

Nr 3: 2016

**Oligochaeter som
miljöindikatorer i Vättern i ett
hundraårigt perspektiv**



Vätternvårdsförbundet

VÄTTERNFAKTA utgörs av en
digital publikationsserie
innehållande fakta som berör
Vättern

Oligochaeter som miljöindikatorer i Vättern i ett hundraårigt perspektiv

Vättern-FAKTA från Vätternvårdsförbundet

Nr 3:2016

Fakta-serien från Vätternvårdsförbundet instiftades 2012 och utgörs av dokument med beröring till sjön som förtjänat att tillgängliggöras för en bredare krets. Ofta berör innehållet begränsad fråga. Faktaserien kompletterar därmed Rapportserien och ges endast ut digitalt.

| | |
|---------------|--|
| Nr | 3:2016 |
| Framsida | Könsborst ("spermathecal chaetae") hos arten <i>Rhyacodrilus coccineus</i> , Foto: SLU |
| Utgivare | Måns Lindell (red), april 2016. |
| Kontaktperson | Ann-Sofie Weimarsson, Länsstyrelsen i Jönköpings län. Telefon 010-2236000 |
| e-post: | ann-sofie.weimarsson@lansstyrelsen.se |
| Webbplats | www.vattern.org |
| Författare | Prof Em Göran Milbrink, SLU |

©Vätternvårdsförbundet

Innehållsförteckning

| | |
|--|---------|
| Allmän bakgrund | sid. 4 |
| Eutrofieringen och något om Vätterns limnologi | sid. 5 |
| Material och metoder | sid. 8 |
| Äldre provmaterial från de stora sjöarna i Sydsverige | sid. 8 |
| Sven Ekmans prover från 1911 och 1912 | sid. 9 |
| Hela oligochaetmaterialet som finns att tillgå från Vättern | sid. 11 |
| Sammanfattning av Sven Ekmans erfarenheter av varje oligochaetarts ekologi (s.k. autekologi) i Vättern | sid. 13 |
| Resultat | sid. 15 |
| Diskussion | sid. 18 |
| Mälaren | sid. 18 |
| Vänern | sid. 19 |
| Hjälmaren | sid. 20 |
| Vättern | sid. 20 |
| Referenser | sid. 23 |

Appendix 1

Tabeller med underlagsmaterialet till föreliggande studie. Appendixet finns endast tillgängligt i digital form (excellfil) för nedladdning via Vätternvårdsförbundets hemsida (<http://www.vattern.org>).

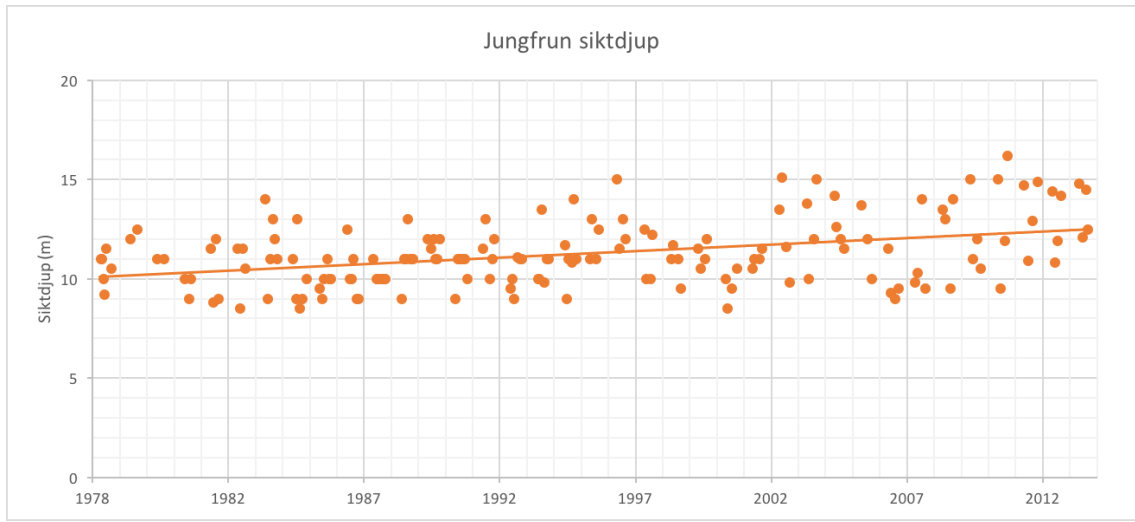
Oligochaeter som miljöindikatorer i Vättern i ett hundraårigt perspektiv

Allmän bakgrund

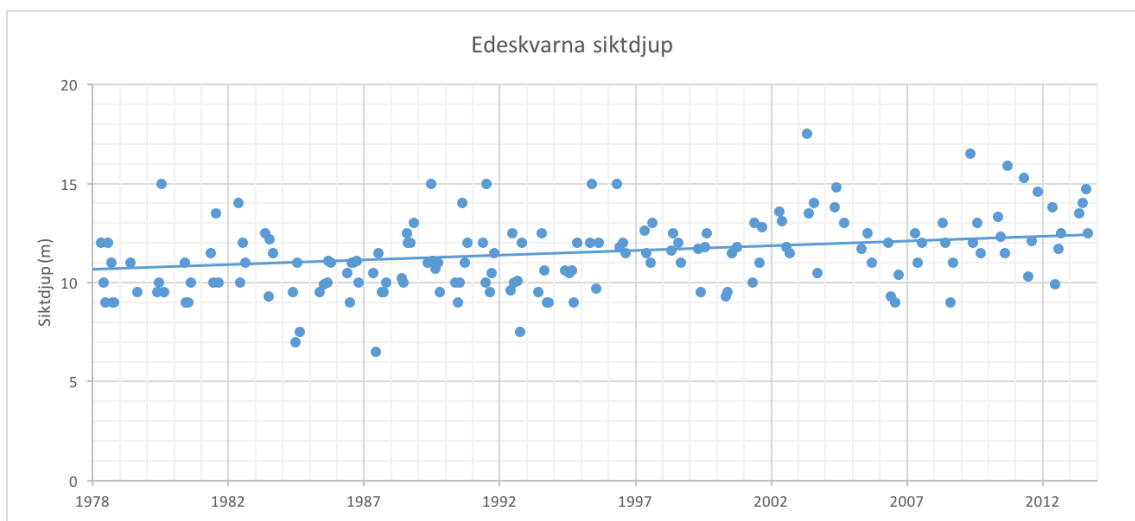
Vättern är en av de stora sjöarna i Sydsverige, och med sitt klara, rena vatten är den en utmärkt representant för större djupa oligotrofa sjöar i norra Europa. Sjön är viktig som dricksvattentäkt för ett stort omland, och överledningar av dricksvatten till mera avlägsna geografiska mål har länge diskuterats. Samtidigt är sjön mycket viktig ur fiskesynpunkt med det största sydliga beståndet av storröding i landet. Under senare år har Vättern gjort sig känd som stor och viktig producent av signalkräfter och olika laxstammar, bl.a. Gullspångslax från Vänern och Nordsjöslax, de senare dock utan möjlighet att föröka sig i Vättern. Att införa "främmande" arter i ett annars väl fungerande akvatiskt ekosystem kan för många synas äventyrligt. Det är annars väl känt sedan länge att all fisk tycks tillväxa maximalt i Vättern.

Under 1960- och 1970 - talen förändrades gradvis situationen i Vättern genom övergödning - eutrofiering. Örenat avloppsvatten från de större tätorterna kring sjön, t.ex. från Jönköping-Huskvarna-regionen, hade en starkt gödande effekt på Vätterns vattenkvalitet. Kontaminering av systemet av tungmetaller och organiska pesticider från industriella utsläpp hade samtidigt blivit ett växande hot mot sjön. Vätterns nederbördsområde är mycket begränsat till ytan, och vattnet har en mycket lång uppehållstid i sjön, cirka 50 år. Detta bidrar starkt till att gifter stannar kvar i sjöns näringskedjor mycket länge. Det kommer sannolikt att ta lång tid innan giftnivåerna i exempelvis röding kommer ned till helt godtagbara nivåer. Eutrofieringen av Vättern liksom av andra sjöar och vattendrag samt kustvatten är i sig en negativ företeelse som man under tidigt 60-tal fann bot mot, dvs. alltmer effektiv avloppsrening. Samtidigt är det ofrånkomligen så att mild gödning av oligotrofa vatten oftast leder till förbättrad fiskproduktion. I Vättern innebar detta att fisket på siklöja, sik och nors var mycket framgångsrikt samtidigt som eutrofieringen slog som mest under 70-talet. Yrkesfisket upplevde en relativ högkonjunktur medan miljövärden samtidigt stod inför en stor utmaning. De mest synbara effekterna av eutrofiering av Vättern var ökad produktion av växtplankton och därmed starkt minskande siktdjup. Där man förr vant sig vid siktdjup på uppemot 16 m skedde gradvis en minskning till tidvis under 10 m och ibland betydligt lägre (Fig. 1 och Fig. 2). Ett annat synbart tecken på eutrofiering var ökad utbredning av mört- och annan karpfisk samt abborre - särskilt i sjöns sydligaste delar. Vi känner igen förloppen också från de andra stora sjöarna i Sydsverige.

Höggradig avloppsrening har medfört att siktdjupen idag återigen är stora. När-saltsinnehållet i vattnet i termer av koncentrationer av totalfosfor har kraftigt gått ned (se nedan). Dessutom har populationerna av pelagisk fisk såsom siklöja, delvis sik, samt nors minskat drastiskt som en följd av vikande zooplanktontätheter (Uppgifter från Institutionen för vatten och miljö på SLU, samt dåvarande Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium i Drottningholm, numera SLU). Goda fångster av signalkräfta och sportfiske på lax kan man säga på flera sätt uppväger förlorade fångster av siklöja och delvis av röding.



Figur 1. Siktdjup (m) med Secchi-skiva uppmätta på Station "Jungfrun NV" norr om Omberg 1978 – 2014. Man ser tydligt hur siktdjupen successivt ökar med tiden.

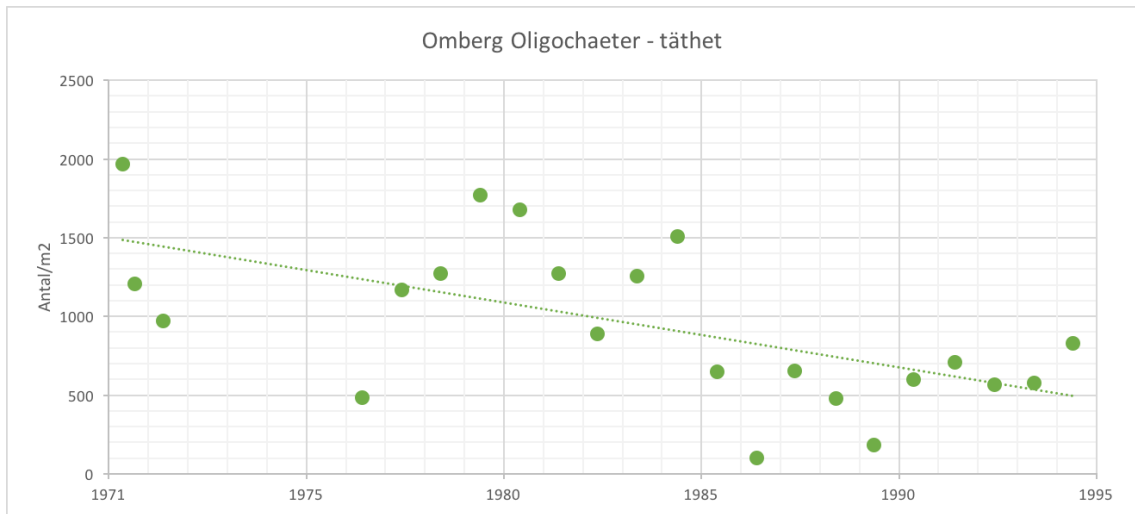


Figur 2. Siktdjup (m) uppmätta på Station "Edeskvarnaån NV" i Södra Vättern 1978 – 2014. Likaså en successiv ökning av siktdjupen.

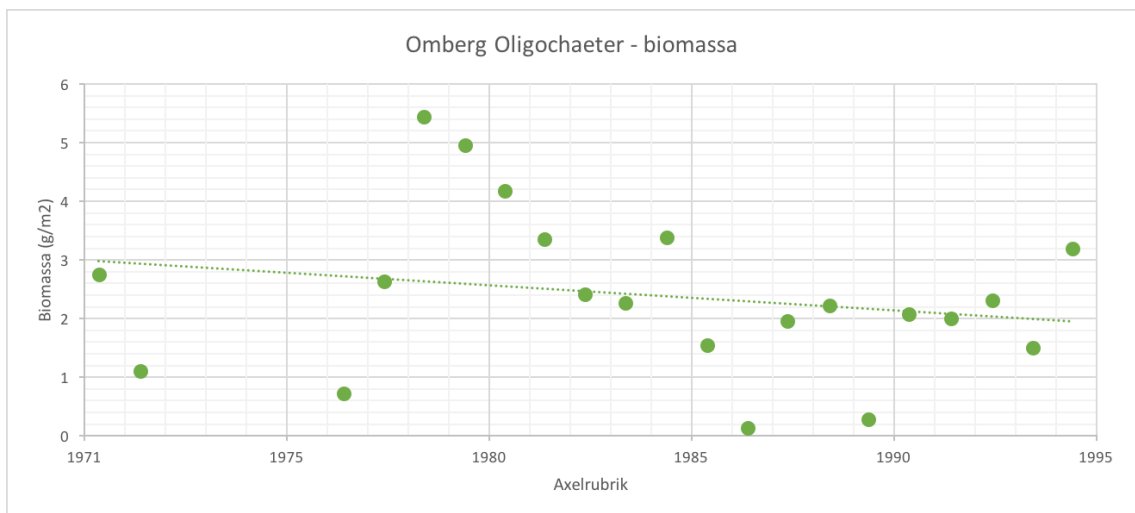
Eutrofieringen och något om Vätterns limnologi

Vättern har sedan 50-talet genomgått en påtaglig eutrofiering som kulminerade under 70-talet. Därefter har sjön tillfrisknat förvånansvärt snabbt fram till våra dagar. Man ser tydliga kvantitativa förändringar i totalantal och total biomassa av bottenfaunans oligochaeter och chironomider - en uppenbar puckel både vad gäller individantal och biomassa under 60- och 70- talen och sedan en successiv minskning fram till i dag (Figurerna 3 - 4 och Figurerna 5 - 6). Totalfosforhalterna som uppmätts vid stationen "Jungfrun NV" norr om Omberg och på stationen "Edeskvarnaån NV" i södra Vättern har samtidigt successivt minskat från dryga c:a 10 µg/l till idag c:a 3 µg/l (Fig. 7 och Fig. 8), vilket faktiskt är i paritet med totalfosforhalterna i fjällvatten. Medan siktdjupen under eutrofierings-maximum under

70-talet, som nämnts, låg tämligen konstant på c:a 10 m och ofta därunder har vi idag åter pikar på mellan 14 och 16 m (Fig. 1 och Fig. 2). Vättern mår idag till synes bra men var på väg att förändras till det sämre.

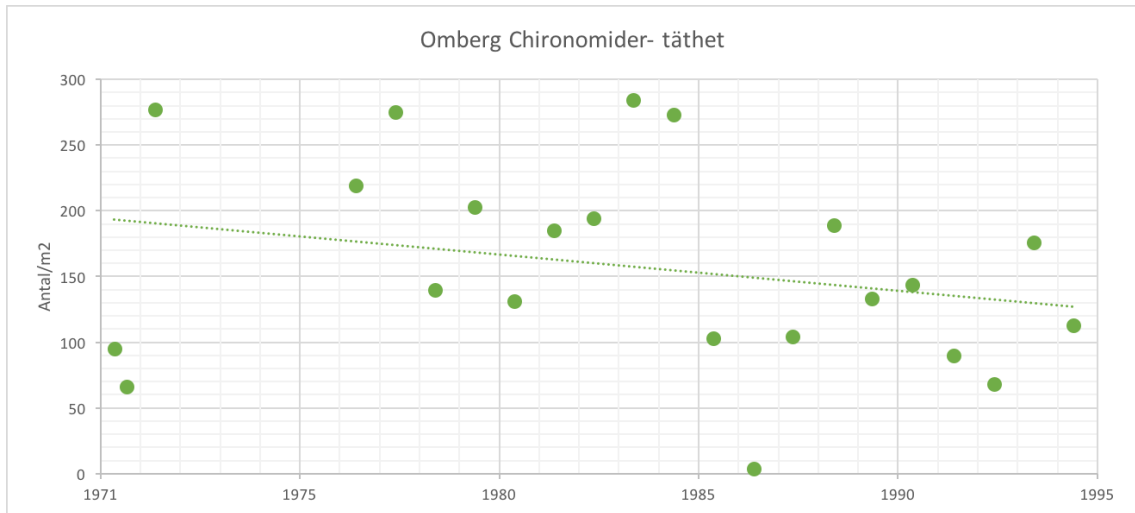


Figur 3. Individtätheter (antal/m² av oligochaeter på Station 9, "Omberg" i vårprover tagna med Ekman-huggare mellan åren 1971 och 1995. Som synes en tydlig successiv nedgång.

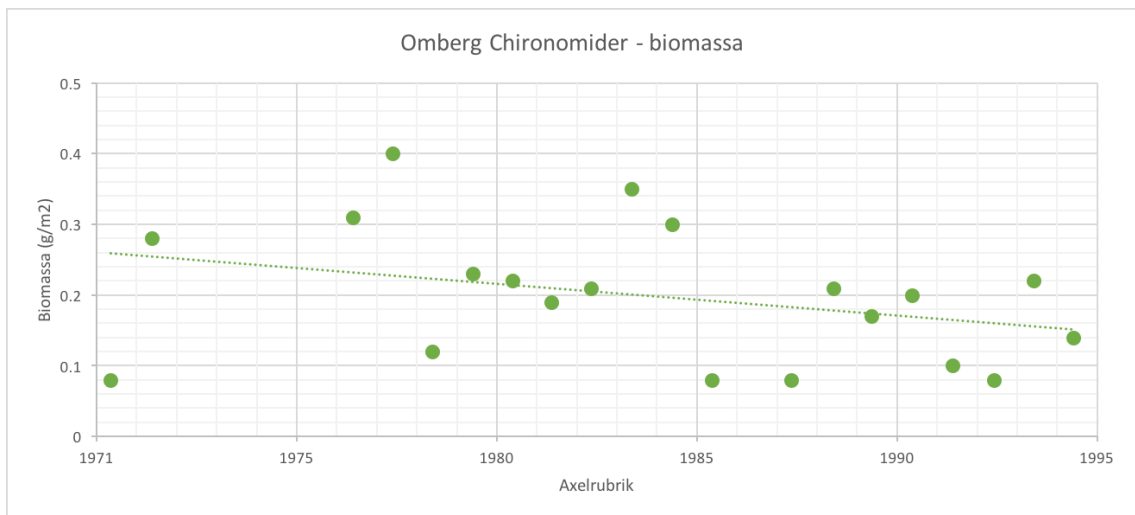


Figur 4. Biomassor (g/m²) av oligochaeter på Station 9, "Omberg" mellan åren 1971 och 1995. Liknande nedgångsförlopp som i Figur 3.

Hur har då bottenfaunan i de stora sjöarna i Sydsverige - och Vättern i synnerhet, påverkats av eutrofieringen? Finns det äldre objektiva uppgifter om detta att jämföra med dagens situation? I den mån prover finns bevarade till våra dagar är svaret obetingat ja!

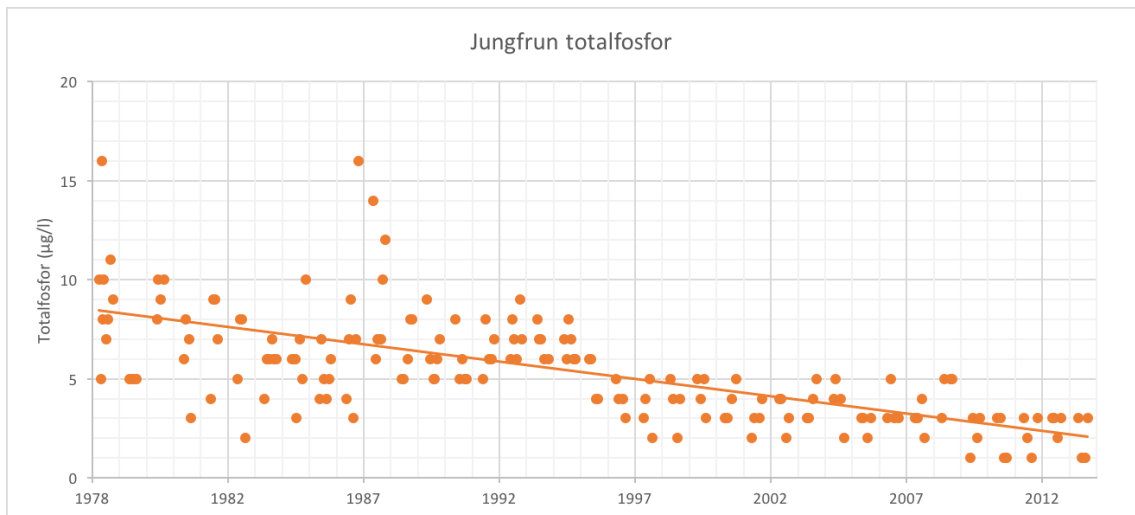


Figur 5. Individtätheter (antal/m²) av chironomider på Station 9, "Omberg" i vårprover tagna mellan åren 1971 och 1995. En liknande successiv nedgång med tiden som för oligochaeter (jfr. figur 3-4).

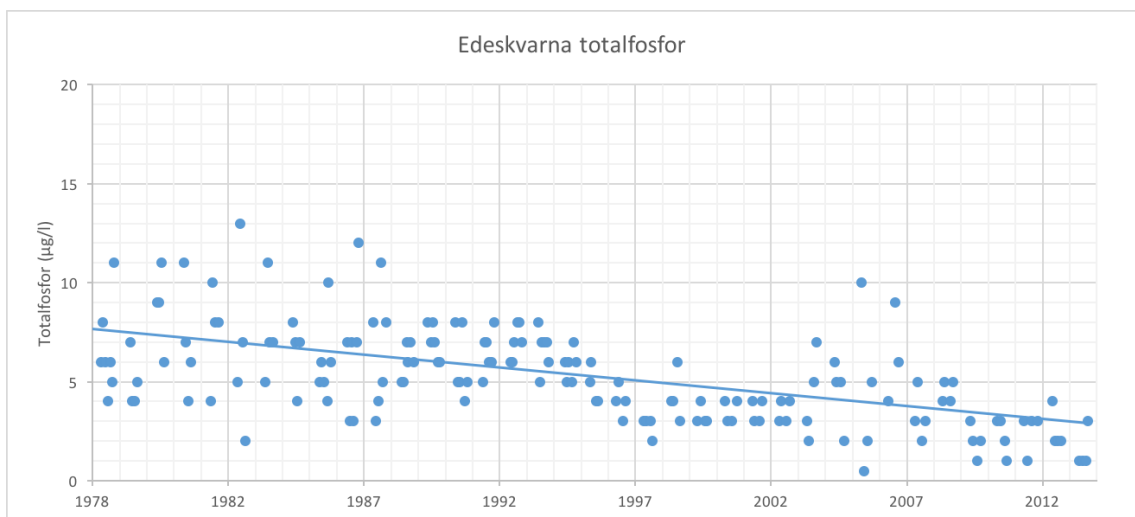


Figur 6. Biomassor (g/m²) av chironomider på Station 9, "Omberg" i vårprover tagna mellan åren 1971 och 1995.

Huvudmålsättningen med denna forskning har varit att belysa kvalitativa och "semikvantitativa" förändringar i oligochaet-faunan i Vättern i ett hundraårigt perspektiv som kan härledas till den aktuella trofistationen vid varje tillfälle och till invandring och utslagning av arter.



Figur 7. Totalfosforhalter i µg/l i ytvattnet på Station "Jungfrun NV" 1978 – 2014. Halterna visar en dramatisk nedgång från c:a 10 µg/l till endast c:a 3 µg/l, en nivå som vi känner igen från fjällvatten.



Figur 8. Totalfosforhalter i µg/l i ytvattnet på Station "Edeskvarnaån NV" 1978 – 2014. Halterna visar samma dramatiska nedgång till endast c:a 3 µg/l.

Material och Metoder

Äldre prover från de stora sjöarna i Sydsverige

Fiskeristyrelsen och gamla Vatteninspektionen visade tidigt intresse av att kunna bedöma bottenfaunans potentiella värde som fiskföda i våra inlandsvatten. Det ansågs ha stort värde ur folkhushålls- och beredskapssynpunkt. De stora sjöarna i Sydsverige kom därför att stå i centrum för uppmärksamheten. Sålunda företogs bottenfaunaexpeditioner med Fiskeristyrelsens forskningsfartyg Eystrasalt till Mälaren 1915 – 1916 (Nordqvist och Alm) och till Vänern 1922-1923 (Vallin och Söderström). Lyckligtvis har bottenprover från dessa expeditioner bevarats i gott skick till våra dagar och därmed möjliggjort korrekta bedömningar av tillstånd och

förändringar då och nu. I både Mälaren och Vänern sträcker sig jämförelserna över omkring 100 år. Från centrala Hjälmarens finns provserier från 70-talet och framåt, dvs. c:a 45 år.

Sven Ekmans prover från Vättern 1911 och 1912

Även för Vättern kan vi anlägga ett c:a 100-årigt perspektiv. Under tidigt 1900-tal verkade en Uppsalazoolog som lektor i Jönköping, Sven Ekman, och han kom att intressera sig för just bottenfaunan i Vättern. Han hade disputerat i Uppsala och publicerade sedan 1915 monografin "Die Bodenfauna des Vättern, qualitativ und quantitativ untersucht" (Fig. 9). Ekman började sin forskning i Skagerrak och konstruerade då den bottenhämtare som sedan fått hans namn (Ekman, 1909) - den s.k. Ekmanhuggaren. Det var då en betydligt större huggare (provyta c:a 1 600 cm²) för djupa havsbottnar än den som sedan blev standardutrustning vid alla profundala bottenprovtagningar i främst inlandsvatten (provyta c:a 225 cm²). Ekmans huggare i Vättern hade enligt uppgift en provyta på c:a 500 cm², dvs. den provtagna ytan var c:a 2 gånger större än den som nu är standard.



Figur 9. Omslag till Sven Ekmans monografi 1915: "Die Bodenfauna des Vättern, qualitativ und quantitativ untersucht".

Ekman lade upp ett provtagningsnät som täckte hela sjön. Bottenproverna togs med Ekmanhuggare 1911 och 1912, och materialet sällades genom ett nät med maskvidden 0,7 – 0,8 mm ("Seidengaze Nr. 6"). De djur som kvarhölls i sållet konserverades i alkohol. Hans avsikt var att kunna identifiera alla makroskopiska arter som proverna innehöll. Det mesta kunde han bestämma och beskriva själv, men oligochaeterna skickade han till en schweizisk kollega och specialist vid

universitetet i Neuchâtel, sedermera professorn Etienne Piguet. Efter identifiering bevarades flertalet prover på Riksmuséet i Stockholm. 1992 undersöktes proverna återigen av dr. Tarmo Timm, Tartu Universitet i Estland. Han fann då att Piguets bestämningar varit helt korrekta, men att etiketterna hade blandats om vid något tillfälle och härledning till specifika lokaler i Vättern tyvärr blivit omöjlig.

Sven Ekman har i sin avhandling detaljbeskrivit ett antal prover från hela Vättern med dess innehåll av olika djurarter (som exempel, Figurerna 10a-c). Tusch-teckningarna av djuren har sannolikt gjorts av Sven Ekman själv.

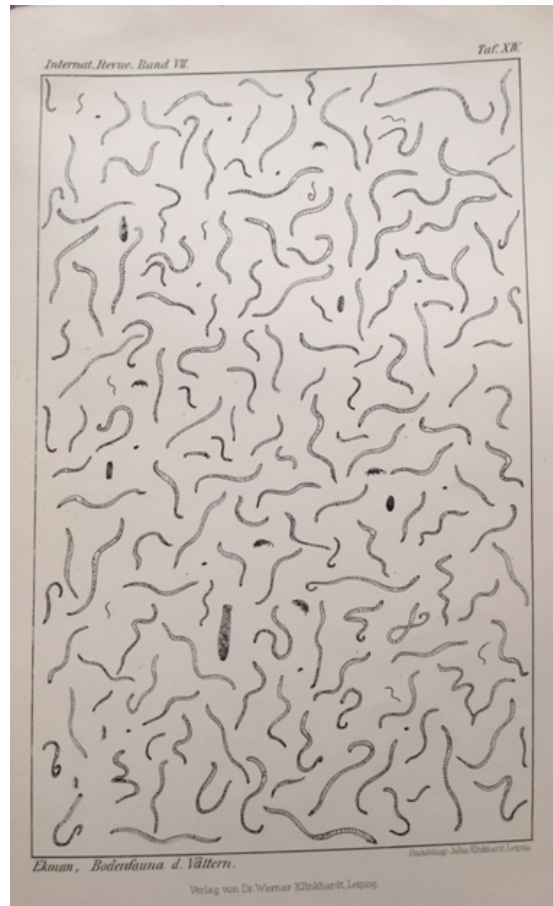


Figur 10a. "Tafel VIII" (bilaga till Sven Ekmans monografi). Totala djurinnehållet i sållningsresterna av ett representativt Ekmanhugg taget på 82 meters djup utanför halvön Svedudden väster om Visingsö den 11:e augusti 1911. Provet ansåg Ekman vara representativt för tunt lagrade kitinsediment i Vättern (se nedan). Man kan bl.a. se vitmärsla (*Monoporeia affinis*), sjösyrsa (*Gammaracanthus loricatus*) och taggmärsla (*Pallasea quadrispinosa*) men få oligochaeter – alla av arten *Stylodrilus heringianus*.



Figur 10b. "Tafel XII". Dito från 53 meters djup 7,5 km söder om Visingsös sydspets den 11:e augusti 1911. Provet ansåg Ekman vara representativt för rika kitinsediment på större djup (se nedan). Man kan bl.a. se vitmärslor (*Monoporeia affinis*) och skorv (*Chiridothea entomon*) men få oligochaeter - av arterna *Stylodrilus heringianus* och *Rhyacodrilus falciformis*.

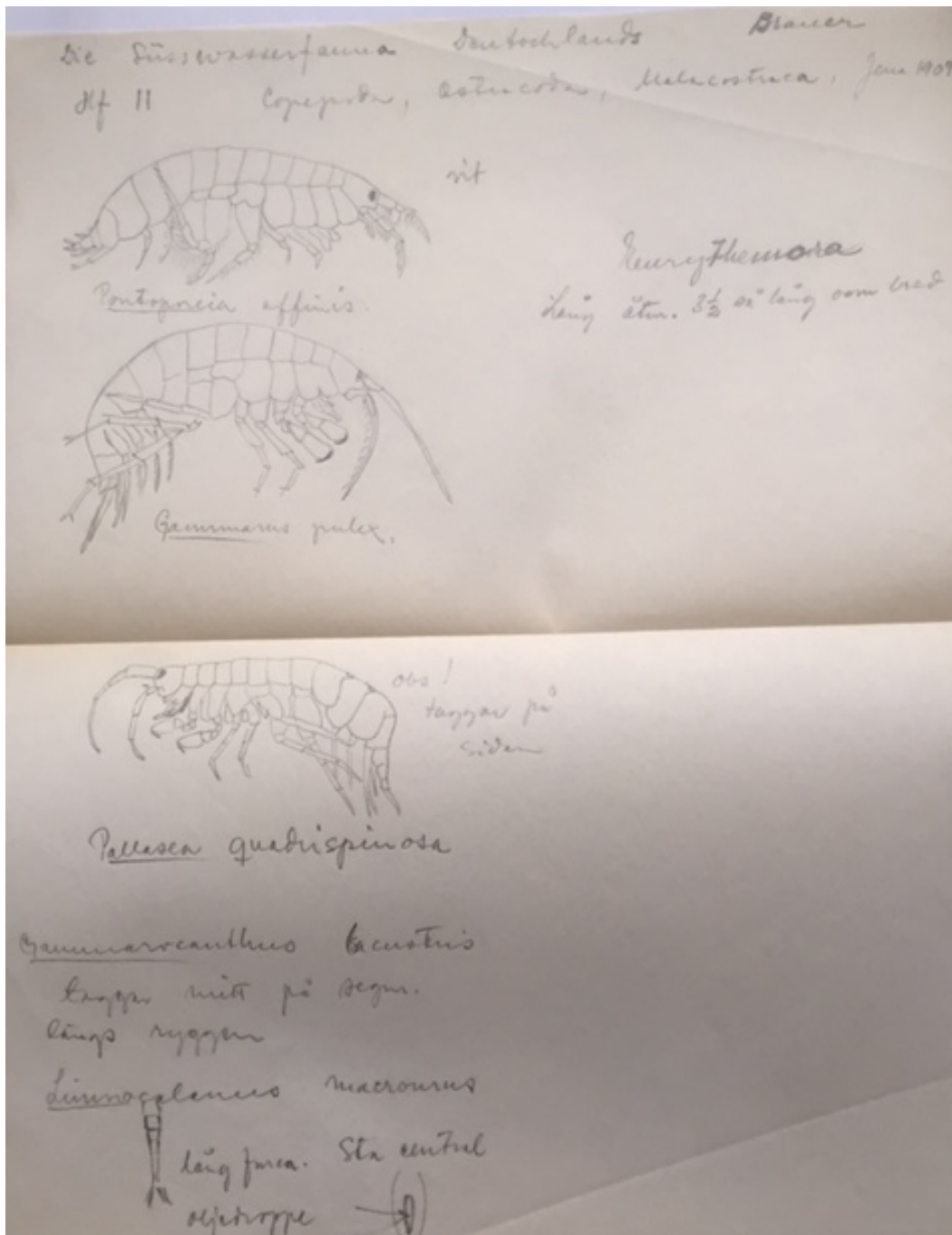
Ett exempel på hans exceptionella noggrannhet är Fig. 11 som låg som en lös sida i Sven Ekmans eget exemplar av monografen och visar blyertsavbildningar av tre kräftdjursarter som är karakteristiska för Vättern - vitmärla (*Monoporeia affinis*), vanlig sötvattensmärla (*Gammarus pulex*) och taggmärla (*Pallasea quadrispinosa*). Stationernas positioner är tämligen noggrant angivna, och det har varit förhållandevis enkelt att sedan uppsöka samma stationer vid upprepade tillfällen.



Figur 10c. "Tafel XIV". Dito från 112 meters djup, söder om Visingsö den 9:e augusti 1911. Ett typiskt prov från kitingyttjebotten med "vullgyttja" skriver Ekman (se nedan). Man kan här urskilja mängder av oligochaeter (av arterna *Spirosperma ferox*, *Tubifex tubifex*, *Psammoryctides barbatus*, *Limnodrilus profundicola* och *Stylodrilus heringianus*).

Hela oligochaetmaterialet som finns att tillgå från Vättern

Föreliggande studie grundar sig på Ekmans efterlämnade material från 1911 och 1912, på mina egna bottenprovtagningar i Vättern åren 1966 – 1969 täckande i princip alla Ekmans stationer, på Mälarundersökningen-Naturvårdsverket/Inst. för vatten och miljö, SLU:s bottenprovsserier med tre års mellanrum – ibland tätare - från 1971 till 2003 samt bottenprover tagna av Medins havs- och vattenkonsulter, Göteborg, 2014. Medins prover har för övrigt tagits med en större bottenhuggare – van Veen-hämtare (provtagningsyta 0,1 m²). Alla de senare proverna berör 3 av alla de stationer som valts ut av Vatten och Miljö 1971 som särskilt representativa för Vättern, Station 5, "S. Visingsö", Station 9, "Omberg" och Station 14, "S. Stora Aspön" - samtliga från c:a 100 meters djup, och som också motsvarar några av Ekmans ursprungliga djupstationer.



Figur 11. Blyerts-kiss troligtvis utförd av Sven Ekman själv. Skissen låg ihopvikt inne i hans eget exemplar av monografen. Man ser fina detaljer av vitmärsla (*Monoporeia affinis*), vanlig märskräfta (*Gammarus pulex*) och taggmärsla (*Pallasea quadrispinosa*).

Proverna från 1966, 1967 och 1969 – undertecknads egna prover, som täcker hela sjön, är analyserade i sin helhet. Ur materialet från 1971 och framåt har för denna undersökning vid varje tillfälle slumpvis valts ut tre paralleller av totalt tio för analyser. Proverna har alla varit tagna på samma sätt, låt vara att man i modern tid sållat proverna genom såll med 0,5 – 0,6 mm maskvidd. Jämförbarheten torde dock vara någorlunda tillfredsställande. Strikt kvantitativt kan det emellertid vara vanskligt att göra korrekta jämförelser. Undertecknad föredrar begreppet "semi-kvantitativt" i sammanhanget.

Undersökningen har följaktligen koncentrerats till de tre nämnda stationerna. Under 1971 gjordes emellertid en fristående undersökning av samtliga stationer som Ekman använt sig av, därav många lokaler på mindre djup; totalt 15 stationer med som regel tre paralleller från vardera stationen. Materialet monterades sedan som permanenta slides. För att kunna belysa effekter av pågående eutrofiering i Vättern ansåg jag det angeläget att också analysera delar av det materialet. Vissa preparat monterade 1971 hade emellertid inte överlevt till idag utan torkat in, men i genomsnitt har två paralleller från varje station kunnat analyseras .

Underlaget till föreliggande analys av oligochaetsamhällena i Vättern återfinns i ett separat appendix som erhålls i digital form (excelfil) från Vätternvårdsförbundets hemsida (<http://www.vattern.org>). Tabellerna 1-3 i Appendix 1 visar artsammansättningen i alla de prover från de tre utvalda stationerna från 1911 till och med 2014 som hittills analyserats. Tabell 4 i Appendix 1 visar analysresultaten från den fristående undersökningen över hela sjön 1971. Totalt har 155 prover analyserats i sin helhet och detta inte mindre än tre gånger per prov. De upprepade analyserna beror på att tre av profundalens arter, *Limnodrilus profundicola*, *Tasserkidrilus acapillatus* och *Rhyacodrilus falciformis*, i Vättern är mycket lika som sexuellt omogna och har krävt upprepade analyser för säker bestämning. De köns mogna djuren som däremot är förhållandevis lättbestämda utgör som regel en mindre del av populationen vid varje enskilt tillfälle (se nedan).

Eftersom *R. falciformis* sedan Ekmans dagar inte med säkerhet har kunnat identifieras i sjön – inga köns mogna individer har identifierats – har det känts angeläget för undertecknad att låna in monterade exemplar av arten från dels Estland (dr. Tarmo Timm, Universitetet i Tartu) och dels Holland (dr. Ton van Haaren).

I Tabell 4 i Appendix 1 finns också med resultaten av en provtagning omfattande tre Ekmanhugg på fiberbankar i Munksjön (se nedan) som omedelbart gränsar till Vättern. Munksjön är den enda lokalen i Vättern och dess närhet där den omvitnat mycket toleranta och i sen tid invandrade oligochaetarten *Potamothrix heuscheri* hittats.

Tabell 5 i Appendix 1 visar i sammanfattning andelen köns mogna – och därmed lättbestämda - resp. icke köns mogna individer av *L. profundicola*/ alternativt *T. acapillatus* i merparten av de bottenprover som bevisligen innehållit den först-nämnda arten.

Sammanfattning av Sven Ekmans erfarenheter av varje oligochaetarts ekologi (s.k. autekologi) i Vättern - tubificider och lumbriculider - med några kompletterande kommentarer.

Vid förra seklets början var man mycket noga med att ange varje bottendjursarts ekologi i relation till den genomsnittliga sedimentkvaliteten. Man använde sig av begrepp som gyttja av flera slag, däribland kitingyttja och "chitinvollgyttja", sand, lera, "Sand auf Ton" etc. Ett märkligt begrepp synes "Seerz" (järn- och mineralhaltigt sediment) vara. Mindre vikt lades vid vattenkvaliteten och interaktioner med andra arter. Icke desto mindre hade man tämligen klart för sig djurens beroende av diverse omvärldsfaktorer.

Sven Ekmans uppfattningar om bottenfaunans i allmänhet egenskaper grundar sig i stor utsträckning på dansken Wesenberg-Lunds (1905) erfarenheter och särskilt beträffande oligochaeterna på prof. Piguets dito. Med kitingyttja menar Ekman organiska (delvis nedbrutna)-oorganiska blandade mjuka sediment på depositionsbottnar med rikt innehåll av kitinrester från zooplankton (sköldar) och chironomider (hudar). En växtekologisk definition av gyttja är "ett akvatiskt sediment som huvudsakligen består av dött plankton, detritus och bottenfauna. Det är grå-brunt till svartaktigt i färgen och har formats under syrerika förhållanden och är tillräckligt rikt på näringsämnen och mikroorganismer (Paavilainen & Päivänen, 1995).

Av följande tubificida oligochaetararter fann Ekman *Spirosperma ferox* sålunda vara starkt beroende av kitingyttje- och "fullgyttje"-rika sediment på alla djup. Han fann inga regionala olikheter, vilket talar för att han menar att det rått mycket syrerika förhållanden i hela sjön. Arten är inte så vanligt förekommande på vegetationsrika, sandiga litorala och sublitorala bottnar eller på hårdbotten, menar Ekman. *Psammoryctides barbatus* har oftast en mer ytlig utbredning och undviker alltför mjuka sediment skriver Ekman men finns på alla djup. Undertecknads uppfattning är närmast att *P. barbatus* sällan påträffas på stora djup och är ofta associerad med sandbottnar. Dessutom vanligt förekommande i syrerika miljöer i litoralen och sub-litoralen samt i rinnande vatten.

Tubifex tubifex fann Ekman mest på "Vollgyttja", sällan på kitingyttjebottnar. Framförallt är *T. tubifex* karakteristisk för djupa bottnar, sällan grundare än 30-40 m, och sedimenten får inte vara för mjuka, menar Ekman, gärna dock hårdare botten med inslag av växtgyttja. Annars påträffas man arten i alla miljöer och med högst olika belastningsgrad, anser man vid den tiden.

P. hammoniensis fann Ekman i endast få exemplar i övre profundalen utanför Jönköping och Huskvarna. Han gör ingen reflexion angående samband med påverkan från utsläpp av något slag. *Limnodrilus hoffmeisteri* fann Ekman likaledes i få exemplar i övre profundalen utanför Jönköping och utanför Hjo utan att nämna någon koppling till eventuell föroreningssituation. Förekomsten på grunt vatten utanför Hjo associerar Ekman med gyttjebotten. *Limnodrilus profundicola* identifierades i flera av Ekmans prover, oftast i sådana som tagits i nedre profundalen på mer än 100 meters djup mellan Jönköping och Visingsö. Substratet betecknade han som "Vollgyttja".

Rhyacodrilus falciformis var enligt Ekman/Piguet 1911 och 1912 en vanligt förekommande art i Vätterns södra del, särskilt på mellandjupa bottnar på c:a 50 meters djup med kitingyttja. *Rhyacodrilus palustris* rymmer såväl den art vi idag kallar *Rhyacodrilus coccineus* och den art som Ekman/Piguet benämnde *R. palustris*. Den senare arten menar Brinkhurst & Jamieson (1971) är en variant av den förra och tydligt skiljer sig i fråga om "könsborstens" ("spermathecal chaetae") utseende. En ytterligare variant i Ekmans material av *R. coccineus* med avvikande "könsborst" som sedermera fick namnet *R. Ekmani* har i nutid återfunnits utanför Jönköping (se nedan). *R. palustris* fann Ekman främst på grunda bottnar, vissa med "Vollgyttja" andra utan sådan gyttja, bl.a. utanför Jönköping och Karlsborg, men

även på större djup ned till maximala 120 m i gyttjerika sediment. Arten var sparsamt förekommande i Ekmans material.

Bland lumbriculida oligochaetarter var *Stylodrilus heringianus* mycket rikligt förekommande i Ekmans material och med stigande individtätheter mot djupet i "biogena Sedimente". Annars ansågs inte arten vara känslig för sedimentkvaliteten. *Rhynchelmis tetratheca* hittades i Vättern nästan enbart på stort djup, men var enligt Ekman/Piguet annars ingen "djupart" utan hittades på kontinenten oftast i bäckar, källor och småvatten. I de senare fallen kan det faktiskt vara fråga om en annan art – *Rhynchelmis limosella* med känd förekomst i bl.a. litoralen (exempelvis i Mälaren). Förekomsterna av *R. tetratheca* associerades inte till någon speciell sedimenttyp.

"Fadenförmige Enchytraide" anar vi en huvudsakligen terrester art av familjen Enchytraeidae, *Cognettia sphagnetorum*, som förekommer sparsamt men vitt spridd på alla djupnivåer i Vättern i senare material. Ekman anför inga synpunkter på artens ekologiska krav. *C. sphagnetorum* är för övrigt karaktärsart för podsoljordar i norra Europas barrskogar.

Resultat

Vad visar oligochaetanalyserna i stort om den sentida utvecklingen i sjön? De visar entydigt att Vättern i huvudsak är en klart oligotrof sjö och visar i det hänseendet likheter med Väneren. Med avseende på oligochaeternas kvalitativa sammansättning avslöjar analyser av bottenfaunan i Vättern, särskilt sedan 1960-talet, att sjöns djupa botten inte påverkats kvalitativt särskilt mycket av "eutrofieringspuckeln" under 60- och 70-talen. Kvantitativt, i termer av individtäthet och biomassa, syns puckeln däremot som tidigare nämnts tydligt för Station "Omberg" i sjöns mitt (Fig. 3 och Fig. 4). Samma sak gäller chironomiderna i bottenarna på samma station (Fig. 5 och Fig. 6).

En viss succession i tiden mellan oligochaetarter kan däremot urskiljas, en del kan ha rent naturliga orsaker som också setts i de andra stora sydsvenska sjöarna – t.ex. spegla en naturlig periodicitet, en del kan härledas till invandring av nya arter och därmed eventuella nya konkurrenssituationer. Litorala och sub-litorala bottenarna, fastän de inte nämnvärt undersökts här, visar däremot, särskilt i sydligaste Vättern, på förskjutning under 60- och 70-talen mot mera förorenings-toleranta arter. Detta framgår klart av de få serier från grundare bottenarna som tagits under den tiden.

De mest pålitliga oligotrofiindikatorerna bland oligochaeterna såsom *S. ferox*, *S. heringianus* och *P. barbatus*, finns i princip överallt och dominerar i sjöns profundal. Vi har också djupvattensarten och oligotrofiindikatorn *L. profundicola* som var sparsamt förekommande i Vättern under tidigt 1900-tal. Den arten blev uppenbart mera vanligt förekommande på djupa och medeldjupa bottenarna i Vättern fram t.o.m. 60-talet för att därefter återigen minska i antal. Arten är särskilt indikativ på oligotrofa förhållanden i de djupa schweiziska sjöarna såsom i Genevesjön (Lang & Reymond, 1996). Under sen tid har arten *Tasserkidrilus*

acapillatus kommit in i Vätterns profundal – sannolikt från öst - och har ökat i betydelse till synes på bekostnad av *L. profundicola* som blivit alltmer glest förekommande och möjligen också *S. heringianus* (se nedan). *T. acapillatus* är sedan 70-talet en dominerande art i profundalen och måste också betecknas som en pålitlig oligotrofiindikator. Beträffande den i trofisammanhang ambivalenta arten *T. tubifex* (till del en pålitlig oligotrofiindikator och till del också en dito eutrofiindikator) diskuteras närmare nedan.

Vissa av de arter som angivits som karakteristiska för Vättern i Ekmans monografi har emellertid inte med säkerhet återfunnits såsom *R. falciformis* (se nedan). Vissa andra arter av släktet *Rhyacodrilus* har heller inte återfunnits eller bedömts vara varianter av "moderarten" *R. coccineus* som förekommer sparsamt i profundalen. Den senare har "könsborst" ("spermathecal chaetae") med relativt korta trubbiga ändrar (Fig. 12). Varianten *R. Ekmani* med krökta, spetsiga "könsborst" (Fig. 13) har hittats i de sydligaste delarna av sjön, medan varianten *R. palustris*, med långsträckta "könsborst" (Brinkhurst & Jamieson, 1971), inte återfunnits alls. Analysresultaten visar att *R. coccineus* numera tycks vara mera sällsynt förekommande än under 60-talet.

Bottenprover från måttliga djup strax utanför Jönköping och Huskvarna under 60-talet visar dels på förekomst av pålitliga eutrofieringståliga arter såsom *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* men dels också på ökade abundanser och biomassor hos oligochaetfaunan i stort. Nämda två arter fanns visserligen redan vid 1900-talets början på litorala och sub-litorala bottnar utanför Jönköping-Huskvarna, liksom utanför Hjo och Karlsborg, men aldrig i större abundanser. Situationen är typisk för vad som i allmänhet händer i oligotrofa vattenområden vid pågående eutrofiering (Milbrink, 1980).

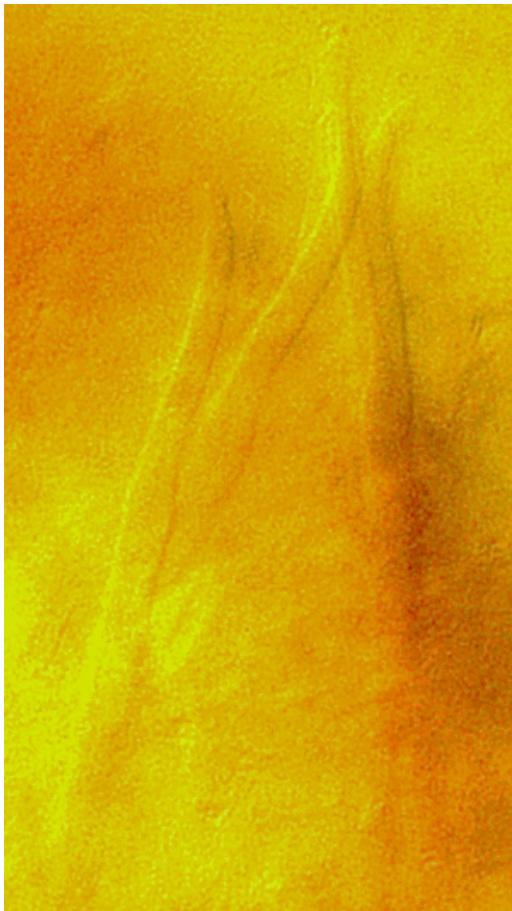
I och med det aktualiserade intresset för Vätterns oligochaetfauna - många prover har därmed blivit analyserade - är det närmast oundvikligt att för sjön nya arter "dyker upp". Sålunda har artlistan för Vättern utökats med *Tubifex smirnowi* i sjöns södra, djupa bottnar och *Peipsidrilus pusillus* i Vätterns strandmiljöer (M. Lindell, pers.inf.). Man tror sig veta att båda arterna har ostligt ursprung. Ovannämnda arten *T. acapillatus* visade sig med säkerhet i Vättern redan 1967 (Milbrink, opubl.), men arten beskrevs först senare från nuvarande Ryssland av Dr. Nonna Finogenova, 1972.

Tabellerna 1-3 i Appendix 1 ger en komprimerad bild av det kvalitativa innehållet hos alla de prover från Stationerna 5, 9 och 14 som analyserats fram till och med år 2003 – tillkommer år 2014. Bortsett från rent kvantitativa skillnader delvis betingade av vald utrustning och vilken provtagningsmetodik som tillämpats kan man urskilja vissa trender i materialet.

I Vätterns profundal var sålunda *L. profundicola* en av de arter som förekom vid 1900-talets början, men ännu mer vanlig blev arten alltså under 60-talet. Om man försiktigtvis håller sig till enbart köns mogna exemplar (jmf. diskussionen nedan) hade arten sin storhetstid under det decenniet. På 60-talet började *T. acapillatus* visa sig i proverna och blev sedan allt vanligare samtidigt som *L. profundicola* blev mera ovanlig. Sammanställningen visar även att abundanserna av *S. heringianus*



Figur 12. Så kallade könsborst ("spermathecal chaetae") hos arten *Rhyacodrilus coccineus*. Borstens ändrar relativt korta och trubbiga – ofta med en dorsal hake.



Figur 13. Könsborst hos artvarianten *Rhyacodrilus Ekmani* (huvudart *R. coccineus*) Borstens ändrar är utdragna, spetsiga och halvmånformigt krökta.



Figur 14. Ett s.k. penisfodral hos en könsmogen individ av arten *Limnodrilus profundicola*.

minskade ganska avsevärt in på 70-talet, även vid jämförelse med situationen vid seklets början. Till detta finns ingen uppenbar förklaring. Det kan vara fråga om en naturlig cyklicitet.

Man ska vara försiktig med att strikt jämföra abundanser, särskilt i de tidigaste proverna enligt vad som sagts ovan, men det är ändå frestande att dra den slutsatsen att de relativt höga abundanserna hos samtliga oligotrofiindikatorer under 60-talet jämfört med 80-talet och framåt är kopplade till eutrofieringen. Oligotrofiindikatorarterna *S. ferox*, *S. heringianus* och *P. barbatus* synes verkligen ha varit tämligen vanligt förekommande på de valda djupstationerna vid 1900-talets början, även vid jämförelse med 1980-talet och framåt, när deras abundanser minskat från 70-talets relativt höga nivåer. *T. tubifex* har visserligen visat en viss cyklicitet men har ändå legat tämligen konstant i individtal.

Tabell 4 i Appendix 1 ger likaledes en komprimerad bild av det kvalitativa innehållet hos samtliga (15) stationer i Vättern – dvs. även från stationer på mindre djup. Sålunda är eutrofieringsindikatorerna *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* under 60-talet vanligt förekommande på Stationerna 1 och 2 (3), dvs. på måttliga djup, utanför Jönköping och Huskvarna. Redan på Ekmans tid hittades dessa arter där fastän i mindre utsträckning liksom, som nämnts, utanför Hjo och Karlsborg. Under 60-talet hade de båda arterna ökat i söder. På övriga stationer, undantag de nordligaste stationerna (Stora Aspön/Stora Röknen, Askersund och Hammar) och i Motalaviken fanns inte *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* över huvud taget redovisade. Vad *R. coccineus* beträffar hade arten sin tyngdpunkt 1911 på Station 1 utanför Jönköping (då benämnd *R. palustris*). I senare material från 60-talet har arten påträffats sparsamt på samma stationer. Varianten *R. Ekmani* återfanns 1971 utanför Jönköping och Huskvarna.

Diskussion

Vad visar oligochaeterna om den sentida utvecklingen i de fyra stora sjöarna i Sydsverige, och hur mycket kan oligochaetsammansättningen berätta specifikt om Vättern?

Mälaren Mälaren består av ett flertal bassänger och är naturligt mesotrof – eutrof till sin karaktär. De centrala, av eutrofiering minst påverkade fjärdarna, Prästfjärden och Björkfjärdarna, är huvudsakligen mesotrofa medan perifera bassänger såsom Ekoln i norr och Galten och Västeråsfjärden i väster är klart eutrofa. Mälaren i likhet med de andra stora sjöarna i Sydsverige har sedan 50-talet genomgått en eutrofiering som kulminerade i slutet av 60-talet och i början av 70-talet. Därefter har vi sett en konstant förbättring av sjöns tillstånd. Oligochaetmaterial har insamlats och bevarats från hela sjön med början 1915-1916 (Alm, 1915). Därefter gjordes insamlingar 1933-1935 (Nybelin), 1966-1973 (Milbrink) och mellan 1971 och 2010 (Naturvårdsverket/Institutionen för vatten och miljö, SLU). Det rör sig om ett tidsspänn på nära 100 år.

De centrala mesotrofa bassängerna har under hela tidsperioden dominerats av de toleranta arterna *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* men med viktiga inslag av oligotrofiindikatorerna *S. ferox* och *P. barbatus*. I slutet av 60-talet, när eutrofieringen nådde sitt maximum, var *P. hammoniensis* särskilt vanligt förekommande för att sedan alltmer minska i abundans samtidigt som oligotrofiindikatorerna, särskilt *P. barbatus*, relativt sett ökade. De perifera bassängerna i väster såsom Galten och i norr -Ekoln (se ovan) har hela tiden behållit sin eutrofa karaktär med stark dominans av arterna *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri*. Öster om Galten i Västeråsfjärden och Blacken kan man sedan 80-talet se en påtaglig förbättring av miljöförhållandena med glädjande nog bredare återkomst av renvattensarterna *S. ferox* och *P. barbatus*.

I sen tid har s.k. Ponto-Kaspiska arter av släktet *Potamothrix*, invandrat till Mälaren från öst (*P. vej dovskyi*, *P. heuscheri*, *P. bedoti* och *P. moldaviensis*). Dessa arter har sannolikt invaderat Mälaren via fartyg kommande från Balticum (Milbrink, 1999; Milbrink & Timm, 2001). Några av dessa *Potamothrix* - arter såsom *P. moldaviensis*) fanns redan närvarande i det Almska bottenfauna-materialet från Mälaren 1915–1916, men de flesta av ovan nämnda arter blev vanliga och lokalt dominerande under 60-talet. Invasionen av Mälaren som skedde i flera steg inträdde betydligt tidigare än i Vättern. Alla de Ponto-Caspiska arterna fanns i stora abundanser i sjön under 60-talet. Där de nya arterna fått fotfäste var de totala abundanserna särskilt höga. I de flesta fallen kan man inte se att andra inhemska arter har fått ge vika i Mälarens profundal, snarare tvärtom, vilket faktiskt kan antyda symbiotiska förhållanden mellan arterna med avseende på bakteriell föda (Milbrink, 1993).

Vänern. Profundala bottenprover har tagits i Värmlandssjön sedan 1921- 1922 ("Vallin-Söderströmska boniteringen"). På 1960-talet togs ett mindre antal bottenprover av Naturvårdsverket i hela sjön (Grimås), och 1969-71 gjorde Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning delvis heltäckande bottenprovtagningar i sjön. Nu var det miljösituationen som skulle belysas. Sedan 1975 har Naturvårdsverket/ Institutionen för vatten och miljö på SLU med tre års mellanrum följt upp situationen på några utvalda profundala stationer i Vänern. Under tecknad har haft möjligheten att artbestämma allt oligochaetmaterial som samlats in t.o.m. 2003 samt även 2014 (Milbrink, 2013; Milbrink & Sonesten, 2014).

Vänern är en oligotrof sjö, vilket oligochaetfaunans sammansättning också bekräftar, dvs. en profundal dominans av *S. ferox*, *P. barbatus* och *S. heringianus* (även *T. tubifex*). Abundanserna är låga. Värmlandssjöns norra fjärdar, fjordar och skärgårdsområden har emellertid under 50-, 60- och 70-talen påverkats av betydande eutrofiering precis som i de andra stora sjöarna – och även av tungmetallförgiftning från många industriella komplex (t.ex. Skoghallsverken vid Kattfjorden med stora utsläpp i luft och vatten av kvicksilver). Under eutrofieringsmaximum gynnades här lokalt arterna *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* (även *T. tubifex*) samtidigt som totalantalet oligochaeter gick upp kraftigt. Sedan 80-talet har miljöförhållandena emellertid snabbt förändrats till det bättre i takt med förbättrad kommunal och industriell avloppsrening. Tungmetallsproblemet kvarstår dock i stor utsträckning (Milbrink & Sonesten, 2015). Även i Vänern har vi sålunda ett nära 100-årigt perspektiv.

Hjälmaren Hjälmaren är en tämligen grund eutrof slättsjö med totalcirkulerande vattenmassa. Den profundala oligochaetfaunan visar en blandning av toleranta och syrekrävande arter enligt ovan. Vi har sedan länge en gödningssituation men utan profundal syrebrist, därav artblandningen. Sedan 1975 fram till och med 1995 har en serie stationer i sjön följts upp vart annat år av Naturvårdsverket /Institutionen för vatten och miljö, SLU. Prover från vissa stationer i sjön finns dessutom från 2011. De tidigaste proverna från hela Hjälmaren 1967 resp. 1975 har artbestämts av undertecknad, och den efterföljande provserien från 70-talet fram till våra dagar kommer enligt planerna att analyseras under våren 2016. Även den ostligaste pendangen till egentliga Hjälmaren - Lill-Hjälmaren - med närmast mesotrof vattenkvalitet kommer också delvis att följas upp.

Vättern. Arten *T. acapillatus* fanns inte i Ekmans material från Vättern 1911 och 1912. Dr. Timm från Tartu Universitet kan, som nämnts, bekräfta att det inte fanns ett spår av arten i det på Riksmuseet deponerade materialet. *T. acapillatus* fanns med som flera reservationer i undertecknads material från Mälaren på 60-talet – en reservation om ”från *L. profundicola* klart avvikande”. *L. profundicola* var i alla händelser i det materialet den klart dominerande arten av de två med en tidvis stor andel könsmogna individer (Se Tabell 5 i Appendix 1). Det är alltså troligt att *T. acapillatus* invandrat till Vättern under sedan 50-talet pågående eutrofieringsfas. Vektorer kan absolut ha varit fartyg som kommit från exempelvis Balticum via Göta kanal och med ballastvatten som tömts utanför Jönköping eller andra tätorter vid sjön. *T. acapillatus* har åtminstone varit vanlig i sjöarna Peipsi och Vörtjärvi i Estland och med all sannolikhet i mynningarna till floder som leder till Östersjön (T. Timm, pers.inf.), och det är i sådana miljöer som ballastvatten har fyllts på i samband med om- och pålastningar.

En av arterna av släktet *Potamothrix* som invaderat Mälaren i sen tid - *P. heuscheri* - har faktiskt hittats av undertecknad 1972 i Munksjön inne i Jönköpings stad, men med direkt fartygsförbindelse med Vättern (se Tabell 4 i Appendix 1). Arten har tidvis dominerat på fiberbankar från träförädlingsindustrier vid sjön. Bottenmiljön har tidvis varit syrefri med svavelväteförekomst (Milbrink, 1999), en miljö som *P. heuscheri* är känd för att uthärda och under sådana förhållanden föröka sig vegetativt. Proverna från Munksjön från september 1972 innehöll emellertid också könsmogna djur precis som i Mälaren. Det finns naturligtvis en möjlighet att *P. heuscheri* nått Munksjön via ballastvatten i skeppstransporter från Balticum precis så som fallet sannolikt varit i Mälaren – och troligen också för *T. acapillatus* i Vättern enligt ovan. Munksjöproverna innehöll förutom *P. heuscheri* också mindre inslag av *T. tubifex* och *L. hoffmeisteri*. Därutöver fanns större mängder av en okänd småvuxen Naidid-art inom släktena *Nais* och *Dero*. Sannolikt är det fråga om en *Nais* –art (Tabell 4 i Appendix 1). Vissa *Nais* –arter är kända för att kunna uppträda i större mängder i närmast syrefri miljö genom ett delvis frisimmade levnadssätt - och därmed undvikande gifteffekterna från reducerade sediment.

Oligochaetmaterialet från Vättern visar oligochaetsamhällets dynamiska förändringar dels under eutrofieringsfasen och dels under påföljande oligotrofiering. Denna dynamik hos oligochaetfaunan har beskrivits på liknande sätt för Genevesjön, som också under senare decennier genomgått oligotrofiering tack vare

massiv utbyggnad av avloppsrening runt sjön (Lang & Reymond, 1996). Parallellerna är högst påtagliga.

Ekologin hos arten *T. tubifex* kan tyckas märklig i och med att arten är mycket karakteristiskt förekommande – även dominerande - i trofiskalans ändpunkter. Det är sannolikt inte fråga om bara en art utan kanske omkring tio olika arter med delvis skilda ekologiska krav (Anlauf & Neuman, 1997). *T. tubifex* är t.o.m. en art som kan vara karakteristisk för kraftigt belastade miljöer likaväl som för mycket oligotrofa dito – som i Vätterns profundal. Ibland är det den enda arten som återstår i en starkt syretärande situation (Milbrink, 1980). I exempelvis Mälaren är arten karakteristisk för de djupaste bottenarna och avlöses som regel på mindre djup av *P. hammoniensis* (Milbrink, 1980). Så är också fallet i delar av Vänern och Vättern där *P. hammoniensis* förekommer.

S. ferox förekommer allmänt i alla oligotrofa inlandsvatten i vårt land och annorstädes i Europa. Om bara syrgasmättnaden är tillräcklig i litoralen hittar man arten delvis även under eutrofa förhållanden. Undertecknad fann att i de prover som tagits 1975 och 1976 i den djupa, och i grunden oligotrofa, sjön Mjösa var *S. ferox* tillsammans med *S. heringianus* en klart dominerande art ända ned till maxdjupet på c:a 450 m (Milbrink, 1994).

Av arter som inte sågs i Ekmans material men som kunde identifieras i senare material kan nämnas *Tubifex ignotus*, *Bothrioneurum vej dovskyanum*, och möjligen också *Ilyodrilus templetoni*, och naturligtvis de arter som vi på goda grunder tänker oss ha invandrat i närtid såsom *T. acapillatus*, *P. pusillus* och *T. smirnowi*. Vi känner *T. ignotus* och *B. vej dovskyanums* resp. ekologi, exempelvis från situationen i Mälarens olika delbassänger, Dessa två arter är normalt förekommande i måttligt eutrofa sammanhang men kan uppenbarligen även uppträda som i Vättern under oligotrofa förhållanden.

De prover som undertecknad tagit över hela Vättern 1966-1969 artbestämdes strax efter insamlandet, men proverna har tyvärr inte bevarats till eftervärlden. Det är idag därför omöjligt att kontrollera hur säker artbestämningen av *L. profundicola* verkligen varit. De köns mogna individerna med tydliga könsattribut i form av s.k. penisfodral (Fig. 14) är däremot noggrant angivna i analysprotokollen, och där föreligger inga tvivel.

Arten var under 60-talet verkligen allmänt förekommande. Vid varje enskilt tillfälle är det som regel ett fåtal djur av varje art som är köns mogna. I protokollen från den tiden har, som nämnts, för flera djur som bedömts kunna vara en variant av *L. profundicola* införts en reservation om "möjlig okänd art", vissa med starkt avvikande penisfodral som avritats (Fig. 15). I efterskott har alltså kunnat verifieras att de avvikande individerna i själva verket varit *T. acapillatus*.

Efter att arten *T. acapillatus* beskrivits 1972 (Finogenova) kunde konstateras att den nya arten verkligen hade nått Vättern senast under 60-talet. Tabell 5 i Appendix 1 innehåller de analysresultat av prover från olika djup tagna 1966-1969 som bevisligen innehållit *L. profundicola*. Sålunda har 15 av 34 av dessa prover med absolut säkerhet innehållit köns mogna djur av *L. profundicola*. I 33 av proverna har det funnits ett varierande antal omogna djur som antingen kunnat vara *L. profundicola* eller *T. acapillatus*. Sannolikt var flertalet djur *L. profundicola*. I

tabellen ser vi att på Stationen 9 i augusti 1966 och i maj 1967 fanns det många köns mogna och därmed lättbestämbara djur, medan det i augusti 1969 fanns få eller inga sådana djur på samma lokaler och djup.



Figur 15. Ett s.k. penisfodral hos en köns mogen individ av arten *Tasserkidrilus acapillatus*.

Sven Ekman ansåg sig kunna fastslå att i de prover han tagit i Vättern 1911 och 1912 var andelen köns mogna individ av varje art mer eller mindre konstant oavsett årstid, att det fanns en proportionalitet. Detta var antagligen en helt felaktig slutsats, och efter vad vi vet idag föreligger det aldrig något konstant förhållande mellan köns mogna och icke mogna individ. En extrapolering av totalantalet av en art med utgångspunkt enbart från identiteten hos köns mogna djur låter sig sällan göras. Säkra artbestämningar av icke-köns mogna djur måste i så fall basera sig på andra pålitliga strukturella karaktärer.

Proverna från litoralen och sub-litoralen i sydligaste Vättern under den s.k. eutrofieringspuckeln visade en tydlig påverkan på oligochaetfaunan. Arterna *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* hade, som nämnts, ökat i abundanser samtidigt som totalantalet oligochaeter ökat. Undertecknad har blivit uppmärksam på att man förutom de tre djupstationerna i Vättern följt upp ytterligare en station på betydligt grundare djup – benämnd Station 4 på 30-35 meters djup - belägen strax utanför Hjo. Där konstaterade Ekman, och senare under 60-talet undertecknad, förekomster av *P. hammoniensis* och *L. hoffmeisteri* liksom förstås utanför

Jönköping-Huskvarna. Det betyder att samma station därefter har besökts vart tredje år mellan 1971 och 1995. Proverna finns lagrade i det kompaktsystem som finns i Institutionen för vatten och miljöns förråd. De lever under ständigt hot om att slängas p.g.a. brandskyddsliga krav. Det skulle onekligen vara mycket intressant och lockande om det gavs möjligheter till analyser även av dessa prover för att än tydligare kunna följa Vätterns eutrofieringsprocess.

Tack

Undertecknad vill rikta ett varmt tack till Isabel Quintana, Lars Sonesten och Lars Eriksson, Institutionen för vatten och miljö, SLU, för hjälp i olika skeden av detta forskningsuppdrag. Ett stort tack riktas också till Medins havs- och vattenkonsulter AB för tillgång till 2014 års provmaterial från Vättern, samt till kollegor i Estland, dr. Tarmo Timm, och i Holland, dr. Ton van Haaren.

Referenser

- Alm, G. 1915. Redogörelse för boniteringsundersökningar i Mälaren och Boren. Meddelanden från Kungl. Lantbruksstyrelsen. Nr 304, 37 sid.
- Anlauf, A. & Neumann, S. 1997. The genetic variability of *Tubifex tubifex* (Müller) in 20 populations and its relation to habitat type. Arch. Hydrobiol. 139:145-162.
- Brinkhurst, R.O. & Jamieson, B.G.M. 1971. Aquatic oligochaeta of the world. Oliver & Boyd, Edinburgh, 860 pp.
- Ekman, S. 1911. Neue Apparate zur qualitativen und quantitativen Erforschung der Bodenfauna der Seen. Intern. Revue d. Ges. Hydrogr. U. Hydrogr.ö BD. 3.
- Ekman, S. 1915. Die Bodenfauna des Vättern, qualitativ und quantitativ untersucht. Intern. Revue d. Ges. Hydrogr. U. Hydrogr., Verlag von Dr. Werner Klinkhardt, Leipzig, 425 pp.
- Lang, C. & Reymond, L. 1996. Reversal of eutrophication in four Swiss lakes: evidence from oligochaete communities. Hydrobiologia 334: 157-161.
- Milbrink, G. 1980. Oligochaete communities in pollution biology. The European situation with special reference to lakes in Scandinavia. In R.O. Brinkhurst & D.G. Cook (eds.), Aquatic Oligochaete Biology. Plenum Press: 433-455.
- Milbrink, G. 1993. Evidence for mutualistic interactions structuring oligochaete communities. Oikos 68: 317-322.
- Milbrink, G. 1994. Oligochaetes and water pollution in two deep Norwegian lakes. Hydrobiologia 278:213-222.

Milbrink, G. 1999. Distribution and dispersal capacity of the Ponto-Caspian tubificid oligochaete *Potamothrix heuscheri* (Bretscher, 1900) in Scandinavia. *Hydrobiologia* 406:133-142.

Milbrink, G. & Timm, T. 2001. Distribution and dispersal capacity of the Ponto-Caspian tubificid oligochaete *Potamothrix moldaviensis* Vejdovsky & Mrázek 1903 in the Baltic Sea Region. *Hydrobiologia*, 403:93-102.

Milbrink G. 2013. Oligochaetsammansättningen och miljöövervakning i Vänern i ett längre perspektiv. Rapport till Vänerns vattenvårdsförbund, 5 sid.

Milbrink, G & Sonesten, L. 2014 Deformiteter hos oligochaeter i Vänern. SLU, Institutionen för vatten och miljö, rapport 2014:19.

Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. Peatland forestry, ecological principles. *Ecological Studies* 111, Springer Verlag Berlin, 205 pp.

Wesenberg-Lund, C. 1905. A comparative study of the lakes of Scotland and Denmark. *Proc. Roy. Soc. Edinburgh* 1904-1905, Vol. 25.