



Aqua notes 2025:11

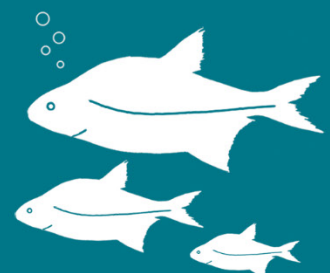
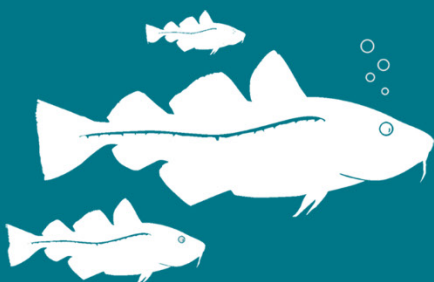
Stress hos europeisk ål under sumpning och transport

– effekter av fångst och transport, en uppdatering

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 och transport, en uppdatering

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

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 2024–001392 (SLU-ID: SLU.aqua.2024.5.1-10)

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. (2025). Stress hos europeisk ål under sumpning och transport - effekter av fångst och transport, en uppdatering. Aqua notes 2025:11. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser. https://doi.org/10.54612/a.4q3ud6olqa
Publikationsansvarig:	Sara Bergek, 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:	2025
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:	2025:11
ISBN (elektronisk version):	978-91-8046-539-7
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.4q3ud6olqa
Nyckelord:	Vandringshinder, <i>Anguilla anguilla</i> , förvaltningsåtgärd, bevarande

Sammanfattning

Fångst och transport används för att transportera fisk förbi hinder som blockerar dess vandringsväg. Den europeiska ålen, *Anguilla anguilla*, är en art där fångst och transport används som en bevarandeåtgärd. Fångst och transport av ål utförs genom att samla in vuxen ål, så kallad blankål, i sjöar och andra vattendrag, transportera dem förbi vattenkraftverk och dammar, och släppa ut dem i havet eller nedströms vandringshinder. Förhoppningen med denna åtgärd är att öka mängden blankål som kan fullborda sin vandring till Sargassohavet där de reproducerar sig. Under fångst och transport hanteras ålen i flera steg. Först fångas de med ett fiskeredskap eller samlas in med utvandringsfällor, därefter sumpas de en tid (i vissa fall sker transporten direkt efter insamling), för att sedan transporteras 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.

I den här studien har vi mätt hjärtrytm på ål med kirurgiskt implanterade elektroniska loggar, så kallade biologgers. Hjärtrytmen är en indikator på stress under sumpning och transport. Studien startade under 2023, men på grund av ovanligt kalla vattentemperaturer under de märkningsförsök som utfördes under sommaren 2023 samlades inget data in för normalt höga sommartemperaturer. I denna rapport redovisas resultat för kompletterande försök utförda under mer representativa temperaturer sommaren 2024. Vi har också analyserat ålder från hörselstenar (otoliter) från ål som ingick i försöket 2023 för att undersöka om ålarnas ålder skiljde sig åt mellan olika lokaler. En skillnad i ålder skulle kunna påverka hjärtfrekvensen och är därför viktig att ta reda på.

Ingen ål dog under märkning eller den hantering som skedde i fångst- och transport-processen. Ålens hjärtfrekvens under fångst och transport ökade tydligt med ökande vattentemperatur. Detta var förväntat baserat på tidigare forskning och resultaten från försöken som utfördes under 2023. För att kontrollera för effekten av vattentemperatur på hjärtfrekvens undersöktes skillnaden mellan observerad (uppmätt hjärtfrekvens från denna studie) och predikterad hjärtfrekvens (baserat på tidigare utförda kontrollförsök). Vi fann att skillnaden mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens var störst direkt efter märkningen, och att det även fanns en skillnad under transport, men inte under sumpning. Resultaten tyder på ökad hjärtfrekvens, och därmed ökad stress, direkt efter märkning och under transport, och det följer i stort sett resultaten från försöken utförda vid Vätern 2023, med skillnaden att differensen mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens var högre under detta försök. Åldersanalysen av otoliter från ål som ingick i försöket 2023 visade att ålen i genomsnitt var 20 år gammal, och att det inte var någon skillnad i ålder mellan de undersökta lokalerna.

Vår slutsats är att hjärtfrekvensnivåerna under fångst och transport inte var så höga att de orsakade någon direkt dödlighet vid de vattentemperaturer som uppmättes under de märkningsförsök som utförts under 2023 och 2024 (8–22°C). Vid höga vattentemperaturer var skillnaden mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens generellt större, framför allt under transport. Sammantaget tyder resultaten på att fångst och transport som sker vid vattentemperaturer lägre än ~16°C under sumpning och ~19°C under transport inte leder till ökad mortalitet. Däremot tyder resultaten på ökad stress under transport då sumpningstemperaturen varit ~16°C jämfört med ~13°C.

Summary

Trap and transport is used to transport fish past migration barriers that block their migration route. The European eel, *Anguilla anguilla*, is a species where trap and transport is used for conservation purposes. By collecting adult eels, known as silver eels, in lakes and other water bodies, transporting them downstream past hydropower plants and dams, and releasing them into the sea or downstream of the migration barriers, the goal is to increase the amount of silver eels that can complete their migration to the Sargasso Sea where they reproduce. During trap and transport, the eels are handled in several steps: first, they are caught with fishing gear or with traps, then held for some time in fish corves (in some cases, transport takes place immediately after collection), and then they are transported to the release site. These handling steps can lead to direct mortality. Additionally, stress and injuries may occur, which in turn can lead to delayed mortality.

In this study, we measured heart rate by surgically implanting electronic loggers, called biologgers. Heart-rate is used as a proxy for stress during holding and transport. The biologger study commenced in 2023, but unusually cold water temperatures during the tagging experiments carried out in the summer of 2023 prevented the collection of data under typically high summer temperatures. Therefore, additional experiments were conducted during the summer of 2024, which are described in this report. In addition, age analysis of otoliths from the eels used in the experiment in 2023 were conducted, to investigate if age differed between the different sites. A difference in age could potentially have an impact on heart-rate, which is why it was important to investigate.

The results showed that no eels died during tagging or during the handling stages involved in the trap and transport process. The eels' heart rate during trap and transport was affected by water temperature, as expected based on previous research and the results of the 2023 experiments. To control for the effect of temperature on heart rate, the difference between predicted (based on previously performed control trials) and observed heart rate (measured during this study) was analysed. We found that the difference between observed and predicted heart rate was greatest immediately after tagging, and that there was also a difference during transport but not during holding. The results in the difference between predicted and measured heart rate indicate increased heart rate, and thereby increased stress, after tagging and during transport, which largely align with the results from the experiments conducted in lake Vänern in 2023, with the difference that the discrepancy between predicted and observed heart rate was higher in the 2024 experiments. The age analysis of otoliths from the eels used in the experiment in 2023 showed that the eels were on average 20 years, and there was no difference in age between the different sites.

Our conclusion is that the heart rate levels during trap and transport were not high enough to cause mortality at the water temperatures recorded during the tagging experiments conducted in 2023 and 2024 (8–22°C). At higher water temperatures, the difference between predicted and observed heart rate was generally higher, particularly during transport. Overall, the results suggest that trap and transport conducted at water temperatures below ~16°C during holding and ~19°C during transport does not lead to increased mortality. The results however indicate increased stress during transport if the holding temperature was ~16°C compared to 13°C.

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	6
1.1. Projektets bakgrund.....	6
1.1. Bakgrund, fångst och transport av europeisk ål.....	6
2. Material och metoder	8
2.1. Programmering av biologgers	8
2.2. Lokal, experimentdjur, kirurgisk implantering av biologgers	9
2.3. Uttag av biologgers och kontroll av överlevnad	10
2.4. Nedladdning och kvalitetssäkring av data från biologgers	11
2.5. Åldersläsning, data från 2023.....	13
2.6. Statistiska analyser.....	13
3. Resultat och diskussion	15
3.1. Deskriptiva data	15
3.2. Ålens hjärtfrekvens vid fångst och transport	16
3.3. Ålens hjärtfrekvens kontrollerad för vattentemperatur	18
3.4. Ålder på ål från 2023 års försök	20
3.5. Slutsats	21
4. Tack.....	23
Referenser.....	24

1. Introduktion

1.1. Projektets bakgrund

Detta projekt syftar till att utvärdera effekten av fångst och transport, så kallad ”Trap and Transport” (T&T), som åtgärd för att möjliggöra vandring förbi hinder i vattendrag, från sötvatten till havet, för europeisk ål (*Anguilla anguilla*). Projektet är uppdelat i två delar varav delprojekt ett beskrivs här, som handlar om att utvärdera stress hos ål under sumpning och transport. Projektet påbörjades 2022, med medel från Havs- och Vattenmyndigheten (HaV, Dnr 2958–2022). Projektet har sedan fortsatt under 2023 och 2024 (HaV Dnr 1857–2023, och Dnr 2024–001392). Under projektets gång har vi tidigare från befintligt data undersökt vilka faktorer som kan påverka dödlighet under fångst och transport och kom då fram till att vattentemperatur är en viktig faktor (Jacobson och Jacobson 2022, och Sundin m.fl. 2025). Under 2023 och 2024 undersöktes om fångst och transport påverkar stress hos ål genom att mäta hjärtrytm, som en indikator på stress, med kirurgiskt implanterade elektroniska loggar, så kallade biologgers. På grund av ovanligt låga vattentemperaturer under de märkningsförsök som utfördes under sommaren 2023 kunde vi inte samla in data för normalt högre sommartemperaturer (Sundin m.fl. 2023). Resultaten från kompletterande försök från sommaren 2024 beskrivs i denna rapport.

1.1. Bakgrund, fångst och transport av europeisk ål

Den europeiska ålen är en art där fångst och transport nedströms av vuxen ål används som en bevarandeåtgärd på platser som saknar fria vandringsvägar. Ålen klassas som Akut hotad på den internationella naturvårdsunionens (IUCN) rödlista över hotade arter (Pike m.fl. 2020). Endast 0,4 – 8,8 % av populationen återstår jämfört med det geometriska medelvärdet för referensperioden 1960–1976 (ICES 2024). Nedgången bedöms bero på ett för hårt fisketryck, vandringshinder, vattenkraftsinducerad dödlighet, klimatförändringar, och sjukdomar (ICES 2024). För att vända den negativa utvecklingen så upprättade EU en radsförordning

(Rådets förordning (EG) nr 1100/2007) av den 18 september 2007), varefter de berörda medlemsländerna upprättade nationella ålförvaltningsplaner. Den svenska nationella ålförvaltningsplanen bygger på fyra huvudsakliga åtgärder, i) minska turbindödligheten, ii) minska fiskets fångster, iii) stödutsättningar, samt iv) ökad kontroll och tillsyn av fisket. Efter att den svenska förvaltningsplanen antagits tecknades en avsiktsförklaring mellan dåvarande Fiskeriverket och sex större vattenkraftbolag (Dekker och Wickström 2015). Fångst och transport är en av de valbara åtgärder som enligt avsiktsförklaringen ska reducera dödligheten av ål i turbiner i väntan på mer permanenta lösningar. För att uppnå målet inom avsiktsförklaringen och implementera åtgärderna startades programmet Krafttag ål (Dekker och Wickström 2015). Fångst och transport av blankål inom program Krafttag ål påbörjades 2010 och har genomförts i Göta älv, Ätran, Motala ström, Mörrumsån, Lagan, Kävlingeån, och Rönne å (Dekker och Wickström 2015) (notera att fångst och transport också utförs av andra aktörer utanför program Krafttag ål). 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.

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. Detta borde i sin tur innebära att det i dagsläget inte finns någon vuxen ål att transportera nedströms. Omflyttning av ål uppströms har dock gjorts länge i Sverige (Nordqvist 1929), och görs än idag i syfte att förbättra fiskemöjligheterna eller som en kompensationsåtgärd (<https://aqua.slu.se/al/>, <https://fiskbarometern.se>). Utöver omflyttning så sätts även importerade ålyngel ut som en åtgärd inom ålförvaltningsplanen (Förvaltningsplan för ål, 2008). Enligt ålförvaltningsplanen bör utsättningar göras i vatten utan vandringshinder (<https://aqua.slu.se/al/>, <https://fiskbarometern.se>). 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 bevarandeåtgärd inom ramen för Krafttag ål), görs även utsättningar av fiskevattenägare, det yrkesverksamma fisket, föreningar, och privatpersoner (<https://aqua.slu.se/al/>, <https://fiskbarometern.se>). Sammantaget innebär detta att betydande mängder ål både omflyttas och importeras för att sättas ut i Sverige varje år, av olika aktörer och anledningar, varav en del sätts ut i vattendrag utan fria vandringsvägar. I väntan på permanenta åtgärder vid vandringshinder så är fångst- och transport en av få möjligheter för att ål som tillvuxit uppströms i reglerade inlandsvatten ska kunna ta sig mot kusten och vidare mot Sargassohavet. Det är därför viktigt att processen med fångst och transport är så skonsam som möjligt, om denna förvaltningsåtgärd ska få önskad effekt.

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 vid en lokal vid Vänern, där fångst och transport kontinuerligt utförs inom program Krafttag ål sedan 2010. Försöket utfördes under sommaren år 2024, som ett komplement till de försök som utfördes 2023 (Sundin m.fl. 2023). Material och metoder följde den metod som användes under försöken 2023, och beskrivs därför här i korthet. Utförligare metoder finns i Sundin m.fl. (2023). Försöket utfördes under djuretiskt tillstånd Dnr 5.8.18-05062/2021 och tilläggstillstånd Dnr 5.8.18-04754/2023, utfärdade av Jordbruksverket. I tillägg till märkningsförsöket så utfördes även åldersläsningar på otoliter från den ål som ingick i försöken under 2023.

2.1. Programmering av biologgers

Till försöket användes DST milli-HRT ACT biologger (diameter: 13,0 mm, längd: 39,5 mm, vikt: 12 g, version 36 CRC16/4800/MSO/RST, Star-Oddi, Gardabaer, Island). Biologgarna kan registrera hjärtfrekvens, kroppstemperatur och aktivitet. På grund av begränsad batteritid registrerades enbart hjärtfrekvens och kroppstemperatur. Biologgrarna registrerar hjärtfrekvens (elektrokardiogram, EKG), och för denna studie användes EKG mättid om 12 sekunder (en EKG-mätning av 1500 på varandra följande mätningar av spänning (voltage) med 125 Hz mättningsfrekvens). Temperatur mättes med biologgernas interna temperatursensor vid varje EKG-mätning. Biologgarna programmerades att ta en EKG-mätning var 30:e minut under den tvåveckorsperiod som ålen förvarades i sump (se mer information nedan), och en EKG-mätning per minut under transporten (med början från den ungefärliga tiden då sumpen lyftes upp ur vattnet fram till ungefärlig ankomst vid utsläppsplatsen).

2.2. Lokal, experimentdjur, kirurgisk implantering av biologgers

Försöket utfördes den 29 juli till 13 augusti 2024 vid en yrkesfiskares lokal i Vänern (58°33'11.4"N 13°09'56.2"E). Den ål som ingick i försöket hade fiskats av yrkesfiskare med bottengarn i syfte att användas till fångst och transport. Efter fisket förvarades ålen i yrkesfiskarnas sumpar i väntan på transport. Ålen märktes med biologgers den 29 juli. Biologgarna implanterades kirurgiskt efter bedövning (0,12 g L⁻¹ Bensokain utblandat i sjövattnen från platsen, E1501-100G, Sigma-Aldrich, Inc., St. Louis, Missouri, USA). En 12 mm passiv integrerad transponder-tag (PIT-tag, Oregon RFID, Portland, Oregon, USA) sattes också in i bukhålan för att underlätta identifiering under de återstående momenten. När operationen var avslutad vägdes och mättes ålen ($\pm 0,1$ g, Mettler PC4400, $\pm 0,1$ mm, standardiserad mätbräda), och den vertikala och horisontella diametern på vänster öga mättes med skjutmått ($\pm 0,01$ mm, Mitutoyo Absolute IP67, Mitutoyo Corp.), och längden på den vänstra bröstfenan mättes ($\pm 0,01$ mm, mätt med skjutmått). Data på ögats storlek och bröstfenans längd behövs för att beräkna livsstadium enligt Durif's Silver Index (Durif m.fl. 2005; 2009). I tillägg noterades följande data i ett kalkylblad: lokal, datum, biologger-ID-nummer, PIT-tag-nummer, namn på den som utfört respektive operation, operationsstart, operationsslut, operationstid, bedövningstid, kommentar (till exempel om det fanns några synliga skador) och ID-nummer på sumpan som varje enskild ål placerades i. För mer detaljerad information om hur implanteringen utfördes, se Sundin m.fl. (2023).

Efter märkning placerades ålen i ett kar med luftsatt sjövattnen för uppvaknande från bedövningen (genomsnittlig tid från bedövning tills ålen placerades i uppvakningskaret var 8 minuter). Efter uppvaknande placerades ålen i experimentsumpar som var designade för att efterlikna de sumpar som yrkesfiskare vanligtvis använder vid fångst och transport. Totalt användes sex experimentsumpar för de totalt 54 biologgerförsedda ålarna, med 9–10 ålar per sump. Sumparna placerades i sjön och bands fast med rep i bryggan vid lokalen. Ålen hölls i sumparna under 14 dagar, eftersom detta är median-sumpningstiden vid fångst och transport utförda i Sverige (Jacobson och Jacobson 2022). Efter sumpningen (den 13 augusti) lyftes sumparna upp ur vattnet och ålarna fördes över till transportfordonet; en luftsatt transporttank i metall (900 L) på en lastbil. Ålen transporterades ca 3 timmar (90 km) till Lilla Edet, Göta älv (58°13'06.6"N, 12°11'90.3"E) (Fig. 1), vilket är den utsläppsplats som normalt används vid fångst och transport av ål fångad vid denna lokal. Transporten gick alltså till så som den gör under normal fångst och transport, med skillnaden att i stället för att släppa ut ålen i det fria vid utsläppsplatsen så släpptes ålarna som var försedda med biologgers ut i en håv varefter de transporterades tillbaka till märkningslokalen för

att få biologgerna utopererad. Under transporten tillbaka fraktades ålarna fördelade i tre plasttunnor (120 L) med luftsatt vatten och lock, placerade på ett bilsläp. Locken hade ett borrarat hål för luftpumpsslangen (Ekan Aquarium, EK-LD20).

2.3. Uttag av biologgers och kontroll av överlevnad

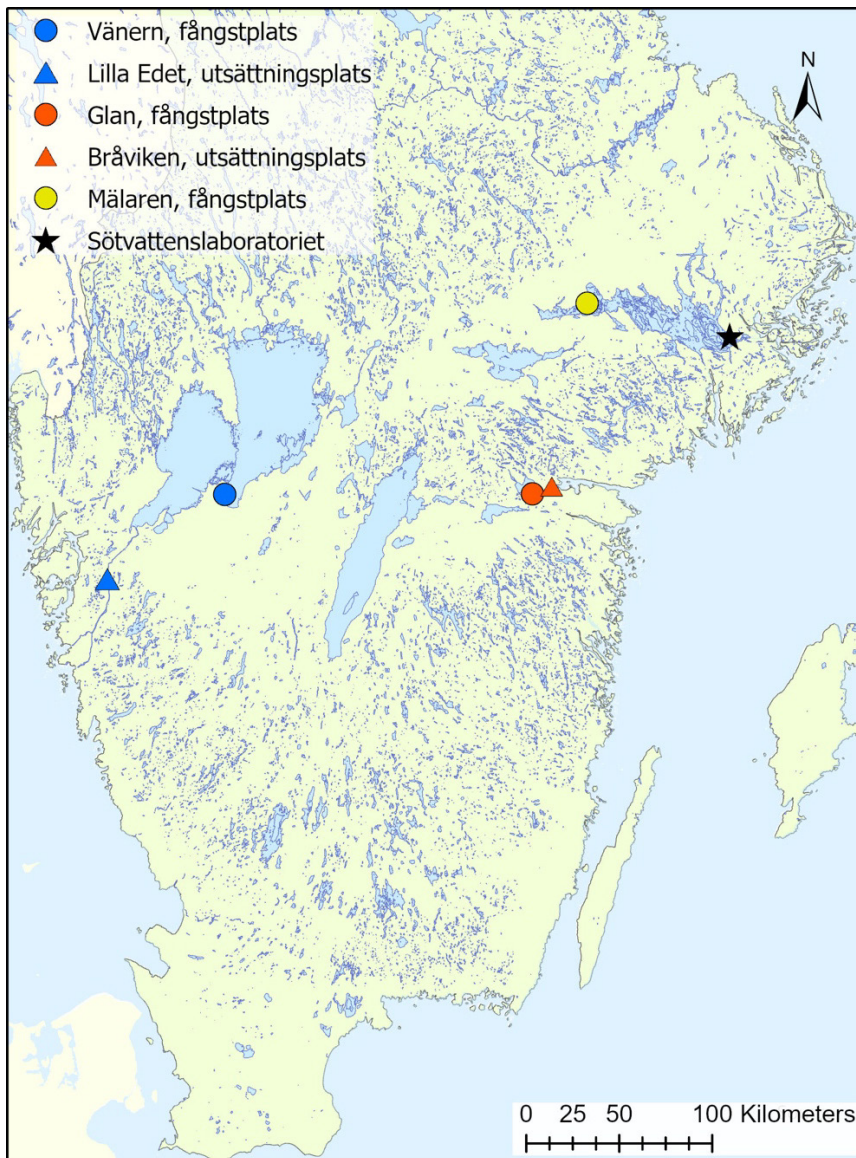
Under försöket som utfördes 2023 avlivades all ål efter transport för att samla in dissektionsdata (Sundin m.fl. 2023), men det var inte nödvändigt att samla in mer dissektionsdata 2024 (i enlighet med 3R principerna om att minska dödlig provtagning). Överlevnad efter processen och efter uttag av biologgrarna kontrollerades därför. Efter transport tillbaka till fiskaren placerades ålen i sump över natten (samma sumpar som använts tidigare). På förmiddagen den 14 augusti opererades alla biologgers ut. Ålen bedövades i en tunna med Bensokain utblandat i luftsatt sjövattnet från platsen ($0,12 \text{ g L}^{-1}$ E1501-100G, Sigma-Aldrich, Inc., St. Louis, Missouri, USA, luftpump: TetraTec luftpump Aps 400, Tetra GmbH, Melle, Tyskland). När ålarna ansågs ha nått kirurgisk anestesi (definierad av brist på muskelrespons vid försiktig hantering), placerades de (en åt gången) på en mätbräda med vattendränkt tyg. Ytterligare fuktade tygstycken användes för att täcka ålen för att bibehålla hudens fuktighet. Mätbrädan användes endast som operationsbord då alla mått togs vid inoperering av märkena. Stygnen och ankarstygnet klipptes upp. I vissa fall hade snittet läkt, då skars det upp igen med skalpell. Tråden som var fäst i märket fångades upp med pincett och biologgerna drogs försiktigt ut från bukålan. För att minimera hanteringstiden togs PIT-taggen inte ut. Snittet syddes därefter igen med separata stygn med absorberande suturer (3-0 sterilt flätad absorberbart Prolene-suturmateriel, Ethicon Inc., Somerville, New Jersey, USA). Efter operation lades ålen i ett vattenkar med luftsatt vatten från sjön (TetraTec luftpump Aps 400, Tetra GmbH, Melle, Tyskland) för uppvaknande innan de placerades i yrkesfiskarens sumpar. Ålen förvarades i sumparna i två veckor då nästa transporttillfälle utfördes. Under förvaringstiden i sumparna kontrollerade yrkesfiskaren överlevnad.

Vid uttag av biologgrarna observerades att några ålar tycktes vara infekterade av svamp, de avlivades för att minska risken att smitta resterande ålar. De infekterade ålarna avlivades genom en första dos bedövningsmedel (Bensokain $0,12 \text{ g L}^{-1}$) följt av en överdos av bedövningsmedlet (tillägg av Bensokain $0,24 \text{ g L}^{-1}$).

2.4. Nedladdning och kvalitetssäkring av data från biologgers

Nedladdning av data från biologgarna utfördes med hjälp av Star-Oddis Mercury-programvara (v 6.53) med tillhörande kommunikationsbox i vilken biologgern placerades för att föra över lagrat data. Hjärtfrekvensen härleddes från EKG-mätdata med hjälp av Star-Oddis HRT Analyzer-programvara (version 1.3.2). Denna programvara använder en filtreringsprocess för att identifiera topparna för R-vågorna i EKG-mätdata (motsvarar ett hjärtslag, denna studie använde anpassade filter från Star-Oddi). Därefter tilldelar programvaran ett hjärtfrekvensvärde i slag per minut (BPM) till varje EKG-mätning, enligt medelvärdet av RR-intervallet i EKG:t (RR-intervallet är tiden mellan två på varandra följande R-vågor i EKG:t). Förutom hjärtfrekvens tilldelar programvaran också ett motsvarande kvalitets-ID-nummer (QI) till varje uppskattning av hjärtfrekvensen. Detta kvalitets-ID-nummer sträcker sig från 0 QI (bästa kvalitet) till 3 QI (dålig kvalitet) och återspeglar nivån av förtroende för att den genomsnittliga RR-intervallslängden identifierades korrekt. För att säkerställa högsta möjliga noggrannhet användes endast mätningar graderade med QI = 0 i de statistiska analyserna. Även mätningar graderade 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 endast ett RR-intervall (alltså två hjärtslag) för temperaturer högre än 12° C. Med andra ord, bara mätningar med minst två RR-intervall behölls (alltså minst tre hjärtslag) för temperaturer högre än 12° C (eftersom EKG mättiden över 12° C ska vara tillräckligt lång för att kunna fånga minst två RR-intervall). För temperaturer lägre än 12°C behölls dock även mätningar med ett RR-intervall, eftersom hjärtslagen vid lägre temperaturer är så låga/lågsamma att endast ett RR-intervall (två hjärtslag) kan inträffa inom mättiden om 12 sekunder (baserat på det uppmätta förhållandet mellan hjärtslag och temperatur, som beskrivs under avsnitt 3.3). Mätningar gjorda vid temperaturer under 12°C med ett RR-intervall är alltså troligen hög kvalitet och ska behållas. 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 hjärtfrekvensen, sedan beräknas den absoluta avvikelsen för varje uppmätt hjärtfrekvensen från medianen, därefter beräknas medianvärdet för alla absoluta avvikelser från median-värdet. 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 (enligt Føre m.fl. 2021). Med andra ord, om en uppskattad hjärtfrekvensavvikelse från median-värdet av alla uppmätta

hjärtfrekvenser var större än tre gånger MAD-värdet så exkluderades hjärtfrekvensmätningen. Ett MAD-värde beräknades separat för varje mättag.



Figur 1. Karta över lokaler för insamling, märkning och sumpning, och de ungefärliga utsättningsplatserna av ål för utvärdering av stress under fångst och transport under år 2023 och 2024. Försöken som beskrivs i detta PM utfördes under 2024 i Väneren (blå cirkel visar insamlings och märkningslokal, blå triangel visar utsättningsplats). Försök gjordes i Väneren även år 2023, då undersöktes också ål vid Glan (orange cirkel: insamlings och märkningslokal, orange triangel: utsättningsplats), samt Mälaren/Sötvattenslaboratoriet (för datainsamling över basnivåvärden, gul cirkel: insamlingslokal, asterisk: märknings- och sumpningslokal).

2.5. Åldersläsning, data från 2023

Efter försöken som utfördes under 2023 dissekerades all ål (n=182) för att undersöka eventuella effekter på stress av relativ kondition, parasitering, etc. (Sundin m.fl. 2023). Vid dissektion plockades även ålens otoliter ut. Otoliterna användes för att bestämma ålens ålder, vilket gjordes under 2024 och beskrivs därför i denna rapport. Åldersläsningen följer den metod som beskrivs exempelvis i ICES (2011), och beskrivs därför här i korthet. För åldersläsning användes sagitta otoliten som monterades på objektsglas, slipades, och färgades (för att förstärka vinterzonerna visuellt). Tillväxtzonerna räknades sedan manuellt under transmissionsmikroskop (i reflekterat ljus mot en mörk bakgrund).

2.6. Statistiska analyser

Denna rapport innehåller deskriptiva data samt översiktliga statistiska analyser och visualisering av data på gruppnivå. 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. Tidigare försök har visat att skillnaden mellan uppmätt vattentemperatur av temperaturloggers och biologgers var mycket liten (medelavvikelse ± 1 SD låg mellan $0,01 \pm 0,32$ och $0,11^\circ\text{C} \pm 0,17$, Sundin m.fl. 2023) varför vattentemperaturdata från biologgarna användes här. Temperaturens effekt på hjärtfrekvensen undersöktes genom att anpassa en linjär regressionsmodell enligt följande:

$$\log(h) = \beta_1 + \beta_2 t$$

Där $\log$ är den naturliga logaritmen, h är den uppskattade hjärtfrekvensen, t är den uppmätta vattentemperaturen av biologgern, β_1 är intercept och β_2 är lutning. 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 första streckade linjen i Fig. 2). För information om validering av modellen, se Sundin m.fl. (2023). Den anpassade modellen användes för att prediktera hjärtfrekvens i förhållande till vattentemperatur under hela tidsperioden från sumpning till efter transport i 30 minuters intervaller. Den predikterade hjärtfrekvensen tillbakatransformerades med funktionen $\exp()$. Avvikelsen mellan den predikterade medelhjärtfrekvens och den observerade medelhjärtfrekvensen i 30 minuters intervaller räknades fram genom att subtrahera den predikterade hjärtfrekvensen från den observerade, 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 och diskussion

3.1. Deskriptiva data

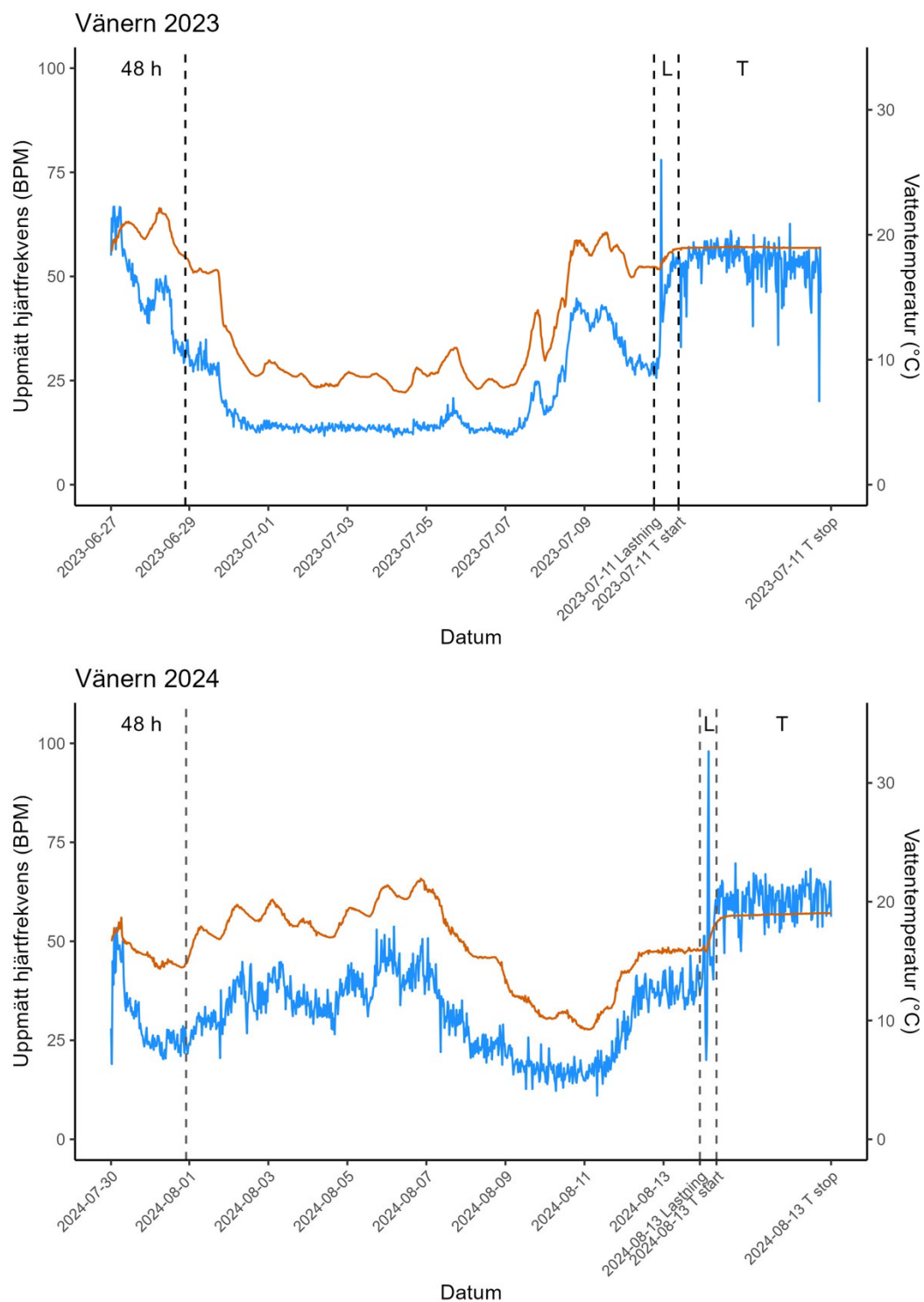
Totalt märktes 54 ålar i studien, varav alla överlevde märkning, sumpning, och transport. Medellängd och medelvikt för ålen som märktes var 845,6 mm ($\pm 62,04$) och 1098,4 g ($\pm 260,67$). Enligt Durif's Silver Index klassificerades alla ålar som antingen halvblank ål (n=13, klassade som stadium FIII) eller blankål (n=41, varav 29 individer klassades som stadium FIV och 12 individer som stadium FV), vilket tyder på att de initierat sin lekvandring mot Sargassohavet (Durif m.fl. 2005; 2009). Längd, vikt, och Durif's silverindex var likvärdigt som vid försöket utfört 2023 (Sundin m.fl. 2023). Vid uttag av biologgrarna observerades att 17 ålar tycktes vara infekterade av svamp, de avlivades för att minska risken att smitta resterande ålar. För de resterande 37 ålarna som sumpades i ytterligare två veckor efter uttag av biologgerna överlevde alla fram till transport. Här är det värt att nämna att processen med att sumpa fisk generellt kan leda till just spridning av svamp, men även spridning av andra smittor så som parasiter. Detta är en relevant aspekt inom fångst och transport, men den har inte särskilt undersökts här.

Medelvattentemperaturen under försökets första dygn var 16,2°C, för att sedan stiga under först halvan av sumpningstiden till 20–21°C (Fig. 2). Under den resterande sumpningstiden sjönk vattentemperaturen till 9,2°C för att därefter åter stiga till 16°C innan ålen flyttades för transport (Fig. 2). Detta innebär att temperaturen under sumpningen var i medel (± 1 SD) 16,2°C $\pm 3,2$ °C, och temperaturintervallet (lägst-högst) under hela försöket (sumpning lastning och transport) var 9,2 – 21,9°C. Medeltemperaturen under försöket 2024 var alltså högre än medeltemperaturen under försöket vid Vänern år 2023 (medelvärde under sumpning år 2023: ± 1 SD: 12,8°C $\pm 4,9$ °C) och temperaturintervallet för hela försöket var större år 2023 (7,4 – 22,1°C) (Fig. 2) (Sundin m.fl. 2023). Medeltemperaturen (± 1 SD) under lastning och transport var 18,9°C $\pm 0,4$ °C under försöket 2023 och 18,7°C $\pm 0,8$ °C under detta försök (Fig. 2). Ett av huvudsyftena med detta försök var att samla in mätvärden under normala högsommartemperaturer, eftersom detta inte kunde göras under försöken 2023. Trots att temperaturen sjönk till relativt låga värden även under detta försök så blev medeltemperaturen under sumpning högre än 2023, vilket innebär att vi nu kan undersöka hjärtfrekvens och stress även under relativt höga sommartemperaturer.

3.2. Ålens hjärtfrekvens vid fångst och transport

Totalt gjordes 54346 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 2.4) så återstod 8135 uppskattningar av hjärtfrekvensen (15% 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°C , se punkt 2.4), så återstod 7860 hjärtfrekvensuppskattningar (14,5 % av den totala datamängden). Slutligen, efter filtrering efter MAD-poäng (se punkt 2.4) så återstod 7749 hjärtfrekvensuppskattningar (14,3 % av den totala datamängden), vilket är det dataset som legat till grund för beräkningarna. Eftersom denna studie, tillsammans med försöken utförda under 2023 (Sundin m.fl. 2023), är de första som använder biologgrar för att mäta hjärtfrekvens hos ål vet vi inte om en återstod av data på 14,3% bör anses som “bra”, “normalt” eller “dåligt”. I studien av Brijs m.fl. (2018), där samma typ av biologgrar inplanterades i regnbåge, återstod 34% av den totala datamängden efter filtrering av data 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 inkluderats i analyserna, vilket resulterat i fler mätpunkter (Brijs m.fl. 2019). Även om endast 14,3 % av all uppmätt data återstod efter filtrering i denna studie så erhöles ändå 7749 uppmätta hjärtfrekvenser av hög kvalité. 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.

Hjärtfrekvensen låg på en hög nivå vid starten för mätningarna (strax över 53 BPM) för att sedan minska efter återhämtning från operationen. Liksom försöken utförda 2023 så samvarierade hjärtfrekvensen med vattentemperatur inom 1–2 dygn efter att ålen inplanterats med biologgers och placerats i sumpen (Fig. 2). Att ålens hjärtfrekvens påverkas av vattentemperaturen bekräftades också av resultaten från kontroll/basnivå-märkningen utförd 2023 (Sundin m.fl. 2023). En ökad hjärtfrekvens vid ökad vattentemperatur har även visats för andra arter där samma typ av biologgrar har använts, exempelvis på olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Kwon och Kim 2023). För att undersöka effekten av fångst och transport på hjärtfrekvens och stress anpassades därför en modell för att testa förhållandet mellan vattentemperatur och hjärtfrekvens (se avsnitt 3.3).



Figur 2. Hjärtfrekvens (beats per minute, BPM, medelvärde, blå linje) och medelvattentemperatur (medel beräknat för var femte minut, röd linje) uppmätt med biologgrar implanterade i ål i Vänerån i juni-juli 2023 (övre panel) och juli-augusti 2024 (nedre panel) under sumpningsperioden samt lastning och transport. Den första streckade svarta linjen till vänster i panelerna vid 48 h indikerar

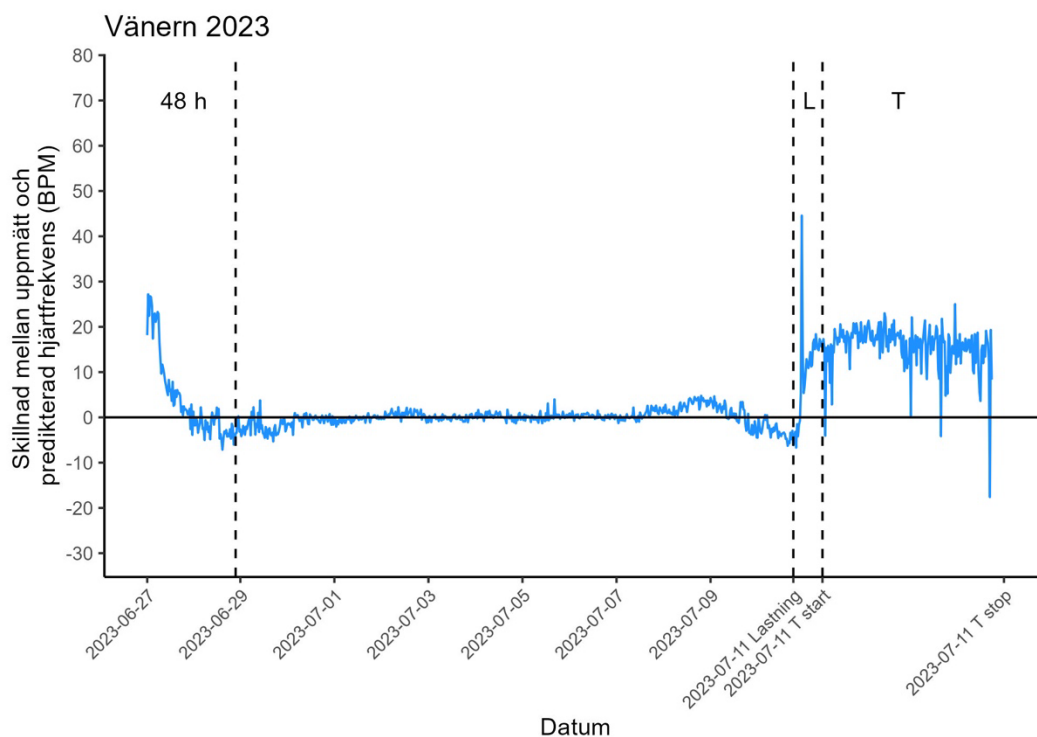
den period som motsvarar de första två dygnet i sump efter märkning, Den andra streckade linjen markerad med L indikerar lastningsperioden när ålen flyttades från sump till lastbil. Den tredje streckade linjen, till höger i panelerna, markerad med T indikerar transport perioden. Notera att x-axeln inte är skalenlig, detta för att kunna visualisera både sumpningstiden (14 dagar) och den betydligt kortare lastnings- och transporttiden (ca 3 h) i samma figur. N 2023= 55, N 2024=54.

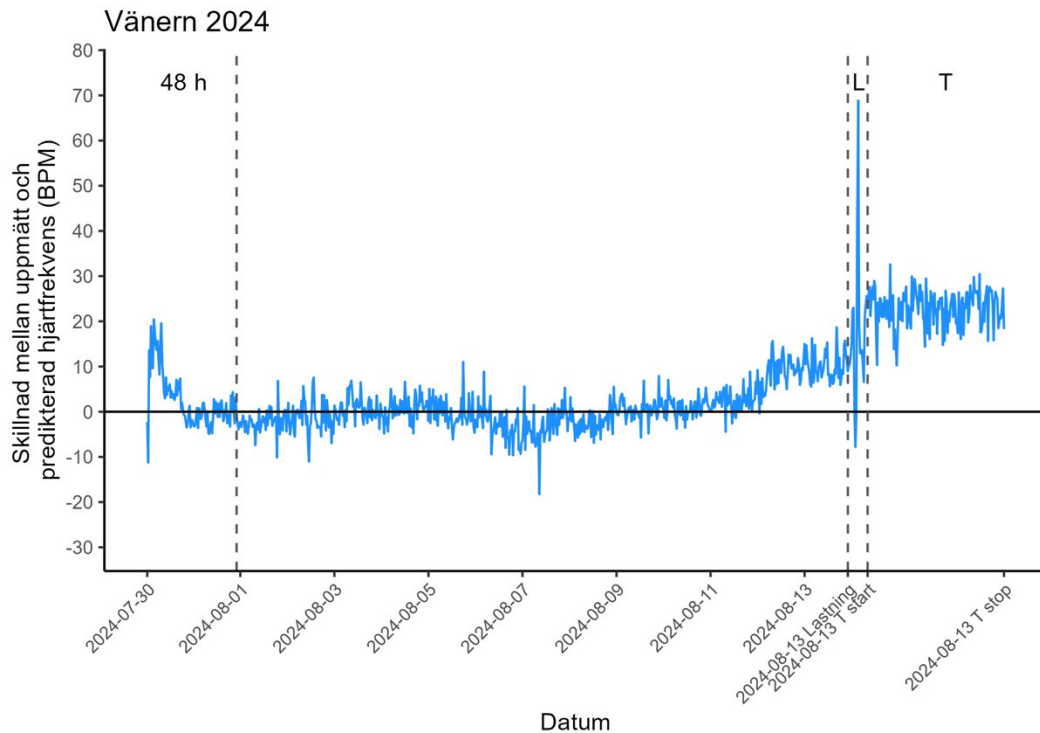
3.3. Ålens hjärtfrekvens kontrollerad för vattentemperatur

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 $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,69 + 0,106 \cdot \text{vattentemperatur}$ och dess korregerade R^2 -värde = 0,76 vilket indikerar att vattentemperatur förklarar 76% av den observerade variationen i uppmätt hjärtfrekvens. 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 fram till lastning), predikterades hjärtfrekvensen för den uppmätta vattentemperaturen i sumparna och under transport (Fig. 2). Modellens förmåga att prediktera hjärtfrekvensen hos ål vid olika vattentemperaturer valideras mot den uppmätta hjärtfrekvensen hos ål som ingick i den kontroll/basnivå-märkning som utfördes 2023 i mesokosmer vid Sötvattenslaboratoriet under sommaren 2023 (Sundin m.fl. 2023). Valideringen 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 vid kontrollförsöket (Sundin m.fl. 2023). 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 inom det temperaturspannet som modellen anpassats på (7,0–22,2° C).

I detta försök fann vi att skillnaden mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens var störst direkt efter märkning (skillnaden var inom intervallet från -10 till 20 BPM inom de första 48 timmarna efter märkning) samt under transport (skillnaden var inom intervallet 10–34 BPM, medelvärde (± 1 SD): 23,0 $\pm$ 4,1 BPM) (Fig. 3). Resultaten skiljer sig något mot försöket vid Vätern 2023, då skillnaden mellan observerad och predikterad hjärtfrekvens under de första 48 timmarna efter märkning var inom intervallet från -7 till 27 BPM, och under transport var inom intervallet från -17 till 25 BMP, medelvärde (± 1 SD): 15,6 $\pm$ 5,1 BPM (Fig. 3). Den uppmätta hjärtfrekvensen var alltså högre än den predikterade hjärtfrekvensen (positiva värden, Fig. 3) vid transporten under försöket utfört 2024, medan

skillnaden mellan den observerade och predikterade hjärtfrekvensen ibland var negativ och ibland positiv (Fig. 3) vid transporten under försöket utfört 2023. Detta resultat följer det generella resultatet att högre vattentemperaturer leder till ökade stressnivåer (Sundin m.fl. 2023), eftersom temperaturen i medel var högre under 2024 än under 2023 (Figur 2 samt avsnitt 3.1). Tidigare studier har även visat ett positivt samband mellan dödlighet och ökad vattentemperatur under fångst och transport av ål (Jacobson och Jacobson 2022, Sundin m.fl. 2025). Liknande resultat har rapporterats för andra arter, exempelvis regnbåge, *Oncorhynchus mykiss* där hjärtfrekvensen ökade mer vid hantering vid så kallat fångst och släpp fiske (catch and release) under högre vattentemperaturer (Jeanson m.fl. 2023).



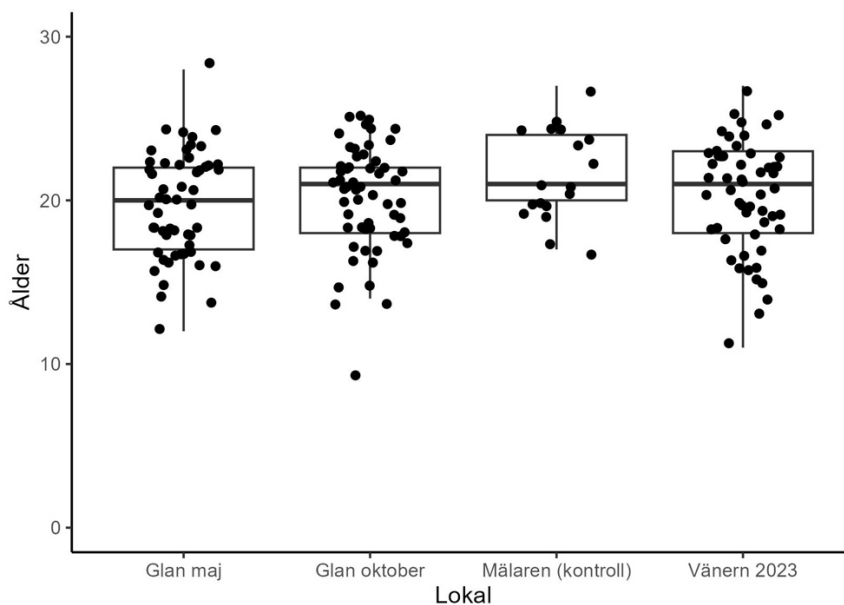


Figur 3. Avvikelse mellan uppmätt hjärtfrekvens (beats per minute, BPM, blå linje) och predikterad hjärtfrekvens (BPM, 0, svart linje) uppmät med biologgrar implanterade i ål i Vänern i juni-juli 2023 (övre panel) och juli-augusti 2024 (nedre panel) under hela försökets gång, alltså efter operation, under sumpning, under flytt från sump till transport (streckad linje markerad med L), samt under transport (streckad linje markerad med T). Den första streckade svarta linjen till vänster i panelerna vid 48 h indikerar den period som motsvarar de första två dyggen i sump efter märkning. Negativa värden innebär att den observerade hjärtfrekvensen var lägre än den predikterade hjärtfrekvensen baserat på vattentemperaturen, 0-värden innebär att uppmätt hjärtfrekvens = predikterad hjärtfrekvens, och positiva värden innebär att den uppmätta hjärtfrekvensen var högre än den predikterade hjärtfrekvensen. Prediktionen av hjärtfrekvensen vid en given vattentemperatur gjordes med den linjära regressionsmodellen: $\log(\text{hjärtfrekvens}) = 1,69 + 0,106 \cdot \text{vattentemperatur}$. Notera att x-axeln inte är skalenlig, detta för att kunna visualisera både sumpningstiden (14 dagar) och den betydligt kortare lastnings- och transporttiden (ca 3 h) i samma figur. $N_{2023} = 55$, $N_{2024} = 54$.

3.4. Ålder på ål från 2023 års försök

Åldersläsningen av otoliter från ål som ingick i försöken utförda 2023 ($n=182$) (Sundin m.fl. 2023), visade att de märkta ålarnas medelålder (± 1 SD) var $19,7 \pm 3,2$ år för ålarna som märktes vid Glan under maj 2023, $20,1 \pm 3,3$ år för ålarna som märktes vid Glan under oktober 2023, $20,3 \pm 3,4$ år för ålarna som märktes vid Vänern under juni-juli 2023, och $21,5 \pm 2,8$ år för ålarna som märktes vid Mälaren under juni 2023 (kontroll/basnivå-försök) (Fig. 4.). Det var ingen signifikant skillnad mellan lokalerna med avseende på de märkta ålarnas ålder (ANOVA: $F_{(3,$

181)=1,40; $P=0,24$; Fig. 4). Notera att en viss felmarginal finns i åldersläsningen av ålars otoliter då det ibland uppstår falska ringar under ett år vilket försvårar avläsningen (Deelder 1976; ICES 2011). En skillnad i ålder mellan lokalerna skulle kunna påverka hjärtfrekvensen och därmed påverka jämförelser mellan lokaler, och var därför viktig att ta reda på.



Figur 4. Ålder utläst från otoliter för samtliga märkta ålar som ingick i försöken som utfördes under 2023. Datapunkterna visar all data, boxarna visar värdena mellan den 25e och 75e percentilen, svart solid horisontell linje visar medianvärdet, vertikala heldragna linjer visar värden utanför 25e respektive 75e percentilen som inte klassas som outliers (25e percentilen - $1,5 \cdot$ avståndet mellan 25e och 75e percentilen; 75e percentilen + $1,5 \cdot$ avståndet mellan 25e och 75e percentilen). $N=182$, $n=55$ per lokal/tillfälle för Glan maj, Glan oktober, och Vänern, $n=17$ för Mälaren /kontroll/basnivå-försök).

3.5. Slutsats

Sammanfattningsvis visar resultaten i denna studie, samt försöken utförda under 2023 (Sundin m.fl. 2023), att ålens hjärtfrekvens ökar under sumpning och transport vid högre vattentemperaturer jämfört med under lägre (strax över 20 BPM 2024, då medelvattentemperaturer under sumpning var $16,2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3,2$) och under lastning och transport $18,7^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,8$), och strax under 20 BPM 2023, då medelvattentemperaturen under sumpning var $12,8^{\circ}\text{C}$ ($\pm 4,9$) och under lastning och transport $18,9^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,4$), Fig. 2 och 3). Eftersom dödligheten också kan öka med högre vattentemperatur under fångst och transport (Jacobson och Jacobson 2022, Sundin m.fl. 2025) så tyder resultaten sammantaget på att fångst och transport som sker vid vattentemperaturer lägre än $\sim 16^{\circ}\text{C}$ under sumpning och $\sim 19^{\circ}\text{C}$ under

transport inte leder till ökad mortalitet. Däremot tyder resultaten på ökad stress under transport då sumpningstemperaturen varit $\sim 16^{\circ}\text{C}$ jämfört med $\sim 13^{\circ}\text{C}$. 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 fångst-transport metoden verkligen fungerar skonsamt 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. Eftersom denna studie, och studien från 2023 (Sundin m.fl. 2023) visar att ål som genomgår fångst och transport utsätts för stress vid hantering, så bör målet vara att skapa säkra vandringsvägar för ål i vattendragen, från insjöar till kusten.

4. 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 Energiforsks program Krafttag ål för att vi fick implantera ål med biologgers under ordinarie fångst och transportverksamhet.

Referenser

- Briand, C., M. Legrand, B. Laurent, B. Clarisse, L. Denis, and G. Sebastien. 2022. stacomIR: 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.
- Deelder, C. 1976. The problem of the supernumary zones in otoliths of the European eel (*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)); a suggestion to cope with it. *Aquaculture* 9:373-379.
- 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.
- 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. 2024. Joint EIFAAC/GFCM/ ICES Working Group on Eels (WGEEL). ICES Scientific Reports 6:90.

- ICES. 2011. Report of the workshop on age reading of European and American eel (WKAREA2). 22-24 March 2011, Bordeaux, France. ICES CM 2011/ACOM:43.
- Jacobson B, Jacobson P. 2022. Faktorer som påverkar dödlighet hos ål vid fångst och transport förbi kraftverk. SLU Aqua notes 2022:5. Sveriges lantbruksuniversitet. eISBN: 978-91-8046-799-5. DOI: <https://doi.org/10.54612/a.103nhe2ns8>
- 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.
- 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.
- Nordqvist, H. 1929. Försök rörande import och inplantering i svenska sjöar av engelsk glasål. Skrifter utgivna av Södra Sveriges Fiskeriförening:60-86.
- 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.
- Sundin J, Jacobson B, van Gemert R, Person J, Myrenås M, Jacobson P. 2023. Stress hos europeisk ål under sumpning och transport – effekter av fångst och transport. SLU Aqua notes 2023:25. Sveriges lantbruksuniversitet. eISBN: 978-91-8046-704-9. DOI: <https://doi.org/10.54612/a.4r2gje6cg>
- Sundin J, Karlsson K, Jacobson B, Jacobson P. 2025. Assessment of mortality during trap and transport in adult European eel. *Fisheries Research*, 281:107264. DOI: 10.1016/j.fishres.2025.107264.