

**SKB P-23-11**

ISSN 1651-4416

ID 1965974

April 2024

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

## Resultat från provtagningsperioden januari–december 2022

Susanne Qvarfordt, Micke Borgiel  
Sveriges Vattenekologer AB

Julia Dahlström  
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](http://www.skb.se).

Denna rapport är publicerad på [www.skb.se](http://www.skb.se)

© 2024 Svensk Kärnbränslehantering AB

## Sammanfattning

Rapporten dokumenterar den hydrokemiska övervakningen av ytnära grundvatten, ytvatten, gölar och nederbörd i Forsmarksområdet under provtagningsperioden januari till december 2022.

I övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten ingick sju jordrör som provtogs vid fyra tillfällen under 2022, i januari, april, augusti och oktober. Ytvattenövervakningen omfattade 18 provpunkter fördelade på tio i havet, fyra i sjöar och fyra i vattendrag. Provtagningens omfattning varierade mellan provpunkter och tidpunkt. I övervakningen av gölarna ingick åtta gölar varav två naturliga och sex anlagda. Nederbörd samlades in veckovis vid en provtagningspunkt och analyserades månadsvis som samlingsprov motsvarande en månads nederbörd. Totalt analyserades tolv samlingsprov under provtagningsperioden januari till december 2020.

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 gölgrodan (*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 gölgrodor 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 i januari, april, augusti och oktober. I februari, mars, maj, juni, september, november och december varierade omfattningen av provtagningen mellan programmen.

Resultaten från 2022 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.

## 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 2022.

The monitoring programme for near-surface groundwater included seven earth pipes that were sampled on four occasions in 2022, in January, April, August and October. The monitoring programme for surface waters included 18 sites of which ten were located in the sea, four in lakes and four in streams. The extent of sampling varied between sites and time of the year. The monitoring of the ponds included eight ponds, of which two were natural and six were created. Precipitation was sampled weekly at one sampling location and analysed as collective monthly samples twelve times during January to December 2020.

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 in connection 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 created 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 sea sites, 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 in January, April, August and October. In February, March, May, June, September, November and December, the extent of sampling varied between programs.

The results of the 2022 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

<b>1</b>	<b>Introduktion.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Ytnära grundvatten.....</b>	<b>7</b>
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 .....	8
2.4	Utförande.....	9
2.4.1	Provtagningsförberedelser.....	9
2.4.2	Provtagning och fältmätning .....	9
2.4.3	Provhantering och analys .....	10
2.4.4	Avvikelse .....	10
2.5	Resultat.....	11
2.5.1	Fältmätningar.....	11
2.5.2	Vattenanalyser .....	12
2.6	Diskussion och slutsats.....	18
<b>3</b>	<b>Ytvatten.....</b>	<b>19</b>
3.1	Omfattning .....	19
3.2	Lokaler och provtagningsschema .....	19
3.3	Utrustning.....	22
3.3.1	Provtagningsutrustning.....	22
3.3.2	Multiinstrument .....	23
3.3.3	Övrig fältutrustning .....	23
3.4	Utförande.....	24
3.4.1	Provtagningsförberedelser.....	24
3.4.2	Provtagning .....	24
3.4.3	Fältmätning.....	25
3.4.4	Provhantering och analys .....	25
3.4.5	Datahantering .....	25
3.4.6	Avvikelse .....	26
3.5	Resultat.....	27
3.5.1	Fältmätningar.....	27
3.5.2	Vattenanalyser .....	30
3.6	Diskussion och slutsats.....	44
<b>4</b>	<b>Gölar.....</b>	<b>45</b>
4.1	Omfattning .....	45
4.2	Lokaler och provtagningsschema .....	45
4.2.1	Anlagda gölar .....	45
4.2.2	Referensgölar.....	45
4.2.3	Provtagningschema .....	46
4.3	Utrustning.....	47
4.3.1	Provtagningsutrustning.....	47
4.3.2	Multiinstrument .....	47
4.4	Utförande.....	48
4.4.1	Provtagningsförberedelser.....	48
4.4.2	Provtagning .....	48
4.4.3	Fältmätning.....	48
4.4.4	Fotodokumentation.....	48
4.4.5	Provhantering och analys .....	49
4.4.6	Datahantering .....	49

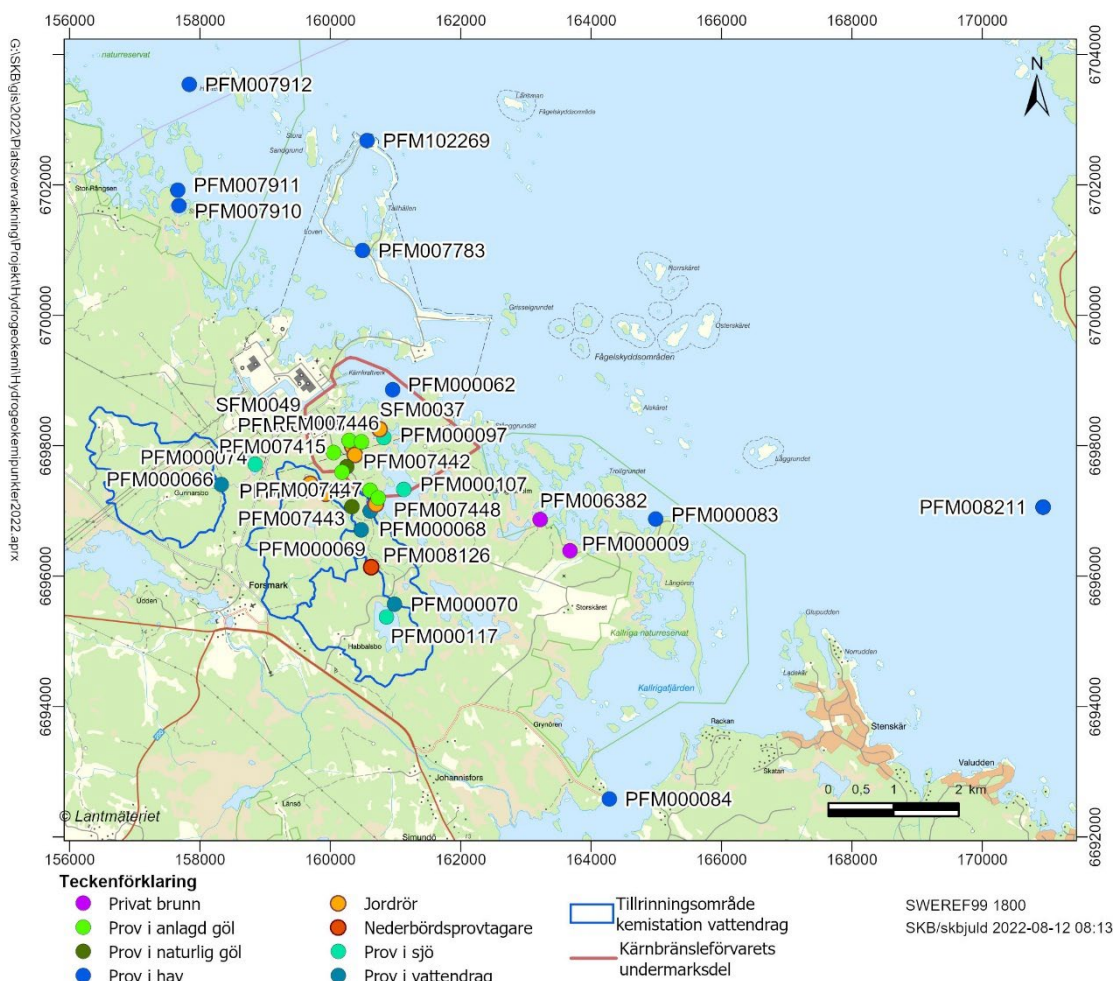
4.4.7	Avvikelser .....	49
4.5	Resultat.....	50
4.5.1	Fältnätningar.....	50
4.5.2	Vattenanalyser .....	52
4.5.3	Övriga observationer .....	59
4.6	Diskussion och slutsats.....	60
<b>5</b>	<b>Nederbörd .....</b>	<b>61</b>
5.1	Omfattning .....	61
5.2	Insamlingslokal och provtagningsschema .....	61
5.3	Utrustning.....	62
5.4	Utförande.....	62
5.4.1	Provtagning .....	62
5.4.2	Analyser .....	63
5.5	Resultat.....	64
5.5.1	Fältnätningar.....	64
5.5.2	Vattenanalyser .....	64
5.6	Diskussion och slutsats.....	66
<b>6</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>67</b>
	<b>Appendix .....</b>	<b>69</b>

# 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 av slutförvaret för kärnavfall och under kommande drift av slutförvaret.

Övervakningen av ytnära grundvatten omfattade under 2022 provtagning av vatten från sju jordrör samt ett provtagningsstillfälle av två privata brunnar (figur 1-1). Ytvattenprogrammet inkluderade tio provtagningspunkter i havet, fyra provtagningspunkter i sjöar och fyra provtagningspunkter i vattendrag (Figur 1-1).



**Figur 1-1.** Karta över provtagningsområdet med samtliga 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. Detta eftersom byggnationen av det planerade slutförvaret innebär att en reproduktionslokal för den rödlistade gölgrödan (*Pelophylax lessonae*) försvinner. De fyra ersättningshabitaten kompletterades år 2014 med ytterligare två grävda gölar. År 2012 startades även ett övervakningsprogram med syftet att följa upp att miljöerna i dessa nya gölar 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.

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 2022 provtagning och insamling av nederbörd på en insamlingslokal.

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 2022.

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-22-003, AP SFK-22-004). 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.**

<b>Aktivitetsplan</b>	
Hydrokemiskt övervakningsprogram för ytvatten, ytnära grundvatten och gölar 2022.	AP SFK-22-003
Hydrokemiskt övervakningsprogram för nederbörd 2022	AP SFK-22-004
<b>Metodbeskrivning (samtliga dokument interna)*</b>	<b>Nummer</b>
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 1494275, ver. 1.0
Provtagningsstyper och felkällor	SKBdoc 1072751, ver. 6.0
Provtagning och Provhantering	(SKBdoc 1063531), ver. 17.0

\* Vattenprovtagning och provtagningsmetodik beskrivs även i SKB PIR-04-09 "Metodik för provtagning av ekologiska parametrar i hav" (dokument id 1266010 ver 1.0, internt dokument), SKB PIR-04-06 (dokument 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" (dokument id 1266013 ver 1.0, internt dokument).

## 2 Ytnära grundvatten

### 2.1 Omfattning

Under perioden januari-december 2022 omfattade övervakningsprogrammet för ytnära grundvattenprovtagning av vatten från sju jordrör vid fyra tillfällen (januari, april, augusti och oktober) under året. Provtagningarna inkluderade fältmätningar och insamling av vatten för kemiska analyser.

### 2.2 Lokaler och provtagningschema

#### 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 kärnbränsleförevarets undermarksdell.



**Tabell 2-1. Jordrör för provtagning av ytnära grundvatten.**

Id-kod	Kommentar	Rörtyp
SFM0001	Jordrör nära borrplats	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
PFM006382	Privat dricksvattenbrunn	Borrad
PFM000009	Privat dricksvattenbrunn	Borrad

### 2.2.2 Provtagningschema

Provtagnings schemat för 2022 års provtagning av ytnära grundvatten presenteras i tabell 2-2. Insamling av provvatten och analyser genomfördes enligt SKB:s analysprogram D för ytnära grundvatten, för mer detaljer se aktivitetsplan AP SFK-22-003.

**Tabell 2-2. Provtagningschema för januari-december 2022.**

År	Månad	Vecka	Provtagningsobjekt	Analysprogram
2022	januari	4	Jordrör	D
2022	april	17	Jordrör	D
2022	augusti	32–33	Jordrör	D
2022	oktober	41	Privat brunn	E
2022	oktober	43	Jordrör	D

## 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 meter lång polyamidslang (Tecalán) 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.

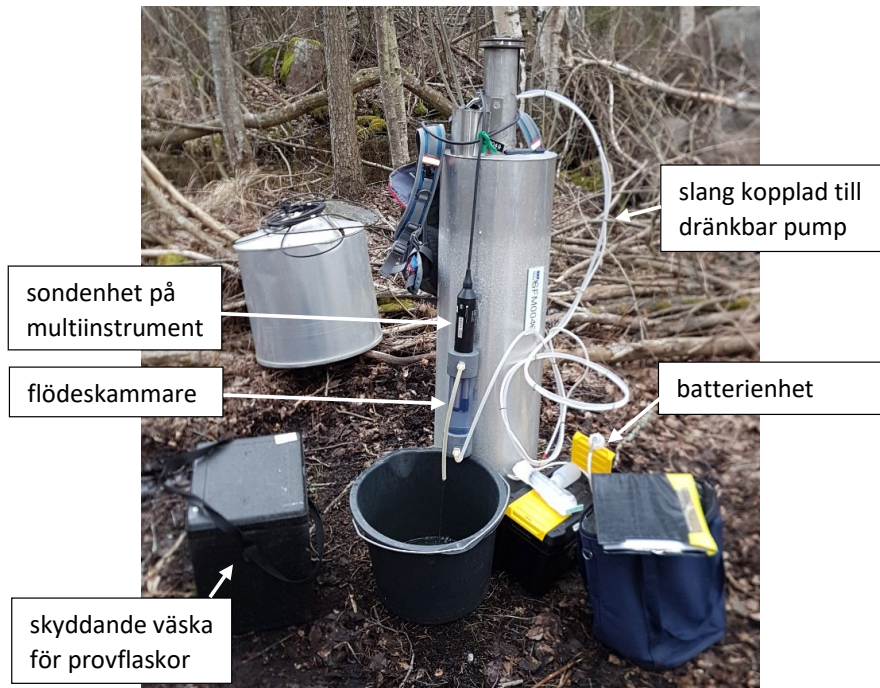
Ingen provtagningsutrustning behövdes för provtagning av de privata brunnarna då provvatten erhöles från kran direktkopplat till brunnen, innan vattnet passerat genom eventuella dricksvattenfilter.

### 2.3.2 Multiinstrument

Fältnätningar 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.

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

Fältnätningar för de privata brunnarna utfördes med fältnätinstrumentet 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 och 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

Yttnära 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, men vid långsam vattentillrinning kunde mindre volymer omsättas.

Flödeskammaren monterades på multiinstrumentets sondenhet och pumpen sänktes ned i röret till provtagningsdjup, vanligtvis 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 kran kopplad till brunnen, där vattnet ej 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 provflaskor sköljdes och fylldes enligt instruktion. Ingen filtrering utfördes i fält och flaskorna hanterades med provhandskar.

### 2.4.3 Provhantering och analys

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

### 2.4.4 Avvikelser

Provtagningen under perioden januari-december 2022 genomfördes som planerat med enstaka, mindre kommentarer. I tabell 2-3 redovisas vilka jordrör som provtagits under 2022 samt vilka veckor provtagningen utförts.

De planerade provtagningsveckorna justerades för augusti och oktober. I augusti provtogs grundvatten under både vecka 32 och vecka 33 och i oktober flyttades den planerade provtagningen vecka 42 till vecka 43. Vid två tillfällen mättes inte grundvattennivån i röret efter avslutad provtagning, det var på rör SFM0049 i januari och rör SFM0001 i augusti.

Provtagning genomfördes endast i två av totalt tre planerade privata brunnar på grund av otillgänglighet till PFM000001.

**Tabell 2-3. Provtagning (objekt och tidpunkt) under perioden januari-december 2022 (X = insamlat prov).**

Id-kod	Vecka/År					Totalt antal tillfällen
	4/22	17/22	32-33/22	41/22	43/22	
<b>Jordrör</b>						
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
<b>Privata brunnar</b>						
PFM006382	-	-	-	X	-	1
PFM000009	-	-	-	X	-	1
<b>Totalt</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>30</b>

## 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.

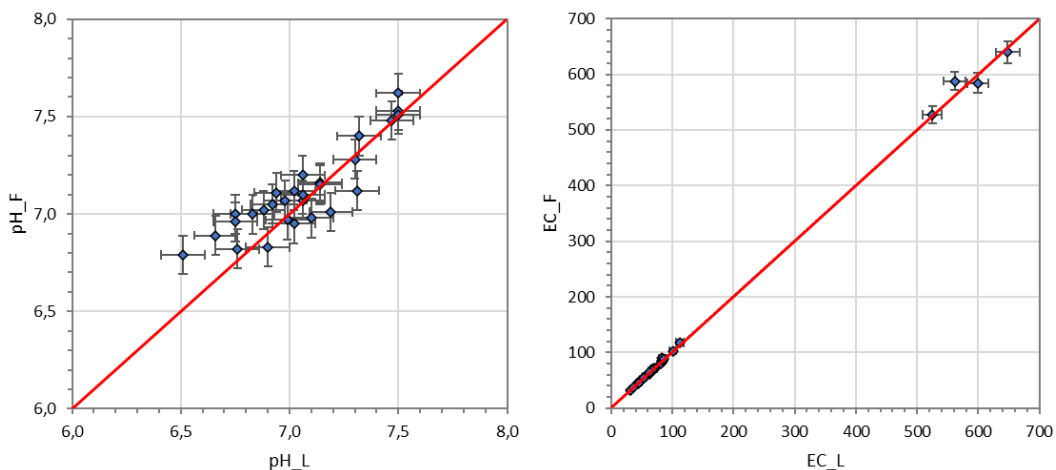
#### **pH-mätningar**

Fältmätningarna av pH korrelerar väl med motsvarande laboriemätningar på det insamlade vattnet. Fältmätt pH plottat mot laboriemätt 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 laboriemätningar.

#### **Konduktivitet**

Fältmätningarna av konduktivitet korrelerar väl med motsvarande laboriemätningar på det insamlade vattnet. Fältmätt konduktivitet plottat mot laboriemätt konduktivitet visar mycket god överensstämmelse (figur 2-3).

De högsta konduktivetsvärdena uppmättes i grundvattnet från rör SFM0011. Konduktiviteten i rör SFM0011 var över 500 mS/m vid samtliga fyra mättillfällen under 2023. I övriga rör uppmättes konduktivitet över 100 mS/m endast i rör SFM0001 under augusti- och oktoberprovtagningarna. Dessa två rör, SFM0011 och SFM0001, hade även de högsta pH-värdena.



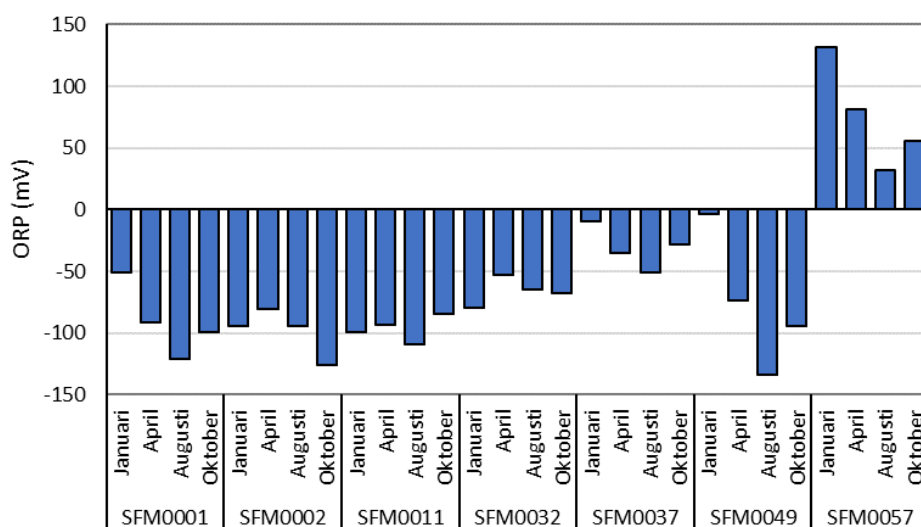
**Figur 2-3.** Vänster: Värderna för pH mätt i fält ( $pH_F$ ) i förhållande till pH mätt på laboratorium ( $pH_L$ ). Höger: Värderna för konduktivitet mätt i fält ( $EC_F$ ) i förhållande till konduktivitet mätt på laboratorium ( $EC_L$ ). Fältsvärdena mäts vid rådande temperatur och värden på laboratorium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

#### **Löst syre**

Resultaten från fältmätningar av mängden löst syre ( $O_2$ ) indikerar att rör SFM0037 generellt har högre syrehalter än de övriga sex jordrören. Under 2022 var majoriteten av de fältmätta syrevärdena (mg/l och %) 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. Även tidigare år, till exempel under 2020 och 2021, har negativa syrevärden ofta uppmätts i det ytnära grundvattnet. Under 2020, 2021 och 2022 uppmättes de högsta syrevärdena i rör SFM0037.

## 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 2022 uppmättes endast negativ ORP.



Figur 2-4. ORP mätt i fält under januari, april, augusti och oktober i de sju jordrör som provtogs inom övervakningsprogrammet under 2022.

### 2.5.2 Vattenanalyser

Data från vattenanalyserna av insamlat ytnära grundvatten från jordrören och de privata brunnarna 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,  $\text{HCO}_3^-$ , Cl<sup>-</sup>,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ , Br<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Si, Fe, Fe tot, Fe(II), Mn, Li, Sr, S<sub>2</sub> 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):

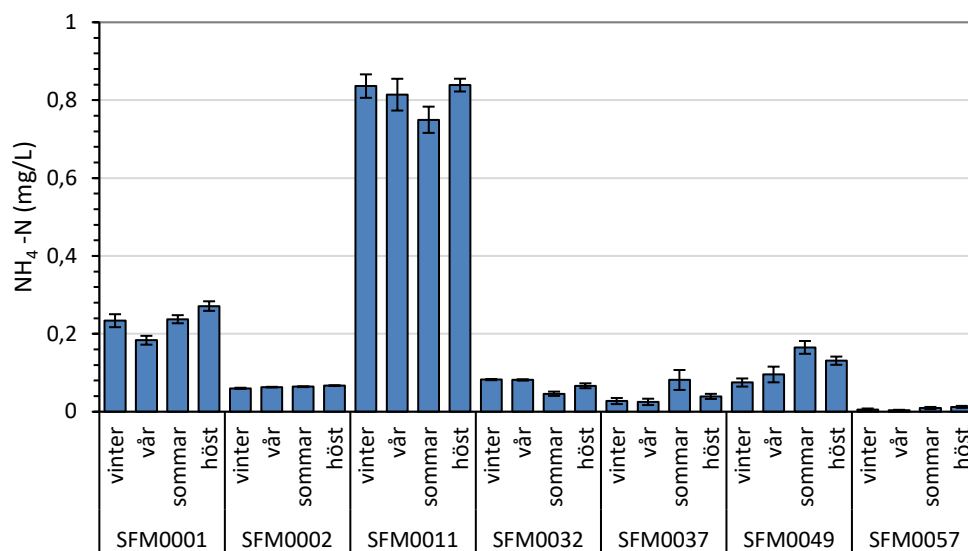
$$\text{rel. error (\%)} = 100 \times \frac{\sum \text{katjon (ekvivalenter)} - \sum \text{anjon (ekvivalenter)}}{\sum \text{katjon (ekvivalenter)} + \sum \text{anjon (ekvivalenter)}} \quad (2-1)$$

Relativa fel inom 5 % anses vara acceptabla för grundvatten. Under 2022 var det åtta prov som hamnade utanför gränsen på 5 %. De relativa felen för dessa prov låg inom intervallet 5,12–6,54. Samtliga prov med relativa fel större än 5 % togs under augusti- och oktoberprovtagningarna 2022. Jonbalansen kunde dock ej beräknas för aprilprovet från rör SFM0011 eftersom ett stabilt värde för alkaliniteten ej kunde erhållas. 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.

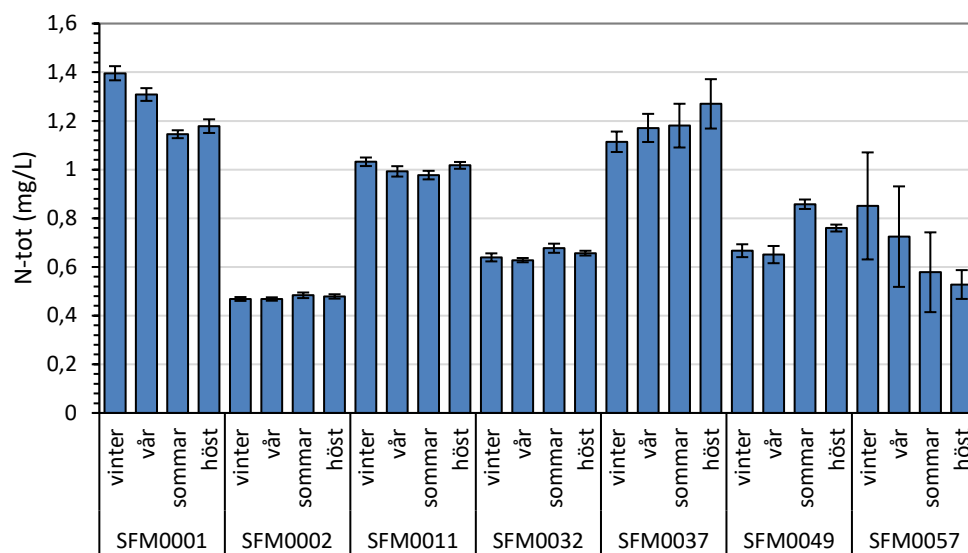
#### Ytvatten komplement

Analys 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). Kisel ( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ) saknas emellertid för augustiproverna år 2022 eftersom analysen inte kunde genomföras av externt laboratorium.

Resultaten från perioden 2004–2022 visar på viss årstidsvariation i näringshalter i det ytnära grundvattnet men inga tydliga generella årstidstrender (figur 2-5abc). Näringshalten kan variera under året beroende på nedbrytningsprocesser och variationer i redoxpotential. Årstidsvariation är mer uttalad i ytvatten men kan även synas i ytnära grundvatten. I fyra av rören, SFM0001, SFM0037, SFM0049 och SFM0057, kan aningen högre ammonium- och fosfatfosforhalter anas under sommar och/eller höst (figur 2-5ac). Även lite högre totalkvävehalter kan anas i flera av rören (SFM0002, SFM0032, SFM0037 och SFM0049) under sommar och/eller höst (figur 2-5b). Två av rören (SFM0001 och SFM0057) har dock generellt haft lägre totalkvävehalter under sommar och höst jämfört med vinter och vår.

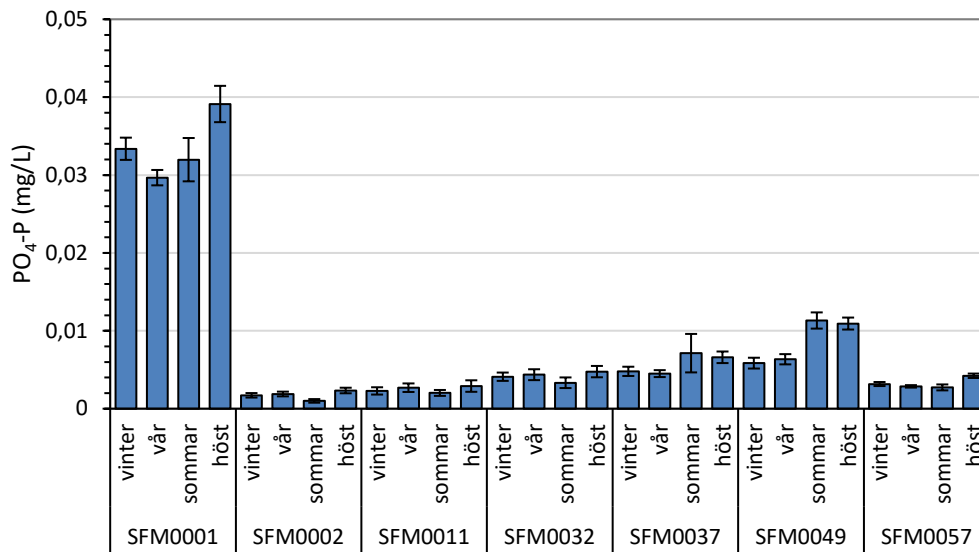


**Figur 2-5a.** Ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N) i de sju jordrören under olika årstider. I graferna visas medelvärde ± standard error baserat på ett värde per årstid och år för perioden 2004–2022 (rör SFM0001, SFM0032, SFM0037, SFM0049) eller för perioden 2016–2022 (SFM0002, SFM0011, SFM0057). Vinterprover 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 medelvärde ± standard error baserat på ett värde per årstid och år för perioden 2004–2022 (rör SFM0001, SFM0032, SFM0037, SFM0049) eller för perioden 2016–2022 (SFM0002, SFM0011, SFM0057). Vinterprover har tagits i januari, vårprover i mars-maj, sommarprover i juli/ augusti och höstprover i oktober.

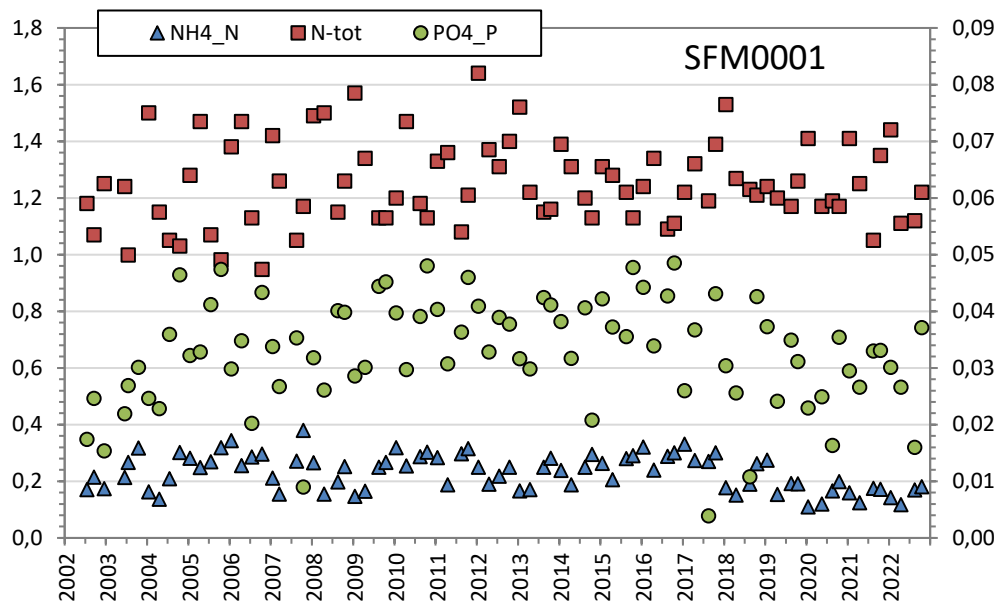
Ytnära grundvatten från rör SFM0011 har haft betydligt högre halter av ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N) jämfört med övriga rör (figur 2-5a). Även rör SFM0001 har generellt haft höga värden medan SFM0057 däremot har haft mycket låga koncentrationer. Det har generellt varit liten variation i ammoniumkvävekoncentrationer inom rören och.



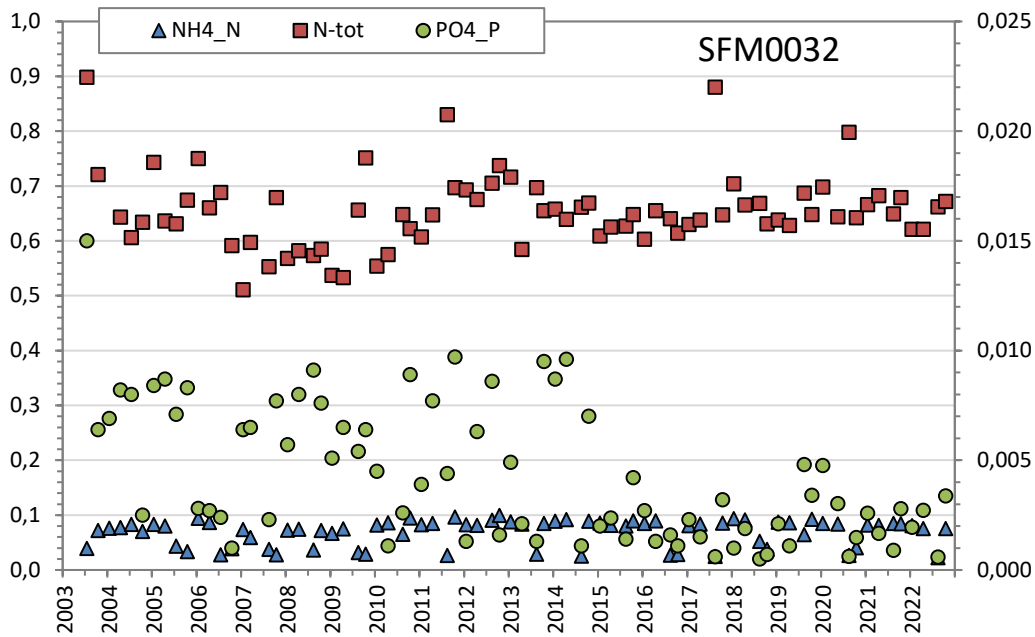
**Figur 2-5c.** Fosfatfosfor (PO<sub>4</sub>-P) i de sju jordrören under olika årstider. I graferna visas medelvärde ± standard error baserat på ett värde per årstid och år för perioden 2004–2022 (rör SFM0001, SFM0032, SFM0037, SFM0049) eller för perioden 2016–2022 (SFM0002, SFM0011, SFM0057). Vinterprover har tagits i januari, vårprover i mars-maj, sommarprover i juli/augusti och höstprover i oktober.

Ytnära grundvatten från rören SFM0001, SFM0037 och SFM0011 har generellt haft högre totalkvävehalter jämfört med de övriga fyra rören (figur 2-5b). I rör SFM0057 syns en större variation i totalkvävehalter, speciellt under vinter, vår och sommar, jämfört med övriga rör. Även i rör SFM0037 har totalkvävehalter varierat mer mellan år jämfört med övriga rör.

Rör SFM0001 särskiljer sig från övriga rör med avseende på fosfatfosfor (PO<sub>4</sub>-P) (figur 2-5c). Grundvattnet från rör SFM0001 har konstant haft betydligt högre koncentrationer av fosfatfosfor jämfört med de övriga rören.

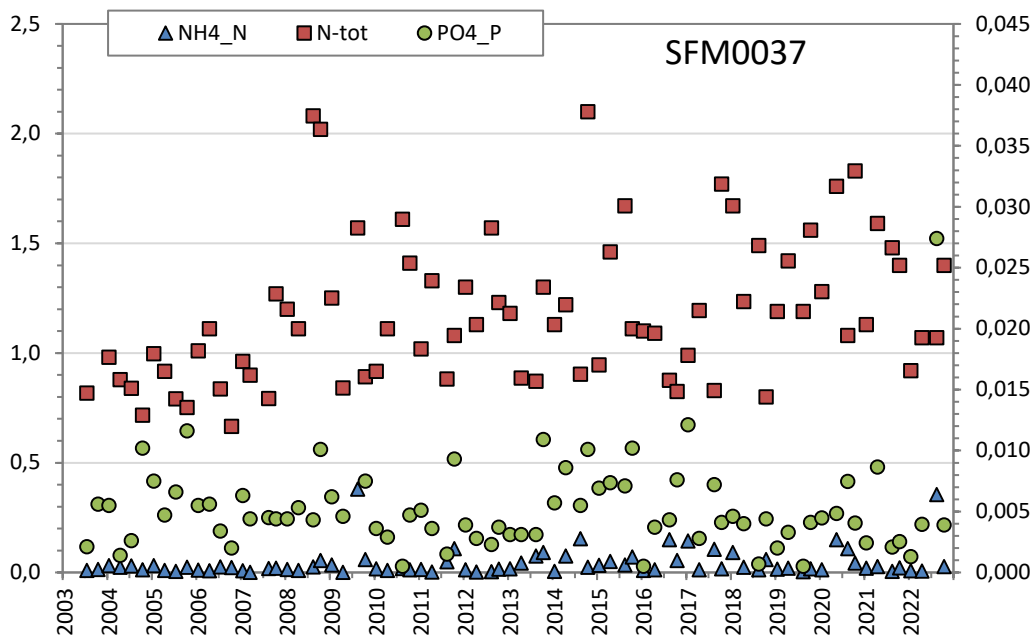


**Figur 2-6a.** SFM0001. Ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N), totalkväve (N-tot) och fosfatfosfor (PO<sub>4</sub>-P) under perioden 2002–2022. I graferna visas vänster y-axeln koncentration NH<sub>4</sub>-N och N-tot (mg/l) och höger y-axel koncentration PO<sub>4</sub>-P (mg/l).



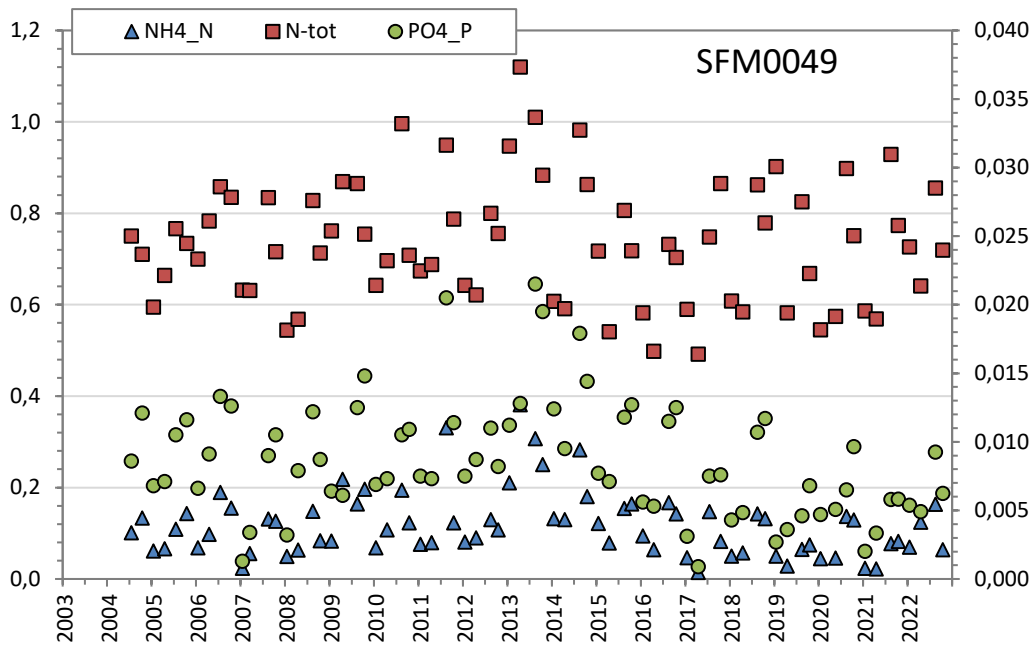
**Figur 2-6b.** SFM00032. Ammoniumkväve ( $NH_4-N$ ), totalkväve ( $N-tot$ ) och fosfatfosfor ( $PO_4-P$ ) under perioden 2002–2022. I graferna visar vänster y-axeln koncentration  $NH_4-N$  och  $N-tot$  (mg/l) och höger y-axel koncentration  $PO_4-P$  (mg/l).

Grundvattnet i rör SFM0001 har haft likartade koncentrationer av ammoniumkväve, totalkväve och totalfosfor under tjuugoårsperioden 2002–2022 (figur 2-6a). I rör SFM0032 syns däremot en kraftig minskning av totalfosforhalter efter 2015 (figur 2-6b). De högre totalkvävehalterna som då uppmätts i SFM0032 har främst förekommit under sommarprovtagningen i juli/augusti.



**Figur 2-6c.** SFM0037. Ammoniumkväve ( $NH_4-N$ ), totalkväve ( $N-tot$ ) och fosfatfosfor ( $PO_4-P$ ) under perioden 2002–2022. I graferna visar vänster y-axeln koncentration  $NH_4-N$  och  $N-tot$  (mg/l) och höger y-axel koncentration  $PO_4-P$  (mg/l).

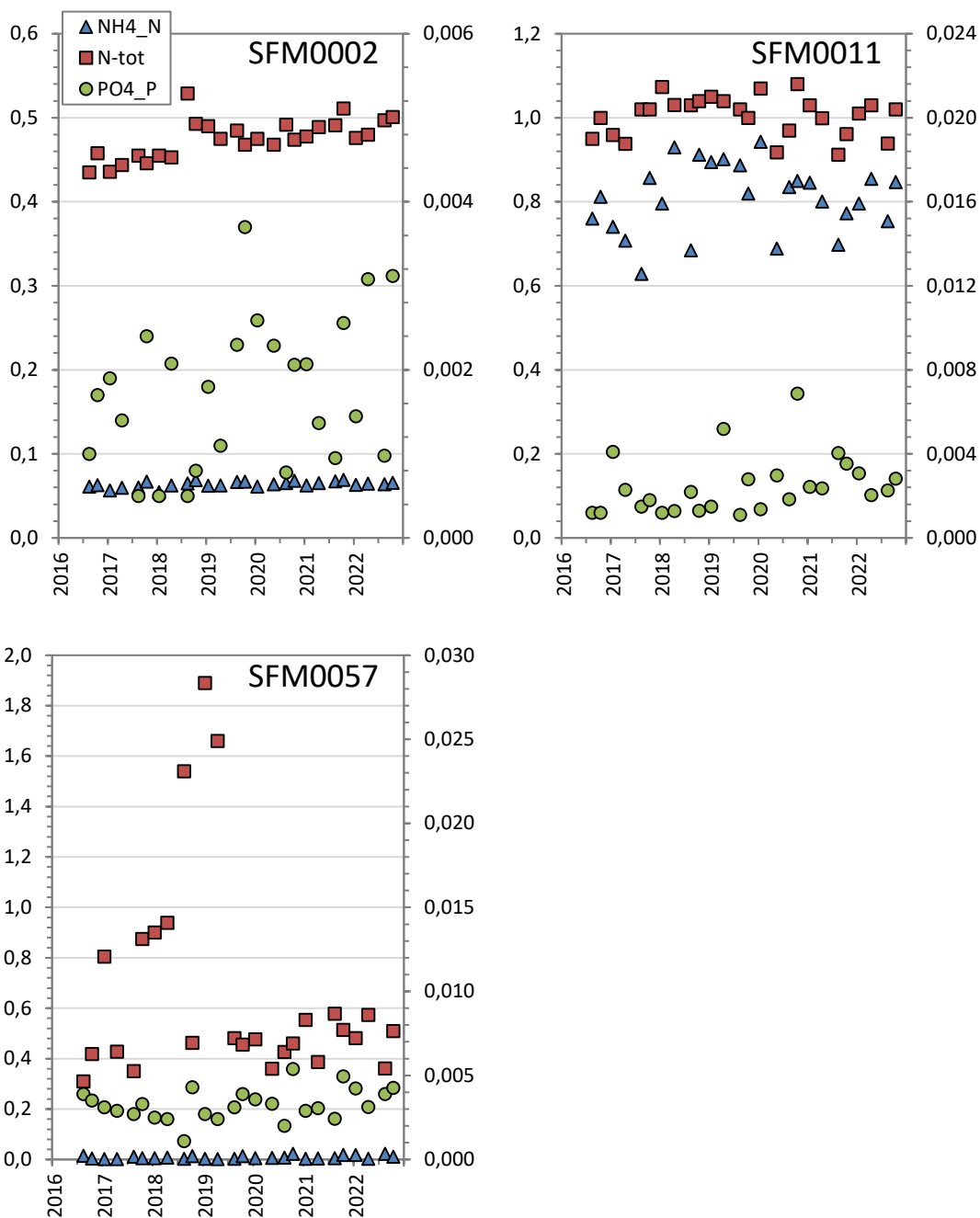




**Figur 2-6d.** SFM0049. Ammoniumkväve ( $NH_4-N$ ), totalkväve ( $N-tot$ ) och fosfatfosfor ( $PO_4-P$ ) under perioden 2002–2022. I graferna visar vänster y-axeln koncentration  $NH_4-N$  och  $N-tot$  (mg/l) och höger y-axel koncentration  $PO_4-P$  (mg/l).

I rör SFM0037 uppmättes extremt hög fosfatfosforhalt vid provtagningarna i augusti 2022 (figur 2-6c). I augusti 2022 var fosfatfosforhalten 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 2002–2022 (figur 2-6d). Kring år 2013 noterades emellertid tillfälligt högre halter av ammoniumkväve, totalkväve och fosfatfosfor.



**Figur 2-6e.** SFM0002, SFM0011 och SFM0057. Ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N), totalkväve (N-tot) och fosfatfosfor (PO<sub>4</sub>-P) under perioden 2016–2022. I graferna visar vänster y-axeln koncentration NH<sub>4</sub>-N och N-tot (mg/l) och höger y-axel koncentration PO<sub>4</sub>-P (mg/l).

I rör SFM0002 kan en svag trend mot ökande totalkvävehalter anas under perioden 2016–2022 (figur 2-6e). Även i fosfatfosforhalter finns en svag indikation på ökande halter under perioden. I rör SFM0011 syns inga trender.

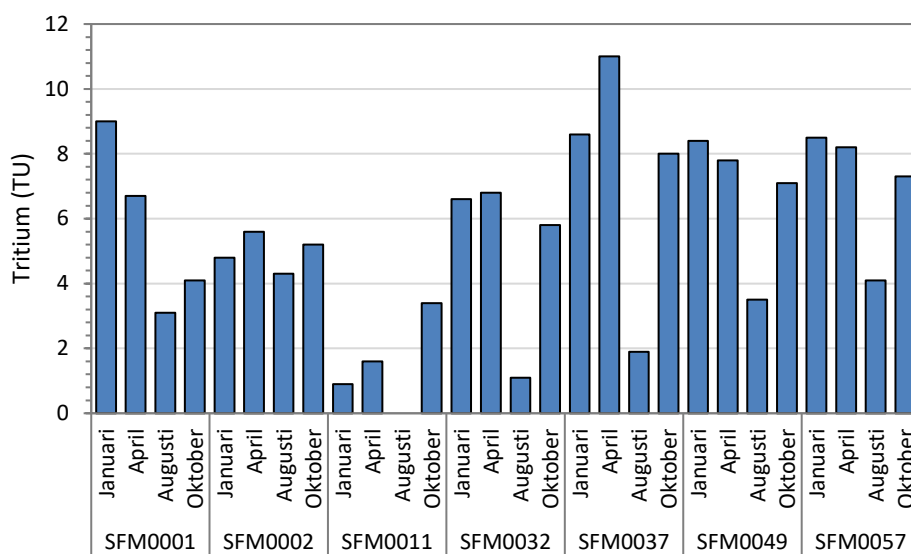
Den stora variationen i årsmedel för totalkvävehalter i rör SFM0057 (figur 2-5) beror främst på tre ovanligt höga värden i augusti 2018 samt januari och april 2019 (figur 2-6e). I oktober 2018 var halterna på, för röret, normal nivå. Från oktober 2017-april 2018 kan emellertid en ökning anas och det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

## 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

Isotoplanalyserna omfattar den radioaktiva isotopen  $^3\text{H}$  (TU) samt de stabila isotoperna  $\delta\text{D}$  och  $\delta^{18}\text{O}$ . Tritiumhalten ( $^3\text{H}$ ) i det ytnära grundvattnet låg generellt inom intervallet 0,9–11,0 TU under provtagningarna i januari, april, augusti och oktober (figur 2-7). Det högsta värdet noterades för rör SFM0037 i april 2022. De lägsta tritiumhalten noterades i rör SFM0011 där tritiumhalten i augusti låg under rapporteringsgränsen. Tritiumhalten var generellt något högre i januari och april jämfört med augusti 2022. Koncentrationer av deuterium ( $\delta\text{D}$ ) 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 2022. I augusti var tritiumhalten i SFM0011 under rapporteringsgränsen.

## 2.6 Diskussion och slutsats

Resultaten från 2022 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.

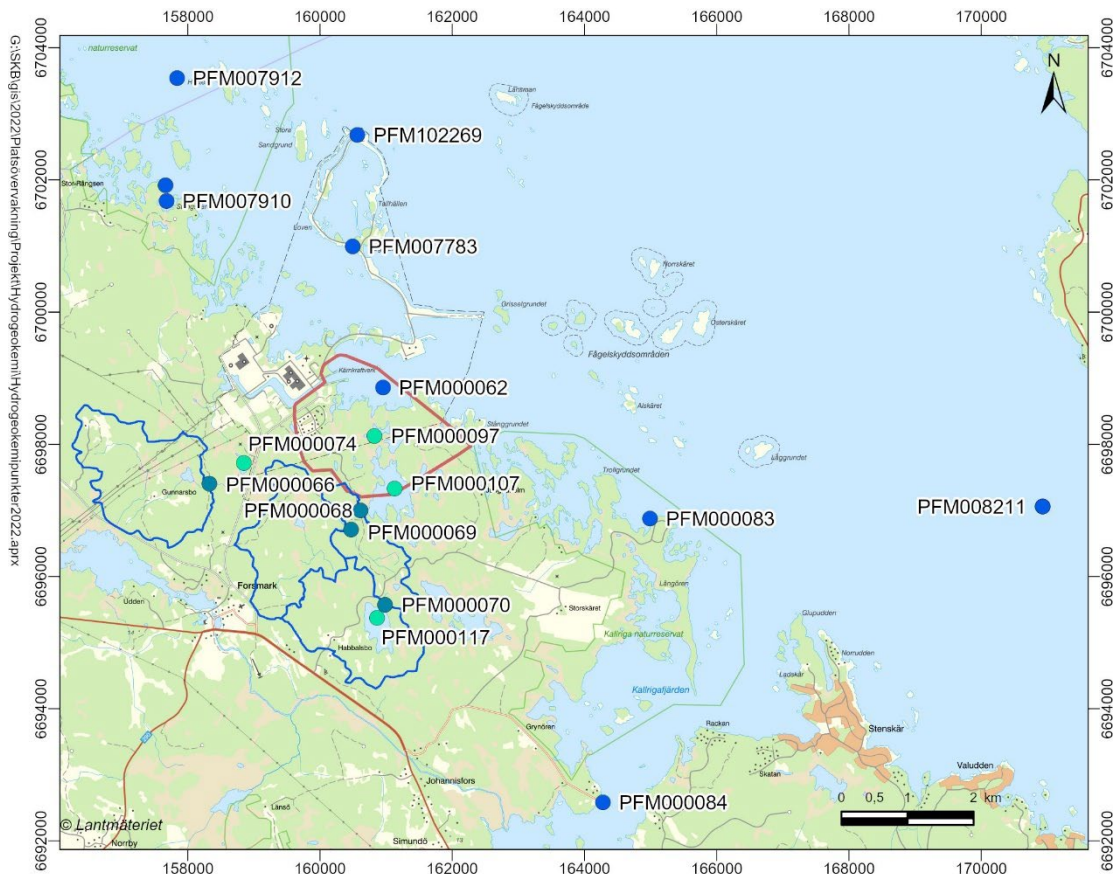
Provtagningarna inom övervakningsprogrammet för ytvatten omfattar fältmätningar och insamling av vatten för kemiska analyser.



*Figur 3-1. Vinterprovtagning på sjö.*

### 3.2 Lokaler och provtagningschema

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, det vill säga 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, det vill säga vid sex tillfällen. Havspunkten PFM000062 i Asphällsfjärden provtas utöver detta även i januari. Den för året nya provtagningspunkten i hamnen (PFM000082) provtogs vid sex tillfällen under året med start i juni. Provtagningsschema visas i tabell 3-2a och 3-2b. I aktivitetsplanen AP SFK-22-003 finns detaljer om analysprogrammet.



**Teckenförklaring**

- Prov i hav
- Prov i sjö
- Prov i vattendrag
- Tillrinningsområde kemistation vattendrag
- Kärnbränsleförvarets undermarksdel

SWEREF99 1800  
SKB/skbjuld 2022-05-12 13:41

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



**Figur 3-3.** Förberedelse för provtagning av provpunkt PFM000117 i april 2022 då sjön Eckarfjärden fortfarande var delvis istäckt.

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

Lokaler	Koordinater	Lokalnamn	Kommentar
<b>Hav</b>			
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 tritiumförening.
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	Upströms 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.
<b>Sjö</b>			
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	
<b>Vattendrag</b>			
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 2022. 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
Juni	-	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
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 2022. Analysprogram A = utökad provtagning, B = normal provtagning, C = endast fältmätning och F = hamnprovtagning. I aktivitetsplanen AP SFK-22-003 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 ca 4 meter 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 pumpen 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 meter djup och i vattendrag strax under ytan på ca 0,1 meters djup. Vid is på sjöarna togs prov både på 0,5 meter djup och 0,5 meter från botten, det vill säga 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	Mät djup (m)									
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
<b>Sjö</b>										
PFM000074	X									
PFM000097	X									
PFM000107	X	X								
PFM000117	X	X	X							
<b>Hav</b>										
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									

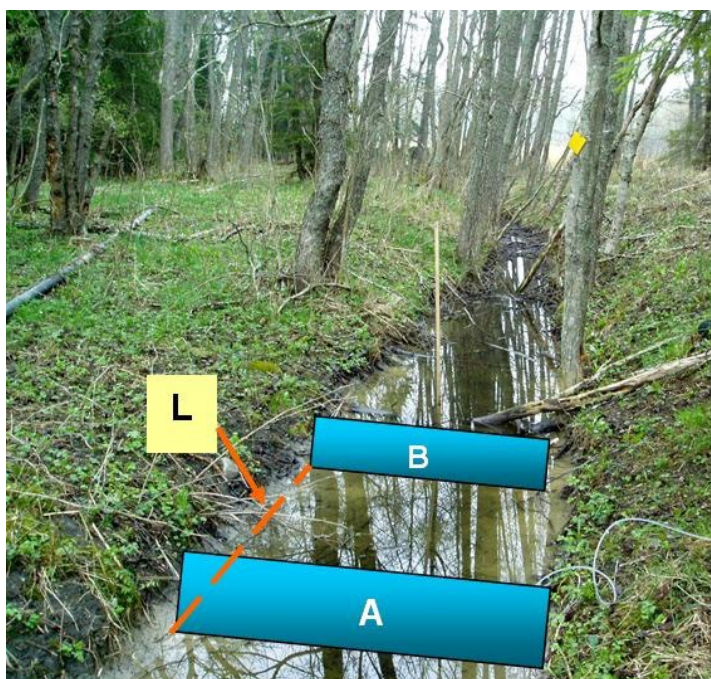
### 3.4.3 Fältmätning

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 meters djup. I sjöarna utfördes mätningarna på 0,5 meters djup samt varje halvmeter ned till botten i de två sjöar där djupet översteg 1 meter (tabell 3-3). På fem av provpunkterna i havet utfördes fältmätningar endast på 0,5 meters djup men på övriga fyra gjordes mätningar på 0,5 meter 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 (m<sup>2</sup>), vilket ger en grov uppskattning av flödet (m<sup>3</sup>/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 järnkonzentration 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 handenheter exporterades digitalt till excelfiler som sedan användes för inläggning i SICADA. Originalfilen samt fotografier och kommentarer om provtagningen sparas i SICADA:s 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 2022 noterades en del avvikelser (tabell 3-4). Flödesmätningar i vattendrag genomfördes inte vid alla planerade tillfällen på grund av till exempel is, torrlagda vattendrag eller för mycket vegetation (tabell 4-5). Vid torrlagda vattendrag gjordes heller ingen fältmätning eller provtagning. De planerade provtagningsveckorna justerades för maj, augusti, september, oktober, november och december.

**Tabell 3-4. Utförda provtagningar (X) samt avvikelser under 2021.**

Vecka	3	7	11	14	20	26	32	36	42	45	49	Totalt antal provtillfällen
<b>Hav</b>												
PFM000062	X			X	X	X	X	X	X			7
PFM102269	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
PFM000082				X1	X	X	X	X	X			6
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				2	X	X	X	X	X			5
PFM007911				X	X	X	X	X	X			6
PFM007912				X	X	X	X	X	X			6
PFM008211				X	X	X	X	X	X			6
<b>Sjö</b>												
PFM000074	X			X			X		X			4
PFM000097	S3	S	S	S4	S	S	S	S	S	S	S	11
PFM00107	X			X			X		X			4
PFM00117	X			X			X		X			4
<b>Vattendrag</b>												
PFM000066	X	X	X	X	G	G	X	X5	X	X	X	9
PFM000068	X	X	X	X	X	G	X	X5	X	X	X	10
PFM000069	X	X	X	X	G	G	X	X5	X	X	X	9
PFM000070	X	X	X	X	G	G	X	X	X	X	X	9

<b>Totalt antal lokaler</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>125</b>
1 - togs 1 juni, det vill säga v22.												5 – prov taget med kanna.
2 - ej prov eller mätning på grund av is.												S - endast sondmätning
3 - mättes v4												G torrlagt, ej mätning eller prov
4 – mätning från iskant, ej på provpunkt.												

**Tabell 3-5. Avvikelser gällande flödesmätningar i vattendragen.**

<b>Vecka</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>42</b>	<b>45</b>	<b>49</b>	<b>Antal mätn.</b>
<b>Vattendrag</b>												
PFM000066						G	G	F				8
PFM000068	C	C	C		B	F	G				C	5
PFM000069	D					G	G	F				7
PFM000070					B	G	G	F				7
<b>Antal mätningar</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>27</b>
A - blockerat flöde												D - ej mätning på grund av is
B - ej mätning på grund av mkt vegetation												F - ej mätning på grund av lågt flöde
C - ej mätning på grund av helt frusen.												G - torrlagt, ej mätning eller prov

### Övrigt

- Kisel (SiO<sub>2</sub>-Si) saknas för augustiproverna eftersom analysen inte kunde genomföras av externt laboratorium.
- Uranresultat saknas för provtagningar med analyspaket B (tabell 3-2b) förutom i december.
- Klorofyllresultat för april från sjöarna saknas. Ett provloggningsfel innebar att klorofyll i stället analyserades för vattendragen.
- Klorofyll saknas för havspunkten PFM000062 i januari på grund av att provet blev förstört.

## 3.5 Resultat

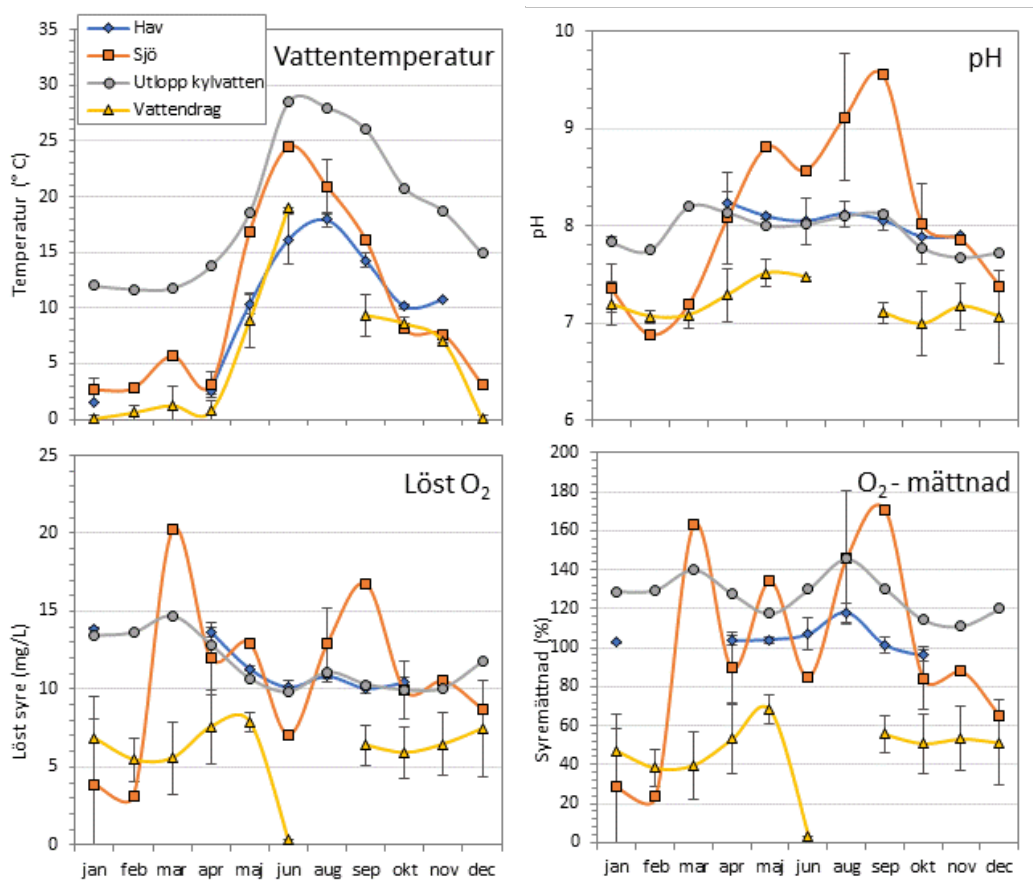
Ytvattenövervakningen under perioden januari-december 2022 omfattade 119 vattenprover och 249 fältnätningar från 18 provpunkter i hav, sjö och vattendrag samt tillhörande fältdokumentation. En del data finns sammanställda i appendix B och all data finns sparad i SICADA där de är sökbara via aktivitetsplansnummer.

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. 2012) och en sammanställning av resultaten från övervakningsprogrammet för perioden 2005–2009 finns i (Nilsson et al. 2010).

### 3.5.1 Fältnätningar

Resultaten från fältnätningarna 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 augusti var samtliga vattendrag torrlagda, vilket innebar att inga mätningar gjordes. I juni kunde endast mätningar genomföras i ett vattendrag (PFM000068), vilket innebär att spridningsmått saknas.

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-juni var det emellertid nästan lika varmt i sjöarna som i kylvattnet.

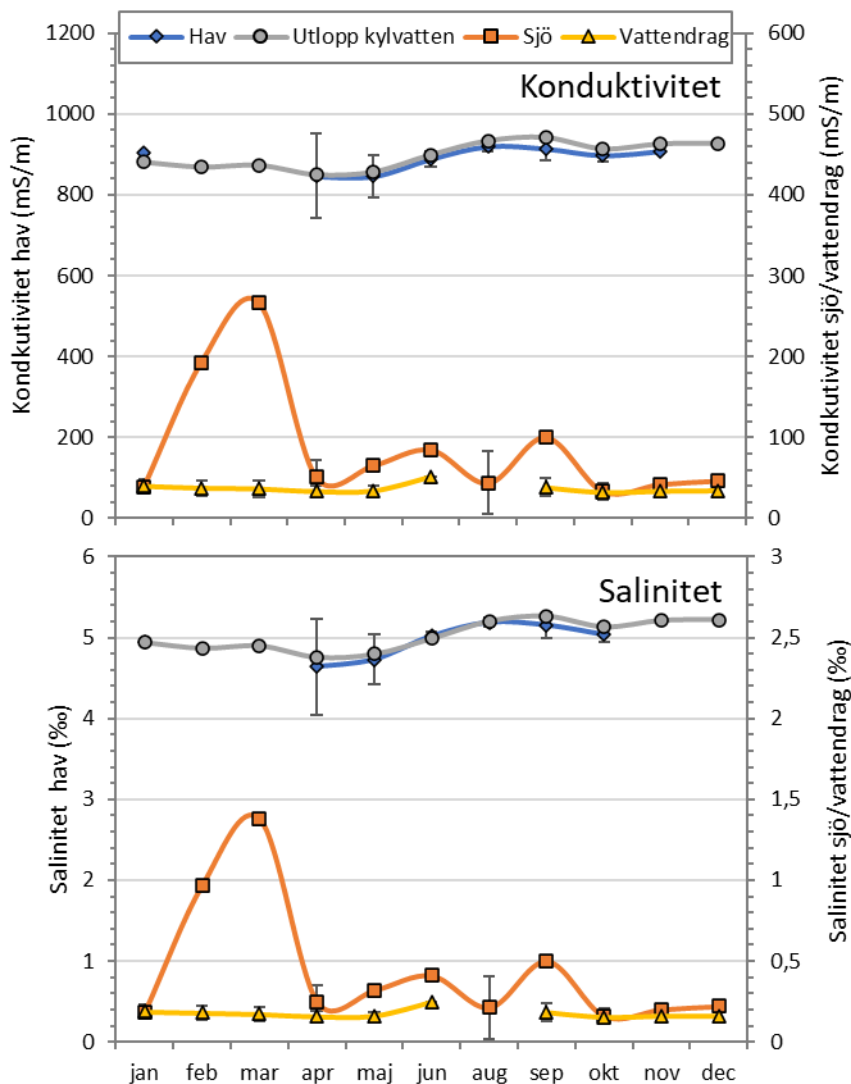


**Figur 3-6.** Fältmätt vattentemperatur och pH samt mängden löst syre och syremättnad på provpunkter i hav, sjö och vattendrag (medel ± standardavvikelse), samt i kylvattenutloppet i havet under 2022. Mätningarna har gjorts på 0,5 meters djup i hav och sjö samt 0,1 meters djup i vattendrag.

Vintertid var det generellt lägre pH jämfört med under sommaren. Störst säsongsvariation noterades i sjöarna där pH varierade mellan 6,88–9,65. I havet och i vattendragen var säsongsvariationen under 2022 betydligt mindre 7,19–8,58 respektive pH 6,61–7,74.

Säsongsvariationen i mängd löst syre och syremättnad var relativt liten på provpunkterna i vattendragen samt havet jämfört med provpunkterna i sjöarna (figur 3-6). Sjöarna som provtas är grunda och har hög vegetationstäckning vilket ger hög syreproduktion under sommarhalvåret. Det mycket låga syrevärdet för vattendragen i juni baseras endast på ett vattendrag (PFM000068), vilket var det enda vattendraget som inte var helt torrlagt i juni. Det var emellertid endast lite, och till synes, helt stillastående vatten i vattendraget vilket förklarar de låga syrevärdena.

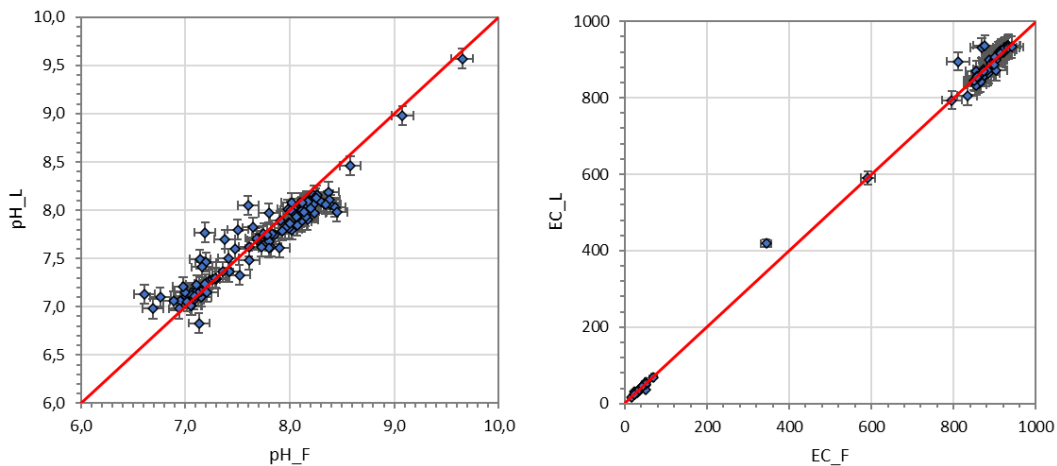
Konduktivitet och salinitet är starkt kopplade till varandra och uppvisar generellt liten säsongsvariation (figur 3-7). På provpunkterna i havet låg salthalten generellt kring 4–5 ‰. Provpunkten (PFM000084) utanför Olandsåns utlopp påverkas emellertid kraftigt av åns vattenföring, vilket under 2022 syntes som generellt lägre värden än övriga punkter och mycket låga värden under våren (1,79–3,23 ‰). Konduktiviteten i havet låg generellt kring 900 mS/m jämfört med ca 40 mS/m på punkterna i sjöar och vattendrag. I februari och mars noterades betydligt högre konduktivitet och salthalt i sjön Norra bassängen (PFM000097), vilket visar på en större inträngning av havsvatten. Norra bassängen är den enda sjö som övervakas månadsvis. Syftet med de mer frekventa fältmätningarna i sjön är att dokumentera havsvatteninträngningar i de kustnära sjöarna. Även under sommaren verkar en del havsvatten ha kommit in, vilket syns som förhöjd salinitet och konduktivitet. I augusti, när även sjöar som ligger längre från kusten ingår i provtagningen är variationen i salthalt och konduktivitet mellan provtagningspunkter i sjöar relativt stor.



**Figur 3-7.** Fältmätt konduktivitet och salinitet på provpunkter i hav, sjö och vattendrag (medel ± standardavvikelse), samt i kylvattenutloppet i havet under 2022. Mätningarna har gjorts på 0,5 meters djup i hav och sjö samt 0,1 meters djup i vattendrag.

### **pH- och konduktivitmätningar i fält vs laboratorium**

Fältmätningarna av pH och konduktivitet korrelerar väl med motsvarande laboriemätningar på det insamlade vattnet (figur 3-8). 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 mycket god överensstämmelse.



**Figur 3-8.** V: Värden för pH mätt på laboratorium (pH\_L) i förhållande till pH mätt i fält (pH\_F). 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.

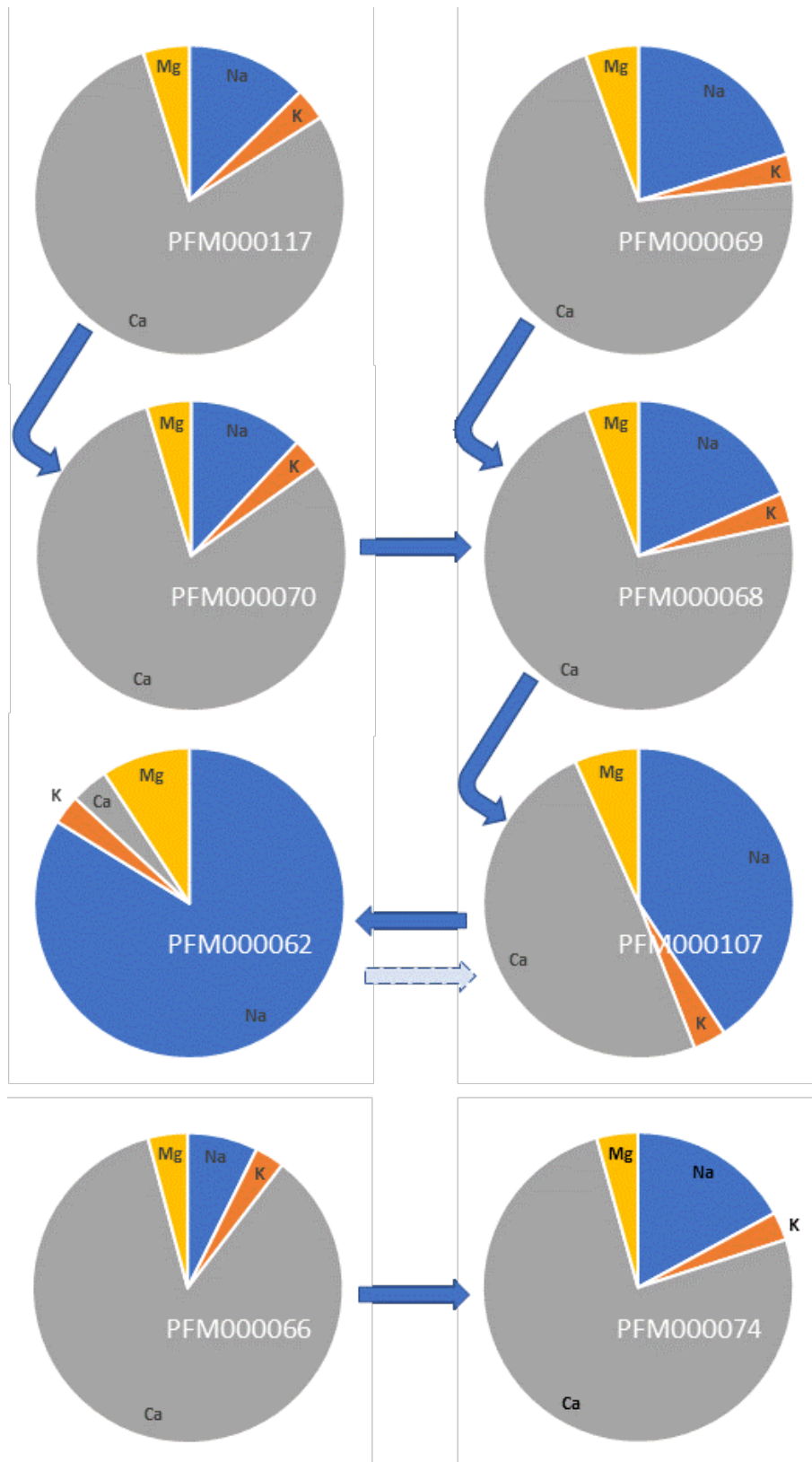
#### Huvudkomponenter

Vattenanalyserna av huvudkomponenter i ytvatten omfattar Na, K, Ca, Mg, Sr, S,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ , Cl, Si och  $\text{HCO}_3^-$ , 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 2022 hade ett prov en jonbalans på 11,83 %, det vill säga 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 i stället klorid vanligast.

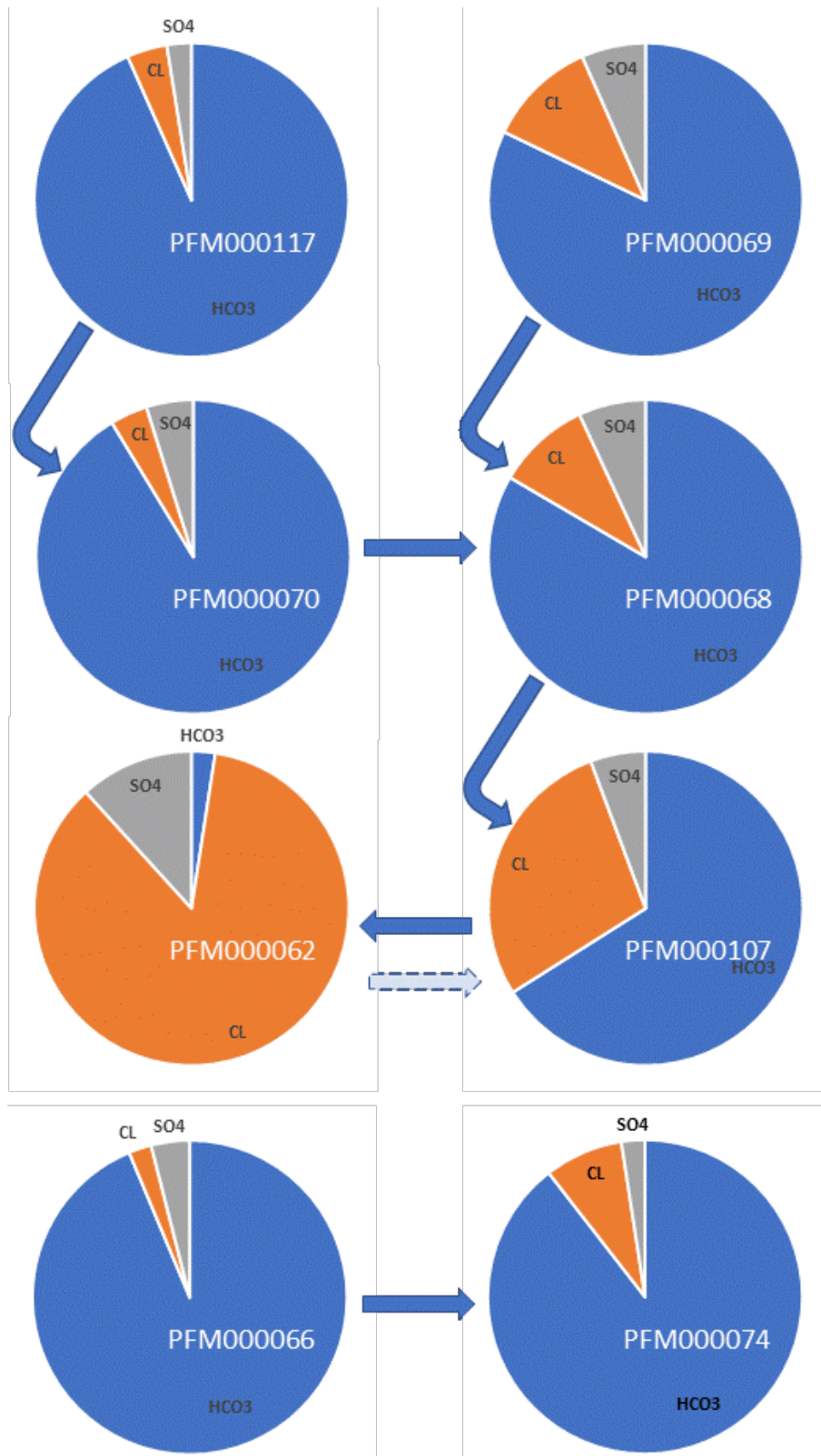
Årsmedelkoncentrationerna av de vanligaste katjonerna och anjonerna visar generellt liten mellanårsvariation på de olika provtagningspunkterna för ytvatten (figur 3-11abc och 3-12abc). I sjön Bolundsfjärden (PFM000107), som har oregelbundna inflöden av saltvatten från havet, kan emellertid en större variation mellan år anses. Inflödet av havsvattnet som konduktivitets- och salinitetsmätningarna visade på under framförallt februari och mars 2022 (figur 3-7) syns som högre koncentrationer av de fyra katjonerna kalcium, kalium, natrium och magnesium under 2022 (figur 3-11b). Även halten av kloridjoner var högre under 2022 i Bolundsfjärden som en följd av havsvatteninflödet (figur 3-12b). Provtagningspunkten utanför Olandsåns utlopp (PFM000084) uppvisar också en större mellanårsvariation än övriga provtagningspunkter i havet. De högre koncentrationerna av vätekarbonatjoner ( $\text{HCO}_3^-$ ) 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).

Årsmedelkoncentrationerna av de vanligaste jonerna visar även att vattnet på provtagningspunkten i vattendraget PFM000070 generellt varit mer likt sjöarna PFM000107 och PFM000117 än övriga vattendrag (figur 3-11ab och 3-12ab). Sjön Labboträsket (PFM000074) har däremot varit mer lik de tre vattendragen PFM000066, PFM000068 och PFM000069 än övriga sjöar med avseende på de vanligaste jonerna.

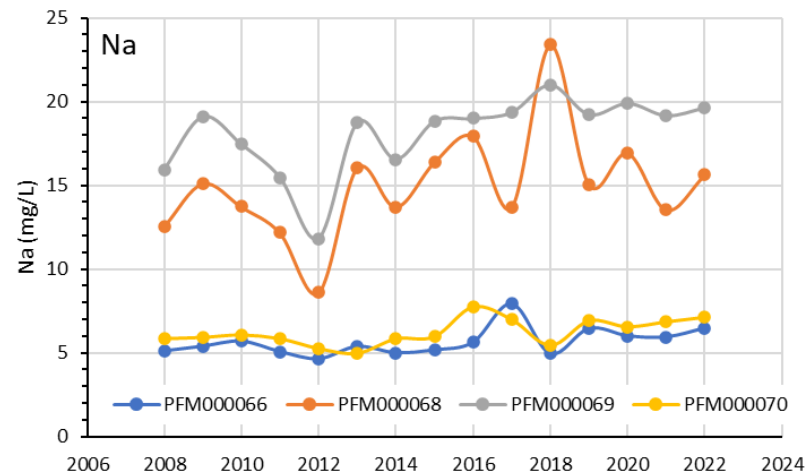
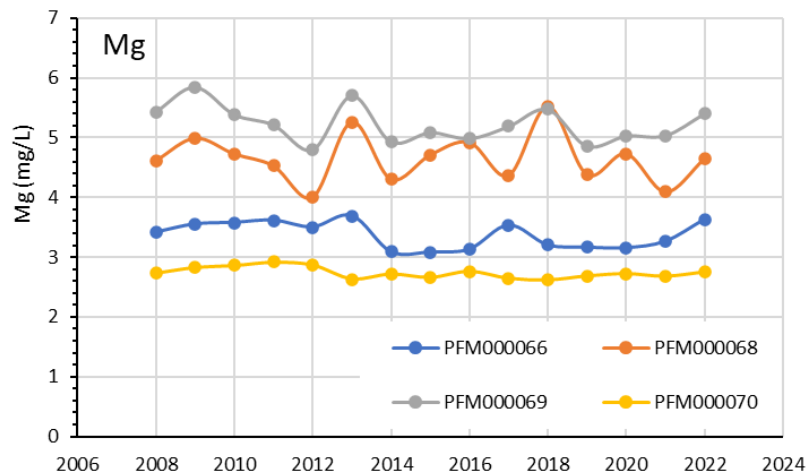
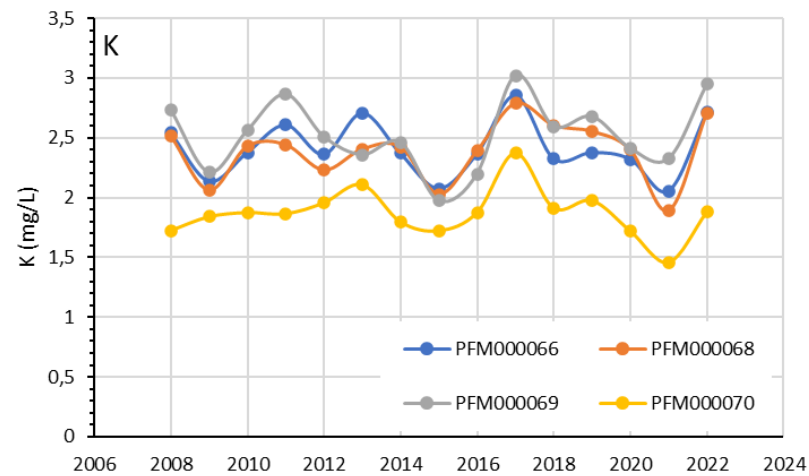
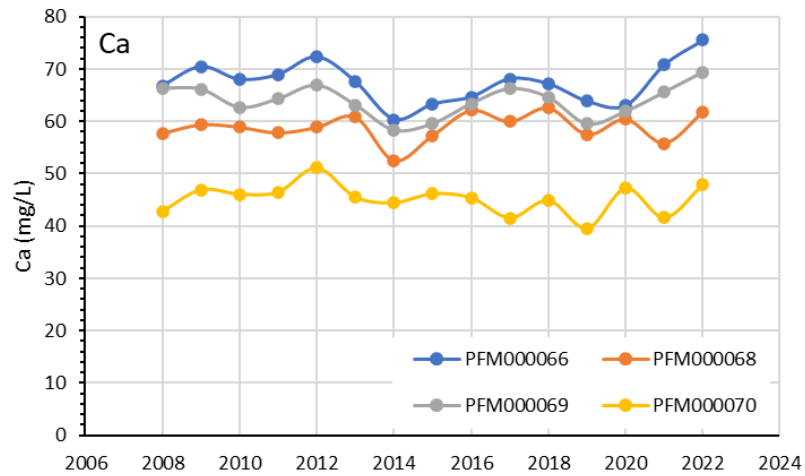


**Figur 3-9.** Förhållandet mellan de fyra vanligaste katjonerna (Ca, K, Mg och Na) i provtagna vattendrag (PFM000066, 68, 69 och 70), sjöar (PFM000074, 107 och 117) och hav (PFM000062). Figuren baseras på medelvärden för perioden januari-december 2022. Pilarna visar ytvattnets väg via sjöar och vattendrag 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.

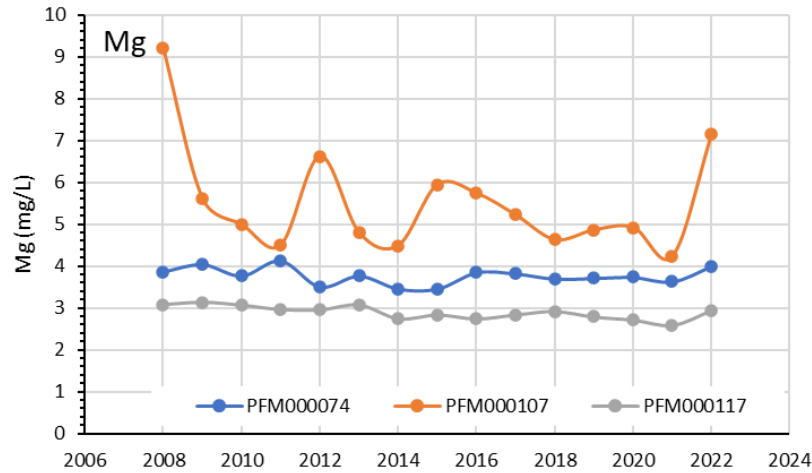
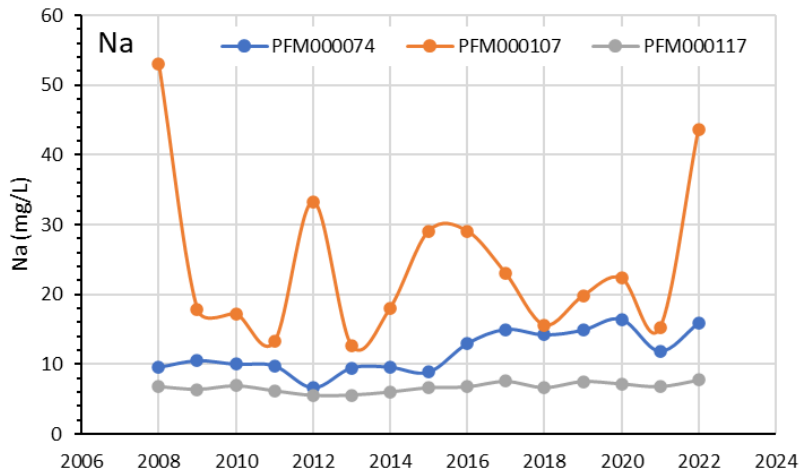
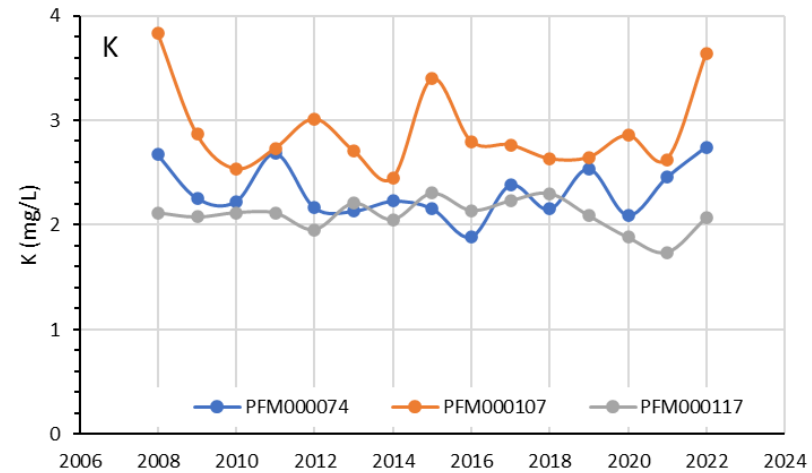
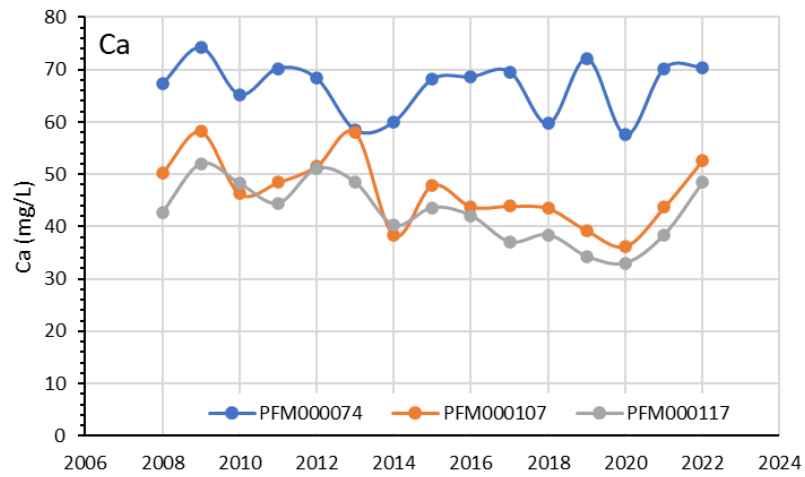




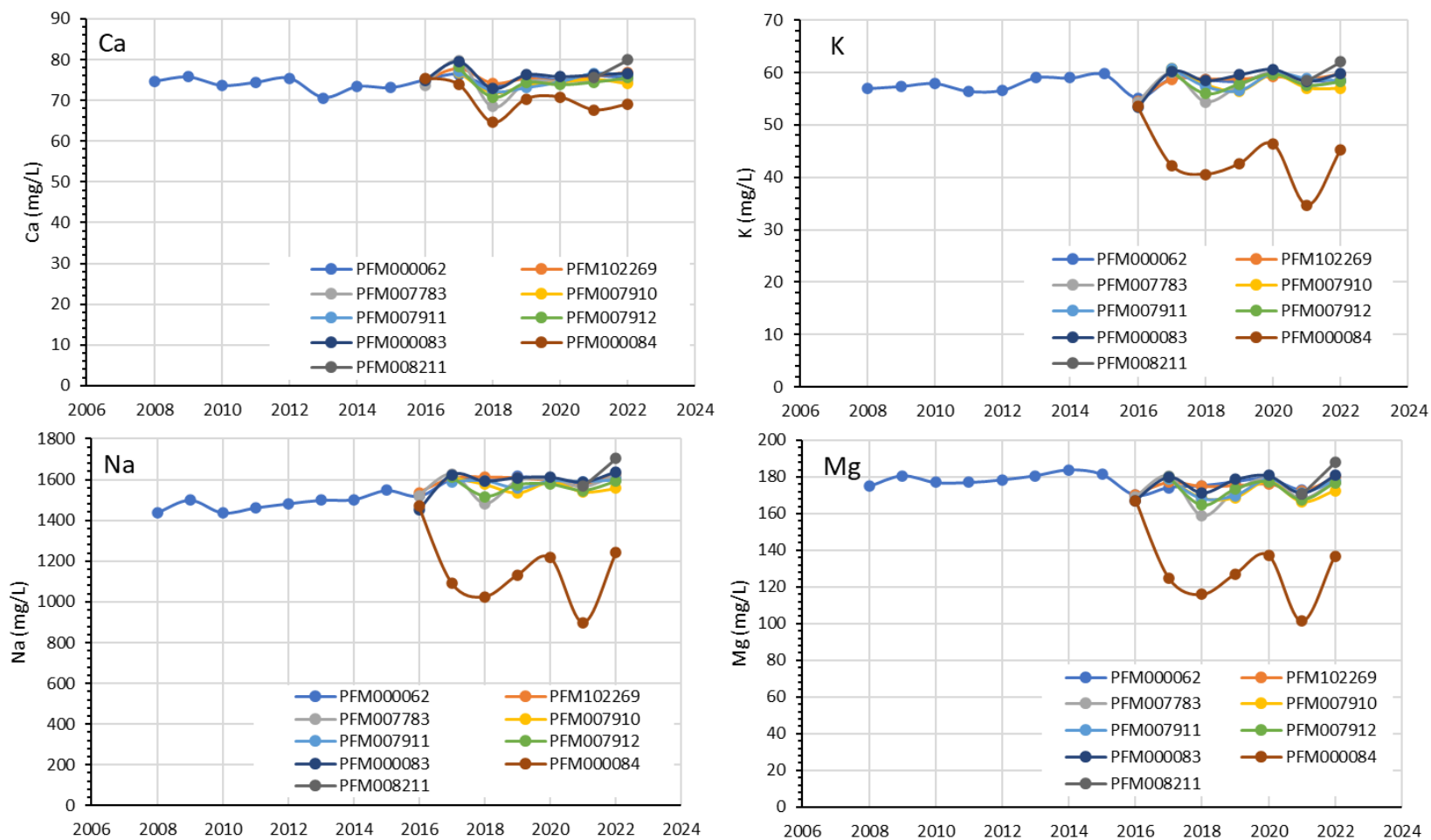
**Figur 3-10.** Förhållandet mellan de tre vanligaste anjonerna ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  och  $HCO_3^-$ ) i provtagna vattendrag (PFM000066, 68, 69 och 70), sjöar (PFM000074, 107 och 117) och hav (PFM000062). Graferna baseras på medelvärden för perioden januari-december 2022. Pilarna visar ytvattnets 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.



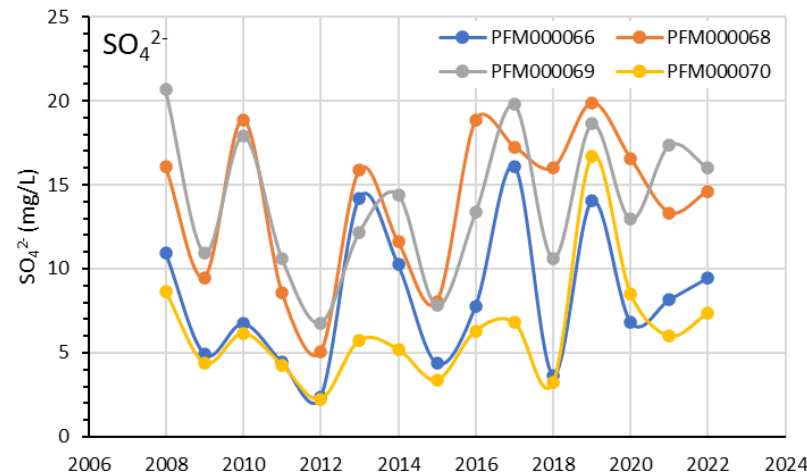
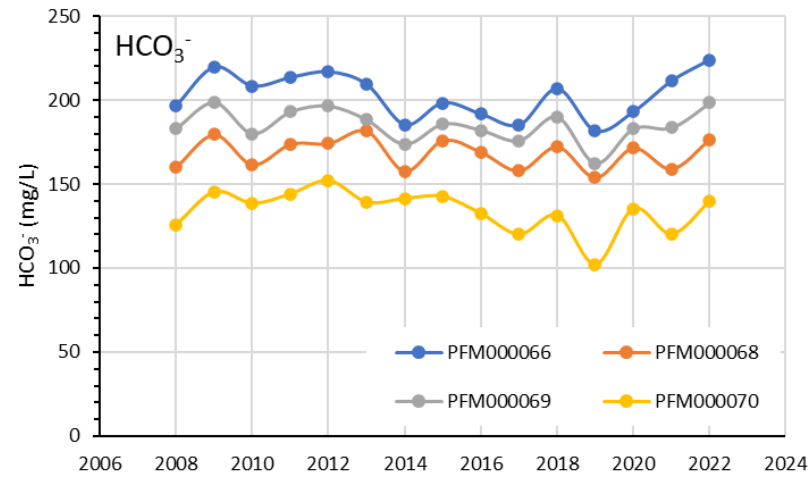
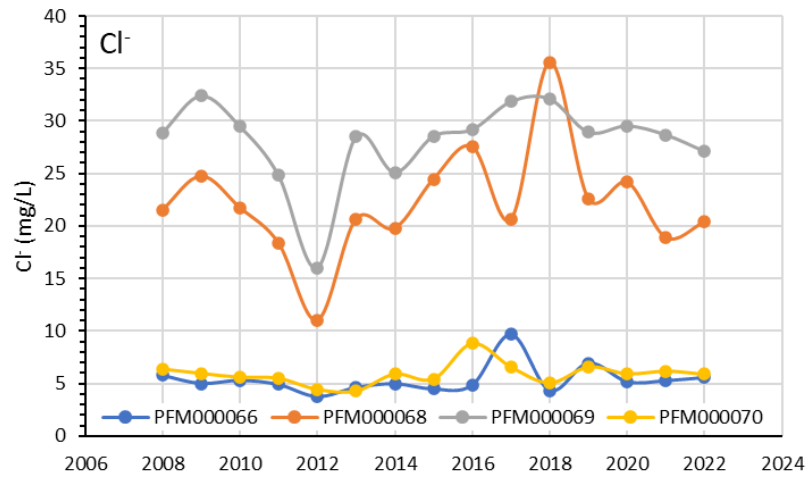
**Figur 3-11a.** Årsmedelkoncentrationer av de fyra vanligaste katjonerna i provtagna vattendrag (PFM000066, PFM000068, PFM000069 och PFM000070). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2022.



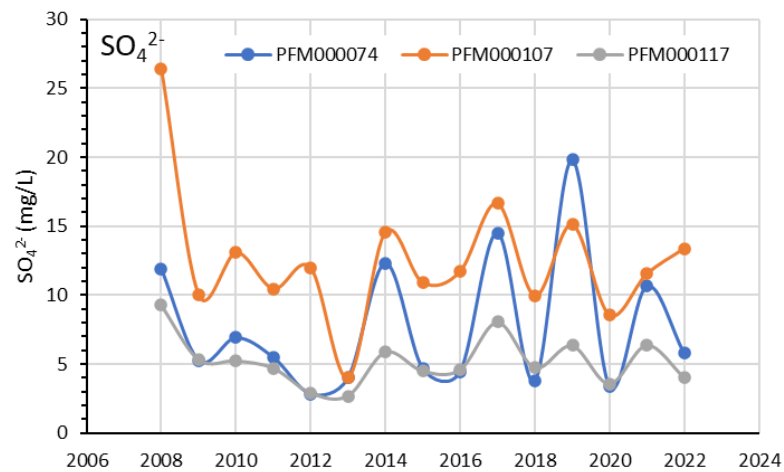
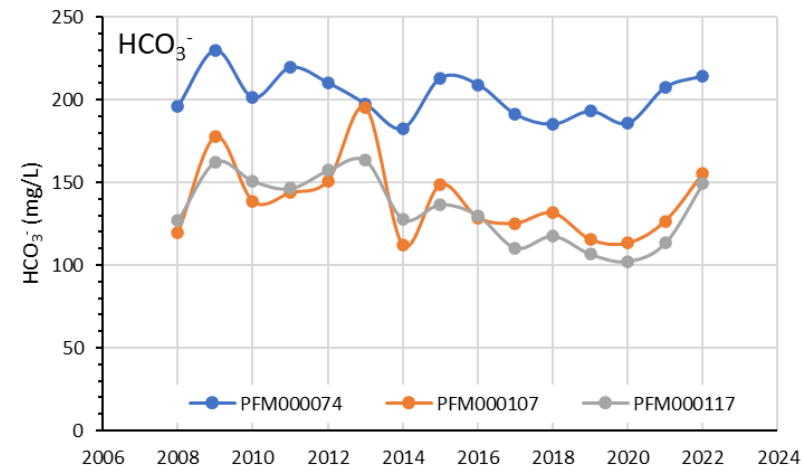
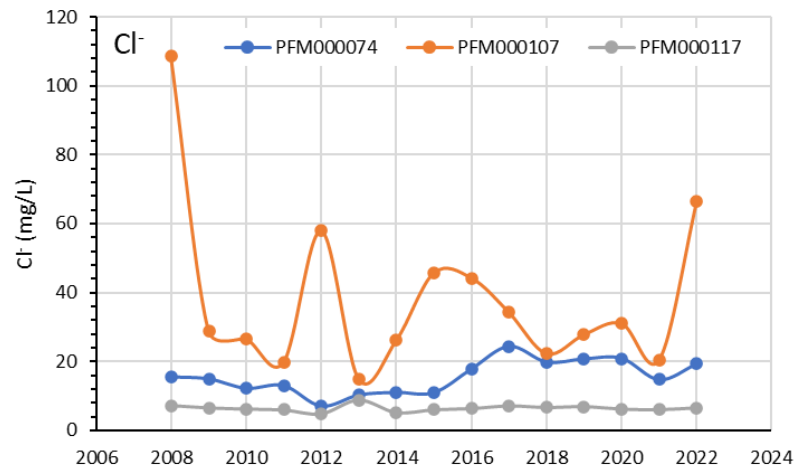
**Figur 3-11b.** Årsmedelkoncentrationer av de fyra vanligaste kationerna i provtagna sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008-2022.



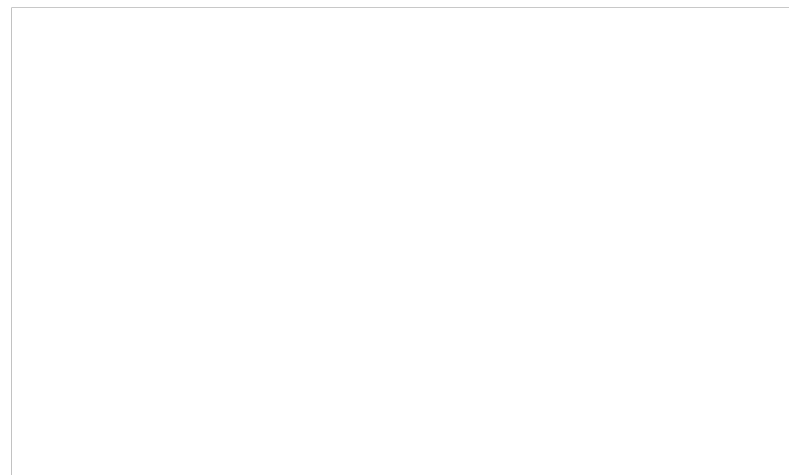
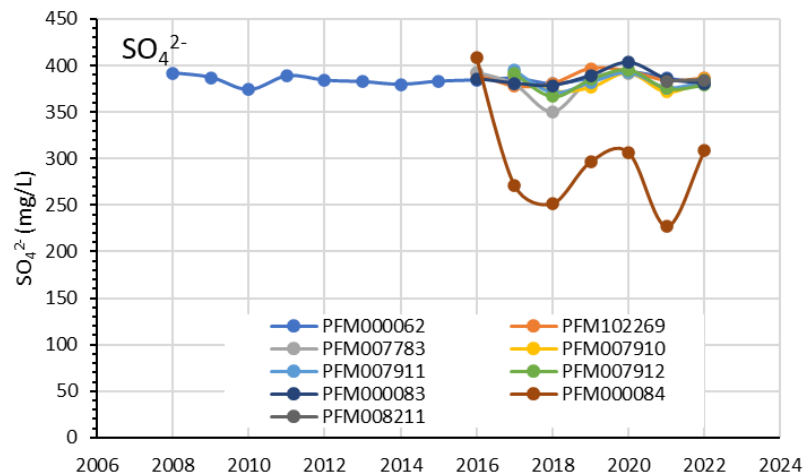
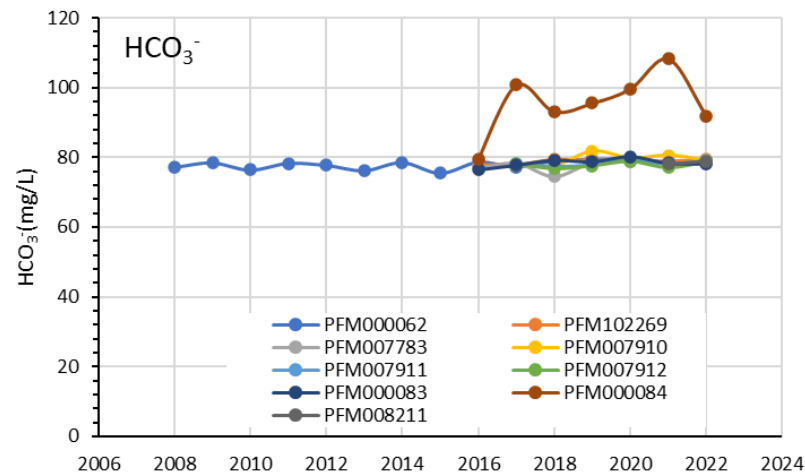
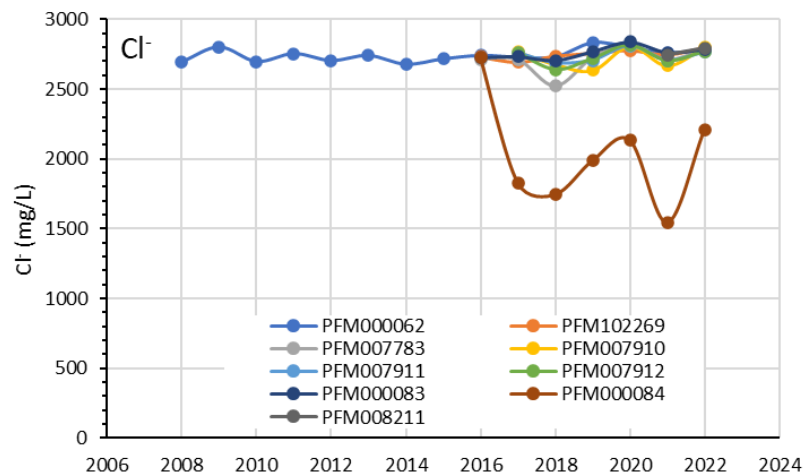
**Figur 3-11c.** Årsmedelkoncentrationer av de fyra vanligaste katjonerna på provtagna havspunkter (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2022. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått 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 2008–2022.



**Figur 3-12b.** Årsmedelkoncentrationer av de tre vanligaste anjonerna i provtagna sjöar (PFM000074, PFM000107 och PFM000117). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008-2022.



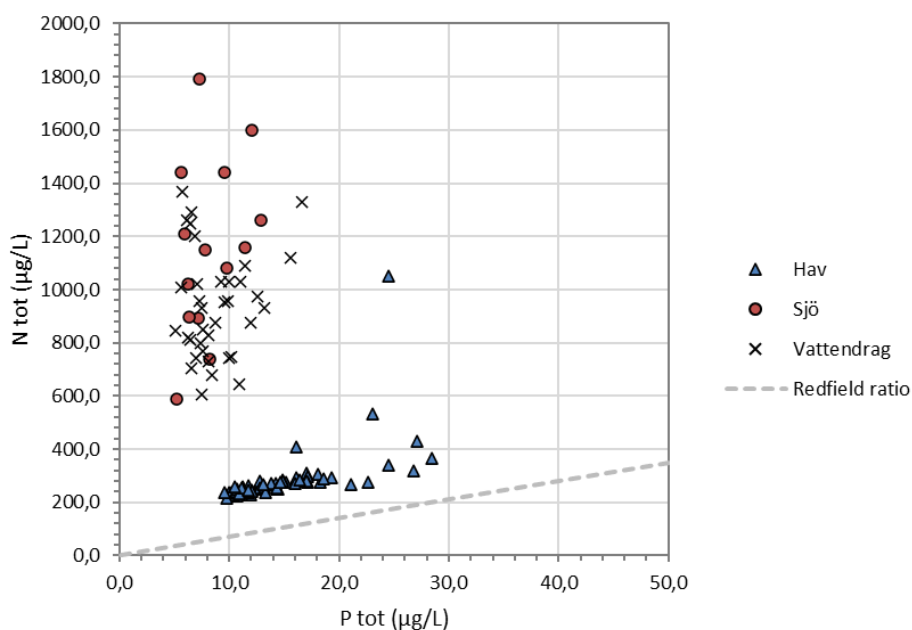
**Figur 3-12c.** Årsmedelkoncentrationer av de tre vanligaste anjonerna på provtagna havspunkter (PFM000062, PFM102269, PFM007910, PFM007911, PFM007912, PFM000083, PFM000084 och PFM008211). Graferna visar på årsmedelvärden för perioden 2008–2022. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått 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.

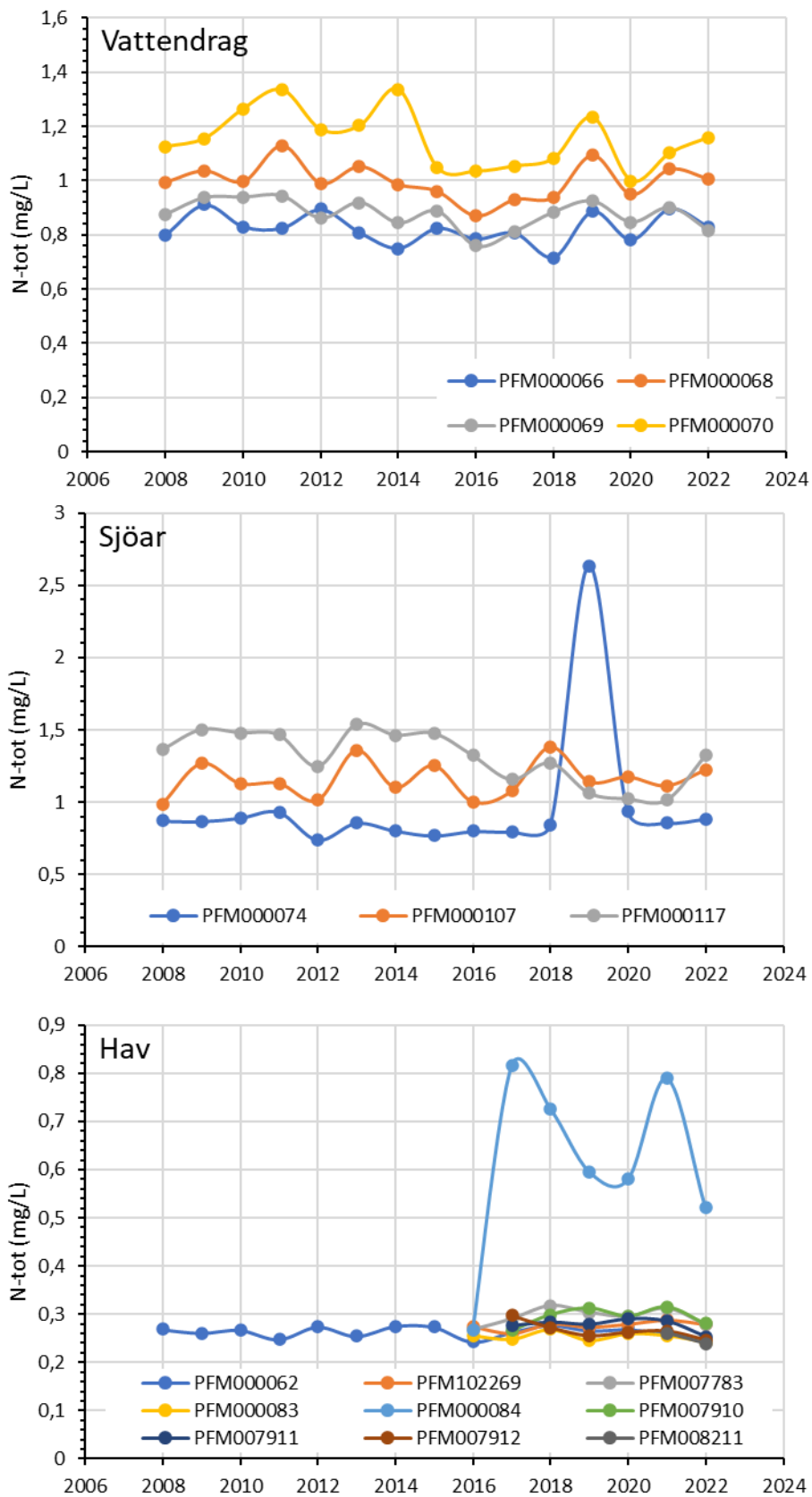
Samtliga provtagna vatten inom programmet är fosforbegränsade (figur 3-13). Samtliga vatten hade ett stort överskott av kväve men i havet var kväveöverskottet generellt mindre än i sötvattnen. Den högsta kvoten i havet uppmättes på den sötvattenspåverkade provpunkten utanför utloppet av Olandsån (PFM000084).



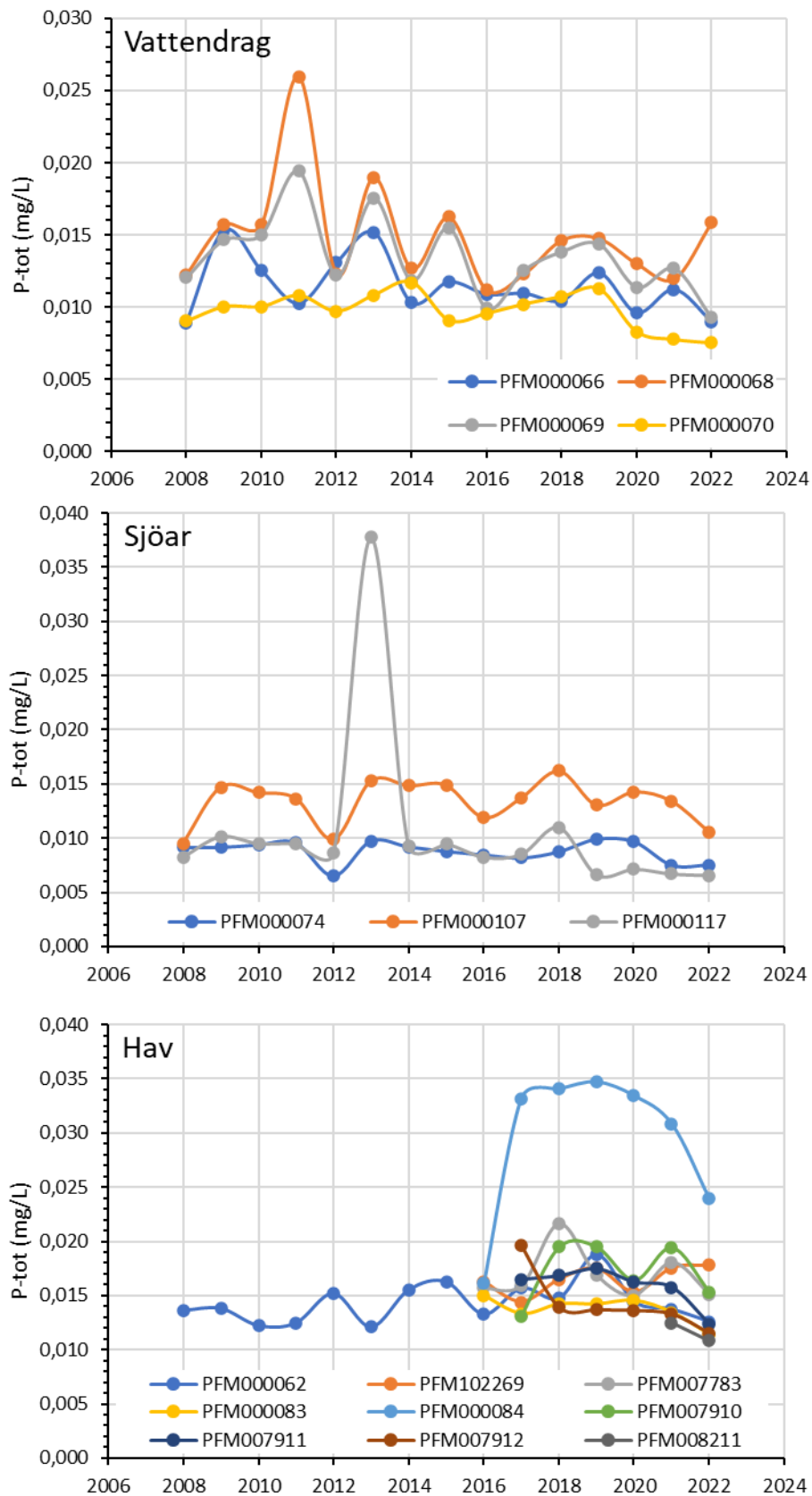
**Figur 3-13.** Förhållandet mellan kväve och fosfor i provtagningspunkternas ytvatten år 2022. Den streckade linjen visar massförhållande 7:1 (Redfield ratio), värden ovanför linjen indikerar kväveöverskott och fosforbegränsning, värden under linjen det omvända.

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 2008–2022. 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 2008–2022. Endast en av provpunkterna i havet (PFM000062) har ingått i programmet sedan 2008, övriga har provtagits fr o m 2016, 2017 eller 2021.

### Spårämnen

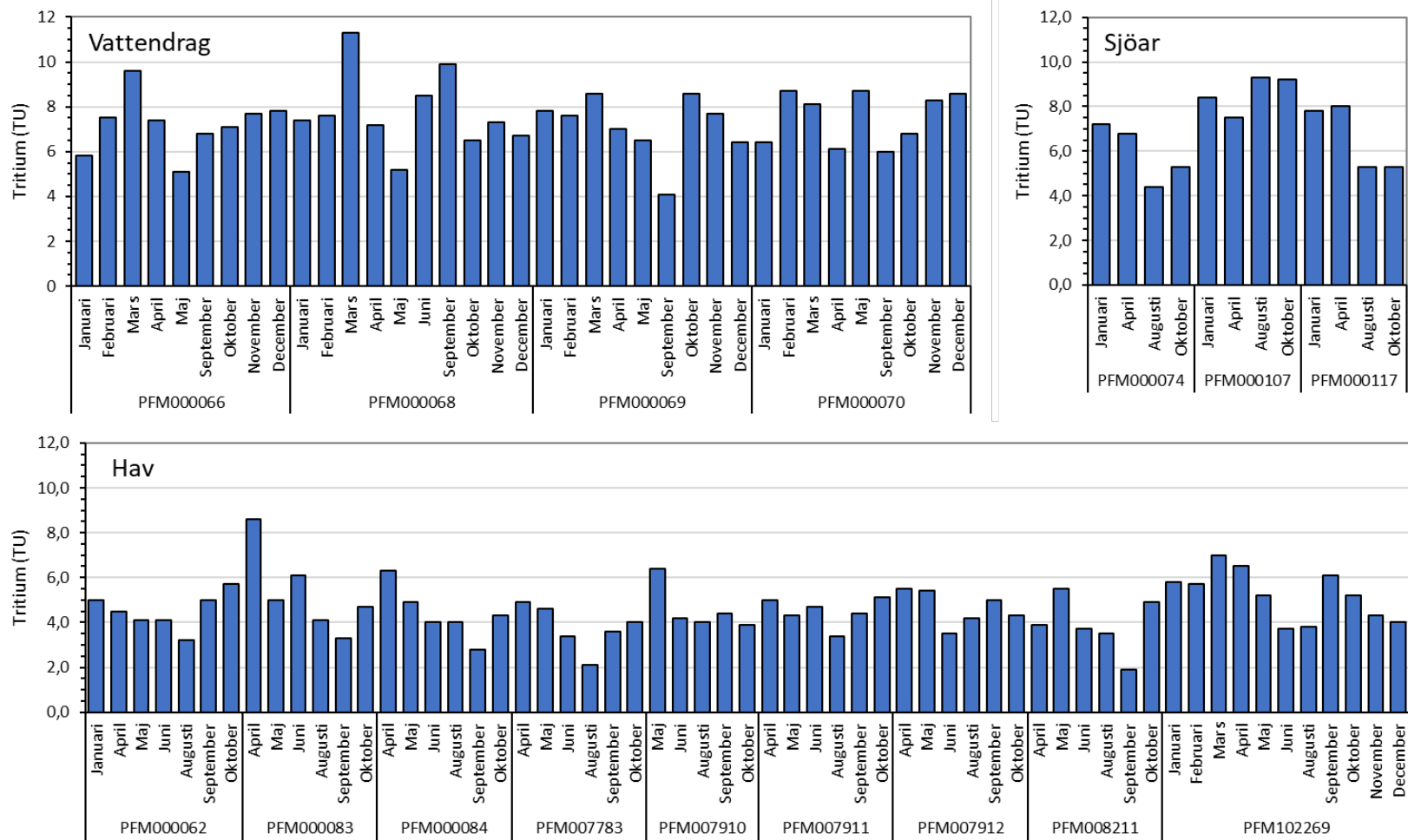
Analyserna av spårämnen och ovanliga komponenter omfattar Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Hg, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pd, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, Y, Yb, Zn och Zr. Dessa ämnen finns i allmänhet i låga koncentrationer. Data finns i tabell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



*Figur 3-15. Januariprovtagning av havspunkten PFM000062 i Asphällsfjärden.*

### Isotoper

Isotopanalyserna omfattar den radioaktiva isotopen tritium ( $^3\text{H}$ ) och de stabila isotoperna deuterium ( $\delta\text{D}$ ), och oxygen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) (tabell B6). Resultaten från 2022 visar tritiumvärden mellan 1,9–11,3 TU i de provtagna vattnen (figur 3-16). 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 2022. De högsta värdena uppmättes i vattendraget PFM000068. Koncentrationer av deuterium ( $\delta\text{D}$ ) 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 2022. Antalet provpunkter som provtas varierar mellan månader.

### **3.6 Diskussion och slutsats**

Resultaten från 2022 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 gölgradans 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 2022. Vattenkemisk provtagning genomfördes vid fyra tillfällen under 2022 (januari, april, augusti och oktober) medan fältmätningar och fotodokumentation utfördes varje månad (ej juli).

### 4.2 Lokaler och provtagningschema

I övervakningsprogrammet ingår åtta gölar, varav sex är anlagda och två är befintliga småvatten som fungerar som referenser. Gölgradan är beroende av permanenta småvatten för sin reproduktion och har en begränsad rörlighet. Uppskattad medelräckvidd per generation är mindre än 400 meter med spontana förflyttningar på max 1 km (Artdatabanken, n d). De åtta gölarna i programmet ligger inom ett område på ca 0,75 km<sup>2</sup>. Området är ett skogslandskap med många sjöar, kärr och småvatten. Det innebär att avståndet till annat småvatten är mindre än 400 meter.

#### 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 gölgradans 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.

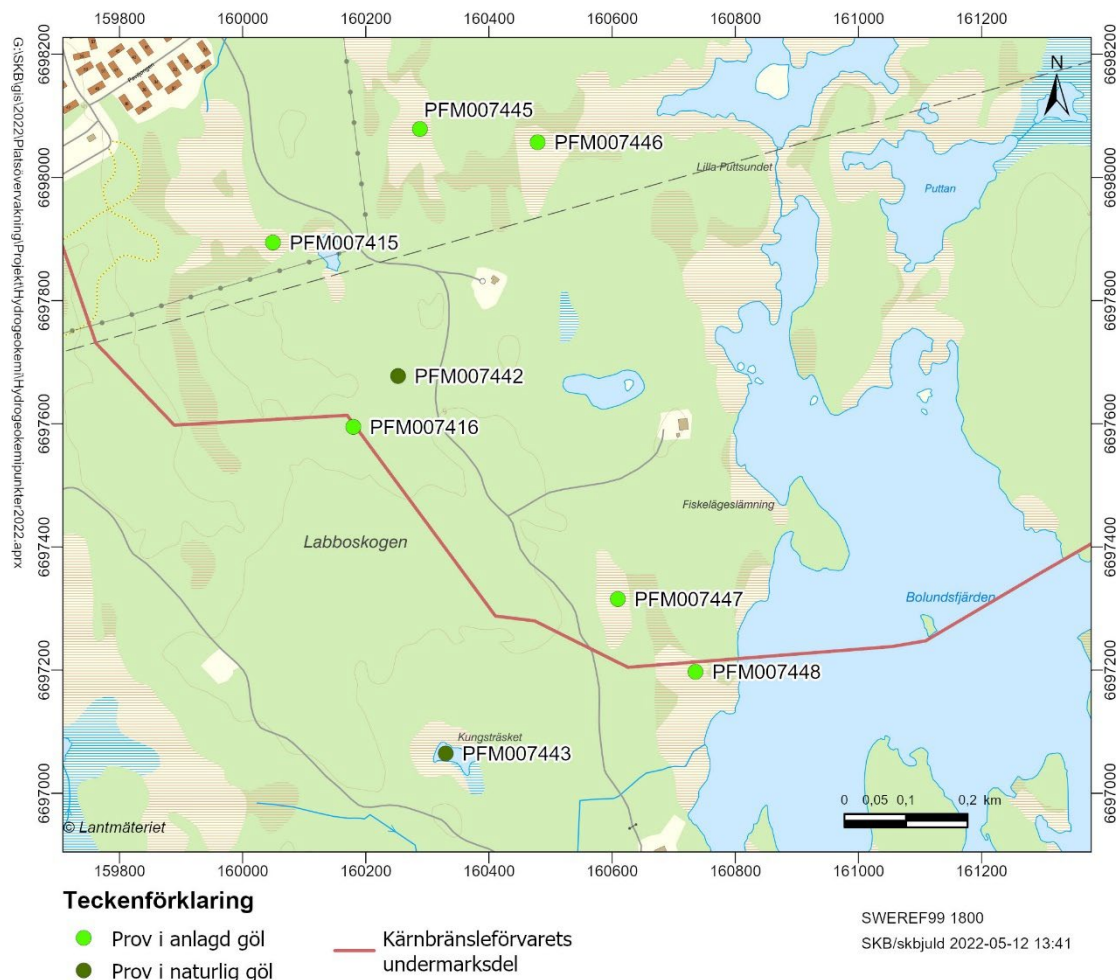
**Tabell 4-1. Gölarnas Id-kod (AFMxxxxxx) och vattenprovtagningspunktens Id-kod (PFMxxxxxx) samt koordinater (SWEREF99 E, N) och kommentar. Id-koderna är sökbara i SICADA.**

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 (provtagningspunkter 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 meter från en av de senaste anlagda gölarna (AFM001443) och mellan 300–650 meter 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 ca 360 meter avstånd och övriga gölar på 500–1000 meters avstånd. Båda referensgölar är omgivna av skog och kring den större gölen växer en hel del vass.



**Figur 4-1.** Karta över provtagningspunkter 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 2022 (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 2022. A = utökad provtagning, B = normal provtagning, C = endast fältmätning. Fotodokumentation gjordes vid varje besök i anlagda gölar.**

Lokal	Provtagnings- vecka	PFM007415	PFM007416	PFM007442	PFM007443	PFM007445	PFM007446	PFM007447	PFM007448
Januari	3	B	B	A	A	B	B	B	B
Februari	7	C	C	C	C	C	C	C	C
Mars	11	C	C	C	C	C	C	C	C
April	14/17	B	B	A	A	B	B	B	B
Maj	20	C	C	C	C	C	C	C	C
Juni	26	C	C	C	C	C	C	C	C
Juli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Augusti	32	B	B	A	A	B	B	B	B
September	36	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 Provtagningsutrustning

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 ca 4 meter 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 (0,45µm) 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 Provtagningsförberedelser

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 ca 0,2 meters 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. Provfraktioner 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 meters 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 vardera väderstreck (totalt fyra foton per göl). Fotografering gjordes från samma punkt (utmärkt med stakpinne) vid varje tillfälle för att förenkla jämförelser mellan provtagningstillfällena. Vid istäckning togs endast ett foto per göl.



**Figur 4-2.** Fotodokumentation av göl AFM001419 från samma punkt i januari 2022 (vänster) och augusti 2022 (höger).

#### 4.4.5 Provhantering och analys

Mätningar/analyser av pH(lab), konduktivitet (lab) och alkalinitet samt spektrofotometrisk analys av total järnkonzentration utfördes inom 24 h 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 gölgrodor, salamandrar, fisk m m.

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 2022 noterades få avvikelser, de flesta gällde justering av provtagningsvecka. De planerade provtagningsveckorna ändrades för maj, augusti, september, oktober, november och december.

I tabell 4-3 visas utförd planerad aktivitet (provtagning och/eller fältmätning) samt om endast ett fotografi togs på grund av is. I tabell 4-4 redovisas några observationer under mätning/provtagning som kanske kan påverka resultaten.

Kisel (SiO<sub>2</sub>-Si) saknas för augustiproverna eftersom analysen inte kunde genomföras av externt laboratorium. Uranresultat saknas för provtagningar med analyspaket B (tabell 4-2).

**Tabell 4-3. Veckor under 2022 då provtagning och/eller sondmätning utfördes (X) samt avvikelser.**

Vecka	3	7	11	14	20	26	32	36	42	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
<b>Totalt antal lokaler</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>88</b>

F – endast ett fotografi på grund av is.

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

Vecka	3	7	11	14	20	26	32	36	42	45	49
PFM007415							2				
PFM007416							2				
PFM007442							2				
PFM007443							2				
PFM007445		3	3				2				
PFM007446		3	3				2			5	5
PFM007447							2		4	5	5
PFM007448				1			2				

1 – en flaska provtogs en dag efter övrig provtagning

2 – lågt vattenstånd försvårade turbiditetsmätningarna eftersom sonden låg på botten eller i växtlighet.

3 – lukt av svavelväte.

4 – en fotopinne försvunnen

5 – arbete med inhägnad av göl inför kommande grodflytt

## 4.5 Resultat

Provtagningen i de åtta gölarna under perioden januari-december 2022 omfattade fältmätningar vid elva tillfällen och vattenprovtagning vid fyra tillfällen.

### 4.5.1 Fältmätningar

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

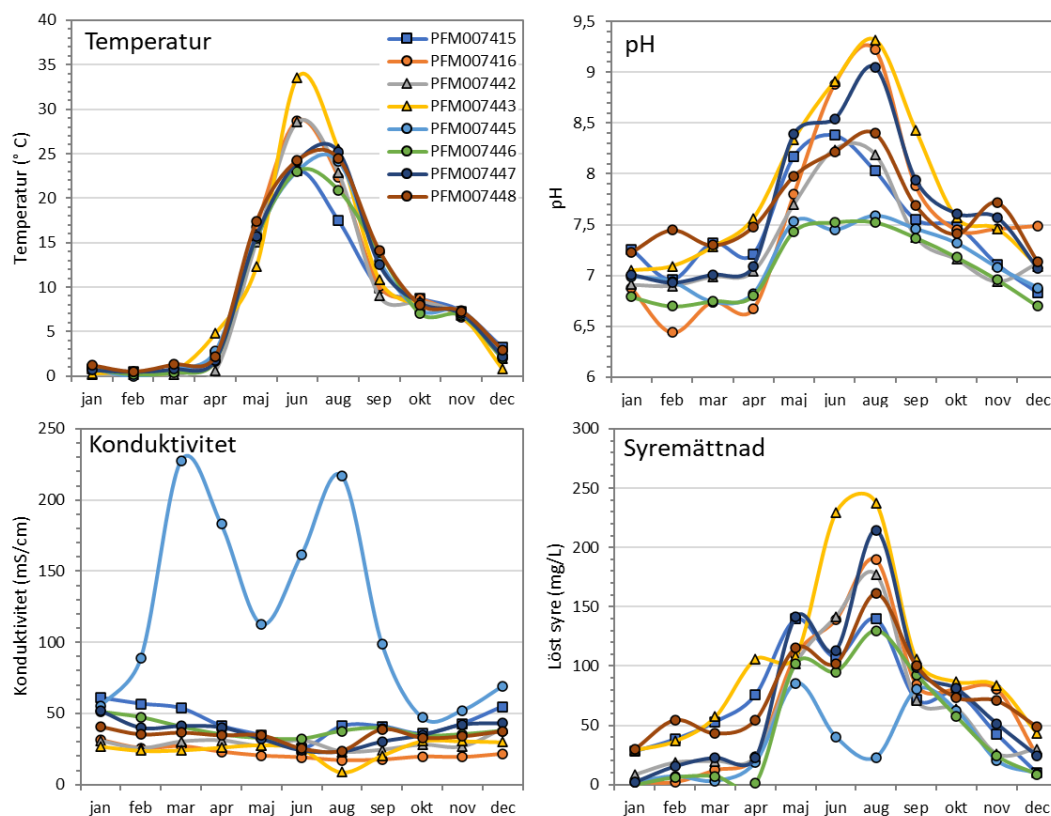
Vattnets egenskaper vid en given tidpunkt är beroende av årstid, storleken på vattenförekomsten och avrinning, djup, primärproduktion etc. Detta leder till variationer i fysiska förhållanden både under året och mellan olika vattenförekomster. Uppenbara årstidseffekter är förändringar i vattentemperaturen 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 2022 (figur 4-3). De högsta temperaturerna uppmättes under juni då temperaturen i samtliga gölar låg över 20 grader. Temperaturskillnaden mellan gölarna var liten (0,5–2,4 grader) under vinterhalvårets månader oktober-mars. Under april-september var temperaturskillnaden mellan gölar som mest 10,6 grader i juni och som minst 4,8 grader i april. 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.

Generellt noterades högre pH-värden under sommarhalvåret och lägre under vintern (figur 4-3). Gölarna hade i snitt ett pH på  $7,46 \pm 0,62$  (medel  $\pm$  standardavvikelse) men pH varierade mellan 6,44–9,32. Högsta pH uppmättes på provpunkt PFM007443 i den stora referensgölen i augusti, men även två av de anlagda gölarna (provpunkter PFM007416 och PFM007446) hade pH över 9 i augusti.

Konduktiviteten i gölarna var generellt stabil under året med något högre värden under vintermånaderna december-mars (figur 4-3). Under 2022 noterades emellertid högre till mycket högre värden under perioden februari-september på provpunkt PFM007445 i en av de anlagda gölarna.

Syremättningen var som högst under sommarhalvåret från april till oktober då växternas produktion är som störst. En oväntad dipp i syremättning syns på provpunkt PFM007445 i juni och augusti (figur 4-3).

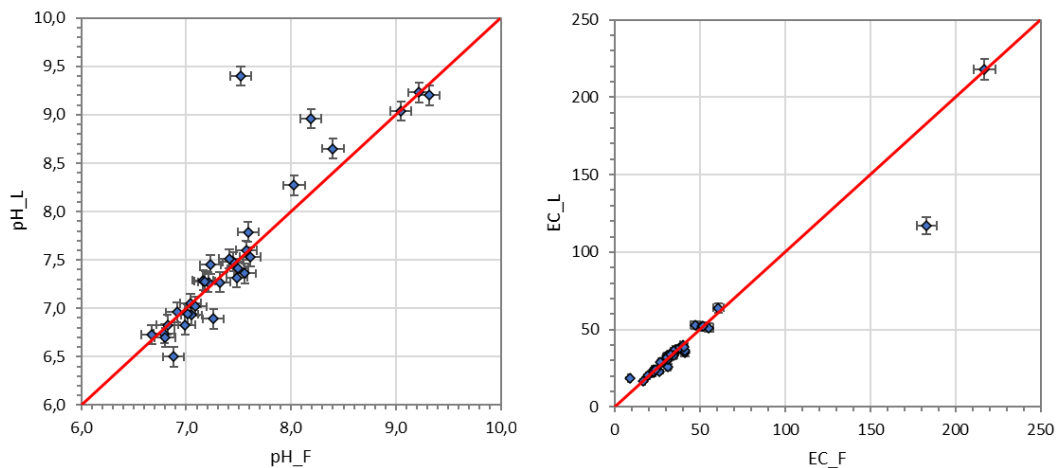


**Figur 4-3.** Fältmätt vattentemperatur och pH samt konduktivitet och syremättning på provpunkterna i de åtta gölarna. Mätningarna har gjorts på 0,2 meters djup.

### **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. De två största differenserna mellan fältmätt pH och laborieanalyserat pH var i augusti på provpunkterna PFM007442 och PFM007446.

Fältmätt konduktivitet plottat mot laboriemätt konduktivitet visar god överensstämmelse. Det mest avvikande värdet för konduktivitet i fält jämfört med laboratorium uppmättes i april på provpunkt PFM007445.



**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. 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.

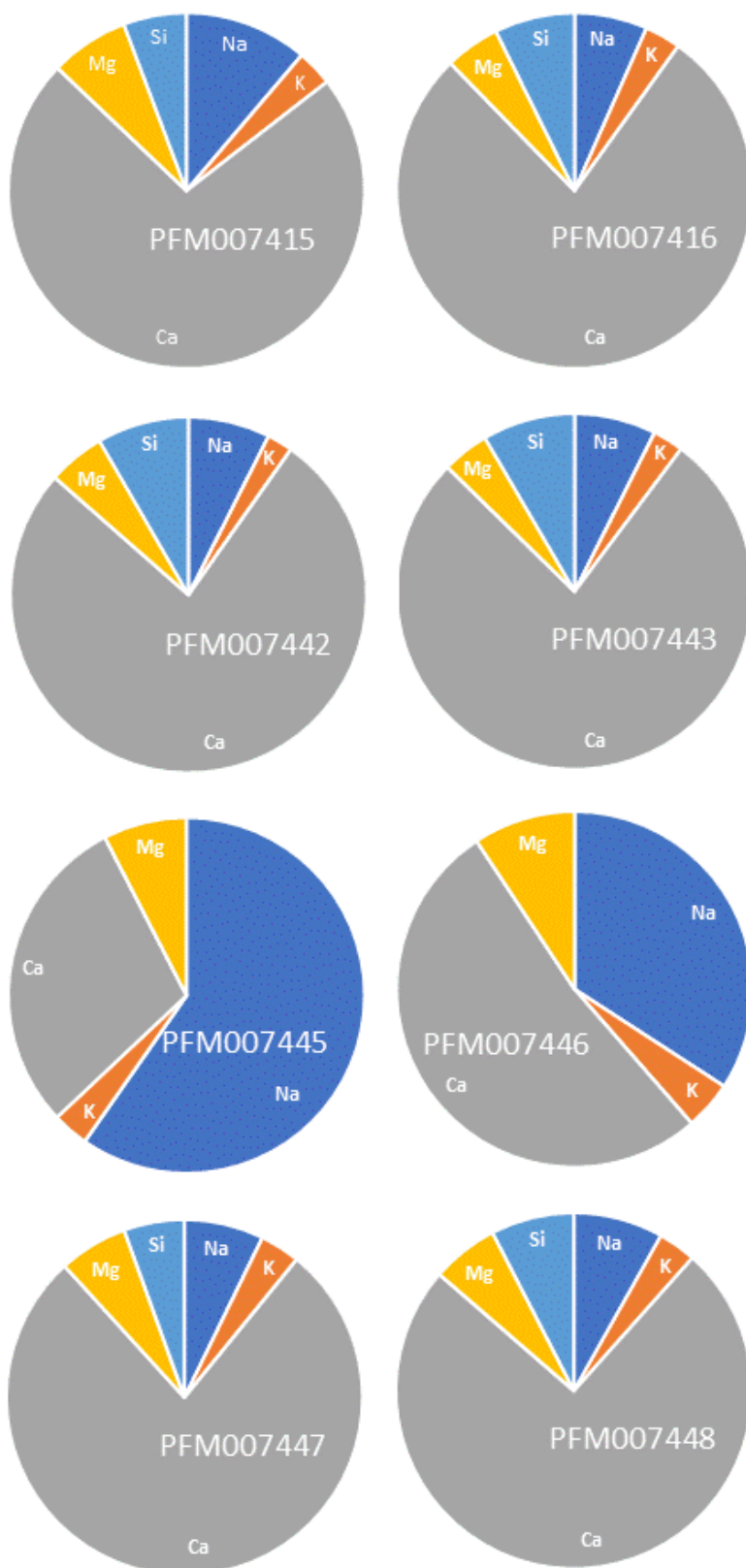
##### Huvudkomponenter

Vattenanalyserna av huvudkomponenter i ytvatten omfattar Na, K, Ca, Mg, Sr, S,  $SO_4^{2-}$ ,  $SO_4^{2--S}$ , 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 2022 hade fem av 32 prov från gölarna jonbalanser utanför godkänt intervall (10,16–13,10 %). Det var tre oktoberprov samt ett från januari och ett från augusti varav två vardera från provpunkterna PFM007443 och PFM007416 och ett från PFM007446.

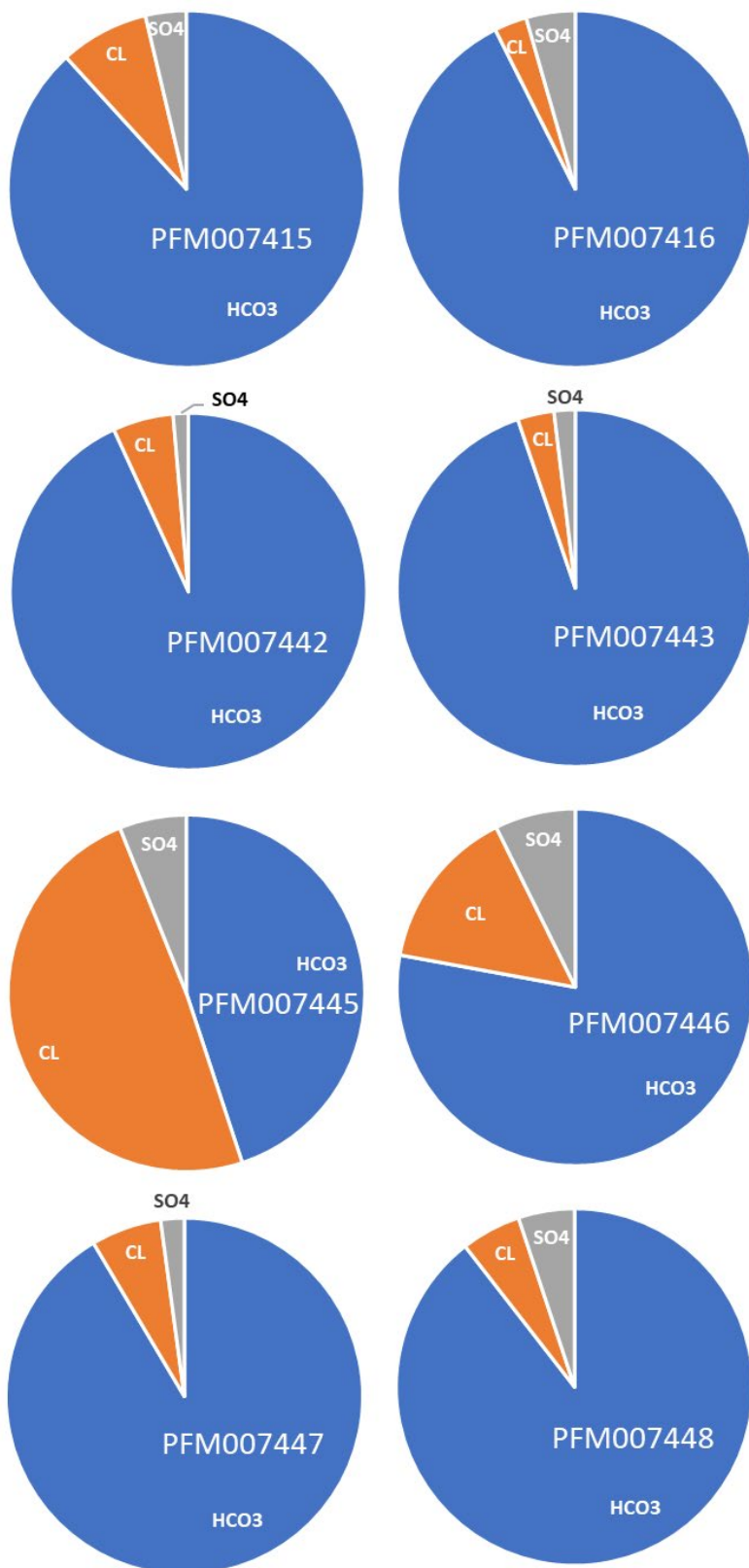
De vanligaste katjonerna i gölarna är kalcium, natrium, magnesium, kisel och kalium. Kalcium är den vanligaste katjonen i samtliga gölar (figur 4-5). De två gölarna med provpunkterna PFM007445 och PFM007446 särskiljer sig med mindre andel kalcium och högre andelar av övriga katjoner, framför allt natrium. 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 klorid fanns på provpunkterna PFM007445 och PFM007446.

Halterna av natrium- och kloridjoner var i de flesta gölarna relativt stabila under året (figur 4-7). Provtagningspunkterna PFM007445 och PFM007446 hade generellt högre halter av både natrium- och kloridjoner jämfört med övriga gölar, framför allt i april och augusti. På provtagningspunkten PFM7415 noterades relativt stor variation mellan provtagningsstillfällena med högre halter av både natrium- och kloridjoner i januari och augusti.

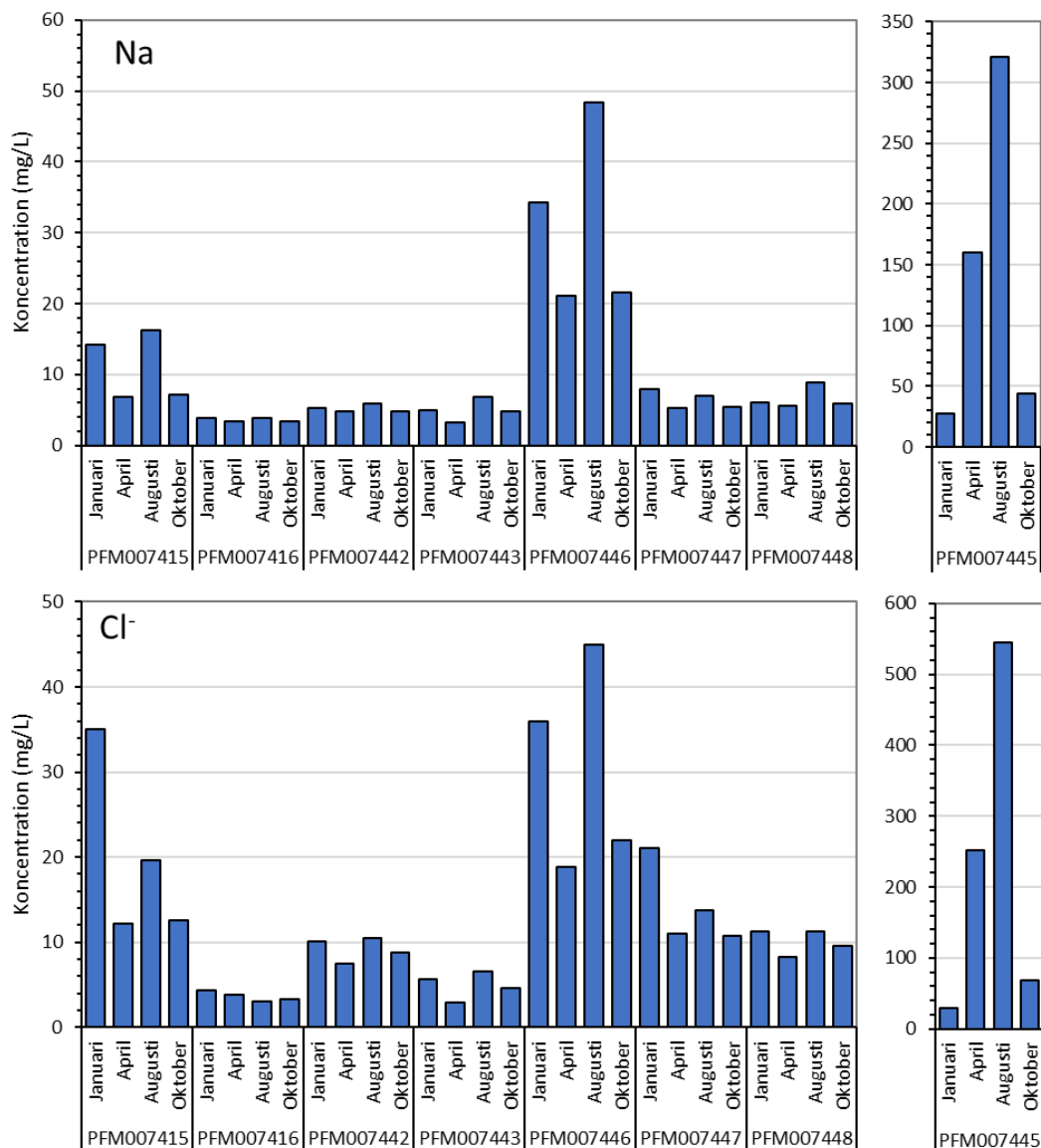


**Figur 4-5.** Förhållandet mellan de fem vanligaste katjonerna (Ca, K, Mg, Na och Si) i gölarna under 2022. Graferna baseras på medelvärden för perioden januari-december 2022.



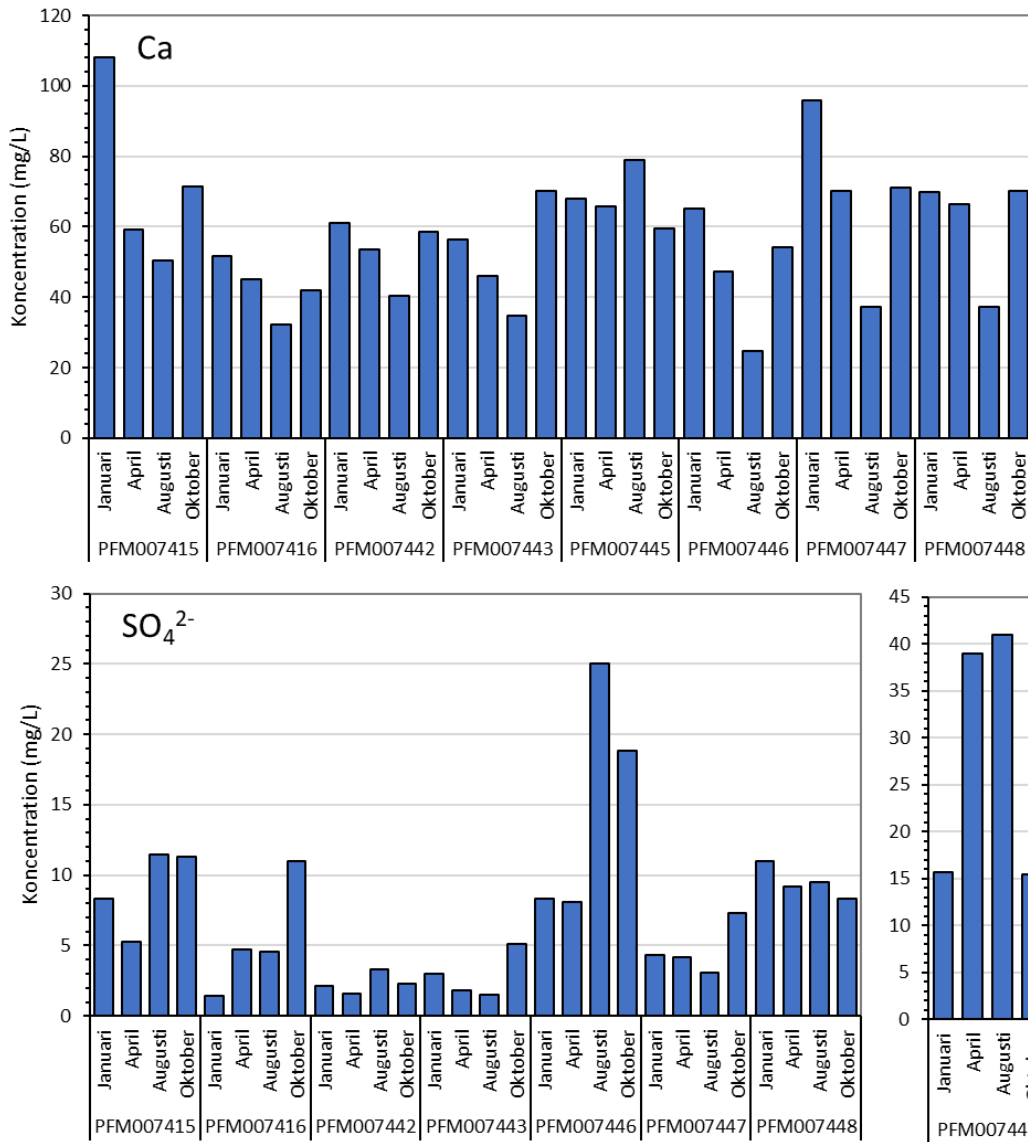
**Figur 4-6.** Förhållandet mellan de tre vanligaste anjonerna ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  och  $\text{HCO}_3^-$ ) i gölarna under 2022. Graferna baseras på medelvärden för perioden januari-december 2022.

Provtagningspunkterna PFM007445 och PFM007446 hade även höga halter av sulfatjoner jämfört med övriga gölar. PFM007445 hade högre halter av sulfatjoner vid samtliga provtagningsstillfällen under 2022, men speciellt i april och augusti (figur 4-8). PFM007446 hade högre halter i augusti och oktober. Referensgölar (PFM007442 och PFM007443) hade generellt lägre halter av sulfatjoner än övriga, anlagda gölar. Kalciumhalterna varierade lite men generellt noterades lägre halter i 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 2022. PFM007445 visa i separat graf på grund av höga koncentrationer.





**Figur 4-8.** Koncentrationer av kalcium- (övre graferna) och sulfatjoner (nedre graferna) på provpunkterna i de åtta gölarna i januari, april, augusti och oktober 2022. PFM007445 visa i separat graf för sulfatjoner på grund av högre koncentrationer.

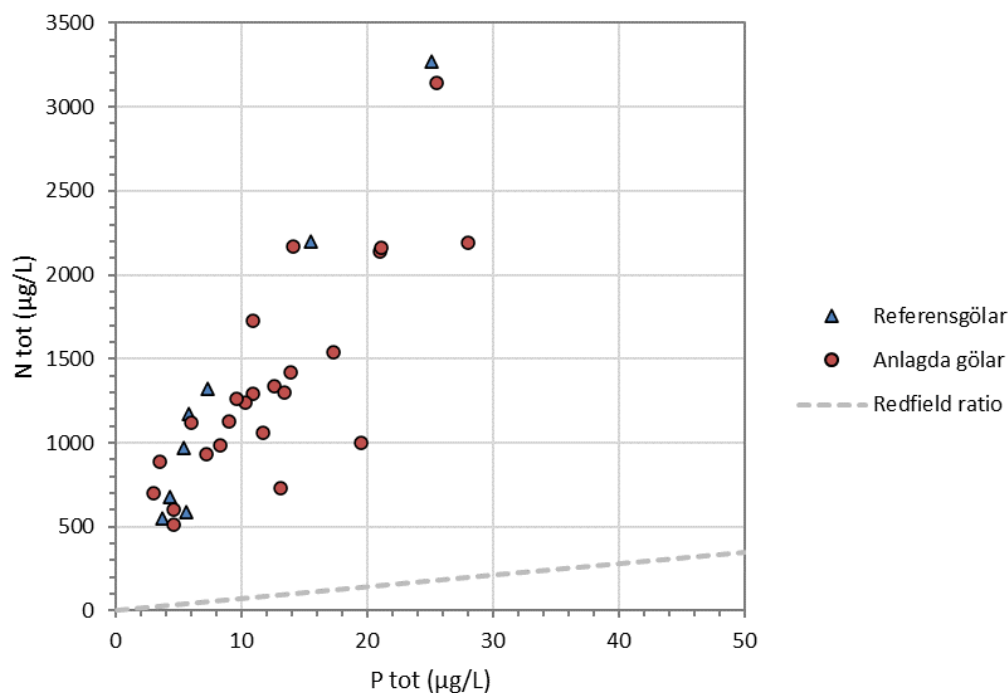


**Figur 4-9.** Fältmätning på provpunkt PFM007446 i december 2022.

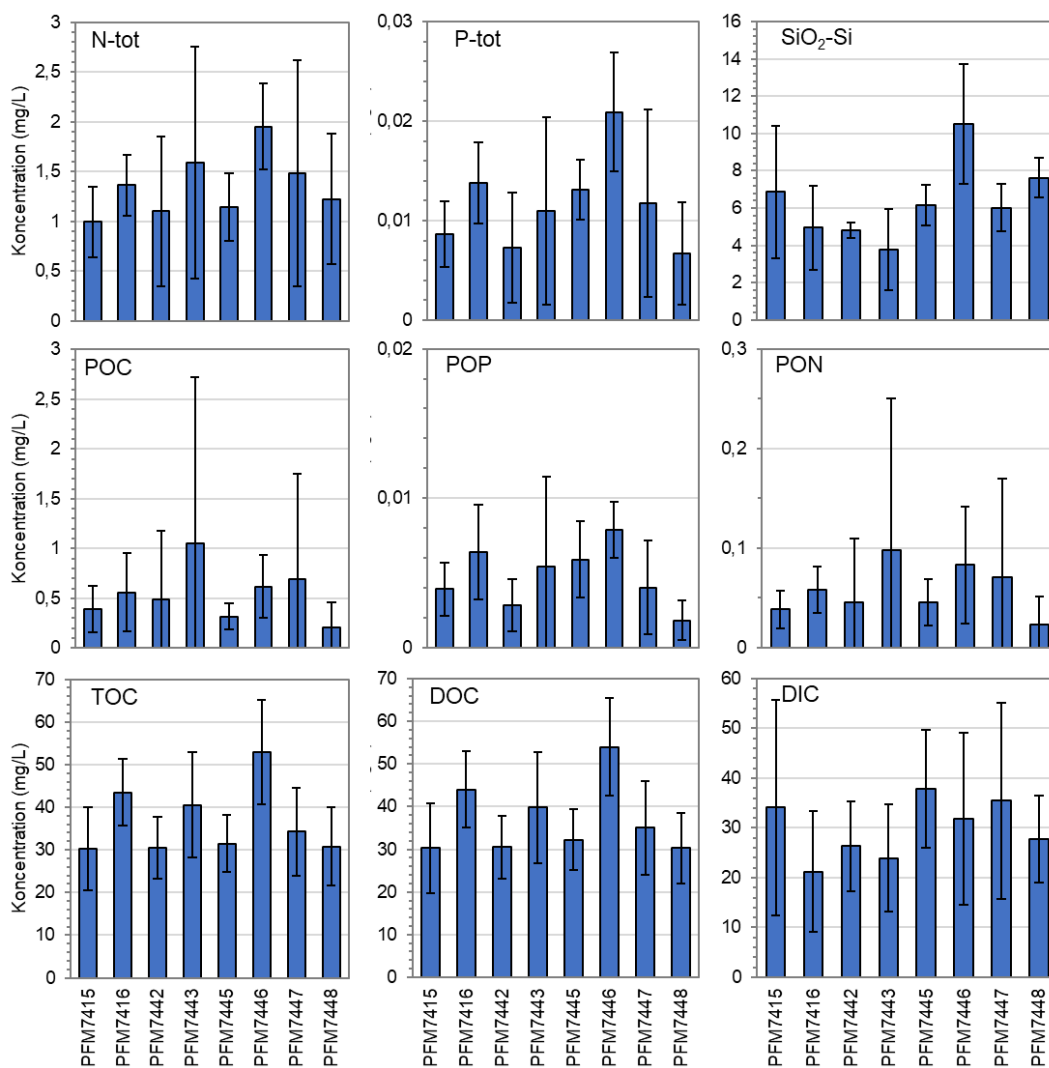
### Ytvattenkomplement

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 4-10). I figur 4-11 visas årsmedelvärden för utvalda ytvattenkomplement.



**Figur 4-10.** Förhållandet mellan kväve och fosfor på provtagningspunkterna i de två referensgölarerna och de sex anlagda gölarerna. Data från provtagningar i januari, april, augusti och oktober 2022. 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.



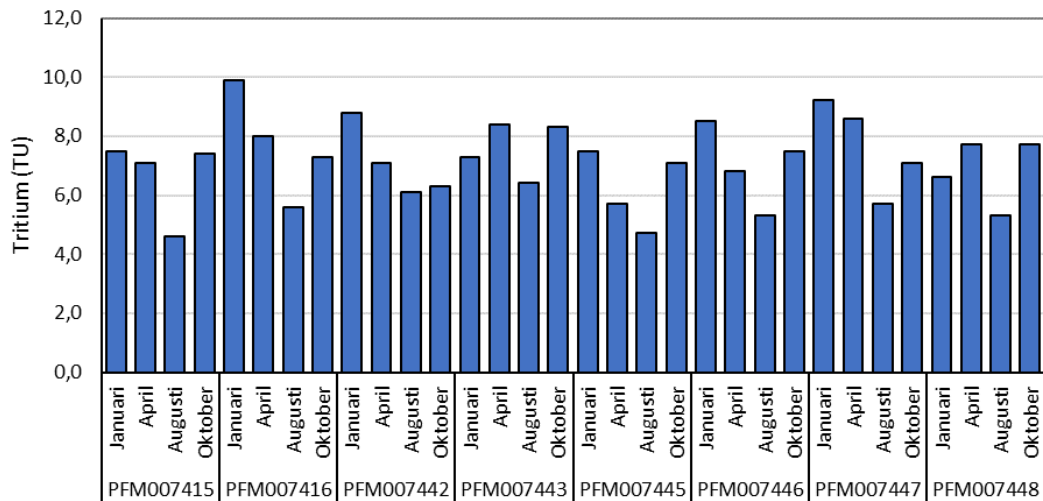
**Figur 4-11.** Årsmedelkoncentrationer (± standardavvikelse) av några utvalda ytvattenkomponent, totalkväve (N-tot), totalfosfor (P-tot), kisel (SiO<sub>2</sub>-Si), partikulärt organiskt kol (POC), partikulärt organiskt kväve (PON), partikulärt organiskt fosfor (POP), totalt organiskt kol (TOC), löst organiskt kol (DOC) och löst inorganiskt kol (DIC). Medel baseras på fyra provtagningstillfällen under perioden januari – december 2022.

### 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 referensgörlarna (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 (<sup>3</sup>H) samt de stabila isotoperna deuterium (δD), och oxygen-18 (δ<sup>18</sup>O). Resultaten från de fyra provtagningarna i januari, april, augusti och oktober 2022 visade tritiumvärden mellan 4,6–9,9 TU i de åtta görlarna (figur 4-12). Det är jämförbart med provtagna vattendrag och sjöar i området. I sjöarna låg tritiumvärdena mellan 4,4–9,3 och i vattendragen, som provtas mer frekvent, mellan 4,1–11,3. Generellt uppmättes högre tritiumvärden i januari eller april och lägre i augusti. Koncentrationer av tritium (<sup>3</sup>H), deuterium (δD) och oxygen-18 (δ<sup>18</sup>O) redovisas i tabell C-5, appendix C.



**Figur 4-12.** Tritiumhalter i januari, april, augusti och oktober i provtagna gölar. Provpunkterna PFM007442 och PFM007443 ligger i de två referensgölar och övriga provpunkter (PFM007415, PFM007416 och PFM007445-PFM007448) ligger i anlagda gölar.

#### 4.5.3 Övriga observationer

I samband med fältmätningar och provtagningar noteras även eventuella observationer av djurliv i och kring gölen. I maj noterades gölgrödor (figur 4-13) och salamandrar i de två anlagda gölarna AFM001443 och AFM001421 (provtagningpunkter PFM007416 och PFM007447). Det var mycket grodyngel i AFM001419 och AFM001422 (PFM007445 och PFM007448). I AFM001420 (PFM007446) noterades en snok och en åkergroda samt två bon efter gäss.

I juni observerades gölgrödor och salamandrar i AFM001426 och AFM001421 (PFM7442 och PFM7447). Vid AFM001419 och AFM001420 (PFM7445 och PFM7446) noterades ormar.



**Figur 4-13.** En gölgröda i en anlagd göl.

## **4.6 Diskussion och slutsats**

Resultaten från 2022 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 2022 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 september 2016 och har pågått sedan dess. Utförandet för 2022 års provtagning och analys styrs av aktivitetsplan AP SFK-22-003.

### 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 på grund av tillgänglighet till platsen. PFM008126 är placerad på SKB-ägd fastighet i ett skogsområde någorlunda avskilt från potentiellt störande faktorer såsom fordon- och gångtrafik. Platsen är underhållen regelbundet från sly för att inte täcka insamlingsbehållarna.



**Figur 5-1.** Insamlingslokal för provtagning av nederbörd i Forsmarks undersökningsområde med det planerade kärnbränsleförvarets undermarksdel markerat.

## 5.3 Utrustning

Utrustningen för insamling av nederbörd består av plastbehållare i PE-plast monterade på ca 1,5 meter 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 och har en löstagbar sil vid flasköppningen för att förhindra kontamination av prov från växtmaterial såsom löv och barr samt 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 byts ut under april respektive oktober beroende på väderförhållanden.



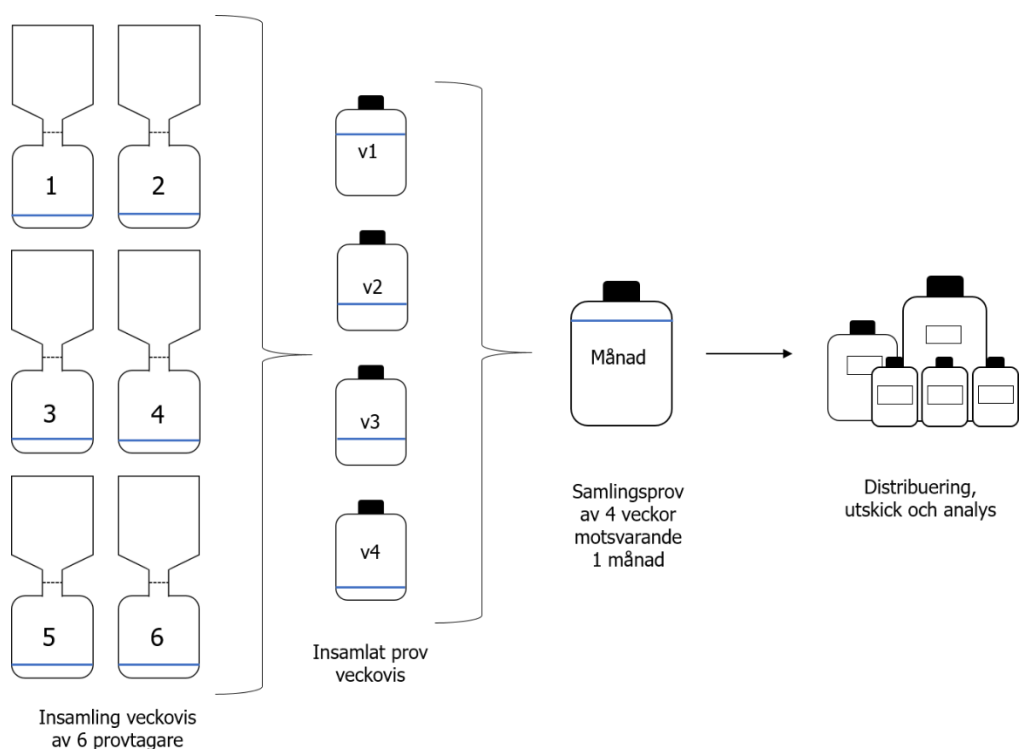
*Figur 5-2. Uppsamlingsbehållare för regn (v.) respektive snö (h.) vid insamlingslokal PFM008126.*

## 5.4 Utförande

### 5.4.1 Provtagning

Provtagning sker enligt metodbeskrivning SKB MD 423.003. Nederbördsprovtagarna töms veckovis 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 från det veckovisa insamlade provet innan det hålls över i provflaskor som förvaras i kyl. Vid snöinsamling smältes snön innan provet förvaras med övriga veckoprov för den månaden. Vid månadsslut kombineras samtliga prov för den månaden till ett samlingsprov motsvarande en månads nederbörd. Provvattnet fördelas sedan på provflaskor och distribueras ut för analys på olika labb. 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 smältes på laboratorium och därefter mäts pH och konduktivitet.

Samlingsprov för en månads nederbörd analyseras enligt tabell 5-2. Till följd av mycket låga koncentrationer i nederbördsproven kan urval av analysparametrar skilja från SKB:s kemiklasser. Vid månader med liten mängd nederbörd och total mängd för samlingsprovet utförs analyser efter följande prioritetsordning:  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ , pH, konduktivitet, anjoner, katjoner,  $^3H$  och arkivprover.

Tabell 5-1 Provprenparering och provutskick.

Komponent	Volym (mL)	Provprenparering
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 $\mu$ m filter, surgjord med 1% HNO <sub>3</sub>
Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , F <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup>	100 – 250	-
$^3H$	500	Toppfylls, luftbubblor undviks
$\delta D/^{18}O$	100	Toppfylls, luftbubblor undviks
TOC	100	Fryses
Arkivprov	2x60, 2x250	Fryses

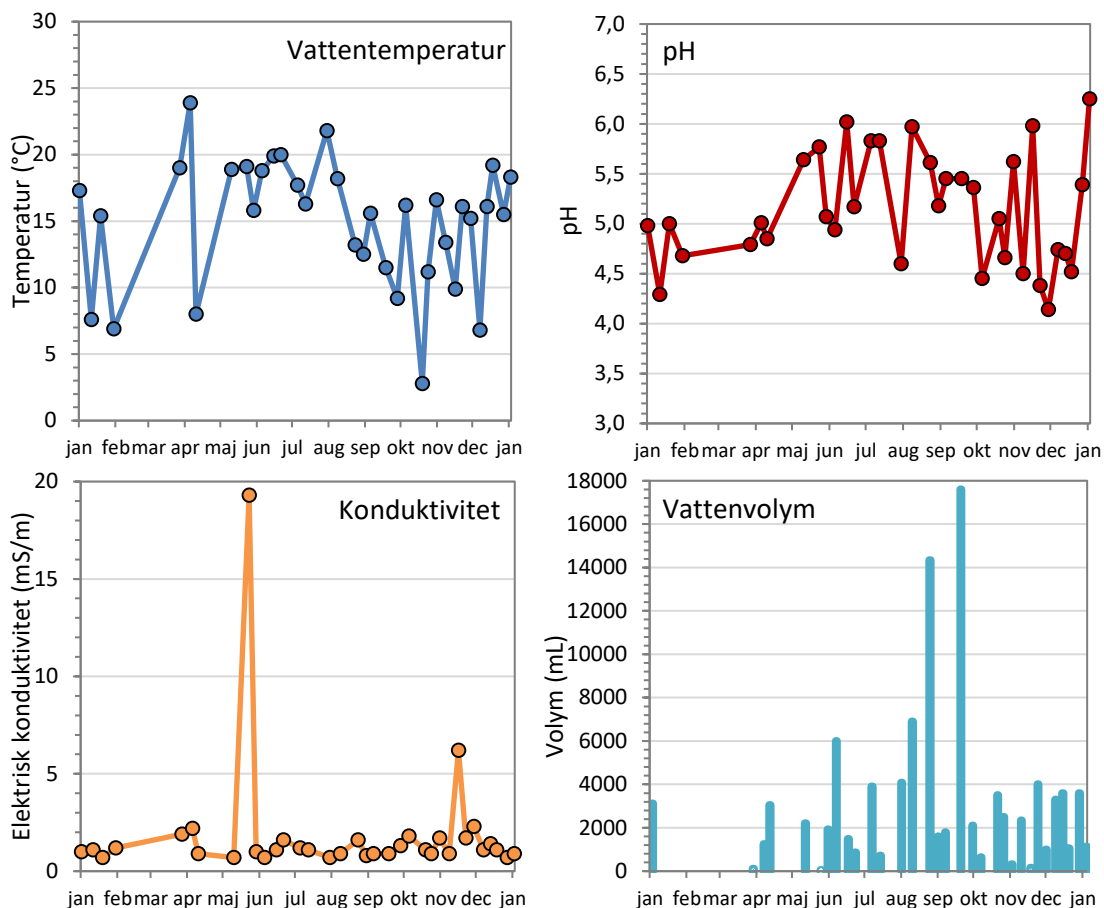
\*Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, Hg, Ni, Nb, Pd, Rb, Sb, Se, Sn, V, Zr



## 5.5 Resultat

### 5.5.1 Fältmätningar

Fältmätningar för nederbörd inkluderande pH, konduktivitet och temperatur utfördes för varje veckoprov och presenteras i figur 5-4 samt i appendix D, tabell D-1. Även insamlad volym noterades veckovis och presenteras i figur 5-4.



**Figur 5-4.** Temperatur, pH och konduktivitet uppmätt i fält vid nederbördsinsamling, samt vilken volym vatten eller smält snö som samlats in veckovis. I januari-mars saknas data på volym insamlat provvatten.

### 5.5.2 Vattenanalyser

De kemiska analyserna som utfördes för samlingsproven presenteras i appendix D omfattar huvudkomponenter, isotoper samt miljömetaller och spårelement. Huvudkomponenterna inkluderar Br<sup>-</sup>, Ca, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Na, S, Si, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Sr och TOC samt analys av pH och konduktivitet. Analyser av isotoper inkluderar de stabila isotoperna δD och δ<sup>18</sup>O samt den radioaktiva isotopen tritium (<sup>3</sup>H). 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 and Nd.

#### 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 som i flera fall ej kunde beräknas eller översteg ± 10% som är acceptabelt för ytvatten.

Störst anjonsbidrag i nederbörden för 2022 års analysresultat är sulfat och klorid. Bromid och fluorid uppmättes aldrig över detektionsgränsen (0,2 mg/l). Alkaliniteten (vätekarbonat) saknar resultat då pH har varit under pH 5,3 för samlingsproven eller varit under detektionsgräns (2 mg/l). Högre koncentrationer av klorid kan noteras tydligt för mars (6,4 mg/l).

Störst katjonbidrag är från natrium, kalium och kalcium. Det råder en viss årsvariation för samtliga ämnen, kalium visar precis som klorid signifikant hög koncentration under mars (4,97 mg/l) men uppmättes under detektionsgräns (0,4 mg/l) i april, augusti, september, november och december.

Katjoner litium, kisel och strontium uppmättes under sin respektive detektionsgräns (0,002, 0,3 respektive 0,004 mg/l) för samtliga månader, vilket följer trend från tidigare år.

### Kolföreningar

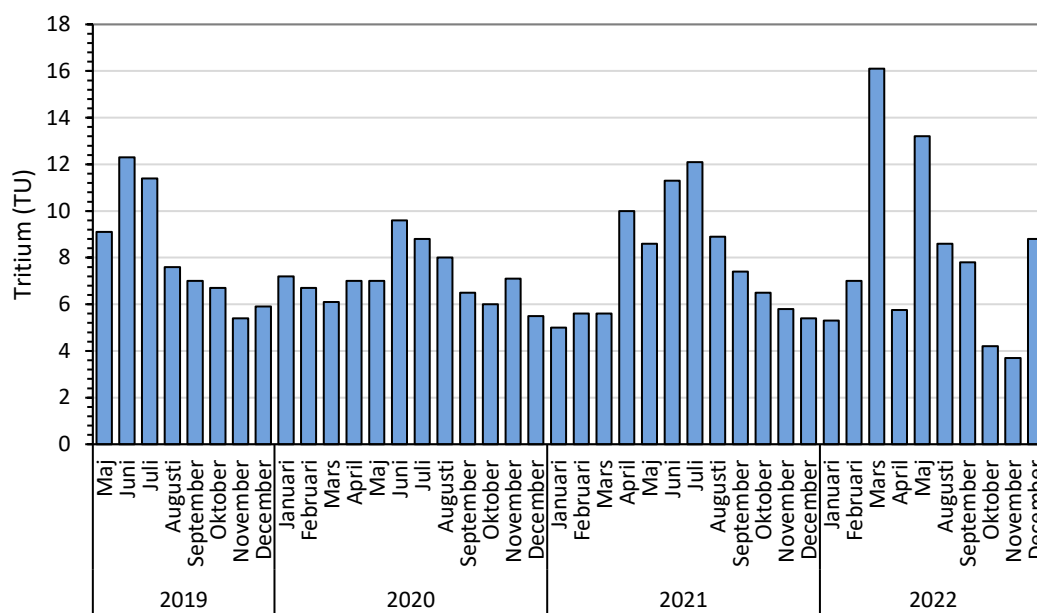
Totalt organiskt kol (TOC) kan noteras ha som lägst koncentration under vintern (1,0 mg/l i januari och december) och högst under sommaren (4,3 mg/l i juni) och skiljer sig inte utmärkande jämfört med tidigare provtagningar.

### Spårämnen

Spårelementskoncentrationerna varierar under året och ingen avvikelse kan noteras jämfört med tidigare år. Många av spårämnena var nära eller under detektionsgränsen. Zink, aluminium och koppar stod för störst bidrag bland spårämnena (1,14–11,3 µg/L). Något lägre koncentrationer noterades av Ba, Cr, Ni, Pb, V och Rb som varierade mellan 0,0367 g/L (Cr) och 1,28 µg/L (Ba). Nära eller under sin detektionsgräns var Hg, Nb, Pd och Zr. För B, Se, Sn och Cs uppmättes ingen koncentration över sin detektionsgräns i samtliga samlingsprov för 2022.

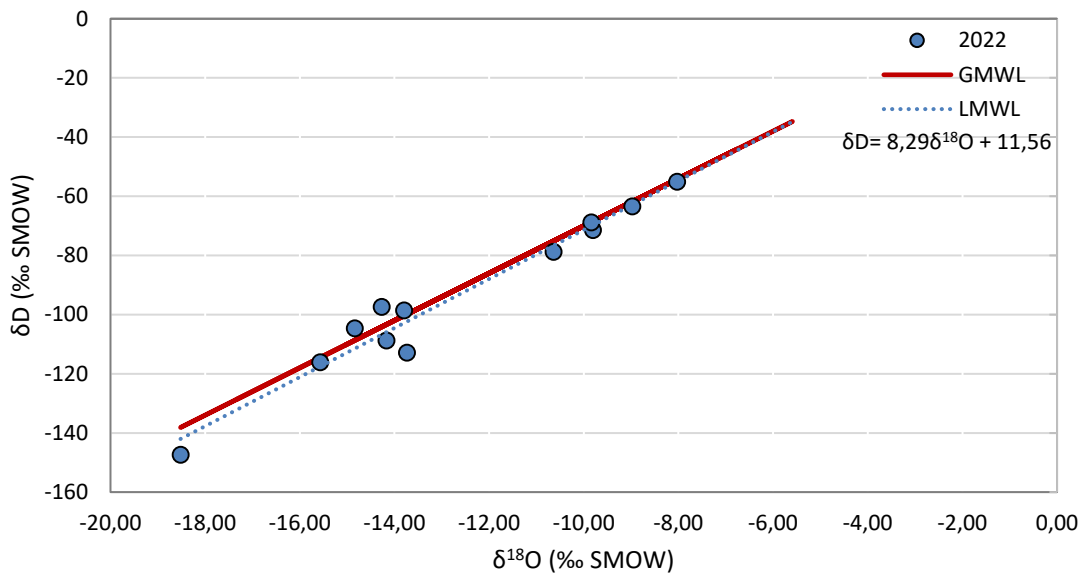
### Isotoper

Uppmätta tritiumvärden i den insamlade nederbörden visar inte på någon generellt större förändring jämför med tidigare år, men en plötslig ökning kan noteras under mars månad och möjligen maj och december, se figur 5-5. I juni och juli saknas tritiumanalyser på grund av liten mängd nederbörd för analys dessa månader.



Figur 5-5. Uppmätta tritiumhalter vid insamlingslokal PFM008126 under 2022, jämfört med tidigare insamlade data vid samma punkt sedan maj 2019. Resultat saknas för juni och juli 2022.

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 plottning av  $\delta D$  och  $\delta^{18}O$  samt det lokala regressionsförhållandet för 2022 års data, stämmer värden relativt bra överens med GMWL, se figur 5-6. Mest avvikande punkter som indikerar orimliga värden eller potentiellt påverkan av evaporation är i detta fall uppmätta i mars.



**Figur 5-6.** Förhållandet mellan  $\delta^{18}\text{O}$  och  $\delta\text{D}$  för 2022 års nederbördsdata jämfört med GMWL (Global Meteoric Water Line). Beräknad linjär regressionslinje, LMWL (Local Meteoric Water Line) av 2022 års data är även inkluderad samt dess ekvation.

## 5.6 Diskussion och slutsats

Koncentrationer av många huvudkomponenter, miljömetaller och spårelement är som väntat mycket låga och är ofta nära eller under detektionsgräns, vilket följer resultat från tidigare år (Qvarfordt et al. 2022). 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.

För huvudkomponenter och isotoper finns något avvikande uppmätta värden för mars månad, förhållandet mellan de stabila isotoperna indikerar att provet kan ha blivit påverkat innan analys. Information gällande insamlad vattenmängd vid tidpunkten från fältmätningar saknas för en stor del av februari och mars samt att det gjorts ganska få fältmätningar till följd av liten eller obefintlig mängd nederbörd. Liten mängd insamlad nederbörd kan vara en bidragande faktor till påverkat analysresultaten på samlingsprovet.

## 6 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer). SKBdoc-dokument lämnas ut vid förfrågan till [dokument@skb.se](mailto: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, Qvarfordt S, Borgiel M, 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, Qvarfordt S, Borgiel M, 2012.** Hydrochemical monitoring of near surface groundwater, surface waters and precipitation. Results from the sampling period January 2011–December 2011. Dokument id 1386267 ver 1.0, 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. Dokument id 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 D, 2005.** Forsmark site investigation. Sampling and analysis of precipitation, years 2002 to 2005. SKB P-05-143, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Nilsson A-C (red), 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.

**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.** Hydrochemical investigations in four calciferous lakes in the Forsmark area. Results from complementary investigations in the Forsmark area, 2008-2009. Monitoring Forsmark 2010. 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.

**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.** 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](mailto:dokument@skb.se), se fotnot för respektive appendix.

### **Appendix A Data från övervakningsprogrammet för ytnära grundvatten<sup>1</sup>**

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

### **Appendix B Data från övervakningsprogrammet för ytvatten (hav, sjö och vattendrag)<sup>2</sup>**

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

### **Appendix C Data från övervakningsprogrammet för gölar<sup>3</sup>**

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

### **Appendix D Data från övervakningsprogrammet för nederbörd<sup>4</sup>**

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

---

<sup>1</sup> P-23-11 - Appendix A SKBdoc 2017887 ver 1.0

<sup>2</sup> P-23-11 - Appendix B SKBdoc 2017888 ver 1.0

<sup>3</sup> P-23-11 - Appendix C SKBdoc 2017889 ver 1.0

<sup>4</sup> P-23-11 - Appendix D SKBdoc 2017890 ver 1.0