



Aqua notes 2023:25

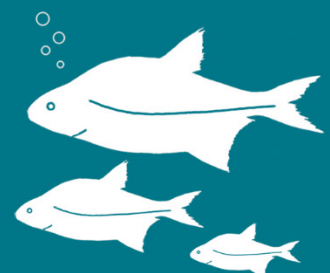
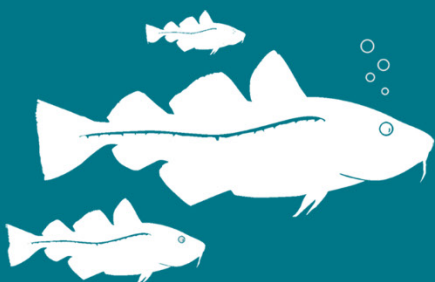
Stress hos europeisk ål under sumpning och transport

– effekter av fångst och transport

Josefin Sundin, Birgitta Jacobson, Rob van Gemert, John Persson,

Elin Myrenås, Philip Jacobson

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för akvatiska resurser



Stress hos europeisk ål under sumpning och transport - effekter av fångst and transport

Stress in the European eel during holding and transport – effects of trap and transport

Josefin Sundin, <https://orcid.org/0000-0003-1853-4046>,

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

Birgitta Jacobson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

Rob van Gemert, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

John Persson, <https://orcid.org/0009-0002-9780-0559>,

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

Elin Myrenås, <https://orcid.org/0000-0003-3894-4501>,

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

Philip Jacobson, <https://orcid.org/0000-0002-3890-4289>,

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser

Rapportens innehåll har granskats av:

Diana Hammar Perry, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Örjan Östman, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Finansiär: Havs- och vattenmyndigheten, Dnr 1857–2023 (SLU-ID: SLU.aqua.2023.5.1-179)

Rapporten har tagits fram med medel från Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från uppdragsgivarens sida.

Rekommenderad citering:	Sundin m.fl. (2023). Stress hos europeisk ål under sumpning och transport - effekter av fångst och transport. Aqua notes 2023:25. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser. https://doi.org/10.54612/a.4r2ggeh6cg
Publikationsansvarig:	Noél Holmgren, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Redaktör:	Stefan Larsson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser
Utgivningsår:	2023
Utgivningsort:	Uppsala
Illustration framsida:	Torsk (t.v.): Fredrik Saarkoppel; Braxen (t.h.): SLU
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Aqua notes
Delnummer i serien:	2023:25
ISBN (elektronisk version):	978-91-8046-704-9
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.4r2ggeh6cg
Nyckelord:	Vandringshinder, <i>Anguilla anguilla</i> , förvaltningsåtgärd, bevarande

© 2023 Josefin Sundin, Birgitta Jacobson, Rob van Gemert, John Persson, Elin Myrenås, Philip Jacobson

Detta verk är licenserat under CC BY 4.0, andra licenser eller upphovsrätt kan gälla för illustrationer.

Sammanfattning

Fångst och transport, så kallad 'trap and transport', används för att transportera fisk förbi hinder som blockerar dess vandringsväg. Metoden kan användas för att transportera fisk både uppströms och nedströms vandringshinder. Fångst och transport används ofta för att bevara fiskpopulationer och ekosystemfunktioner, men kan också användas för att förbättra möjligheterna till fiske i områden uppströms vandringshinder. Den europeiska ålen, *Anguilla anguilla*, är en art där fångst och transport används som en bevarandeåtgärd. Ålen har minskat kraftigt och är rödlistad som akut hotad av den internationella naturvårdsunionen (IUCN). Genom att samla in vuxen ål, så kallad blankål, i sjöar och andra vattendrag, transportera dem nedströms vattenkraftverk och dammar, och släppa ut dem i havet eller nedströms vandringshinder, är förhoppningen att öka mängden blankål som kan fullborda sin vandring till Sargassohavet där de reproducerar sig. Om metoden verkligen fungerar är i dagsläget okänt eftersom vi inte lyckats följa någon ål på hela dess vandring från Europas kuster till Sargassohavet. Det är däremot känt att passager genom turbiner medför dödlighet för den blankål som vandrar nedströms, varför det kan antas att fångst och transport åtminstone initialt minskar dödligheten. Under fångst och transport hanteras ålen i flera steg då de först fångas in med ett fångstredskap, därefter sumpas de en tid (i vissa fall sker transporten direkt efter insamling), för att sedan flyttas till en transporttank på en bil för att köras till platsen där de släpps ut. Dessa hanteringsmoment innebär en påverkan på ålen som kan leda till direkt dödlighet. Hanteringen kan även öka stress och orsaka skador på ålen, vilket i sin tur kan leda till förhöjd dödlighet senare, vilket har en negativ påverkan på ålens möjlighet att nå Sargassohavet och reproducera sig.

I det här projektet har vi undersökt stressnivåer hos ål genom alla steg som ingår i fångst och transport inom ramen för den kompensatoriska åtgärd som finansieras av program Krafttag ål. Genom att kirurgiskt implantera elektroniska loggrar, så kallade biologgers, kunde vi mäta ålarnas hjärtrytm, vilket sedan användes som en indikator för att tolka stressnivå. Detta gjordes på två lokaler där fångst och transport normalt sett utförs, där metoden (utöver implantering av biologgers) efterliknade normal hantering under fångst och transport av ål. Försöken utfördes under vår, sommar och höst år 2023. För att samla in data över kontrollvärden, eller basnivåvärden, på ålens hjärtrytm under relativt ostörda förhållanden förvarades ål med biologgers i en miljö som var gjord för att minska stress så mycket som möjligt. Resultaten visade att överlevanden var hög under fångst och transport då ingen ål dog under hanteringsmomenten. Ålens respons på hantering under fångst och transport var tydligt påverkad av vattentemperatur, ålarnas hjärtfrekvens var generellt högre och ökade mer under hantering vid höga vattentemperaturer. Under tiden som ålen förvarades i sump var stressnivåerna relativt låga, för att sedan öka igen då de hanterades under transporten. Stressnivåerna var höga under hela transporttiden.

Vår slutsats är att stressnivåerna under fångst och transport inte var så höga att de orsakade någon dödlighet vid de vattentemperaturer som uppmättes under märkningsförsöken (8–18° C). Vid höga vattentemperaturer var hjärtfrekvensen generellt högre, framför allt under transport. Om fångst och transport sker vid vattentemperaturer under 18–19° C så kan denna åtgärd öka möjligheterna för blankål att vandra mot Sargassohavet. Eftersom ålen utsätts för stress och hantering, samt att metoden kräver mänsklig inverkan, så bör det slutgiltiga målet vara att skapa fria vandringsvägar runt vandringshinder.

Summary

Trap and transport is used to transport fish past migration barriers that block their migration route. The method can be used to transport fish both upstream and downstream of migration barriers. Trap and transport is often used to preserve fish populations and ecosystem functions but can also be used to improve fishing opportunities in areas upstream of migration barriers. The European eel, *Anguilla anguilla*, is a species where trap and transport is used for conservation purposes. The eel has declined drastically and is classified as critically endangered by the international red list. By collecting adult eels, silver eels, in lakes and other water bodies, transporting them downstream of hydroelectric plants and dams, and releasing them into the sea or downstream of the migration barriers, the goal is to increase the proportion of silver eels that can complete their migration to the Sargasso Sea where they reproduce. Whether the method truly works is currently unknown because we have not been able to track any eel on its migration from the coasts of Europe to the Sargasso Sea. However, it is known that the mortality is very high when they pass through turbines, so it can be assumed that trap and transport, at least initially, reduces mortality. During trap and transport, the eels are handled in several stages: first, they are caught with fishing gear, then held for some time (in some cases, transport takes place immediately after collection), and then they are transferred to a transport tank on a vehicle and driven to the release site. Mortality can occur during these handling stages. Additionally, stress and injuries may occur, which in turn can lead to delayed mortality, or negatively impact the eel's ability to reach the Sargasso Sea and reproduce.

In this project, we have investigated what stress levels the eels experience throughout all steps of the trap and transport process executed within the project "Krafttag ål". By surgically implanting electronic loggers, called biologgers, we were able to measure heart rate, which can then be used as a proxy to interpret stress levels. This was done at two locations where trap and transport is normally conducted, using methods similar to those used during the typical trap and transport procedure for eels. The experiments were conducted during the spring, summer, and fall in 2023. To obtain data on control values, or baseline values, of heart rate under relatively undisturbed conditions, eels tagged with biologgers were kept in large outdoor tanks in an environment designed to reduce stress as much as possible. The results showed that survival was high during trap and transport, as no eels died during the experiment. The eels' response to handling during trap and transport was clearly influenced by water temperature with a generally higher heart rate at higher water temperatures. The heart rate also increased more during handling, and in particular so when the water temperature was high. We also observe that the eels were stressed immediately after handling and insertion of the tag, but their heart rate quickly decreased again. While the eels were held in the corves, stress levels were relatively low, though it increased again during transport handling. Stress levels remained high throughout the entire transport period.

We conclude that the stress levels during trap and transport were not so high as to cause any mortality at the water temperatures occurring during the tagging experiments (8–18°C). Though at the higher water temperatures, it took longer for the eels to recover, and the heart rate was generally higher. Trap and transport can be a relatively effective method for reducing mortality during the downstream migration of eels in water bodies with barriers. However, since eels are exposed to stress as a result of capture and handling, and the method requires human interference, the ultimate goal should be to create free passage solutions around migration barriers.

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	6
2. Material och metoder	10
2.1. Fångst och transport, lokaler och experimentdjur	10
2.2. Basnivå värden (kontroll), lokal och experimentdjur	11
2.3. Programmering av biologgers	14
2.4. Kirurgisk implantering av biologgers	14
2.5. Nedladdning och kvalitetssäkring av data från biologgers	15
2.6. Dissektionsprotokoll.....	16
2.7. Statistiska analyser.....	17
3. Resultat.....	18
3.1. Deskriptiva data	18
3.1.1. Överlevnad.....	18
3.1.2. Storlek, mognadsstadium och parasitering	18
3.1.3. Vattentemperatur	19
3.2. Ålens hjärtfrekvens vid fångst och transport	22
3.3. Vattentemperaturens påverkan på ålens hjärtfrekvens.....	26
4. Diskussion.....	33
5. Tack.....	36
Referenser.....	37

1. Introduktion

Många arter av fisk vandrar i syfte att söka föda, föröka sig och/eller för att undvika predatorer. Fångst och transport, så kallad 'trap and transport', är en metod som används för att transportera fisk förbi vandringshinder som blockerar dess vandringsväg. Metoden kan användas för att transportera fisk både uppströms och nedströms vandringshinder, exempelvis kraftverksdammar, vägtrummor, eller gamla strukturer från kvarnar och liknande. Fångst och transport används ofta i syfte att öka överlevnaden och därmed för att bevara fiskpopulationer och ekosystemfunktioner (Ward m.fl. 1997), men kan också användas för att förbättra möjligheterna till fiske uppströms vandringshinder. Metoden består av insamling, alltså fångst, av den art som ska transporteras, antingen via fiskeredskap eller olika typer av fällor eller andra insamlingsanordningar. I många fall förvaras fisken sedan en tid i någon form av sump tills transporten sker, i andra fall sker transporten direkt efter att fisken samlats in. Insamling sker uppströms respektive nedströms om vandringshindren, följt av återutsättning uppströms eller nedströms (Schmetterling 2003, McDougall m.fl. 2013). Uppströms transport används exempelvis för lax (Ward m.fl. 1997, Nyqvist m.fl. 2019, Weigel m.fl. 2019), stör (McDougall m.fl. 2013), och ålyngel (Bogdan och Waluga 1980, Boerrigter m.fl. 2015), medan nedströms transport används exempelvis för vuxen ål (Piper m.fl. 2020).

Den europeiska ålen, *Anguilla anguilla*, är en art där nedströms fångst och transport av vuxen ål används som en bevarandeåtgärd. Ålen klassas som Akut hotad på den internationella naturvårdsunionens (IUCN) rödlista över hotade arter (Pike m.fl. 2020) eftersom endast 0,4 – 8,8 % av populationen återstår (jämfört med det geometriska medelvärdet för referensperioden 1960–1976) (ICES 2023). Nedgången bedöms bero på ett för hårt fisketryck, vandringshinder, vattenkraftsinducerad dödlighet, klimatförändringar, och sjukdomar (ICES 2023). Dessa negativa effekter drabbar alla livsstadier och pågår i stora delar av ålens utbredningsområde. För att vända den negativa utvecklingen och förhindra utrotning av det europeiska ålbeståndet så upprättade EU en radsförordning (Rådets förordning (EG) nr 1100/2007 av den 18 september 2007). Enligt det långsiktiga målet ska mängden lekmogen ål (blankål) som tar sig till havet och vidare mot Sargassohavet ska uppnå 40 % (biomassa) av en referensnivå, satt som den nivå som skulle ha lekvandrat om det inte fanns någon mänsklig påverkan på ålens dödlighet (Förvaltningsplan för ål, 2008). De berörda medlemsländerna ska enligt

EU-förordningen upprätta nationella ålförvaltningsplaner, för att uppnå målet i EU-förordningen på nationell nivå (Förvaltningsplan för ål, 2008). Enligt den nationella ålförvaltningsplanen ska 2,6 miljoner blankålar lekvandra från svenska vatten årligen för att nå 40 % av den uppskattade referensnivån (Förvaltningsplan för ål, 2008). Den nationella ålförvaltningsplanen bygger på fyra huvudsakliga åtgärder, nämligen att minska turbindödligheten, att minska fiskets fångster, stödutsättningar och ökad kontroll och tillsyn. Efter det att förvaltningsplanen antagits tecknades en avsiktsförklaring mellan dåvarande Fiskeriverket och sex större kraftbolag (Dekker och Wickström 2015). Fångst och nedtransport är en av fyra valbara åtgärder som enligt avsiktsförklaringen ska reducera turbindödligheten under den tid som krävs för att genomföra mer permanenta lösningar. För att uppnå målet inom avsiktsförklaringen och implementera åtgärderna startades program Krafttag ål (Dekker och Wickström 2015). Fångst och nedtransport av blankål påbörjades 2010 och har genomförts i Göta älv, Ätran, Motala ström, Mörrumsån, Lagan, Kävlingeån, och Rönne å inom program Krafttag ål (Dekker och Wickström 2015) (notera att fångst och transport också utförs av andra aktörer). Insamling eller fångst av ål sker i sjöar och vattendrag uppströms ett eller flera vandringshinder, varefter ålen transporteras och släpps ut vid kusten eller nedströms vandringshindren (Fig. 1).

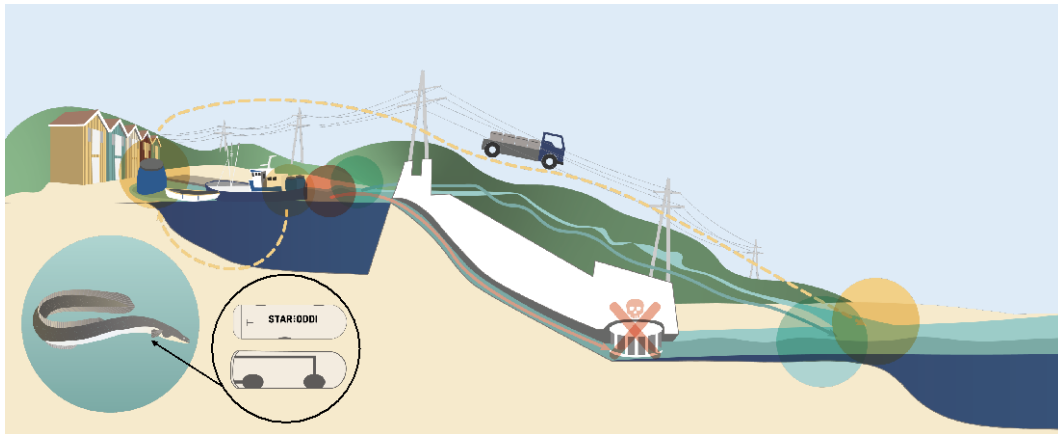
Eftersom många vattendrag i Sverige byggdes ut under första halvan av 1900-talet, eller ännu tidigare än så, innebär det att få eller ingen ål kunnat ta sig upp i dessa system naturligt under mycket lång tid. Sådana omständigheter innebär att det inte längre borde finnas någon vuxen ål att transportera nedströms. Omflyttning av ål har dock skett i Sverige under mycket lång tid (Nordqvist 1929), och sker även idag. Exempelvis samlades ål in från ålyngelsamlaren vid Olidans kraftverk i Göta Älv, och data över mängd insamlad ål finns sedan år 1900 (ICES 2023). Dessa ålar flyttades uppströms i samma system eller sattes ut i andra system med vandringshinder (data från SLU, Institutionen för akvatiska resurser). Insamling och återutsättning av ålyngel från ålyngelsamlare gjordes förr som nu i regi av kraftverksbolagen i de fall utsättning/uppflyttning av ål är ett villkor i kraftverkens vattendomar. Återutsättningarna görs även som en åtgärd för att stärka fiskemöjligheterna, inte primärt som en naturvårdsåtgärd för att stärka beståndet. Om ål som härstammar från denna typ av omflyttning och återutsättningar sedan transporteras nedströms inom ett fångst- och transportprogram så kan återutsättningen ändå potentiellt ha en populationsstärkande effekt. Utöver omplacering och återutsättningar så sätts även importerade ålyngel ut som en åtgärd inom ålförvaltningsplanen, med syfte att snabbt öka antalet ål i svenska vatten, och därmed öka mängden framtida möjliga blankålar som lekvandrar (Förvaltningsplan för ål, 2008). Eftersom rekryteringen av ål minskat betydligt i Sverige på senare tid så samlas de yngel som ingår i det svenska ålyngelutsättningsprogrammet in från flodmynningsområden i sydvästra Europa. Ålynglen transporteras till Sverige och

släpps ut i områden med uppväxtmiljöer som anses vara goda för ål (Dekker och Beaulaton 2016). Enligt beräkningar i ålförvaltningsplanen behövs det utsättningar av 2,5 miljoner ålyngel årligen (i kombination med övriga åtgärder) för att uppnå målet för mängd lekvandrande blankål (Förvaltningsplan för ål, 2008). Enligt ålförvaltningsplanen bör utsättningarna göras i vatten utan vandringshinder, men utsättningar har även skett i utbyggda vattendrag (ICES 2023) (data från SLU, Institutionen för akvatiska resurser). I tillägg till de utsättningar som är en del av ålförvaltningsplanen, och de som görs i regi av kraftverksbolagen (både som ett krav enligt domar och som en frivillig åtgärd inom ramen för Krafttag ål), så görs även utsättningar av fiskevattenägare, det yrkesverksamma fisket, föreningar, och privatpersoner (data från SLU, Institutionen för akvatiska resurser). Syftet med dessa utsättningar kan vara för att stäkra beståndet eller för att stärka fisket. Sammantaget innebär detta att betydande mängder ål både omplaceras och importerats från södra Europa för att sättas ut i Sverige varje år, av olika aktörer och anledningar, varav en del sätts ut i vattendrag utan fria vandringsvägar (totalt har det importerats och satts ut mellan 0,4–3,1 miljoner ålyngel årligen i Sverige under 2018–2022, ICES 2023).

I väntan på åtgärder för att skapa fria vandringsvägar som exempelvis utrivning av dammar eller anläggande av fungerande fiskpassager så är fångst och transport ett av få verktyg som finns tillgängligt för att öka överlevnaden av nedströms vandrande ål. Under fångst och transport hanteras ålen i flera steg då de först fångas in med ett fångstredskap, vanligtvis någon typ av ryssja eller bottengarn, därefter sumpas de en tid (i vissa fall sker transporten direkt efter insamling), för att sedan flyttas till en transporttank på en bil eller lastbil för att köras till platsen där de sedan släpps ut. Dessa hanteringsmoment innebär en påverkan på ålen som kan leda till dödlighet, även om denna är lägre än vid passage genom turbiner (Jacobson och Jacobson 2022). Utöver denna dödlighet kan det uppstå stress och skador, vilket i sin tur kan leda till fördröjd dödlighet vilket innebär en negativ påverkan ålens möjlighet att nå Sargassohavet för att reproducera sig. Om fångst och transport verkligen fungerar är i dagsläget okänt eftersom vi inte har kunnat följa någon ål på hela dess vandring från Europas kuster till Sargassohavet. Det är däremot välkänt att dödligheten för ål är väldigt hög när de måste passera turbiner (Algera m.fl. 2020), varför det kan antas att fångst och transport åtminstone initialt minskar dödligheten.

I det här projektet har vi undersökt stressnivåer hos ål genom alla steg av fångst och transport processen. Detta gjordes genom att kirurgiskt implantera elektroniska loggar, så kallade biologgers, som mäter hjärtrytm. Hjärtrytm samvarierar med koncentrationen av stresshormonet kortisol hos exempelvis regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) vilket tyder på att hjärtfrekvens går att använda som en indikator på stress hos fisk (Brijs m.fl. 2019, Hjelmstedt m.fl. 2022). Vi har mätt hjärtrytm under sumpning, förflyttning från sump till transport, transport, och

utsläpp från transport. Detta gjordes på två lokaler där fångst och transport normalt sett utförs, med metoder som, förutom implantering av biologgers, efterliknade normal hantering av ål under fångst och transport. För att få kontrollvärden, eller basnivåvärden, på hjärtrytm under relativt ostörda förhållanden så gjordes implantering av biologgers på ål som sedan hölls i en miljö som var utformad för att minimera ålens stress. Detta försök utfördes i en kontroll-lokal på Sötvattenslaboratoriet, SLU, Institutionen för akvatiska resurser, vid Mälaren. Försöken utfördes under vår, sommar och höst år 2023.



Figur 1. Konceptuell illustration av fångst och transportprocedur för vuxen blankål (gul streckad pil och cirklar), i jämförelse med den alternativa vägen genom ett eller flera vattenkraftverk och turbiner (rosa pil, cirkel och kryss) och jämfört med den naturliga vandringvägen i ett vattensystem utan vandringshinder (blå pilar och cirklar). Fångst och transport proceduren består av insamling av ål från fiskeredskap eller fällor uppströms vandringshinder, sumpning i tankar på land eller sumpar nedsänkta i vattnet (till vänster i figuren), transport förbi vandringshindren, och utsättning nedströms. Elektroniska loggar, så kallade biologgers (STAR:ODDI) implanterades kirurgiskt i ålar, loggarna mäter hjärtrytm och användes för att undersöka nivåer av stress under sumpning och transport. ©Susanne Landis, SCIENTISTRATION.

2. Material och metoder

För att undersöka om fångst och transport påverkar stress hos ål mättes hjärtrytm, som en indikator på stress, med kirurgiskt implanterade elektroniska loggar, så kallade biologgers. Detta gjordes under hela fångst och transport processen på två lokaler vid sjöarna Glan och Vänern, där fångst och transport kontinuerligt utförs inom program Krafttag ål. De metoder som användes i studien var utformade för att efterlikna normal hantering av ål under fångst och transport. För att samla in data på hjärtrytm under relativt ostörda förhållanden, som en form av kontrollvärden eller basnivåvärden, så förvarades ål märkt med biologgers i stora utomhuskar på Sötvattenslaboratoriet, Sveriges lantbruksuniversitet. Försöken utfördes under vår, sommar och höst år 2023. De ålar som genomgått fångst och transport vid Glan och Vänern släpptes ut i en håv vid utsläppsplatsen (i stället för att släppas ut i naturen) och avlivades. Detta för att plocka ut biologgrarna och ladda ner data samt för att dissekera ålarna. Biologgrarna återanvändes mellan varje försök/lokal, varför försöken utfördes efter varandra i tid och inte samtidigt vid respektive lokal. Alla försök utfördes under djuretiskt tillstånd Dnr 5.8.18-05062/2021 och tilläggstillstånd Dnr 5.8.18-04754/2023, utfärdade av Jordbruksverket.

2.1. Fångst och transport, lokaler och experimentdjur

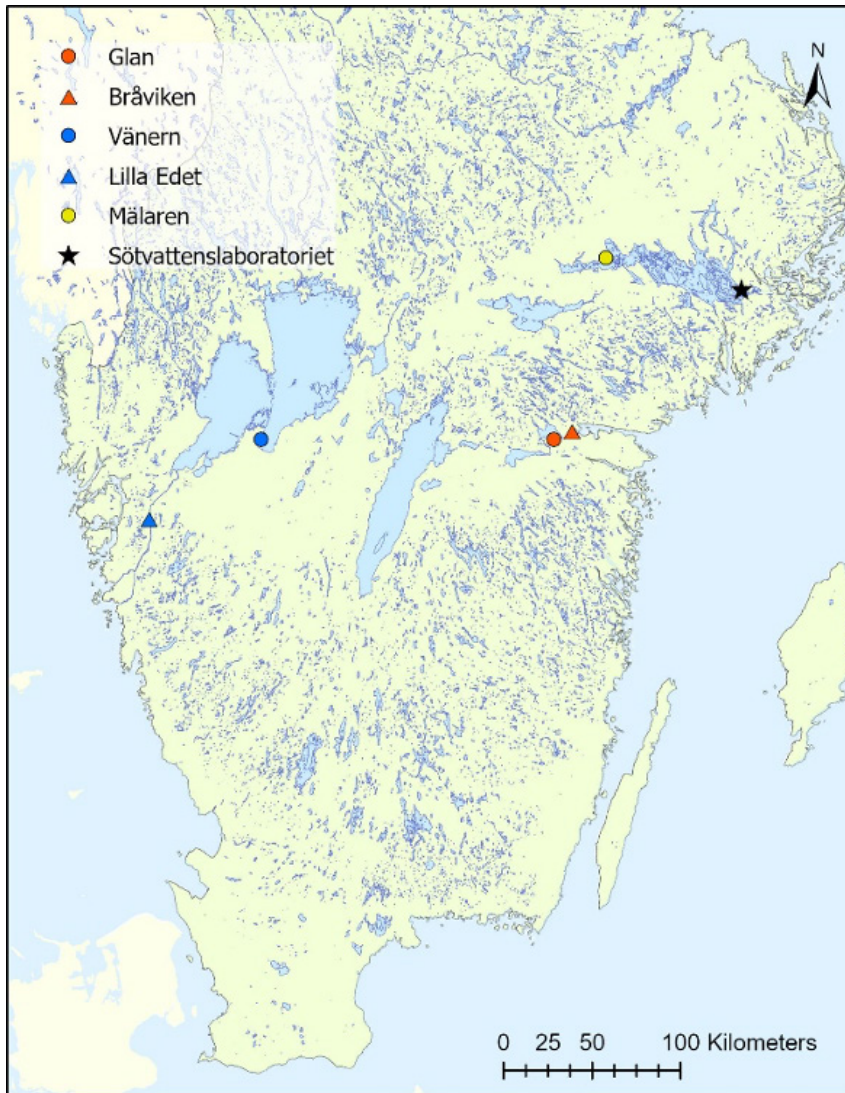
Metoderna för att undersöka stress under fångst och transport i denna studie har utgått från hur ål hålls, transporteras och återutsätts inom ramen för program Krafttag ål (Jacobson och Jacobson 2022). Vissa anpassningar gjordes, där den största skillnaden mot vanlig fångst och transport var att ålen släpptes ut i en håv vid utsläppsplatsen, i stället för att släppas ut i naturen, och avlivades vet. De lokaler som användes var Glan och Vänern (Fig. 2). Vid Glan (58°58'71.6"N, 16°00'47,3"E) fångades ål in och förseddes med biologgers vid två tillfällen (maj och oktober) och vid Vänern (58°33'11.4"N 13°09'56.2"E) vid ett tillfälle (juni). Vid båda lokalerna hade ål fiskats (med bottengarn) av yrkesfiskare i syfte att användas till fångst, transport, och nedströms utsättning. Efter fisket förvarades ålarna i yrkesfiskarnas sumpar i väntan på transport. Vid dagen för märkning valdes 55 ålar slumpmässigt ut, de håvades upp ur sumpen, samtliga fick implantat med

biologgers (se punkt 2.3 nedan), och placerades i sex experimentsumpar (9–10 ålar per sump). Sumparna var numrerade (1–6), tillverkade av blå vattentunnor i plast (200 liter) med borrarade hål (10,5 mm diameter, med ca 4 cm mellanrum) för att säkerställa vattenutbyte i tunnorna. Sumparna placerades i vattnet och bands fast med rep i en brygga vid respektive lokal. Utformningen och placeringen av sumparna efterliknade den som används vid fångst och transport. I varje sump placerades en temperaturlogger (Hobo, Tidbit MX Temp 400 eller TidbiT v2) för att mäta temperaturen kontinuerligt. Temperatur mättes också i sjön där sumparna var placerade i början och slutet av sumpningsperioden (med en handhållen temperaturmätare, YSI ProDIGITAL modell 626972, USA). Ålen hölls i sumparna under 14 dagar, eftersom detta är den vanligaste sumpningstiden vid fångst och transport utförda i Sverige (Jacobson och Jacobson 2022). Efter sumpningen lyftes sumparna ur vattnet och ålarna fördes över till transportfordonet. Denna procedur skiljde sig åt mellan lokalerna. Vid Glan flyttades ålarna till ett syresatt transportkärl (900 L) som var fyllt med vatten från sjön. Kärlet placerades på en trailer med en lyftkran och kördes sedan 35 minuter (17 km) till Bråviken (58°37'00.6"N 16°10'53.2"E) (Fig. 2), vilket är den utsläppsplats som normalt används vid fångst och transport för denna lokal. Vid Väner flyttades ålarna till en syresatt transporttank i metall (900 L) på en lastbil. Tanken var fylld med vatten från sjön. Lastbilen hade flera tankar och hämtade upp ål från flera lokaler (ål från en lokal per tank). Ålen transporterades 3 timmar (90 km) till Lilla Edet, Göta Älv (58°13'06.6"N, 12°11'90.3"E) (Fig. 2), vilket är den utsläppsplats som normalt används vid fångst och transport för denna lokal. Transporten för respektive lokal gick alltså till så som den gör under normal fångst och transport, med skillnaden att i stället för att släppa ut ålen vid utsläppsplatsen så släpptes ålarna som var försedda med biologgers ut i en håv varefter de placerades i ett bedövningsbad (bensokain 0,12 g L⁻¹, E1501-100G, Sigma-Aldrich, Inc., St. Louis, Missouri, USA). Under transporten så mättes vattentemperatur och nivåer av löst syre kontinuerligt (med en YSI ProDIGITAL 626972, USA). När ålen bedövats tillsattes ytterligare 0,24 g L⁻¹ bensokain för att avliva ålen. Därefter plockades biologgrarna ut för att kunna ladda ner lagrad data. Ålen frystes in (-20° C) för senare dissektion (se avsnitt 2.6 nedan).

2.2. Basnivå värden (kontroll), lokal och experimentdjur

Data över hjärtrytm under relativt ostörda förhållanden, som en form av kontrollvärden eller basnivåvärden, samlades in från ål med implanterade biologgers som hölls i stora utomhuskar på Sötvattenslaboratoriet, Sveriges lantbruksuniversitet (Fig. 2). Ålen hade fiskats (med bottengarn) av en yrkesfiskare i Mälaren (59°31'00.0"N 16°32'37.0"E). Ålen transporterades till

Sötvattenslaboratoriet där de förseddes med biologgers (se punkt 2.3 nedan). De placerades sedan i sju cirkulära utomhustankar (2–3 ålar per tank) vardera innehållande 7000 liter genomflödande vatten från Mälaren. Plaströr placerades i varje tank som gömsle och skydd för ålarna. I varje tank placerades en temperaturlogger (Hobo, Tidbit MX Temp 400 eller TidbiT v2) för att mäta temperaturen kontinuerligt. Temperatur mättes också i början och slutet av sumpningsperioden (med en handhållen temperaturmätare, YSI ProDIGITAL modell 626972, USA) för att möjliggöra validering av uppmätt vattentemperatur med temperaturloggarna. Ålen hölls i tankarna under 14 dagar (under denna tid fick de ingen mat, för att efterlikna behandlingen av ålarna som hölls i sump på fångst och transport lokalerna), därefter håvades de upp, bedövades, avlivades och biologgrarna plockades ut på samma sätt som för fångst och transport ålarna (se punkt 2.1). Ålen frystes in (-20° C) för senare dissektion (se avsnitt 2.6 nedan).



Figur 2. Karta över lokaler för insamling, märkning och sumpning av ål för utvärdering av stress under fångst och transport (orange och blå cirklar – sjöarna Glan och Vänern), och de ungefärliga utsättningsplatser som normalt används vid fångst och transport från dessa platser (orange och blå trianglar). Lokal som användes för att märka och hålla individer för att samla in basnivåvärden (kontroll) indikeras med en asterisk och gul cirkel för insamlingslokal.

2.3. Programmering av biologgers

Biologgrana som användes i denna studie var av modellen DST milli-HRT ACT biologger (diameter: 13,0 mm, längd: 39,5 mm, vikt: 12 g, version 36 CRC16/4800/MO/RST, Star-Oddi, Gardabaer, Island). Biologgarna kan registrera hjärtfrekvens, kroppstemperatur och aktivitet. Vi använde högkänsliga loggar eftersom ett pilotförsök i november 2022 visade att detta sannolikt var mest lämpligt för ål.

Biologgarna registrerar hjärtfrekvensen (elektrokardiogram, EKG) med hjälp av tre mätelektroder. För denna studie bestod en EKG-mätning av 1500 på varandra följande mätningar av spänning (volt), med en mättningsfrekvens på antingen 100 Hz (vid Glan i maj och vid Väneren) eller 125 Hz (vid kontrollen i Mälaren och vid Glan i oktober), vilket betyder en EKG mättid på antingen 15 eller 12 sekunder. Förändringen från 100 Hz till 125 Hz gjordes eftersom störningar från elnätet observerades efter försöket i Glan i maj, sannolikt från en elledning som var nedgrävd i närheten av platsen där sumparna placerades (förändringen hann dock inte göras innan försöket i Väneren). Eftersom Sveriges elnät går på 50 Hz gjordes antagandet att störningsbruset skulle vara lättare att filtrera bort om samplingsfrekvensen istället sattes till 125 Hz. Denna förändring har ingen absolut betydelse för mätningen av hjärtfrekvens (förändrar antalet mätningar från 100 per sekund till 125 per sekund). Temperatur mättes med biologgernas interna temperatursensor vid varje EKG-mätning.

För alla fångst och transportexperiment programmerades biologgarna att ta en EKG-mätning var 30:e minut under den tvåveckorsperiod som ålen förvarades i sump. Under transporten (med början från det att sumpen lyftes upp ur vattnet fram till ankomst vid utsläppsplatsen) hade biologgarna förprogrammerats att göra en EKG-mätning varje minut, varför tiden för transport bestämdes lång tid i förväg. För kontrollexperimentet som utfördes vid Mälaren, Sötvattenslaboratoriet, så gjordes en EKG-mätning var 30:e minut under två veckor, vilket var hela försöksperioden (fram till att ålen håvades upp och avlivades).

2.4. Kirurgisk implantering av biologgers

Biologgarna implanterades kirurgiskt enligt metoder utvecklade för lax (Brijs m.fl. 2018). Ålarna bedövades i en tunna innehållande vatten från respektive plats med

0,12 g L⁻¹ bensokain (E1501-100G, Sigma-Aldrich, Inc., St. Louis, Missouri, USA). När ålarna ansågs ha nått kirurgisk anestesi (definierad av brist på muskelrespons vid försiktig hantering), placerades de (en åt gången) på en mätbräda utrustad med en millimeterskala, vadderad med vattendränkt tyg. Ytterligare fuktade tygstycken användes för att täcka ålen för att bibehålla hudens fuktighet. Mätbrädan användes både för att mäta ålarnas längd och fungerade som operationsbord. Biologgerna implanterades genom att först göra ett snitt på 20–30 mm, ungefär 60 mm bakom den plats där hjärtslagen kunde ses genom huden. Loggern sattes sedan in med den platta änden riktad framåt och trycktes försiktigt mot hjärtsäcken tills endast den rundade änden av loggern var synlig vid den främre änden av snittet. Denna metod säkerställde att loggern var i nära anslutning till hjärtsäcken. Loggern förankrades med sidan som innehöll de två EKG-elektrodena riktade ventralt mot bukmuskulerna, mellan levern och muskelvävnaden, genom att sy fast den avrundade änden av loggern i kroppsväggen via ett hål (kanal) i det keramiska höljet på loggern (så kallad ankarsutur). En 12 mm passiv integrerad transponder-tag (PIT-tag, Oregon RFID, Portland, Oregon, USA) sattes också in i bukålan för att underlätta identifiering under de återstående momenten. Snittet syddes därefter igen med separata stygn (med 3–0 sterilt monofilament, icke-absorberbart Prolene-suturmateriäl, Ethicon Inc., Somerville, New Jersey, USA). När operationen var avslutad vägdes ålen ($\pm 0,1$ g, Mettler PC4400) och placerades i ett kar med syresatt vatten för uppvaknande från bedövningen (genomsnittlig tid från bedövning tills ålen placerades i uppvakningkaret var 11 minuter). Alla kirurgiska verktyg, loggers och suturer steriliserades i 95% etanol och sköljdes sedan i kokt kranvatten före operationen. Följande information noterades i ett kalkylblad: lokal, datum, biologger-ID-nummer, PIT-tag-nummer, ålens längd (mm), vikt (g), namn på den som utfört respektive operation, operationsstart, operationsslut, operationstid, bedövningstid, kommentar (till exempel om det fanns några synliga skador) och ID-nummer på sumpen/tanken som varje enskild ål placerades i.

2.5. Nedladdning och kvalitetssäkring av data från biologgers

Nedladdning av data från biologgerna utfördes med hjälp av Star-Oddis Mercury-programvara (v 6.41) och den tillhörande kommunikationsboxen. Hjärtfrekvensen härleddes från EKG-mätdata med hjälp av Star-Oddis HRT Analyser-programvara (version 1.2.0). Denna programvara använder en filtreringsprocess för att identifiera topparna i varje EKG-mätning, kallade R-vågor (denna studie använde anpassade filter från Star-Oddi). Därefter beräknar programvaran ett hjärtfrekvensvärde i slag per minut (BPM) för varje EKG-mätning, enligt

medellängden av RR-intervallet i EKG:t (RR-intervallet är tiden mellan två på varandra följande R-vågor i EKG:t).

Förutom hjärtfrekvens beräknar programvaran också ett motsvarande kvalitets-ID-nummer (QI) till varje uppskattning av hjärtfrekvensen. Detta QI sträcker sig från 0 (bästa kvalitet) till 3 (dålig kvalitet) och återspeglar nivån av förtroende för att den genomsnittliga RR-intervallslängden identifierades korrekt. För att säkerställa högsta möjliga noggrannhet användes endast mätningar med QI = 0 i de statistiska analyserna. Även mätningar med QI = 0 kan dock vara feltolkningar av det sanna RR-intervallet. För att ytterligare förbättra kvaliteten på data togs därför de mätningar bort där hjärtfrekvensen uppskattats baserat på ett RR-intervall, för temperaturer högre än 12° C (eftersom EKG mättiden över 12° C ska vara tillräckligt lång för att kunna fånga minst två RR-intervall, vilket innebär att om det trots detta enbart fanns ett RR-intervall så finns det risk för felmätningar). För att ta bort eventuella återstående felaktiga hjärtfrekvensuppskattningar så identifierades och avlägsnades extremvärden genom att utvärdera den absoluta medianavvikelsen (MAD). Denna metod beskrivs i detalj i Leys m.fl. (2013), och användes i en liknande analys av Føre m.fl. (2021). Kort sammanfattat så beräknas medianvärdet för datat, sedan beräknas den absoluta avvikelsen för varje datapunkt från medianen, därefter beräknas medianvärdet för all absolut avvikelse från medianen. Slutligen beräknas MAD genom att multiplicera medianen för den absoluta avvikelsen med en konstant på 1,4826 (förutsatt att data är normalfördelade). Därefter bestäms gränsen för acceptabel avvikelse. För våra analyser använde vi en konservativ gräns på tre gånger MAD-värdet. Med andra ord, om en uppskattad hjärtfrekvensavvikelse från medianen var större än tre gånger MAD-värdet så togs den bort. Ett MAD-värde beräknades separat för varje dag.

2.6. Dissektionsprotokoll

Samtliga ålar som implanterades med biologers dissekerades för att erhålla information om dess kön, livsstadium och parasitbelastning. Detta gjordes för att undersöka om det fanns skillnader på den ål som användes mellan de olika försökstillfällena. Dissektionen utfördes efter frysning och upptining enligt de metoder som beskrivs i Myrenås m.fl. (2023). För varje enskild ål mätte vi först totallängd (± 1 mm, mätt med en standardmätbräda) och vikt ($\pm 0,1$ g, Mettler PC4400). I syfte att beräkna Durif's Silver Index, ett index som redogör för i vilket livsstadium en ål befinner sig i (resident tillväxtstadium kallad gulål (I, FII), ål som initierat lekvandring mot Sargassohavet kallad halvblankål (FIII) eller blankål (FIV, FV, MII)) (Durif m.fl. 2005; 2009), mätte vi den vertikala och horisontella diametern på vänster öga ($\pm 0,01$ mm, mätt med skjutmått; Mitutoyo Absolute IP67,

Mitutoyo Corp.), och längden på den vänstra bröstfenan ($\pm 0,01$ mm, mätt med skjutmått). Kön bestämdes genom gonadinspektion. och simblåsan öppnades och alla simblåseparasiter (*Anguillicola crassus*) som var visuellt synliga räknades.

2.7. Statistiska analyser

Denna rapport innehåller deskriptiva data samt översiktliga statistiska analyser och visualisering av data. Eftersom vattentemperatur påverkar hjärtfrekvensen hos fisk (Methling m.fl. 2012, Claesson m.fl. 2016, Kwon och Kim 2023), och även dödlighet under sumpning och transport (Jacobson och Jacobson 2022), så måste detta tas i beaktande innan potentiella effekter av stress på hjärtfrekvensen kan undersökas. Temperaturens effekt på hjärtfrekvensen undersöktes genom att anpassa en linjär regressionsmodell enligt följande:

$$\log(h_i) = \beta_1 + \beta_2 t_i + \epsilon_i$$

Där \log är den naturliga logaritmen, h är den uppskattade hjärtfrekvensen, t är den uppmätta vattentemperaturen av biologgern, $\beta_1 = \text{intercept}$ och $\beta_2 = \text{lutning}$, ϵ är error-termen. För att ta bort effekten av eventuell hanterings-stress från märkningen så anpassades modellen endast till data från tiden i sump efter 48 timmars sumpningstid (data till höger om den streckade linjen i Fig. 5). Validering av modellen utfördes mot den uppmätta hjärtfrekvensen hos den ål som ingick i kontroll-märkningen vid Mälaren (vilken inte ingick i modellenpassningen), genom att jämföra predikterad hjärtfrekvens givet vattentemperaturen under sumpning mot den uppmätta hjärtfrekvensen. Slutligen användes den anpassade modellen för att prediktera hjärtfrekvens under hela tidsperioden under sumpning och under transport vid samtliga märkningstillfällen. Avvikelsen mellan den predikterade hjärtfrekvens och den observerade hjärtfrekvensen räknades sedan fram genom att subtrahera den observerade hjärtfrekvensen från den predikterade, där stora avvikelser mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens indikerar förhöjd hjärtfrekvens som inte går att förklara med enbart vattentemperatur utan sannolikt är en indikation på stress. Durif's Silver Index räknades fram med mjukvaran R version 4.2.2 (R Core Team 2022) och funktionen `fun_stage_durif()` från R-paketet `stacomiR` (version 0,6,0,7) (Briand m.fl. 2022).

3. Resultat

3.1. Deskriptiva data

3.1.1. Överlevnad

Totalt märktes 184 ålar med biologgers i studien, varav 165 genomgick samtliga hanteringsmoment i fångst, sumpning, och transport på lokalerna Glan och Vänern, och 19 ingick i kontrollmärkningen vid Mälaren. Totalt dog två märkta ålar (från kontrollförsöket vid Mälaren) vilket tyder på att hanteringen vid märkning (inklusive sövning och inplantering av biologgers) gick bra och att ål generellt klarar av denna typ av hantering.

3.1.2. Storlek, mognadsstadium och parasitering

Det fanns vissa skillnader i storlek på ålarna mellan de olika lokalerna (vilket skulle kunna bero på skillnader i födotillgång mellan lokalerna). Den ål som märktes från Glan var störst, med en medelvikt vid märkning på cirka 1,4 kg (maj) och ca 1,5 kg (oktober) (Tabell 1). Ålen från Vänern var något mindre vid tiden för märkning, med en medelvikt på ca 1 kg (Tabell 1). Ålarna från Mälaren, som användes som kontroll, var minst med en medelvikt på ca 0,97 kg (Tabell 1). Efter respektive försöks slut (och efter en viss tids förvaring i frys) dissekerades all ål, vilket gav ytterligare data. Samtliga ålar som ingick i försöket var honor. Enligt Durif's Silver Index klassificerades alla ålar från Vänern och Glan (båda tillfällena) som antingen halvblankål eller blankål (vilket tyder på att de initierat sin lekvandring mot Sargassohavet) (stadium FIII, FIV, FV), medan två ålar från Mälaren klassades som gulål (det livsstadium inom vilken ål är resident och växer sig större) (stadium FII) (Durif m.fl. 2005, Durif m.fl. 2009). Proportionen ål som bar på simblåseparasiten *Anguillicola crassus* var högst för ålen från Vänern (58%), varierade mellan 49 - 51% vid de två märkningarna i Glan, och var lägst för de ålar som ingick i kontrollmärkningen vid Mälaren (41%). Medelantalet parasiter per ål som var parasiterade var högst i Vänern (5 parasiter per ål), följt av Glan (3,2 parasiter per ål i oktober och 2,3 parasiter per ål i maj), och Mälaren (1,1 parasiter per ål) (Tabell 1).

Tabell 1. Lokal, datum, medelvikt och medellängd vid märkningstillfället (\pm standardavvikelse, SD), för de ålar som märktes (N) vid respektive lokal och märkningstillfälle (fångst och transport, T&T, lokaler: Glan och Vänern, kontroll lokal: Mälaren). Datum indikerar den dag som ålen märktes samt hur länge den hölls i sump innan transport. Kontrollålar från Mälaren transporterades inte. Utifrån dissektionsdata från försökets avslut presenteras andel ål klassad som halvblank eller blank enligt Durif's Silver Index (stadium FIII, FIV, FV), andel ål med förekomst av simblåseparasiten *Anguillicola crassus*, och antal simblåseparasiter per ål med parasitförekomst.

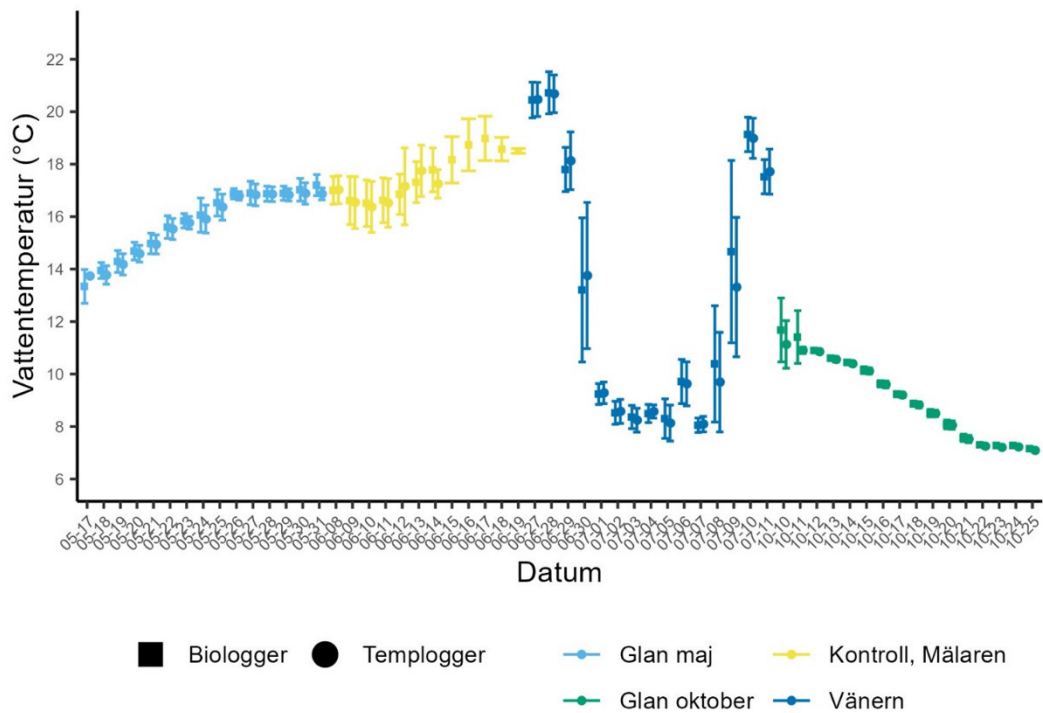
Lokal	Datum	Vikt ($\bar{x} \pm$ SD)	Längd ($\bar{x} \pm$ SD)	Blankål <i>A. crassus</i> (%)	<i>A. crassus</i> ($\bar{x} \pm$ SD)	N
T&T Vänern	27 juni–11 juli	1045,5 (324,69)	820,2 (73,81)	100%	58%	5,0 (5,2) 55
T&T Glan	17–31 maj	1386,3 (392,42)	895,0 (74,87)	100%	51%	2,3 (1,6) 55
T&T Glan	10–25 okt.	1497,7 (480,31)	912,7 (79,88)	100%	49%	3,2 (2,6) 55
Kontroll	8–14 juni	969,8 (164,97)	82,9 (44,84)	88%*	41%	1,1 (0,4) 19, 17**

** Två ålar klassades som gulål enligt Durif's Silver Index (stadium FII)

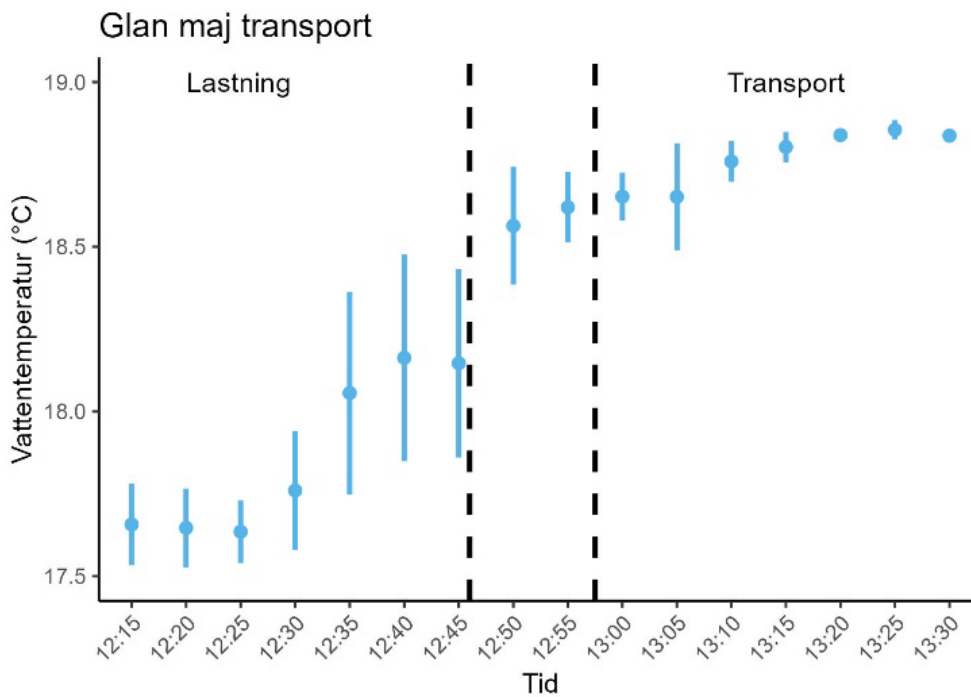
*Under kontrollförsöket med ål från Mälaren så dog två ålar, data för vikt och längd är från 19 individer (från märkningstillfället), data för andel blankål och parasitförekomst och antal är från 17 individer (från dissektionstillfället).

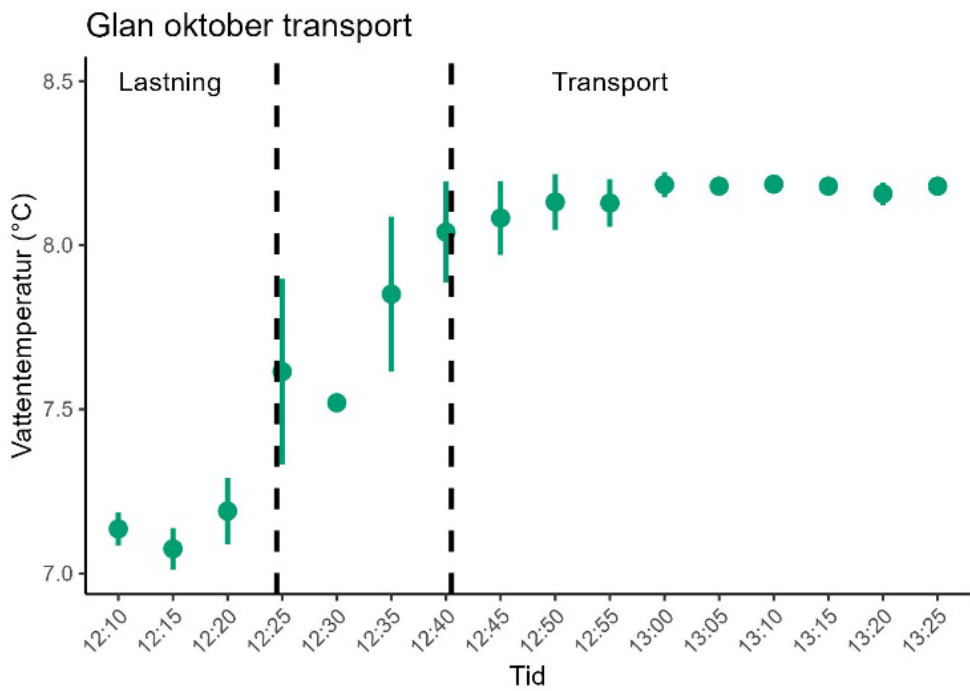
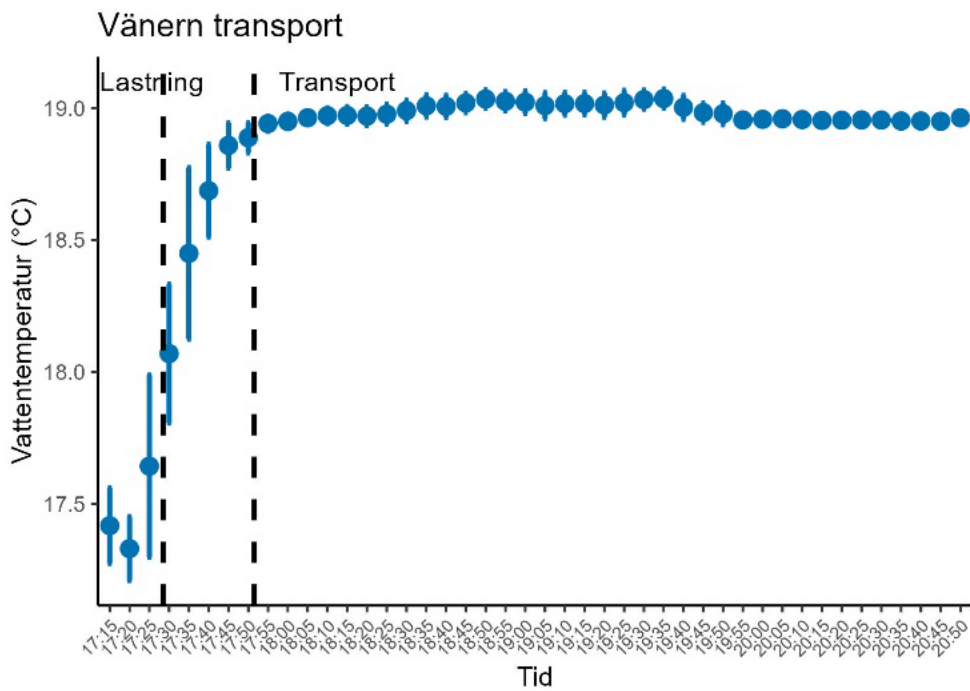
3.1.3. Vattentemperatur

Den kontinuerliga mätningen av vattentemperatur under sumpning vid märkningarna vid Glan och Vänern visade att temperaturen skiljde sig åt mellan märkningstillfällena. Vid det första märkningstillfället vid Glan i maj ökade temperaturen från knappa 14° C till ~16,5° C under tiden ålarna sumpades (Fig. 3). Vid märkningsförsöket i Vänern under månadskiftet juni/juli var vattentemperaturen först i medeltal ~20° C, för att sedan över en dag sjunka kraftigt till ~8° C i ca 7 dygn för att sedan öka igen till ~18° C under de sista två dyggen ålarna sumpades (Fig. 3). Under det andra märkningstillfället i Glan i oktober sjönk vattentemperaturen kontinuerligt från 11° C till 7° C under tiden ålarna sumpades (Fig. 3). Under kontrollförsöket med ål från Mälaren i juni varierade temperaturen mellan 16–18° C (Fig. 3). Liknande vattentemperaturer registrerades av de implanterade biologgrarna vid de olika märkningstillfällena då skillnaden mellan uppmätt vattentemperatur av temperaturloggers och biologgers var mycket liten (medelavvikelse (\pm 1 SD), Glan maj = 0,08°C (\pm 0,15), Vänern = 0,09°C (\pm 0,44), Glan oktober = 0,11°C (\pm 0,17) och Mälaren kontroll = 0,014 (\pm 0,32)), varför följande analyser använder sig av vattentemperaturdata från biologgarna (Fig. 3). Under transporten under vår och sommar var vattentemperaturerna i transportkaren likartade, i medeltal 18° C i Glan i maj och 17–19° C i Vänern i juni-juli. Under transporten efter den andra märkningen vid Glan i oktober var temperaturen 7–8° C (Fig. 4). Kontrollålen från Mälaren transporterades inte.



Figur 3. Dygnsmedelvattentemperatur under sumpning uppmätt med temploggrar (kvadratiska symboler) och med biologgrar implanterade i ål (runda symboler) under de fyra märkningstillfällena som ingick i studien (fångst och transport vid Glan i maj och oktober, i Vänern i juni-juli, och kontrollmätningar vid Mälaren i juni). Felstaplar indikerar ± 1 standardavvikelse av dygnsmedelvattentemperaturen. Notera att x-axeln inte är kontinuerlig för hela perioden utan visar datum kontinuerligt inom varje märkningstillfälle.





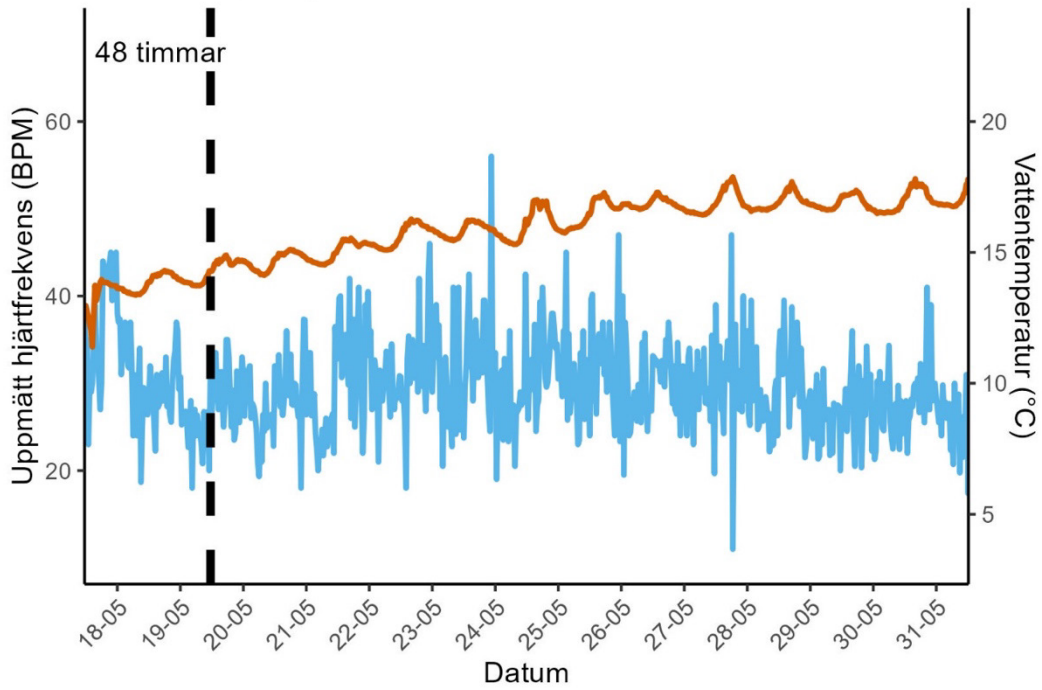
Figur 4. Medelvattentemperatur (medel beräknat för var femte minut) under flytt från sump till transport, samt under transport, uppmätt med biologgrar implanterade i ål för de tre olika fångst och transport märkningstillfällena (Glan i maj och oktober, Väner i juni-juli, ålen från kontroll märkningen vid Mälaren transporterades inte). Felstaplar visar en standardavvikelse för varje medelvärde. Streckade svart linjer visar vid vilken tid ål flyttades från sump till transporttank (lastning) samt när själva transporten av ålarna påbörjades (transport).

3.2. Ålens hjärtfrekvens vid fångst och transport

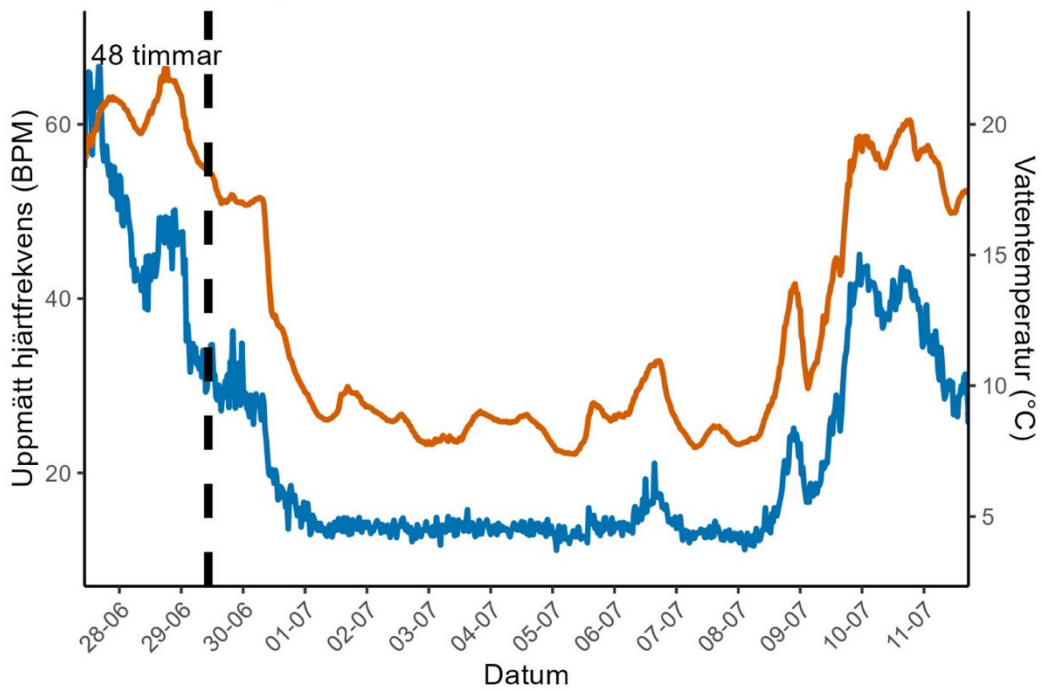
Totalt gjordes 131 233 EKG-mätningar under studien, var och en med tillhörande hjärtfrekvensuppskattning och tilldelat kvalitetsindex. Efter att ha filtrerat data så att endast data med $QI = 0$ behölls (se punkt 2.5) så återstod 19 395 uppskattningar av hjärtfrekvensen (14,8 % av den totala datamängden). Efter ytterligare filtrering av data, där hjärtfrekvensuppskattningar baserade på endast ett RR-intervall togs bort (så länge som temperaturen var högre än $12^{\circ} C$, se punkt 2.5), så återstod 19 126 hjärtfrekvensuppskattningar (14,6 % av den totala datamängden). Slutligen, efter filtrering efter MAD-poäng (se punkt 2.5) så återstod 18 787 hjärtfrekvensuppskattningar (14,3 % av den totala datamängden), vilket är det dataset som legat till grund för beräkningarna.

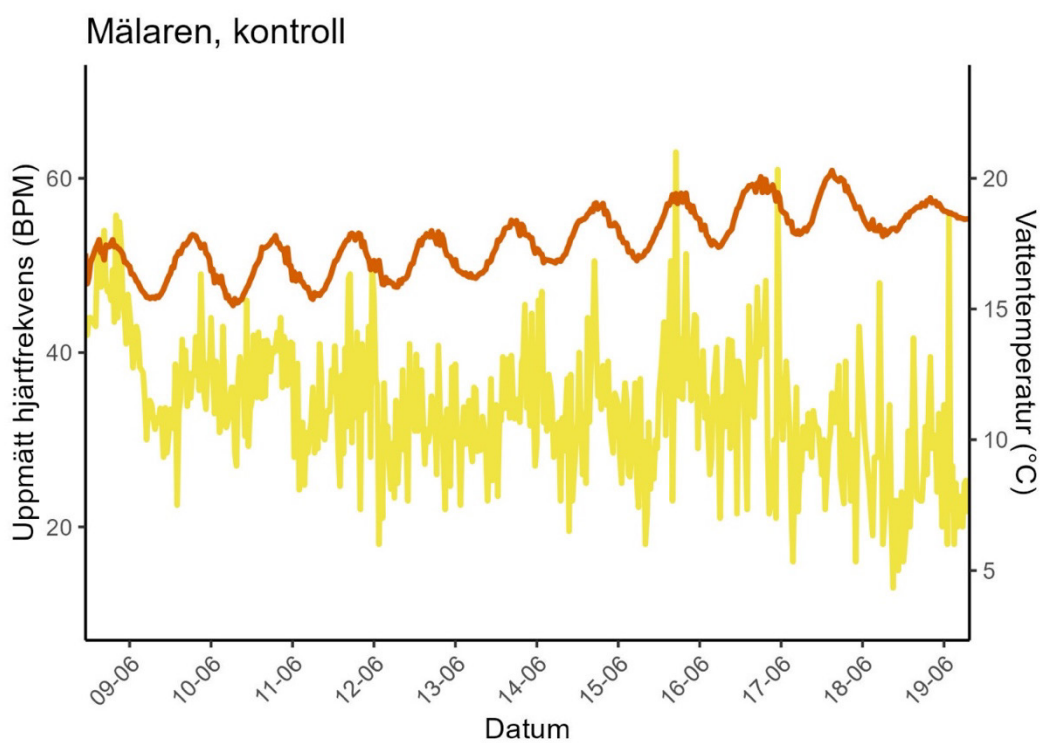
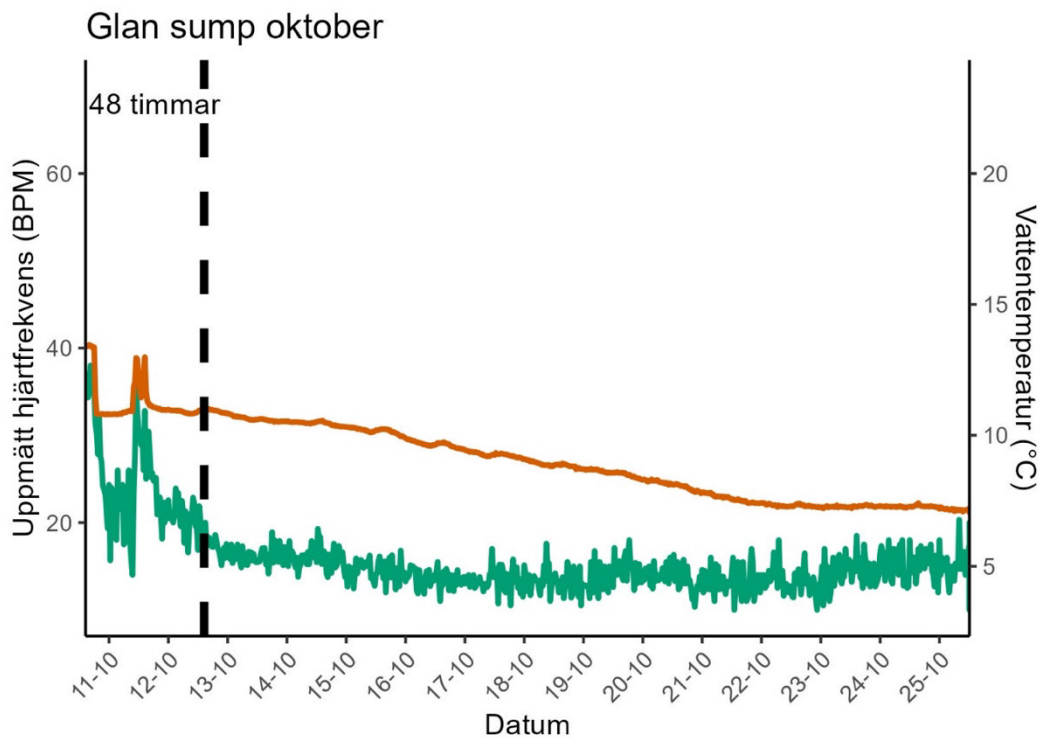
Förändringar i ålarnas hjärtfrekvens under fångst och transport visade på flera gemensamma mönster mellan märkningstillfällena. För Vänern och Glan (oktober) var hjärtfrekvensen på en hög nivå vid starten för mätningarna (strax över 60 BPM för Vänern, 35–38 BPM för Glan oktober) för att sedan minska och stabiliseras för att samvariera med vattentemperatur inom 1–2 dygn efter att ålen implanterats med biologgers och placerats i sumpen (Fig. 5)). Vid märkningen i Glan i maj varierade ålarnas hjärtfrekvens generellt mellan 20–40 slag per minut (BPM) under hela sumpningsperioden och ingen tydlig effekt av märkningen syns i början av sumpningsperioden (Fig. 5). Vid märkningen i Glan i oktober varierade ålarnas hjärtfrekvens mellan 10–20 BPM under tiden i sump från 48 timmar och senare. Vid märkningen i Vänern varierade hjärtfrekvensen mellan 15–45 BPM under sumpningen från 48 timmar och senare och under kontrollmärkningen mellan ~20–40 BPM från 48 timmar och senare (Fig. 5). Uppmätt hjärtfrekvens i Glan i maj och Mälaren kontrollförsöket visade på större variation över tid jämfört med Vänern och Glan i oktober. Ålarna som märktes vid Glan (maj) och Vänern flyttades från sump till transport ökade deras hjärtfrekvens snabbt för att sedan stabiliseras inom intervallet 40–70 BPM under hela transporttiden (ca 3 timmar vid märkningstillfället i Vänern och ca 35 minuter vid Glan) (Fig. 6). Under transporten efter det andra märkningstillfället i Glan (oktober) var hjärtfrekvensen stabil kring 15–25 BPM med en mindre ökning i hjärtfrekvens i samband med flytt från sump till transporttank eller under transport (Fig. 6).

Glan sump maj

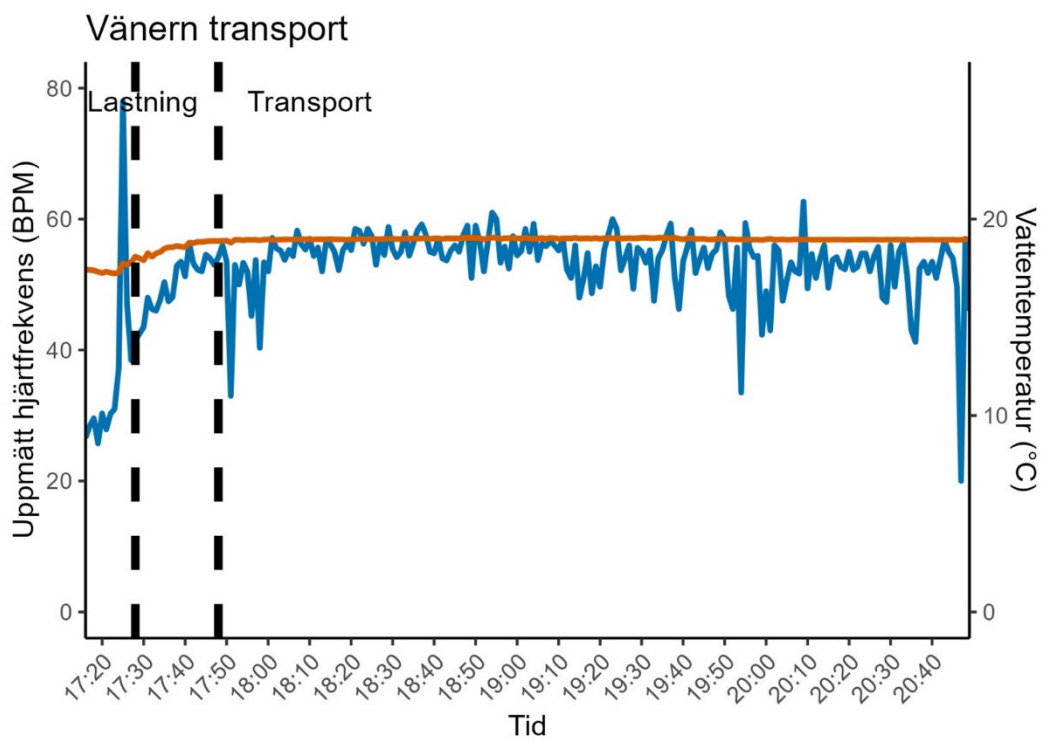
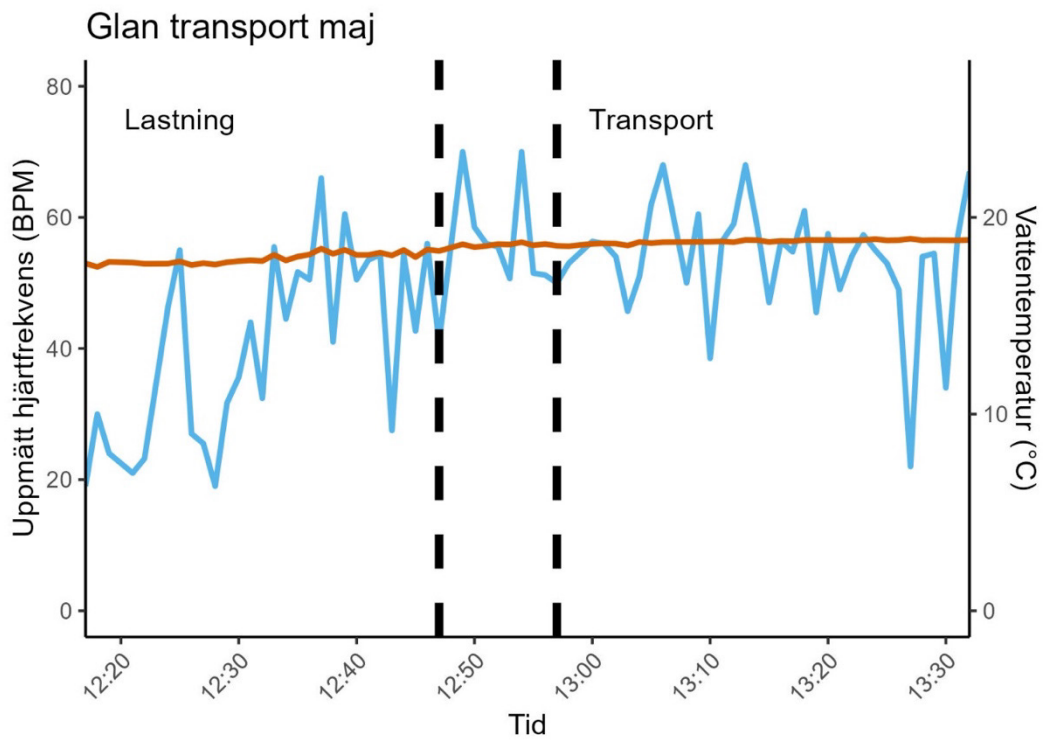


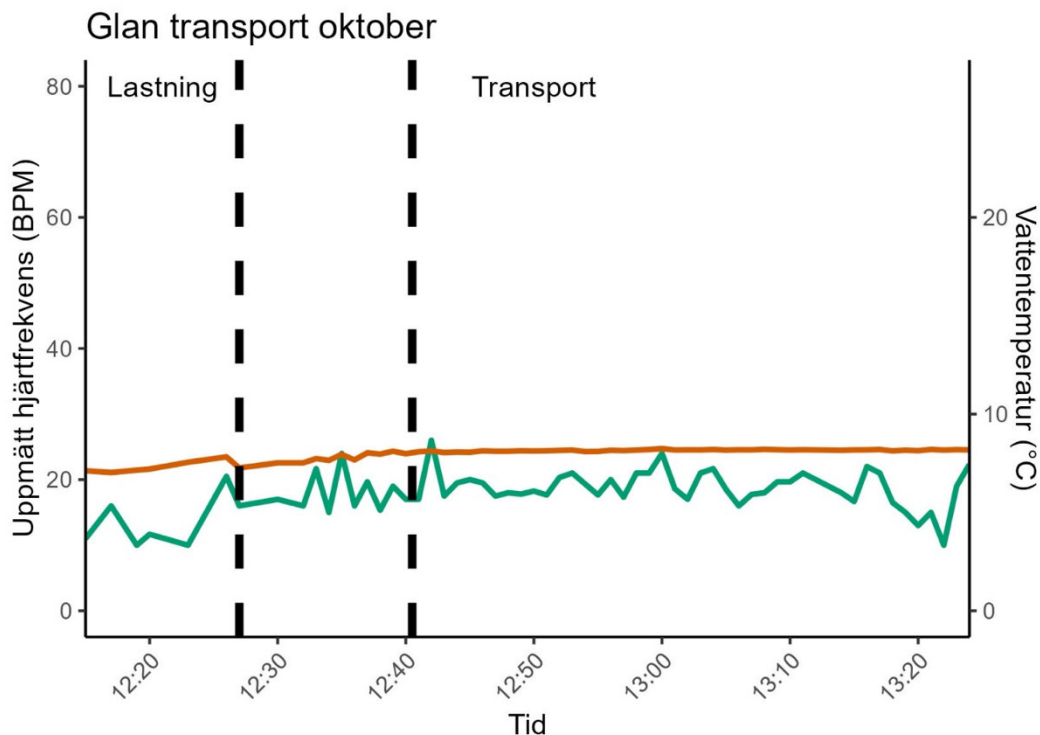
Vänern sump





Figur 5. Uppmätt hjärtfrekvens (medelvärde) i ål försedda med biologgrar under sumpning för de tre olika fångst och transport märkningstillfällena (Glan i maj och oktober, Vänern i juni-juli) samt kontrollmätningen vid Mälaren. Vertikal streckad linje visar 48 timmar efter att ålen placerats i sumpen vid de tre märkningsförsöken för vilka data från 48 timmar och senare användes för att analysera förhållandet mellan hjärtfrekvens och vattentemperatur. Data från kontrollförsöket användes inte i denna analys varför den panelen inte har någon streckad linje.





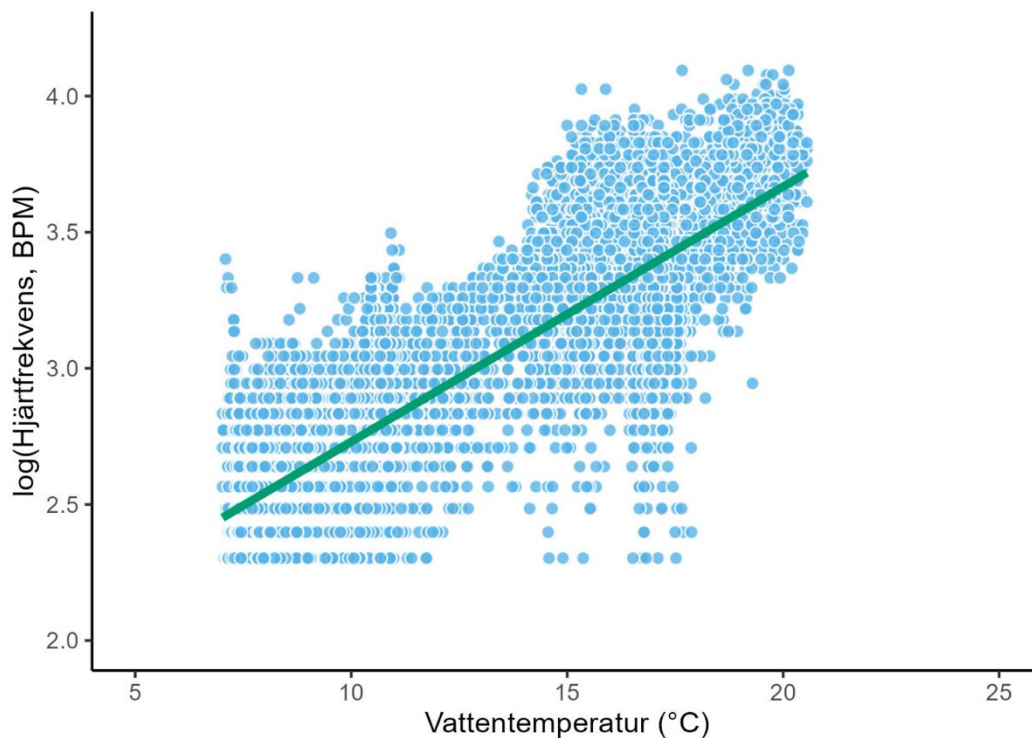
Figur 6. Uppmätt hjärtfrekvens (färgad linje, medelvärde) och vattentemperatur (röd linje) under flytt från sump till transport, samt under transport, uppmätt med biologgrar implanterade i ål för de tre olika fångst och transport märkningstillfällena (Glan i maj och oktober, Vänern i juni-juli).

3.3. Vattentemperaturens påverkan på ålens hjärtfrekvens

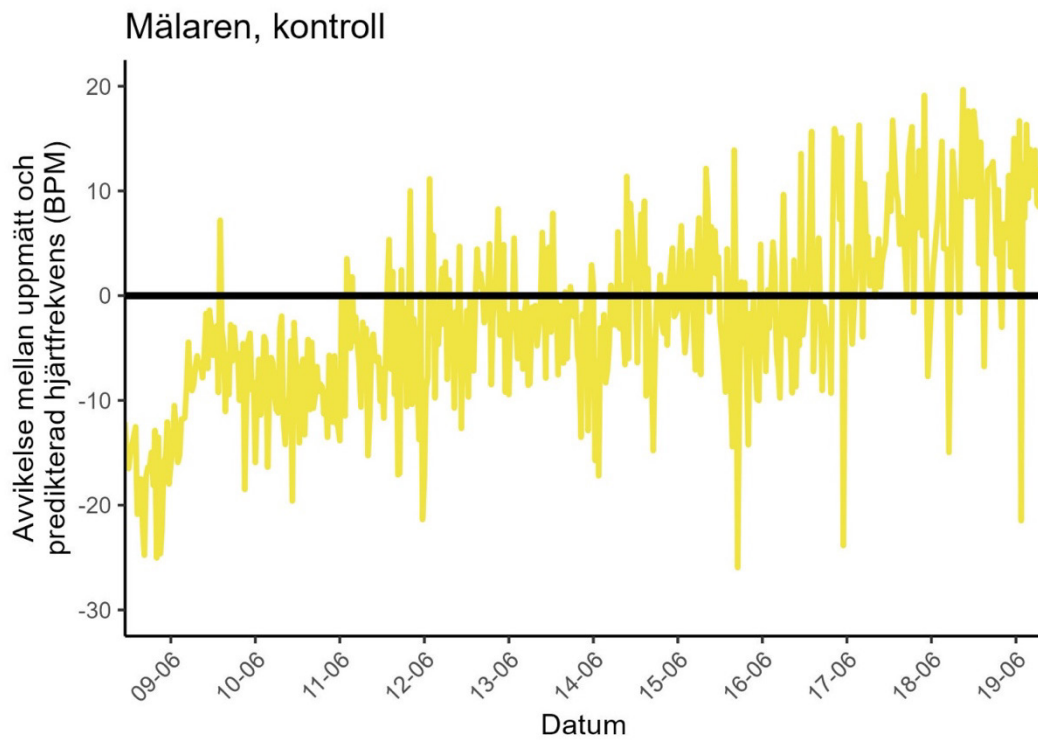
En linjär regressionsmodell anpassades för att testa förhållandet mellan vattentemperatur och hjärtfrekvens. Den anpassade regressionsmodellen som uppfyllde kraven på homogen spridning och normalfördelade residualer var $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,79 + 0,0947 \cdot \text{vattentemperatur}$ (Fig. 7). Regressionsmodellen visade sig statistiskt signifikant ($F_{1,14282} = 35540$, $P < 0.001$) och modellens korregerade R^2 -värde = 0,71, vilket indikerar att vattentemperatur förklarar 71% av den observerade variationen i uppmätt hjärtfrekvens. Vattentemperaturen visade på en signifikant prediktion av $\log(\text{hjärtfrekvens})$ (regressionkoefficient = 0,0947, standard fel (Standard Error) = 0,000497, $P < 0,001$) (Fig. 7).

Baserat på denna modell, vilken anpassades för data från tiden ålarna förvarades i sump efter det att de återhämtat sig från märkningen (data från 48 timmar efter märkning och senare, se streckad linje i Fig. 6), predikterades hjärtfrekvensen för den uppmätta vattentemperaturen i sumparna, under transport, och vid kontrollmärkningen (Fig. 3 och 4). Modellen valideras mot den uppmätta hjärtfrekvensen

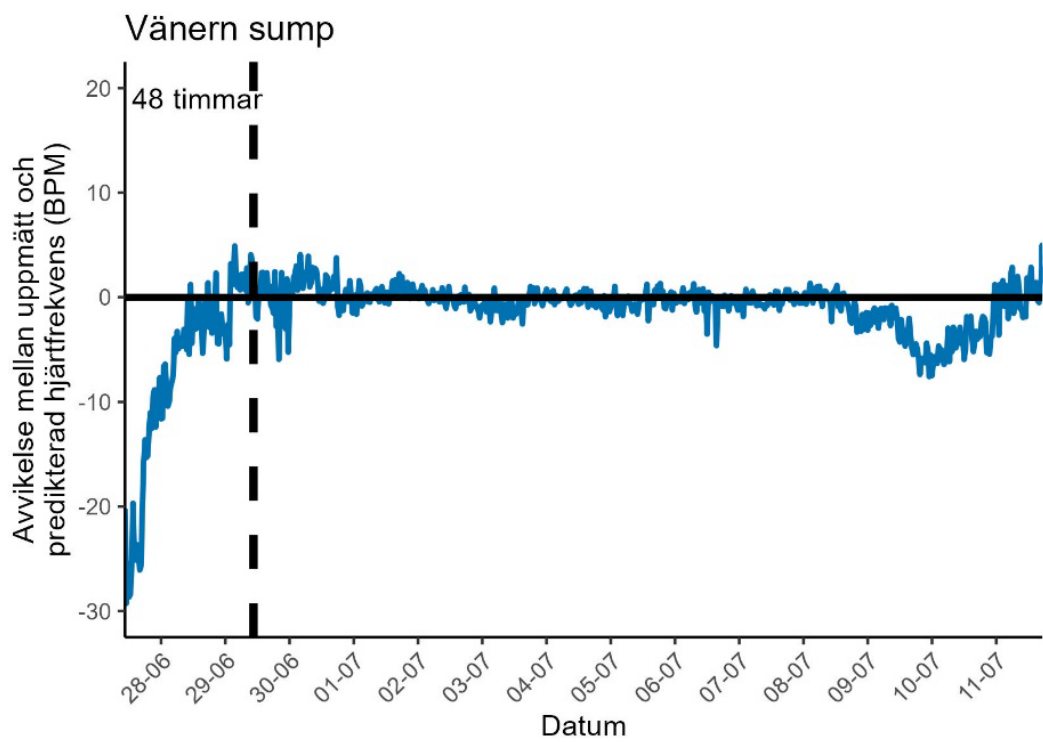
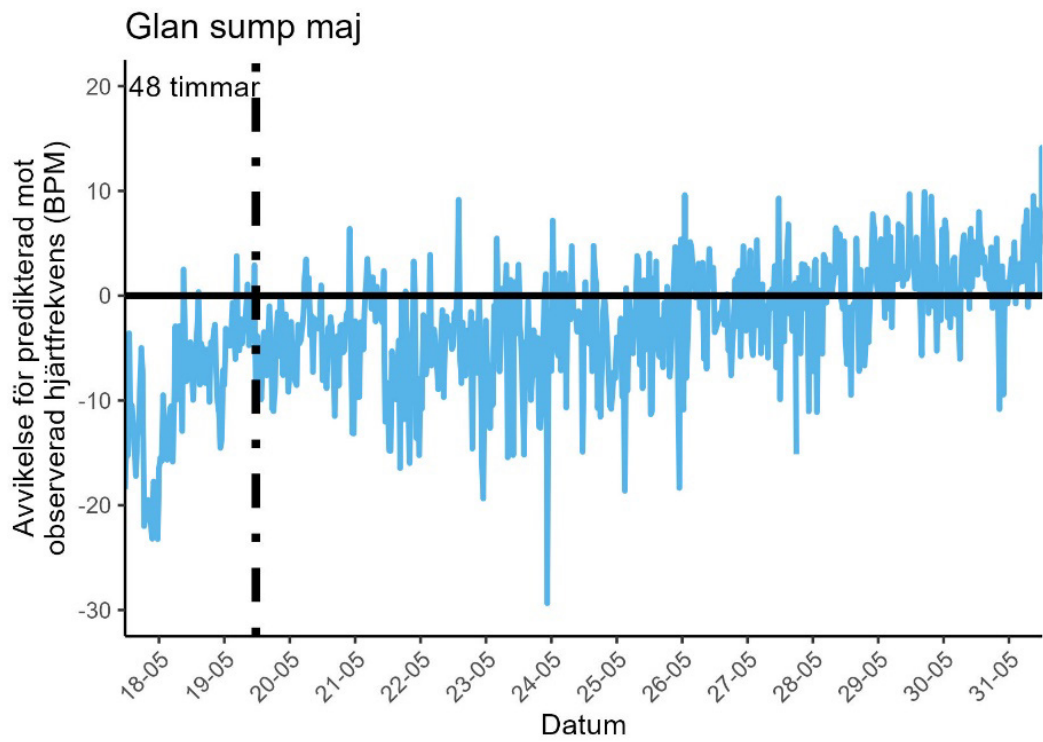
hos den ål som ingick i kontroll-märkningen (vilken inte ingick i modellenanpassningen), en validering som visade att modellen går att använda för att prediktera ålens hjärtfrekvens vid en given vattentemperatur, då den predikterade hjärtfrekvensen generellt var inom intervallet ± 10 BPM från den observerade hjärtfrekvensen (Fig. 8). Detta tyder på att modellen går att använda för att uppskatta ålens hjärtfrekvens vid olika temperaturer under opåverkade förhållanden. Det går därför också att använda modellen för att identifiera om hjärtfrekvensen avviker från samvariation med vattentemperatur. Störst skillnad mellan predikterad och observerad hjärtfrekvens observerades direkt efter märkning (skillnaden var inom intervallet 15–30 BPM, störst skillnad observerades vid Vätern (~30 BPM)). Under transport, då skillnaden mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens var ~20 BPM under transport vid märkning i Glan (maj) och Vätern, medan skillnaden var under 10 BPM under transport vid det andra märkningstillfället vid Glan (oktober) (Fig. 9 och 10).

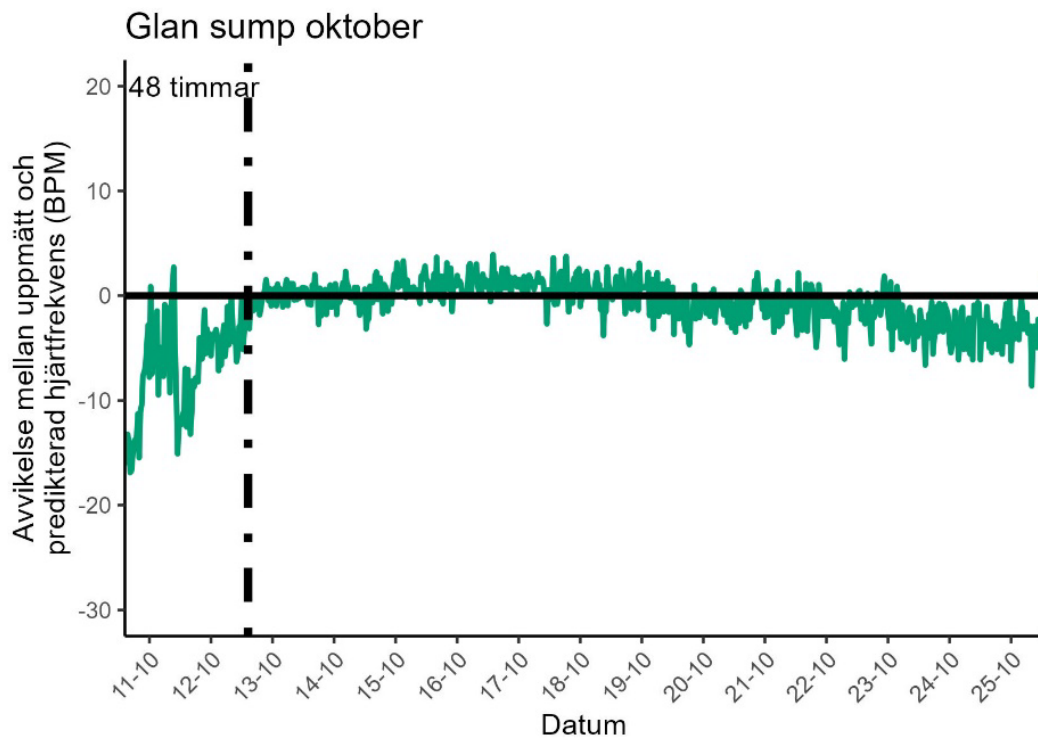


Figur 7. Anpassad linjär regressionsmodell mellan logtransformerad (log) hjärtfrekvens och vattentemperatur uppmät i ål under sumpning med inplanterade biologgrar. Varje punkt motsvarar en temperatur- och hjärtfrekvensmätning (mätpunkter från 48 timmar efter märkning och senare), grön linje visar den anpassade linjära regressionsmodellen: $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,79 + 0,0947 \cdot \text{vattentemperatur}$.

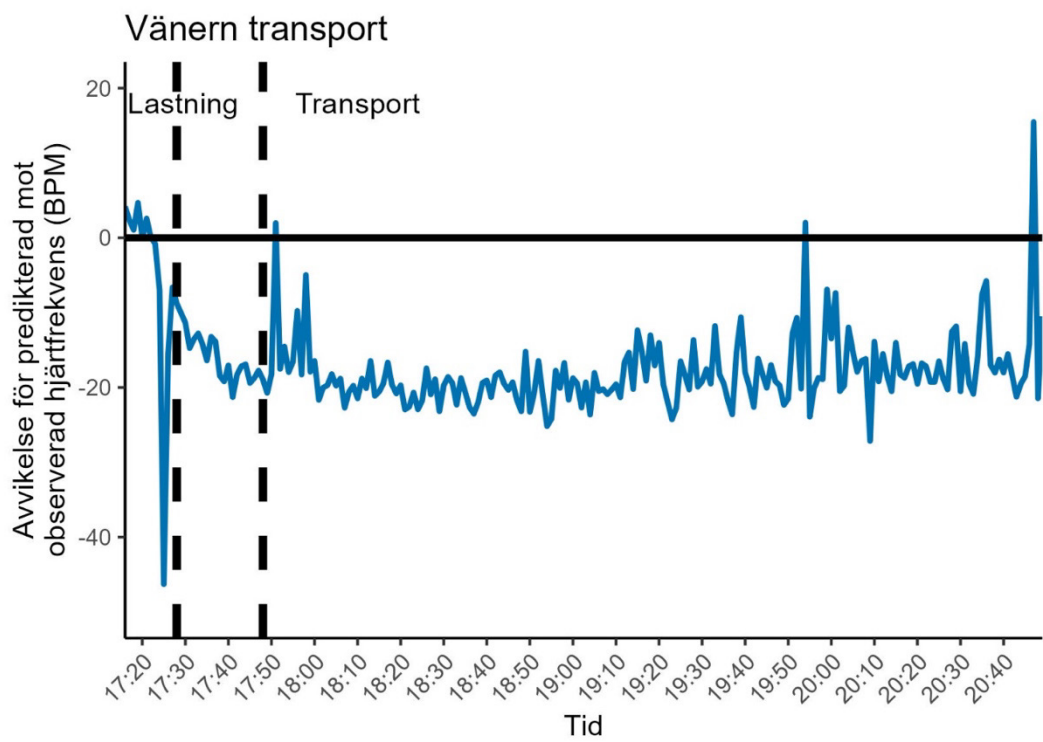
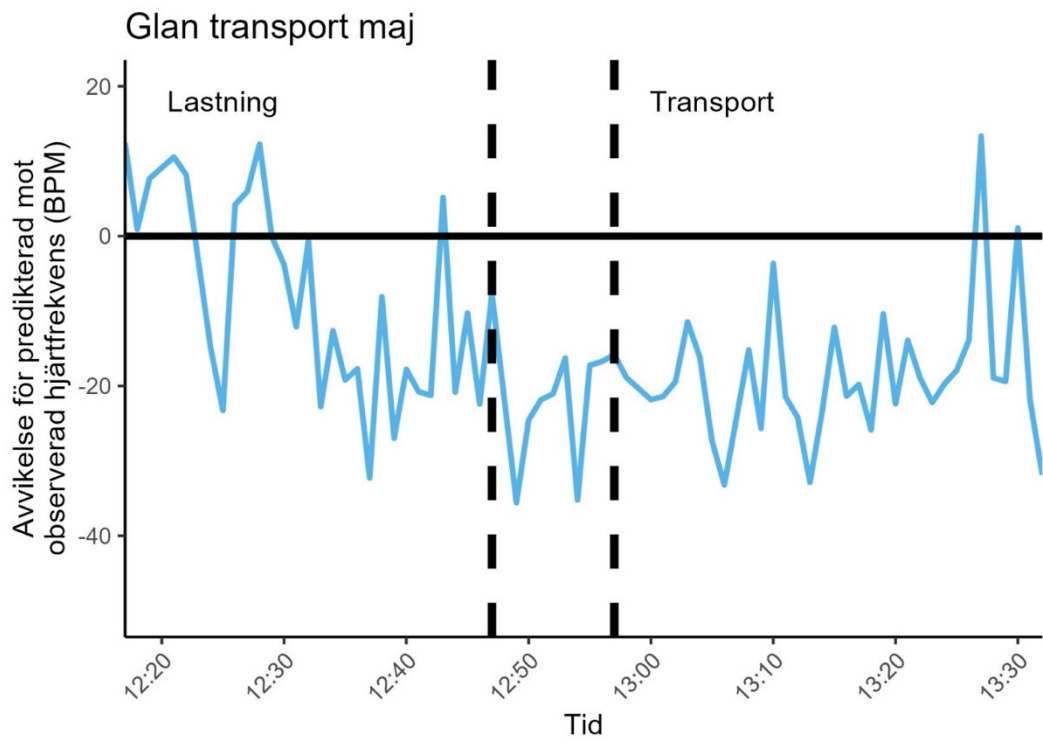


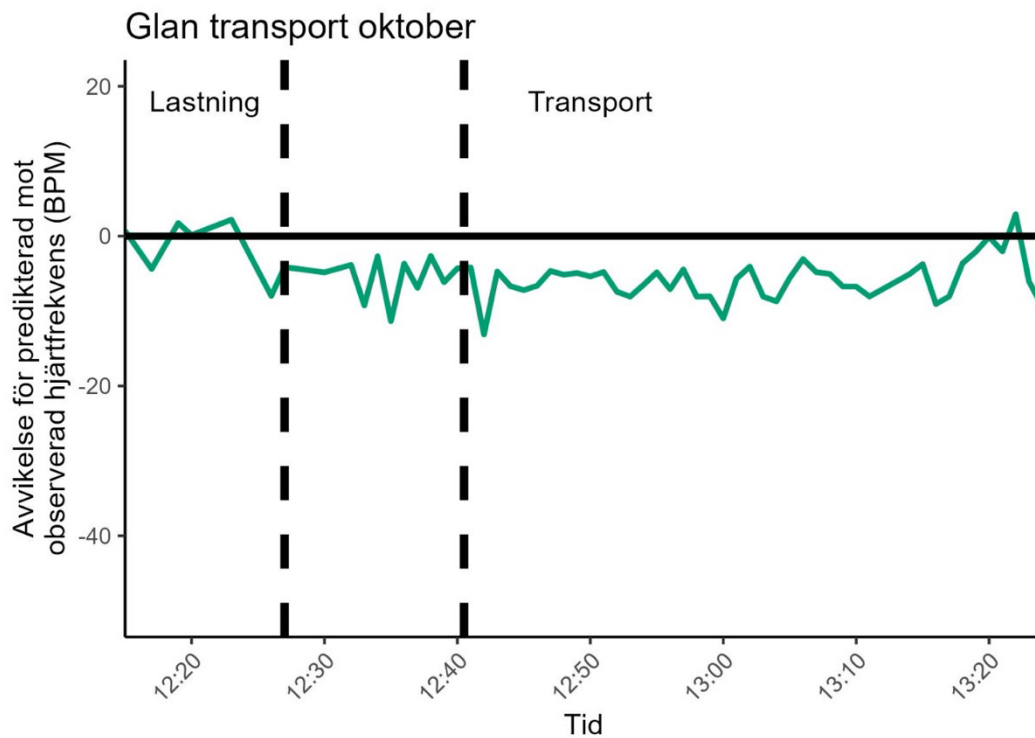
Figur 8. Avvikelse mellan predikterad (gul linje) och uppmätt hjärtfrekvens (0, svart heldragen linje) för ål under kontrollmärkningen vid Mälaren. Negativa värden innebär att den predikterade hjärtfrekvensen var lägre än den observerade, 0-värden innebär att predikterad hjärtfrekvens = uppmätt hjärtfrekvens och positiva värden innebär att den predikterade hjärtfrekvensen var högre än den observerade. Prediktionen av hjärtfrekvensen vid en given vattentemperatur gjordes med den linjära regressionsmodellen: $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,79 + 0,0947 \cdot \text{vattentemperatur}$.





Figur 9. Avvikelse mellan predikerad (färgad linje) och uppmätt hjärtfrekvens (0, svart heldragen linje) för ål under sumpning för de tre märkningstillfällena (Glan i maj och oktober, Vänern i juni-juli). Negativa värden innebär att den predikerade hjärtfrekvensen var lägre än den observerade, 0-värden innebär att predikerad hjärtfrekvens = uppmätt hjärtfrekvens och positiva värden innebär att den predikerade hjärtfrekvensen var högre än den observerade. Prediktionen av hjärtfrekvensen vid en given vattentemperatur gjordes med den linjära regressionsmodellen: $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,79 + 0,0947 \cdot \text{vattentemperatur}$.





Figur 10. Avvikelse mellan predikterad (färgad linje) och uppmätt hjärtfrekvens (0, svart heldragen linje) för ål under lastning och transport för de tre märkningstillfällena då transport av ål utfördes (Glan i maj och oktober, Vänern i juni-juli, data från kontrollmätningen vid Mälaren är inte med eftersom ingen transport utfördes vid det märkningstillfället). Negativa värden innebär att den predikterade hjärtfrekvensen var lägre än den observerade, 0-värden innebär att predikterad hjärtfrekvens = uppmätt hjärtfrekvens och positiva värden innebär att den predikterade hjärtfrekvensen var högre än den observerade. Prediktionen av hjärtfrekvensen vid en given vattentemperatur gjordes med den linjära regressionsmodellen: $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,79 + 0,0947 \cdot \text{vattentemperatur}$.

4. Diskussion

Resultaten från denna studie visar att ålens respons på hantering under fångst och transport, registrerad via mätning av ålens hjärtfrekvens med implanterade biologgers, är starkt påverkad av vattentemperatur. Vid högre vattentemperaturer (16–20° C) var hjärtfrekvensen högre efter märkning, de hade även hög hjärtfrekvens under tiden i sump och de visade en tydlig ökning i hjärtfrekvens vid flytt från sump till transport med en förhöjd hjärtfrekvens under hela transporten. Vid lägre vattentemperaturer (under 10° C) observerades en snabb återhämtning efter märkning, hjärtfrekvensen var låg under sumpning, påverkades inte nämnbart av flytt från sump till transport, och inte heller av själva transporten. Att ålens hjärtfrekvens påverkas av vattentemperaturen bekräftades av resultaten från kontroll-märkningen i Mälaren, där ålens hjärtfrekvens samvarierade med vattentemperaturen i tankarna. Då vi inte följde upp ålarna efter transport och släpp (eftersom ålarna då fångades in med en håv för att återfå biologgrarna och ladda ner data och det visade sig svårt att placera ut och ankra sumpar för förvaring av ål vid utsläppsplatsen, vilket inte heller hade motsvarat att släppa ut ålen i det fria) kan vi inte utvärdera effekterna av vattentemperatur på återhämtning efter transport och släpp.

Tidigare studier har visat ett positivt samband mellan dödlighet och ökad vattentemperatur under fångst och transport av ål (Jacobson och Jacobson 2022). Även om den europeiska ålen kan överleva i höga vattentemperaturer (CT_{max}, Critical Thermal maximum, alltså den övre temperaturgräns de kan överleva, varierar mellan 33–39 grader, Sadler 1979), tyder våra resultat på att ålens respons (en ökning i hjärtfrekvens vilken är högre än predikterade värden baserade på vattentemperatur) på de olika hanteringsmomenten under fångst och transport påverkas av vattentemperaturen. Responsen är tydligare vid högre vattentemperaturer (>17° C) jämfört med vid lägre temperaturer (<10° C). Eftersom detta är första gången ål märks med biologgers med syfte att undersöka hjärtfrekvens så bör resultaten tolkas med viss försiktighet. Detta innebär också att det inte går att jämföra våra resultat med andra studier med avseende på ål. En ökad hjärtfrekvens vid en ökad vattentemperatur har dock visats för andra arter där samma typ av biologgrar har använts (exempelvis *Paralichthys olivaceus* (Kwon och Kim 2023)). Studier har också visat att hjärtfrekvensen ökar mer vid hantering

vid så kallat fångst och släpp (catch and release) fiske under högre vattentemperaturer jämfört vid låga (exempelvis regnbåge, *Oncorhynchus mykiss* (Jeanson m.fl. 2023)). Resultaten från denna studie sammanfaller med resultaten i Jacobson och Jacobson (2022) som fann att fångst och transport av ål inte bör ske vid temperaturer över 20° C för att undvika förhöjd dödlighet. Det hade varit önskvärt att fastställa hjärtfrekvensen vid höga stressnivåer, exempelvis med kontrollerade experiment där ål stressas till utmattning (exempelvis som i Christensen m.fl. 2017) men det var inte möjligt inom ramen för detta projekt. För att undersöka om metoden verkligen fungerar behöver ål som genomgått fångst och transport följas på dess vandring mot Sargassohavet. Vandringsmönstret från dessa ålar behöver jämföras med ål som inte genomgått fångst och transport, utan vandrat naturligt. En sådan studie pågår just nu i regi av SLU, Institutionen för akvatiska resurser.

Enligt våra resultat tycks ål återhämta sig relativt snabbt från märkningen jämfört med vad som dokumenterats för andra fiskarter (Brijs m.fl. 2019, Hvas m.fl. 2020, Kwon och Kim 2023). För regnbåge har återhämtningstider på >72 timmar registrerats (vid en konstant vattentemperatur på 9 grader) (Brijs m.fl. 2019). För lax har återhämtningstider efter märkning med biologgrar på flera veckor registrerats (Hvas m.fl. 2020). Baserat på skillnaden mellan den observerade och predikerade hjärtfrekvensen givet den omgivande vattentemperaturen sammanfaller dessa inom 1–2 dygn efter märkning vid samtliga märkningstillfällen i vår studie, vilket ger en indikation på återhämtningstid inom 48 timmar för ål efter märkning.

Av den totala datamängden som samlades in under märkningstillfällena återstod 14,3 % efter kvalitetsgranskning och filtrering. Eftersom denna studie är den första som använder biologgrar för att mäta hjärtfrekvens hos ål vet vi inte om 14,3% bör anses som “bra”, “normalt” eller “dåligt”. I studien av Birjs m.fl. (2018), där samma typ av biologgrar inplanterades i regnbåge för att mäta hjärtfrekvens inom akvakultur, återstod 34% av den totala datamängden efter att de filtrerat den uppmätta hjärtfrekvensen på liknande sätt som i denna studie. I en annan studie som undersökt hjärtfrekvens hos en kommersiellt viktig art av flundra i Asien (olive flounder, *Paralichthys olivaceus*) återstod också ca 34% av datat efter samma typ av filtrering (Kwon och Kim 2023). I andra studier har mer osäkert data använts vilket resulterat i fler mätpunkter (Birjs m.fl. 2019). Även om endast 14,3 % av all uppmätt data återstod efter filtrering i denna studie så erhöles ändå 18 787 uppmätta hjärtfrekvenser av hög kvalitet. Framtida studier bör undersöka effekterna av olika inställningar och känsligheter för biologgrarna samt eventuella störningsfaktorer i fält (tidigare studier har ofta utförts i kontrollerad laboratoriemiljö (exempelvis

Brijs m.fl. 2019, Hvas m.fl. 2020, Kwon och Kim 2023) med syfte att öka andelen registreringar av hög säkerhet vid mätningar av hjärtfrekvens hos ål i fält.

Sammanfattningsvis visar resultaten i denna studie att ålens hjärtfrekvens ökar mer under hantering och transport vid höga vattentemperaturer jämfört med under låga. För att minska stress hos ål under de moment som ingår i fångst och transport bör det därför ske vid vattentemperaturer vid högst 18–19° C. Eftersom fångst och transport kräver mänsklig inverkan, samt att ålen utsätts för stress och hantering, så bör det slutgiltiga målet vara att skapa fria vandringsvägar runt vandringshinder.

5. Tack

Tack till de fiskare som tillhandahållit ål och utrymme för arbetet med märkningen, samt haft tillsyn över sumparna. Tack också till transportören som körde ålarna från Vänern. Tack till Jacob Mortiz Reiff för hjälp i fält och labb. Tack till Krafttag ål för att vi fick implantera ål med biologgers under ordinarie fångst och transportverksamhet.

Referenser

- Algera, D. A., T. Rytwinski, J. J. Taylor, J. R. Bennett, K. E. Smokorowski, P. M. Harrison, K. D. Clarke, E. C. Enders, M. Power, and M. S. Bevelhimer. 2020. What are the relative risks of mortality and injury for fish during downstream passage at hydroelectric dams in temperate regions? A systematic review. *Environmental Evidence* 9:3.
- Boerrigter, J. G., R. Manuel, R. van den Bos, J. A. Roques, T. Spanings, G. Flik, and H. W. van de Vis. 2015. Recovery from transportation by road of farmed European eel (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture Research* 46:1248-1260.
- Bogdan, E., and D. Waluga. 1980. The effect of transport on the quality of eel stocking material. *Aquaculture* 20:139-146.
- Briand, C., M. Legrand, B. Laurent, B. Clarisse, L. Denis, and G. Sebastien. 2022. stacomR: A package for fish migration monitoring. CRAN.
- Brijs, J., E. Sandblom, M. Axelsson, K. Sundell, H. Sundh, D. Huyben, R. Broström, A. Kiessling, C. Berg, and A. Gräns. 2018. The final countdown: continuous physiological welfare evaluation of farmed fish during common aquaculture practices before and during harvest. *Aquaculture* 495:903-911.
- Brijs, J., E. Sandblom, M. Rosengren, K. Sundell, C. Berg, M. Axelsson, and A. Gräns. 2019. Prospects and pitfalls of using heart rate bio-loggers to assess the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in aquaculture. *Aquaculture* 509:188-197.
- Christensen, E., M. Svendsen, and J. F. Steffensen. 2017. Plasma osmolality and oxygen consumption of perch *Perca fluviatilis* in response to different salinities and temperatures. *Journal of Fish Biology* 90:819-833.
- Claësson, D., T. Wang, and H. Malte. 2016. Maximal oxygen consumption increases with temperature in the European eel (*Anguilla anguilla*) through increased heart rate and arteriovenous extraction. *Conservation Physiology* 4.
- Dekker, W., and L. Beaulaton. 2016. Climbing back up what slippery slope? Dynamics of the European eel stock and its management in historical perspective. *ICES Journal of Marine Science* 73:5-13.
- Dekker, W., and H. Wickström. 2015. Utvärdering av målen för programmet Krafttag ål.
- Durif, C., S. Dufour, and P. Elie. 2005. The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology* 66:1025-1043.
- Durif, C., A. Guibert, and P. Elie. 2009. Morphological discrimination of the silvering stages of the European eel. Pages 103-111 in J. M. Casselman and

- D. K. Cairns, editors. Eels at the edge. Science, status, and conservation concerns. American Fisheries Society Symposium.
- Føre, M., E. Svendsen, F. Økland, A. Gräns, J. A. Alfredsen, B. Finstad, R. D. Hedger, and I. Uglem. 2021. Heart rate and swimming activity as indicators of post-surgical recovery time of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Animal Biotelemetry* 9:1-13.
- Förvaltningsplan för ål. 2008. Jordbruksdepartementet. Jo2008/3901.
- Hjelmstedt, P., E. Sundell, J. Brijs, C. Berg, E. Sandblom, J. Lines, M. Axelsson, and A. Gräns. 2022. Assessing the effectiveness of percussive and electrical stunning in rainbow trout: Does an epileptic-like seizure imply brain failure? *Aquaculture* 552:738012.
- Hvas, M., O. Folkedal, and F. Oppedal. 2020. Heart rate bio-loggers as welfare indicators in Atlantic salmon (*Salmo salar*) aquaculture. *Aquaculture* 529:735630.
- ICES. 2023. Report of the joint EIFAAC/GFCM/ ICES Working Group on Eels (WGEEL). <https://doi.org/10.17895/ices.pub.24420868>.
- Jacobson, B., och P. Jacobson. 2022. Faktorer som påverkar dödlighet hos ål vid fångst och transport förbi kraftverk. *Aqua Notes* 2022:5. <https://doi.org/10.54612/a.103nhc2ns8>.
- Jeanson, A. L., J. C. Madden, A. Ekström, A. J. Danylchuk, N. Young, A. Howarth, W. M. Twardek, R. G. Twibell, R. P. Root, and K. C. Hanson. 2023. Bioenergetic consequences of repeated catch-and-release fisheries interactions on adult steelhead across a range of ecologically relevant water temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 284:111469.
- Kwon, I., and T. Kim. 2023. Monitoring the effect of water temperature on the heart rate of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) using a bio-logger. *Aquaculture* 739739.
- Leys, C., C. Ley, O. Klein, P. Bernard, and L. Licata. 2013. Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of experimental social psychology* 49:764-766.
- McDougall, C., C. Hrenchuk, W. Anderson, and S. Peake. 2013. The rapid upstream migration of pre-spawn Lake Sturgeon following trap-and-transport over a hydroelectric generating station. *North American Journal of Fisheries Management* 33:1236-1242.
- Methling, C., J. Steffensen, and P. V. Skov. 2012. The temperature challenges on cardiac performance in winter-quiescent and migration-stage eels *Anguilla anguilla*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 163:66-73.
- Myrenås, E., J. Näslund, J. Persson, and J. Sundin. 2023. Effects of the invasive swim bladder parasite *Anguillicola crassus* on health and condition indicators in the European eel. *Journal of Fish Diseases*. <https://doi.org/10.1111/jfd.13822>.
- Nordqvist, H. 1929. Försök rörande import och inplantering i svenska sjöar av engelsk glasål. Skrifter utgivna av Södra Sveriges Fiskeriförening:60-86.

- Nyqvist, D., M. Zagars, O. Calles, and C. Comoglio. 2019. Behavior of trap-and-transported Atlantic salmon spawners of hatchery origin in the Daugava River system (Latvia). *Journal of Limnology* 78.
- Pike, C., C. V, and M. Gollock. 2020. *Anguilla anguilla*. The IUCN Red List of Threatened Species e.T60344A152845178.
- Piper, A. T., P. J. Rosewarne, R. M. Wright, and P. S. Kemp. 2020. Using ‘trap and transport’ to facilitate seaward migration of landlocked European eel (*Anguilla anguilla*) from lakes and reservoirs. *Fisheries Research* 228:105567.
- Sadler, K. 1979. Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, *Anguilla anguilla* L. *Journal of Fish Biology* 15:499-507.
- Schmetterling, D. A. 2003. Reconnecting a fragmented river: movements of westslope cutthroat trout and bull trout after transport upstream of Milltown Dam, Montana. *North American Journal of Fisheries Management* 23:721-731.
- Ward, D. L., R. R. Boyce, F. R. Young, and F. E. Olney. 1997. A review and assessment of transportation studies for juvenile Chinook salmon in the Snake River. *North American Journal of Fisheries Management* 17:652-662.
- Weigel, D., I. Koch, F. Monzyk, C. Sharpe, S. Narum, and C. C. Caudill. 2019. Evaluation of a trap-and-transport program for a threatened population of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). *Conservation Genetics* 20:1195-1199.