

Rapport

R-21-05

December 2021



Populationsutveckling för gölgroda och större vattensalamander i Forsmark 2012–2020

En sammanställning av SKB:s inventeringar
av gölgroda och större vattensalamander
samt naturvårdsåtgärder i Forsmarksområdet

Philip Jacobson

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL
AND WASTE MANAGEMENT CO

Box 3091, SE-169 03 Solna
Phone +46 8 459 84 00
skb.se

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

ISSN 1402-3091

SKB R-21-05

ID 1925099

December 2021

Populationsutveckling för gölgroda och större vattensalamander i Forsmark 2012–2020

**En sammanställning av SKB:s inventeringar
av gölgroda och större vattensalamander
samt naturvårdsåtgärder i Forsmarksområdet**

Philip Jacobson

Svensk Kärnbränslehantering AB

Nyckelord: Gölgroda, Större vattensalamander, Populationsutveckling, Forsmark.

Denna rapport är publicerad på www.skb.se

© 2021 Svensk Kärnbränslehantering AB

Sammanfattning

I denna rapport har resultaten från de årliga inventeringarna av gölgroda, *Pelophylax lessonae*, och större vattensalamander, *Triturus cristatus*, i Forsmarksområdet sammanställts med syftet att redogöra för hur dessa populationerna naturligt varierat i både tid och rum under åren 2012–2020. Rapporten har även undersökt huruvida olika miljövariabler bidrar till att förklara den observerade naturliga variationen i förekomst och täthet inom populationerna. Adult och juvenil gölgroda samt större vattensalamander visar på stor mellanårsvariation både med avseende på förekomst och individtätheter inom Forsmarksområdet. Arterna visar inga tecken på varken mellan- eller inom-artskonkurrens utan verkar istället samexistera i området. Resultaten visar även att den göl-specifika utvecklingen över tid för både förekomst och individtätheter inte är identisk mellan gölar, då vissa gölar samvarierar i högre grad än andra. Dessa resultat indikerar att gölarna i området inte är identiska med avseende på dess årliga lämplighet som habitat för adult och juvenil gölgroda samt större vattensalamander. Detta stärks även av resultaten kring mellanårsvariation i rumslig utbredning inom området, där vissa gölar konstant hyser gölgroda och större vattensalamander medan arterna mer sporadiskt eller aldrig förekommer i andra. Gemensamt för gölarna i området är dock att deras vattentemperatur och vattenkvalité är viktig för dess lämplighet som habitat för arterna. Framtida studier bör fokusera på att jämföra samband mellan miljövariabler och arternas utveckling över tid mellan specifika gölar, och då även inkludera variation i gölarnas vattennivåer, för att utröna vilka miljöfaktorer som är viktiga för dessa arter på göl-nivå kontra hela Forsmarksområdet. Resultaten från sådana framtida studier och de resultat som presenteras i denna rapport kan användas som referensmaterial för att utvärdera huruvida SKB:s verksamhet i Forsmark har en negativ påverkan på dess arter, bidra till att utforma lämpliga åtgärder om en sådan negativ påverkan uppstår och/eller bidra till utformning av åtgärder för att gynna dessa arter i Forsmark.

Abstract

In this report, the results of the annual monitoring of pool frog, *Pelophylax lessonae*, and greater crested newt, *Triturus cristatus*, in Forsmark have been compiled to assess how these populations naturally vary both in time and space during the time period 2012–2020. In addition, analysis have been carried out with the aim to identify environmental variables explaining variation in either occupancy or abundance of pool frog and greater crested newt in the area. Both species show high interannual variation in both occupancy and abundance. Pool frog and greater crested newt show no signs of intra- or interspecific competition as they co-exist in the area. The results further show that the abundance of pool frogs and greater crested newt have not varied equally among ponds over time, indicating that the ponds' suitability as habitat differs between years in Forsmark. These findings are supported by the results regarding the interannual variation in distribution, showing that some ponds frequently harbor pool frog and greater crested newt while the species either occur occasionally or not at all in other ponds. However, the water temperature and water quality are important environmental variables for all pond's suitability as habitat for both pool frog and greater crested newt in the area. Future studies should focus on comparing and analysing relationships between the occupancy and abundance of pool frog and greater crested newt and environmental factors on a pond-specific scale, which would enable inclusion of pond water level data, to identify key environmental factors affecting these two species on both a pond-specific scale and of the Forsmark area as a whole. The results from such future studies in combination with the results in this report can be used as reference material to evaluate whether SKB's activities in Forsmark affect these species negatively and contribute to design suitable management actions to reverse such negative effects and/or to favour these species in Forsmark.

Innehåll

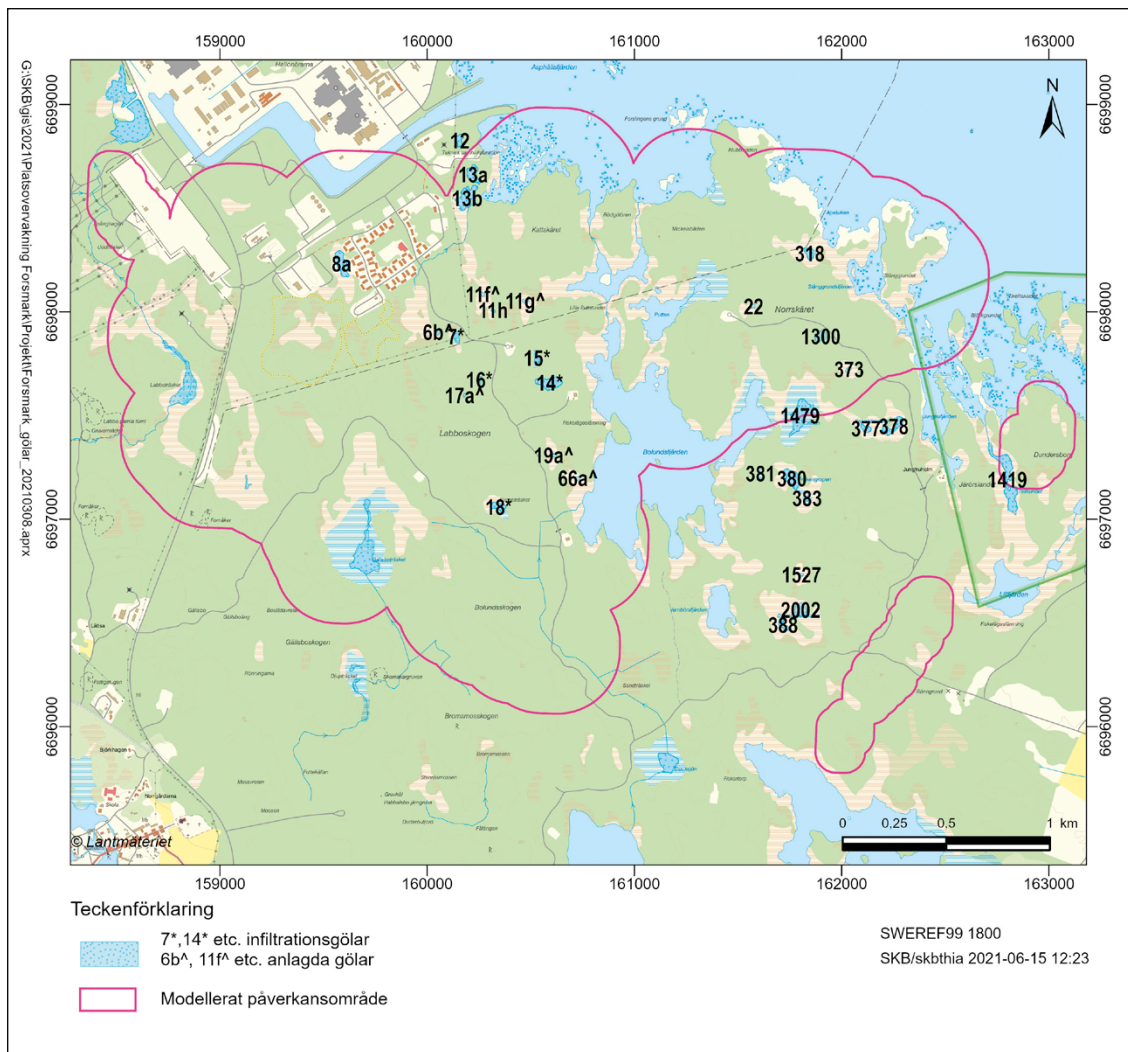
1	Introduktion	7
1.1	Forsmarksområdet	7
1.2	Inventering av gölgroda och större vattensalamander	9
1.3	Utförda och planerade naturvårdsåtgärder i Forsmark	9
1.3.1	Anlagda gölar	9
1.3.2	Igenfyllning av göl 12 och flytt av gölgroda och större vattensalamander	9
1.3.3	Infiltrationsmöjligheter i utvalda gölar	9
2	Material och metoder	11
2.1	Inventering av gölgroda	11
2.1.1	Spelinventering av gölgroda	11
2.1.2	Juvenilinventering av gölgroda	11
2.2	Inventering av större vattensalamander	12
2.3	Dataanalys	12
2.3.1	Standardiserad förekomst och individtätheter av adult- och juvenil gölgroda samt större vattensalamander	12
2.3.2	Samvariation i förekomst och individtäthet mellan arter och livsstadier	12
2.3.3	Samvariation i förekomst och individtäthet inom arter och livsstadier mellan gölar	13
2.3.4	Inkluderade miljövariabler för att förklara observerad mellanårsvariation i förekomst och individtätheter av gölgroda och större vattensalamander	13
2.3.5	Statistik analys	14
3	Resultat	15
3.1	Antal gölar med förekomst av gölgroda och större vattensalamander	16
3.2	Individtätheter för gölgroda och större vattensalamander i Forsmarksområdet	18
3.2.1	Standardiserade individtätheter för hela Forsmarksområdet	18
3.2.2	Gölspecifika individtätheter av gölgroda och större vattensalamander i Forsmarksområdet	20
3.2.3	Utvärdering av utförda och planerade naturvårdsåtgärder för gölgroda och större vattensalamander	24
3.3	Rumslig variation i förekomst av adult gölgroda och större vattensalamander i Forsmarksområdet	27
3.4	Samvariation och miljövariabler som bidrar till att förklara mellanårsvariation i förekomst och individtätheter	28
3.4.1	Artinteraktioner	28
3.4.2	Abiotiska faktorer	30
4	Diskussion	33
	Referenser	37
	Bilaga 1 Miljövariabler	39

1 Introduktion

Gölgroda, *Pelophylax lessonae*, och större vattensalamander, *Triturus cristatus*, är båda fridlysta och skyddade enligt artskyddsförordningen i Sverige samt inkluderade i EU:s habitatdirektiv vilket innebär att det är förbjudet att negativt påverka dessa två arter och dess habitat (Malmgren 2007, Lindgren et al. 2014). Då både gölgroda och större vattensalamander förekommer i området där SKB planerar att uppföra Kärnbränsleförvaret för långlivat radioaktivt kärnavfall finns kraven att SKB:s planerade verksamheter inte påverkar dessa arter negativt. SKB har därför utfört årliga inventeringar i det aktuella området vilka initierades 2011 (Allmér 2011) och standardiserades 2012 (Collinder 2013), med syftet att övervaka populationsstatusen hos de lokalt förekommande populationerna av gölgroda och större vattensalamander samt för att kartlägga hur dessa populationer varierar över tid under naturliga förhållanden. Syftet med denna rapport är att sammanställa och analysera resultaten från dessa inventeringarna och redogöra för hur populationerna av gölgroda och större vattensalamander i Forsmarksområdet naturligt fluktuerat i både tid och rum under tidsperioden 2012–2020 samt att öka förståelsen kring hur dessa populationer svarar på miljöförändringar i Forsmarksområdet. Rapporten ämnar även att redogöra för de naturvårdsåtgärder som SKB utfört och planerar att utföra i området. Då SKB inte påbörjat uppförandet av Kärnbränsleförvaret i området kan resultaten i denna rapport användas som referensmaterial för att framöver utvärdera huruvida SKB:s eventuella verksamhet i området har en negativ påverkan på de lokala populationerna av gölgroda och större vattensalamander eller ej. Resultaten skulle även kunna bidra till att utforma lämpliga åtgärder om en negativ påverkan till följd av SKB:s verksamhet uppstår och/eller kunna bidra till åtgärder ämnade att gynna dessa arter i Forsmark.

1.1 Forsmarksområdet

Området inom vilket SKB planerar att uppföra Kärnbränsleförvaret är beläget vid kusten i norra Uppland vid Forsmark (figur 1-1). I angränsning till området finns idag Forsmarks kärnkraftverk som liksom delar av SKB:s verksamhetsområde är klassat som skyddsobjekt. Området är generellt flackt, har en flikig och grund kustzon, skog som domineras av barrskog och det finns många små och grunda våtmarker och gölar med associerade rikkärr och extremrikkärr i området (SKB 2011). SKB har flera pågående miljöövervakningsprogram i området där olika typer av data samlas in kontinuerligt, däribland lufttemperatur, gölvattentemperatur, grundvattennivåer, gölvattennivåer, nederbörd och vattenprover för kemisk analys i syfte att ha en god platsområdeskunskap under naturliga förhållanden inför en eventuell byggstart av Kärnbränsleförvaret. Utöver den kontinuerliga insamlingen av data utförs årliga inventeringar för att följa upp utvecklingen och statusen för flora och fauna i området inom vilka de årliga inventeringarna av gölgroda och större vattensalamander ingår (Holmberg 2021).



Figur 1-1. Karta över Forsmarksområdet och de gölar som inventerats efter gölgröda och större vattensalamander vid ett eller flera tillfällen under 2012–2020. Områdena innanför lila linjer visar på de modellerade påverkansområdena inklusive buffertzoner (områden där en eventuell grundvattenavsänkning kan ske i samband med uppförandet av det planerade Kärnbränsleförvaret). Gölar med * är de gölar för vilka infiltration är en möjlig åtgärd vid en eventuell avsänkning till följd av SKB:s verksamhet i området. Gölar med ^ är de sex gölar vilka anlagts av SKB i området under 2012 och 2014.

1.2 Inventering av gölgroda och större vattensalamander

Inom övervakningsprogrammet för gölgroda och större vattensalamander i Forsmarksområdet inventeras både adult och juvenil gölgroda samt större vattensalamander årligen med olika inventeringsmetoder. Förekomst och individtätheter av adult gölgroda inventeras enligt en standardiserad inventeringsmetodik, så kallad spelinventering, vilken utförs vid två separata tillfällen kring månadsskiftet maj-juni. Inventering av förekomst och individtätheter av juvenil gölgroda sker under sensommaren med syfte att följa upp den årliga reproduktionsframgången för gölgroda. Större vattensalamander inventeras vid ett tillfälle per år under en natt, vanligen kring månadsskiftet maj-juni vilket sammanfaller med deras parningstid, där både förekomst och individtätheter registreras. Under inventeringen av större vattensalamander registreras även förekomst och individtätheter av mindre vattensalamander, *Lissotriton vulgaris*, en art som frekvent förekommer i området (Holmberg 2021).

1.3 Utförda och planerade naturvårdsåtgärder i Forsmark

1.3.1 Anlagda gölar

I Forsmarksområdet har SKB anlagt sex gölar som en åtgärd för att upprätthålla så kallad ekologisk kontinuerlig funktion för gölgroda och större vattensalamander i området då en göl (göl 12) med förekomst av gölgroda kommer att fyllas igen om Kärnbränsleförvaret uppförs enligt nuvarande plan (se avsnitt 1.3.2). Fyra av de sex anlagda gölarna färdigställdes 2012 (göl 11f, 11g, 19a, 66a) och de resterande två gölarna (göl 6b och 17a) år 2014 (figur 1-1). De anlagda gölarna har försetts med en djuphåla för att minimera risken att gölen helt torkar ut vid låga vattennivåer. Samtliga anlagda gölar har ingått i de årliga inventeringarna av gölgroda och större vattensalamander sedan året de färdigställdes. Även successionstakt och artsammansättning i gölarna har övervakats årligen med syfte att följa etableringen av flora och fauna över tid efter det att gölarna färdigställts (Wallin et al. 2019).

1.3.2 Igenfyllning av göl 12 och flytt av gölgroda och större vattensalamander

Om tillstånd ges för uppförandet av det planerade Kärnbränsleförvaret enligt nuvarande plan kommer området där göl 12 är belägen att tas i anspråk för ovanjordsanläggningar (figur 1-1). Innan göl 12 fylls igen kommer de gölgrödor och större vattensalamandrar som finns i gölen att samlas in och flyttas till andra gölar i området. Insamlingen planeras ske med hjälp av hinkfällor nedgrävda intill ett staket som kommer att uppföras runt gölen, en metod som visat sig framgångsrik i andra områden (Kiibus 2009, Kiibus och Ohlin 2015).

1.3.3 Infiltrationsmöjligheter i utvalda gölar

Fem gölar i området med särskilt höga naturvärden (gölar med associerade rikkärr vilka frekvent hyser gölgroda, större vattensalamander och den fridlysta orkidén gulyxne, *Liparis loeselii*), har valts ut för vilka infiltration av grundvatten kan utföras om en eventuell grundvattensänkning kopplat till uppförandet av slutförvaret sker. De gölar som valts för vilka infiltration är en möjlig åtgärd vid en eventuell grundvattensänkning är göl 7, 14, 15, 16 och 18 (figur 1-1).

2 Material och metoder

SKB:s standardiserade övervakningsprogram av större vattensalamander och gölgroda i Forsmarksområdet har pågått sedan 2012 via årliga inventeringar utförda av Ekologigruppen (Holmberg 2021). Antalet gölar som årligen inventerats har varierat mellan 15 och 30 gölar sedan starten 2012 (figur 3-1). Utökning av inventerade gölar under tidsperioden beror dels på att SKB anlagt två ytterligare gölar (utöver de fyra som anlades 2012) i området vilka har inkluderats i övervakningsprogrammet, dels på att gölar som är belägna utanför de modellerade påverkansområdet inkluderats under senare år (figur 1-1), samt att ytterligare gölar inventerats med syftet att komplettera den länstäckande inventering av gölgroda som länsstyrelsen i Uppsala län koordinerar vilken sker med intervaller om fyra år (Almkvist och Söderman 2018).

2.1 Inventering av gölgroda

Inom övervakningsprogrammet för gölgroda i Forsmarksområdet inventeras både adult och juvenil gölgroda årligen med olika inventeringsmetoder. Förekomst och individtätheter av adult gölgroda inventeras enligt standardiserad inventeringsmetodik, så kallad spelinventering, vilken utförs vid två separata tillfällen kring månadsskiftet maj-juni (se sektion 2.1.1 för mer detaljer). Inventering av förekomsten och individtätheter av juvenil gölgroda sker under sensommaren med syfte att följa upp årlig reproduktionsframgång.

2.1.1 Spelinventering av gölgroda

Inventeringen av adult gölgroda, så kallad spelinventering, går till så att en göl observeras av inventeraren från en utvald plats under en timmes tid, under vilken räkning av gölgrador görs var femte minut. Räkning görs både med hjälp av hörsel, då hannarna spelar med ett högt ljud för att locka till sig honor, där antalet spelande individer noteras. De gölgrador som observeras av inventeraren noteras separat. En uppskattning görs av hur många gölgrador totalt som finns i gölen. Räkning upprepas var femte minut för att kontrollera att inte dubbelräkning av individer sker (individerna kan flytta på sig under inventeringstimmen). För varje göl som inventeras gör inventeraren en rundvandring kring gölen för att möjliggöra observationer av grodor som inte spelar och som inte setts från den plats där inventeraren tidigare spanat och lyssnat efter grodor. Denna rundvandring sker i slutet av inventeringstimmen för små gölar medan den sker succesivt under inventeringstimmen för stora gölar. De gölgrador som observerats vid rundvandringen noteras och om det är individer som inte tidigare hörts eller observerats läggs dessa till i totalsumman av registrerade individer. Om inga grodor hörts eller setts under inventeringstimmen görs bedömningen att adult gölgroda inte förekommer i gölen. Inventering upprepas vid ytterligare ett separat tillfälle för att minska risken att inventering utfördes under ogynnsamma väderförhållanden. Alla gölgrador som observerats under inventeringen, när det är möjligt, delas in i storlekskategorier och registreras antingen som en adult gölgroda (> 5 cm eller spelande), fjolårsunge (3–5 cm) alternativt som smågroda (< 3 cm, eller en individ med svansen kvar). Resultaten från båda spelinventeringar har rapporterats i de årliga sammanställningarna av inventeringsresultaten (Holmberg 2021), men vid jämförelser mellan år har inventeringstillfället med högst antal observationer för varje göl använts, vilket även använts i denna sammanställning. Under 2020 inventerades två gölar utanför Forsmarksområdet vilka exkluderades i denna sammanställning (Holmberg 2021).

2.1.2 Juvenilinventering av gölgroda

Inventeringen av juvenil gölgroda utförs i de gölar där adult gölgroda registrerats tidigare samma år under spelinventeringen samt i samtliga anlagda gölar. Under inventeringen av juvenil gölgroda går inventeraren långsamt längs med strandkanten runt gölen för att observera gölgrador, vilka oftast tar till flykt och hoppar ner i gölen när inventeraren kommer nära. Inventering utförs under sensommaren vid soligt och varmt väder vilket visats sig vara en bra tid för att inventera juvenila gölgrador i området (Nordén och Löfgren 2019). En felkälla med denna inventeringsmetodik är att

vissa gölar är svårare än andra att gå runt då tillgängligheten kring gölar varierar kraftigt i området, då vissa gölar har en strandzon som utgörs av tät vass medan andra har en mer långgrund och öppen strandzon, vilket påverkar möjligheterna för inventeraren att observera juvenila gölgrodor. Detta medför att jämförelser av individtätheter och förekomst av juvenil gölgroda mellan gölar kan vara problematisk medan mellanårsvariation inom samma göl inte borde påverkas i samma utsträckning då observationsmöjligheterna vid samma göl inte skiljer sig avsevärt mellan år. För att ge en så korrekt skattning av den årliga reproduktionsframgången för gölgroda i området har endast inventeringsresultaten gällande förekomst och individtätheter av juvenil gölgroda inkluderats från de gölar där adult gölgroda registrerats tidigare samma år under spelinventeringen.

2.2 Inventering av större vattensalamander

Förekomsten av större vattensalamander har årligen inventerats i Forsmarksområdet sedan 2012 enligt ficklampsmetoden (Naturvårdsverket 2005, Holmberg 2021). Denna metod går ut på att inventeraren går runt gölen längs med strandkanten nattetid med ficklampa och stannar var femte meter för att lysa med ficklampa i vattnet under 30 sekunder och räknar antalet individer av större vattensalamander som syns. Inventeringen sker under slutet av maj vilket sammanfaller med salamandrarnas lekperiod då de är aktiva och utspridda i gölen. Även förekomst och antalet individer av mindre vattensalamander registreras under inventeringen.

2.3 Dataanalys

2.3.1 Standardiserad förekomst och individtätheter av adult- och juvenil gölgroda samt större vattensalamander

Eftersom antalet inventerade gölar inte varit konstant sedan inventeringarna startades år 2012 har resultaten från varje års inventeringar standardiserats för att möjliggöra analyser gällande mellanårsvariation med avseende på både förekomst och individtätheter i området. Förekomsten, dvs närvaro eller frånvaro av individer i en inventerad göl, standardiserades genom att dividera antalet gölar där individer registrerats med det totala antalet inventerade gölar, separat för adult gölgroda, juvenil gölgroda och större vattensalamander för varje enskilt år, enligt ekvation 2-1;

$$\frac{N_{förekomst,i}}{N_{inv,i}} = F_{prop,i} \quad (\text{Ekvation 2-1})$$

där $N_{förekomst}$ är antalet gölar där individer registrerats, N_{inv} är antalet inventerade gölar och i betecknar år, vilket ger den årliga proportionen, F_{prop} , gölar med förekomst av antingen adult gölgroda, juvenil gölgroda eller större vattensalamander.

Individtätheter, dvs antalet individer av antingen adult gölgroda, juvenil gölgroda eller större vattensalamander standardiserades genom att dividera totala antalet registrerade individer i området med det totala antalet inventerade gölar samma år enligt ekvation 2-2:

$$\frac{N_{tot,i}}{N_{inv,i}} = N_{s,i} \quad (\text{Ekvation 2-2})$$

där N_{tot} är det totala antalet registrerade individer under inventeringen år i , N_{inv} betecknar antalet inventerade gölar år i och N_s är den standardiserade årliga individtätheten (antalet individer per inventerad göl) för antingen adult gölgroda, juvenil gölgroda eller större vattensalamander.

2.3.2 Samvariation i förekomst och individtäthet mellan arter och livsstadier

Samvariation med avseende på årlig förekomst (ekvation 2-1) och individtätheter (ekvation 2-2) analyserades mellan större vattensalamander, adult gölgroda, juvenil gölgroda samt mindre vattensalamander. Mindre vattensalamander inkluderades i analysen då de är vanligt förekommande i gölar i området och kan därför potentiellt påverka antingen gölgroda eller större vattensalamander alternativt

båda arterna via konkurrens om plats eller föda samt via predation. Samvariation mellan och inom arterna analyserades genom att utföra korrelationsanalyser där *Pearson's product-moment* korrelationer användes för att se huruvida arterna samvarierade (positiv korrelation), konkurrerar (negativ korrelation) eller är opåverkade av varandra (icke-signifikant, svag korrelation) i området.

2.3.3 Samvariation i förekomst och individtäthet inom arter och livsstadier mellan gölar

För att analysera om förändringar i förekomst samt individtäthet över tid varit lika eller inte mellan gölar i området utfördes en korrelationsanalys där *Pearson's product-moment korrelationer* användes för att testa om förekomsten samt individtätheterna korrelerade mellan gölar. Analysen utfördes separat för juvenil gölgröda, adult gölgröda samt större vattensalamander.

2.3.4 Inkluderade miljövariabler för att förklara observerad mellanårsvariation i förekomst och individtätheter av gölgröda och större vattensalamander

Flera miljövariabler inkluderades i analyserna kring vilka miljövariabler som bidrar till att förklara mellanårsvariation i förekomst och individtätheter för adult- och juvenil gölgröda samt större vattensalamander i Forsmarksområdet. De miljövariablerna som inkluderades i analysen karakteriserar mellanårsvariation i klimatet under olika årstider i Forsmarksområdet samt mellanårsvariation i gölarnas vattenkvalité.

Istäcke

Antalet dagar med intakt istäcke i området inkluderades i analysen som en indikator för hur lång vintern varit i området under vintersäsongerna 2012–2020. Vinterns längd kan tänkas påverka vinteröverlevnad samt gölarnas temperatur och vattennivåer under våren, vilket potentiellt sett kan påverka gölars lämplighet som spellokal under våren alternativt försommaren vilket visats i andra tempererade områden (McCaffery och Maxell 2010). Antal dagar med intakt istäcke har kontinuerligt samlats in från Eckarfjärden sedan 2009 och från göl 16 sedan 2015 (bilaga 1, figur B1-1), där datum vid isläggning och datum för islossning registrerats. För att räkna ut antalet dagar med istäcke per vinter konverterades de årliga datumen för isläggning och islossning till deras korresponderande julianska datum, då skillnaden mellan de två ger antalet hela dagar med istäcke för varje enskild vintersäsong. Då antalet dagar med intakt istäcke på Eckarfjärden korrelerar med antal dagar med intakt istäcke på göl 16 (baserat på de 4 år för vilka istäcke registrerats i båda vattenområdena ($R=0,91$, $P=0,091$)) (bilaga 1, figur B1-2), användes antalet dagar med istäcke på Eckarfjärden för att skatta mellanårsvariation för vintersäsongens längd i Forsmarksområdet.

Gölvattentemperatur

Gölarnas medelvattentemperatur under vår (maj) och sommar (juni, juli och augusti) (bilaga 1, figur B1-2 och figur B1-3) inkluderades som förklaringsvariabler i analyserna då vattentemperaturen i gölar påverkar gölgrödans reproduktionsbeteende (Schneider och Radwan 1988, Sjögren et al. 1988) och utveckling (Orizaola och Laurila 2009, Orizaola et al. 2010). I analysen inkluderades medelvattentemperatur under våren (maj månad) som en förklaringsvariabel för förekomst och individtäthet av adult gölgröda samt större vattensalamander eftersom inventeringarna utförs kring månadsskiftet maj-juni (sektion 2.1 och 2.2). Gällande förekomst och individtätheter av juvenil gölgröda inkluderades medelvattentemperatur i gölar under sommaren (juni, juli och augusti) samt medelantalet sommarygn då vattentemperaturen aldrig understiger 19 °C i gölar i området som förklaringsvariabler. 19 °C valdes ut som gränsvärde då 19 °C visat sig vara den lägsta temperaturen som krävs för tillväxt hos juvenil gölgröda (Orizaola et al. 2010). Då medelvattentemperaturen i gölar under maj och sommarmånaderna juni, juli och augusti baserat på antingen dagligt max, medel eller minimumtemperatur korrelerar valdes beräkningarna av medelgölvattentemperatur baserat på dygnsmedel som förklaringsvariabel i analyserna (bilaga 1, figur 1-3).

Gölvattenkemi

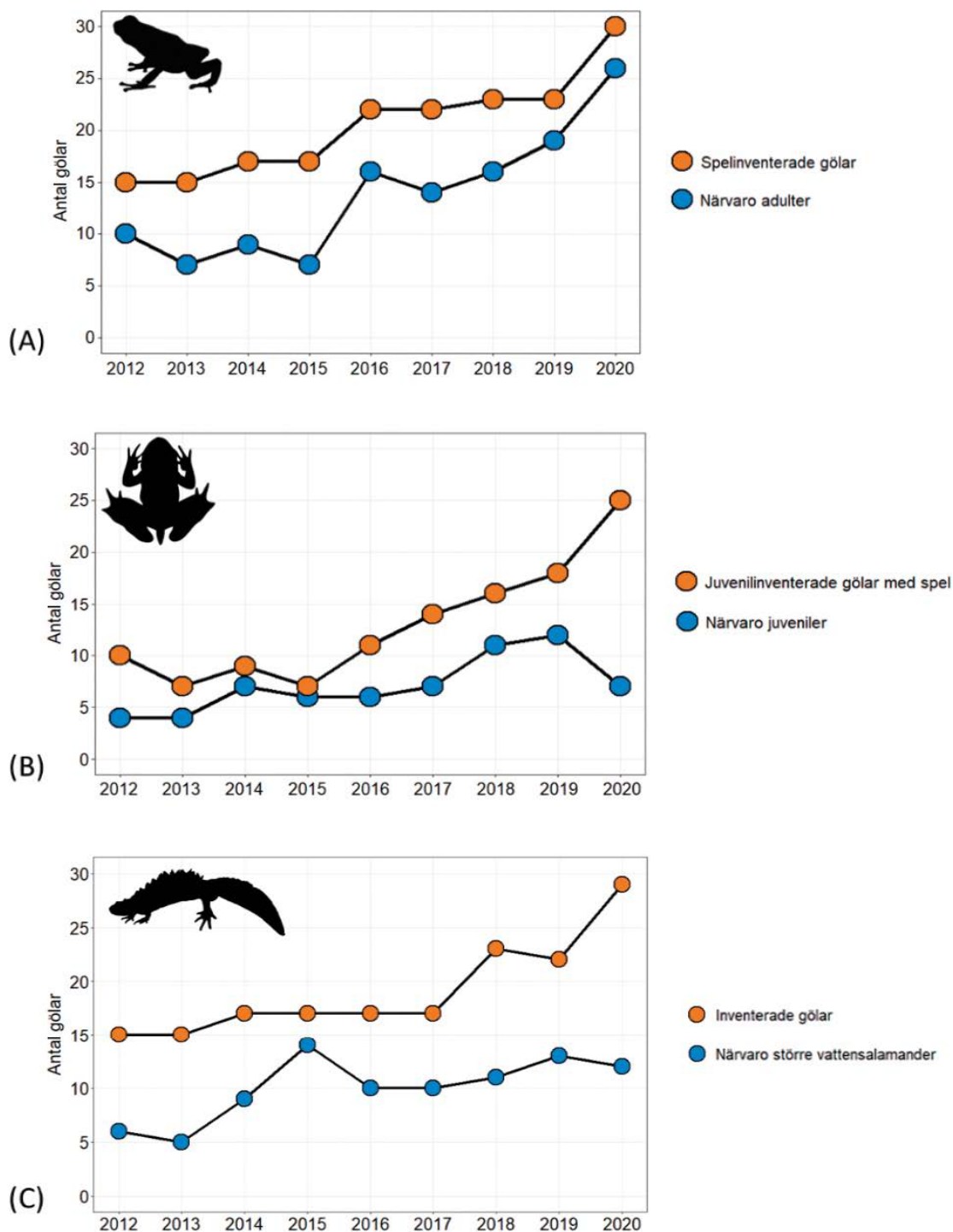
Medelkoncentrationen av totalkväve (mg/l) (bilaga 1, figur B1-4), totalfosfor (mg/l) (bilaga 1, figur B1-5) samt pH (bilaga 1, figur B1-6), i vattenprover tagna årligen i olika gölar under vår (maj månad) och sommar (juni, juli och augusti) (Wallin et al. 2018), inkluderades som förklaringsvariabler i analysen för att undersöka huruvida mellanårsvariation i gölarnas vattenkemi påverkar förekomsten eller individtätheterna av gölgroda och större vattensalamander.

2.3.5 Statistik analys

För samtliga statistiska tester användes $p < 0,05$ som gräns för signifikans. P-värden mindre än 0,1 men större än 0,05 ($0,1 > p > 0,05$) användes som gräns för statistisk trend. Antaganden kring normalfördelade och homogent spridda residualer samt påverkan av eventuella outliers undersöktes visuellt med standardiserade modellutvärderingsfigurer (predikterade vs. anpassade residualer, Q-Q samt påverkansfigurer). Alla statistiska analyser och modellutvärderingar utfördes med mjukvaran R (v. 4.0.2).

3 Resultat

Antalet gölar som inventerats med avseende på både adult och juvenil gölgröda samt större vattensalamander har sedan starten ökat i omfattning i Forsmarksområdet, från 15 gölar år 2012 till 30 gölar år 2020 (figur 3-1).

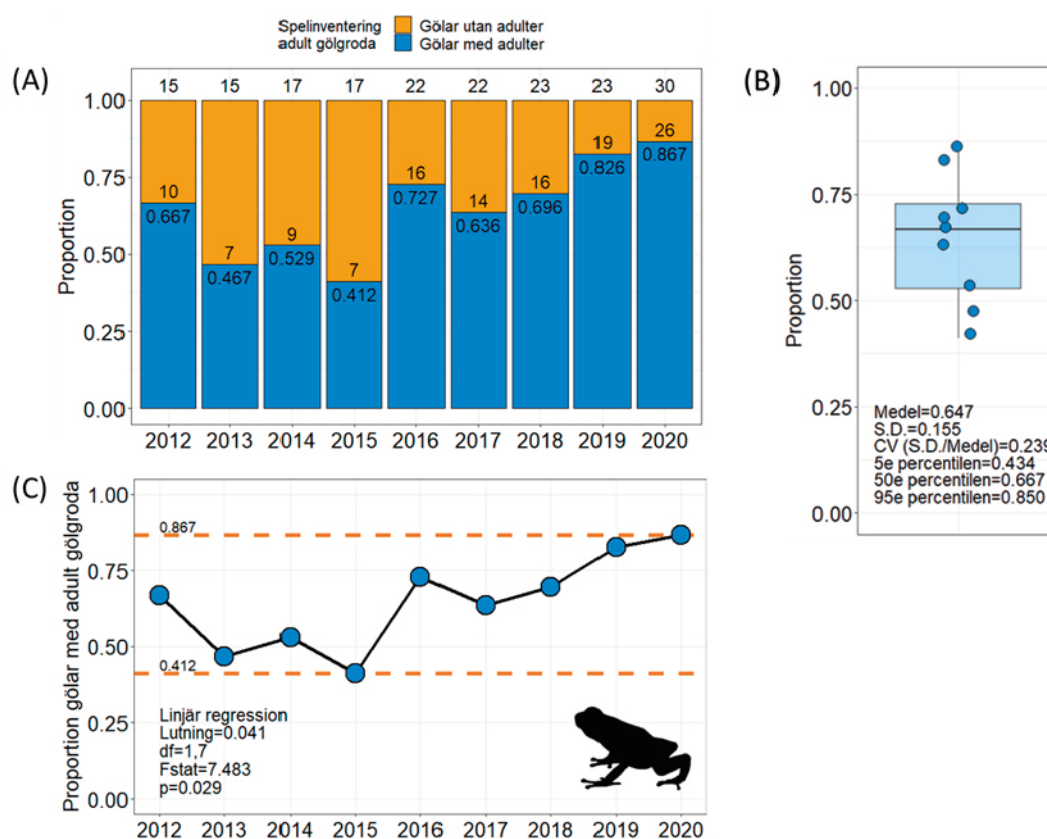


Figur 3-1. Inventeringsresultat gällande förekomsten av (A) adult gölgröda, (B) juvenil gölgröda och (C) större vattensalamander där orangea punkter visar det årliga antalet inventerade gölar och blåa punkter visar antal gölar där förekomst har registrerats. För juvenil gölgröda (B) visas inventeringsresultat endast för de gölar där adult gölgröda observerats tidigare samma år.

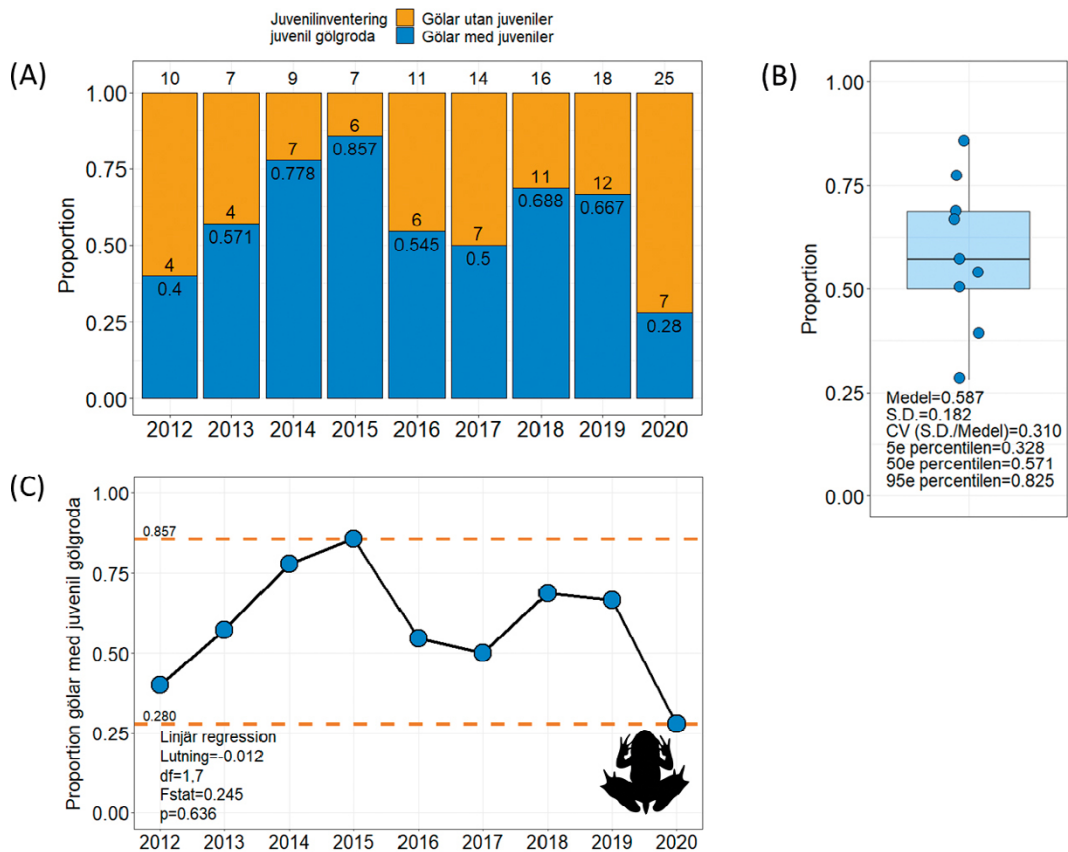
3.1 Antal gölar med förekomst av gölgröda och större vattensalamander

Den årliga proportionen gölar med förekomst av adult gölgröda har varierat mellan 0,412 (41,2 %) och 0,867 (86,7 %) under tidsperioden 2012–2020 (figur 3-2 A, B). I genomsnitt observeras adult gölgröda i 64,7 % av de gölar som inventeras i Forsmarksområdet. Under 2012–2020 har proportionen gölar med förekomst av adult gölgröda ökat i Forsmarksområdet (linjär regression; lutning = 0,041, $P = 0,029$, figur 3-2 C).

Förekomsten av juvenil gölgröda i de gölar där adult gölgröda observerats tidigare samma år under spelinventeringen har varierat mellan 0,280 (28,0 %) och 0,857 (85,7 %) under tidsperioden 2012–2020 (figur 3-3). I genomsnitt observeras juvenila gölgrödor i 58,7 % av de gölar där adult gölgröda observerats tidigare samma år (fig. 3-2 C). Proportionen gölar med förekomst av juvenil gölgröda visar ingen tydlig trend över tid i Forsmarksområdet sedan 2012 (linjär regression; lutning = -0,012, $P = 0,636$, fig. 3-2 C).

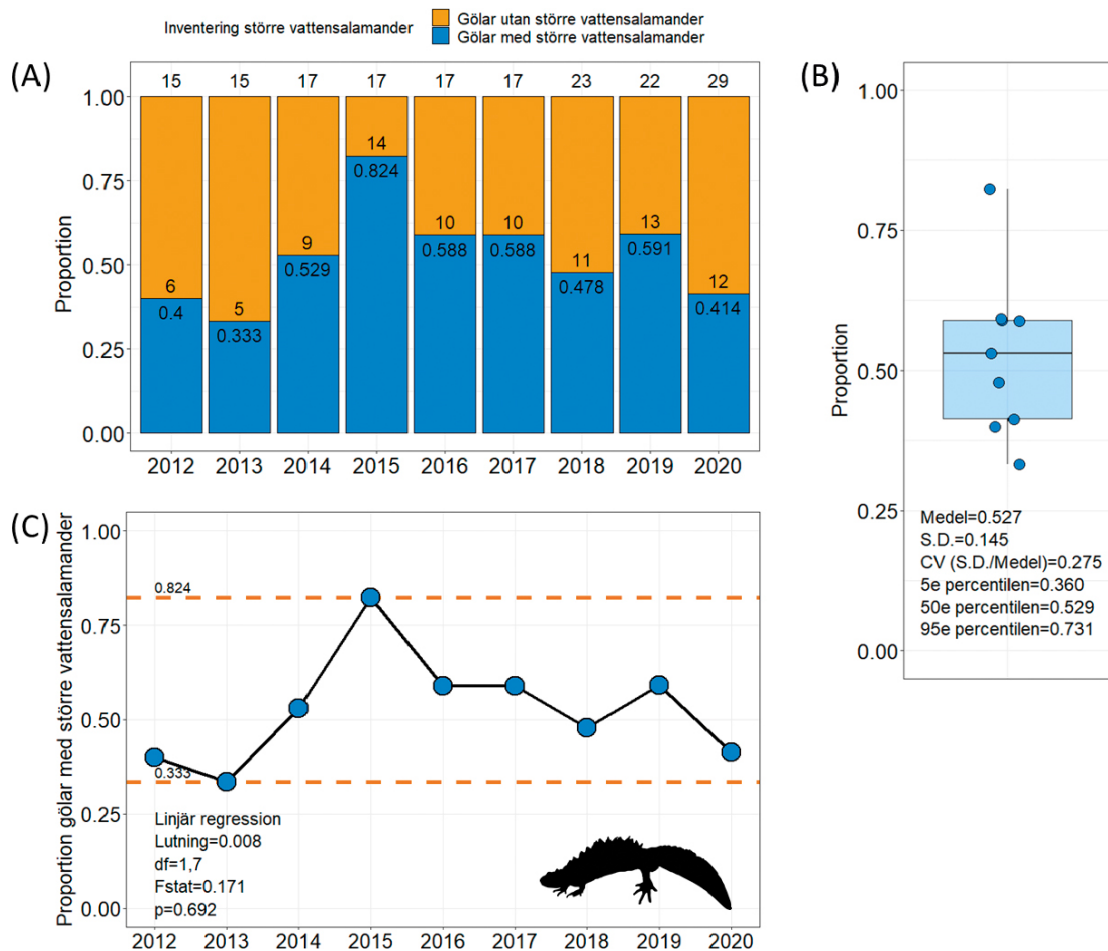


Figur 3–2. Proportion gölar med förekomst av adult gölgröda där (A) visar det årliga totala antalet inventerade gölar (siffran ovanför respektive stapel) och antalet gölar med förekomst av adult gölgröda (sifffa ovanför respektive blå delstapel), (B) summerar mellanårsvariationen där den ljusblåa boxen visar värden inom den 25e och 75e percentilen och svart linje visar median-proportion och (C) vilken visar hur proportionen har förändrats över tid med associerade statistiska parametrar där orangea streckade linjer visar lägsta respektive högsta proportionen gölar med förekomst av adult gölgröda under 2012–2020.



Figur 3–3. Proportionerlig förekomst av juvenil gölgroda i gölar där adult gölgroda observerats tidigare samma år där (A) visar det årliga totala antalet juvenilinventerade gölar (siffran ovanför respektive stapel) och antalet gölar med förekomst av juvenil gölgroda (siffran ovanför respektive blå delstapel), (B) summerar mellanårsvariationen där den ljusblå boxen visar värden inom den 25e och 75e percentilen och svart linje visar median-proportion och (C) visar hur proportionen har förändrats över tid med associerade statistiska parametrar där orangea streckade linjer visar lägsta respektive högsta proportionen gölar med förekomst av juvenil gölgroda under 2012–2020.

Den årliga proportionen gölar där större vattensalamander förekommer har varierat mellan 0,333 (33,3 %) och 0,824 (82,4 %) under tidsperioden 2012–2020 (figur 3-4 A). I genomsnitt observeras större vattensalamander i 52,7 % av de inventerade gölarna (figur 3-4 C). Proportionen gölar med förekomst av större vattensalamander visar ingen tydlig trend över tid i Forsmarksområdet sedan 2012 (figur 3-4 C).

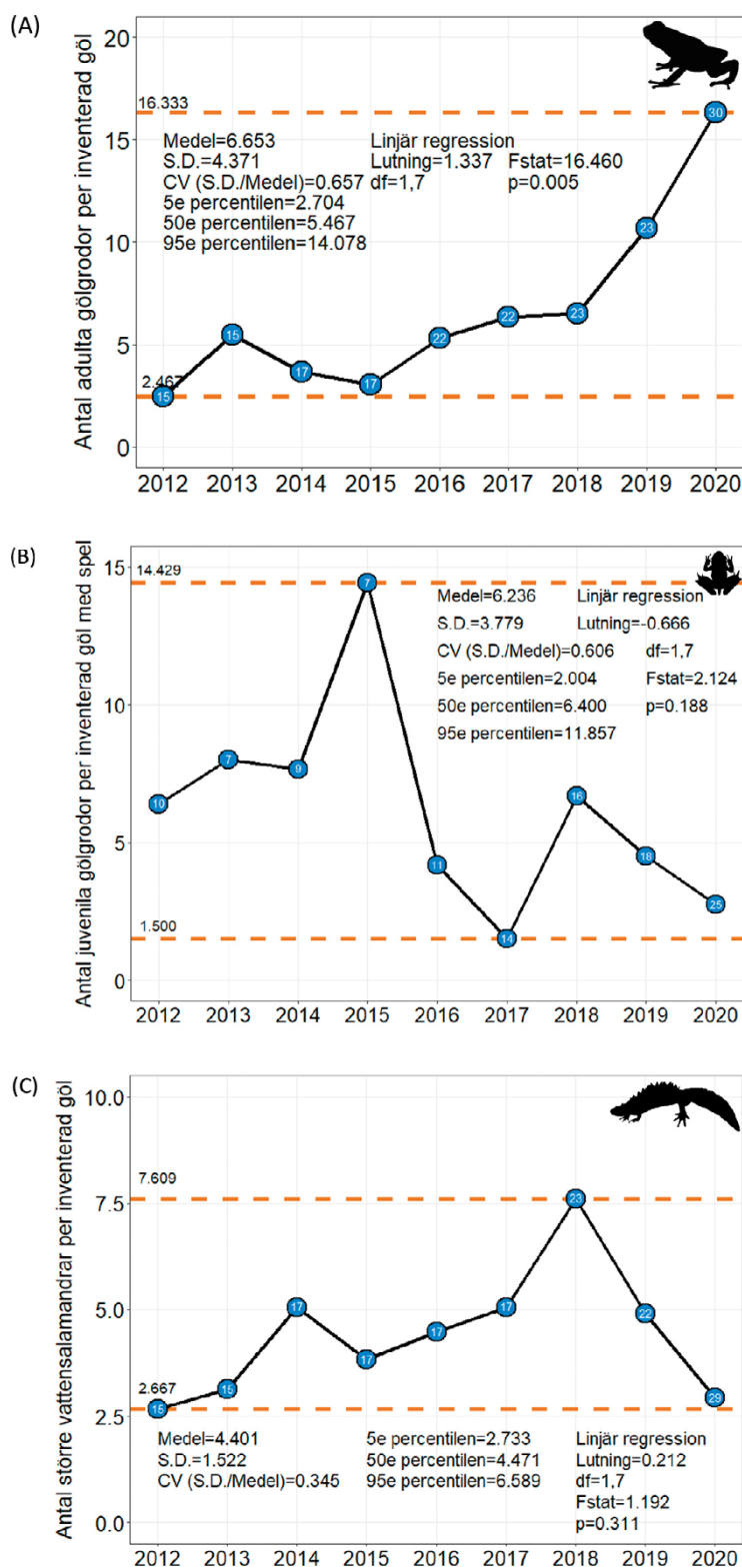


Figur 3-4. Proportionerlig förekomst av större vattensalamander där (A) visar det årliga totala antalet inventerade gölar (siffran ovanför respektive stapel) och antalet gölar med förekomst av större vattensalamander (siffran ovanför respektive blå delstapel), (B) summerar mellanårsvariationen där den ljusblå boxen visar värden inom den 25e och 75e percentilen och svart linje visar median-proportion och (C) visar hur proportionen av gölar med förekomst av större vattensalamander har förändrats över tid med associerade statistiska parametrar där orangea streckade linjer visar lägsta respektive högsta proportionen gölar med förekomst större vattensalamander under 2012–2020.

3.2 Individtätheter för gölgröda och större vattensalamander i Forsmarksområdet

3.2.1 Standardiserade individtätheter för hela Forsmarksområdet

Antalet adulta gölgrödor per inventerad göl i Forsmarksområdet har varierat mellan 2,5 och 16,3 individer per göl med ett medelvärde på 6,7 individer per göl under 2012–2020 (figur 3-5A), och visar på en ökning i området under 2012–2020 (linjär regression; lutning = 1,337, $P=0,005$) (figur 3-5A). Antalet juvenila gölgrödor per göl där adult gölgröda förekommit tidigare samma år har varierat mellan 1,5 och 14,43 individer med ett medelvärde på 6,2 individer per göl under tidsperioden 2012–2020 (figur 3-5B). Antalet juvenila gölgrödor per inventerad göl visar inte på någon tydlig trend över tid i området (linjär regression; lutning = $-0,67$, $P=0,19$) (figur 3-5B). För större vattensalamander har antalet individer per inventerad göl varierat från 2,7 till 7,6 individer per göl med ett medelvärde på 4,4 individer per göl i området och antalet större vattensalamander per inventerad göl visar inte på någon tydlig trend under 2012–2020 (linjär regression; lutning = 0,212, $P=0,311$) (figur 3-5C).



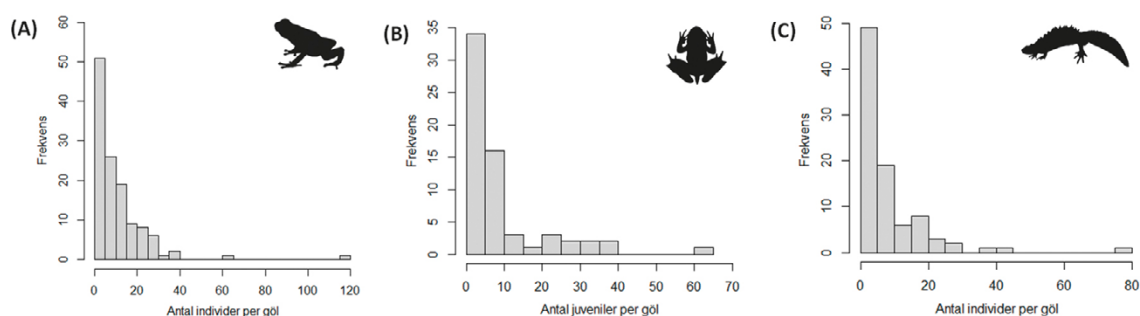
Figur 3-5. Antal gölgrödor och större vattensalamandrar per inventerad göl i Forsmarksområdet under 2012–2020 där **(A)** visar antalet adulta gölgrödor, **(B)** visar antalet juvenila gölgrödor och **(C)** visar antalet större vattensalamandrar. Vita siffror i blåa punkterna redovisar antalet gölar som inventerats respektive år.

3.2.2 Gölspecifika individtätheter av gölgroda och större vattensalamander i Forsmarksområdet

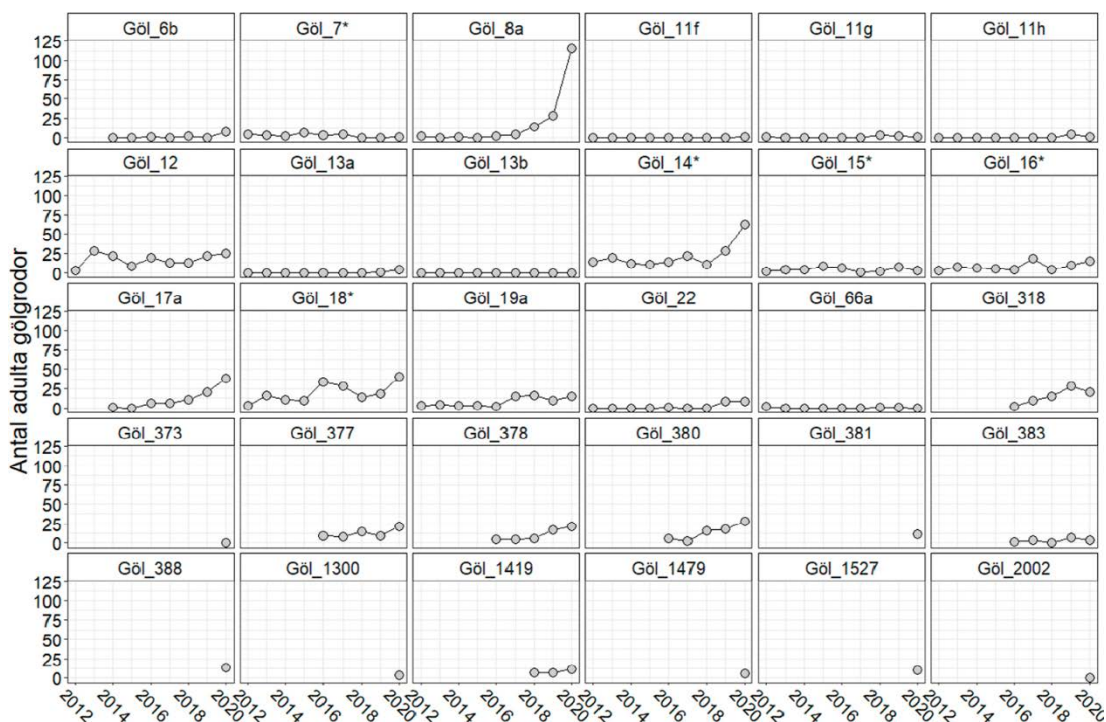
De gölar som hyser adult och juvenil gölgroda samt större vattensalamander i Forsmarksområdet är karakteriserade av låga individtätheter, då 1–5 registrerade individer per göl och inventeringstillfälle är den vanligaste observationen följt av 5–10 individer (figur 3-6).

Adult gölgroda

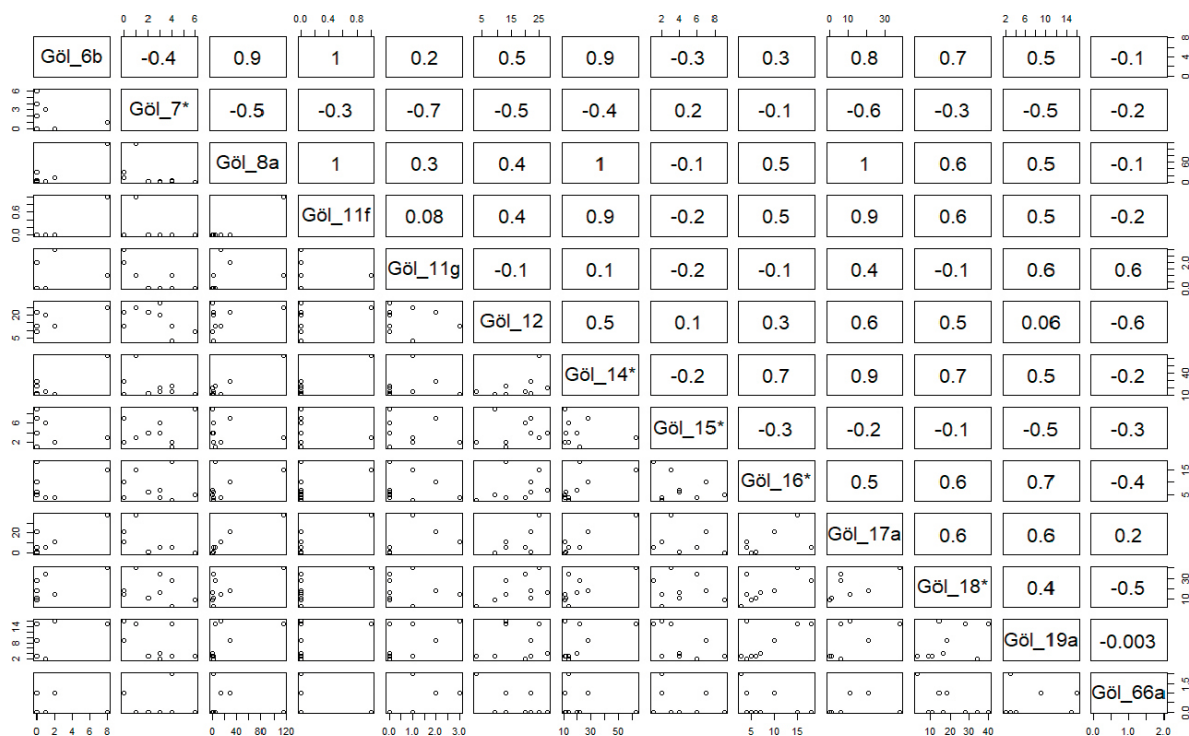
Individtätheter för adult gölgroda över tid har inte varit identiska mellan gölar i Forsmarksområdet, då individtätheterna ökat i vissa gölar medan den minskat i andra under 2012–2020 (figur 3-7). Följaktligen samvarierar vissa gölar mer med varandra (göl 8a, 14 och 18) än andra (göl 12 och 15 vilka båda visar på låg samvariation med andra gölar) med avseende på individtätheter (figur 3-8). Göl 12 och göl 18 hyser frekvent höga tätheter av adult gölgroda medan andra gölar (göl 8a, 14, 17a, 378 och 380) visar alla på positiva trender gällande tätheter av adult gölgroda under de senare åren av studieperioden (figur 3-7).



Figur 3-6. Frekvens av antalet observerade (A) adulta gölgrodor, (B) juvenila gölgrodor och (C) större vattensalamander i Forsmarksområdet under 2012–2020. Varje stapel representerar observationer av individer med 5 individers-intervall, dvs första stapeln motsvarar frekvensen observationer av 1–5 individer per göl och inventeringstillfälle, stapel 2 motsvarar observationer av 6–10 individer per göl och inventeringstillfälle och så vidare. Observera att både x-axeln och y-axeln skiljer sig mellan (A), (B) och (C).



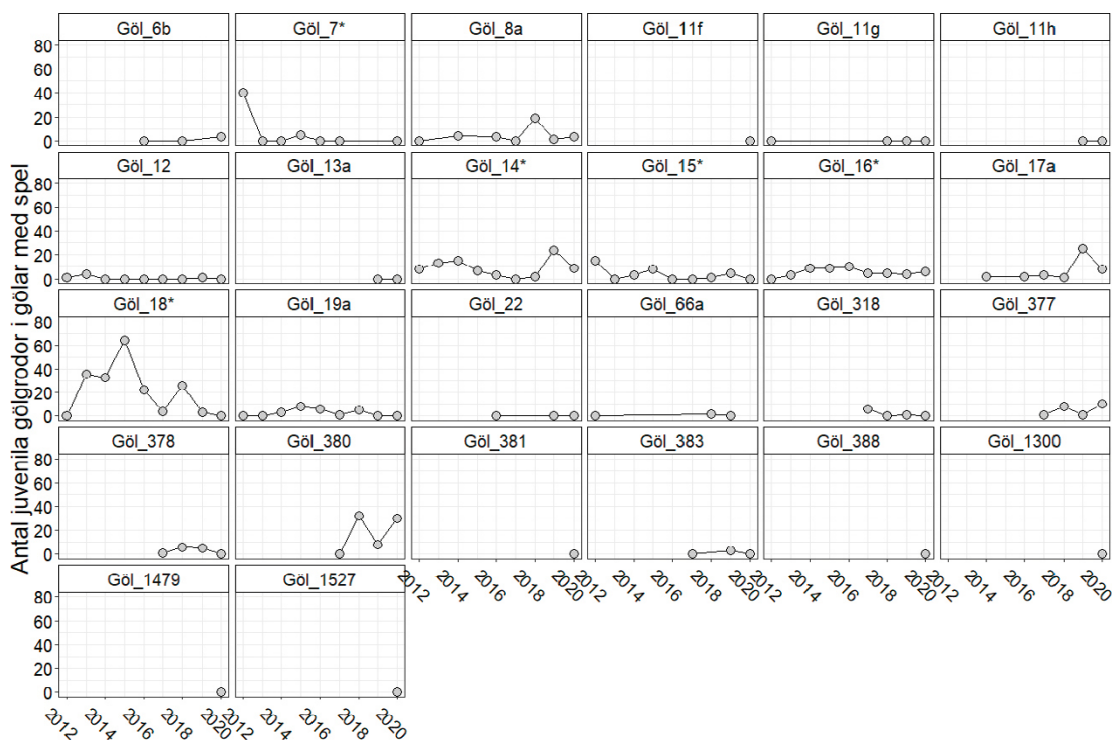
Figur 3-7. Individtätheter över tid för adult gölgroda i inventerade gölar i Forsmarksområdet under 2012–2020. Gölar markerade med * (7, 14, 15, 16, 18) är de gölar där infiltration är möjlig som åtgärd vid en eventuell sänkning av grundvattennivåer till följd av SKB:s verksamhet i området.



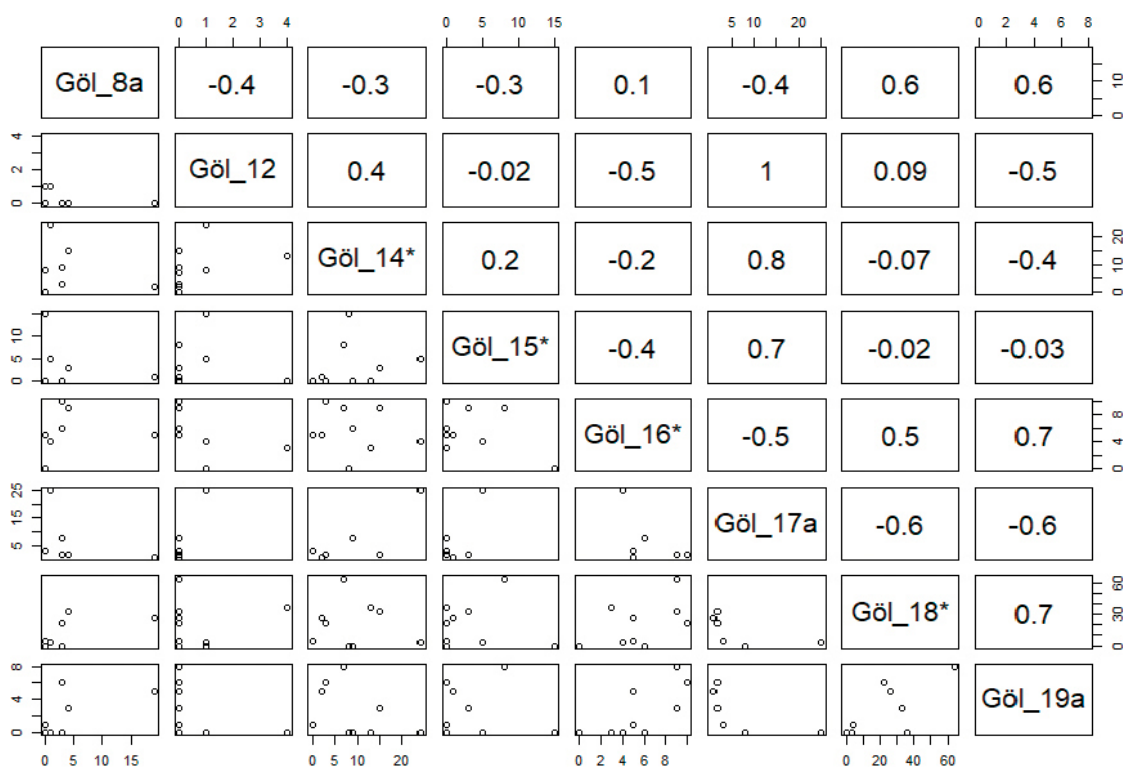
Figur 3-8. Korrelationsmatris för individtätheter av adult gölgröda för de gölar som inventerats sedan 2012 samt de 2 anlagda gölarna, göl 6b och 17a, som färdigställdes 2014. Den övre halvan visar på korrelationskoefficienten (R) där 1 är en stark positiv korrelation, 0 är avsaknad av korrelation och -1 är en stark negativ korrelation. Nedre delen visar de faktiska datapunkterna för varje korrelation. Gölar med * indikerar gölar där infiltration är möjlig vid en eventuell sänkning av grundvattennivåer till följd av SKB:s verksamhet i området.

Juvenil gölgröda

Förändring av individtätheter inom gölar över tid under tidsperioden 2012–2020 för juvenil gölgröda varierar olika mycket mellan gölar (figur 3-9), där mellanårsvariation är hög i vissa gölar (göl 18 och 380) jämfört med i andra (göl 14, 15 och 16). Följaktligen så samvarierar inte alla gölar i området med avseende på individtätheter utan somliga visar på negativa samband (exempelvis göl 17a och 18) medan andra samvarierar (exempelvis göl 17a och 14) (figur 3-10).



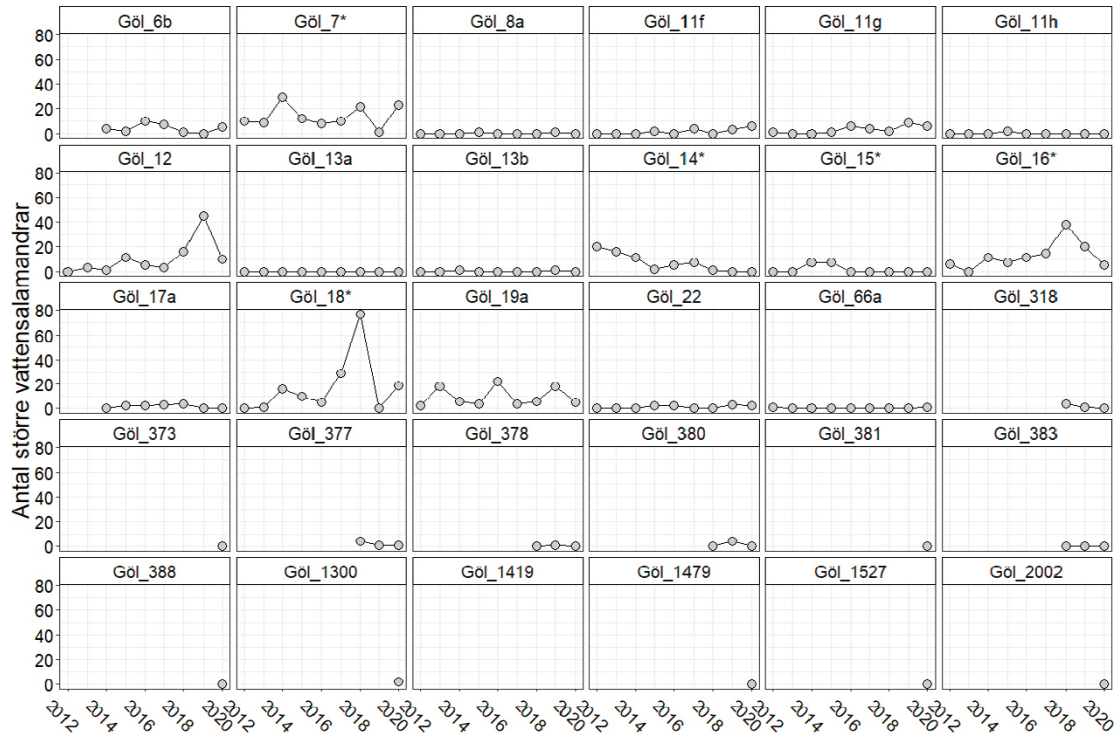
Figur 3-9. Gölspecifik individtätethet för juvenil gölgröda i inventerade gölar i Forsmarksområdet under 2012–2020. Gölar med * (7, 14, 15, 16, 18) är de gölar där infiltration är möjlig som åtgärd vid en eventuell sänkning av grundvattennivåer till följd av SKB:s verksamhet i området.



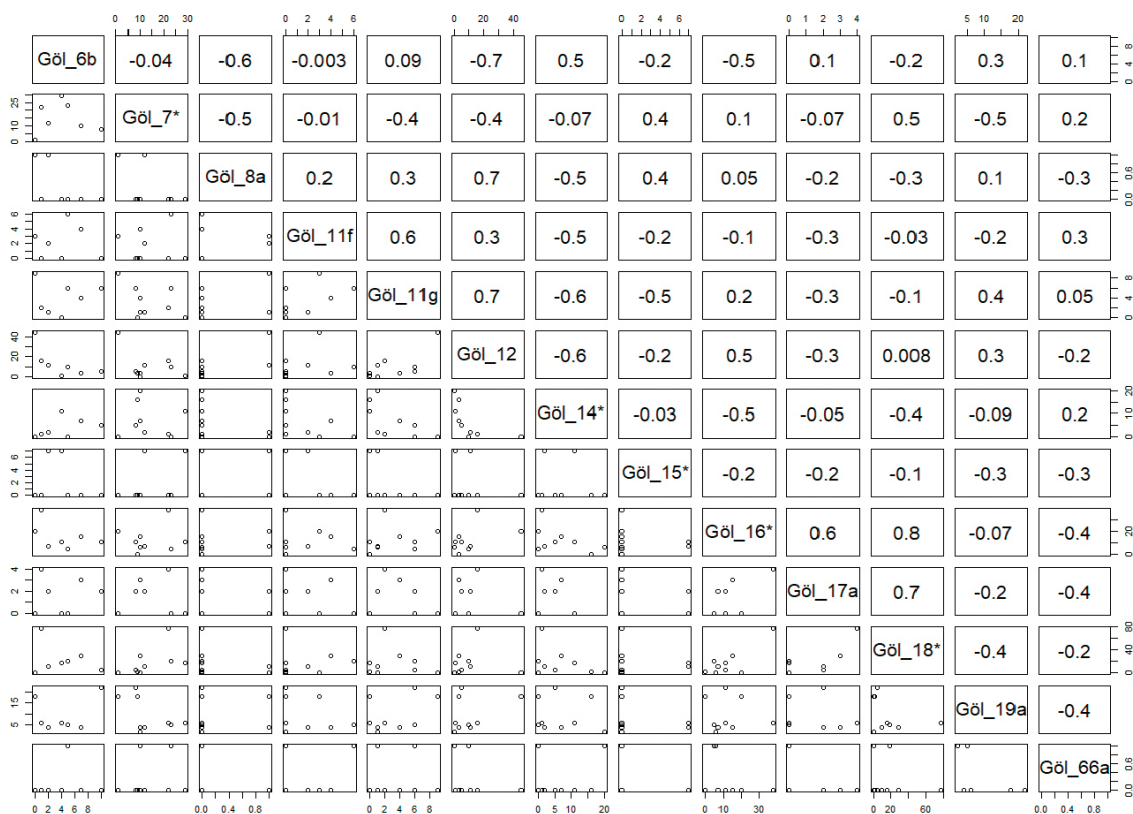
Figur 3-10. Korrelationsmatris för individtäteter av juvenil gölgröda för de gölar med förekomst av juvenil gölgröda vid fler än fyra inventeringstillfällen i Forsmarksområdet. Den övre halvan visar på korrelationskoefficienten (R) där 1 är en stark positiv korrelation, 0 är ingen korrelation och -1 är en stark negativ korrelation. Nedre delen visar datapunkterna för varje möjlig korrelation. Gölar med * indikerar gölar där infiltration är möjlig som åtgärd vid en eventuell sänkning av grundvattennivåer till följd av SKB:s verksamhet i området.

Större vattensalamander

Den gölspecifika utvecklingen av individtätheter över tid för större vattensalamander visar på hög mellanårsvariation i vissa gölar (göl 7, 12, 16, 18, 19a) medan tätheterna är konsekvent låga i andra (göl 11f, 11g, 17a, 22) (figur 3-11). Följaktligen så samvarierar vissa gölar mer med varandra än med andra med avseende på individtätheter (figur 3-12).



Figur 3-11. Gölspecifik individtäthet för större vattensalamander i Forsmarksområdet under 2012–2020. Gölar med * (göl 7, 14, 15, 16, 18) är de gölar där infiltration är möjlig som åtgärd vid eventuell sänkning av grundvattennivåer till följd av SKB:s verksamhet i området.

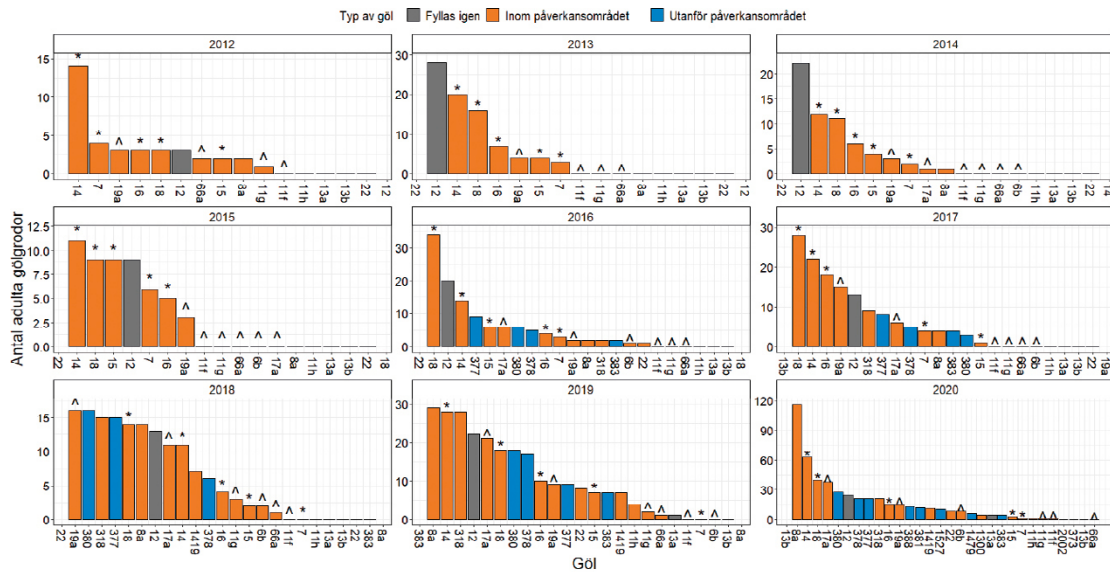


Figur. 3-12. Korrelationsmatris för individtätheter av större vattensalamander för de gölar som inventerats sedan 2012 samt de två anlagda gölarna, göl 6b och 17a, som började inventeras 2014 i Forsmarksområdet. Den övre halvan visar på korrelationskoefficienten (R) där 1 är en stark positiv korrelation, 0 är avsaknad av korrelation och -1 är en stark negativ korrelation. Nedre delen visar de faktiska datapunkterna för varje korrelation. Gölar med * indikerar gölar där infiltration är möjlig vid eventuell sänkning av grundvattennivåer till följd av SKB:s verksamhet i området.

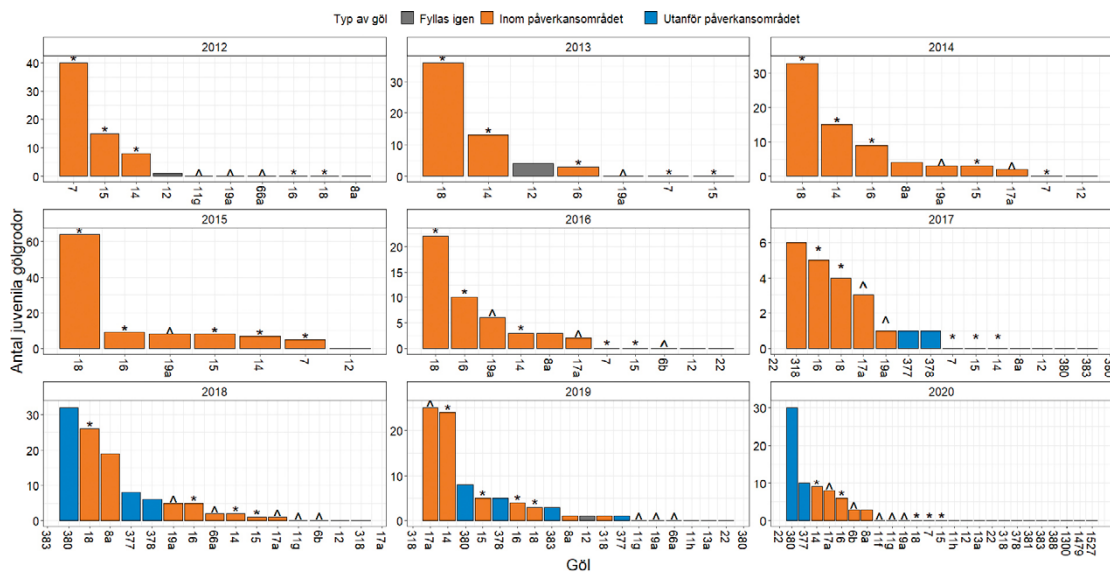
3.2.3 Utvärdering av utförda och planerade naturvårdsåtgärder för gölgröda och större vattensalamander

De gölar med höga individtätheter av adult gölgröda är lokaliserade både innanför och utanför det modellerade påverkansområdet inom vilket en grundvattensänkning kan ske till följd av SKB:s planerade verksamhet (figur 1-1 och figur 3-13). Gölarna med höga tätheter av adult gölgröda inom påverkansområdet innefattar både naturliga och anlagda gölar. Av de sex anlagda gölarna hyser två frekvent höga individtätheter av adult gölgröda (göl 17a och 19a) medan resterande fyra hyser adult gölgröda mer sporadiskt (göl 6b, 11f, 11g och 66a) (tabell 3-1, figur 3-13). Av de fem gölar (göl 7, 14, 15, 16 och 18), för vilka infiltration vid en eventuell grundvattensänkning kopplad till SKB:s verksamhet är möjlig, hyser göl 14 och göl 18 frekvent höga tätheter av adult gölgröda medan tätheterna i göl 7, 15 och 16 varierar mer över tid. Göl 12, vilken kommer att fyllas igen i vid bygget av slutförvaret för aktivt kärnbränsle, har under perioden 2013–2019 haft kontinuerligt höga tätheter av adult gölgröda relativt övriga gölar (figur 3-13).

De gölar med högst individtätheter av juvenil gölgröda har varierat mellan år men göl 18, för vilken infiltration är en möjlig åtgärd vid eventuell grundvattensänkning, är den göl som mest frekvent har haft höga individtätheter (figur 3-14). Mellan 2016–2020 har juvenil gölgröda registrerats i flera gölar utanför påverkansområdet (göl 377, 378 och 380) där göl 380 vissa år hyst höga individtätheter (figur 3-14). Av de gölar för vilka infiltration är en möjlig åtgärd vid en eventuell grundvattensänkning har juvenil gölgröda frekvent registrerats i göl 14, 16 och 18 medan juvenil gölgröda mer sporadiskt registrerats i göl 7 och 15. Av de anlagda gölarna hyser göl 17a och 19a frekvent juvenil gölgröda medan de sporadiskt förekommer i göl 66a (2018) och 6b (2020) (juvenil gölgröda har registrerats i göl 11f år 2017, men då inga adulta gölgrödor registrerades 2017 är dessa ej med i beräkningarna i denna sammanställning, se sektion 2.1), medan den anlagda gölen 11g inte hyser juvenil gölgröda (tabell 3-1). I göl 12, vilken kommer att fyllas igen vid bygget av slutförvaret för aktivt kärnbränsle, förekommer juvenila gölgrödor sporadiskt och då i låga tätheter (år 2013 och 2019) (figur 3-14).

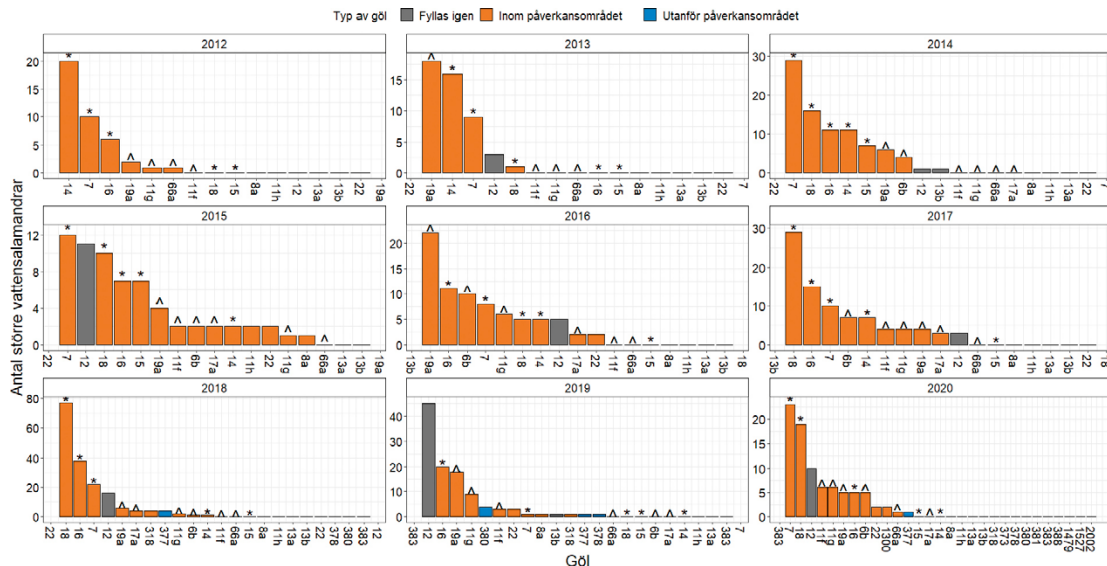


Figur 3-13. Årliga skillnader i individtätheter av adult gölgröda i gölar innanför respektive utanför SKB:s eventuella påverkansområde för åren 2012–2020. Gölar (staplar) markerade med * indikerar de gölar där infiltration planeras som åtgärd vid en eventuell grundvattensänkning kopplad till SKB:s verksamhet. Gölar (staplar) markerade med ^ indikerar anlagda gölar. Notera att skalan på y-axlarna skiljer sig mellan år (paneler).



Figur 3-14. Årliga skillnader i abundans av juvenila gölgrödor i gölar innanför respektive utanför SKB:s eventuella påverkansområde för åren 2012–2020. Gölar (staplar) markerade med * visar de gölar för vilka infiltration planeras som åtgärd vid en eventuell grundvattensänkning kopplad till SKB:s verksamhet. Gölar (staplar) markerade med ^ visar anlagda gölar. Notera att skalan på y-axlarna skiljer sig mellan år (paneler).

Den stora majoriteten gölar med förekomst av större vattensalamander ligger inom det modellerade påverkansområdet av SKB:s verksamhet (figur 3-15). De gölar som frekvent hyser höga tätheter av större vattensalamander utgörs till stor del utav de gölar för vilka infiltration är en möjlig åtgärd vid en eventuell grundvattensänkning. Tre av de sex anlagda gölarna hyser frekvent större vattensalamander (göl 6b, 11g och 19a), medan större vattensalamander mer sporadiskt förekommer i de resterande tre anlagda gölarna (göl 11f, 17a, 66a) (tabell 3-1). I göl 12, vilken kommer att fyllas igen i samband med bygget av slutförvaret, registreras större vattensalamander frekvent och under vissa år (2015 och 2019) med höga individtätheter jämfört med övriga gölar i området (figur 3-15).



Figur 3-15. Årliga skillnader i abundans av större vattensalamander i gölar innanför respektive utanför SKB:s eventuella påverkansområde för åren 2012–2020. Gölar (staplar) markerade med * visar de gölar för vilka infiltration planeras som åtgärd vid en eventuell grundvattensänkning kopplad till SKB:s verksamhet. Gölar (staplar) markerade med ^ visar anlagda gölar. Notera att skalan på y-axlarna skiljer sig mellan år (paneler).

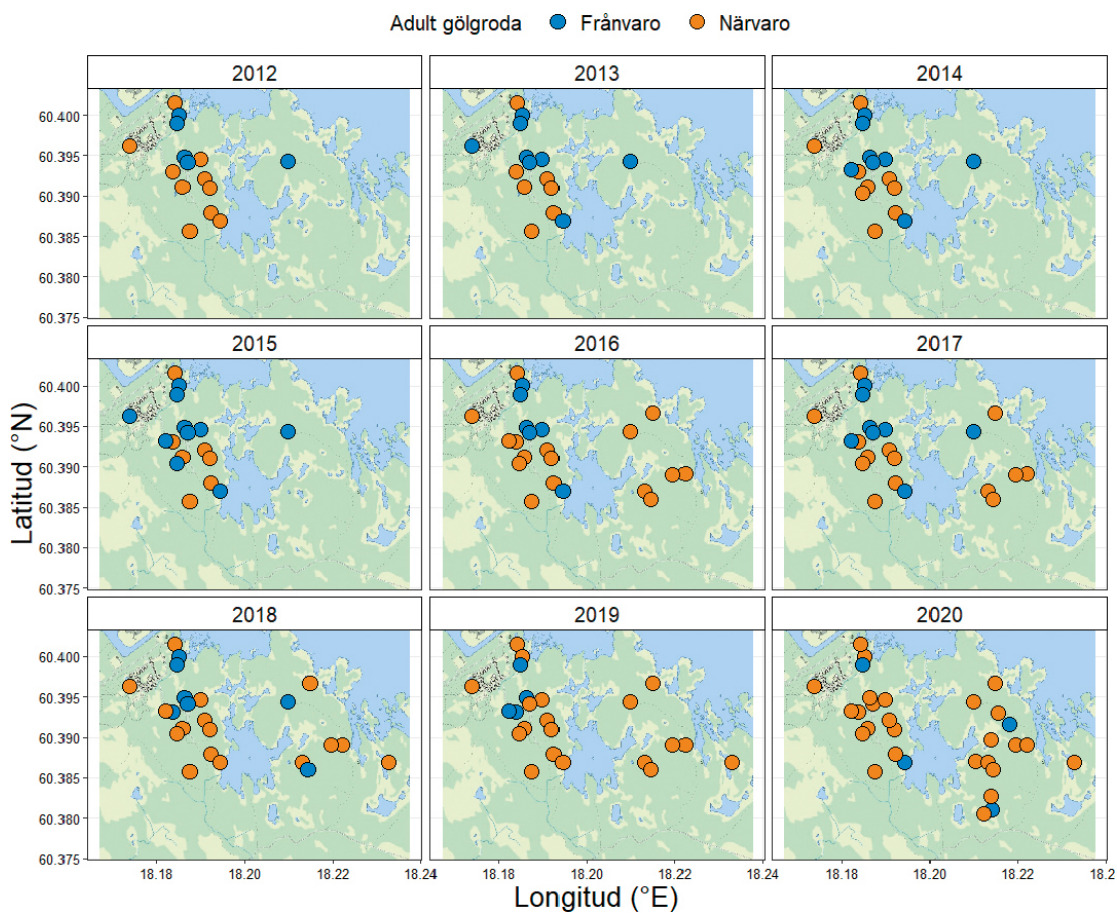
Tabell 3-1. Antal år med förekomst av större vattensalamander, adult gölgröda samt bekräftad reproduktion för gölgröda (antal år med förekomst av både adult och juvenil gölgröda) i de sex gölar som SKB anlagt i Forsmarksområdet.

Göl	Tidsperiod	Större vattensalamander	Adult gölgröda	Bekräftad reproduktion
6b	2014–2020 (n=7)	6 (86 %)	3 (43 %)	1 (33 %)
11f	2012–2020 (n=9)	4 (44 %)	1 (11 %)	0 (0 %)‡
11g	2012–2020 (n=9)	7 (78 %)	4 (44 %)	0 (0 %)
17a	2014–2020 (n=7)	4 (57 %)	6 (86 %)	6 (100 %)
19a	2012–2020 (n=9)	9 (100 %)	9 (100 %)	5 (56 %)
66a	2012–2020 (n=9)	2 (22 %)	3 (33 %)	1 (33 %)

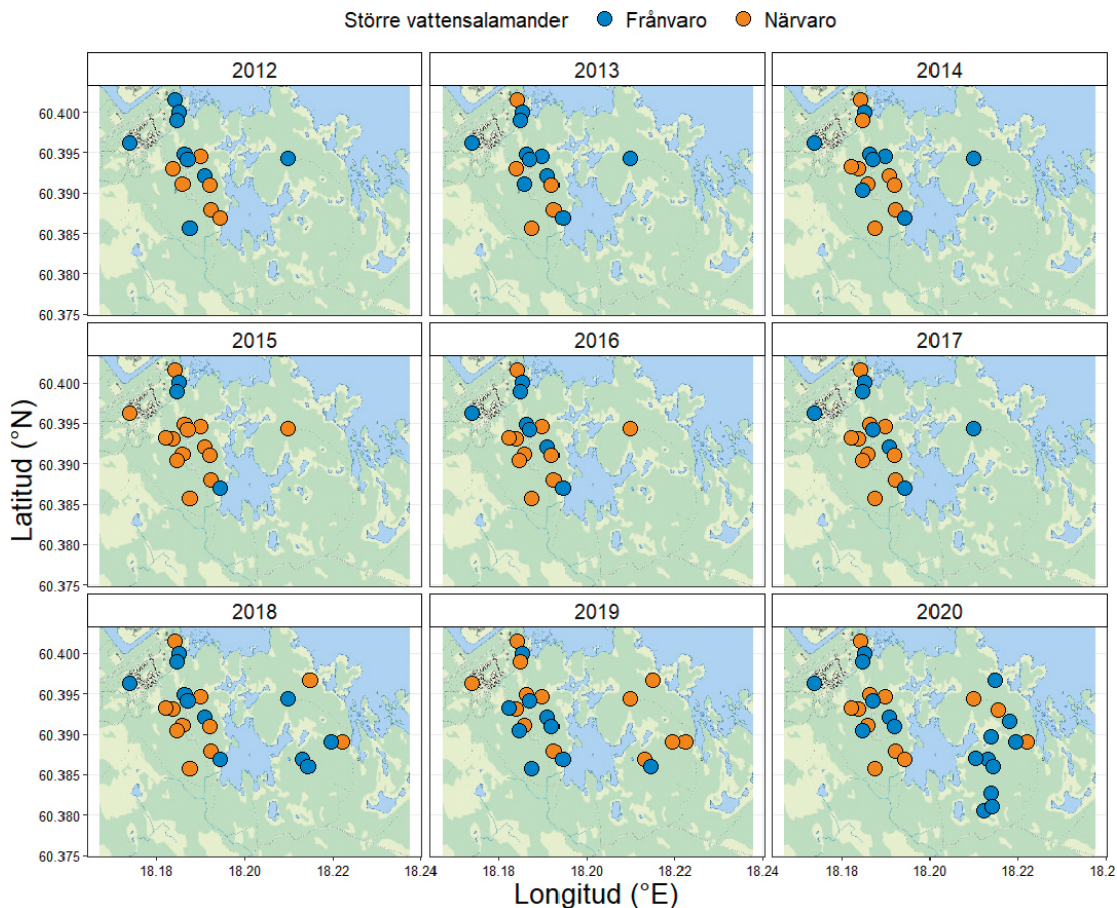
‡: År 2017 registrerades juvenil gölgröda i göl 11f. Då inga aduler registrerades i gölen 2017 är dessa ej med i sammanställning eftersom endast gölar där aduler registrerats samma år används i denna sammanställningen (för att skatta årlig reproduktionsframgång, se sektion 2.1).

3.3 Rumslig variation i förekomst av adult gölgröda och större vattensalamander i Forsmarksområdet

Adult gölgröda har sedan 2016 registrerats frekvent i gölar på båda sidor om Bolundsfjärden (den centralt belägna sjön i området) och förekommer i gölar inom hela Forsmarksområdet (figur 3-16). Större vattensalamander förekommer i gölar inom hela området men visar inte på samma rumsliga utbredningsmönster som adult gölgröda (figur 3-17), då större vattensalamander förekommer mer sporadiskt i gölar öster om Bolundsfjärden jämfört med adult gölgröda under de senare åren (2018–2020, jämför figur 3-16 med figur 3-17).



Figur 3-16. Årlig frånvaro (blåa punkter) respektive närvaro (orangea punkter) av adult gölgröda i inventerade gölar i Forsmarksområdet 2012–2020. Närvaro av adult gölgröda innebär att en eller flera individer registrerats i en göl via antingen spel eller observation under spelinventeringen. Antalet inventerade gölar har ökat sedan 2012 varför antalet punkter inte är identiskt mellan år (paneler).



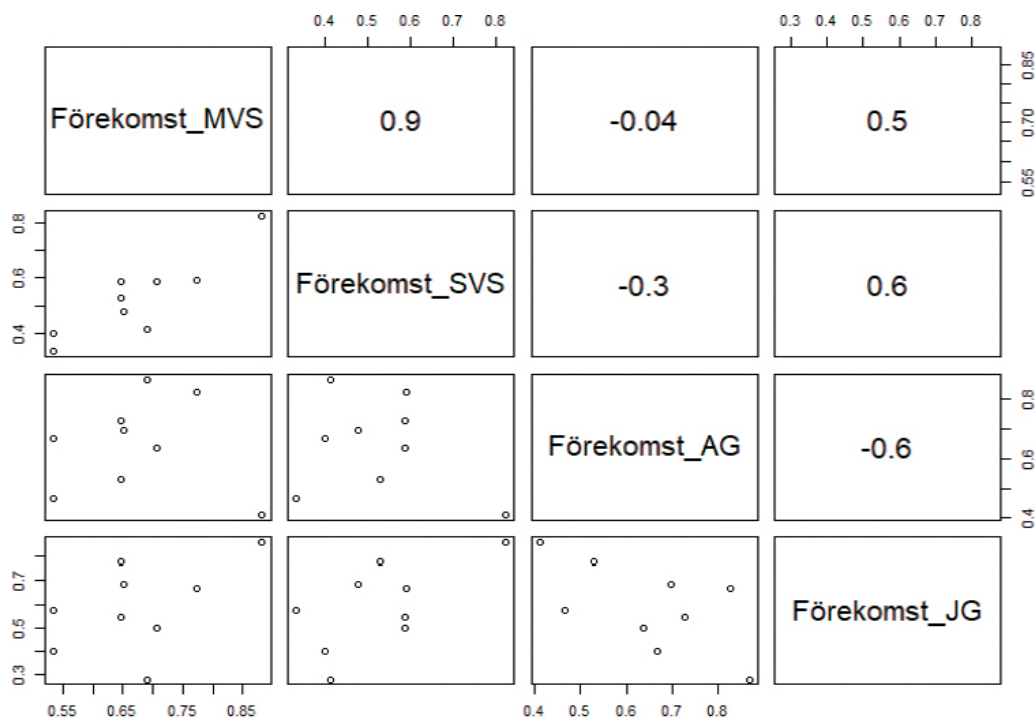
Figur 3-17. Årlig frånvaro (blåa punkter) respektive närvaro (orangea punkter) av större vattensalamander i inventerade gölar i Forsmarksområdet 2012–2020. Närvaro av större vattensalamander innebär att en eller flera individer registrerats i en göl under den årliga natt-inventeringen som utförs enligt ficklampsmetoden. Antalet inventerade gölar har varierat mellan år sedan 2012 varför antalet punkter (gölar) inte är identiskt mellan år (paneler).

3.4 Samvariation och miljövariabler som bidrar till att förklara mellanårsvariation i förekomst och individtätheter

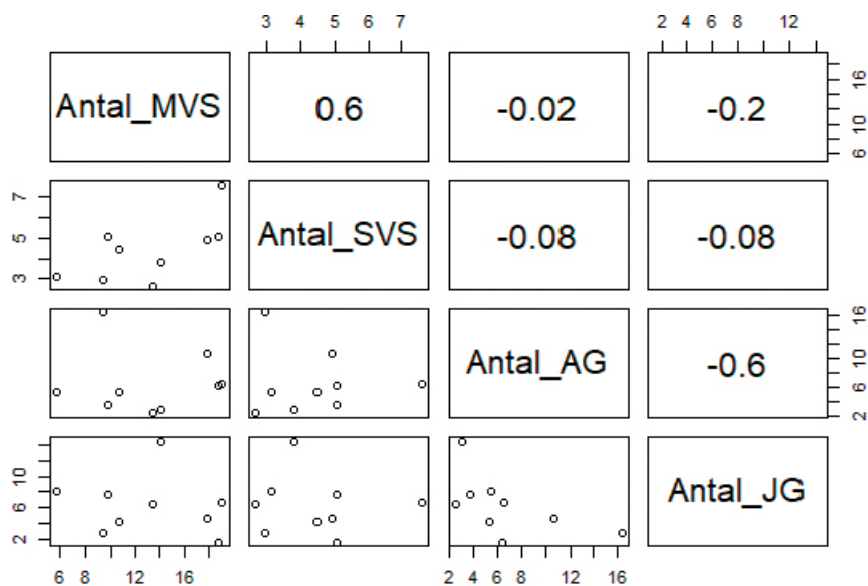
3.4.1 Artinteraktioner

Förekomsten av gölgroda (adult respektive juvenil) och större samt mindre vattensalamander i gölar samvarierar till olika grad i Forsmarksområdet (figur 3-18). Förekomsten av större- och mindre vattensalamander visar på en positiv samvariation ($R=0,887$, $P=0,001$) medan adult gölgroda inte samvarierar med varken större vattensalamander ($R=-0,274$, $P=0,476$) eller mindre vattensalamander ($R=-0,042$, $P=0,915$). Förekomsten av adult gölgroda visar dock på en tendens till negativ samvariation med förekomsten av juvenil gölgroda i de gölar där båda livsstadier observerats samma år ($R=-0,611$, $P=0,080$). Till skillnad från adult gölgroda så visar förekomsten av juvenil gölgroda en tendens till positiv samvariation med större vattensalamander ($R=0,637$, $P=0,065$) men ingen samvariation med mindre vattensalamander ($R=0,495$, $P=0,176$) (figur 3-18).

Antalet individer per inventerad göl för gölgroda (juvenil respektive adult) samt mindre och större vattensalamander visar på olika grad av samvariation i Forsmarksområdet (figur 3-19). Större och mindre vattensalamander visar på en tendens till positiv samvariation (ej signifikant korrelation, $R=0,642$, $P=0,063$). Adult och juvenil gölgroda visar på en mycket svag tendens till negativ samvariation (ej signifikant korrelation, $R=-0,554$, $P=0,122$). Varken adult eller juvenil gölgroda visade på samvariation med större eller mindre vattensalamander (figur 3-19).



Figur 3-18. Korrelationsmatris för förekomsten (proportion ockuperade gölar) av mindre vattensalamander (MVS), större vattensalamander (SVS) samt adult gölgröda (AG) och juvenil gölgröda (JG) i Forsmarksområdet för 2012–2020. Den övre halvan visar på korrelationskoefficienten (R) där 1 är en stark positiv korrelation, 0 är avsaknad av korrelation och -1 är en stark negativ korrelation. Nedre delen visar de faktiska datapunkterna för varje korrelation.



Figur 3-19. Korrelationsmatris för individtätheter av mindre vattensalamander (MVS), större vattensalamander (SVS) samt adult gölgröda (AG) och juvenil gölgröda (JG) i Forsmarksområdet för 2012–2020. Den övre halvan visar på korrelationskoefficienten (R) där 1 är en stark positiv korrelation, 0 är avsaknad av korrelation och -1 är en stark negativ korrelation. Nedre delen visar de faktiska datapunkterna för varje korrelation.

Då inventeringsmetodikerna skiljer sig för adult och juvenil gölgröda (sektion 2.1), kan jämförelser med avseende på samvariation gällande individtätheter mellan de två livsstadier vara problematisk. En göl med tät vegetation i strandzonen är svårare att inventera med avseende på juvenil gölgröda än en göl med öppen och flack strandzon, medan resultaten från spelinventeringen inte är lika påverkad av gölens strandvegetation. För att undersöka denna eventuella felkälla analyserades samvariation mellan tätheter av större- och mindre vattensalamander samt adult- och juvenil gölgröda i två gölar (göl 17a och 19a) vilka båda har en öppen och flack strandzon. Båda gölarna hyser dessutom frekvent större- och mindre vattensalamander samt adult- och juvenil gölgröda (tabell 3-1). Resultaten visar att ingen samvariation mellan arterna eller livsstadier förekommer i göl 17a eller 19a förutom en tendens till en negativ samvariation mellan mindre vattensalamander och juvenil gölgröda i göl 19a (tabell 3-2).

Tabell 3-2. Gölspecifika korrelationskoefficienter för sambanden mellan individtätheter av större och mindre vattensalamander samt adult och juvenil gölgröda för göl 17a respektive göl 19a (gråa boxar).

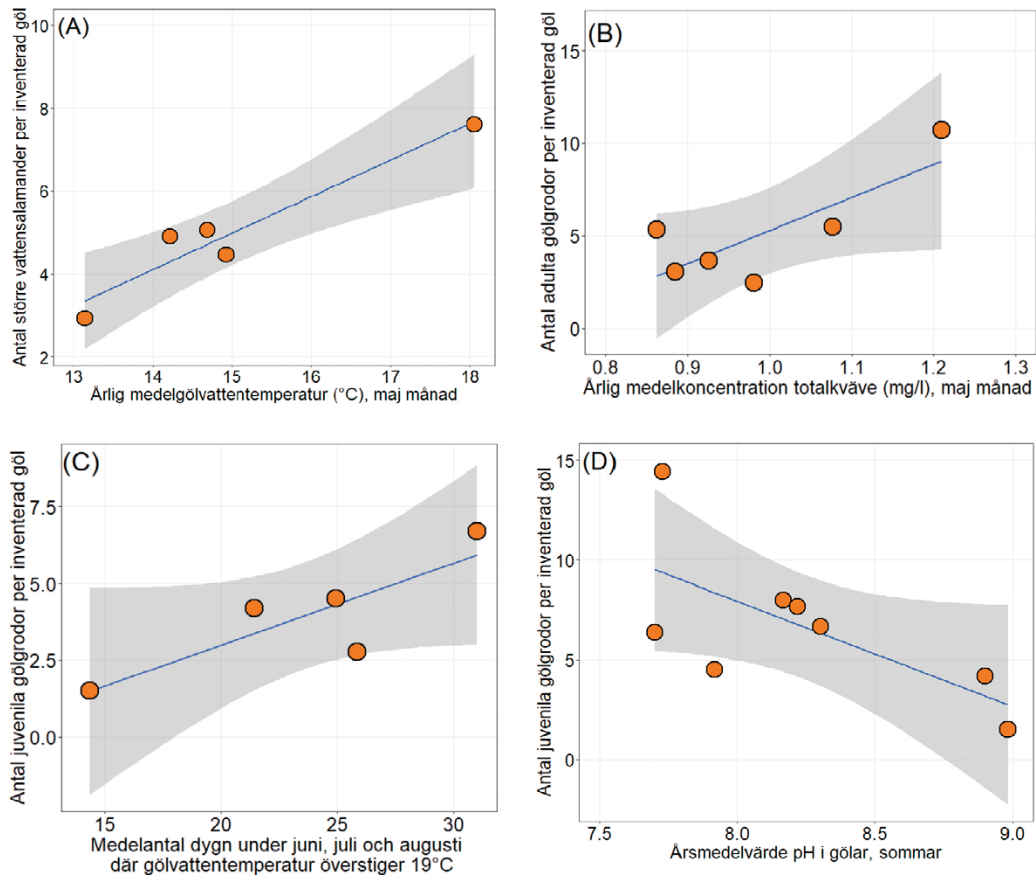
Göl 17a	Mindre vattensalamander	Större vattensalamander	Adult gölgröda
Mindre vattensalamander	-	-	-
Större vattensalamander	R = 0,44, P = 0,32	-	-
Adult gölgröda	R = -0,28, P = 0,54	R = -0,43, P = 0,36	-
Juvenil gölgröda	R = -0,53, P = 0,28	R = -0,55, P = 0,26	R = 0,48, P = 0,33
Göl 19a	Mindre vattensalamander	Större vattensalamander	Adult gölgröda
Mindre vattensalamander	-	-	-
Större vattensalamander	R = 0,26, P = 0,50	-	-
Adult gölgröda	R = 0,20, P = 0,61	R = -0,32, P = 0,41	-
Juvenil gölgröda	R = -0,62, P = 0,08	R = -0,01, P = 0,99	R = -0,26, P = 0,50

3.4.2 Abiotiska faktorer

Ingen enskild miljövariabel visade på något signifikant samband med mellanårsvariation i förekomst eller individtätheter av adult gölgröda (tabell 3-3), dock visar analysen att det finns en tendens till ett positivt samband mellan individtätheter av adult gölgröda och medel-koncentrationen av totalkväve i gölar under maj månad (Adj. $R^2 = 0,54$, $P = 0,06$) (figur 3-20A). För större vattensalamander finns det ett starkt samband mellan medeltemperaturen i gölar under maj månad och individtätheterna per inventerad göl vilka ökar med ökad medeltemperatur (Adj. $R^2 = 0,90$, $p = 0,009$) (figur 3-20B)). För juvenil gölgröda visade inga miljövariabler på något signifikant samband med varken förekomst eller individtätheter (tabell 3-3), dock visar analysen på att det finns en tendens till ett positivt samband mellan årliga individtätheter av juveniler och antalet dygn under juni, juli och augusti då gölvattentemperaturen aldrig understiger 19 °C (Adj. $R^2 = 0,61$, $p = 0,07$) (figur 3-20C) samt en tendens till ett negativt samband med ökat pH-värdet i gölar under sommarmånaderna juni, juli och augusti (Adj. $R^2 = 0,37$, $p = 0,07$) (figur 3-20D)).

Tabell 3-3. Linjära regressionskoefficienter för miljövariabler och dess samband med mellanårsvariation gällande förekomst och individtätheter av större vattensalamander (SVS), adult gölgröda (AG) och juvenil gölgröda (JG) i Forsmarksområdet. P-värden $0,1 > P > 0,05$ = statistisk trend \sim , $0,05 > P > 0,01$ = enstjärnig signifikans *, $0,01 > P > 0,001$ = tvåstjärnig signifikans ** och $0,001 > P$ = trestjärnig signifikans *.**

Miljövariabel	Antal år och dataintervall	Populationsmått	Lutning	Adj. R ²	P-värde
Antal dagar med istäcke, Eckarfjärden	År=8 Min=98 dagar Max=150 dagar	SVS förekomst	-0,004	0,093	0,24
		SVS individtäthet	0,019	-0,104	0,58
		AG förekomst	-0,00005	-0,166	0,99
		AG individtäthet	0,056	0,077	0,51
Medelvattentemperatur i gölar under maj månad	År=5 Min=13,14 °C Max=18,06 °C	SVS Förekomst	-0,001	-0,333	0,97
		SVS Individtäthet	0,881	0,900	0,009**
		AG förekomst	-0,029	0,119	0,30
		AG individtäthet	-1,583	0,210	0,25
Medelkoncentration totalkväve i gölar under maj månad	År=6 Min=0,86 mg/l Max=1,21 mg/l	SVS förekomst	-0,46	-0,089	0,48
		SVS individtäthet	0,313	-0,248	0,94
		AG förekomst	0,52	-0,022	0,40
		AG individtäthet	17,91	0,535	0,06 [~]
Medelkoncentration totalfosfor i gölar under maj månad	År=6 Min=0,012 mg/l Max=0,016 mg/l	SVS förekomst	25,84	-0,187	0,67
		SVS individtäthet	-210,47	-0,119	0,53
		AG förekomst	26,42	-0,175	0,64
		AG individtäthet	-403,88	-0,199	0,70
Medelvärde pH i gölar under maj månad	År=5 Min=7,66 Max=8,12	SVS förekomst	0,064	-0,318	0,87
		SVS individtäthet	1,78	-0,20	0,60
		AG förekomst	-0,246	-0,194	0,60
		AG individtäthet	3,053	-0,287	0,77
Medelvattentemperatur i gölar juni, juli och augusti	År=5 Min=19,46 °C Max=21,45 °C	JG förekomst	0,022	-0,318	0,87
		JG individtäthet	1,806	0,368	0,17
Medelantal dygn varmare än 19 °C i gölar under juni, juli och augusti	År=5 Min=14,4 dygn Max=31 dygn	JG förekomst	0,007	-0,245	0,68
		JG individtäthet	0,27	0,61	0,07 [~]
Medelkoncentration totalkväve i gölar under juni, juli och augusti	År=8 Min=1,19 mg/l Max=1,90 mg/l	JG förekomst	0,021	-0,165	0,919
		JG individtäthet	-5,827	0,115	0,220
Medelkoncentration totalfosfor i gölar under juni, juli och augusti	År=8 Min=0,01 mg/l Max=0,02 mg/l	JG förekomst	22,522	0,085	0,246
		JG individtäthet	275,121	-0,108	0,592
Medelvärde pH i gölar under juni, juli och augusti	År=8 Min=7,70 Max=8,98	JG förekomst	-0,091	-0,066	0,478
		JG individtäthet	-5,275	0,366	0,07 [~]

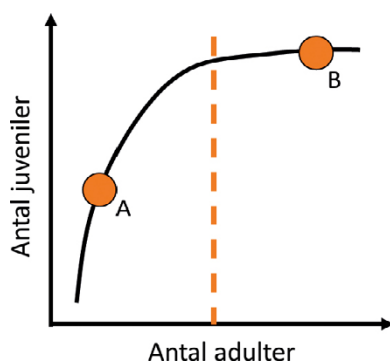


Figur 3-20. Anpassade linjära regressionsmodeller för de samband mellan gölgröda eller större vattensalamander och olika miljövariabler där $P < 0,1$. Panel (A) visar sambandet mellan årliga individtätheter av större vattensalamander per inventerad göl i Forsmark och medelgölvattentemperatur under maj månad för gölar i området (lutning = 0,881, Adj. $R^2 = 0,900$, $P = 0,009$). Panel (B) visar sambandet mellan individtätheter av adulta gölgrödor per inventerad göl och årlig medelkoncentration av totalkväve (mg/l) under maj månad i gölar i området (lutning = 17,91, Adj. $R^2 = 0,535$, $P = 0,06$). Panel (C) visar sambandet mellan antalet juvenila gölgrödor per inventerad göl i Forsmark och antalet dygn under juni, juli och augusti då gölvattentemperaturer aldrig understiger 19 °C (lutning = 0,27, Adj. $R^2 = 0,61$, $P = 0,07$). Panel (D) visar sambandet mellan årsmedelvärdet för pH i gölar i området under juni, juli och augusti och antalet juvenila gölgrödor per inventerad göl (lutning = -5,275, Adj. $R^2 = 0,366$, $P = 0,07$). Gråa området kring regressionslinjen visar 95 % konfidensintervall.

4 Diskussion

Både förekomsten och individtätheten av adult gölgroda har ökat i Forsmarksområdet sedan starten på inventeringarna år 2012 medan det inte finns någon statistisk signifikant förändring gällande förekomst eller individtätheter för juvenil gölgroda. Dessa skillnader i utveckling över tid bekräftas av resultaten från analysen av samvariation mellan de två livsstadierna, där varken förekomst eller täthet mellan de två livsstadierna visar på starka samband. Sammantaget tyder detta på att förekomsten och mängden juveniler i området inte beror på tätheten av aduler och att de adulta gölgrorna i området högst sannolikt består av individer från flera olika årsklasser. Dock visar resultaten i området på att en tendens till negativt samband mellan förekomsten av de två livsstadierna i gölar i området, vilket skulle kunna tyda på antingen predation från aduler på juveniler (kannibalism), vilket inte är ovanligt bland grodarter (Measey et al. 2015), alternativt att det under år med hög förekomst av aduler i gölar innebär att aduler spelar och reproducerar sig gölar som ej är speciellt lämpliga för juvenil gölgroda. Att individtätheterna av juveniler inte beror på mängden aduler i området kan förklaras om relationen mellan livsstadierna är icke-linjärt. Om sambandet är icke-linjärt kan antalet aduler vara så högt att en ytterligare ökning av aduler inte längre påverkar antalet juveniler (figur 4-1, scenario B), medan ett samband mellan antalet aduler och juveniler förekommer vid låga tätheter av aduler (figur 4-1, scenario A).

Huruvida ökningen av adult gölgroda i området under de senare åren beror på starka årsklasser av gölgroda med god tillväxt eller är ett resultat av hög överlevnad hos adult gölgroda är svårt att utvärdera då kunskaper kring åldersstruktur och tillväxt för gölgroda i området är mycket begränsad. Från andra områden har dock uppskattningar gällande ålder vid könsmognad gjorts som visar att gölgrodan kan bli könsmogen från två års ålder och att de kan nå en ålder av åtta år (Fog et al. 1997). Om detta stämmer för populationen i Forsmark borde det vara årsklasserna från perioden 2011–2016 som bidrar till de höga individtätheterna av adult gölgroda som observerats i området 2019 och 2020. Individtätheterna av juvenil gölgroda var under perioden 2012–2015 höga relativt senare år, där den högsta årliga individtätheten per inventerad göl i området registrerades 2015. Om antagandet gällande tid till könsmognad och livslängd för gölgroda stämmer borde individtätheterna av adult gölgroda i området minska efter att årsklasserna från 2012–2015 nått sin maxålder, vilket inträffar under åren 2020–2023. För att utvärdera detta eventuella samband krävs fortsatt inventering av gölgroda i området.



Figur 4-1. Konceptuell figur som visar ett icke-linjärt samband mellan antalet adulta och juvenila individer i en population. Vid tätheter representerade av punkt A finns det ett positivt samband mellan antalet aduler och antalet juveniler som produceras i populationen. Vid tätheter representerade av punkt B har detta samband fränkopplats och mängden juveniler som produceras i population påverkas inte längre av en ökning eller minskning av aduler, så länge tätheterna av aduler överstiger den streckade orangea linjen.

För större vattensalamander är mellanårsvariationen i förekomst av samma storlek som för gölgroda medan mellanårsvariationen för individtätheter är mindre jämfört med gölgroda. Varken förekomsten eller individtätheterna av större vattensalamander visar på någon tydlig statistisk trend över tid. Större vattensalamander visar på positiv samvariation med mindre vattensalamander i området. Liknande observationer har gjorts i andra delar av Sverige där större och mindre vattensalamander tycks samexistera (Länsstyrelsen i Kalmar län 2010). Det finns inga tydliga samband mellan varken förekomst eller individtätheter för större vattensalamander och adult eller juvenil gölgroda i området vilket tyder på att arterna samexisterar utan att konkurrera med varandra. För mindre vattensalamander finns dock en indikation till ett negativt samband med juvenil gölgroda baserat på resultat från göl 17a. Detta göl-specifika resultatet indikerar att arterna eventuellt kan konkurrera med varandra i vissa gölar alternativt att mindre vattensalamander via predation kan ha en negativ påverkan på juvenil gölgroda (Covaciu-Marcov et al. 2010, Roşca et al. 2013).

De av SKB utförda och planerade naturvårdsåtgärderna i området har fungerat bra då större vattensalamander och adult gölgroda har registrerats i samtliga anlagda gölar varav flera av dessa kontinuerligt hyser båda arterna. Adult gölgroda har observerats frekvent i fyra av de sex anlagda gölarna varav juvenil gölgroda kontinuerligt observerats i två av gölarna, göl 17a och 19a. De gölar som valts ut för infiltration vid en eventuell grundvattensänkning orsakad av uppförandet av Kärnbränsleförvaret hyser frekvent höga individtätheter av gölgroda och större vattensalamander, varför dessa inte bör bytas ut. Större vattensalamander förekommer främst inom det modellerade påverkansområdet för en eventuell grundvattensänkning jämfört med gölgroda som förekommer i flera gölar utanför det modellerade påverkansområdet. På grund av dess mer begränsade utbredning är risken för negativ påverkan större för den lokala populationen av större vattensalamander vid en eventuell grundvattensänkning under uppförandet av Kärnbränsleförvaret. Med de genomförda och planerade åtgärderna (anlagda gölar med djuphålor liksom infiltration i utvalda gölar) minskar dock risken för en negativ påverkan vid en eventuell grundvattensänkning avsevärt.

Den rumsliga utbredningen av gölgroda och större vattensalamander i området visar på att vissa gölar frekvent hyser båda arterna medan de förekommer mer sporadiskt i andra. Dessa skillnader mellan gölar indikerar att vissa gölar, så som göl 12, 14, 16 och 18 konsekvent varit lämpliga lokaler för adult gölgroda och större vattensalamander under 2012–2020. Under senare år har även göl 380, vilken är belägen på östra sidan om den i området centralt belägna sjön Bolundsfjärden, konsekvent visat sig lämplig för gölgroda och större vattensalamander. Dessa gölar är därför sannolikt viktiga för populationerna i hela området. Resultaten från den rumsliga utbredningen visar även att enskilda gölar kan, under vissa år, vara mycket lämpliga som habitat för arterna och hysa höga individtätheter. Sådana typer av gölar kan tänkas fungera som buffert-gölar i området, dvs gölar som under mer ovanliga klimatförhållanden blir lämpliga som habitat för gölgroda och större vattensalamander. Exempel på sådana gölar är göl 8a för adult gölgroda, göl 7 för juvenil gölgroda och göl 18 för större vattensalamander.

Resultaten gällande arternas rumsliga utbredning indikerar även att de kan sprida sig mellan gölar i området. Att flera av de anlagda gölarna hyst gölgroda och större vattensalamander redan samma år som de färdigställdes tyder på att gölgrodan och större vattensalamander inte har några problem att hitta lämpliga gölar och att det finns en hög konnektivitet mellan gölar i området. Ett exempel på detta är förekomstmönstret i göl 8, en relativt isolerad göl belägen i nordvästra delen av området. Göl 8 har haft år utan förekomst av adult gölgroda (år 2013 och 2015) följt av år med förekomst. Detta tyder antingen på god tillväxt av smågrodor som växt upp i gölen för att senare återvända som aduler för att reproducera sig alternativt att aduler från andra gölar migrerat till gölen och förökat sig. Om det senare är fallet innebär de att gölgrodor i området kan sprida sig mellan gölar belägna minst 600 meter från varandra, då avståndet mellan göl 8 och de närmaste gölarna där förekomst av adult gölgroda kontinuerligt registrerats, göl 6b samt göl 7, är cirka 600 meter.

Mellanårsvariation i gölvattentemperatur, pH och kväve-koncentration visade på samband ($P < 0,1$) med individtätheter av gölgroda och större vattensalamander. För större vattensalamander var individtätheterna högre vid högre gölvattentemperaturer under maj månad. För adult gölgroda tenderar individtätheterna att öka vid högre kväve-koncentrationer. För juvenil gölgroda tenderar individtätheterna att öka med antalet varma dygn (dygn med en lägsta gölvattentemperatur över 19 °C under sommaren) medan individtätheterna tenderar att minska med ökat pH under juni, juli och augusti.

Att varierande vattentemperaturen i gölar påverkar dessa arter är inte förvånande, då både större vattensalamander och gölgröda är ektotermer och dess kroppstemperatur och således metabolism samt tillväxt styrs av den omgivande temperaturen. Enligt Paterson (2018) observeras flest större vattensalamander under dess lekperiod när gölvattentemperaturen ligger mellan 10–15 °C i gölar i Storbritannien, medan de högsta individtätheterna i Forsmark registrerats när medeltemperaturen i gölarna varit över 15 °C i maj månad i Forsmark. För att utröna hur viktig gölens vattentemperatur är och vilka temperaturer som dessa arter föredrar krävs fler år med kontinuerliga mätningar av vattentemperaturer i gölar, då analysen i denna studie är baserad på temperaturdata från endast fem år. Att individtätheter av adult gölgröda tenderar att öka med ökad kvävehalt i gölar kan vara en respons på ökad produktivitet. Med ökad produktivitet i gölarna till följd av ökade kvävekoncentrationer kan födotillgång i gölarna öka vilket skulle kunna leda till att fler adulta gölgrödor kan uppehålla sig i området utan att konkurrera med varandra om föda. Att individtätheterna av juvenil gölgröda tenderar att öka med antalet varma sommar dygn (dygn då gölvattentemperaturen inte understiger 19 °C) beror sannolikt på att juvenil gölgröda kräver en omgivande temperatur på 19 °C eller högre för att kunna utvecklas och genomgå metamorfos inför vintern (Orizaola et al. 2010). Individtätheterna av juvenil gölgröda tenderar att påverkas negativt av ökat pH i gölarna, då individtätheterna minskade när pH ökade från 7,70 till 8,98. Liknande samband har observerats för juvenila individer i andra grodarter, där ökat pH visat sig minska överlevnaden och förlängt tiden det tagit att uppnå metamorfos hos juvenila grodor (Warner et al. 1993). Huruvida överlevanden för juvenila gölgrödor i Forsmark påverkas negativt när pH-värdet närmar sig 9, eller om det är andra processer i gölen som påverkas av ökat pH som i sin tur påverkar juvenil gölgröda negativt är okänt och skulle behöva undersökas experimentellt.

Då resultaten i denna sammanställning visar att gölarna i Forsmarksområdet inte är identiska med avseende på dess lämplighet som habitat för gölgröda och större vattensalamander bör framtida studier försöka identifiera vilka gölar som samvarierar och utröna vilka miljöfaktorer dessa eventuellt har gemensamt. Resultaten från en sådan analys skulle även kunna svara på vilka gölar som är lämpliga habitat för gölgröda och större vattensalamander under olika miljöförhållanden, samt öka förståelsen kring vilka miljövariabler som är viktiga för specifika gölar och vilka som är generellt viktiga för alla gölar i Forsmarksområdet. Klusteranalys baserat på k-means alternativt PCA-analys där miljöfaktorer för varje göl inkluderas är två exempel på lämpliga metoder för en sådan analys. En parameter som bör inkluderas men som inte inkluderats i denna sammanställning är variation i gölvattennivå vilket kontinuerligt registreras i området. Detta kan vara en viktig miljövariabel för gölgröda och större vattensalamander då vattennivåerna kan variera kraftigt både inom och mellan år samt då vissa gölar i området frekvent torkar ut under sommarmånaderna medan andra konstant håller vatten. Därför bör även djup alternativt vattenvolymestimat för specifika gölar inkluderas i en sådan analys.

Effekterna av predation och närvaro av rovfisk i gölarna har inte inkluderats i denna sammanställning vilket skulle kunna bidra till att förklara mellanårsvariation i förekomst och individtätheter av gölgröda och större vattensalamander. Snok, *Natrix natrix*, prederar på både grodor och vattensalamandrar (Luiselli et al. 2005, Sewell et al. 2015) och närvaro av rovfisk, speciellt gädda, *Esox lucius*, har en kraftig negativ påverkan på gölgröda och större vattensalamander, då gölgröda och större vattensalamander mycket sällan förekommer i gölar där gädda och annan rovfisk finns (Malmgren 2007, Lindgren et al. 2014). Under inventeringarna i området har både snok och gädda observerats kontinuerligt i flera av gölarna i området vilket antecknats som kommentarer i inventeringsprotokollen, varför möjlighet finns att inkludera denna information och analysera effekterna av närvaro av snok och rovfisk på förekomst och individtätheter av gölgröda och större vattensalamander i området.

För att öka förståelsen kring konnektiviteten mellan gölar i området kan märkningsförsök med radiotelemetri utföras. En sådan studie, där det är möjligt att följa rörelsemönstret hos märkta individer, skulle kunna svara på frågor gällande hur frekvent individer vandrar mellan gölar, hur långa sträckor de kan röra sig på land, identifiera viktiga spridningskorridorer på land mellan gölar och identifiera viktiga övervintringslokaler i området. Ett sådant försök skulle kunna utföras i samband med att individer fångas och flyttas inför den planerade utfyllnaden av göl 12.

Referenser

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

Allmér J, 2011. Uppföljning av gölgrodor i Forsmarksområdet: basinventering inför uppföljning av gölgrodor i Forsmarksområdet. Ekologigruppen AB. SKBdoc 1375045 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Almkvist S, Söderman F, 2018. Inventering av gölgröda (*Rana lessonae*) i Uppsala län 2016. Länsstyrelsen Uppsala län. (Länsstyrelsens meddelandeserie 2018:02)

Collinder P, 2013. Inventering av gölgröda, större vattensalamander och gulyxne i Forsmark 2012. SKB P-13-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Covaciu-Marcov S D, Cicort-Lucaciu A S, Mitrea I, Sas I, Căuş A V, Cupşa D, 2010. Feeding of three syntopic newt species (*Triturus cristatus*, *Mesotriton alpestris* and *Lissotriton vulgaris*) from Western Romania. North-Western Journal of Zoology 6, 95–108.

Fog K, Schmedes A, Rosenørn de Lasson D, 1997. Nordens padder och krybdyr. København: Gad.

Holmberg E, 2021. Inventering av gölgröda och större vattensalamander i Forsmarksområdet 2020. SKB P-20-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kiibus M, 2009. Återintroduktion av större vattensalamander i Judarskogen. Länsstyrelsen i Stockholms län.

Kiibus M, Ohlin V, 2015. Återintroduktion av större vattensalamander i Kyrksjölöten: rapport från återintroduktion av större vattensalamander i Kyrksjölötens naturreservat, Bromma, Stockholm, 2015. Stockholms stad.

Lindgren B, Nilsson J, Söderman F, 2014. Åtgärdsprogram för gölgröda, 2014–2019 (*Pelophylax lessonae*): hotkategori: sårbar (VU) Rapport 6631, Naturvårdsverket.

Luiselli L, Filippi E, Capula M, 2005. Geographic variation in diet composition of the grass snake (*Natrix natrix*) along the mainland and an island of Italy: the effects of habitat type and interference with potential competitors. The Herpetological Journal 15, 221–230.

Länsstyrelsen i Kalmar län, 2010. Inventering av större vattensalamander *Triturus cristatus* i Kalmar län 2009: förekomst, reproduktion och habitat. Länsstyrelsen Kalmar län. (Länsstyrelsens meddelandeserie 2010:01)

Malmgren J, 2007. Åtgärdsprogram för bevarande av större vattensalamander och dess livsmiljöer: Större vattensalamander – *Triturus cristatus*: hotkategori: livskraftig (LC). Rapport 5636, Naturvårdsverket.

McCaffery R M, Maxell B A, 2010. Decreased winter severity increases viability of a montane frog population. Proceedings of the National Academy of Sciences 107, 8644–8649.

Measey G J, Vimercati G, de Villiers F A, Mokhatla M M, Davies S J, Edwards S, Altwegg R, 2015. Frog eat frog: exploring variables influencing anurophagy. PeerJ 3:e1204. doi:10.7717/peerj.1204

Naturvårdsverket, 2005. Inventering och övervakning av större vattensalamander (*Triturus cristatus*). Version 1:0 2005-04-21. Stockholm: Naturvårdsverket.

Nordén S, Löfgren A, 2019. Inventering av juveniler och rom av gölgröda. SKB P-19-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

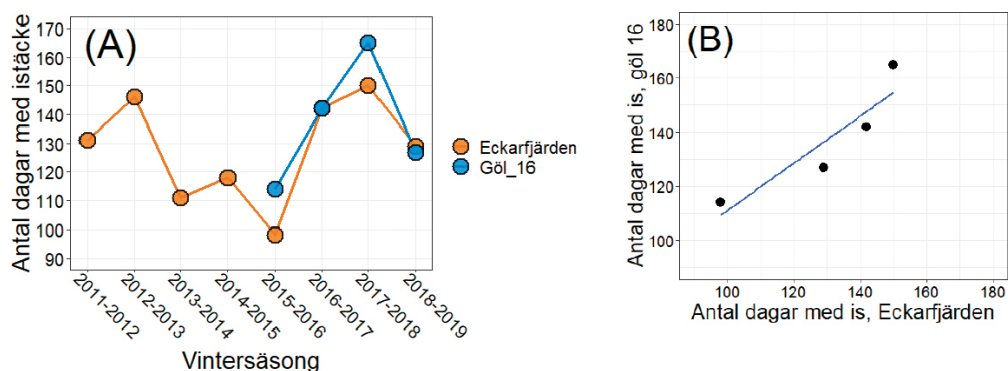
Orizaola G, Laurila A, 2009. Intraspecific variation of temperature-induced effects on metamorphosis in the pool frog (*Rana lessonae*). Canadian Journal of Zoology 87, 581–588.

Orizaola G, Quintela M, Laurila A, 2010. Climatic adaptation in an isolated and genetically impoverished amphibian population. Ecology 91, 730–737.

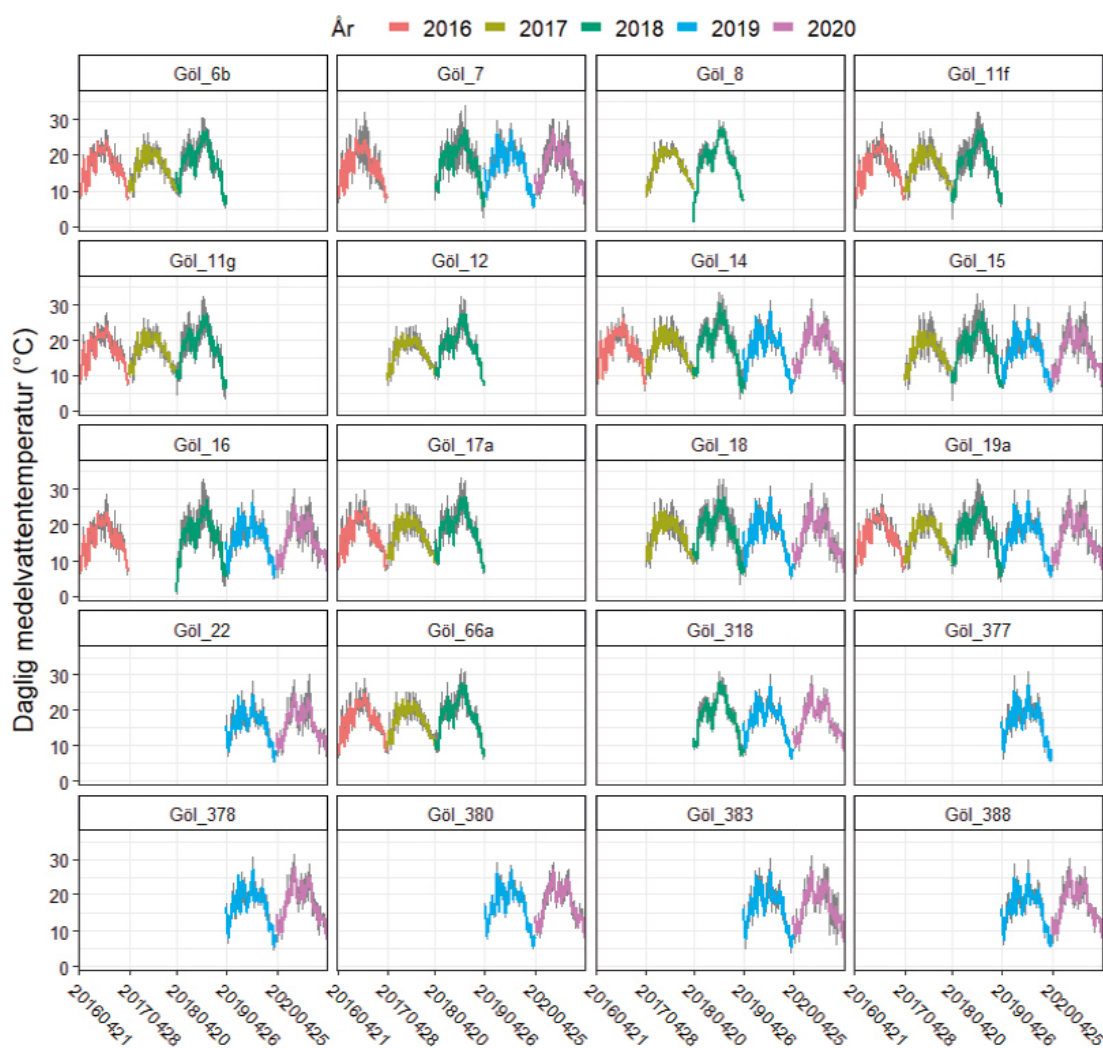
Paterson E, 2018. Changes in relative population size detection rates of great crested newts (*Triturus cristatus*) over time. The Herpetological Bulletin 143, 12–17.

- Roşca I, Gherghel, I, Strugariu A, Zamfirescu Ş R, 2013.** Feeding ecology of two newt species (*Triturus cristatus* and *Lissotriton vulgaris*) during the reproduction season. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 408. doi:10.1051/kmae/2013040
- Schneider H, Radwan N M, 1988.** Social behaviour, call repertory and variation in the calls of the pool frog, *Rana lessonae* (Anura: Ranidae). Amphibia-Reptilia 9, 329–351.
- Sewell D, Baker J M, Griffiths R A, 2015.** Population dynamics of grass snakes (*Natrix natrix*) at a site restored for amphibian reintroduction. The Herpetological Journal 25, 155–161.
- Sjögren P, Elmberg J, Berglind S-Å, 1988.** Thermal preference in the pool frog *Rana lessonae*: impact on the reproductive behaviour of a northern fringe population. Holarctic Ecology 11, 178–184.
- SKB, 2011.** Miljökonsekvensbeskrivning. Mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Wallin A, Qvarfordt S, Borgiel M, 2018.** Vattenkemiska undersökningar i sex nyanlagda gölar samt två befintliga småvatten i Forsmark. Resultat från provtagningar under perioden januari till december 2017. SKB P-18-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Wallin A, Qvarfordt S, Borgiel M, 2019.** Inventering av vegetation i nyanlagda och naturliga gölar, Forsmark 2018. SKB P-19-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Warner S C, Travis J, Dunson W A, 1993.** Effect of pH variation of interspecific competition between two species of hylid tadpoles. Ecology 74, 183–194.

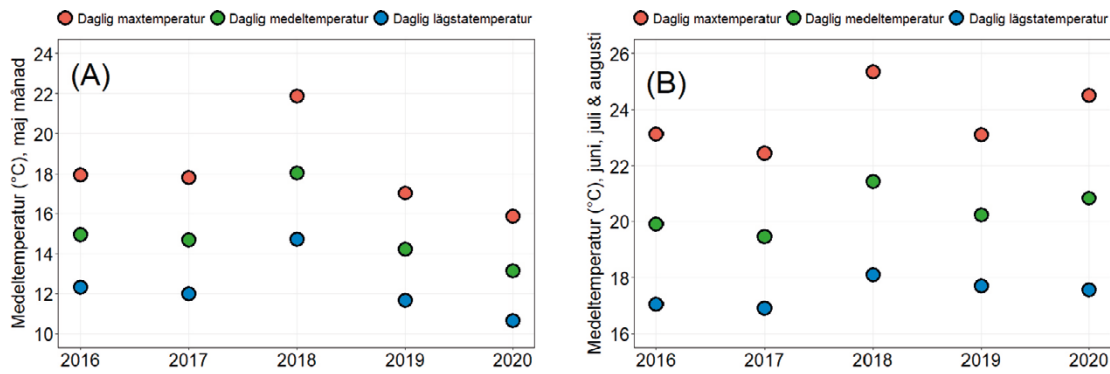
Miljövariabler



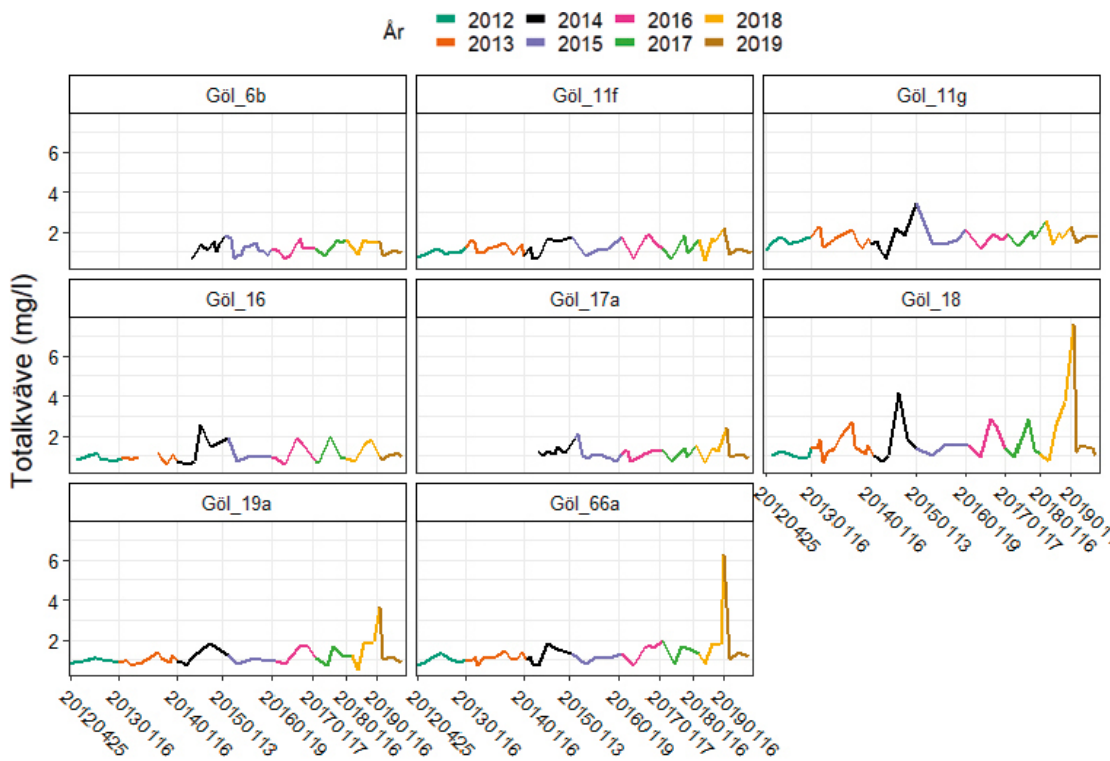
Figur B1-1. Årligt antal dagar med istäcke för Eckarfjärden och göl 16 i Forsmarksområdet där (A) visar antalet dagar per vintersäsong på Eckarfjärden och göl 16 och (B) visar korrelationen mellan antalet dagar med istäcke på Eckarfjärden och göl 16.



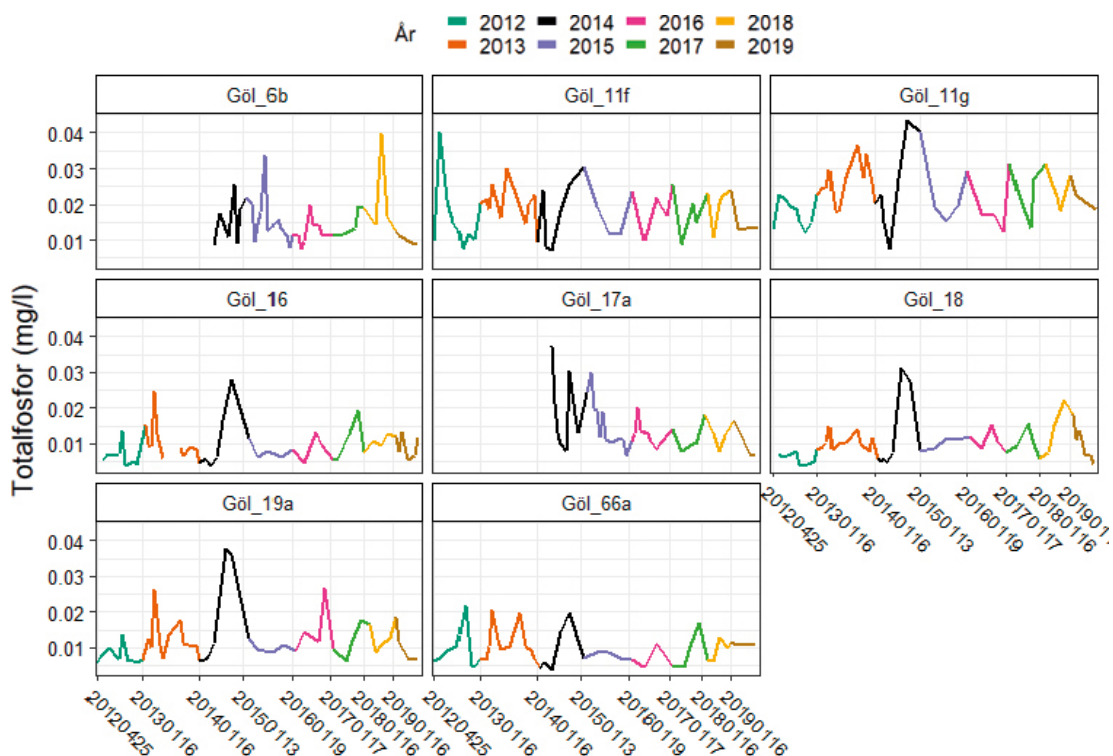
Figur B1-2. Daglig medeltemperatur (färgade linjer) samt daglig lägsta och högsta temperatur (grått område) i gölar i Forsmarksområdet under 2016–2020. Notera att x-axeln indikerar årliga startdatumen för temperaturmätningarna, vilka avslutats mellan den 6–10 oktober årligen.



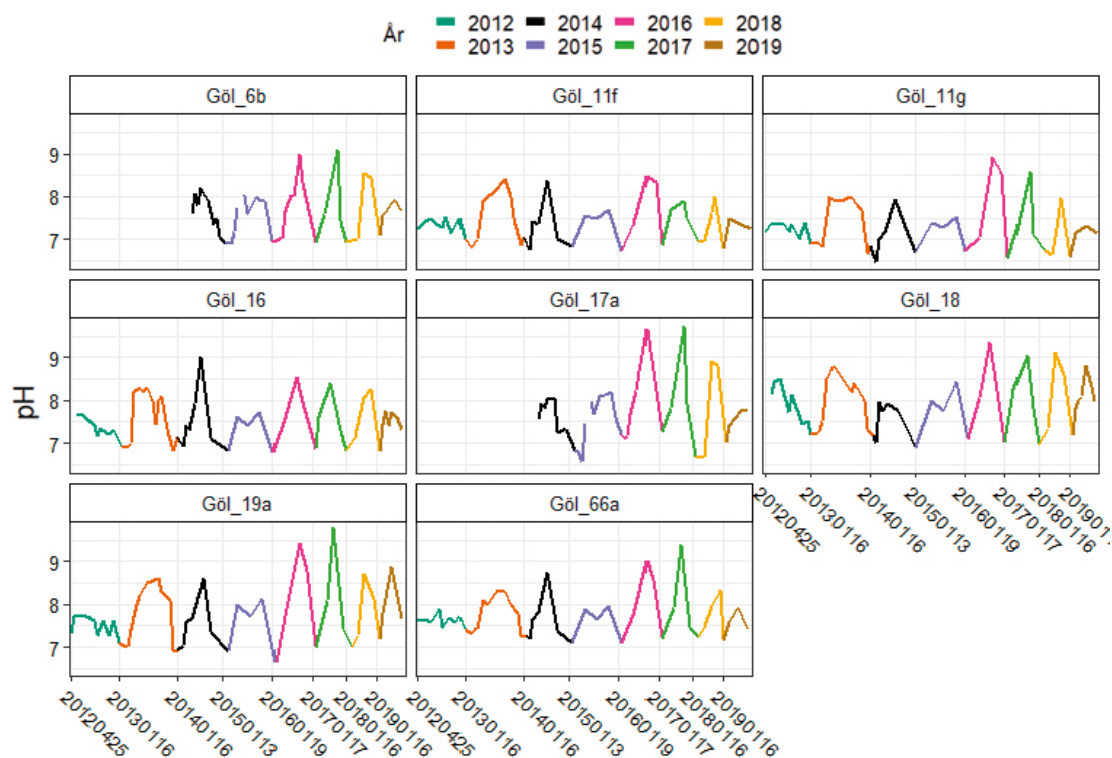
Figur B1-3. Årlig medelvattentemperatur för gölar i Forsmarksområdet under (A) maj (vår) och (B) juni, juli och augusti (sommars) baserat på daglig maxtemperatur (röda punkter), daglig medeltemperatur (gröna punkter) samt daglig lägsta-temperatur (blåa punkter). Notera att skalan på y-axeln inte är identisk mellan figur (A) och (B).



Figur B1-4. Totalkväve (mg/l) i vattenprover tagna från olika gölar (paneler) i Forsmarksområdet 2012–2019. Datum på x-axeln visar startdatum för de årliga provtagningarna. Slutdatum för vattenprovtagningen har varierat mellan år; 2012-12-04, 2013-12-02, 2014-12-01, 2015-11-30, 2016-10-13, 2017-10-11, 2018-10-10, 2019-10-17.



Figur B1-5. Totalfosfor (mg/l) i vattenprover tagna från olika gölar (paneler) i Forsmarksområdet 2012–2019. Datum på x-axeln visar startdatum för de årliga provtagningarna. Slutdatum för vattenprovtagningen har varierat mellan år; 2012-12-04, 2013-12-02, 2014-12-01, 2015-11-30, 2016-10-13, 2017-10-11, 2018-10-10, 2019-10-17.



Figur B1-6. pH i vattenprover tagna från olika gölar (paneler) i Forsmarksområdet 2012–2019. Datum på x-axeln visar startdatum för de årliga provtagningarna. Slutdatum för vattenprovtagningen har varierat mellan år; 2012-12-04, 2013-12-02, 2014-12-01, 2015-11-30, 2016-10-13, 2017-10-11, 2018-10-10, 2019-10-17.

SKB:s uppdrag är att ta hand om använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken så att människors hälsa och miljö skyddas på kort och lång sikt.

skb.se