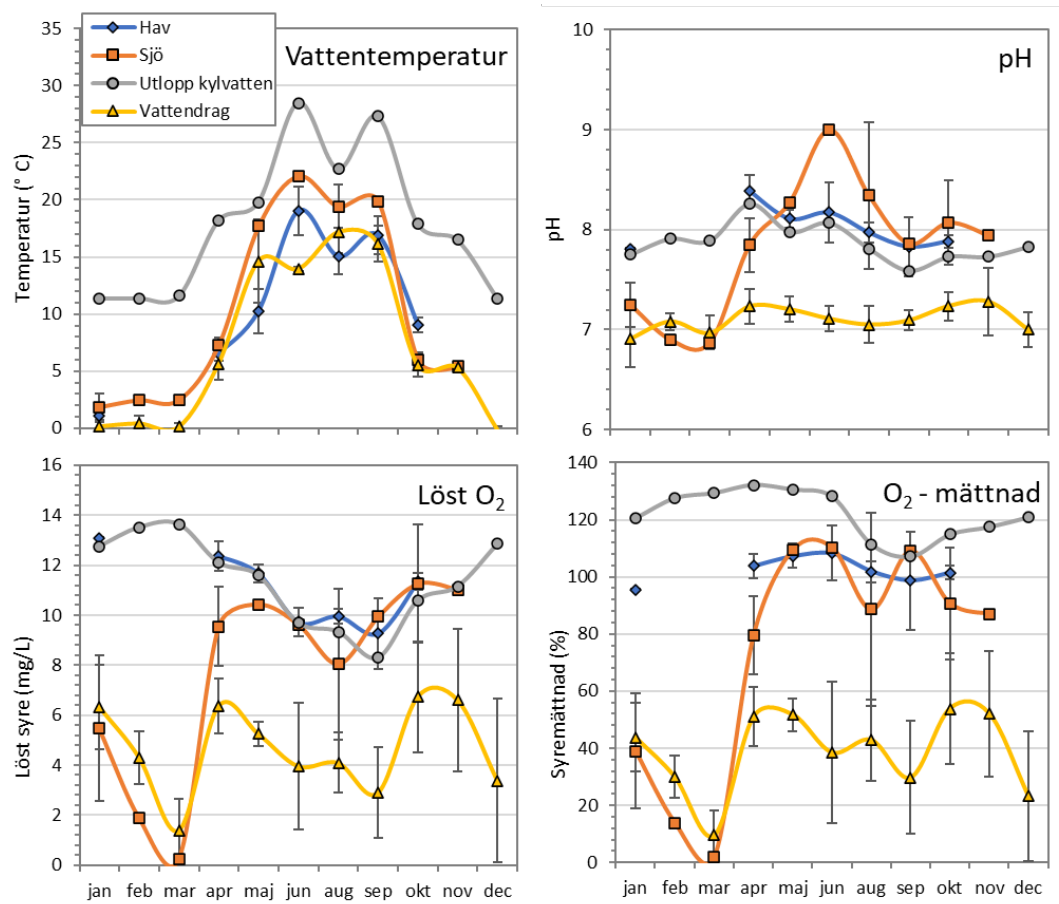
3.5.1 Fältmätningar

Resultaten från fältmätningarna av pH, konduktivitet, löst syre, syremättnad, vattentemperatur och redoxpotential (ORP) redovisas i tabell B-1 i appendix B. Resultaten från de enkla flödesmätningarna redovisas i tabell B-2, appendix B. Flödesmätningarna har låg precision jämfört med instrumentmätt flöde, men är jämförbara med äldre flödesdata vilket gör det möjligt att jämföra äldre flödesdata med nya, instrumentmätta flödesdata. I juni var samtliga vattendrag torrlagda, vilket innebar att inga mätningar eller provtagningar genomfördes.

Vattentemperaturen uppvisar förväntad säsongsvariation under året (figur 3-6). På provpunkten vid kylvattenutloppet var det generellt ca tio grader varmare jämfört med övriga punkter i hav, sjö och vattendrag. Under maj och augusti var det emellertid nästan lika varmt i sjöarna som i kylvattnet.

Störst säsongsvariation i pH noterades i sjöarna där pH varierade mellan 6,80–9,00. Högst pH uppmättes under juni och lägst i februari och mars under 2023. I havet och i vattendragen var säsongsvariationen betydligt mindre, 7,00–8,53 respektive pH 6,53–7,78.

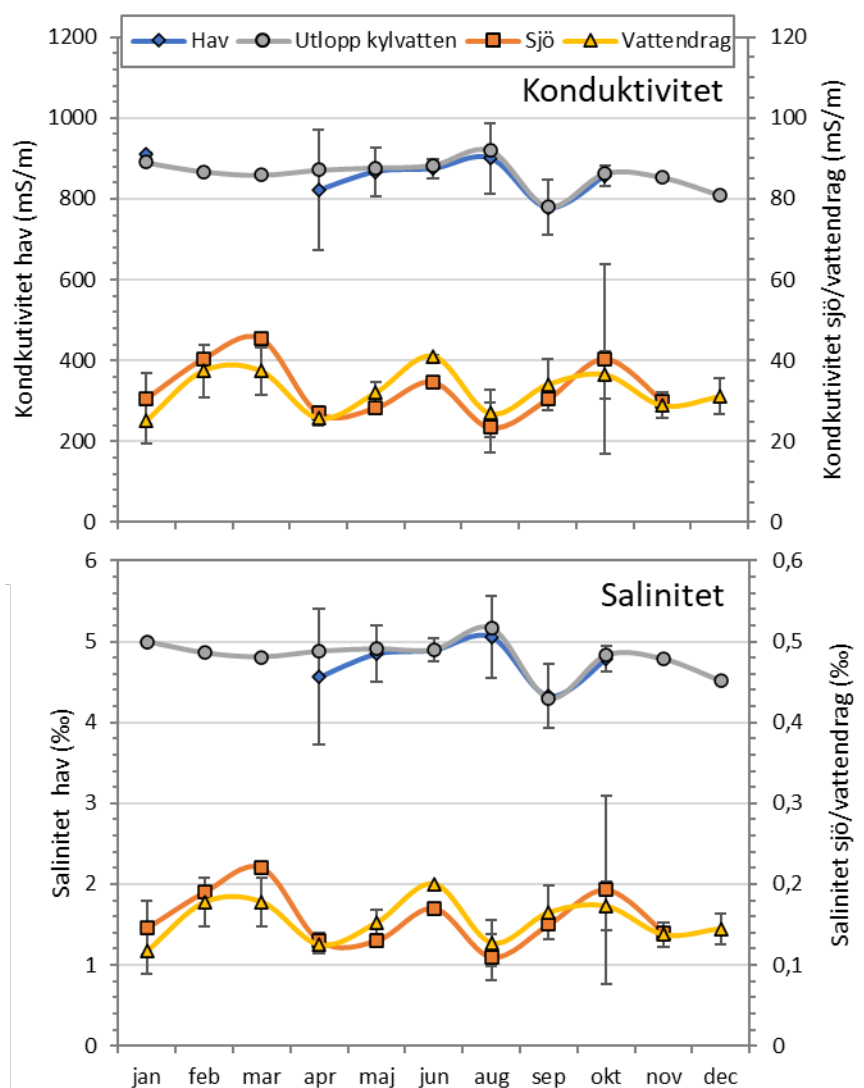
Sjöarna hade även störst säsongsvariationen i mängd löst syre och syremättnad under 2023 (Figur 3-6). Sjöarna som provtas är grunda och har hög vegetationstäckning vilket ger hög syreproduktion under sommarhalvåret.



Figur 3-6. Fältmätt vattentemperatur och pH samt mängden löst syre och syremättnad på provpunkter i hav, sjö och vattendrag (medel ± standardavvikelse), samt i kylvattenutloppet i havet under 2023. Mätningarna har gjorts på 0,5 m djup i hav och sjö samt 0,1 m djup i vattendrag.

Konduktivitet och salinitet är starkt kopplade till varandra och uppvisar generellt liten säsongsvariation (Figur 3-7). På provpunkterna i havet låg salthalten generellt kring 4–5 ‰. Provpunkten (PFM000084) utanför Olandsåns utlopp påverkas emellertid kraftigt av åns vattenföring. Åns påverkan innebar generellt lägre salinitet under 2023 på PFM000084, framför allt under april (0,39 ‰), augusti (2,48 ‰) och september (2,76 ‰). Konduktiviteten på PFM000084 uppvisade ett liknande mönster under 2023 med en variation mellan 79,1–757,6 mS/m jämfört med 753,8–940,1 mS/m på övriga havspunkter.

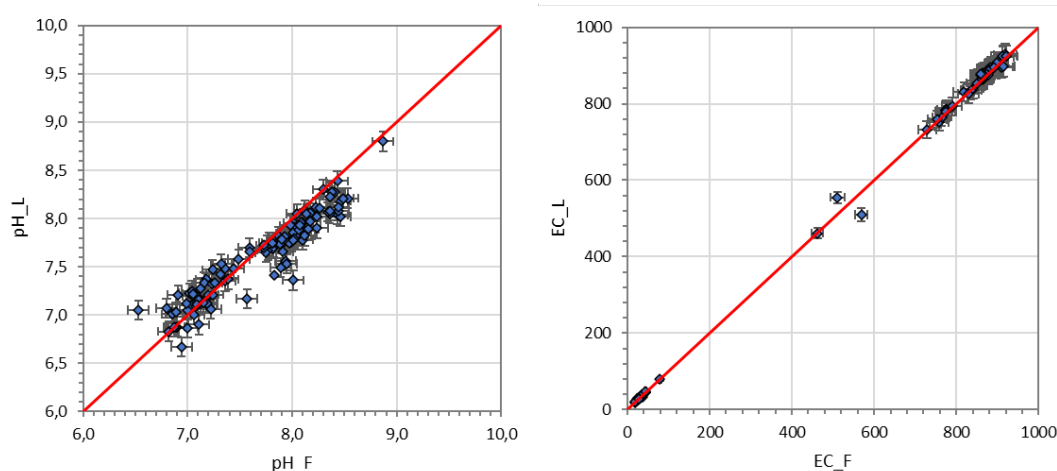
Fältnätningarna i norra bassängen (PFM000097) visade på tre mindre inträngningar av havsvatten under 2023. Konduktiviteten i sjöar och vattendrag låg generellt kring 30 mS/m och salthalten kring 0,14 ‰. Fältnätningarna i norra bassängen (PFM000097) visade på mindre inträngningar av havsvatten under januari/februari samt maj/juni med lite högre konduktivitet och salthalt under följande månader (februari: 40,4 mS/m, 0,19 ‰; mars; 45,4 mS/m, 0,22 ‰; juni: 34,7 mS/m, 0,17 ‰). Oktobermätningarna vittnade om en större inträngning under september/oktober med mycket högre konduktivitet (92,0 mS/m) och salthalt (0,45 ‰). Inflödena av havsvatten var dock inte lika stora som under år 2022 när salinitet på 1,38 ‰ och konduktivitet över 200 mS/m uppmättes. Norra bassängen är den enda sjö som övervakas månadsvis. Syftet med de mer frekventa fältnätningarna i sjön är att dokumentera havsvatteninträngningar i de kustnära sötvattenen.



Figur 3-7. Fältmätt konduktivitet och salinitet på provpunkter i hav, sjö och vattendrag (medel $\pm$ standardavvikelse), samt i kylvattenutloppet i havet under 2023. Mätningarna har gjorts på 0,5 m djup i hav och sjö samt 0,1 m djup i vattendrag.

pH- och konduktivetsmätningar i fält vs laboratorium

Fältmätningarna av pH och konduktivitet korrelerar väl med motsvarande laboratoriemätningar på det insamlade vattnet (Figur 3-8). Skillnaderna mellan pH mätt i fält jämfört med laboratoriemätt pH kan sannolikt förklaras av olika vattentemperatur i fält och på insamlat vatten samt tidsskillnaden mellan fält- och laboratoriemätningar. Fältmätt konduktivitet plottat mot laboratoriemätt konduktivitet visar mycket god överensstämmelse. De två punkter som avviker lite mer än övriga från linjen är båda tagna på PFM000084 utanför Olandsåns mynning.



Figur 3-8. V: Värden för pH mätt på laboratorium (pH_L) i förhållande till pH mätt i fält (pH_F). H: Värden för konduktivitet mätt på laboratorium (EC_L) i förhållande till konduktivitet mätt i fält (EC_F). Värden i fält mäts vid rådande temperatur och laboratorium vid 25° C. Felstaplarna visar mätosäkerheten.

3.5.2 Vattenanalyser

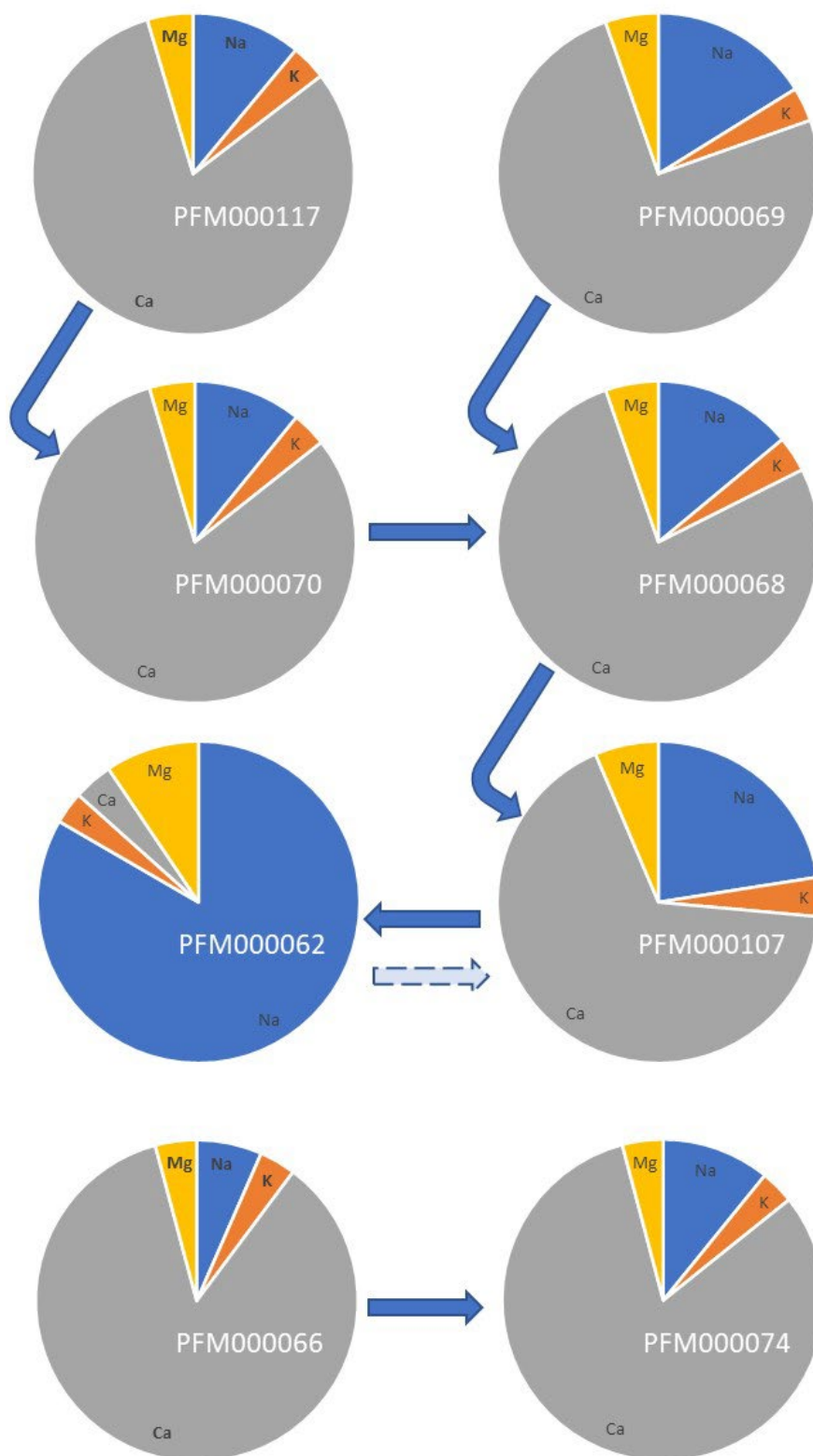
Data från vattenanalyserna av insamlat ytvatten från provpunkter i hav, sjö och vattendrag redovisas i tabellerna B-3, B-4, B-5 och B-6 i appendix B.

Huvudkomponenter

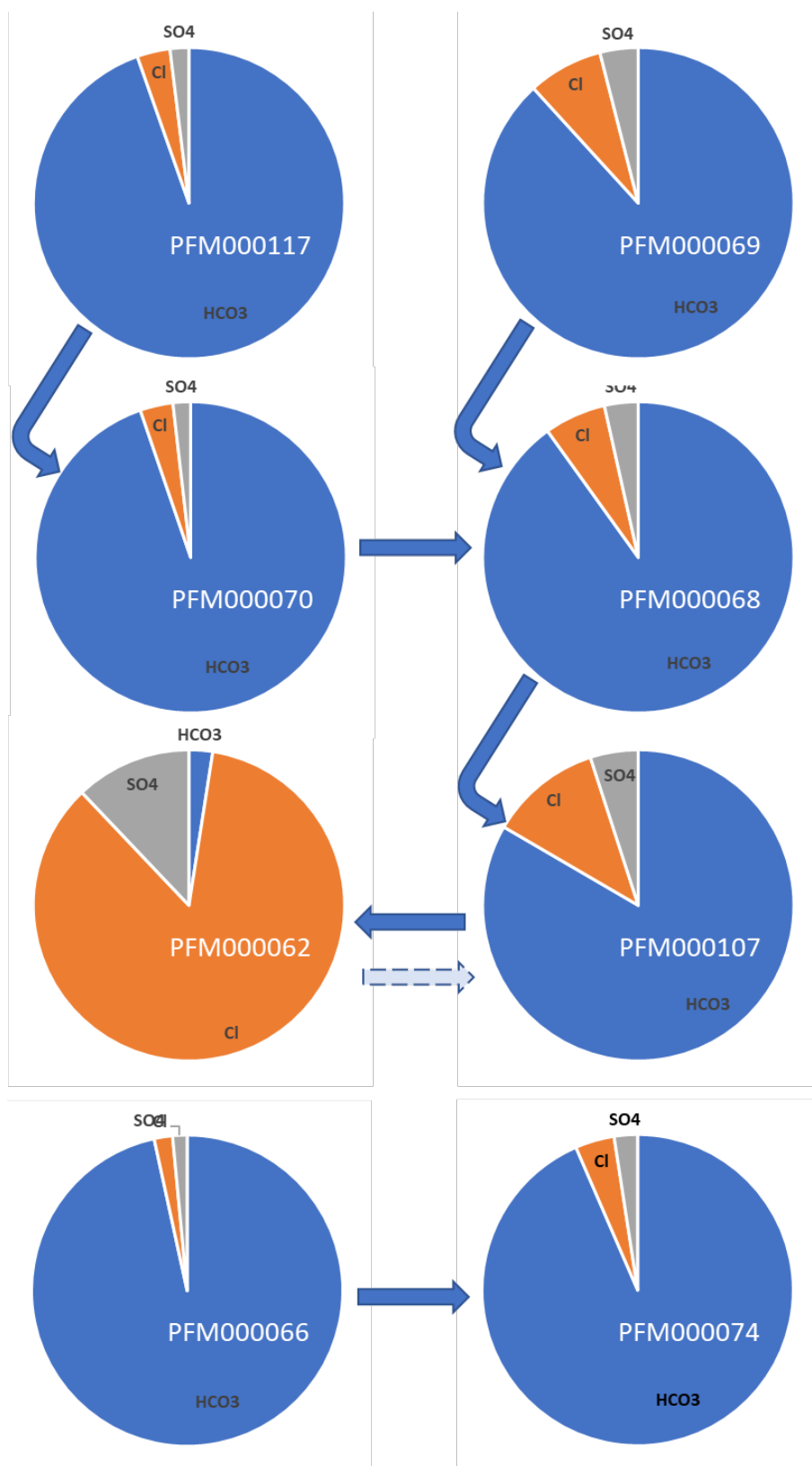
Vattenanalyserna av huvudkomponenter i ytvatten omfattar Na, K, Ca, Mg, Sr, S, SO_4^{2-} , $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$, Cl, Si och HCO_3^- , komponenterna Fe, Li, Mn, Br, F, I^- samt pH och konduktivitet. Data redovisas i tabell B-3, appendix B. Beräkning av jonbalans (se 2.5.2) ger en indikation på analyskvalité och mätosäkerhet. För ytvatten anses en jonbalans inom $\pm 10\%$ vara acceptabelt. Under 2023 hade ett prov en jonbalans på 16,47 %, dvs. utanför godkänt intervall. Dubbelprov, som analyseras av ett annat laboratorium eller med en annan metod, tas regelbundet för några av huvudkomponenterna för att ytterligare kontrollera analysernas tillförlitlighet. Dessa kontrollvärden redovisas inte i rapporten men finns inlagda i SICADA.

De vanligaste katjonerna i ytvattnet är kalcium, natrium, magnesium och kalium. Förhållandena mellan dessa katjoner varierar mellan sötvatten och saltvatten men även mellan olika vattendrag och sjöar (Figur 3-9). I sjöar och vattendrag var kalcium den vanligaste katjonen medan natrium var vanligaste i havet. I sötvatten var bikarbonat den vanligaste anjonen tillsammans med sulfat och klorid (Figur 3-10). I havsvattnet var klorid vanligast.

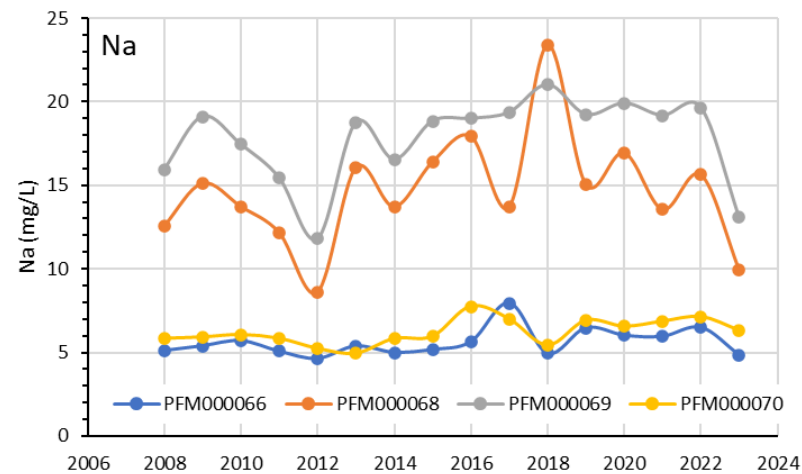
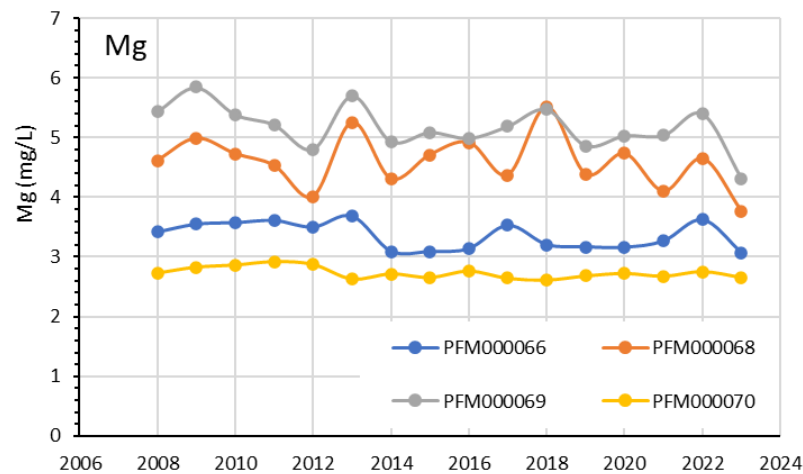
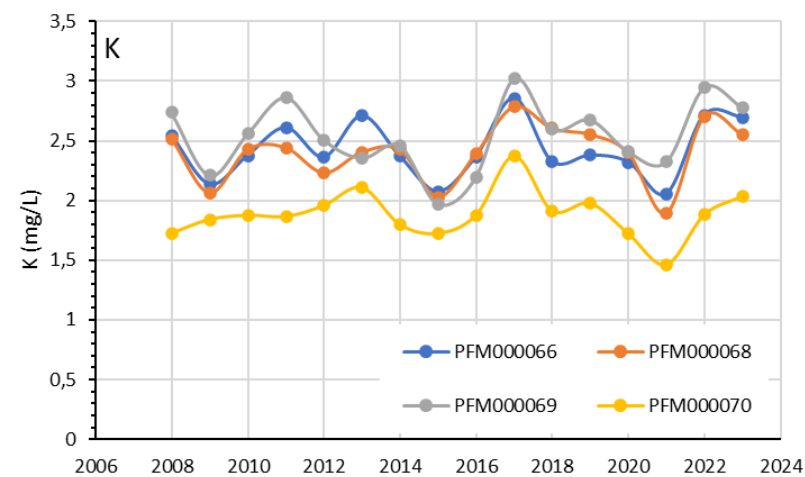
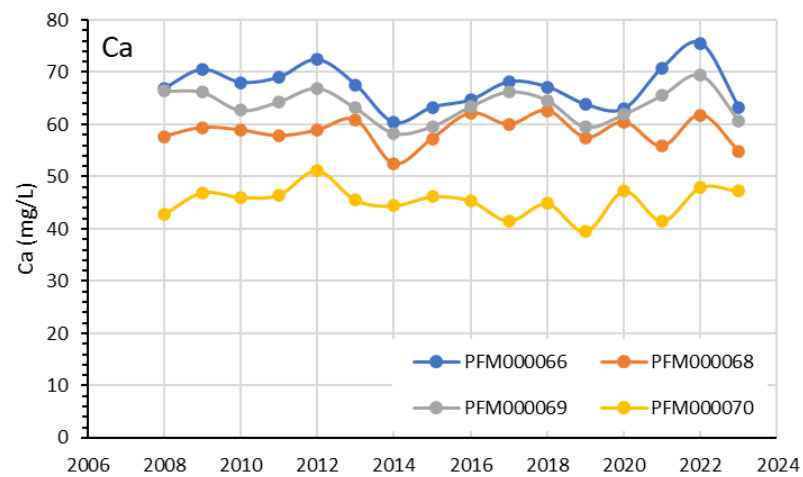
Årsmedelkoncentrationerna av de vanligaste katjonerna och anjonerna visar generellt liten mellanårsvariation på de olika provtagningspunkterna för ytvatten (figur 3-11abc och 3-12abc). I sjön Bolundsfjärden (PFM000107), som har oregelbundna inflöden av saltvatten från havet, kan emellertid en större variation mellan år anas. Inflödena av havsvattnet, som konduktivitets- och salinitetsmätningarna visade på under 2023 (figur 3-7), var för små för att märkbart påverka årsmedelvärdena (figur 3-11b och figur 3-12b). Provtagningspunkten utanför Olandsåns utlopp (PFM000084) uppvisar också en större mellanårsvariation än övriga provtagningspunkter i havet. De högre koncentrationerna av vätekarbonatjoner (HCO_3^-) och lägre koncentrationerna av övriga joner speglar sannolikt höga flöden i ån vilket ger ytvattnet på provtagningspunkten mer sötvattenkaraktär (figur 3-11c och 3-12c).



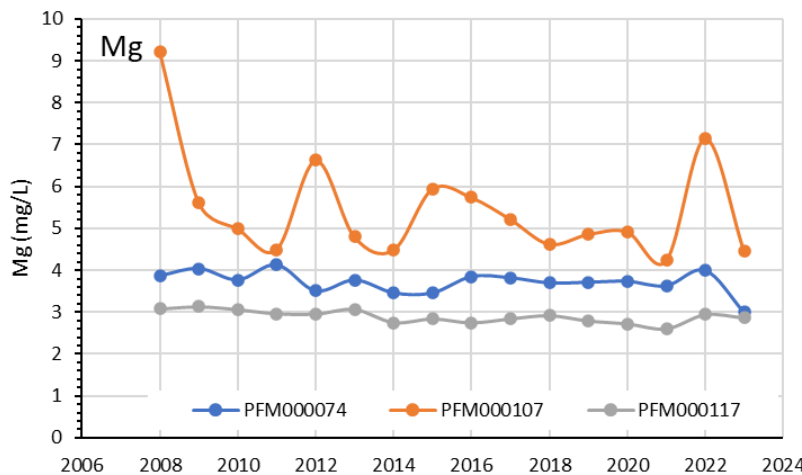
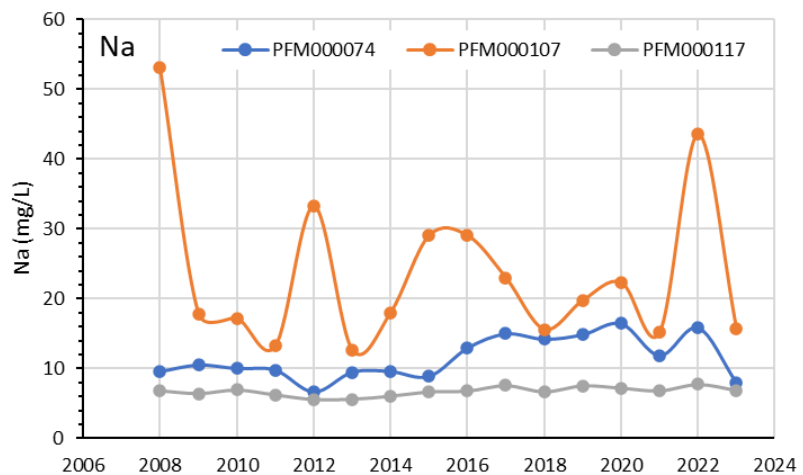
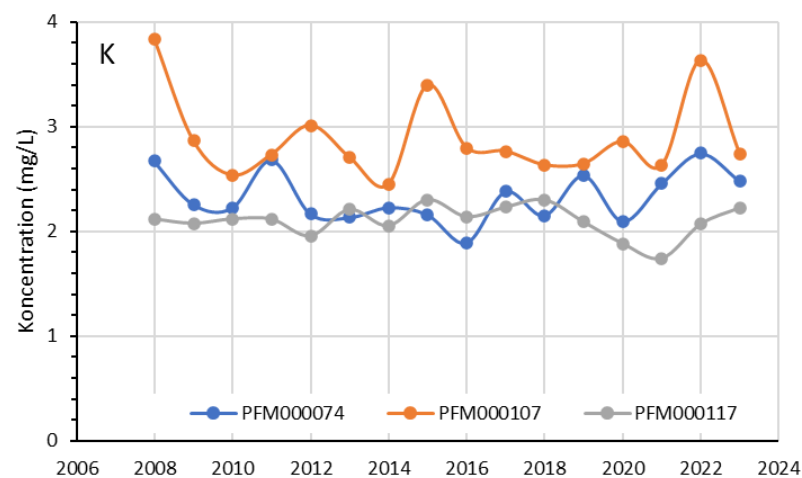
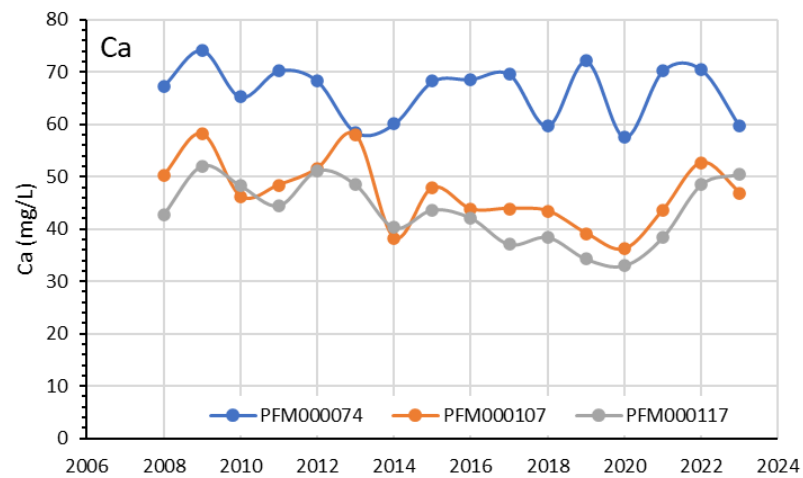
Figur 3-9. Förhållandet mellan de fyra vanligaste katjonerna (Ca, K, Mg och Na) i provtagna vattendrag (PFM000066, 68, 69 och 70), sjöar (PFM000074, 107 och 117) och hav (PFM000062). Figuren baseras på medelvärden för perioden januari-december 2023. Pilarna visar ytvattnets väg via sjöar och vattendrag till havet. Den streckade pilen indikerar tillfälliga inflöden av havsvatten i sjön Bolundsfjärden (PFM000107). Sjön Labboträsket (PFM000074) och vattendraget PFM000066 tillhör ett annat avrinningsområde och fungerar som referens till ytvattnet i undersökningsområdet.



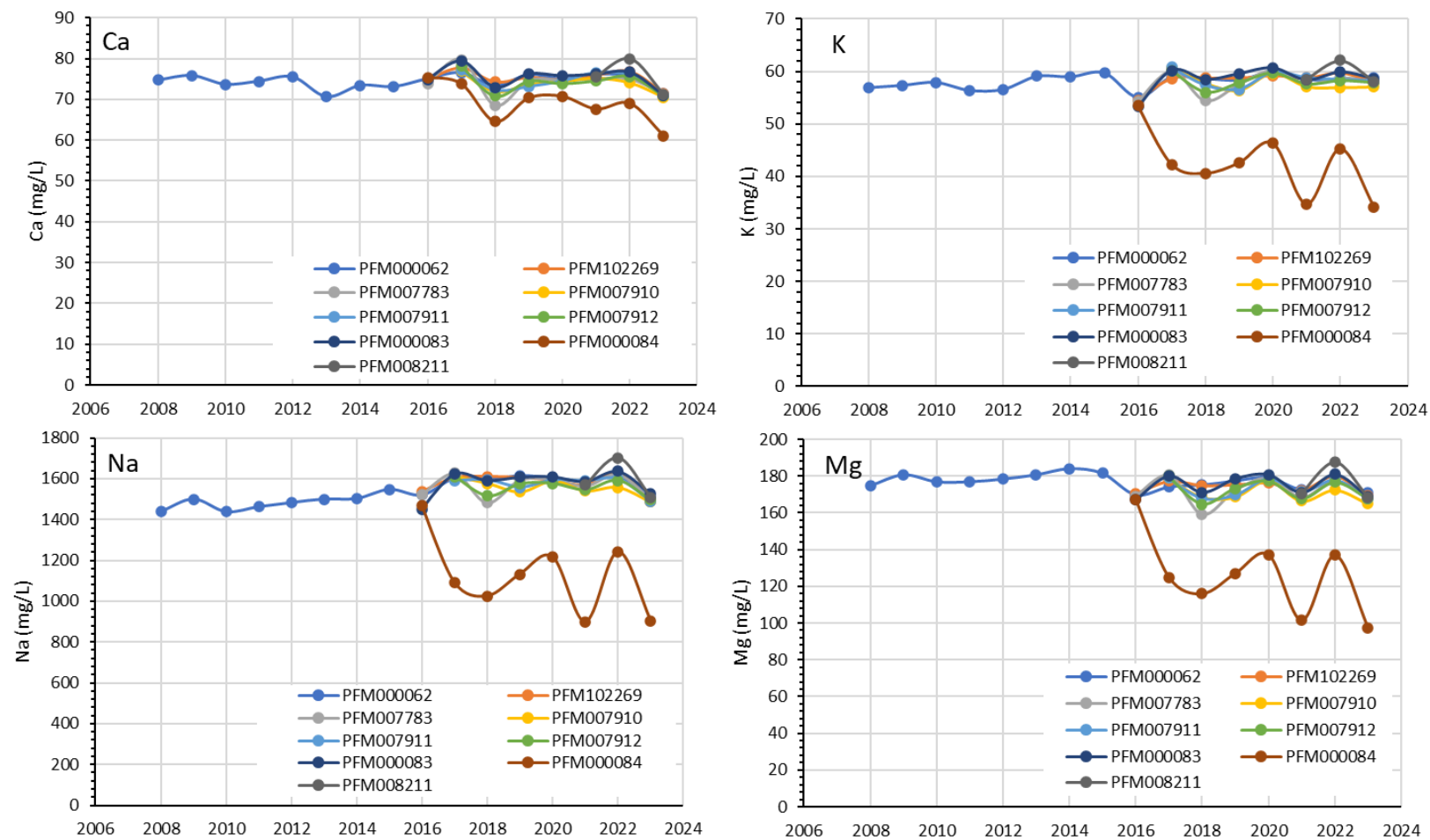
Figur 3-10. Förhållandet mellan de tre vanligaste anjonerna (Cl^- , SO_4^{2-} och HCO_3^-) i provtagna vattendrag (PFM000066, 68, 69 och 70), sjöar (PFM000074, 107 och 117) och hav (PFM000062). Graferna baseras på medelvärden för perioden januari-december 2023. Pilarna visar ytvattnets väg via sjöar och vattendrag till havet. Den streckade pilen indikerar tillfälliga inflöden av havsvatten i sjön Bolundsfjärden (PFM000107). Sjön Labboträsket (PFM000074) och vattendraget PFM000066 tillhör ett annat avrinningsområde och fungerar som referens till ytvattnet i undersökningsområdet.



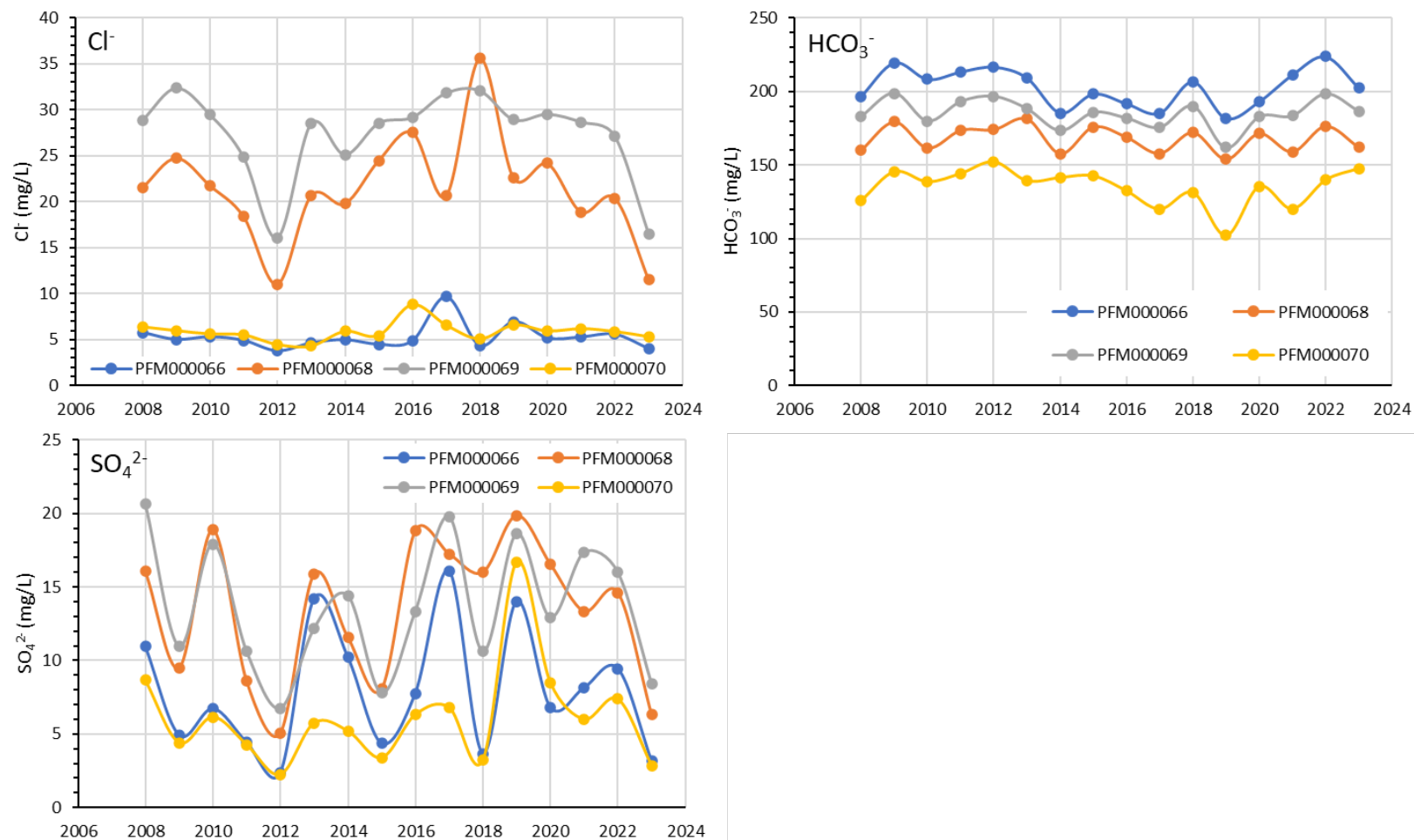
Figur 3-11a. Årsmedelkoncentrationer av de fyra vanligaste katjonerna i provtagna vattendrag (PFM000066, PFM000068, PFM000069 och PFM000070). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2023.



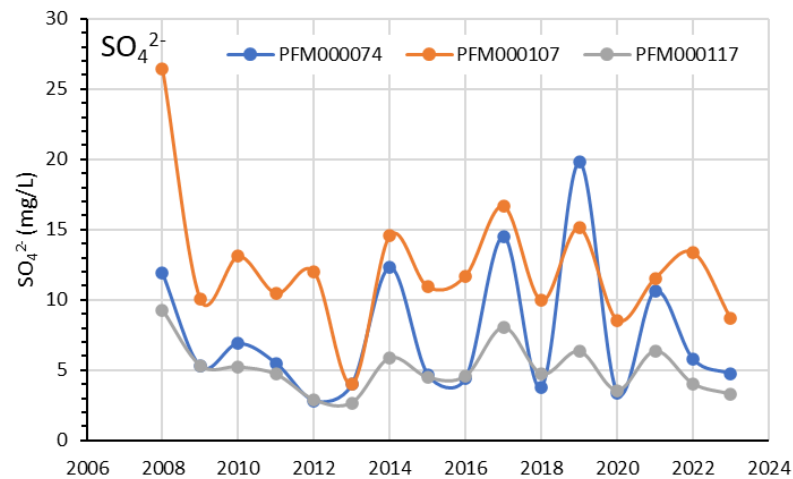
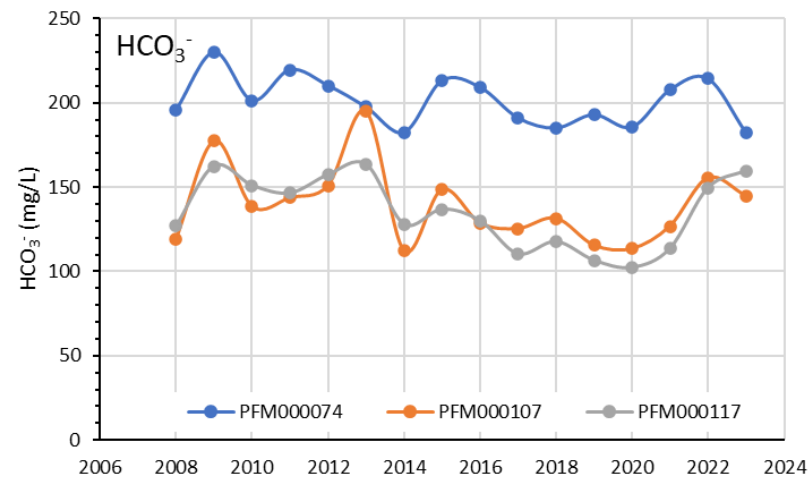
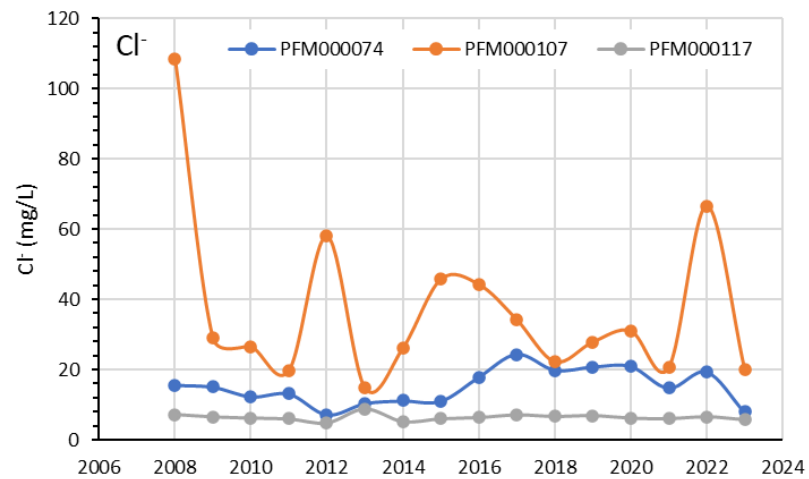
Figur 3-11b. Årsmedelkoncentrationer av de fyra vanligaste katjonerna i provtagna sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2023.



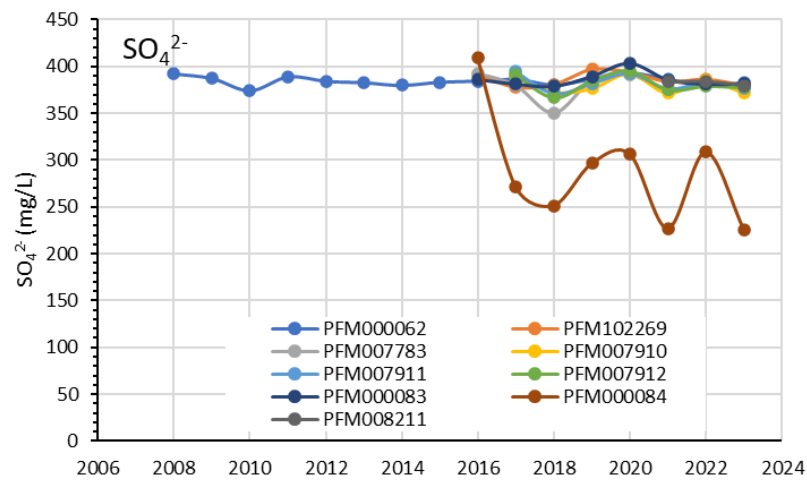
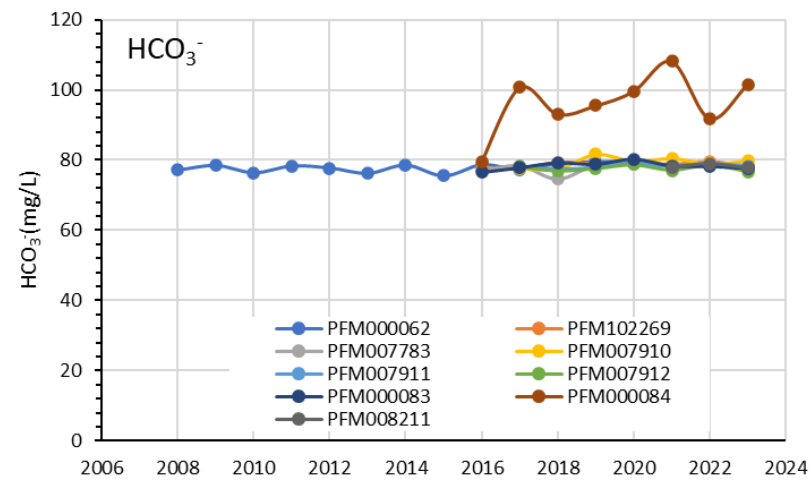
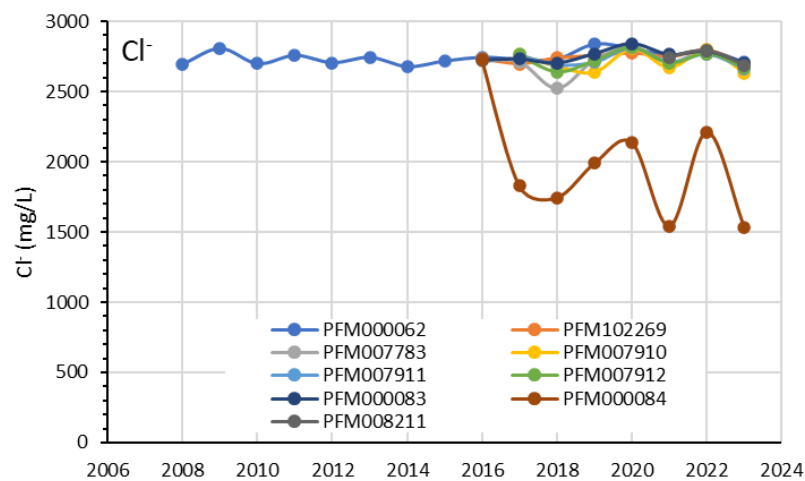
Figur 3-11c. Årsmedelkoncentrationer av de fyra vanligaste katjonerna på sju provtagna havspunkter (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2023. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått i programmet sedan 2008, övriga har provtagits fr o m 2016, 2017 eller 2021.



Figur 3-12a. Årsmedelkoncentrationer av de tre vanligaste anjonerna i provtagna vattendrag (PFM000066, PFM000068, PFM000069 och PFM000070). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2023.



Figur 3-12b. Årsmedelkoncentrationer av de tre vanligaste anjonerna i provtagna sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2023.



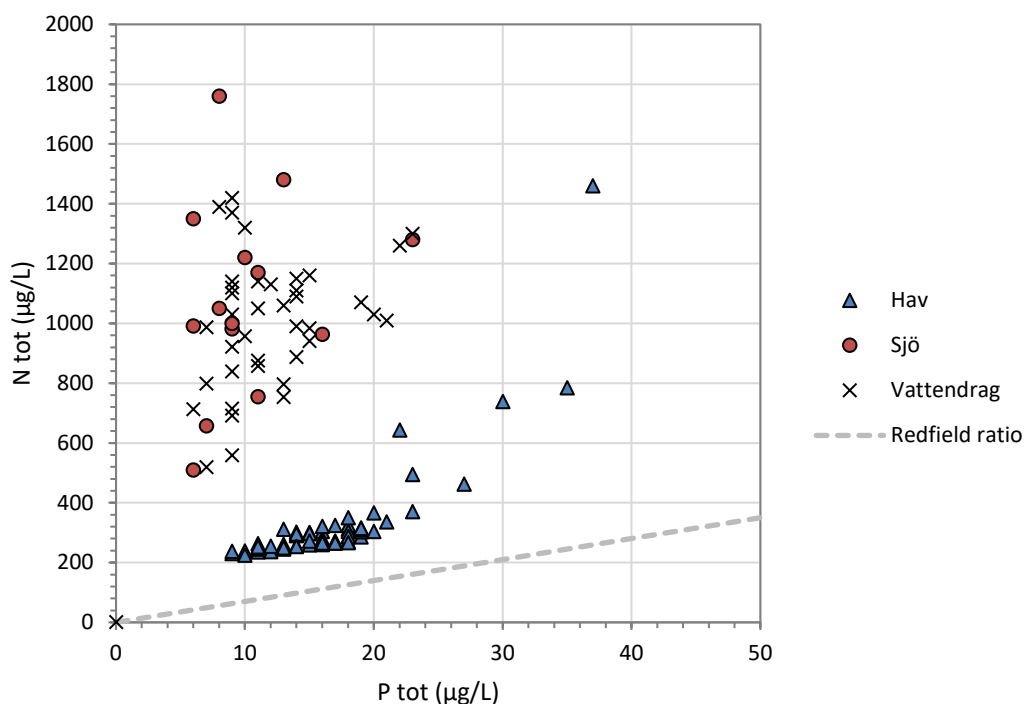
Figur 3-12c. Årsmedelkoncentrationer av de tre vanligaste anjonerna på provtagna havspunkter (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2023. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått i programmet sedan 2008, övriga har provtagits fr o m 2016, 2017 eller 2021.

Ytvattenkomplement

Analysen inkluderar ytvattentilläggen ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitritkväve ($\text{NO}_2\text{-N}$), summa nitrit-nitratkväve ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), totalkväve (N-tot), totalfosfor (P-tot), fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) och kisel ($\text{SiO}_2\text{-Si}$). I analyserna ingår också partikulärt organiskt kol (POC), partikulärt organiskt kväve (PON), partikulärt organiskt fosfor (POP), totalt organiskt kol (TOC), löst organiskt kol (DOC) och löst inorganiskt kol (DIC). Även klorofyll a och c samt pheopigment omfattas av ytvattenkomplementanalyserna. Koncentrationerna av kväve-, fosfor- och kolföreningar har stor årstidsvariation men skiljer sig även mellan provpunkterna i olika vatten. Data redovisas i tabell B-4 i appendix B.

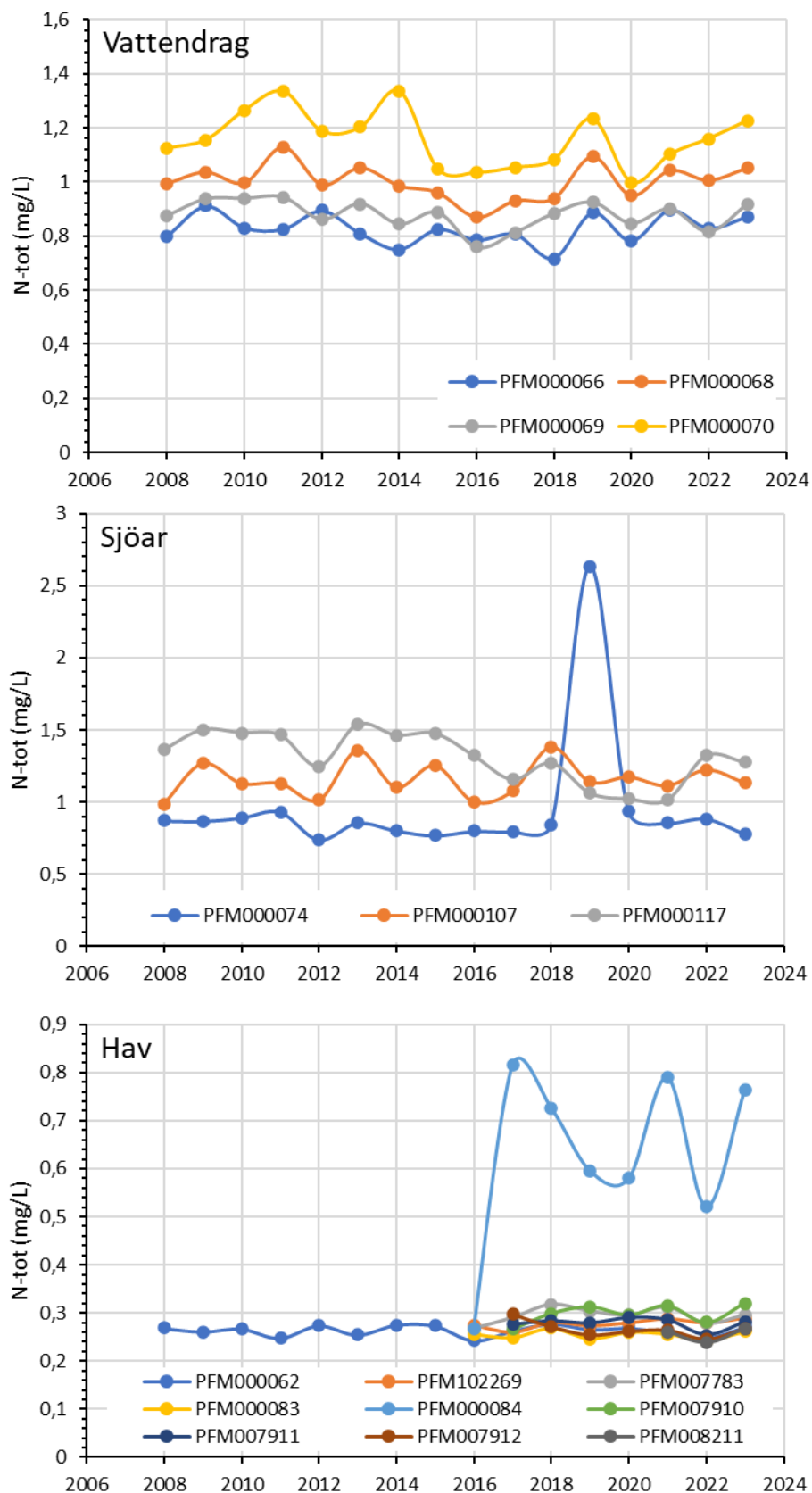
Primärproduktionen i vatten begränsas ofta av närsalterna kväve eller fosfor. Primärproducenter, till exempel växter och växtplankton, använder kväve och fosfor i ett massförhållande på 7:1 (Redfield ratio). En kvot mellan kväve och fosfor som skiljer sig från 7, indikerar vilket näringsämne som är begränsande för primärproduktionen. En högre kvot än 7 visar att det finns kväve i överflöd och att fosfor begränsar produktionen. Lägre kvoter tyder på kvävebegränsning, vilket i sin tur kan gynna cyanobakterier som kan fixera kväve från luften. I sötvatten är fosfor vanligtvis det begränsande ämnet medan kväve begränsar primärproduktionen i öppna hav. I kustområden kan det variera.

Samtliga provtagna vatten inom programmet är fosforbegränsade (figur 3-13). Samtliga vatten hade ett stort överskott av kväve men i havet var kväveöverskottet generellt mindre än i sötvattnen. Den sex mest avvikande havspunktskvoterna uppmättes på den sötvattenspåverkade provpunkten utanför utloppet av Olandsån (PFM000084).

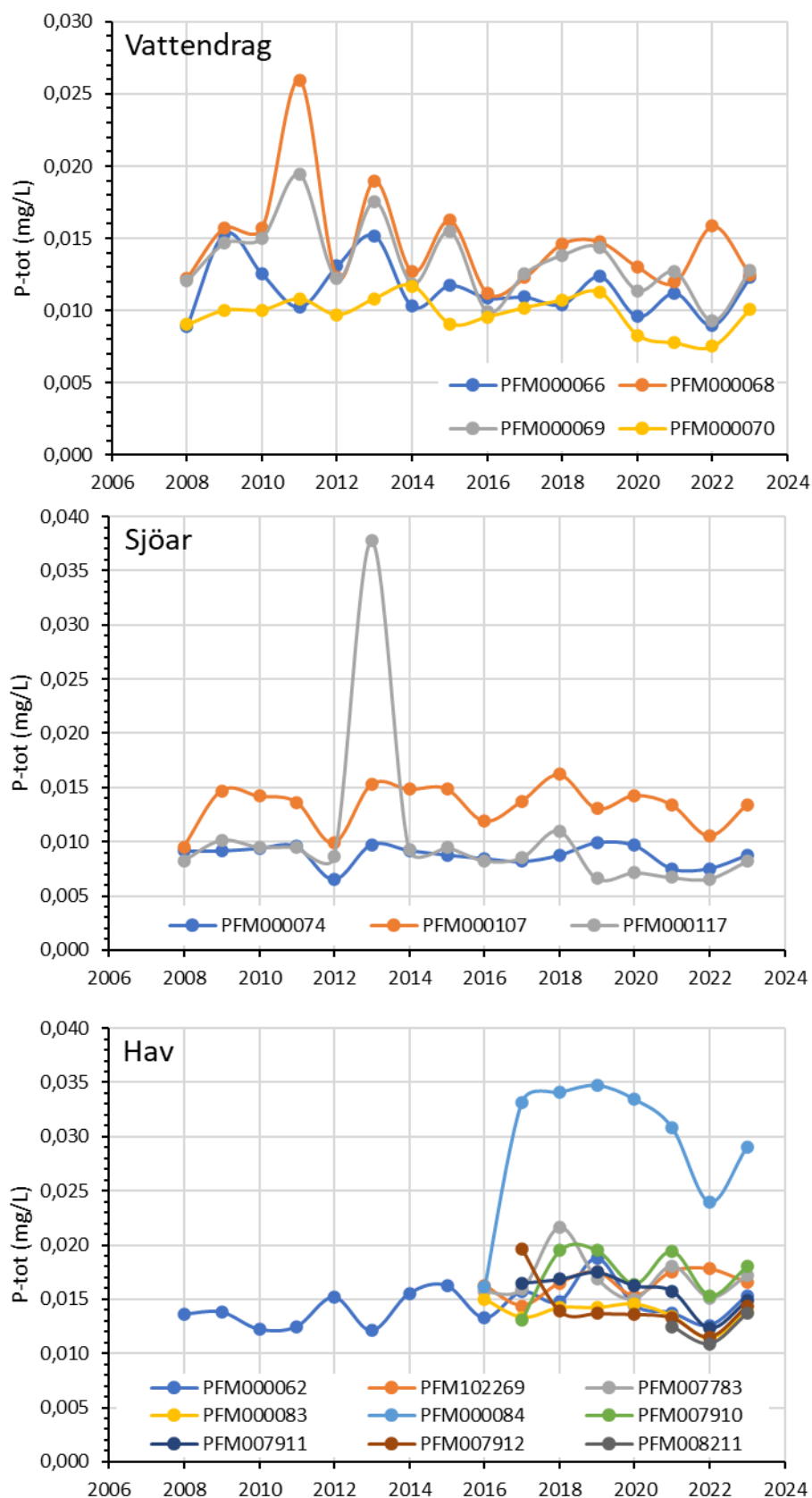


Figur 3-13. Förhållandet mellan kväve och fosfor i provtagningspunkternas ytvatten år 2023. Den streckade linjen visar massförhållande 7:1 (Redfield ratio), värden ovanför linjen indikerar kväveöverskott och fosforbegränsning, värden under linjen det omvända.

En jämförelse av årsmedelvärden för totalkväve och totalfosfor visar generellt liten mellanårsvariation (figur 3-14ab). Sjön Labboträsket (PFM000074) hade ett extremt högt årsmedelvärde för totalkväve 2019 och sjön Eckarfjärden (PFM000117) ett extremt högt årsmedelvärde för fosfor år 2013. Två av vattendragen (PFM000068 och PFM000069) uppvisar lite större variation i fosforhalter jämfört med övriga vatten och provpunkten utanför Olandsån (PFM000084) har haft högre årsmedel de senaste åren.



Figur 3-14a. Årsmedelkoncentrationer av totalkväve i provtagna vattendrag (PFM000066, PFM000068, PFM000069 och PFM000070), sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117) och hav (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211). Graferna visar årsmedelvärden för perioden 2008–2023. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått i programmet sedan 2008, övriga har provtagits fr o m 2016, 2017 eller 2021.



Figur 3-14b. Årsmedelkoncentrationer av totalfosfor i provtagna vattendrag (PFM000066, PFM000068, PFM000069 och PFM000070), sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117) och hav (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211). Graferna visar årsmedelvärden för perioden 2008–2023. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått i programmet sedan 2008, övriga har provtagits fr o m 2016, 2017 eller 2021.

Spårämnen

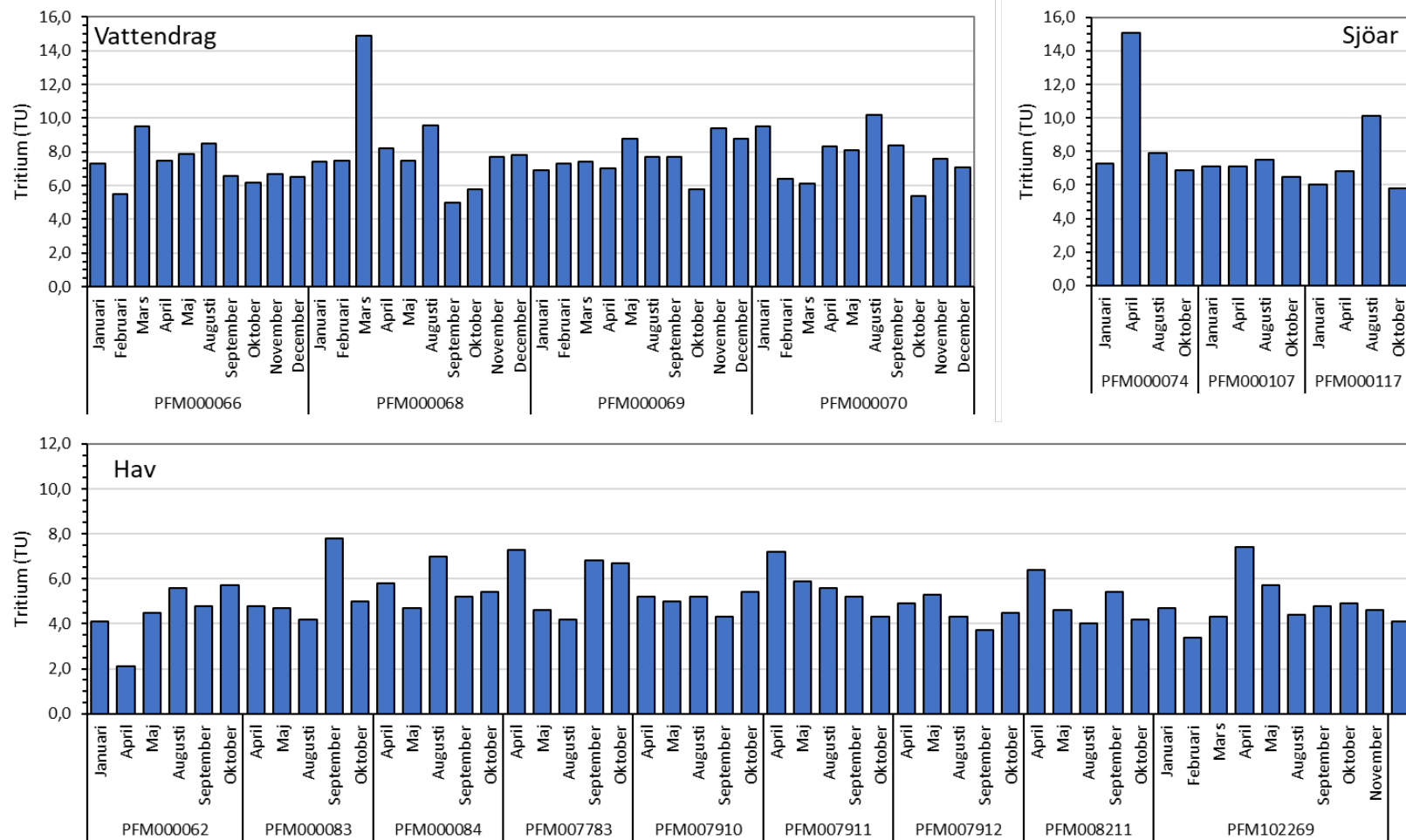
Analyserna av spårämnen och ovanliga komponenter omfattar Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Hg, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pd, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, Y, Yb, Zn och Zr. Dessa ämnen finns i allmänhet i låga koncentrationer. Data finns i tabell B-5, appendix B.



Figur 3-15. På väg tillbaka till land efter provtagning av havspunkten PFM000062 i januari 2023.

Isotoper

Isotopanalyserna omfattar den radioaktiva isotopen tritium (^3H) och de stabila isotoperna deuterium (δD), och oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) (tabell B6). Resultaten från 2023 visar tritiumvärden mellan 2,1–15,1 TU i de provtagna vattnen (figur 3-16). Medelvärde ($\pm$ standardavvikelse) för tritium baserat på samtliga provpunkter och provtagningar under 2023 var $6,42 \pm 2,01$ TU. De högsta värdena (15,1 och 14,9 TU) detta år uppmättes i sjön Labbotträsket (PFM000074) och i vattendraget PFM000068. Tidigare provtagningar har visat på tillfälligt förhöjda tritiumvärden i kylvattenutloppet (PFM102269), ofta under sommaren/höst och samband med revisionsverksamhet i kärnkraftverket. Detta syns inte i resultaten från år 2023. Koncentrationer av deuterium (δD) och oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) redovisas tillsammans med tritium i tabell B-6, appendix B.



Figur 3-16. Tritiumkoncentrationer i provtagna vattendrag (PFM000066, PFM000068, PFM000069 och PFM000070), sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117) och hav (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211) under år 2023. Antalet provpunkter som provtas varierar mellan månader.

3.6 Diskussion och slutsats

Resultaten från 2023 års övervakning av ytvatten i vattendrag, sjöar och hav inom övervakningsprogrammet visar inga överraskningar. Rutinerna kring programmets utförande är etablerade och fungerar väl efter många års provtagning, analys och administration. Programmet har löpt på utan större avvikelser eller oväntade händelser.

4 Gölar

4.1 Omfattning

Övervakningsprogrammet av gölgrodans livsmiljöer i anlagda och naturliga gölar har pågått sedan april 2012 och inkluderar vattenkemiska provtagningar, fältmätningar och fotodokumentation.

Denna rapport redovisar resultaten från de vattenkemiska provtagningarna under perioden januari – december 2023. Vattenkemisk provtagning genomfördes vid fyra tillfällen under 2023 (januari, april, augusti och oktober) medan fältmätningar och fotodokumentation utfördes varje månad (ej juli).

4.2 Lokaler och provtagningsschema

I övervakningsprogrammet ingår åtta gölar, varav sex är anlagda och två är befintliga småvatten som fungerar som referenser. Gölgrodan är beroende av permanenta småvatten för sin reproduktion och har en begränsad rörlighet. Uppskattad medelräckvidd per generation är mindre än 400 m med spontana förflyttningar på max 1 km (Artdatabanken, n d). De åtta gölarna i programmet ligger inom ett område på cirka 0,75 km². Området är ett skogslandskap med många sjöar, kärr och småvatten. Det innebär att avståndet till annat småvatten är mindre än 400 m.

4.2.1 Anlagda gölar

Sex nya gölar (id-koder AFM001419, 1420, 1421, 1422, 1442 och 1443) har skapats genom att gräva hål i befintliga våtmarker. Samtliga gölar är omgivna av skog, vilket är en viktig del av gölgrodans livsmiljökrav eftersom den övervintrar i håligheter i skogsmark. Två av gölarna (AFM001419 och AFM001420) är belägna i kraftiga vassbestånd medan de andra fyra (AFM001421, AFM001422, AFM001442 och AFM001443) ligger i kärr.

Provtagning avseende vattenkemi sker på en punkt i vardera gölen (PFM007415, PFM007416 samt PFM007445-PFM007448) (Tabell 4-1). I Tabell 4-1 visas gölarnas id-koder (AFM) samt id-koden för provtagningspunkten (PFM) i respektive göl. I denna rapport används främst PFM-nummer för att beteckna gölarna. I Figur 4-1 visas gölarnas läge i undersökningsområdet.

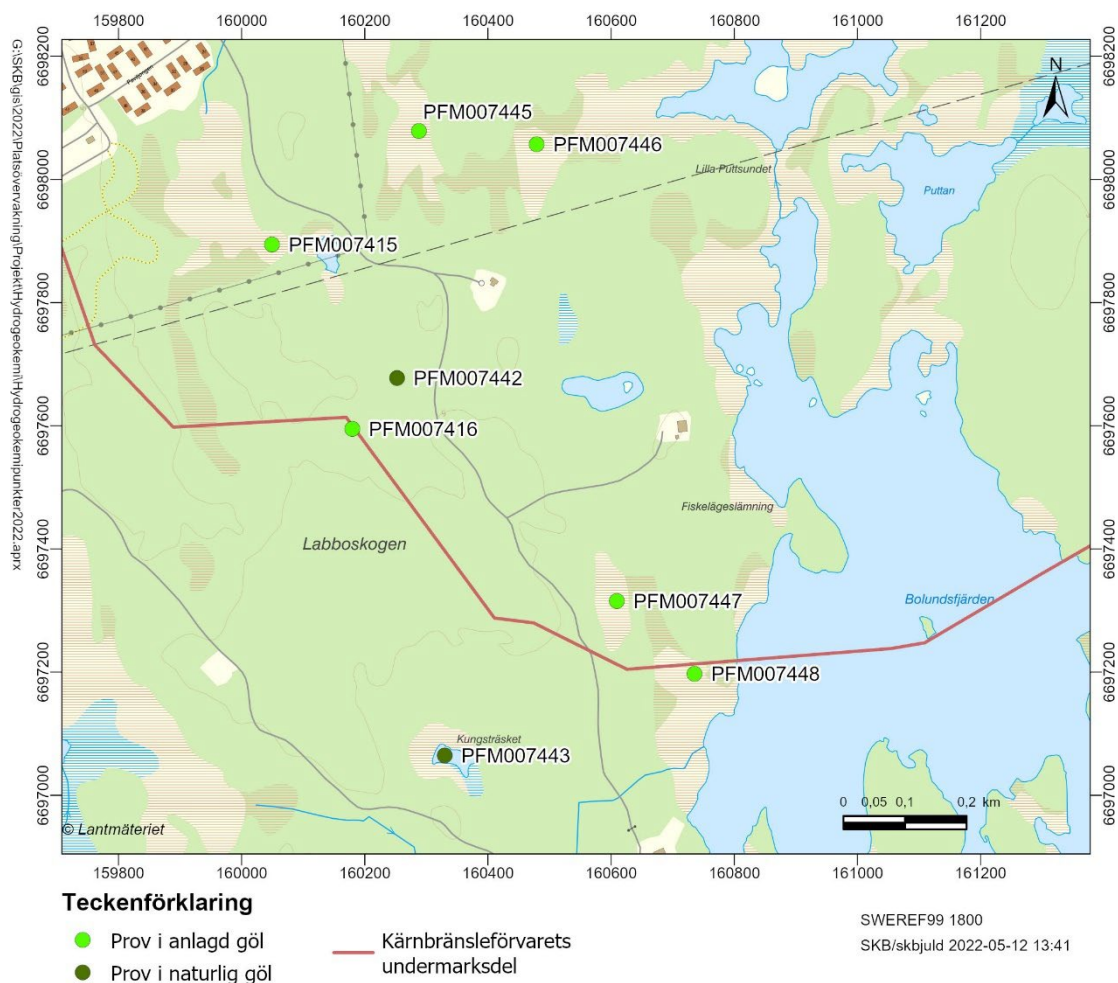
Tabell 4-1. Gölarnas Id-kod (AFMxxxxxx) och vattenprovtagningspunktens Id-kod (PFMxxxxxx) samt koordinater (SWEREF99 E, N) och kommentar. Id-koderna är sökbara i SICADA

Göl	Provpunkt	Koordinater	Kommentar
AFM001419	PFM007445	16 02 88, 66 98 078	Anlagd 2012
AFM001420	PFM007446	16 04 79, 66 98 057	Anlagd 2012
AFM001421	PFM007447	16 06 09, 66 97 315	Anlagd 2012
AFM001422	PFM007448	16 07 35, 66 97 197	Anlagd 2012
AFM001426	PFM007442	16 02 52, 66 97 677	Referensgöl, befintligt småvatten
AFM001427	PFM007443	16 03 29, 66 97 065	Referensgöl, befintligt småvatten
AFM001442	PFM007415	16 00 49, 66 97 894	Anlagd 2014
AFM001443	PFM007416	16 01 79, 66 97 595	Anlagd 2014

4.2.2 Referensgölar

De två naturliga gölarna AFM001426 och AFM001427 har tidigare (2008 – 2010) undersökts med avseende på vattenkemi genom månatliga provtagningar och mätningar på en punkt i vardera gölen, PFM007442 respektive PFM007443 (Qvarfordt et al. 2010, Qvarfordt et al. 2011). I de tidigare undersökningarna ingick ytterligare två gölar (provtagningsspunkter PFM007441 och PFM007444). Undersökningarna gjordes i syfte att få mer kunskap om vattensammansättningen i dessa småvatten.

Den mindre av de två referensgölar (AFM001426) ligger mindre än 100 m från en av de senaste anlagda gölarna (AFM001443) och mellan 300–650 m från övriga anlagda gölar (Figur 4-1). Den större referensgölen, AFM001427, ligger lite mer avskilt med de två närmaste anlagda gölarna (AFM001421 och 1422) på cirka 360 m avstånd och övriga gölar på 500–1000 m avstånd. Båda referensgölar är omgivna av skog och kring den större gölen växer en hel del vass.



Figur 4-1. Karta över provtagningsspunkter för gölar. I kartan är även gränsen för det planerade kärnbränsleförvarets undermarksdel markerad.

4.2.3 Provtagningschema

Fältmätningar i gölarna genomfördes vid elva tillfällen under 2023 (Tabell 4-2). Vattenkemisk provtagning utfördes vid fyra tillfällen, januari, april, augusti och oktober. På provpunkterna PFM007442 och PFM007443 i de två referensgölar genomfördes vattenkemisk provtagning med utökad omfattning. De anlagda gölarna fotograferades vid varje tillfälle.

Tabell 4-2. Schema och omfattning av vattenkemisk provtagning i gölar under perioden januari-december 2023. A = utökad provtagning, B = normal provtagning, C = endast fältmätning. Fotodokumentation gjordes vid varje besök i anlagda gölar

	Provnings- vecka	PFM007415	PFM007416	PFM007442	PFM007443	PFM007445	PFM007446	PFM007447	PFM007448
Januari	3–4	B	B	A	A	B	B	B	B
Februari	5	C	C	C	C	C	C	C	C
Mars	11	C	C	C	C	C	C	C	C
April	16–17	B	B	A	A	B	B	B	B
Maj	21	C	C	C	C	C	C	C	C
Juni	26	C	C	C	C	C	C	C	C
Juli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Augusti	32–33	B	B	A	A	B	B	B	B
September	37	C	C	C	C	C	C	C	C
Oktober	41–42	B	B	A	A	B	B	B	B
November	45	C	C	C	C	C	C	C	C
December	49	C	C	C	C	C	C	C	C

4.3 Utrustning

4.3.1 Provningsutrustning

För provtagning av gölarnas ytvatten användes samma utrustning som vid provtagning av övrigt ytvatten (vattendrag, sjö och hav). En slangpump (peristaltisk pump, Solinst modell 410) monterad på en cirka 4 m lång teflonslang (FEP 140) med en innerdiameter på 5 mm. Pumphastigheten var justerbar med ett reglage. Pumpsystemet visas i Figur 3-4.

För filtrering av provvatten till vissa analyser användes engångsfilter (0,45 µm) som monterades på 60 ml sprutor.

Ersättningsutrustningen vid utrustningsproblem bestod av en vattenkanna.

4.3.2 Multiinstrument

Fältmätningar utfördes med ett multiinstrument, YSI Pro DSS. Instrumentet består av en enhet med flera mätsonder som sänks ned i vattnet. Sondenheten är kopplad till en handenhet för manuell loggning och kontroll av data.

Fältmätningarna i gölarna inkluderade datum, tid, pH, vattentemperatur (° C), syrgas (mg/l och %), ORP (redoxpotential, mV), konduktivitet (mS/cm), turbiditet (NTU) och djup (m).

4.4 Utförande

4.4.1 Provningsförberedelser

Innan provtagning märktes provflaskor och provrör med förprintade etiketter. Salpetersyra tillsattes till provflaskorna för analys av spårelement samt till arkivflaskor. De märkta provbehållarna packades därefter per provtagningsobjekt i skyddande väskor, och väskan märktes med provtagningsobjektets id-kod och provnummer. För att undvika kontaminering packades flaskor med salpetersyra i en separat påse som transporterades utanför den skyddande väskan. Slangpumpen diskades med syra (0,1 M HCL) och sköljdes med avjonat vatten inför varje provtagningsomgång. På varje provtagningspunkt pumpades provvatten igenom pumpen under några minuter innan provtagning. Pump och övrig provtagningsutrustning förvarades och transporterades i skyddande väskor. Multiinstrumentet kalibrerades enligt tillverkarens anvisningar.

4.4.2 Provtagning

Vattenprover insamlades med slangpumpen. På provpunkterna i gölarna insamlades vatten från cirka 0,2 m djup. Provtagning utfördes enligt följande förfarande: Provtagaren förberedde sig genom att ta på engångshandskar innan den skyddande väskan öppnades och provflaskorna hanterades. Alla provflaskor och rör, utom de med syratillsats, sköljdes en gång med provvatten innan provtagning. De fylldes sedan enligt beskrivning. Filtrering av provfraktioner utfördes i fält med engångsfilter (0,45 µm) monterade på en 60 ml spruta. Varje nytt filter sköljdes med provvatten innan provtagning. Provfractioner som filtrerades var huvudkomponenter, spårelement, järn, närsalter och DOC/DIC. Provflaskor med salpetersyra fylldes sist, när övriga provflaskor var klara och den skyddande väskan stängts.

4.4.3 Fältmätning

Parametrarna pH, vattentemperatur (° C), syrgas (mg/l och %), ORP (redoxpotential, mV), konduktivitet (mS/cm), turbiditet (NTU) och djup (m) mättes med multiinstrumentet. På provpunkterna i gölarna gjordes mätningarna på 0,2 m djup.

4.4.4 Fotodokumentation

För att dokumentera utvecklingen av de sex nyetablerade gölarna (PFM007415, PFM007416 och PFM007445-PFM007448) fotograferades gölen vid varje provtagningstillfälle. Ett foto togs från varadera väderstreck (totalt fyra foton per göl). Fotografering gjordes från samma punkt (utmärkt med stakpinne) vid varje tillfälle för att förenkla jämförelser mellan provtagningstillfällen. Vid istäckning togs endast ett foto per göl.



Figur 4-2. Fotodokumentation av göl AFM001419 från samma punkt i mars 2023 (vänster) och april 2023 (höger).

4.4.5 Provhantering och analys

Mätningar/analyser av pH(lab), konduktivitet (lab) och alkalinitet samt spektrofotometrisk analys av total järnkoncentration utfördes inom 24 timmar på platslaboratoriet.

4.4.6 Datahantering

Under provtagning användes ett fältprotokoll där datum, tid, provtagare, multiinstrument-id och provnummer noterades. I fältprotokollet noterades även väderobservationer och övriga kommentarer/observationer till provtagningstillfället. Övriga kommentarer/observationer utgjordes av iakttagelser som kunde påverka analysresultaten och mätvärdena samt observationer av djurliv, exempelvis gölgröddor, salamandrar, fisk mm.

Fältprotokollen ger grunddata samt provtagningsförhållanden i SICADA. Även avvikelser från program eller rutiner förs in i SICADA.

4.4.7 Avvikelser

Under provtagningsperioden januari-december 2023 noterades få avvikelser. I Tabell 4-3 visas utförd planerad aktivitet (provtagning och/eller fältmätning) samt om endast ett fotografi togs pga. is. I Tabell 4-4 redovisas några observationer under mätning/provtagning som kanske kan påverka resultaten.

Kisel (SiO₂-Si) saknas för augustiproverna eftersom analysen inte kunde genomföras av externt laboratorium. Inget tritiumresultat rapporterades från externt laboratorium för provpunkt PFM007448 i augusti 2023 (kommentar från laboratorium "Failed twice").

Tabell 4-3. Veckor under 2023 då provtagning och/eller sondmätning utfördes (X) samt avvikelser

Vecka	3	7	11	17	21	26	32	37	41	45	49	Totalt antal tillfällen
PFM007415	XF	XF	XF	X	X	X	X	X	X	X	XF	11
PFM007416	XF	XF	XF	X	X	X	X	X	X	X	XF	11
PFM007442	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
PFM007443	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
PFM007445	XF	XF	XF	X	X	X	X	X	X	X	XF	11
PFM007446	XF	XF	XF	X	X	X	X	X	X	X	XF	11
PFM007447	XF	XF	XF	X	X	X	X	X	X	X	XF	11
PFM007448	XF	XF	XF	X	X	X	X	X	X	X	XF	11
Totalt antal lokaler	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	88

F – endast ett fotografi pga. is.

Tabell 4-4. Observationer som kan påverka analyser och mätningar

Vecka	3	7	11	17	21	26	32	37	41	45	49
PFM007415				2		3					5
PFM007416				2		3					
PFM007442				2		3					
PFM007443				2		3					
PFM007445		1	1	2		3					
PFM007446		1	1	2		3					4
PFM007447				2		3					
PFM007448				2		3					

1 – lukt av svavelväte

2 – negativ turbiditet ofta uppmätt under provtagningsomgången (trots omkalibreringar)

3 – mycket lågt vattenstånd, kan ha påverkat fr a turbiditetsmätning pga. kontakt m botten/vegetation

4 – hög turbiditet pga. bottenkontakt

5 – osäkert konduktivitetssvärde pga. frusen mätsond

4.5 Resultat

Provtagningen i de åtta gölarna under perioden januari-december 2023 omfattade fältmätningar vid elva tillfällen och vattenprovtagning vid fyra tillfällen.

4.5.1 Fältnätningar

Resultaten från fältnätningarna av pH, konduktivitet, löst syre, syremättnad, vattentemperatur och redoxpotential (ORP) redovisas i tabell C-1 i appendix C.

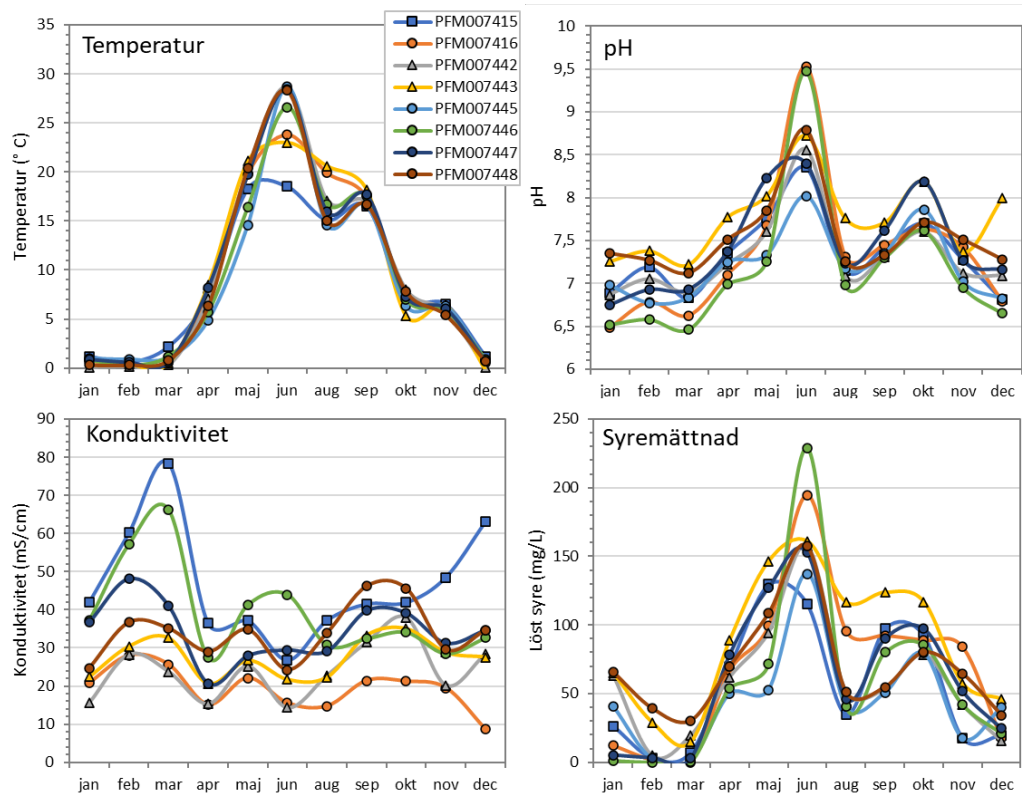
Vattnets egenskaper vid en given tidpunkt är beroende av årstid, storleken på vattenförekomsten och avrinning, djup, primärproduktion etc. Detta leder till variationer i fysiska förhållanden både under året och mellan olika vattenförekomster. Uppenbara årstidseffekter är förändringar i vattentemperaturen med temperaturer under eller nära noll på vintern och över 20° C på sommaren. Många andra parametrar förändras också under året. Både pH och löst syre följer temperaturförändringarna med generellt lägre värden under vintern när primärproduktion minskar och mer koldioxid kan lösas i det kalla vattnet.

Vattentemperaturen uppvisar förväntad säsongsvariation under 2023 (Figur 4-3). De högsta temperaturerna uppmättes under juni och de lägsta i december och januari. Under sommarhalvåret är temperaturskillnaden mellan natt och dag större vilket påverkar vattentemperaturen i gölarna då de beroende på djup och vattenvolym värms upp och kyls av olika fort. Under vinterhalvåret (oktober-mars) var temperaturskillnaden mellan gölarna liten, 0,7–2,7 grader. Under april-september var temperaturskillnaden mellan gölar som mest 10,2 grader i juni och som minst 1,7 grader i september. I juni uppmättes endast 18,5 grader i PFM007415 medan övriga sju gölar hade vattentemperaturer mellan 23,0–28,7 grader. Dygnsvariation förklarar inte den förhållandevis låga vattentemperaturen i PFM007415 i juni. Sex gölar provtogs samma dag och i fem av dessa, inklusive PFM007415, gjordes fältnätningarna mellan kl. 15:05 och kl. 15:51 på eftermiddagen.

Generellt noterades högre pH-värden under sommarhalvåret och lägre under vintern (Figur 4-3). Gölarna hade i snitt ett pH på $7,39 \pm 0,59$ (medel $\pm$ standardavvikelse) men pH varierade mellan 6,46–9,53. Högsta pH uppmättes på provpunkt PFM007416 i juni, men även PFM007446 hade pH över 9 i juni.

Årsvariationen i konduktivitet inom respektive göl låg var som mest 61 mS/m under 2023. I fem av gölarna varierade konduktiviteten med max 30 mS/m mellan de elva mättillfällena (Figur 4-3). Lite större variation uppmättes i PFM007445 (61 mS/m), PFM007415 (52 mS/m) och PFM007446 (39 mS/m).

Syremättnaden var som högst under sommarhalvåret från april till oktober då växternas produktion är som störst. I augusti och september var syremättnaden dock ovanligt låg i flera av gölarna (Figur 4-3).

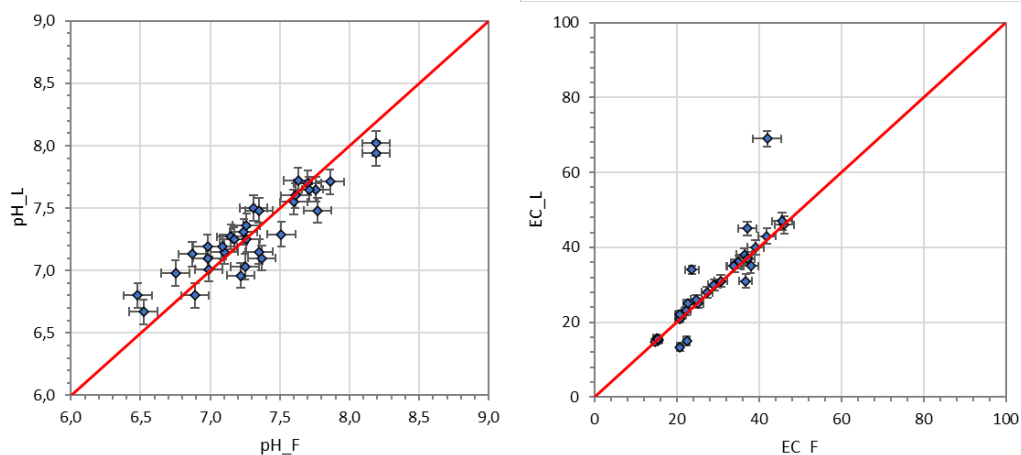


Figur 4-3. Fältmätt vattentemperatur och pH samt konduktivitet och syremättad på provpunkterna i de åtta gölarna. Mätningarna har gjorts på 0,2 m djup vid elva tillfällen under 2023.

pH- och konduktivetsmätningar i fält vs laboratorium

Fältmätningarna av pH och konduktivitet korrelerar med motsvarande laboriemätningar på det insamlade vattnet (Figur 4-4). Skillnaderna mellan pH mätt i fält jämfört med laboriemätt pH kan sannolikt förklaras av olika vattentemperatur i fält och på insamlat vatten samt tidsskillnaden mellan fält- och laboriemätningar.

Fältmätt konduktivitet plottat mot laboriemätt konduktivitet visar god överensstämmelse. Det mest avvikande värdet för konduktivitet i fält jämfört med laboratorium uppmättes på provpunkt PFM007415. Fem av de sex mest avvikande värdena uppmättes i januari, det sjätte provtogs i april.



Figur 4-4. V: Värderna för pH mätt på laboratorium (pH_L) i förhållande till pH mätt i fält (pH_F). H: Värderna för konduktivitet mätt på laboratorium (EC_L) i förhållande till konduktivitet mätt i fält (EC_F). Värderna i fält mäts vid rådande temperatur och värden på laboratorium vid 25° C. Graferna baseras på värden från januari, april, augusti och oktober när vattenprovtagning utförs. Felstaplarna visar mätosäkerheten.

4.5.2 Vattenanalyser

Data från vattenanalyserna av insamlat ytvatten från provpunkter i gölarna redovisas i tabellerna C-2, C-3, C-4 och C-5 i appendix C.

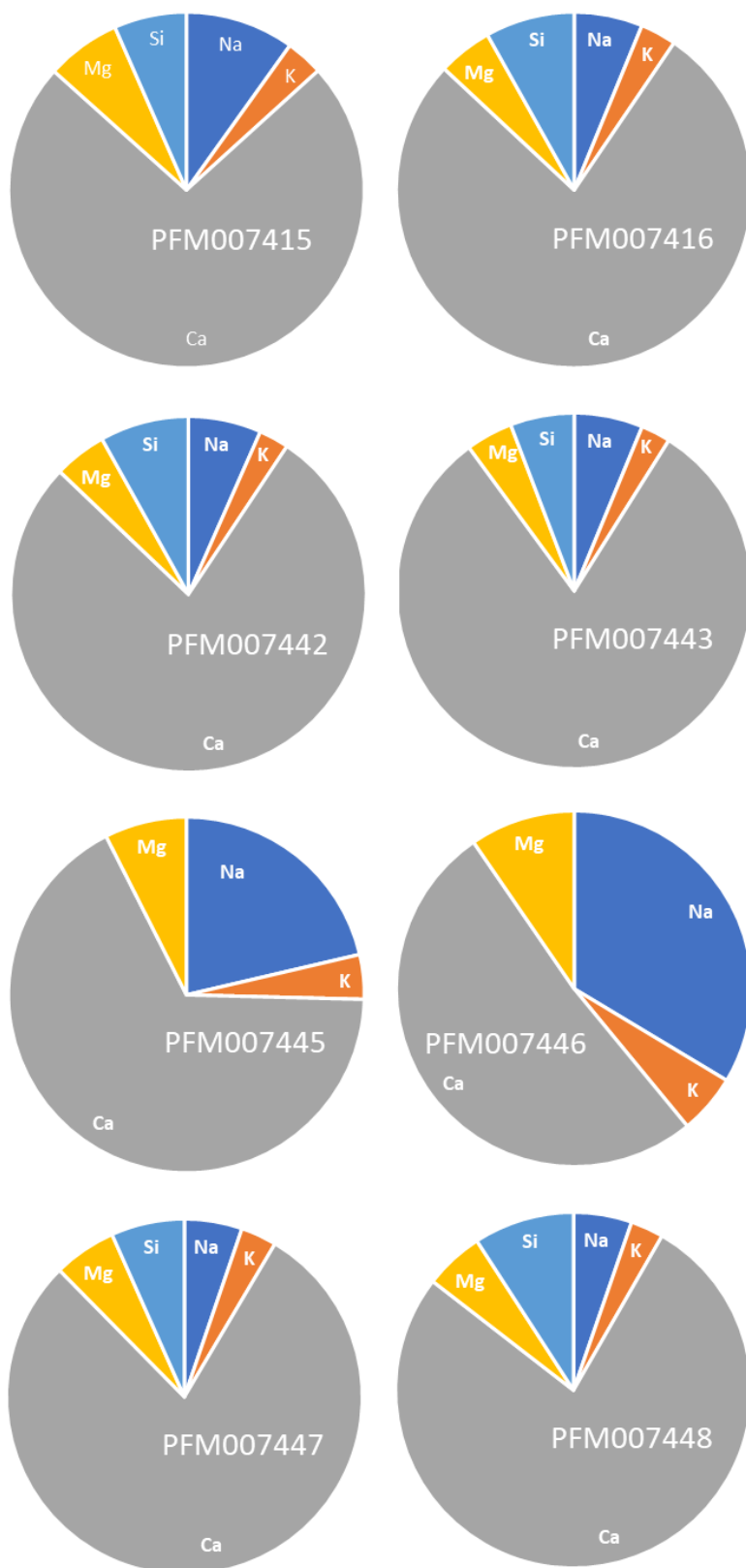
Huvudkomponenter

Vattenanalyserna av huvudkomponenter i ytvatten omfattar Na, K, Ca, Mg, Sr, S, SO_4^{2-} , $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$, Cl, Si och HCO_3^- , komponenterna Fe, Li, Mn, Br, F, I- samt pH och konduktivitet. Data från redovisas i tabell C-2, appendix C. Beräkning av jonbalans (se 2.5.2) ger en indikation på analyskvalité och mätosäkerhet. För ytvatten anses en jonbalans inom $\pm 10\%$ vara acceptabelt. Under 2023 hade fyra av 32 prov från gölarna jonbalanser utanför godkänt intervall (11,99–32,67 %). Det var tre januariprov och ett från oktober.

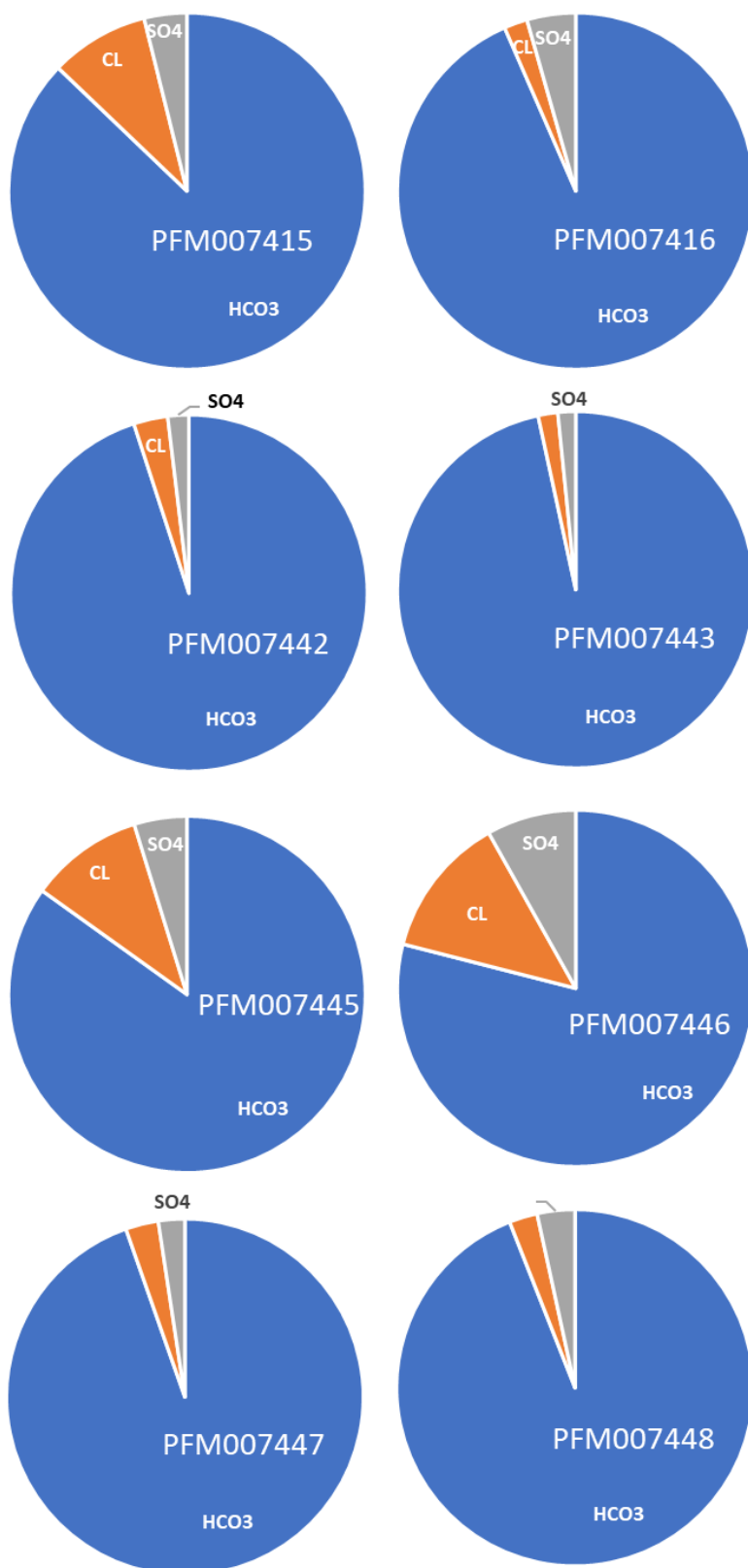
De vanligaste katjonerna i gölarna är kalcium, natrium, magnesium, kisel och kalium. Kalcium är den vanligaste katjonen i samtliga gölar (Figur 4-5). De två gölarna med provpunkterna PFM007445 och PFM007446 särskiljer sig med mindre andel kalcium och högre andelar av övriga katjoner, framför allt natrium. Detta skulle kunna förklaras om gölarna har periodvisa inflöden av saltvatten från havet.

De vanligaste anjonerna i gölarna är vätekarbonat, sulfat och klorid (Figur 4-6). Vätekarbonat är den vanligaste anjonen i samtliga gölar. Andelarna av klorid och sulfat varierar mellan gölarna. Störst andel kloridjoner fanns på provpunkterna PFM007445 och PFM007446. Detta, liksom den högre andelen natriumjoner, skulle kunna förklaras om gölarna har inflöde av havsvatten. Även göl PFM007415, belägen längre från havet, hade emellertid relativt hög andel kloridjoner.

Halterna av natrium- och kloridjoner var i de flesta gölarna relativt stabila under året (Figur 4-7). Tre gölar (PFM007415, PFM007445 och PFM007446) hade emellertid lite större variation i natrium- och kloridjoner. Göl PFM007415 hade ett ovanligt högt värde i januari medan gölarna PFM007445 och PFM007446 hade lägre värden i april. Även under föregående år 2022 utmärkte sig dessa tre gölar med högre halter av både natrium- och kloridjoner och/eller större variation mellan provtagningstillfällena.

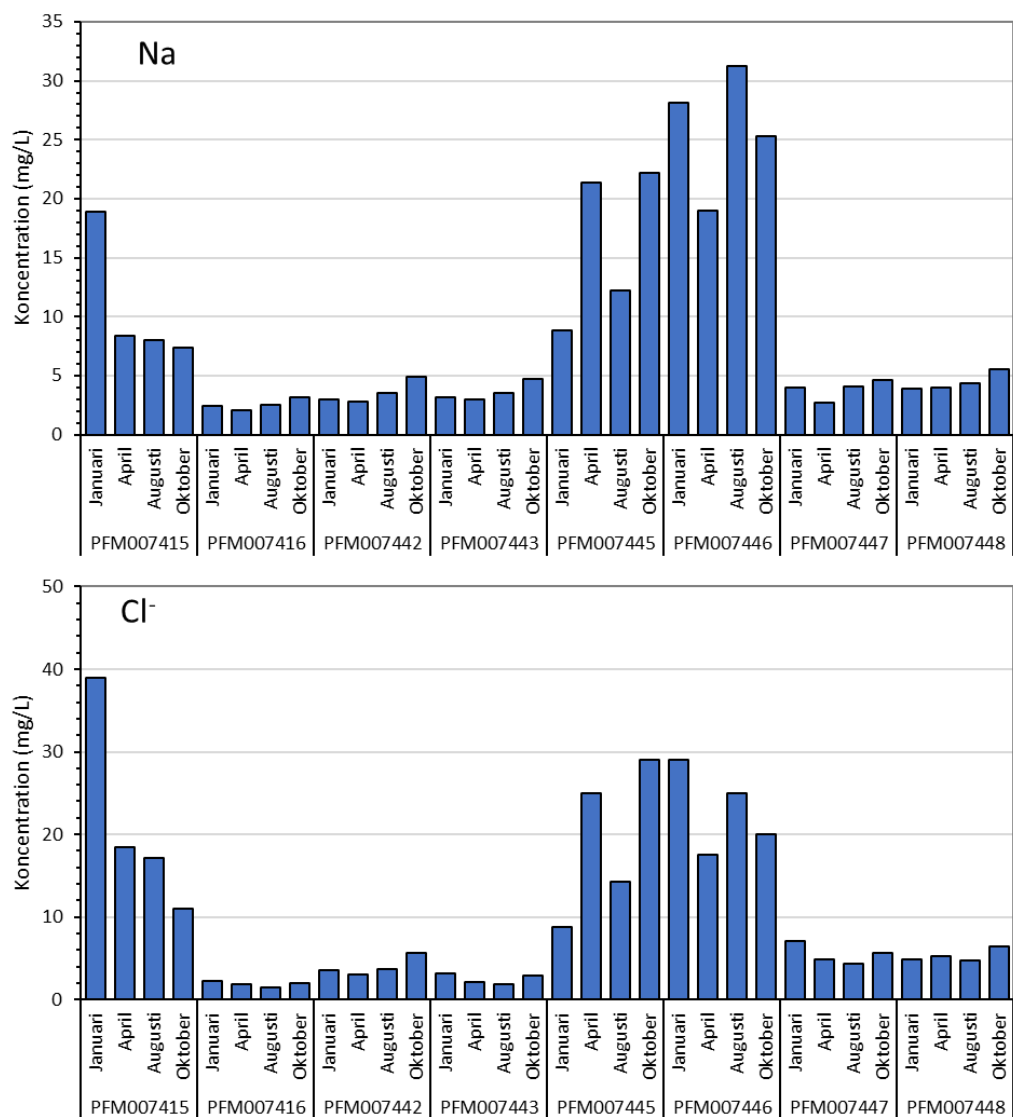


Figur 4-5. Förhållandet mellan de fem vanligaste katjonerna (Ca, K, Mg, Na och Si) i gölarna under 2023. Graferna visar på årsmedelvärden baserat på provtagningar i januari, april, augusti och oktober 2023.



Figur 4-6. Förhållandet mellan de tre vanligaste anjonerna (Cl^- , SO_4^{2-} och HCO_3^-) i gölarna under 2023. Graferna visar på årsmedelvärden baserat på provtagningar i januari, april, augusti och oktober 2023.

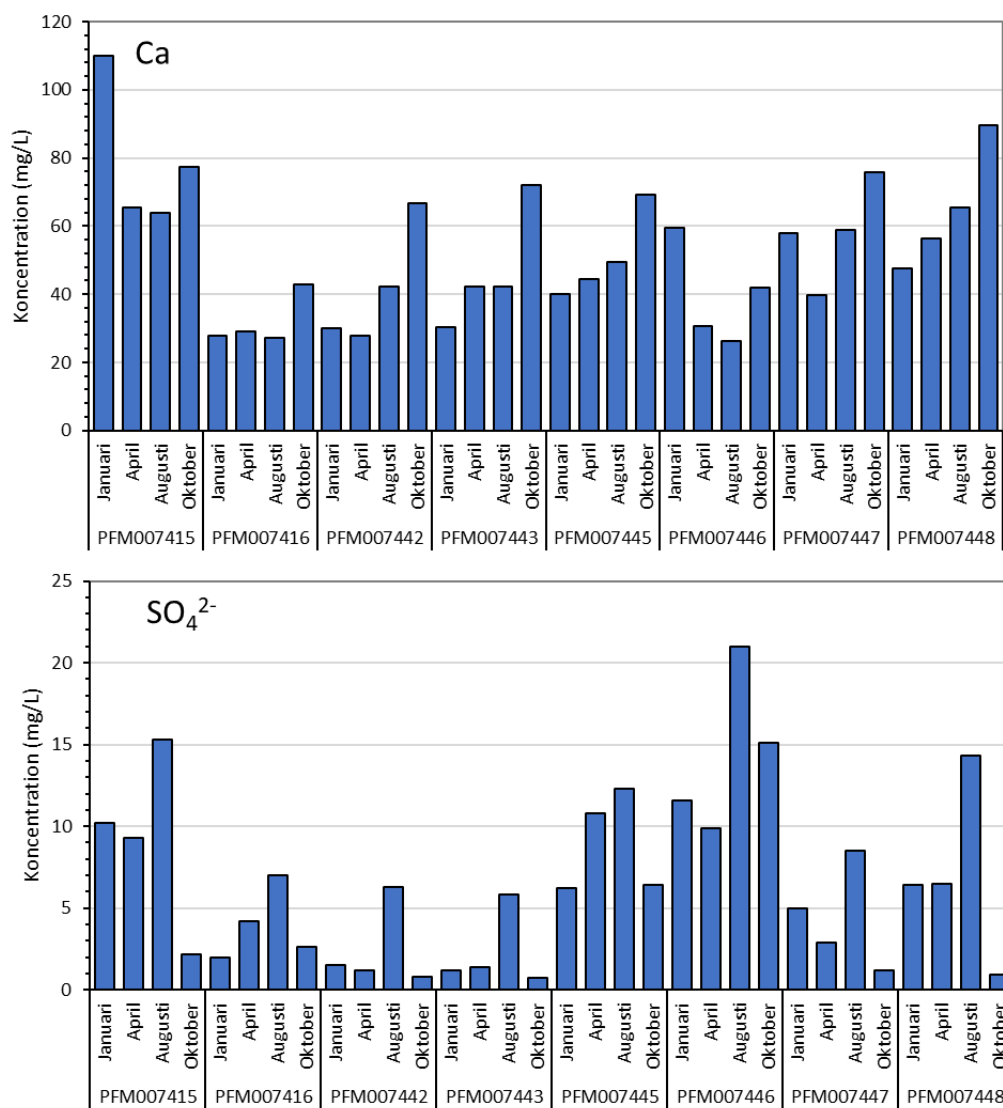
Samtliga gölar hade högre halter av kalciumjoner i oktober. I två gölar, PFM007415 och PFM007446, uppmättes emellertid de högsta koncentrationerna av kalciumjoner i januari (Figur 4-9). Koncentrationerna av sulfatjoner var däremot generellt störst under augusti.



Figur 4-7. Koncentrationer av natriumjoner (övre graferna) och kloridjoner (nedre graferna) på provpunkterna i de åtta gölarna i januari, april, augusti och oktober 2023.



Figur 4-8. På väg tillbaka efter fältmätning från spången i PFM007446, juni 2023.



Figur 4-9. Koncentrationer av kalcium- (övre graferna) och sulfationer (nedre graferna) på provpunkterna i de åtta gölarna i januari, april, augusti och oktober 2023.

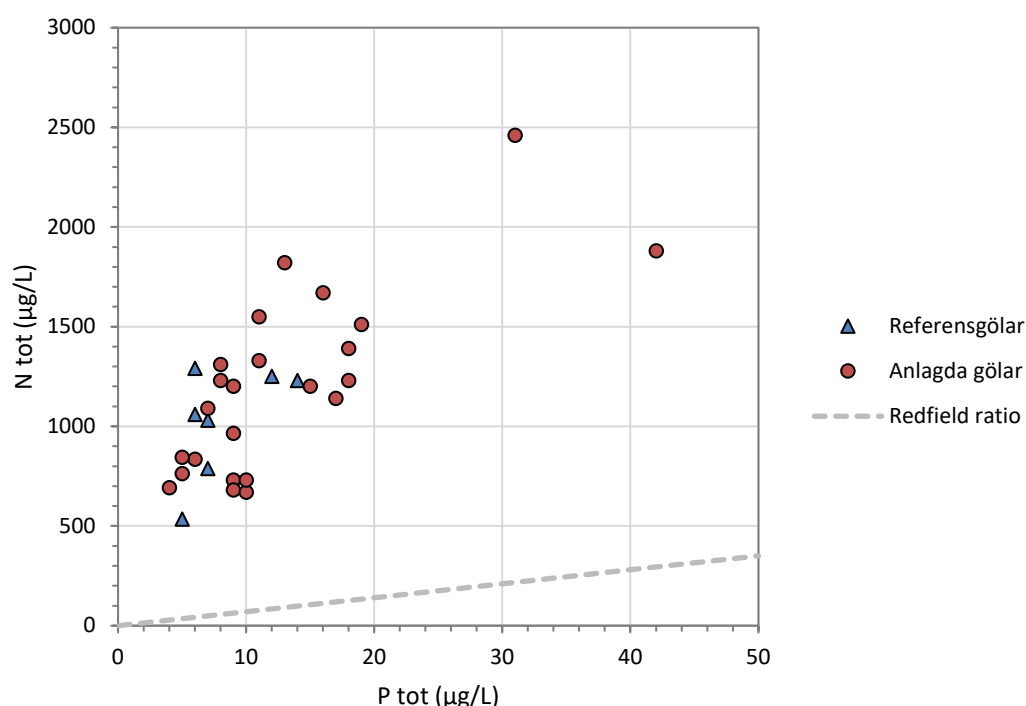


Figur 4-10. Fältmätning på provpunkt PFM007447 i december 2023.

Ytvattenkomplement

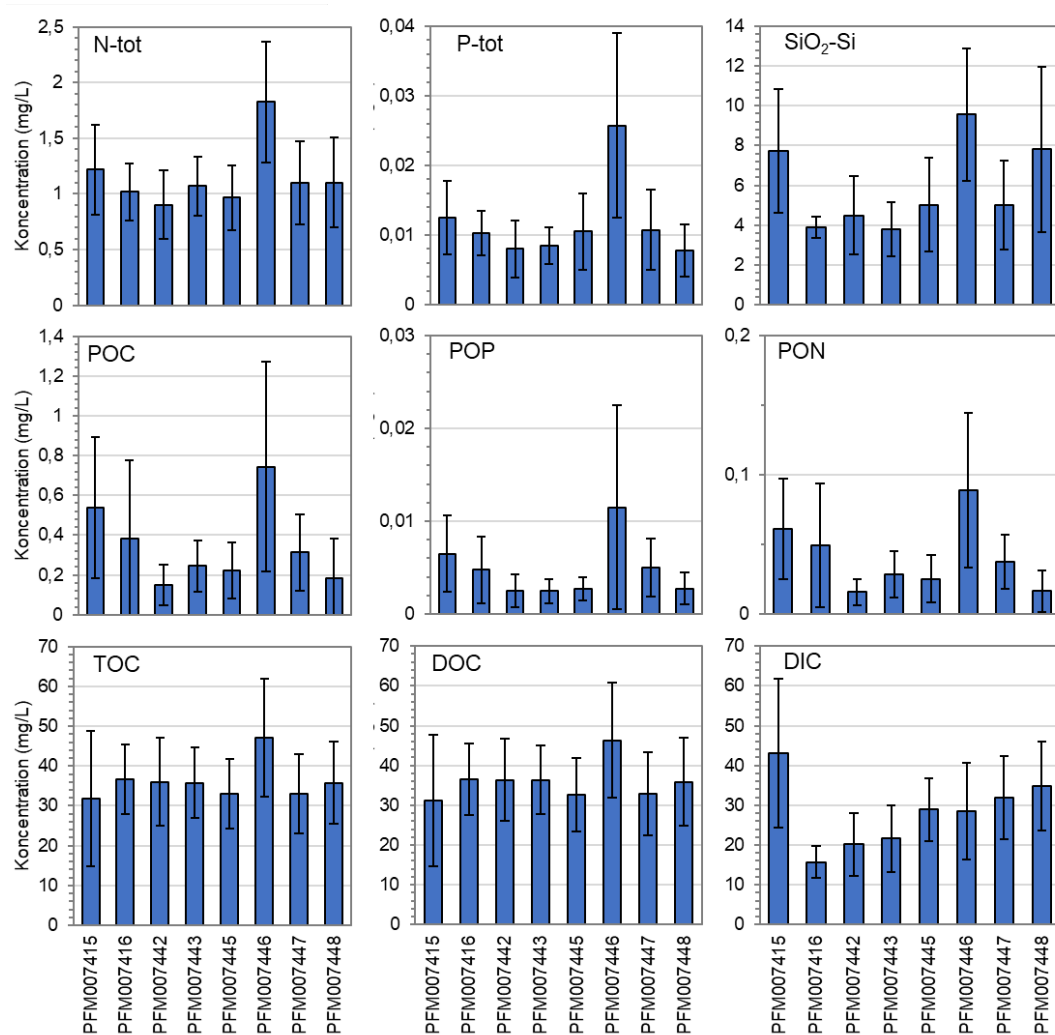
Analysen inkluderar ytvattentilläggen ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitritkväve ($\text{NO}_2\text{-N}$), summa nitrit-nitratkväve ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), totalkväve (N-tot), totalfosfor (P-tot), fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) och kisel ($\text{SiO}_2\text{-Si}$). I analyserna ingår också partikulärt organiskt kol (POC), partikulärt organiskt kväve (PON), partikulärt organiskt fosfor (POP), totalt organiskt kol (TOC), löst organiskt kol (DOC) och löst inorganiskt kol (DIC). Även klorofyll a och c samt pheopigment omfattas av ytvattenkomplementanalyserna. Koncentrationerna av olika kväve-, fosfor- och kolföreningar har stor årstidsvariation men skiljer sig även mellan gölar. Data redovisas i tabell C-3, appendix C.

Primärproduktionen i vatten begränsas ofta av närsalterna kväve eller fosfor. Primärproducenter, till exempel växter och växtplankton, använder kväve och fosfor i ett massförhållande på 7:1 (Redfield ratio). En kvot mellan kväve och fosfor som skiljer sig från 7, indikerar vilket näringsämne som är begränsande för primärproduktionen. En högre kvot än 7 visar att det finns kväve i överflöd och att fosfor begränsar produktionen. Lägre kvoter tyder på kvävebegränsning, vilket i sin tur kan gynna cyanobakterier som kan fixera kväve från luften. I sötvatten är fosfor vanligtvis det begränsande ämnet medan kväve begränsar primärproduktionen i öppna hav. I kustområden kan det variera. Samtliga provtagna gölar var fosforbegränsade (Figur 4-11).



Figur 4-11. Förhållandet mellan kväve och fosfor på provtagningspunkterna i de två referensgöarna och de sex anlagda göarna. Data från provtagningar i januari, april, augusti och oktober 2023. Den streckade linjen visar massförhållande 7:1 mellan kväve och fosfor, s k Redfield ratio. Värden ovanför linjen indikerar kväveöverskott och fosforbegränsning, värden under linjen det omvända.

Årsmedelvärden för utvalda ytvattenkomplement indikerar att göl PFM007446 särskilde sig från övriga gölar. Göl PFM007446 hade generellt högre årsmedelvärde av totalkväve, totalfosfor, partikulärt organiskt kol (POC), partikulärt organisk fosfor (POP), partikulärt organiskt kväve (PON), totalt organiskt kol (TOC) och löst organiskt kol (DOC) under 2023 (Figur 4-12). Variationen i halter var emellertid stor under året. Göl PFM007415 hade högre halt av löst inorganiskt kol (DIC). Årsmedelvärdena indikerade också att gölarna PFM007415, PFM007446 och PFM007448 generellt hade högre kiselhalter jämfört med övriga fem gölar.



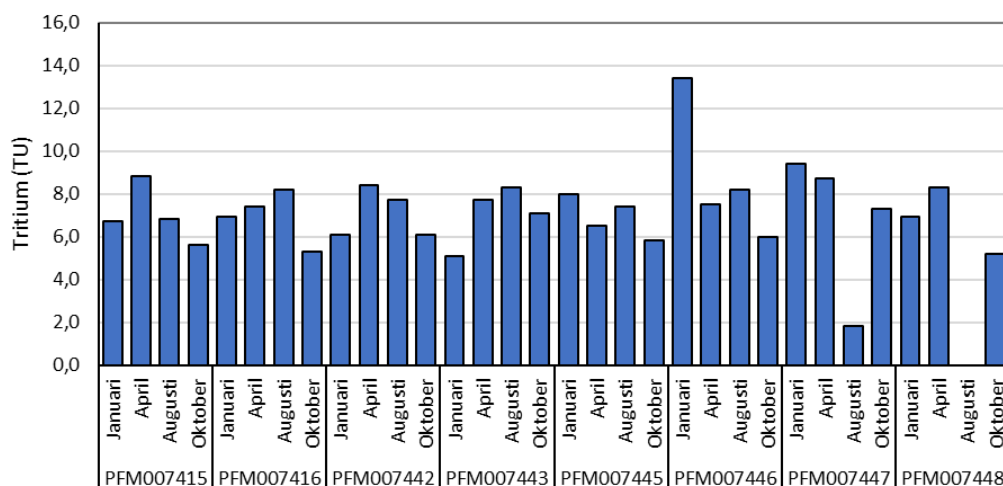
Figur 4-12. Årsmedelkoncentrationer ($\pm$ standardavvikelse) av några utvalda ytvattenkomponent, totalkväve (N-tot), totalfosfor (P-tot), kisel (SiO₂-Si), partikulärt organiskt kol (POC), partikulärt organiskt kväve (PON), partikulärt organiskt fosfor (POP), totalt organiskt kol (TOC), löst organiskt kol (DOC) och löst inorganiskt kol (DIC). Medelvärde och standardavvikelse baseras på fyra provtagningstillfällen under 2023 (januari, april, augusti och oktober).

Spårämnen

Analyserna av spårämnen och ovanliga komponenter som i allmänhet finns i låga koncentrationer omfattade Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Pd, Rb, Sb, Se, Sn, V, Zn och Zr. På provpunkterna i referensgölar (PFM007442 och PFM007443) som provtogs enligt det utökade programmet ingick även Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Rb, Sc, Sm, Tb, Th, Tl, Tm, U, Y och Yb. Resultaten från spårämnesanalyserna finns i tabell C-4 i appendix C.

Isotoper

Isotopanalyserna omfattar den radioaktiva isotopen tritium (^3H) samt de stabila isotoperna deuterium (δD), och oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$). Resultaten från de fyra provtagningarna i januari, april, augusti och oktober 2023 visade tritiumvärden mellan 1,8–13,4 TU i de åtta gölarna (Figur 4-13). Det högsta värdet uppmättes i göl PFM007446. Medelkoncentration av tritium i gölarna var detta år $7,2 \pm 1,9$ TU. Motsvarande koncentrationer i provtagna vattendrag och sjöar i området var $7,7 \pm 1,7$ respektive $7,8 \pm 2,5$ TU. Koncentrationer av tritium (^3H), deuterium (δD) och oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) redovisas i tabell C-5, appendix C.



Figur 4-13. Tritiumhalter i januari, april, augusti och oktober 2023. Provpunkterna PFM007442 och PFM007443 ligger i de två referensgömlarna och övriga provpunkter (PFM007415, PFM007416 och PFM007445-PFM007448) ligger i anlagda gömlar. Det externa laboratoriet rapporterade inget resultat för augusti på provpunkt PFM007448.

4.5.3 Övriga observationer

I samband med fältnätningar och provtagningar noteras även eventuella observationer av djurliv i och kring gömlarna.

I april observerades huggorm (AFM001420), många paddor (AFM001422), två salamandrar (AFM001421), grodrom (AFM001419 och AFM001420) och en igel, oklart om det var hästigel eller blodigel (AFM001426).

I maj hördes spelande gölgrödor i fyra av gömlarna (AFM001420, AFM001421, AFM001442 och AFM001443). Det var mycket spel (fler än tio grodor) i de två nyaste gömlarna, AFM001442 och AFM001443. Vid AFM001419 spelade gölgrödorna i en närliggande naturlig göl men vid besökstillfället inte i AFM001419.

I juni observerades gölgrödor i AFM001443 och AFM001421. Göl AFM001422 observerades en gädda och en annan fisk, troligen sutare (Figur 4-14) samt en hel del grodyngel. I augusti hördes en gölgröda vid AFM001421.



Figur 4-14. OV: En gölgröda i en anlagd göl. H: Större fisk i AFM001422. NV: Padda i AFM001422.

4.6 Diskussion och slutsats

Resultaten från 2023 års övervakning av de åtta gölarna visar inga överraskningar. Rutinerna kring programmets utförande är etablerade och fungerar väl efter många års provtagning, analys och administration. Programmet har löpt på utan större avvikelser eller oväntade händelser. Forsmarksområdet har välbuffrade sötvattenförekomster med hög alkalinitet, högt pH och höga kalciumhalter och det gäller även de anlagda gölarna.

5 Nederbörd

5.1 Omfattning

Hydrokemisk övervakning av nederbörd i Forsmark utfördes under 2023 på en provtagningslokal. Övervakningen har periodvis ingått i det hydrokemiska övervakningsprogrammet sedan slutet av 2002. Den första övervakningsperioden avslutades i juni 2008 (Berg 2007, Berg et al. 2009, Nilsson 2005, Qvarfordt et al. 2008). Övervakningen återupptogs mellan 2010 och 2012 efter val av plats för planerat slutförvar och analysomfattningen utökades att även inkludera spårämnen (Berg et al. 2015). Efter ytterligare några års uppehåll identifierades behovet att återuppta provtagning av nederbörd och ett nytt övervakningsprogram startade i september 2016 och har pågått sedan dess. Utförandet för 2023 års provtagning och analys styrs av aktivitetsplan AP SFK-23-004.

5.2 Insamlingslokal och provtagningsschema

Figur 5-1 visar punkten PFM008126 som sedan våren 2019 har använts för insamling av nederbörd för hydrokemisk analys. Innan dess låg insamlingsplatsen för nederbörd vid punkt PFM002564 men flyttades pga. tillgänglighet till platsen. Den nuvarande provtagningspunkten PFM008126 ligger på SKB-ägd fastighet i ett skogsområde någorlunda avskilt från potentiellt störande faktorer som fordon- och gångtrafik. Platsen underhålls regelbundet från sly för att inte insamlingsbehållarna ska bli övertäckta.



Figur 5-1. Insamlingslokal för provtagning av nederbörd i Forsmarks undersökningsområde. Det planerade kärnbränsleförvarets undermarksdel är markerad.

5.3 Utrustning

Utrustningen för insamling av nederbörd består av plastbehållare i PE-plast monterade på cirka 1,5 m höga ställningar. Sex behållare används samtidigt för att garantera tillräcklig provvattenvolym för att kunna utföra kemiska analyser.

Det finns två typer av behållare, en sommarbehållare för insamling av regn och en vinterbehållare för insamling av snö. Sommarbehållaren är trattformad och fastskruvad till en flaska i samma material. Flaskan har en löstagbar sil vid öppningen för att förhindra kontamination av prov från växtmaterial såsom löv, barr och insekter. Vinterbehållaren är mer burkformad för att kunna samla in snö. Behållarna är framtagna av NILU (Norsk institutt for luftforskning) och är ISO-certifierade. De två olika behållarna skiftas under april respektive oktober beroende på väderförhållanden.



Figur 5-2. Uppsamlingsbehållare för regn (v.) respektive snö (h.) vid insamlingslokal PFM008126.

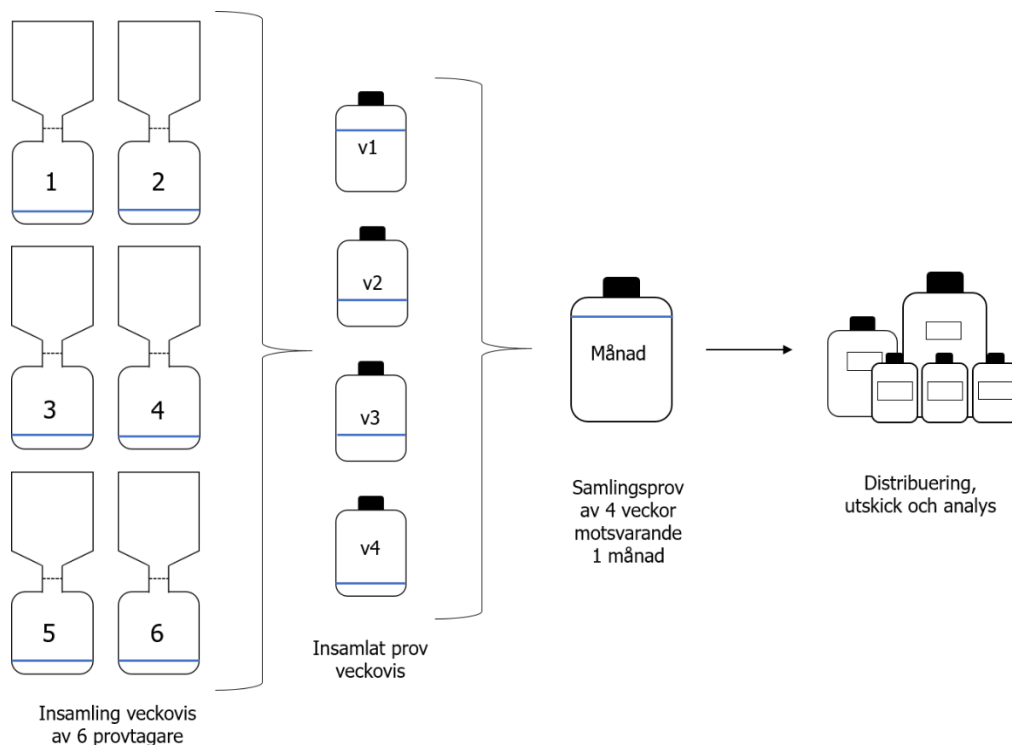
5.4 Utförande

5.4.1 Provtagning

Provtagning sker enligt metodbeskrivning SKB MD 423.003. Nederbördsprovtagarna töms en gång i veckan oavsett mängd vatten eller snö i behållarna. Det finns två uppsättningar av provtagningsutrustningen vilket möjliggör kontinuerlig nederbördsinsamling. Efter varje tömning samlas provtagarna in och byts ut till rengjorda kärl. Varje utrustningsuppsättning rengörs mellan provtagningsomgångarna för att undvika kontamination.

Volym provvatten noteras för det insamlade provet innan det hälls över i provflaskor som förvaras i kyl. Vid snöinsamling smälts snön innan volym provvatten mäts. I slutet av varje månad kombineras samtliga veckoprover för den månaden till ett samlingsprov motsvarande en månads nederbörd.

Provvattnet fördelas sedan på provflaskor och distribueras ut för analys på olika laboratorium. Se schematiskt flöde för provhantering av samlingsproven i Figur 5-3.



Figur 5-3. Schematisk bild över provhantering för nederbörd.

5.4.2 Analyser

Fältnätningar, se Tabell 5-1, utförs vid provtagningslokalen eller direkt efter provtagning på laboratorium. Snö som samlats in smälts på laboratorium innan mätningar av pH och konduktivitet utförs.

Samlingsprov för en månads nederbörd analyseras enligt Tabell 5-1. Till följd av mycket låga koncentrationer i nederbördsproven kan urval av analysparametrar skilja från SKB:s kemiklasser. Vid månader med liten mängd nederbörd och därmed liten volym i samlingsprovet utförs analyser efter följande prioritetsordning: δD , $\delta^{18}O$, pH, konduktivitet, anjoner, katjoner, 3H och arkivprover.

Tabell 5-1. Provpreparering och provutskick

Komponent	Volym (mL)	Provpreparering
pH (fält), konduktivitet (fält) temperatur (fält)	-	-
pH, konduktivitet, alkalinitet	100 – 250	-
Bromid/Jodid	50 – 100	-
Na, K, Ca, Mg, Si, Fe, Mn, Li, Sr samt miljömetaller*	60	Filtreras med 0,4 μ m filter, surgjord med 1% HNO_3
Cl ⁻ , SO_4^{2-} , F ⁻ , Br ⁻	100 – 250	-
3H	500	Toppfylls, luftbubblor undviks
$\delta D/^{18}O$	100	Toppfylls, luftbubblor undviks
TOC	100	Fryses
Arkivprov	2x60, 2x250	Fryses

*Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, Hg, Ni, Nb, Pd, Rb, Sb, Se, Sn, V, Zr

5.5 Resultat

Under perioden 2023-01-04 till 2024-01-05 insamlades nederbörd veckovis vid totalt 42 tillfällen. I Tabell 5-2 redovisas vilka perioder de 12 samlingsproverna representerar. Samlingsprovet för juni innehöll för liten mängd vatten för samtliga analyser.

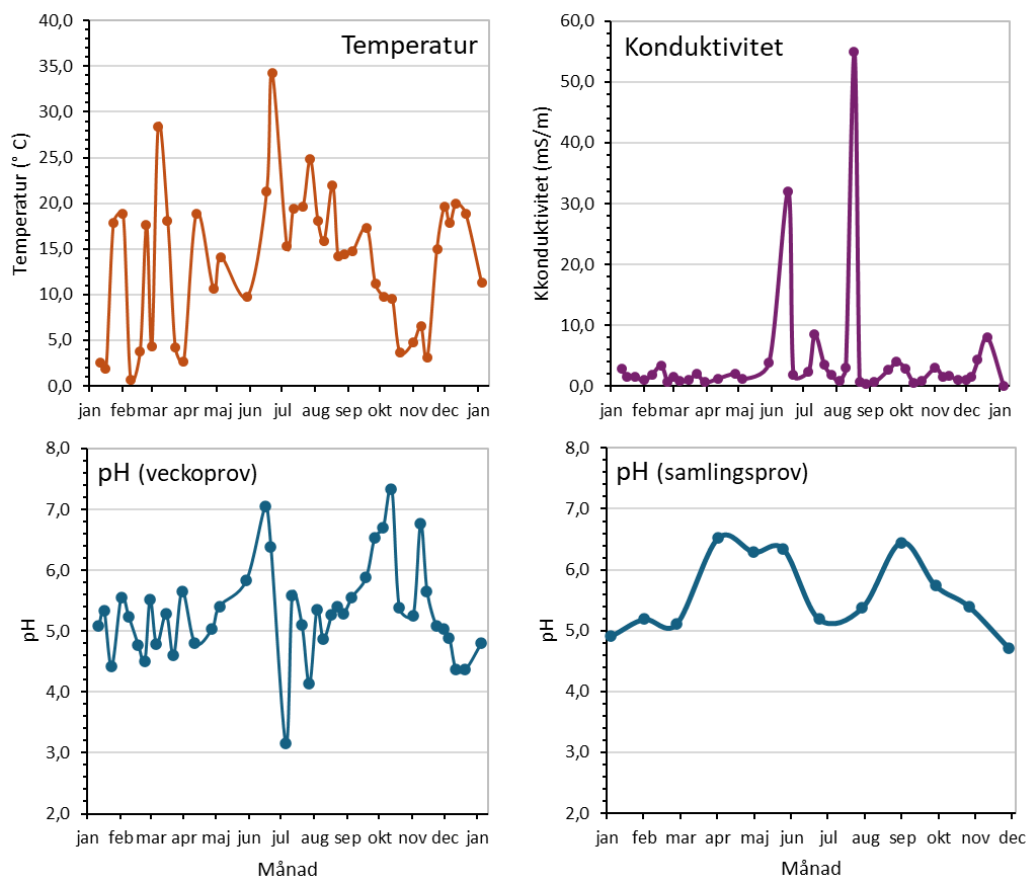
Tabell 5-2. Analysperioder för samlingsproven

Månad	Startdatum (åååå-mm-dd)	Stoppdatum (åååå-mm-dd)
Januari	2023-01-04	2023-02-01
Februari	2023-02-01	2023-02-28
Mars	2023-02-28	2023-04-04
April	2023-04-04	2023-05-04
Maj	2023-05-04	2023-05-29
Juni	2023-05-29	2023-06-28
Juli	2023-06-28	2023-08-03
Augusti	2023-08-03	2023-09-05
September	2023-09-05	2023-10-04
Oktober	2023-10-04	2023-11-01
November	2023-11-01	2023-12-05
December	2023-12-05	2024-01-04

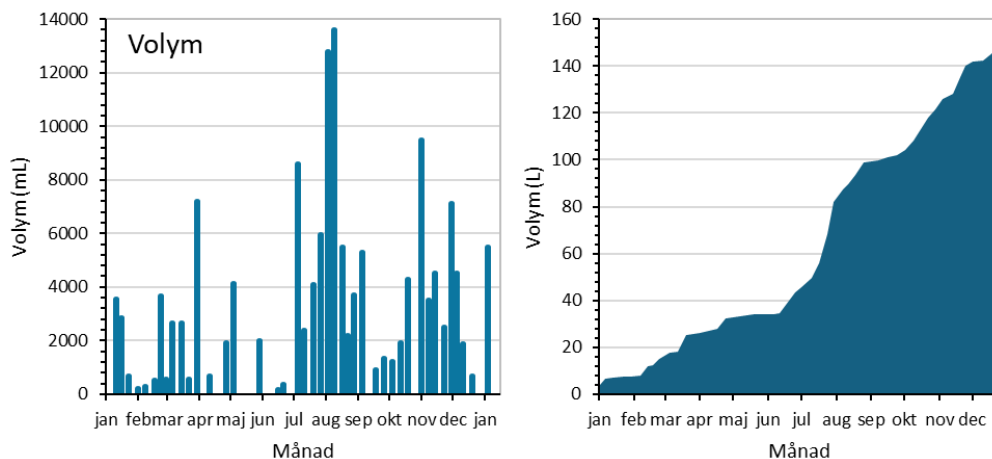
5.5.1 Fältmätningar

Mätningar av pH, konduktivitet och temperatur utfördes för varje veckoprov. Temperaturen påverkas naturligtvis mycket av om den mäts på plats i fält eller efter ankomst till, och eventuell snösmältning, platslaboratoriet (Figur 5-4). I Figur 5-4 visas även pH och konduktivitet. Nederbördens pH varierade mellan 3,15–7,33 med störst variation under perioden juni-november. Konduktiviteten var generellt låg, 0,1–8,5 mS/m, men två toppar på 32,0 mS/m och 55,0 mS/m noterades under juni respektive september.

Augusti var den mest nederbördsrika månaden under 2023. I Figur 5-5 visas insamlad veckovolym vatten eller smält snö samt kumulativ volym under provtagningsperioden. Kumulativ volym är sammanlagd nederbörd som fallit fram till respektive insamling och ju brantare kurvan är desto mer nederbörd föll under perioden.



Figur 5-4. Temperatur, konduktivitet och pH vid veckovis nederbördsinsamling under perioden 2023-01-04 till 2024-01-05. Mätningar har utförts i fält eller efter ankomst till platslaboratoriet. I figuren visas även pH för de 12 samlingsproven, dvs. pH-mätning efter att veckoproven har kombinerats till ett månadsprov.



Figur 5-5. Vattenvolym per veckovis nederbördsinsamling samt kumulativ volym under perioden 2023-01-04 till 2024-01-05.

5.5.2 Vattenanalyser

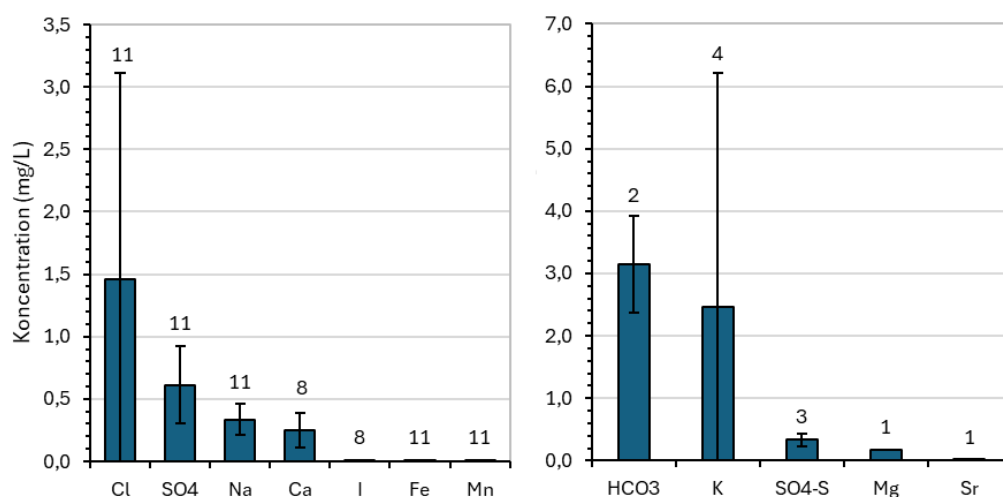
De kemiska analyserna som utfördes för samlingsproven omfattar huvudkomponenter, isotoper samt miljömetaller och spårelement. Huvudkomponenterna inkluderar Br^- , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , F^- , Fe^{2+} , I^- , K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , S^{2-} , Si^{4-} , SO_4^{2-} , Sr^{2+} och TOC samt analys av pH och konduktivitet. Analyser av isotoper inkluderar de stabila isotoperna δD och $\delta^{18}\text{O}$ samt den radioaktiva isotopen tritium (^3H). Analyser av miljömetaller och spårelement inkluderar Al , Ag , As , B , Ba , Cd , Cr , Cu , Co , Hg , Nb , Ni , Mo , Pb , Pd , Se , Sn , V , Zn , Rb , Zr , Sb , Cs och Nd . Resultaten presenteras i appendix D.

Huvudkomponenter

Huvudkomponenter i nederbörd förekommer i mycket låga koncentrationer och flera ämnen hamnar under detektionsgränsen. Analytiska felmarginaler för små koncentrationer medför större påverkan i beräkningen för jonbalans. Jonbalansen kunde därför endast beräknas för fem av 12 samlingsprover. Fyra av de beräknade värdena översteg emellertid $\pm 10\%$, den jonbalans som anses vara acceptabel för ytvatten. För samlingsprovet från juni analyserades endast pH, konduktivitet och alkalinitet (vätekarbonat, HCO_3^-) pga. vattenbrist.

Sulfat och klorid stod för de största anjonsbidragen i 2023 års nederbörd (figur 5-6). Sulfat och klorid förekom i halter över detektionsgräns i samtliga elva samlingsprover där analys av dessa joner utfördes. De högsta koncentrationerna av både klorid och sulfat noterades för maj (6,3 mg/L respektive 1,3 mg/L). Bromid och fluorid uppmättes aldrig över detektionsgränsen (0,2 mg/L). Alkaliniteten har endast resultat från två samlingsprov, maj och juni. I övriga samlingsprov har alkaliniteten antingen varit under detektionsgränsen (2 mg/l) eller så har pH varit under pH 5,3. Samlingsprovets pH varierade mellan 4,71–6,52, med högst pH under april, maj, juni och september (Figur 5-4).

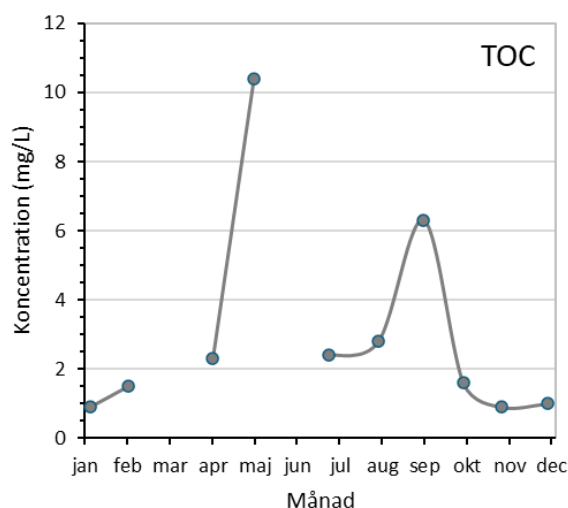
Störst katjonbidrag kom från natrium och kalcium (Figur 5-6). Natrium förekom över detektionsgräns i samtliga elva samlingsprov där analys av dessa joner utfördes, och kalcium i åtta av elva. Även kalium kunde förekomma i högre koncentrationer men halter över detektionsgräns uppmättes endast i fyra av elva samlingsprover. I likhet med de vanligaste anjonerna uppmättes den högsta kaliumhalten (8,08 mg/L) i samlingsprovet för maj. Både natrium och kalcium uppvisade förhållandevis liten variation under året. Katjonerna litium, kisel och strontium uppmättes under sin respektive detektionsgräns (0,002, 0,3 respektive 0,004 mg/L) för samtliga månader, vilket stämmer överens med resultat från tidigare år.



Figur 5-6. Katjoner och anjoner i nederbörden under perioden 2023-01-04 till 2024-01-05. I graferna visas medelvärde $\pm$ standardavvikelse samt antal prov (n) med resultat över detektionsgräns. I den vänstra grafen visas de joner med $n > 5$ och i den högra $n < 6$. Antal prov som analyserats är elva, utom för HCO_3^- där 12 prov analyserats. Notera olika skalor på y-axlarna.

Kolföreningar

Halten av totalt organiskt kol (TOC) låg generellt kring 2,2 mg/L men i maj uppmättes en TOC-koncentration på 10,4 mg/L (Figur 5-7). Toc-halterna var generellt lägre under vinterhalvåret än sommarhalvåret, oktober-mars: $1,2 \pm 0,3$ mg/L, april-september: $4,8 \pm 3,5$ mg/L (medelvärde $\pm$ standardavvikelse).

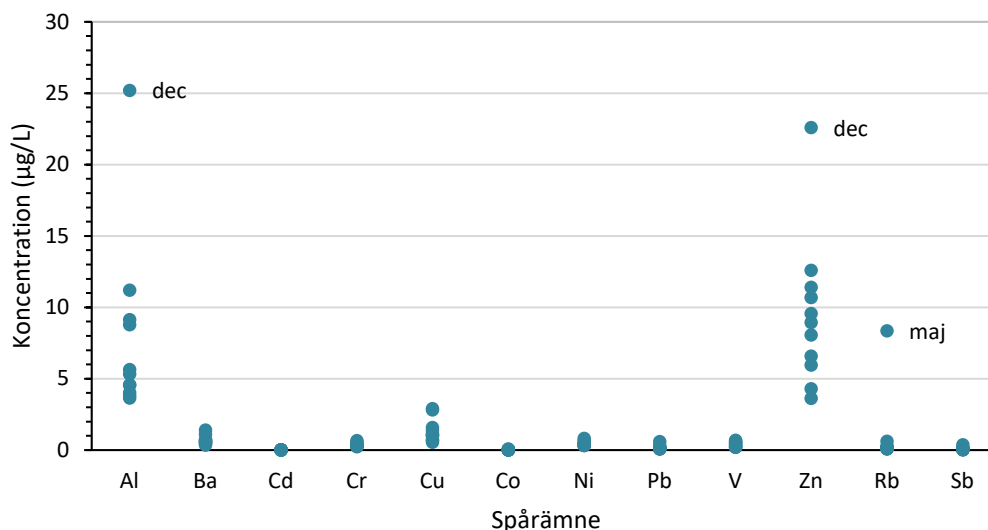


Figur 5-7. Halter av totalt organiskt kol (TOC) i samlingsproverna under 2023. Provet för analys av TOC i mars förolyckades och i juni bortprioriterades analys av TOC pga. vattenbrist.

Spårämnen

Under 2023 noterades enstaka ovanligt höga halter av tre spårämnen (Figur 5-8). I samlingsprovet för maj uppmättes en betydligt högre halt (8,36 µg/L) av rubidium jämfört med övriga samlingsprover (0,07–0,61 µg/L) under 2023. I samlingsprovet för december uppmättes avsevärt högre halter av aluminium (25,20 µg/L) och zink (22,60 µg/L) jämfört med övriga samlingsprover (3,65–11,20 µg/L respektive 3,62–12,60) under 2023.

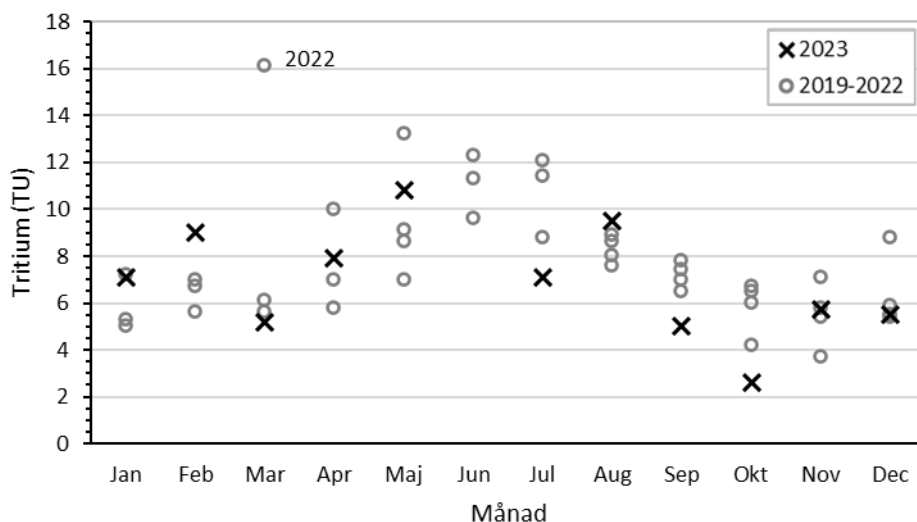
Spårelementskoncentrationerna varierar under året och flera av spårämnena var ofta nära eller under detektionsgränsen. Zink och aluminium stod för störst bidrag bland spårämnena (3,6–25,2 µg/L) (Figur 5-8). Även koppar förekom generellt i lite högre koncentrationer, $1,4 \pm 0,8$ mg/L (medelvärde $\pm$ standardavvikelse) jämfört med övriga som förekom medelkoncentrationer <1,0 mg/L. Spårämnen som ofta låg nära eller under sin detektionsgräns var Ag, As, Cs, Hg, Mo, Nb, Pd och Zr. För B, Se och Sn uppmättes ingen koncentration över respektive detektionsgräns i samlingsproven från 2023. Spårämnen analyserades inte för samlingsprovet för juni pga. vattenbrist.



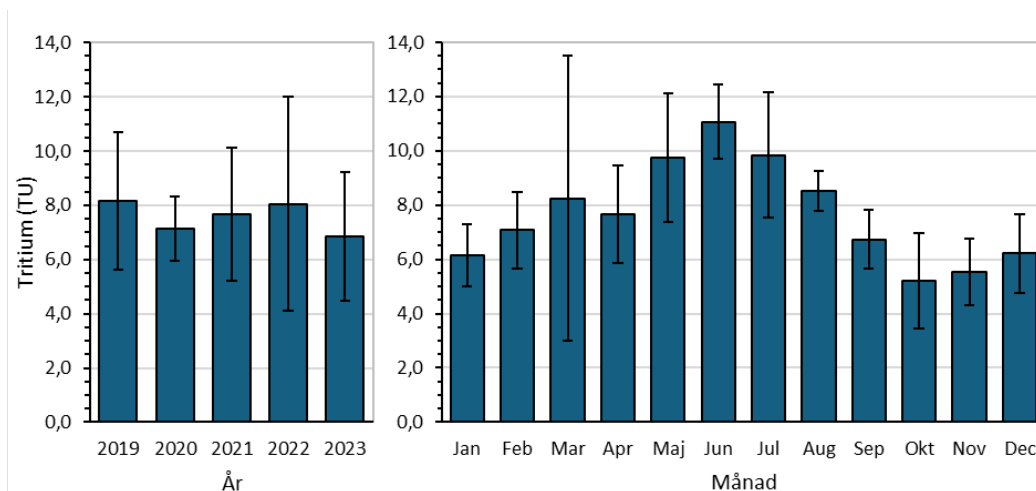
Figur 5-8. Koncentrationer av de spårämnen som förekom i halter över sin detektionsgräns i samtliga elva samlingsprover som analyserades för spårämnena under 2023. Spårämnesanalysen utgick för samlingsprovet för juni pga. vattenbrist. För de tre ovanligt höga halterna av Al, Zn och Rb har provtagningsmånad angetts.

Isotoper

Tritiumhalterna i nederbörden under 2023 uppvisar inga större avvikelser jämfört med tidigare år under perioden maj 2019-december 2022 (Figur 5-9). I oktober 2023 uppmättes den lägsta tritiumhalten under perioden, 2,6 TU. Den högsta halten (16,1 TU) noterades i mars 2022. Under perioden maj 2019-december 2023 har tritiumhalterna legat kring $7,5 \pm 2,5$ TU (medelvärde $\pm$ standardavvikelse). Generellt har nederbörden haft högre koncentration av tritium under maj-juli och lägre under hösten (Figur 5-10).

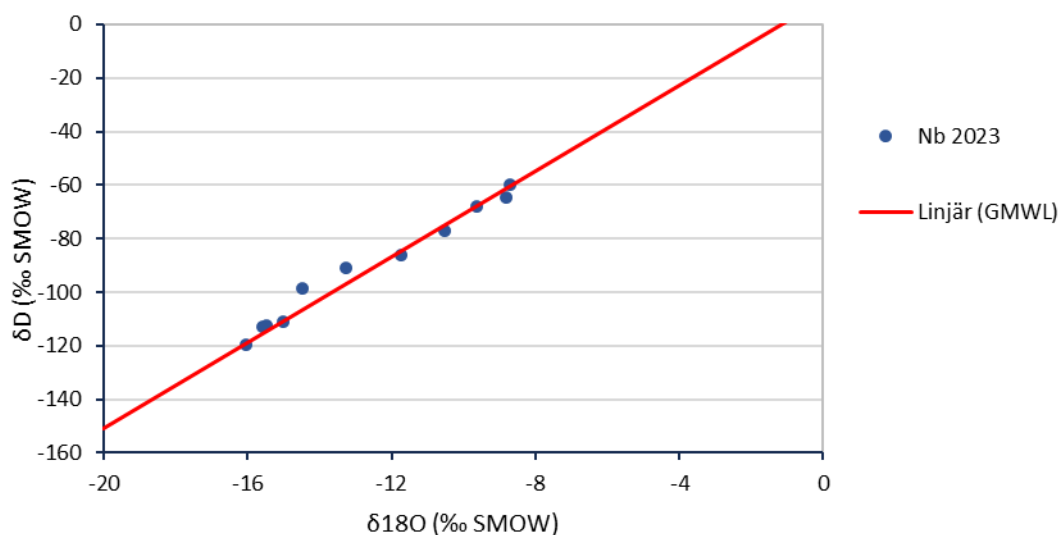


Figur 5-9. Uppmätta tritiumhalter vid insamlingslokal PFM008126 under åren 2019-2023. I figuren visas resultat från maj 2019. Resultat saknas för juni och juli 2022, samt juni 2023 pga. för lite nederbörd. Den högsta tritiumhalten har under denna period uppmätts i mars år 2022.



Figur 5-10. Års- och månadsmedelvärden ($\pm$ standardavvikelse) för tritium i nederbörd insamlad på PFM008126 under perioden maj 2019 - december 2023. Resultat saknas för juni och juli 2022, samt juni 2023 pga. för lite nederbörd.

GMWL (Global Meteoric Water line) beskriver förhållandet mellan stabila syre- och väteisotoper i naturliga vatten (Craig 1961). En god passning till linjen indikerar rimliga analysvärden och att nederbörden inte är avsevärt påverkad av evaporation under sommaren. Vid plotning av δD och $\delta^{18}O$ stämmer värdena bra överens med GMWL, se Figur 5-11.



Figur 5-11. Förhållandet mellan $\delta^{18}\text{O}$ och δD för 2023 års nederbördsdata jämfört med GMWL (Global Meteoric Water Line). Värden för juni 2023 saknas pga. vattenbrist.

5.6 Diskussion och slutsats

Koncentrationer av många huvudkomponenter, miljömetaller och spårelement var som väntat generellt mycket låga och låg ofta nära eller under detektionsgräns, vilket följer resultat från tidigare år (Qvarfordt et al. 2022, 2024). De naturligt låga koncentrationer i nederbördsproven gör det svårt att uppnå representativa värden. Detta påverkar jonladdningsbalansen och medför uträknade värden med stora avvikelser från den accepterade gränsen för ytvatten, $\pm 10\%$, eller så kan laddningsbalans inte beräknas. Naturligt låga koncentrationer av spårelement medför också stor risk för kontamination till följd av användning av olika utrustning och vid hantering av provet.

Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på www.skb.se/publikationer. SKBdoc-dokument lämnas ut vid förfrågan till dokument@skb.se.

Artdatabanken, n d. Gölgröda - Artbestämning från SLU Artdatabanken. Tillgänglig: <https://artfakta.se/artbestamning/taxon/pelophylax%20lessonae-100119> [21 Maj 2022].

Berg C, 2007. Forsmark site investigation. Sampling and analysis of precipitation, September 2005 to June 2007. SKB P-07-170, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Berg C, Harrström J, Nilsson A-C (ed), Nilsson K, Borgiel M, Qvarfordt S, 2009. Forsmark site investigation. Hydrochemical monitoring of groundwaters, surface waters and precipitation. Results from sampling in the Forsmark area, January 2008–December 2008. SKB P-09-51, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Berg C, Borgiel M, Qvarfordt S, 2015. Hydrochemical monitoring of near surface groundwaters, surface waters and precipitation. Results from the sampling period January 2011– December 2011 in the Forsmark area. SKBdoc 1386267 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Craig H, 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133, 1702–1703.

Johansson P-O, 2005. Forsmark site investigation. Manual discharge measurements in brooks, April 2002–April 2005. SKB P-05-153, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson A-C, Karlsson S, Borgiel M, 2003. Forsmark site investigation. Sampling and analyses of surface waters. Results from sampling in the Forsmark area, March 2002 to March 2003. SKB P-03-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson A-C (ed), Berg C, Harrström J, Jönsson S, Thur P, Borgiel M, Qvarfordt S, 2010. Forsmark site investigation. Hydrochemical monitoring of groundwaters and surface waters. Results from water sampling in the Forsmark area, January–December 2009. SKB P-10-40, Svensk Kärnbränslehantering AB, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson D, 2005. Forsmark site investigation. Sampling and analysis of precipitation, years 2002 to 2005. SKB P-05-143, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Qvarfordt S, Borgiel M, Berg C, Nilsson A-C, 2008. Forsmark site investigation. Hydrochemical monitoring of near surface groundwater, surface waters and precipitation. Results from sampling in the Forsmark area, August 2007–December 2007. SKB P-08-55, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Qvarfordt S, Borgiel M, Berg C, 2010. Monitoring Forsmark. Hydrochemical investigations in four calciferous lakes in the Forsmark area. Results from complementary investigations in the Forsmark area, 2008-2009. SKB P-10-25, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Qvarfordt S, Borgiel M, Berg C, 2011. Forsmark site investigation. Hydrochemical investigations in four calciferous lakes in the Forsmark area. Results from the second year of a complementary investigation in the Forsmark area. SKB P-11-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Qvarfordt S, Borgiel M, Dahlström, J, 2022. Hydrokemisk övervakning av ytnära grundvatten, ytvatten och gölar Resultat från provtagningsperioden januari–december 2021. SKB P-22-11 Svensk Kärnbränslehantering AB.

Qvarfordt S, Borgiel M, Dahlström, J, 2024. Hydrokemisk övervakning av ytnära grundvatten, ytvatten och gölar Resultat från provtagningsperioden januari–december 2022. SKB P-23-11 Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001. Site investigations. Investigation methods and general execution programme. SKB TR-01-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005a. Forsmark site investigation. Programme for further investigations of geosphere and biosphere. SKB R-05-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005b. Preliminary site description. Forsmark area – version 1.2. R-05-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2007. Forsmark site investigation. Programme for long-term observations of geosphere and biosphere after completed site investigations. SKB R-07-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Appendix

Följande appendix finns som separat fil och lämnas ut vid förfrågan till dokument@skb.se, se fotnot för respektive appendix.

A Data från övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten¹

Tabell A-1. Fältnätningar i ytnära grundvatten

Tabell A-2. Hydrokemiska data från vattenprovtagningar i ytnära grundvatten

Tabell A-3. Ytvattenkomplement i ytnära grundvatten

Tabell A-4a. Spårämnesdata i ytnära grundvatten, del 1

Tabell A-4b. Spårämnesdata i ytnära grundvatten, del 2

Tabell A-5. Isotopdata i ytnära grundvatten

Tabell A-6. Dricksvattenparametrar i privata brunnar

B Data från övervakningsprogrammet för ytvatten (hav, sjö och vattendrag)²

Tabell B-1. Fältnätningar i ytvatten

Tabell B-2. Flödesdata från vattendrag

Tabell B-3. Hydrokemiska data från vattenprovtagningarna i ytvatten

Tabell B-4. Ytvattenkomplement i ytvatten

Tabell B-5. Spårämnesdata i ytvatten

Tabell B-6. Isotopdata i ytvatten

C Data från övervakningsprogrammet för gölar³

Tabell C-1. Fältnätningar i gölar

Tabell C-2. Hydrokemiska data från vattenprovtagningarna i gölar

Tabell C-3. Ytvattenkomplement i gölar

Tabell C-4. Spårämnesdata i gölar

Tabell C-5. Isotopdata i gölar

D Data från övervakningsprogrammet för nederbörd⁴

Tabell D-1. Fältnätningar i nederbörd

Tabell D-2. Hydrokemiska data från insamling av nederbörd

Tabell D-3. Spårämnesdata i nederbörd

Tabell D-4. Isotopdata i nederbörd

¹ P-24-15 - Appendix A SKBdoc 2066855 ver 1.0

² P-24-15 - Appendix B SKBdoc 2066856 ver 1.0

³ P-24-15 - Appendix C SKBdoc 2066858 ver 1.0

⁴ P-24-15 - Appendix D SKBdoc 2066857 ver 1.0