

# Videnskabelig - styrke eller hæmsko?

Som anvendt disciplin står ferskvandsøkologien i dag betydeligt stærkere end den terrestriske økologi. En væsentlig årsag hertil er forskellige traditioner for tværfagligt arbejde indenfor de to discipliner.

Udover nye ideer har nye teknikker og målemetoder til stadighed været en vigtig drivkraft bag naturvidenskabelige landvindinger. Inddragelse af fysiske og kemiske målemetoder fra år 1880, radioaktive isotoper siden 1940, automatisk måleudstyr siden 1960, hurtige computere siden 1980 og DNA-teknologi siden 1990 har drevet den biologiske forskning fremad. Det har stimuleret mange biologiske discipliners udvikling, at fysikere, kemikere og ingeniører er blevet direkte involveret i forskningen, eller at biologer er blevet oplært i deres metoder.

Fysikkens større fokus på lovmæssigheder og ingeniørens fokus på praktiske anvendelser skabte en frugtbar modpol til biologens oplevelse af en komplekse natur, som er vanskelig at forudsige og sætte på matematiske formler. Mens fysikere og ingeniører aktivt engagerede sig i ferskvandsøkologien, skete det kun i yderst begrænset omfang i den terrestriske økologi. Og som vi skal se, har det begrænset anvendeligheden af den terrestriske økologi.

## Fælles sprog

Samarbejde mellem forskningsdiscipliner kræver et fælles sprog, en fælles videnskabelig metode og en gensidig dedikation for at blive en succes. Da biologen James Watson og fysikeren Francis Crick sad på at afdække DNA's struktur gav det pote ved at kombinere krystalstruktur, molekylmodeller og krav til molekylets opbygning. Da ferskvandsbiologer og ingeniører sammen satsede på at udvikle modeller for søers økologiske tilstand, lykkedes det i 1965-1975 at opstille matematiske løsninger for søvandets indhold af fosfor som funktion af fosfortilførslen fra oplandet, tilbageholdelsen i søbunden og vandets opholdstid. Herefter etablerede målinger i flere hundrede søer sammenhængen mellem søens fosforkoncentration og indholdet af planktonalger, vandets klarhed og risikoen for iltsvind i bundvandet.

Det fælles udgangspunkt var en kvantitativ tankegang og en stræben efter generelle principper. Ligesom man havde en forventning om, at DNA-molekylet havde samme grundstruktur i forskellige arter, så forventede man, at fosfor havde samme betydning for mængden af planktonalger i søer uanset disses beliggenhed, størrelse og artsindhold.

Vi betoner denne generaliserende og kvantitativ-statistiske tankegang, fordi den ofte hæmmer meningsfulde tværgående forskningsprojekter mellem naturvidenskab og ikke-naturvidenskab, når sidstnævnte arbejder beskrivende eller fortolkningsorienteret med emnet. Så tværfagligt samarbejde kan skabe videnskabelige gennembrud, når forskernes sprog og metoder passer sammen og kan føre til sammenbrud, når de ikke gør.

## Økosystemer og modeller i ferskvandsøkologi

Økologiens historiske udvikling fulgte fra starten for 150 år siden forskellige spor i ferskvand og på landjorden. Da læren om ferskvand blev grundlagt som videnskabelig disciplin, skete det med baggrund i en økologisk helhedsopfattelse af søen som et afgrænset system i vekselvirkning med oplandets jordbund, arealudnyttelse og søens biologi. De toneangivende ferskvandsøkologer oplevede, at de søsatte en helt ny disciplin uden bånd til klassisk botanik og zoologi. Schweizeren Francois-Alphonse Forels tre bøger om Genevesøen (1892-1904) behandlede geologien, de fysiske og kemiske forhold og den gensidige påvirkning mellem disse og arternes tilstedeværelse i søen. Forel udviklede flere måleapparater, så fysiske målinger af vandets temperatur, farve og bølger var med fra starten.

Herhjemme havde den første professor i ferskvandsbiologi, Carl Wesenberg-Lund (1867-1955) sin baggrund i ferskvandsdyrenes biologi. Men da han grundlagde Ferskvandsbiologisk Laboratorium i 1897 fandt han sine tidligere studier: »for snævre

### Forfattere



Kaj Sand-Jensen er professor i ferskvandsøkologi  
ksandjensen@bio.ku.dk



Hans Henrik Bruun er lektor i terrestrisk økologi  
hhbruun@bio.ku.dk

Begge er ved Biologisk Institut, Københavns Universitet



# tradition

til at kunne begrunde det nye laboratoriums eksistens.« Han lagde sin traditionelle opdragelse til side og fulgte et mere økologisk og interdisciplinært program. I 1900-1906 sammenlignede han planktonets artssammensætning og udviklingen af dafniernes hjælme i sjællandske og jyske søer for at forstå opblandningens og temperaturens betydning (altså "sammenlignende økologi"). I 1908-1910 lokkede han kemikere med i bådene for at gennemføre de første skandinaviske studier af ilt- og kulstofforhold ("fysiologisk økologi"). De påviste bl.a., at der dengang var ilt i bundvandet i Furesø om sommeren, og vandplanterne ved fotosyntesen udfældede store mængder kalk. I 1917 udkom bogen om Furesøens dybdeforhold, dyreliv og planternes præcise fordeling som resultat af fem personers indsats.

Først 50 år senere blev et tilsvarende økosystemstudium gennemført herhjemme på land, nemlig i bøgeskoven Hestehaven ved Rønede i forbindelse med det Internationale Biologiske Program.

## Iltmålinger og økologi

Teknologisk blev ferskvandsstudierne hjulpet på vej af en kemisk metode til at måle ilt i vand med høj præcision. Iltten er så vigtig, fordi flercellede dyr kræver ilt for at overleve. Sammenhængene mellem iltindhold og organismernes fordeling i søer blev første gang studeret i 1895 i Tyskland. I 1925 publicerede to amerikanske spildevandsingeniører verdens allerførste modelforudsigtelse af iltindholdet i vandløb nedstrøms en punktudledning af spildevand. Forudsigtelsen tager hensyn til mængde, fortynding og nedbrydning af spildevand samt tilførsel af ilt fra luften til vandløbet. Med senere forbedringer har det været regnegrundlaget i ferskvandsbiologi og spildevandsrensning til at forudsige konsekvenser af udledninger af iltforbrugende organisk stof i vandløb og opstille krav til rensningseffektivitet. Anvendt ferskvandsøkologi har således en meget lang historie.

**Eugenius Warming** (1841-1924) var en bredt funderet professor i botanik ved Københavns Universitet, som stod fadder til verdens første økologiske lærebog og universitetskursus i plantesamfunds økologi. Han havde stor indflydelse på sine elever, inklusive de to senere berømt heder ferskvandsbiologen Carl Wesenberg-Lund (1867-1955) og planteøkologen Christen Raunkjær (1860-1934).



## Videnskab og politisk handling

Robust videnskabelig dokumentation er en forudsætning for, at politikere beslutter bekostelige indgreb. Et eksempel: Allerede Wesenberg-Lund skrev i 1915, at urensset spildevand ødelagde Mølleå-systemet. I 1940'erne skrev Politiken og Berlingske Tidende, at badevandskvaliteten i Furesø var under kraftig forværring. I 1950-52 dokumenterede en større undersøgelse de dårligere ilt- og lysforhold pga. spildevandet. Men forureningen fik uantastet lov til at vokse i 25 år mere.

Først med de sikre forudsigelser og modeller for fosfors påvirkning af søers tilstand i begyndelsen af 1970'erne besluttede politikerne at investere i rensning af spildevandet til Furesø. Fra slutningen af 1970'erne og frem til i dag har stadig bedre rensning efterhånden bragt fosfortilførslen ned på 1900-niveau. I bagklogskabens lys kunne vi i 2008 rekonstruere hele denne udviklingshistorie, som på det allerseneeste har bragt lyset, vandplanterne og badningen tilbage til Furesø.

Moralen er, at videnskabelig indsigt og politiske initiativer ofte udvikler sig meget, meget langsomt. Kun med robust dokumentation og klare løsningsmuligheder samt pres fra borgerne reagerer politikerne.

Dam på Asnæs med vandklaseskærm.

Foto: Hans Henrik Bruun



Robert Lindeman benyttede også iltteknikken i 1942 ved verdens første kvantitative analyse af fødekædens leddelte opbygning og effektiviteten ved energiens omsætning mellem leddene. Dyrenes artsantal og hyppighed begrænses i stigende grad op gennem fødekæden, fordi en begrænset del af energien (ofte 2-20 %) overføres fra et led til det næste.

Økosystemtanken afspejledes tydeligst i de nævnte sømodeller til forvaltning af tilladelige udledninger af næringsstoffer fra byer, industri og dyrket land. Søers økologiske tilstand er i meget høj grad bestemt af næringstilførslen udefra, fordi planktonalgernes samlede biomasse, som er let at måle som klorofylindholdet i vandprøver, stiger forudsigeligt med fosforindholdet. I et samarbejde mellem biologer, fysikere, kemikere og ingeniører udviklede og testede man fra sidst i 1960'erne sådanne tilførsels-effekt modeller både i udlandet og herhjemme på Ferskvandsbiologisk Laboratorium (KU), Farmaceutisk Højskole og DTU.

### Modeller og planlægning

Da de simple modeller kom, betød det tætte danske samarbejde mellem økologer, ingeniører og teknikere i stat og amter, at modellerne hurtigt vandt indpas i 1970'erne som et planlægningsværktøj for at vurdere og forbedre søernes miljøkvalitet. For enhver sø vedtog amtsrådene et kvalitetsmål under hensyntagen til søernes naturgivne forudsætninger. Teknikerne regnede sig derefter frem til, hvor meget forureningen skulle reduceres for at opnå den målsatte kvalitet – fx en gennemsnitlighed på over 3 m gennem vandet, som sikrer høj naturkvalitet og godt badevand (boks 1).

Politikere, industri, teknikere og embedsmænd bifaldt planer af netop denne type, også selvom de kostede betydelige investeringer i forbedret rensning at opfylde, fordi de var konkrete og operationelle. Man kan sige, at man regnede med ferskvandsøkologerne, fordi de viste sig at kunne regne

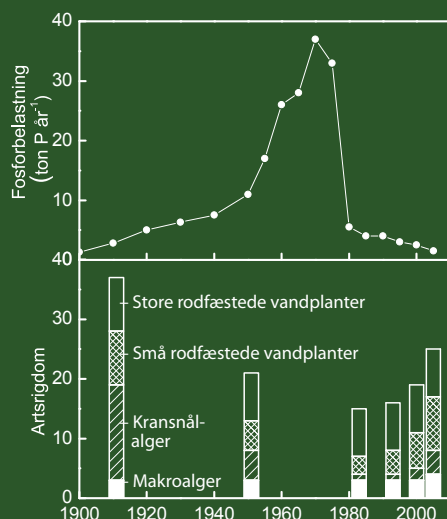
og kommunikere med forvaltningens tidligere enerådende herskere, ingeniørerne.

### Arter og samfund i terrestriske økologi

I den terrestriske økologi gik udviklingen radikalt anderledes. Her skete udviklingen ad to spor. Det ene spor havde fokus på at opklare historien bag et givet fænomen. Det andet spor havde fokus på funktionen og maskineriet bag fænomenerne. I ferskvandsøkologien har de to spor været nært forbundne. Når det samme ikke var tilfældet i den terrestriske økologi, er der to mulige forklaringer.

Den ene forklaring er, at de terrestriske systemer er langt mere komplekse end de ferske. Verden over er der i runde tal 200.000 arter af højere planter på land og blot 2.000 under vand. I Danmark vokser ofte omkring 100 arter af højere planter i det enkelte naturområde på land mod blot 5-10 arter i en sø. Det kræver derfor naturhistorisk ekspertise og en stor indsats at identificere alle arterne og deres hyppighed på land. Traditionen bød (og byder), at man ikke stillede sig tilfreds med de 10-20 hyppigste arter. Det kunne ellers give tid til overs til også at foretage målinger af mikroklimaet, jordbundskemien og hydrologien. Men heller ikke dette er så enkelt på landjorden. Målinger af lys, vand og næring på en for planterne relevant måde er mere kompliceret på land end i vand. Årsagssammenhænge mellem næringsstofstatus og naturkvalitet er også mere komplekse på land end i søer.

I den fysiologiske økologi er der udviklet stor ekspertise i at måle jordbundsforhold og forstå samspillet mellem jordbund og planter, men blot for nogle få modelplanter – sædvanligvis afgrøder. Både den artsfokuserede økologi og den fysiologisk orienterede økologi er discipliner, der stiller store krav til håndværksmæssig kunnen. Men de tekniske udfordringer gav tunnelsyn, således at man forsøgte at se, hvad "de andre" lavede, og forsøgte at udvikle fælles forklaringsmodeller. Man kunne



### Fosfortilførsel og vandplanter

Historisk udvikling i fosfortilførslen og artstallet af vandplanter i Furesø fra 1900 til i dag. I 1920-50'erne fik den stigende befolkning i søens opland, kloakering og udstrakt anvendelse af fosforholdigt vaskepulver fosfortilførslen til at stige voldsomt. Efter 1970 har afskæring af dele af spildevandet og effektiv rensning af resten fået fosfortilførslen til at falde voldsomt. Artstallet i søjerne er fra nede af med forskellige symboler opdelt i makroalger, kransnålalger, små rod-fæstede vandplanter og store rod-fæstede vandplanter.

Omtegnet efter Sand-Jensen m. fl. (2008).

måske have knyttet kemikere og hydrologer til sig, men de blev ikke tiltrukket af et emne, hvor kompleksitet og uforudsigelighed tilsyneladende herskede, og de skulle forholde sig til alle disse arter, som ikke sagde dem en radisse.

### Artslister eller modeller

Da sømodellerne tidligt i 1970'erne brød endeligt igennem, benyttede terrestriske botanikere stort set de samme metoder som 50 år tidligere til at vurdere tilstanden af naturområderne på land. Man stillede sig tilfreds med artslistes, havde ikke indført integrerende mål for de biologiske samfunds kvalitet og ikke etableret målinger af eller sammenhænge til mængderne af forurenende stoffer tilført med luften eller grundvandet. Forvaltningen kan (kunne) imidlertid ikke bruge en enkeltstående artsliste som grundlag til at planlægge indgreb mod skadelige påvirkninger.

Her i 2013 har de terrestriske økologer udviklet mål for plantesamfunds samlede kvalitet og metoder til at måle forureningspåvirkningen. Metoderne er dog ikke fuldt operationelle. Man opererer eksempelvis med meget vide grænser for kritisk forurening. Der er ikke – som for de ferske vande – etableret simple værktøjer til at måle og kvantitativt modellere sammenhænge mellem forureningskilder, forureningspåvirkning og biologisk tilstand.

Der er altså en god grund og en ikke så god grund til de fundamentale forskelle mellem terrestrisk økologi og ferskvandsøkologi.

Den gode grund er naturgiven og består i den større kompleksitet i terrestriske økosystemer. Den kan ikke elimineres, men den kan imødegås ved forbedrede metoder. Den knap så gode grund bor inde i vores hoveder. Det er forskningstraditionen, konservatismen og det overdrevne fokus på detaljer (fx talmæssigt underordnede arter), som har holdt udviklingen tilbage i den terrestriske økologi.

### Forskningstradition – styrke eller hæmsko?

Forskningstradition skal hele tiden udfordres pga. sin vekslende styrke eller hæmsko. Gode traditioner omfatter effektive videnskabelige teorier, standardiserede, præcise målemetoder og sikre forudsigelser om naturens tilstand og processer. Gode traditioner sikrer robuste værktøjer. Dårlige traditioner forstærker forskningsfeltet eller sender det ud ad ufrugtbare tangenter.

I særlige situationer kan ellers traditionelt gode forudsigelser miste deres præcision (fx den klassiske Newtonske fysik nær lysets hastighed) og nødvendiggøre modifikationer (fx Einsteins relativitetsteori). Trods fosformodellernes uomtvistelige succes til at forudsige søernes tilstand, kan forskelle i fødekædernes opbygning, især hvad angår fisk, skabe en betydelig variation mellem søer. Arterne – eller snarere funktionelle grupper af arter – kan altså modificere de overordnede sammenhænge. I sådanne tilfælde er dyb forståelse af arternes naturhistorie uvurderlig.

Det kendetegner levende forskningsdiscipliner at man hele tiden rykker sig og prøver nye angrebsvinkler, *fordi det er det uforklarede og det endnu ikke afslørede, som er videnskabens egentlige motivation*. Skulle vi ønske noget for ferskvandsøkologien kunne det være, at den fik bedre forståelse for arternes opførsel bag økosystemernes mere velkendte overordnede opførsler, fordi arterne nu engang er naturens fascinerende aktører og drivende kræfter.

Skulle vi ønske noget for terrestrisk samfundsøkologi, kunne det være at blive bedre til at måle funktionen af de forskellige arter i økosystemet og integrere arternes reaktion for at forudsige plantesamfundets samlede opførsel; fordi det er plantesamfundet frem for arterne, der må være genstand for naturforvaltningen. Det ville automatisk føre til øget fokus på de hyppigste arter, da de sædvanligvis er vigtigst for systemets samlede funktion. ■

### Videre læsning

Harremoës, P. m. fl. 2001 (eds.). Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000. European Environment Agency, Copenhagen. Findes som pdf.

Peters, R. H. 1991. A critique for ecology. Cambridge University Press.

Sand-Jensen, K. 2003. Den sidste naturhistoriker. Naturforkæmperen og videnskabsmanden Carl Wesenberg-Lund. Gads Forlag.

## Poul Harremoës

Professor i teknisk hygiejne ved DTU, Poul Harremoës (1934-2003) var aktiv i udviklingen af bedre metoder i spildevandsrensning. I 1970'erne gjorde han og medarbejdere (fx ingeniørerne Karl Ivar Dahl Madsen, Niels Nyholm, Jørgen Simonsen og Jens Lønholdt) en betydelig indsats for at udvikle økologiske modeller for søer og vandløb. Som emeritus argumenterede Harremoës for forsigtighedsprincippet ved håndtering af forurening med den begrundelse, at det ville spare penge, miljøødelæggelse og sundhedsskadelige påvirkninger.

Poul Harremoës overrækker en pris ved et arrangement på Asien Institute of Technology i 2002.

Foto: Asien Institute of Technology.

