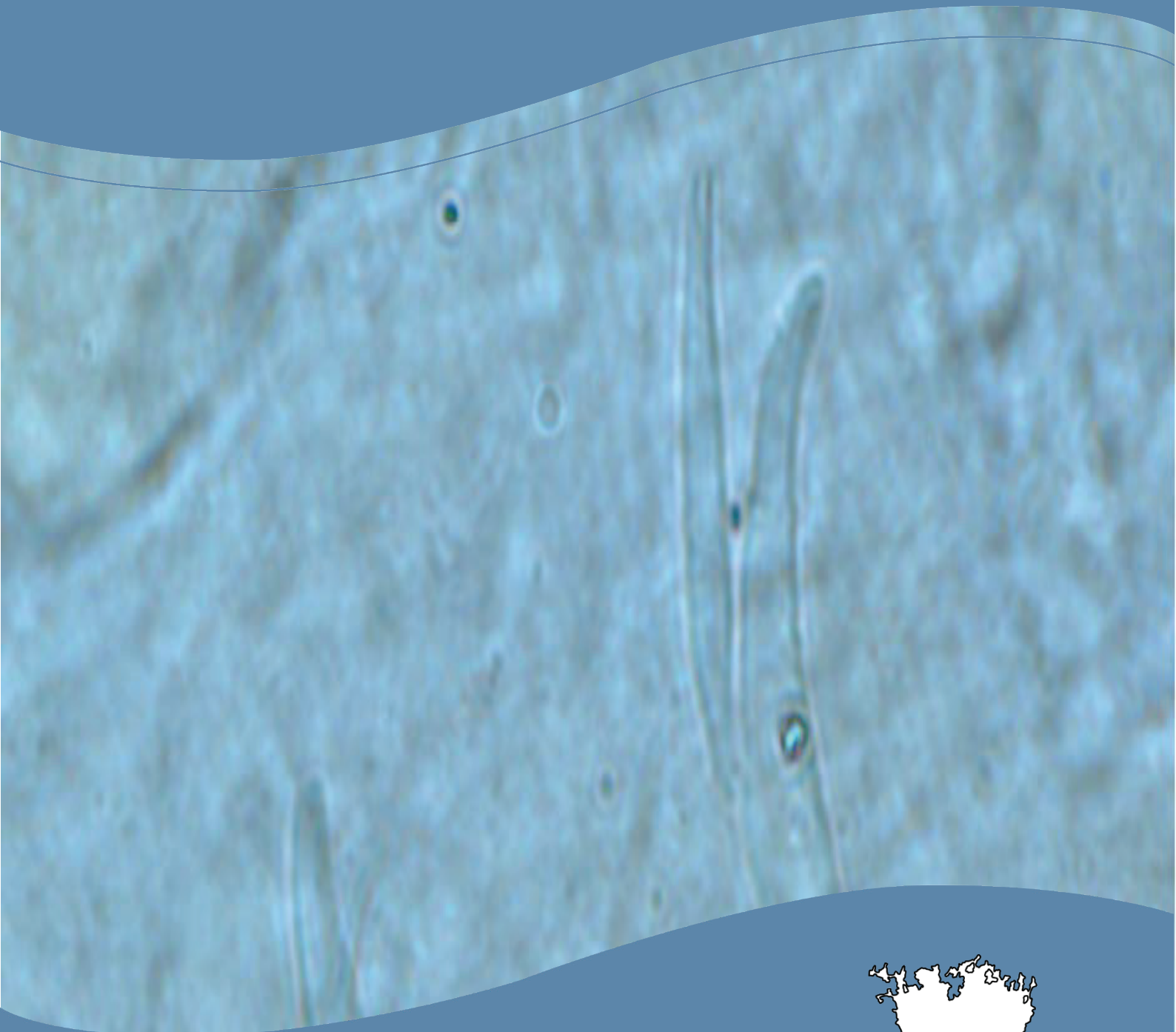


# Oligochaeter som miljöindikatorer i norra Vänern

- en jämförelse mellan dagens situation och äldre undersökningar



**Titel:** Oligochaeter som miljöindikatorer i norra Vätern - en jämförelse mellan dagens situation och äldre undersökningar

**Tryckår:** 2021

**ISSN:** 1403-6134

**Rapportnummer:** 124

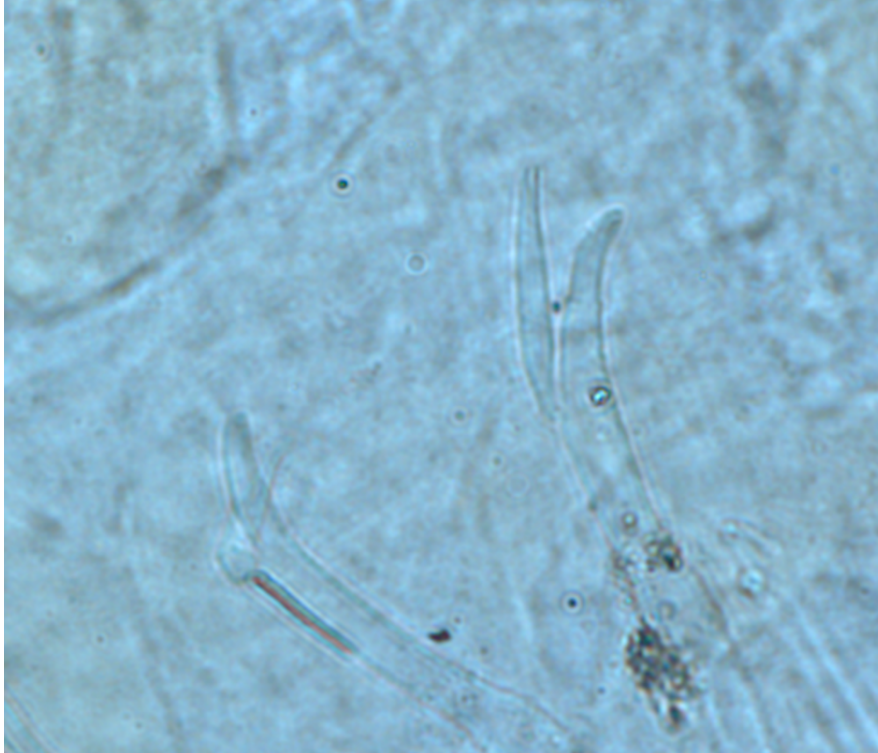
**Författare:** Göran Milbrink och Lars Sonesten, SLU för institutionen Vatten och miljö

**Foto:** Göran Milbrink

**Utgivare:** Väterns vattenvårdsförbund

Rapporten finns som pdf på [www.vatern.se](http://www.vatern.se)

Copyright: Väterns vattenvårdsförbund. Kopiera gärna texten i rapporten men ange författare och utgivare. Användande av rapportens fotografier eller bilder i annat sammanhang kräver tillstånd från Väterns vattenvårdsförbund.



## **Oligochaeter som miljöindikatorer i norra Vänern**

**Förekomsten av deformiteter i relation till  
tungmetallkontaminering - en jämförelse mellan dagens  
situation och äldre undersökningar**

Göran Milbrink och Lars Sonesten

**SLU, Vatten och miljö: Rapport 2021:11**

**Omslagsfoto:** *Deformerade ventrala borst av Klass I hos Potamothrix hammoniensis. Högra borsten djupt slitsat och med övre skänkel hängande löst med tudelad spets. Vänstra borsten övre skänkel har gått av/vikt sig. Åsffjorden Sin 9 april, 2020 (ljusmikroskopi). Foto: Göran Milbrink.*

Tryck: Endast som pdf

Tryckår: 2021

Kontakt

Goran.milbrink@ebc.uu.se



# Innehåll

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Förord.....                                                                                     | 1  |
| Sammanfattning .....                                                                            | 2  |
| Summary .....                                                                                   | 2  |
| 1 Introduktion.....                                                                             | 4  |
| 1.1 Oligochaetsammansättningen och miljöövervakningen i Vänern i ett<br>längre perspektiv ..... | 4  |
| 1.2 Karakteristiska artsamhällen av bottenlevande oligochaeter som<br>miljöindikatorer .....    | 7  |
| 1.3 Sedimentkontaminering i Vänern.....                                                         | 8  |
| 1.4 Tungmetallkontamineringens historik och effekter på biota i Vänern<br>10                    |    |
| 1.5 Klassning av deformiteter som påträffats hos oligochaeter i Vänern                          | 11 |
| 2 Material och Metoder.....                                                                     | 15 |
| 2.1 Analyshypoteser .....                                                                       | 17 |
| 3 Resultat .....                                                                                | 17 |
| 3.1.1 Kattfjorden .....                                                                         | 18 |
| 3.1.2 Säterholmsfjärden .....                                                                   | 19 |
| 3.1.3 Åsfjorden.....                                                                            | 19 |
| 4 Diskussion.....                                                                               | 19 |
| 5 Referenser .....                                                                              | 21 |

## Förord

Föreliggande rapport är en utvärdering av forskning rörande Vänerns, särskilt dess norra delars, utveckling under senare tid, hur miljöindikerande oligochaetsamhällen i bottenfaunan påvisar pågående miljöförbättringar i vår tid vad gäller organisk belastning och förekomsten av deformiteter hos enskilda arter i relation till tungmetaller i sedimenten. Rapporten är en del i retrospektiva studier av oligochaetfaunan i Sveriges fyra största sjöar under ledning av författaren. Materialet sträcker sig dryga 100 år tillbaka i tiden i Mälaren, Vättern och Vänern, samt 50 år i Hjälmaren. Materialet visar klart hur eutrofieringen intensifierades fram till 60- och 70-talen varefter en oligotrofieringsfas inleddes med kontinuerlig förbättring av miljöförhållandena.

Jämförelser har i första hand gjorts med följande publikationer, Milbrink och Sonesten: "Deformiteter hos oligochaeter i Vänern och Milbrink, 2013: "Oligochaetsammansättningen och miljöövervakning i Vänern i ett längre perspektiv". Rent vetenskapligt gällande hela problemområdet hänvisas framför allt till Milbrink (2020): "Composition and abundance of oligochaetes in Scandinavian lakes in the 1970s in full compatibility with the "morphoedaphic index". Do these relationships still hold 40 years later?".

Provtagningen har genomförts av SRK Norra Vänern och i Vänerns Vattenvårdsförbunds regi. Analyserna ingående i denna rapport har genomförts med finansiering av SRK Norra Vänern samt Vänerns Vattenvårdsförbund.



Figur 1. De undersökta vikarna i Vänerns nordliga del – Kattfjorden, Säterholmsfjärden och Åsfjorden.

## Sammanfattning

Bottenlevande fåborstmaskar, oligochaeter, är känsliga miljöindikatorer i alla typer av vatten (Milbrink, 1980). I en retrospektiv uppföljande studie över oligochaet-samhällen som miljöindikatorer i tre olika nordliga Vänervikar (Kattfjorden, Säterholmsfjärden och Åsfjorden) har dessa samhällen 2020 jämförts med situationen upp till 50 år tidigare. Studien visar att syrekrävande arter som *Spirosperma ferox* har ökat betydligt och finns nu även längre in i vikarna delvis på bekostnad av dominerande toleranta arter som *Potamothrix hammoniensis* och *Limnodrilus hoffmeisteri*, vilka associeras med belastning av organiskt material. Vänerns norra organiskt belastade randområden genomgår numera en fortlöpande oligotrofiering vilket denna undersökning ger belägg för. Studien koncentrerar sig också på de deformiteter som vissa oligochaetarter, särskilt *P. hammoniensis*, uppvisar som svar på metallkontaminering av bottenarnas sediment. Dagens situation med minskad antropogen belastning med avseende på näringsämnen och olika metaller har kunnat jämföras med tillståndet 50 år resp. 30 år tidigare. Stora mängder av miljöfarliga ämnen såsom kvicksilver finns lagrade i de sediment som oligochaeterna lever i. Deformiteterna indelas i grava och mildare former.

Resultaten från undersökningen visar på att de allra grävsta formerna av missbildningar, dvs. groteskt förändrade ventrala borst, med tiden generellt sett har blivit mindre grava och minskat i omfattning. Utöver de skador som noterades på ventrala borst vid tidigare undersökningar noterades i de två senaste undersökningarna även att deformiteter hos de dorsala borsten (s.k. crotchets) har tillkommit hos arten *P. hammoniensis* i samtliga tre fjärdar. Dessa deformiteter spänner mellan lättare och mer grava skador, där de lätta dominerar. Liknande skador hos dorsala borst har endast undantagsvis setts i tidigare material från Vänern. De senaste två undersökningarna har avslöjat att en ytterligare art, *S. ferox*, visar deformiteter hos ventrala borst, men av mildare slag.

Även om förekomsten av de mest grava deformiteterna har minskat, så visar resultaten att de lättare skadorna inte har minskat i samma omfattning under den undersökta perioden annat än på vissa provplatser. Detta skulle kunna tyda på att oligochaeterna fortfarande påverkas av upplagrade miljögifter i sedimenten.

## Summary

Benthic oligochaetes are sensitive indicators of the water quality and various kinds of stress caused by hazardous substances (Milbrink, 1980). In a previous study from the early 1970's, grave external morphological deformities were found in oligochaetes from four bays in the northern part of Lake Vänern, Sweden. In a first follow-up in three of those bays, Kattfjorden, Säterholmsfjärden och Åsfjorden, a new series of samples were obtained from the same localities in 1975-1988 and

were analyzed the same way. The present study is the second follow-up series that has been done covering the situation in the spring of 2020. These two series of samples represent a period of reduced anthropogenic impact from nutrients as well as various metals, most importantly mercury. However, large amounts of various environmental pollutants are still deposited in the sediments where benthic organisms like oligochaetes live.

The present study shows that oxygen demanding species like *Spirosperma ferox* have increased quite substantially even in the inner parts of the three bays/fjords. Tolerant species like *Potamothrix hammoniensis* and *Limnodrilus hoffmeisteri* have at the same time decreased in abundance. The results also show that the presence of the most severe malformations, i.e. gravely deformed ventral chaetae of the species *P. hammoniensis* have been reduced over time. In addition to the deformed ventral chaetae found in earlier investigations, this study and the foregoing have also revealed malformations of the dorsal pectinate chaetae (so-called crotchets) in the dominant species *Potamothrix hammoniensis* in all three investigated bays. Previously malformations in dorsal chaetal bundles ranging from slight to severe abnormalities have only rarely been found in the lake. The last two studies have also revealed that a second oligochaete species, *S. ferox*, had a high proportion of moderately deformed ventral chaetae.

Although the presence of severely malformed chaetae has been reduced, this study reveals that minor deformities have not been reduced to the same degree except on some localities. This is likely to be a result of exposure to various environmental pollutants deposited in the sediments.

# 1 Introduktion

## 1.1 Oligochaetsammansättningen och miljöövervakningen i Vänern i ett längre perspektiv

Bottenlevande fåborstmaskar, oligochaeter, har visat sig vara känsliga miljöindikatorer i alla typer av inlandsvatten – inte minst i de stora sjöarna i Sydsverige - Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren (Milbrink 1980). De största sjöarna i södra Sverige har i historisk tid påverkats i mer eller mindre hög grad av människan. Vänern och Vättern är i grunden näringsfattiga, oligotrofa, medan Mälaren genom sin morfometri och läge i en relativt tätbefolkad jordbruksbygd är mera näringsrik, eutrof. Mälarens centrala fjärdar har dock behållit sin mera mesotrofa karaktär, dvs. måttligt näringsrik. I alla sjöarna har orenat avloppsvatten lett till övergödningseffekter som kulminerade under 1960-1970-talen. Tillkomsten av effektiva avloppsreningsverk har därefter medfört en gradvis förbättring av situationen. Tillfrisknandet har i vissa fall gått oväntat fort såsom i Vättern (Milbrink, 2020).

Miljösituationen i Vänern förändrades till det sämre under främst 1960-talet och in på 70-talet. Vissa delar av Vänern, t.ex. Säterholmsfjärden, Kattfjorden, Åsfjorden och Byviken, var starkt påverkade av allehanda utsläpp (se nedan). Likaså Mariestadsfjärden i östra Värmlandssjön var starkt påverkad. Till och med Vänerns öppna delar visade under 70-talets eutrofieringsmaximum tecken på påverkan från utsläpp i sjöns randområden (Milbrink 2013).

Eutrofieringsförloppet fram till och med 1970-talet i de stora sjöarna i Sydsverige och därpå följande oligotrofieringsprocesser kan i många fall tydligt ses i kvantitativa och kvalitativa förändringar inom bottenfaunan, främst hos oligochaeter och chironomidlarver (fjädermyggor). I nämnda rapport från 2013 gjorde undertecknad en sammanställning av alla artanalyser som utförts på oligochaet-material från Vänern, vilket omfattar material som har samlats in under nära 100 år.

Den första större bottenfaunaprovtagningen i Vänern som vi känner till utfördes av Fiskeristyrelsen 1921 i avsikt att ge ett underlag för bedömning av hur mycket bottenfaunan betydde som näring för fiskpopulationerna i sjön – alltså i beredskaps-syfte. På order av professor Gunnar Alm på Sötvattenslaboratoriet i Drottningholm tog man upp forskningsfartyget Eystrasalt till Vänern och företog ett antal provtagningar i Värmlandssjön, s.k. boniteringar. Man använde sig av en marin s.k. Petersenhuggare. Oligochaet-proverna från de boniteringarna vilka bevarats till våra dagar har nyligen analyserats av undertecknad. Boniteringsmaterialet hade varit på drift från Sötvattenslaboratoriet sedan 1971, men återfanns våren 2011 på SLU.

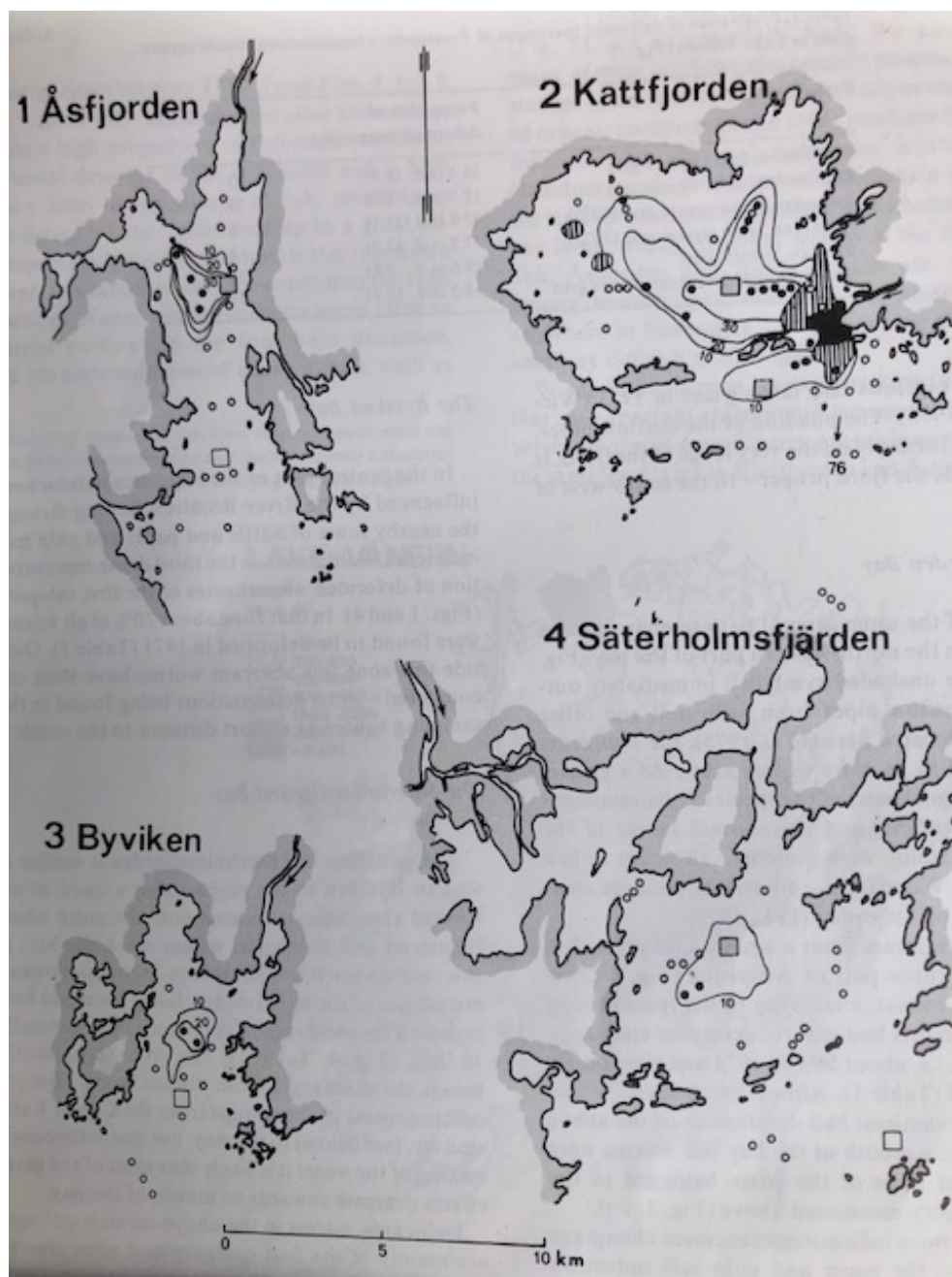
1963 genomförde docenten Ulf Grimås vid Uppsala Universitet, uppbackad av Vatteninspektionen i Drottningholm, en översiktlig bonitering av Vänern då i avsikt att skapa underlag för bedömning av miljösituationen i sjön. Proverna togs som

skrap- och bottenhugg (med s.k. Ekmanhuggare) och analyserades under 60-talet av undertecknad med avseende på oligochaet-innehållet.

Vissa av de resultat som den senare boniteringen gav upphov till var klart oroande ur miljösynpunkt, och 1970-1971 (1972) genomförde IVL, Institutet för Vatten och Luftvårdsforskning (numera IVL Svenska Miljöinstitutet), en större bottenprovtagning i Vänern, främst omfattande de större vikarna och fjordarna i norra Värmlandssjön - Säterholmsfjärden, Kattfjorden och Åsfjorden - samt Byviken i Dalbosjön. Proverna som uppgick till flera hundra tagna med Ekmanhuggare analyserades med avseende på oligochaet-sammansättning av undertecknad i början av 70-talet. 1973 lade institutet ut ett antal provrutor i och alldeles utanför samma vikar/fjordar (figur 2). Ett stort antal parallella prover togs - vilka undertecknad senare analyserade. Analyserna gav statistiskt säkerställda resultat för framtida jämförelser. Det måste betecknas som en mycket framsynt strategi från IVL:s sida.

Jämförelser har så långt det är möjligt kunnat göras mellan boniteringen 1921 och boniteringen 1963 (Milbrink 2013). Då handlar det enbart om Värmlandssjön. Två djupstationer i centrala Vänern, Megrundet (i Dalbosjön) och Tärnan (i Värmlandssjön), provtogs också under de tidiga boniteringarna, och två stationer i Mariestadsfjärden provtogs av IVL 1970-1971. Uppföljningar har sedan gjorts i omgångar av Naturvårdsverket och SLU, och oligochaet-materialet har fortlöpande analyserats av undertecknad. Bland annat genomförde med tre års mellanrum under tiden 1974 och 1988 bottenprovtagningar på ett antal nyckelstationer i norra Vänern (Milbrink och Sonesten 2014). Det har fallit sig naturligt att göra jämförelser mellan de olika boniteringarna. Jämförelserna med tidiga prover har sin tyngdpunkt i den kvalitativa bilden. Statistiskt sett är det tidiga materialet till delar en aning bristfälligt.

Som en följd av IVL:s kartläggning av bottenfaunan i Vänerns norra randområden, särskilt i relation till industriella utsläpp, genomfördes också sedimentprovtagningar med åtföljande sedimentkemiska och hydrologiska analyser på stationer över hela sjön (Håkansson 1975, 1977, 1978). Sedimentprovtagningar i Vänerns fjärdar/fjordar i syfte att kunna bedöma kontamineringsstillståndet har senare gjorts av Alcontrol (2013).



Figur 2. Stationsnät och permanenta provrutor som använts i Kattfjorden, Säterholmsfjärden, Åsfjorden och Byviken 1971 – och till viss del även 1970. Den approximativa utbredningen och procentuella förekomsten av deformerade oligochaeter visas i form av fyllda cirkular och fyrkanter (hög andel deformiteter) och sammanbindande isolinjer. Fiberkontaminerade sediment som konstaterades i Kattfjorden och utanför själva fjorden 1970 markeras i svart – kontinuerliga depositioner – och i skuggade symboler (IVL 1970, 1972). Pil markerar den station utanför Kattfjorden där missbildade oligochaeter upptäcktes 1976.

## 1.2 Karakteristiska artsamhällen av bottenlevande oligochaeter som miljöindikatorer

De olika i Sverige förekommande oligochaetarterna har som vi nu vet olika toleranser mot omvärldsfaktorer och olika preferenser vad beträffar t.ex. bakteriell föda. Oftast är det fråga om toleransnivåer mot syrebrist i bottnarna och utsatthet för olika tungmetaller eller andra gifter i miljön. Men det kan också vara fråga om interspecifika relationer såsom symbios mellan arter i fråga om födointag eller möjligen selektivt predationstryck utövat av iglar, fisk etc. Inlandsvatten av en viss trofinivå hyser sina artsamhällen medan andra vatten av en annan trofinivå hyser helt andra. Grovt sett delar vi in vattnen i tre olika trofinivå, eutrofi vid mer eller mindre stor organisk belastning, oligotrofi vid låg belastning med god syretillgång i bottenvattnet och mesotrofi som ligger per definition där emellan. De tre trofinivå-typerna definieras vanligen i termer av genomsnittlig totalfosforhalt i  $\mu\text{g/l}$  i ytvattnet men då helst i relation till recipientens morfometri, dvs. totalfosforhalten dividerad med medeldjupet i meter - det s.k. morfometriska indexet. I Milbrink (2020) och dessförinnan i Milbrink (1978) diskuteras allt detta med utgångspunkt från de stora sjöarna i södra Skandinavien.

En tabell i nämnda arbeten (se tabell 1 i denna rapport) visar den genomsnittliga, relativa förekomsten av varje art i oligotrofa, mesotrofa respektive eutrofa miljöer främst baserad på författarens mångåriga erfarenheter från skandinaviska vatten. Varje art har givits 10 poäng, totalt motsvarande 100%. De mycket syrekänsliga arterna *Spirosperma ferox* och *Stylodrilus heringianus* har fått 8 resp. 9 poäng i oligotrofa miljöer, 2 resp. 1 poäng i mesotrofa miljöer och inget poäng alls i eutrof miljö. Dessa arter förekommer bara undantagsvis i profundala bottnar i eutrof miljö. I andra ändan av tabellen har de toleranta arterna *Potamothrix hammoniensis* och *Limnodrilus hoffmeisteri* fått särskilt höga poäng i eutrofa miljöer, 8 resp. 9 poäng (dvs. 80-90%), några få poäng i mesotrofa miljöer men inga alls i oligotrofa miljöer. De påträffas helt enkelt sällan där. De flesta arterna som nämns i tabellen i Bilaga 1 placerar sig någonstans mellan extremerna. Exempelvis arterna *Tubifex tubifex* och *Eiseniella tetraedra* får i analogi med ovanstående 5 poäng i såväl eutrof som oligotrof miljö och inga poäng alls i mesotrof miljö, vilket speglar det faktum att dessa arter oftast förekommer i relativt ”extrema” miljöer. Andra arter såsom ett större antal s.k. Ponto-Kaspiska invandringsarter av släktet *Potamothrix* och ett antal arter av släktet *Limnodrilus* påträffas ofta någonstans mellan mesotrofi och eutrofi och mera sällsynt i oligotrofa vatten. *Potamothrix moldaviensis* förekommande i Mälaren och *Bothrioneurum vej dovskyanum* i alla de stora sydsvenska sjöarna har en sådan utbredning – 2 poäng i oligotrofi och 4 poäng i såväl amyotrofi som mesotrofi. Oligochaetsamhällen är således artgrupper som ofta påträffas tillsammans under samma omständigheter. I föreliggande material från norra Vätern är det lätt att urskilja sådana oligochaet-samhällen. Den intresserade hänvisas till de resonemang som förs i Milbrink (2020).



Tabell 1. Medelförekomst av sötvattensoligochaeter i skandinaviska sjötyper (återgivet från Milbrink 1978). Den genomsnittliga relativa förekomsten av varje art i oligotrofa, mesotrofa resp. eutrofa miljöer (totalt 10 poäng åsatta för varje art) som den subjektivt uppfattas av författaren och internationell expertis på området.

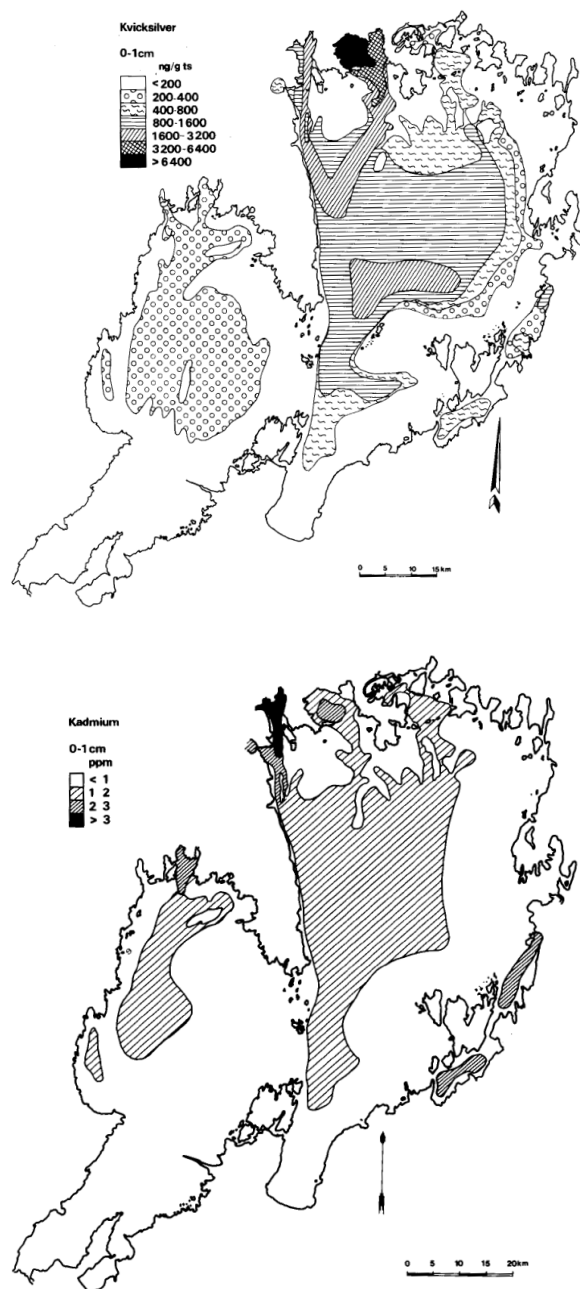
| Species                            | Oligotrofa | Mesotrofa | Eutrofa |
|------------------------------------|------------|-----------|---------|
| <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>    | 1          | 2         | 7       |
| <i>Potamothenix hammoniensis</i>   | 1          | 3         | 6       |
| <i>Limnodrilus claparedeanus</i>   | 1          | 3         | 6       |
| <i>Aulodrilus pluriseta</i>        |            | 4         | 6       |
| <i>Potamothenix heuscheri</i>      |            | 4         | 6       |
| <i>Tubifex tubifex</i>             | 5          |           | 5       |
| <i>Eiseniella tetraedra</i>        | 5          |           | 5       |
| <i>Ilyodrilus templetoni</i>       |            | 5         | 5       |
| <i>Potamothenix vejvodskyi</i>     |            | 5         | 5       |
| <i>Potamothenix bedoti</i>         |            | 5         | 5       |
| <i>Limnodrilus udekemianus</i>     | 1          | 4         | 5       |
| <i>Potamothenix moldaviensis</i>   | 2          | 4         | 4       |
| <i>Lophochaeta ignota</i>          | 2          | 4         | 4       |
| <i>Aulodrilus limnobius</i>        | 2          | 5         | 3       |
| <i>Bothrioneurum vejvodskyanum</i> | 2          | 5         | 3       |
| <i>Aulodrilus pigueti</i>          | 3          | 5         | 2       |
| <i>Psammoryctides albicola</i>     | 4          | 5         | 1       |
| <i>Rhyacodrilus coccineus</i>      | 4          | 6         |         |
| <i>Rhyacodrilus falciformis</i>    | (5)        | (5)       |         |
| <i>Psammoryctides barbatus</i>     | 5          | 5         |         |
| <i>Limnodrilus profundicola</i>    | 7          | 3         |         |
| <i>Spirosperma ferox</i>           | 8          | 2         |         |
| <i>Rhynchelmis tetratheca</i>      | 8          | 2         |         |
| <i>Stylodrilus heringianus</i>     | 9          | 1         |         |

### 1.3 Sedimentkontaminering i Vänern

Följande avsnitt som beskriver kontamineringsläget i Vänern och belastningen på sjön via punktkällor har *in extenso* hämtats från Milbrink och Sonesten (2014).

”Vänerns ytsediment blev under 1900-talet starkt kontaminerade av industriella utsläppsprodukter, särskilt av kvicksilver, men även av kadmium, zink och bly (Håkansson 1977, 1978, samt figur 1 i denna rapport). Kviksilver och kadmium anses vara bland de ekologiskt mest aggressiva metallerna. Enligt Håkansson (1975) är Vänern, särskilt Värmlandssjön, en av de mest kvicksilverförorenade större sjöarna i världen. I större delen av Värmlandssjön är kontaminationsgraden i storleksordningen 10-50 gånger de naturliga bakgrundsvärdena för kvicksilver och 2-5 gånger högre för såväl kadmium som zink (Håkansson 1977, 1978). Vid sedimentundersökningar utförda 2013 var såväl kvicksilverhalterna som halterna av kadmium och zink fortfarande på klart förhöjda nivåer i Byviken och Åsfjorden (Alcontrol 2013).

Kviksilverhalterna var 5-10 gånger högre i ytsedimenten jämfört med djupare lager, medan kadmiumhalterna i Åsfjorden var fem gånger högre och zinkhalterna var tre gånger högre än i djupare sedimentskikt. För ytterligare detaljer angående regionala skillnader i kontaminationsgrad i Vänern för olika tungmetaller hänvisas till Wiederholm (1984). Därutöver kan inte synergistiska effekter mellan olika tungmetaller eller andra ämnen uteslutas, vilket komplicerar bilden ytterligare. Den generella spridningsbilden är att tungmetaller och andra miljöfarliga ämnen av organisk typ sprids över Värmlandssjön med de strömmar som på grund av jordens rotation vanligen går moturs i de två huvudbassängerna (Håkansson 1977)".



Figur 3. Halterna av a) kvicksilver och b) kadmium i Vänerns ytsediment (0-1 cm) vid mitten av 1970-talet (från Håkansson 1978).

”Centrum för emissioner av kvicksilver har varit Skoghallsverken i Kattfjorden med sina kloralkalifabriker inom träförädlingsindustrin (figur 3), men även andra träförädlingsindustrier vid Vänern såsom vid Gruvön, Slottsbron och Kyrkevik i Åsfjorden har också bidragit med kvicksilver och andra miljöskadliga avfallsprodukter (IVL 1972). IVL:s stora undersökningar i Vänern 1971 var främst koncentrerad till fjordar och fjärdar i norra Vänern (Kattfjorden, Åsfjorden och Säterholmsfjärden), samt till Byviken i Dalbosjön (här utsläpp från bl.a. Billeruds bruk). Stationsnätet och s.k. permanenta provtagningsrutor för intensivprovtagning var orienterade i förhållande till kända utsläppspunkter och man hade en förhoppning om att proverna skulle ge en tydlig bild av den rådande utsläppssituationen i sjön. Det kan erinras om att från utsläppspunkten utanför Skoghallsverken i Kattfjorden leder en naturlig djupränna ut i Värmlandssjön”.

Tungmetallförekomsterna i t.ex. Säterholmsfjärdens sediment kan vara resultatet av anticyklonala vattenströmningar i sjön från spridningscentra i exempelvis Kattfjorden och Åsfjorden, men exempelvis kvicksilver från Skoghallsverken kan också ha nått Säterholmsfjärden i form av luftdepositioner via ihållande västliga vindar.

Denna rapport avhandlar också de sannolika konsekvenser som sediment-kontamineringen har fått på oligochaeternas morfologi, d.v.s. har lett till mer eller mindre grava deformiteter hos djurens borst uppsättningar. Deformiteterna är huvudsakligen koncentrerade till de tre vikar/fjordar som denna undersökning handlar om, men också till Byviken. Nämda naturliga djupränna som leder ut ur Kattfjorden torde bidra till spridningen av giftigt avfall ut i Vänern och kan förklara spridningen av grava deformiteter till djupstationerna utanför själva fjorden och ytterligare längre ut mot öppna sjön. Såväl i det äldre materialet som i det senare ser vi hur långt ut i Vänern som grava och lättare deformiteter kan återfinnas. Till och med på den yttersta stationen utanför Kattfjorden, Station 89 i denna undersökning, kan lättare deformiteter fortfarande förekomma hos djuren. Samma sak gäller också Säterholmsfjärden.

## 1.4 Tungmetallkontamineringens historik och effekter på biota i Vänern

Detaljerade uppgifter om oligochaet-deformiteternas historik har givits i Milbrink och Sonesten (2014), varför endast en summering inklusive kriterierna för beskrivning av iakttagna deformiteter och själva bildmaterialet ges här.

Det finns en känd historik bakom tungmetallkontamineringens konsekvenser för biota i norra Vänern. De mest påtagliga effekterna av konstaterat höga metallhalter i bottensedimenten är förhöjda halter av kvicksilver i fisk (främst i Kattfjorden och närheten till Skoghallsverken), vilket under 70-talet resulterade i regionala fiskeförbud och rekommendationer om att inte konsumera vissa fiskslag. I Åsfjorden och i de inre delarna av Säterholmsfjärden rådde det under den tiden totalförbud för fiskkonsumtion, likaså i Kattfjorden med undantag för lax och öring. Det rådde en

allmän mening om att bland olika tungmetaller främst kvicksilver (från klor-alkali-verket i Skoghall) var den huvudsakliga orsaken. Utsläppen torde ha skett i utloppsvattnet i första hand men sannolikt även, som nämnts, luftledes. Säterholmsfjärden ligger som nämnts i vindens huvudriktning och biota är påverkade även här med deformiteter som resultat.

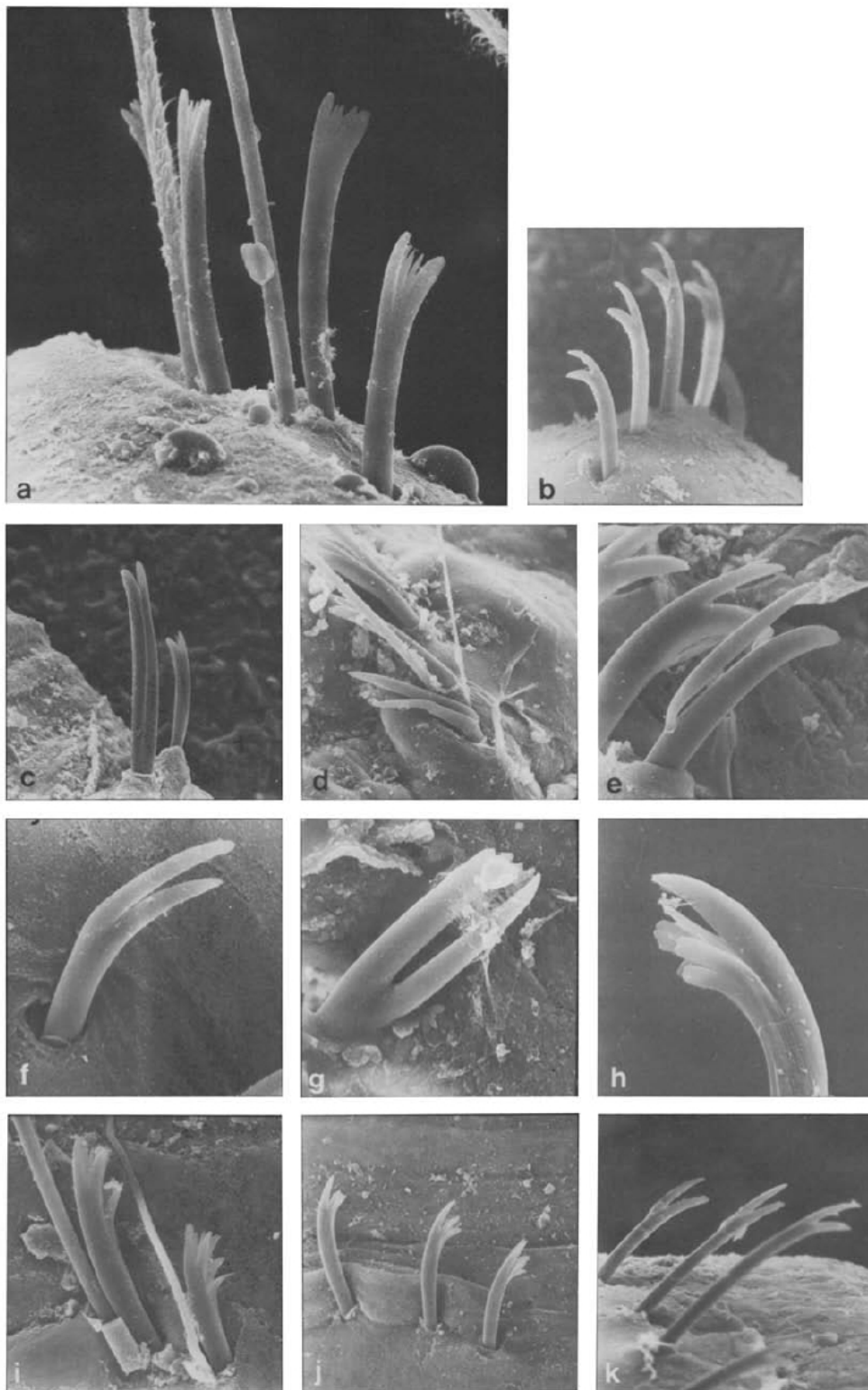
Nära utsläppspunkter för industriella utsläpp såsom i Kattfjorden, har det vidare konstaterats att bottenfaunan kan saknas fullständigt (Wiederholm 1984). Generellt sett så är oligochaet-abundanserna klart lägre i Kattfjorden-området än i andra vikar och fjordar i norra Vänern.

Andra tecken på att faunan har påverkats av tungmetaller och/eller andra industriella utsläpp är starkt deformerade borst hos bottenlevande oligochaeter i prover som togs av IVL 1970, 1971 (1972) och 1973 i Kattfjorden, i Säterholmsfjärden, i Åsfjorden och i Byviken (Milbrink 1980, 1983), se figur 2. Under 80-talet fann även Wiederholm (1984) deformiteter hos mundelarna av larverna av vissa fjädermyggarter i norra Vänern. Liknande deformiteter hos oligochaeter hade dessförinnan aldrig så vitt känt beskrivits i litteraturen. Senare, i början av 2000-talet, har emellertid undertecknad funnit liknande, men delvis mildare deformiteter hos samma arter av oligochaeter i Kolbäcksså-systemet i Västmanland med kända industriella utsläpp (Milbrink, opubl.).

Graden av deformiteter var starkt korrelerad till tungmetallhalter i sedimenten (Milbrink 1983, Milbrink och Sonesten, 2014). De funna deformiteterna var i många fall så allvarliga att de i hög grad måste ha påverkat rörelseförmågan och födosökmöjligheterna hos de organismer som drabbats. Missbildningarna är samtidigt ett tecken på att djuren sannolikt inte mår bra. Det bör dock påpekas att riktigt grava missbildningar vanligen leder till att den drabbade organismen dör tämligen omgående genom svält eller dukar under genom predation, vilket innebär att dessa organismer sällan påträffas i miljöundersökningar. För en sammanfattning av hela problemområdet hänvisas till Milbrink (1983).

## 1.5 Klassning av deformiteter som påträffats hos oligochaeter i Vänern

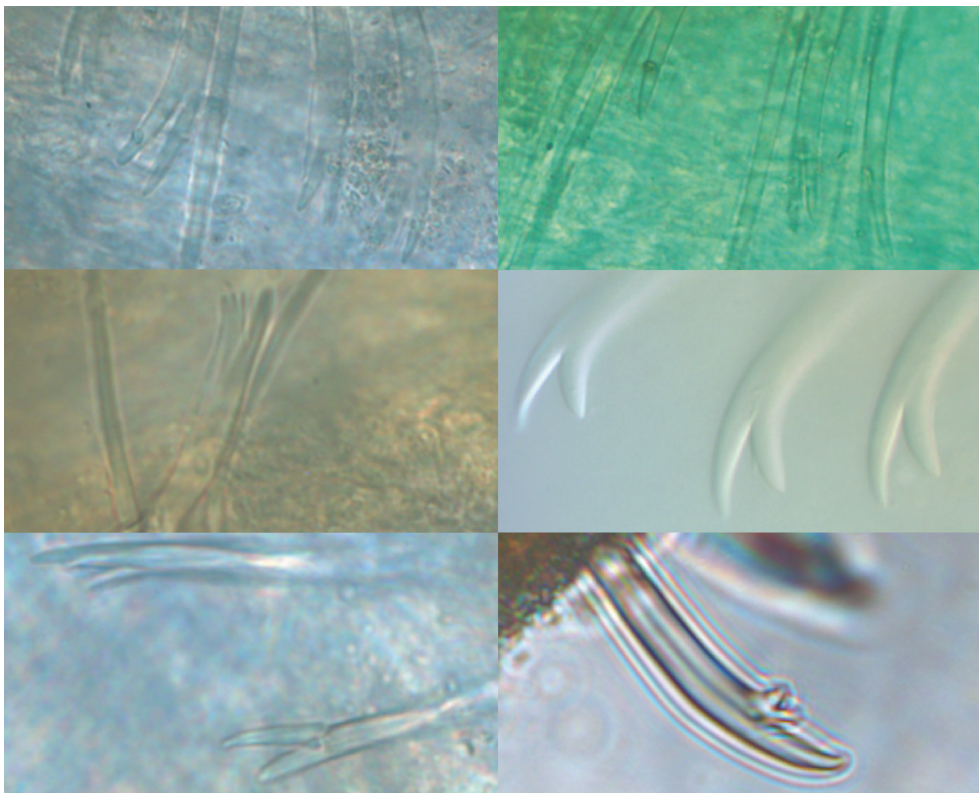
Under tidigt 70-tal analyserades samtliga tagna bottenprover med avseende på oligochaeternas artsammansättning, vilket gjort det möjligt att gradera miljöpåverkan och i vissa fall också specifik påverkan (Milbrink 1983). I dessa analyser konstaterades grava deformiteter av oligochaeternas borst i bland annat Kattfjorden, särskilt hos arten *P. hammoniensis* (figurerna 4a och 4b visar normala borst och figurerna 4c, 4e-h samt 4j, deformerade borst (svepelektroniska-SEM-bilder från Milbrink 1983)). Figur 4 är hämtad från Milbrink och Sonesten (2014). Det visade sig att liknande deformiteter även fanns i Åsfjorden och Byviken, vilka också under lång tid varit exponerade för industriella utsläpp innehållande bland annat tungmetaller.



Figur 4. Svepelektronmikroskopiska (SEM) bilder på normala (4a-4b) och deformerade (4c-4h och 4j) främre ventrala borst ("bifids") hos *P. hammoniensis* i IVL:s bottenfaunamaterial från Vänern 1971 (från Milbrink 1983, återgivet med tillstånd av Springer Science+Business Media [with kind permission of Springer Science+Business Media]).

Likaså i Säterholmsfjärden t.o.m. i de yttre delarna kunde sådana deformiteter påvisas. Resultaten publicerades av författaren i boken "Aquatic Oligochaete Biology" 1980 och i Milbrink (1983). De grövsta formerna av deformiteter – klubblika ventrala borst (se figur 4g) återfanns på de stationer som låg närmast kända utsläppspunkter för industriellt avfall i Kattfjorden, Åsfjorden och Byviken, medan mildare former – uppfransade och onormalt uppslitsade ventrala borst (se figur 4h och 4j) kunde ses i utkanterna av samma fjordar och fjärdar, samt i Säterholmsfjärden (Milbrink 1983). De generella slutsatserna av dessa mildare former av deformiteter tolkades som att påverkansgraden varit mindre (Milbrink och Sonesten 2014).

I IVL:s material från tidigt 70-tal var det nästan enbart en art, *P. hammoniensis*, som var missbildad på ett eller annat sätt. Arten är som nämnts förknippad med eutrofa förhållanden (Milbrink 1980) såsom i Säterholmsfjärden som är eutrofierad av utsläpp som kommit via Klarälven och från Karlstad med omnejd, i Kattfjorden och i Åsfjorden med omland. Renvattensarten *S. ferox* var därför tämligen sällsynt förekommande i materialet från norra Vänerns randområden. I senare undersökningar i Säterholmsfjärden kunde däremot konstateras en mild form av deformiteter av den typ som beskrivits ovan också hos enstaka könsmogna individer av *S. ferox* (se figurerna 5e och 5f).



Figur 5. Figuren är en komplettering till figur 4 med den skillnaden att också bilder av *S. ferox* finns med. Figurerna 5a) och 5b) visar exempel på starkt deformerade dorsala borst hos *P. hammoniensis*, medan 5c) är exempel på ett mildt deformerat dito ("crotchet"). Figur 5d) är ett normalt ventralt borst hos *S. ferox*, medan 5e) visar ett starkt deformerat, samt 5f) ett mildt deformerat ventralt borst hos samma art.

De olika deformiteterna hos djuren har klassats i enlighet med följande faktaruta som är hämtad från Milbrink och Sonesten (2014).

#### Faktaruta - Deformitetsklassningar

Både i nuvarande undersökning och i tidigare studier av Milbrink (1980, 1983), samt Milbrink och Sonesten (2014) visade sig deformiteter främst uppträda hos *Potamothenis hammoniensis* men till en del även hos renvattensarten *Spirosperma ferox*. Dessa deformiteter har kategoriserats i två huvudklasser där klass I rymmer kraftigt deformerade och klass II lätt deformerade ventrala (buk) borst. I den senaste undersökningen (Milbrink och Sonesten (2014) hade ytterligare deformitetstyper tillkommit som i lika mån förekommer hos dorsala (rygg) borst, så kallade crotchets, som hos ventrala borst. De dorsala hårborsten tycks dock inte alls ha påverkats. Enstaka lätt deformerade dorsala borst (crotchets) kunde förvisso ses också i tidigare material men var då inget påtagligt inslag.

Klass I: främre ventrala, som regel alltid tvåtandade, borst med kraftiga deformiteter, alltifrån klubblika, med all sannolikhet oanvändbara borst för framåtrörelser eller för att kunna ta spjörn mot gångarnas vägar, till förändrade borst där borstets övre borte skänkel är delvis avskild från borstet i övrigt. Borst kan också vara mycket djupt slitsade/urnupna och till synes utan stadga. De allvarligaste klubblika förändringarna påminner mycket om de skador på människofoster som vi lärt känna genom den så kallade neurosedynskandalen. Som exempel se figurerna 3g och 5c i Milbrink och Sonesten (2014).

Klass II: främre ventrala borst och på senare tid främre dorsala borst har tänderna uppfransade och uppslitsade på ett osammanhängande vis – microvilli "spretar" åt alla håll - som torde göra borsten mer eller mindre obrukbara för riktade rörelser. Förknippas med något mindre grad av påverkan. Som exempel se figurerna 3h och 3i i Milbrink och Sonesten (2014).

I vänstra marginalen av Tabell 2, under rubrikerna "Klass I och II", finns tilläggen "v", "v+d" resp. "d", vilka markerar var deformiteterna fanns lokaliserade på djuren.

Resultat från den närmast föregående undersökningen i norra Vänern 1975-1988 (Milbrink och Sonesten, 2014)

Det var naturligt att förvänta sig att den organiska belastningen på de tre fjärdarna/fjordarna Säterholmsfjärden, Kattfjorden och Åsfjorden skulle minska med tiden som en effekt av effektiv avloppsrening alltsedan 60-talet. Den kvalitativa sammansättningen av oligochaeterna borde i proportion härtill förändrats från dominans av övervägande toleranta arter mot ökande inslag av mera syrekrävande arter. Detta skeende kunde bekräftas på de yttre stationerna som är exponerade mot Storsjöns oligotrofa vattenmassor (Milbrink och Sonesten 2014). Situationen på de inre stationerna däremot var mera oförändrad med fortfarande stor dominans av arterna *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri*.

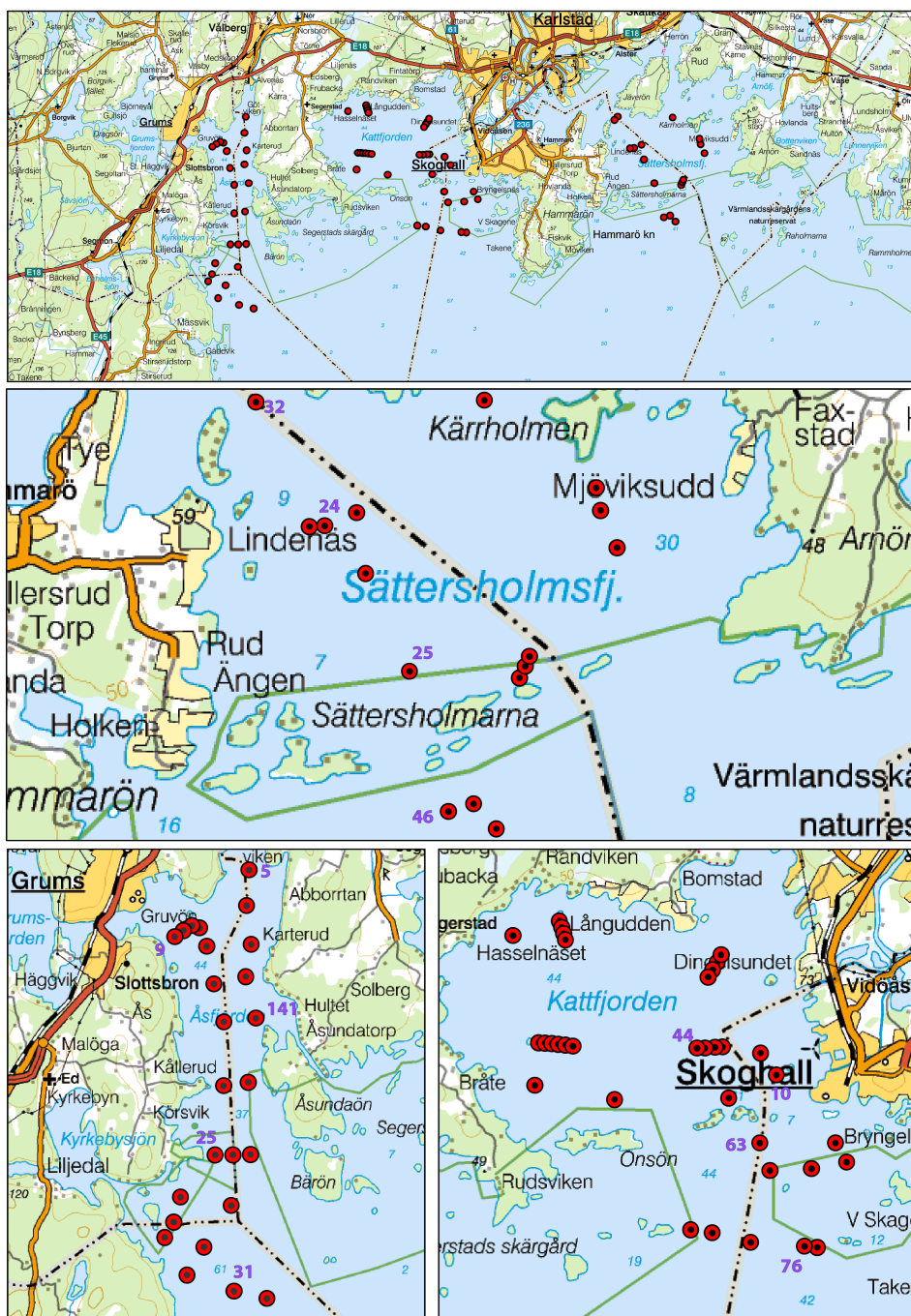
När möjligheterna gavs att analysera missbildningarna i det oligochaetmaterial som insamlats ända upp till 18-19 år efter IVL:s provtagningar i Vänern blev det självklart viktigt att kunna visa i vad mån giftpåverkan kvarstod. De sista proverna i Väterns norra fjärdar och fjordar hade alltså tagits 1988 (Milbrink och Sonesten, 2014). I IVL:s material var det nästan enbart en art, *P. hammoniensis*, som visade prov på deformiteter av olika slag. Arten är som nämnts starkt förknippad med eutrofa förhållanden (Milbrink 1980) såsom i Säterholmsfjärden och Åsfjorden. Renvattensarten *S. ferox* var därför mycket sällsynt förekommande i oligochaetmaterialet därifrån. Något förvånande visade nu några enstaka könsmogna individer av *S. ferox* i Åsfjorden upp missbildningar, mestadels av typ Klass II.

Detta är alltså bakgrunden till de resultat som nu framkommit i denna undersökning 2020. Dryga 30 år senare är det självklart av största intresse att se om trenderna har fortsatt mot en mera syrekrävande artsammansättning och färre och mildare missbildningar av djuren.

## 2 Material och Metoder

Stationsnätet för denna undersökning har valts för att stationerna skall spegla miljöförhållandena i norra Väterns fjärdar/fjordar utefter en gradient vare sig det gäller organisk belastning från landbaserade punktkällor eller missbildningar hos djuren i relation till sedimentkontaminering. En poäng i sammanhanget är också att flertalet stationer som valts i denna undersökning har provtagits tidigare, vilket underlättar jämförelser. Stationerna ligger följaktligen approximativt utefter en rät linje från fjärdarnas/fjordarnas inre delar ut mot den öppna sjön (se Milbrink och Sonesten 2014). Figur 6 visar delkartor över de valda provtagningsstationerna i Kattfjorden, Säterholmsfjärden och Åsfjorden. I Kattfjorden heter stationerna Ka 44 (31 m djup), Ka 61 (ca 30 m), Ka 63 (34 m), Ka 76 (40 m) och Ka 89 (50 m). I Säterholmsfjärden heter stationerna Sä 22 (ca 20 m), Sä 24 (26 m), Sä 25 (31 m), Sä 32 (ca 30 m), Sä 46 (45 m) och Stn. Timmerkoja (40 m) och slutligen i Åsfjorden där benämningarna är Ås 5 (40 m), Ås 9 (ca 25 m), Ås 141 (54 m), Ås 25 (60 m) och Ås 31 (40 m).





Figur. 6. Undersökta stationsplatser i Kattfjärden, Åsfjärden och Säterholmsfjärden baserat på IVL:s stationsangivelser från 1971 (IVL 1972). Stationerna Timmerkoja i Säterholmsfjärden och Ka89 i Kattfjärden syns inte i kartan. Timmerkoja är belägen ca 1 km sydväst om ön Timmerkojan och Ka 89 ligger 4,2 km väster om Store Holmen.

De inre stationerna ingår i ett stationsnät som provtas årligen eller med längre tids-  
mellanrum för olika typer av undersökningar. De yttre stationerna utefter varje linje  
har tillkommit specifikt för denna undersökning. Mot den bakgrunden har fyra eller  
fem stationer valts i Säterholmsfjärden, i Kattfjärden respektive i Säterholms-

fjärden, totalt 16 stationer. Bottenprovtagningarna i form av fyra parallella Ekman-hugg på varje lokal har efter vederbörlig sällning och utplockning sänts vidare för detaljanalyser. För övriga metodologiska detaljer, se Milbrink och Sonesten (2014).

## 2.1 Analyshypoteser

Genom en ständig utsedimentation av främst nyare och mindre kontaminerade sedimentpartiklar så är grundhypotesen att genom en utspädning av ackumulerade miljöfarliga ämnen i sedimenten kommer de grövsta deformiteterna (Klass I) hos *P. hammoniensis* med tiden gradvis minska i frekvens eller rent av försvinna fullständigt/alternativt övergå i mildare former (Klass II). Den andra hypotesen är att även de mildare formerna successivt skall försvinna på sikt. Självklart kan bioturbation, dvs. omlagring i sedimenten på grund av bottendjurens aktiviteter, påverka tillgängligheten av inlagrade miljögifter i sedimenten och måste ses som en svårbedömd faktor i sammanhanget. Den tredje hypotesen är att de milda deformiteter (Klass II) som iakttagits även hos *S. ferox* ska minska i frekvens eller slutligen försvinna helt.

## 3 Resultat

Totalt har proverna från Kattfjorden, Säterholmsfjärden och Åsfjorden våren 2020 innehållit 14 oligochaetararter (bilaga 1), vilket är klart fler än de cirka elva arter som återfanns i 1971 års material och i senare material som redovisades i Milbrink och Sonesten (2014). Ändå vet vi sedan tidigare att ytterligare syrekrävande arter som *Lamprodrilus isoporus* och *Rhynchelmis tetratheca* finns sparsamt i Vänerns norra delar, men fanns alltså inte med i proverna denna gång. Varaktig och kraftig organisk gödning av vatten leder till låg artdiversitet inom bottenfaunan. Detsamma gäller situationer med uppenbar näringsbrist. Paradoxalt nog leder däremot måttlig organisk gödning av oligotrofa vatten i allmänhet till maximal artdiversitet (Milbrink 1980, 2020). I det sammanhanget finns gott om näring från en rik planktonutveckling som slutligen når bottenfaunan genom sedimentation samtidigt som bottenarna är väl syrsatta. Höjd artdiversitet som vi nu ser är ett tecken på förbättrade miljöförhållanden, vilket i sig är glädjande och som tidigare sagts ett resultat av lång tids avloppsrening runt sjön. Vi ser att renvattensarterna *Spirosperma ferox* och *Stylodrilus heringianus* förekommer längre in i Säterholmsfjärden och Kattfjorden än under såväl tidigt 70-tal som under de närmaste decennierna (Milbrink och Sonesten 2014). Miljöförhållandena har uppenbart successivt förbättrats alltmär.

Andra syrekrävande arter som vi finner redovisade i tabellen i Bilaga 1 är *Psammoryctides barbatus* och *Rhyacodrilus coccineus*. Samtidigt ser vi en viss nedgång i abundanserna av de dominerande toleranta arterna, *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri*. Detta gäller hela Kattfjorden och de yttre delarna av Säterholmsfjärden

och Åsfjorden. Situationen kompliceras självklart av möjlig påverkan från kontaminerade sediment, men den allmänna bilden står tämligen klar. Väterns norra vikar och fjordar är under tydlig oligotrofiering.

Den aktuella situationen rörande konstaterade deformiteter hos oligochaeterna står i focus för denna undersökning. Resultaten visar följande. För det första: De allra grävsta deformiteterna – ofta groteskt förändrade ventrala borst med uppenbart förlorad funktionalitet – har med tiden minskat ytterligare i omfattning jämfört med senaste undersökning som sträckte sig fram t.o.m. 1988 och i hög grad i jämförelse med IVL:s undersökningar i början av 70-talet. Antalet mycket grava missbildningar har mildrats, och förekomstfrekvensen har likaså minskat ytterligare. Detta gäller alla tre vikarna/fjordarna. Det kan möjligen till en del ha att göra med att de stationer som IVL förlade nära utsläppspunkterna för industriella utsläpp och som där visat de grävsta deformiteterna (Klass I) möjligen inte exakt har återfunnits. Detta gäller i första hand Kattfjorden och Station 61 (IVL:s Station 10) nära utsläppspunkten från Skoghallsverken. Den generella bilden är emellertid att minskningen är reell.

För det andra: Det har fastslagits tidigare att där deformiteter av Klass I lokalt minskat visar dock inte deformiteter av Klass II tecken på att ha minskat nämnvärt –med lokala undantag.

För det tredje: Könsmogna individer av renvattensarten *S. ferox* som särskilt i slutet av 80-talet uppvisade delvis grava deformiteter hos de främre ventrala borsten (Klass I) nu i stället övergått i mildare missbildningar (Klass II).

### 3.1.1 Kattfjorden

Proverna från 2020 visar dominans på alla stationer av eutrofi-indikatorer såsom *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri*. Andra eutrofi-indikatorer som ofta åtföljer de två förstnämnda är *Aulodrilus pluriset*a och *Tubifex ignotus* – och på större djup också *Tubifex tubifex*. Abundanserna är emellertid i dagens läge tämligen låga, vilket står i kontrast till situationen i början av 70-talet och till en del även under de närmast följande decennierna (Milbrink och Sonesten 2014). Samtidigt finns nu ökande inslag av de syrekrävande arterna, främst *Spirosperma ferox*, och längre ut mot öppna Vätern också *S. heringianus* och *P. barbatus*. Särskilt IVL:s prover från tidigt 70-tal visade att östra Kattfjorden var starkt påverkad av både eutrofiering och miljögifter. Abundanserna var som regel mycket låga. Dagens situation tyder på en klar förbättring vad gäller den organiska belastningen.

På de yttre stationerna alldeles utanför egentliga Kattfjorden kan man i det underliggande tabellmaterialet ana att andelen syrekrävande arter ökat. Det kan erinras om att i en större provruta som provtogs av IVL 1973 var abundanserna av *P. hammoniensis* dels mycket höga och dels var frekvensen gravt missbildade djur likaså påtagligt höga. Detta torde vara ett tecken på nämnda återhämtning/oligotrofiering som skett i Värmlandssjön sedan 70-talets början nu slagit igenom (jmf. Milbrink 2013). Missbildade djur (Klass II) finns emellertid fortfarande kvar även på de

yttre stationerna, t.ex. Station 89, vilket kan ses som en effekt av utsläpp i nämnda djupränna som löper ut från östra Kattfjorden och utsläppen från Skoghallsverket.

### 3.1.2 Säterholmsfjärden

I Säterholmsfjärden dominerar nu liksom tidigare de toleranta arterna *P. hammoni-ensis* och *L. hoffmeisteri*. Abundanserna är tämligen höga och inslagen av syrekrävande arter i de inre delarna av fjärden är små. Allt tyder på att den organiska belastningen från Klarälven fortfarande är betydande. Utanför övärlden mot öppna Vänern (Stationerna 46 och ”Timmerkoja”) förändras situationen snabbt till det omvända, de syrekrävande arterna ökar och de toleranta minskar. På den yttre stationen, Timmerkoja, är de syrekrävande arterna *Spirosperma ferox* och *Stylodrilus heringianus* dominerande och de toleranta arterna relativt få samtidigt som de totala abundanserna är låga. Här kan ingen organisk belastning märkas och inga missbildade djur har identifierats.

### 3.1.3 Åsfjorden

De inre stationerna i Åsfjorden domineras av *P. hammoni-ensis* och i särskilt hög grad *L. hoffmeisteri*, och de syrekrävande arterna saknas i stort sett. Abundanserna på de inre stationerna är höga. Det måste tolkas som att den organiska belastningen nu liksom tidigare är stor. I Åsfjordens mynningsområde och längre ut mot söder finns inslag av *Stylodrilus heringianus*, medan *Spirosperma ferox* fortfarande saknas (orsaken är inte klarlagd). På de yttre stationerna saknas i stort sett också *P. hammoni-ensis*, sannolikt p.g.a. större djup (40-60 m), där arten sällan påträffas. *L. hoffmeisteri* däremot är fortfarande en dominerande art. En station ytterligare längre ut skulle med all sannolikhet visa att de syrekrävande arterna tar över och abundanserna är låga liksom på nämnda Station Timmerkojan i Säterholmsfjärden.

## 4 Diskussion

Ökad artrdiversitet hos oligochaet-faunan och ökade inslag av syrekänsliga arter även inne i Kattfjorden och Säterholmsfjärden - även Åsfjorden i viss utsträckning (*S. heringianus*) - samtidigt med i allmänhet lägre abundanser av toleranta arter - talar för att en sänkning av den organiska belastningen har skett i Vänerns norra delar. Detta är ett generellt skeende i alla de stora sjöarna i södra Sverige och en glädjande framgång i miljöarbetet. I Milbrink (2020) görs ett försök att i diagramform illustrera hur artsamhällen av oligochaeter förändras i förhållande till den organiska belastningen. Den särskilt intresserade läsaren hänvisas dit. Vattnets totala fosforinnehåll styr mängderna och sammansättningen av organismer generellt sett. I diagrammet visas hur oligochaetsamhällena förändras utefter en skala baserad på det s.k. morfoedafiska indexet (det aktuella totalfosforvärdet i µg/l dividerat med medeldjupet i m). Med ökande indexvärden (ökande belastning) visas hur blå färgtoner som står för syrekänsliga arter övergår i röda färgtoner som står för mera tåliga arter – allt i enlighet med det kontinentala s.k. saprobiesystemet. Man kan

också se hur de totala abundanserna av oligochaeter ökar på motsvarande sätt med ökande totalfosforvärden, när vi rör oss från vänster till höger i diagrammet. I nämnda arbete diskuteras särskilt exemplet Vättern, som är det mest påtagliga exemplet på pågående oligotrofiering vi har i landet.

Nära utsläppspunkten för industriellt avfall från Skoghallsverken i Kattfjorden har det visat sig att bottenfaunans totala abundanser varit mycket låga, t.o.m. som nämnts tidigare saknats på några stationer (Wiederholm 1984). Samtidigt med låga abundanser av oligochaeter har djuren ofta varit relativt småvuxna, och deformiteterna har varit få. Giftpåverkan kan självklart påverka överlevnaden hos djuren. Oligochaeterna tillväxer kontinuerligt hela livet och kan bli mycket gamla, särskilt i odlingar. Exempelvis så har det visats att *P. hammoniensis* kan bli hela 7 år enligt Jonason och Thorhauge (1972) och dr Tarmo Timm (muntl. inf.). Erfarenhetsmässigt förekommer de här beskrivna deformiteterna nästan uteslutande hos köns mogna, vuxna djur. Om djuren dör innan de nått vuxen ålder finner man följaktligen inga deformiteter, och det kan förklara de låga frekvenserna deformiteter vi ser nära utsläppskällor.

De flesta grava deformiteter av typ Klass I har påträffats på stationer längre ut från utsläppskällorna, ofta alldeles i utkanten av fjärdarna/fjordarna. De högsta frekvenserna av Klass I - deformiteter påträffades i IVL:s provrutor utanför Kattfjorden resp. Säterholmsfjärden 1973. Där var nästan alla vuxna *P. hammoniensis* kraftigt missbildade, vilket tydligt framgår av de svepelektronmikroskopiska (SEM) bilderna i figur 4. I senare provtagningar har Klass I-deformiteter blivit mera sällan förekommande och mindre utpräglade. Däremot finns missbildningarna nu, som nämnts, hos både ventrala och dorsala borst, vilket man inte såg i IVL:s tidiga prover. Missbildningarna är fortfarande av samma typ, men förekomstfrekvenserna är lägre. Missbildningarna av typ Klass II har, som nämnts, inte minskat märkbart. Förklaringarna till detta är tills vidare höljt i dunkel. Klart är emellertid att kontaminerade sediment fortfarande finns inblandade i de sediment som oligochaeterna uppehåller sig.

Ovanstående gäller alltså den mycket toleranta arten *P. hammoniensis*. Att liknande missbildningar, men mest av typ Klass II, kan uppträda också hos den känsliga arten *S. ferox* har kommit som en överraskning. I den senaste undersökningen ser vi sådana missbildade djur på de yttre stationerna i Säterholmsfjärden och Kattfjorden. I materialet från Åsfjorden fanns inte *S. ferox* representerad och därmed inga missbildningar. Visserligen hade några få exemplar av arten med missbildade borst registrerats i prover från dels Åsfjorden och dels Säterholmsfjärden tidigare, men inte i samma omfattning som nu. Förklaring till detta saknas.

Man kan naturligtvis fråga sig varför inga andra oligochaetarter uppvisar missbildningar och varför sådana inte påträffats i andra större sjöar utanför industriella utsläpp? Författaren känner, som nämnts, bara till ett undantag från det senare nämligen i Kolbäcksåsystemet i Västmanland.

I sjöarna Vättern, Mälaren och Hjälmaren kan vi urskilja delvis klara miljöförbättringar att döma av oligochaetfaunan, i Vättern t.o.m. mycket klara förbättringar (Milbrink, 2020). Likaså i norra Vänern är läget avsevärt förbättrat både vad gäller organisk belastning och förekomsten av grava deformiteter hos oligochaeterna. De mildare formerna av deformiteter finns dock som nämnts, kvar åtminstone på vissa lokaler, vilket kan tyda på att den successiva pålagringen av nya okontaminerade sediment varit begränsad. Anmärkningsvärt nog ser vi i Bilaga 1, som nämnts ovan, missbildningar (Klass II) hos både *P. hammoniensis* och *S. ferox* tämligen långt ut i öppet vatten. Detta har vi för närvarande ingen fullständig förklaring till.

## 5 Referenser

- Alcontrol 2013. Sedimentundersökning i Byviken, Åsfjorden och Hammarösjön i Vänern i maj/juni 2013. Vänerns vattenvårdsförbund, rapport 76.
- Håkansson L. 1975. Kvicksilver i Vänern – nuläge och prognos. Statens naturvårdsverk PM 563, 121 sid.
- Håkansson L. 1977. Sediments as indicators of contamination – investigations in the four largest Swedish lakes. Statens naturvårdsverk PM 839, 159 sid.
- Håkansson L. 1978. Bottnar och sediment. Sid. 75-98 i "Vänern – en naturresurs". Statens naturvårdsverk, ISBN 91-38-03898-6.
- IVL 1970. Undersökning av bottenbeskaffenhet och makroskopisk bottenfauna i Kattfjorden och angränsande delar av Värmlandssjön (juni 1970). IVL Rapport, 17 sid.
- IVL 1972. Bottenundersökningar i Vänerns Kustområden, 1971. Rapport från etapp I. IVL Rapport B 120, 116 sid.
- Jonason P.M. och Thorhauge T. 1972. Life cycle of *Potamothenis hammoniensis* (Tubificidae) in the profundal of a eutrophic lake. *Oikos*, 23:151-158.
- Milbrink G. 1980. Oligochaete communities in pollution biology: the European situation with special reference to lakes in Scandinavia. In Brinkhurst, R.O. och Cook, D.G. (eds.). *Aquatic Oligochaete Biology*. Plenum Publishing Corporation. N.Y. Sid. 433-455.
- Milbrink G. 1983. Characteristic deformities in tubificid oligochaetes inhabiting polluted bays of Lake Vänern, Southern Sweden. *Hydrobiologia* 106:169-184.
- Milbrink G. 2013. Oligochaetsammansättningen och miljöövervakning i Vänern i ett längre perspektiv. Vänerns vattenvårdsförbund, rapport, 4 sid.
- Milbrink, G. 2020. Composition and abundance of oligochaetes in Scandinavian lakes in the 1970s in full compatibility with the "morpho-edaphic index". Do these relationships still hold 40 years later? *Zoosymposia* 17: 077-088.
- Milbrink och Sonesten 2014. Deformiteter hos oligochaeter i Vänern. SLU, Vatten och miljö: Rapport 2014:19.
- Wiederholm T. 1984. Incidence of deformed chironomid larvae (Diptera: Chironomidae) in Swedish lakes. *Hydrobiologia* 109:243-249.

# Vänerns vattenvårdsförbund

Vänerns vattenvårdsförbund är en ideell förening med totalt 76 medlemmar varav 38 stödjande medlemmar. Medlemmar i förbundet är alla som nyttjar, påverkar, har tillsyn eller i övrigt värnar om Vänern.

Förbundet ska verka för att Vänerns naturliga miljöförhållanden bevaras genom att:

- fungera som ett forum för miljöfrågor för Vänern och för information om Vänern
- genomföra undersökningar av Vänern
- sammanställa och utvärdera resultaten från miljöövervakningen
- formulera miljömål och föreslå åtgärder där det behövs. Vid behov initiera ytterligare undersökningar. Initiera projekt som ökar kunskapen om Vänern
- informera om Vänerns miljötilstånd och aktuella miljöfrågor
- ta fram lättillgänglig information om Vänern
- samverka med andra organisationer för att utbyta erfarenheter och effektivisera arbetet.

## Medlemmar

Medlemmar är samtliga kommuner runt Vänern, industrier och andra företag med direktutsläpp till Vänern, organisationer inom sjöfart och vatten-kraft, landsting, region, intresseorganisationer för fiske, jordbruk, skogsbruk och fritidsbåtar, naturskyddsföreningar, andra vattenvårdsförbund och vattenförbund vid Vänern med flera. Länsstyrelserna kring Vänern, Naturvårdsverket och Fiskeriverket deltar också i föreningsarbetet.

## Mer information

Mer information om Vänern och Vänerns vattenvårdsförbund finns på förbundets webbplats: [www.vanern.se](http://www.vanern.se). Förbundets kansli kan svara på frågor, telefonnummer 010-224 52 05.

