

Limnologiska under- sökningar i Stora Neden, Hallands län 2001



Anders Wilander & Eva Willén

Limnologiska undersökningar i Stora Neden,
Hallands län 2001

av

Anders Wilander och Eva Willén

Upplaga: 20 ex
ISSN 1403-977X

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	1
PROVTAGNING OCH ANALYS	2
RESULTAT	3
VATTENKEMI	3
Vattenkemiskt tillstånd 2001	4
Ljusklimat	5
Surhet	6
Näringstillgång	7
Förhållanden i djupprofiler	7
Spårmetaller i vattnet	8
Budgetberäkningar	9
Jämförelser med tidigare undersökningar i Stora Neden	10
Ljusklimat	10
Surhet	11
Näringstillgång	13
Spårmetaller i vattnet	15
Kvalitetsbedömning enligt bedömningsgrunder	15
Vattenkvaliteten i inlopp och utlopp	16
Jämförelser med referensobjekt och diskussion om orsakssamband	20
Förändringar i Viskan och Ätran	22
Orsakssammanhang	23
VÄXTPLANKTON	25
Artrikedom	25
Biomassa och diskussion om planktonsamhällets struktur	27
Förändringar i algsamhället efter kalkningsinsatser	31
SAMMANFATTNING	33
REFERENSER	35
BILAGOR	
Vattenkemiska analysmetoder	Bilaga 1
Kemiska analyser	Bilaga 2–5
Växtplanktonanalyser	Bilaga 6

INLEDNING

Stora Neden i Himleåns avrinningsområde, Hallands län (634378 130353 RN) har tidigare blivit föremål för undersökningar med målsättningar som främst riktat sig mot fiskeri-biologiska intressen och intressen för råvattenuttag. Med anknytning till dessa har det också varit angeläget att kartlägga sjöns allmänna vattenkvalitet. Vattnets svaga buffertkapacitet bidrog till att sjön påtagligt försurades från 1960-talet med en successiv sänkning av pH från ca 6 till strax under 5 fram till 1980-talet. Då genomfördes en omfattande inventering av både fysikalisk-kemiska och biologiska parametrar (Willén 1983).

Stora Neden kalkades första gången i november 1984 och uppföljande limnologiska studier efter denna insats gjordes 1985 kompletterad med en bottenfaunaundersökning 1986. Fortsatta kalkningar skedde 1989, 1994 och 1999. Då en del lukt- och smakproblem förekom på dricksvattnet som levererades från Stora Neden till Varbergs kommun gjordes en utredning av växtplanktonsammansättningen i intagsvattnet till Kvarnagårdens vattenverk 1988 (KM-Laboratorierna AB, 1989). Därtill genomfördes 1995 en studie av både växt- och djurplankton i sjön, främst under sommarperioden också denna med inriktning på förekomst av planktiska alger som vållar lukt- och smak (KMLab Recipientteknik, 1995). En trofi-bedömning med utgångspunkt från plankton gjordes också. I denna senare studie finns också genomsnittliga värden av närsaltförhållandena redovisade. Inför en ombyggnad av Kvarnagårdens vattenförsörjningsanläggning i syfte att ytterligare förbättra dricksvattenkvaliteten karakteriserades råvattnet 1998–1999 efter månadsvisa provtagningar på intagsdjupet för råvattenintaget, 25 m (VA-INGENJÖRERNA AB, 2000). Med inriktning på uppföljning av noterade vattenfärgsförändringar i sjön beställde Gatuförvaltningen i Varbergs kommun hos Institutionen för Miljöanalys, SLU, en förnyad bred studie 2001 riktad mot vattenkemiska komponenter, budgetberäkningar, spårmetaller och planktiska alger. Syftet med den studien har varit att värdera vattenkvaliteten med avseende på:

- vattenkemiska variabler som beskriver ljusklimat, surhet och näringstillgång

- budgetberäkningar gällande belastning av närsalter och färgade substanser
- spårmetaller i vatten
- växtplankton med inriktning på biologisk mångfald, biomassa, besvärsbildande alger, samt värdering av planktiska alger i relation till ljus, surhet och näringstillgång
- jämförelser med tidigare undersökningar
- jämförelser med referensobjekt med synpunkter på eventuella avvikelser från vad som kan anses vara regiontypiskt

PROVTAGNING OCH ANALYS

Provtagningarna 2001, som utfördes av Gatuförvaltningen i Varberg, gjordes i Stora Nedens inlopp vid Hulegård (634360 130490), i utloppet vid Nedre Lia (634380 130355) samt centralt i sjön över det största djupet (634490 130420) (jmf rapportens omslagsbild). Proverna har därefter skickats till Institutionen för miljöanalys. Provtagningarna centralt i sjön omfattade både vattenkemi och växtplankton medan till- och utlopp omfattade enbart vattenkemi. Spårmetaller bestämdes på prover från sjölokalen vid två tillfällen ett i maj och ett i augusti.

Växtplanktonprovtagningar har gjorts som ett blandprov av epilimnion på 0–6 m djup. Från samma prov bestämdes också koncentrationen av klorofyll a. En översikt av provtagningar och provtagna variabler ges i tabell 1. Provtagningar har skett följande datum: 25/1, 20/2, 19/3, 23/4, 7/5, 5/6, 10/7, 7/8, 11/9, 9/10, 5/11, 11/12.

Analysarbetet är utfört på SLU, Institutionen för Miljöanalys ackrediterade laboratorier enligt metoder angivna på internet [www. ma.slu.se](http://www.ma.slu.se) och databank vattenkemi respektive växtplankton. De vattenkemiska metoderna redovisas även i Bilaga 1.

Tabell 1. Översikt av provtagningar och provtagna variabler i Stora Neden 2001.

Analyserade variabler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Vattenkemi 0–1 m, fullkemi					X	X	X	X	X	X	X	
Vattenkemi 10, 30 och 50 m					X	X	X	X	X	X	X	
Närsalter: (absorbans, pH, alk, konduktivitet)												
Klorofyll a 0–6 m					X	X	X	X	X	X	X	
Växtplankton 0–6 m (Jodkonserverat kvantitativt prov)					X	X	X	X	X	X	X	
Växtplankton håvprov 0-6 m					X	X	X	X	X	X	X	
Spårmetaller : ytprov, 10, 30 o. 50 m djup					X			X				
Vattenkemi i in- o. utflöden: (N, P, pH, alkalinitet, konduktivitet, absorbans)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

RESULTAT

Resultatet redovisas nedan i två avsnitt omfattande först vattenkemiska frågor och sedan en redovisning för resultaten beträffande växtplankton. Resultaten från analys av enskilda prov redovisas i bilagorna 2-6.

VATTENKEMI

Vattenkemin undersöktes i Stora Neden under 1982, 1985 och nu senast 2001. Den sistnämnda genomgången fokuseras på fyra vattenkemiska faktorer, nämligen vattenfärg, surhet, näringstillgång och spårmetallhalter.

Redovisningen är uppdelad i två avsnitt; vattenkvaliteten i sjön och vattenkvaliteten i inflöde och utflöde.

Här redovisas tillståndet under undersökningsåret 2001 tillsammans med jämförelser med tidigare undersökningar i Stora Neden. Dessutom klassificeras tillståndet utgående från Naturvårdsverkets Bedömningsgrunder (Naturvårdsverket, 1999). Vidare jämförs resultaten med de för den närbelägna kalkade Ejdresjön i Västra Götaland samt floderna Viskan och Ätran.

Vattenkemiskt tillstånd 2001

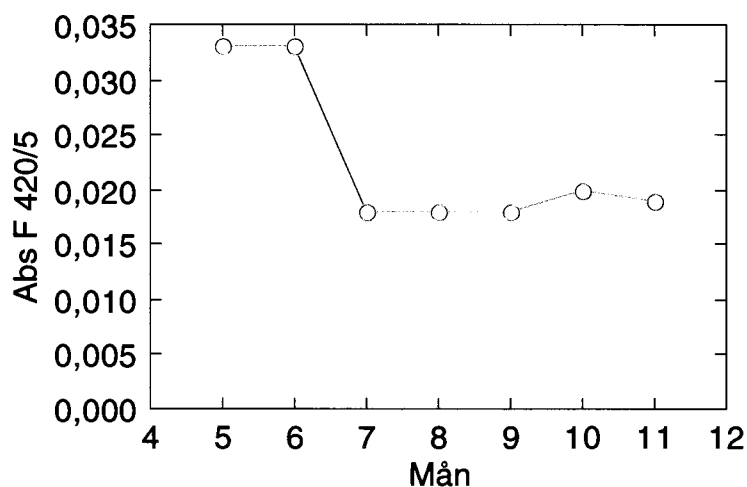
Den vattenkemiska tillståndet undersöktes genom månatliga provtagningar i till- och utflöde, samt provtagningar i en profil i sjön under perioden maj till november (jmf tab. 1). I tabell 2 redovisas en sammanställning av resultaten för några parametrar. Resultaten redovisas för varje provtagning i bilagorna 2 –4.

Tabell 2. Medianvärden för några vattenkemiska parametrar under 2001.

Parameter	Inflöde	Stora Neden	Utflöde
Antal prov	12	72	12
Syrgas mg/l	.	10,6	.
pH	6,44	6,67	6,63
Konduktivitet mS/m	5,71	6,72	6,69
Ca mekv/l	.	0,229	.
Mg mekv/l	.	0,098	.
Na mekv/l	.	0,261	.
K mekv/l	.	0,013	.
Alkalinitet mekv/l	0,07	0,096	0,099
SO ₄ mekv/l	.	0,155	.
Cl mekv/l	.	0,268	.
NH ₄ -N µg/l	54	51	38
NO ₂ +NO ₃ -N µg/l	104	357	338
Total-N µg/l	542	616	580
Organiskt-N µg/l	314	225	188
PO ₄ -P µg/l	1,5	1	1
Övrig -P µg/l	5	1	1,5
Total-P µg/l	7	2	3
Abs OF 420/5	0,220	0,032	0,034
Abs F 420/5	0,163	0,024	0,028
Abs.Diff 420/5	0,057	0,009	0,007
Si mg/l	.	0,7	.
TOC mg/l	.	5,8	.

Ljusklimat

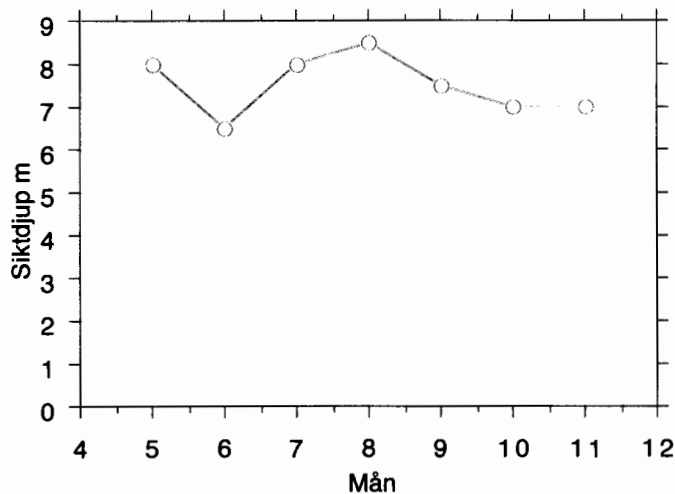
Ljusklimatet i sjön kan beskrivas dels som siktdjup dels som absorbans, dvs. mätning av vattnets "brunhet" i spektrofotometer vid 420 nm. Siktdjupet påverkas både av vattnets egenfärg ("brunhet") och av förekomsten av grumlighet. Grumligheten (turbiditeten) orsakas av partiklar, både oorganiska och organiska, som förs till sjön med tillflöden men är här framför allt alger som produceras i sjön. Eftersom merparten av vattentillförseln som regel sker under senhöst eller vinter brukar vattenfärgen vara högst under våren, vilket också är fallet i Stora Neden (fig. 1). Dessutom bryts tillförda humusämnen ned av UV-strålning och bakterier under sommaren.



Figur 1. Vattenfärg (som absorbans vid 420 nm) i Stora Neden under 2001. Ytvatten.

Mätningar av absorbans på ett ofiltrerat prov ger en bild av partiklarnas betydelse. I Stora Neden är ca 25% av den totala absorbansen (abs OF) i partikulär form; som alltså elimineras vid filtreringen. Orsaken till att så liten andel finns i partikulär form är sjöns långa uppehållstid, som ger möjlighet för sedimentering.

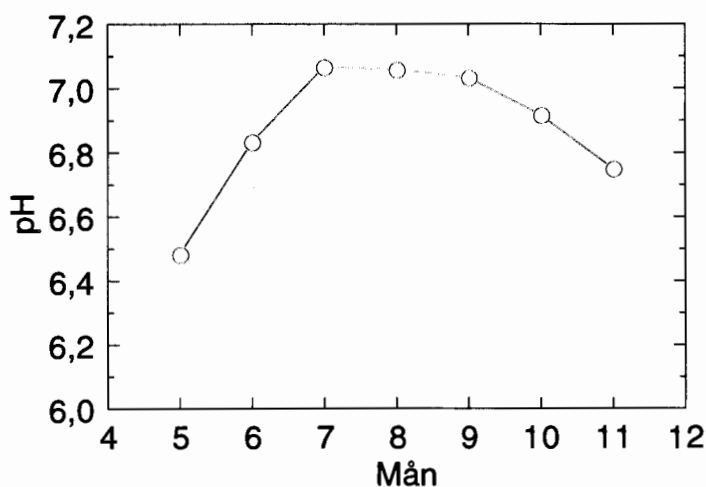
Siktdjupet (fig. 2) varierade under året, med ett lägsta värde i juni (6,5 m) och ett maximum i augusti (8,5 m).



Figur 2. Siktdjup i Stora Neden under 2001.

Surhet

Stora Nedens surhet regleras genom de återkommande kalkningarna. Surheten kan beskrivas med hjälp av pH-värde och alkalinitet (vattnets buffertförmåga). pH-värdet (fig. 3) varierar naturligt över året, som regel med lägsta värdet före islossning och det högsta under sensommaren (augusti). Under vintern bryts organiskt material ned och koldioxid bildas, vilket sänker pH-värdet. Under sommaren tas istället koldioxid upp av fytoplankton och därmed stiger pH-värdet. Säsongsvariationen för alkalinitet är däremot mycket mindre. Förändringar i halten av koldioxid påverkar nämligen inte värdet på alkalinitet.

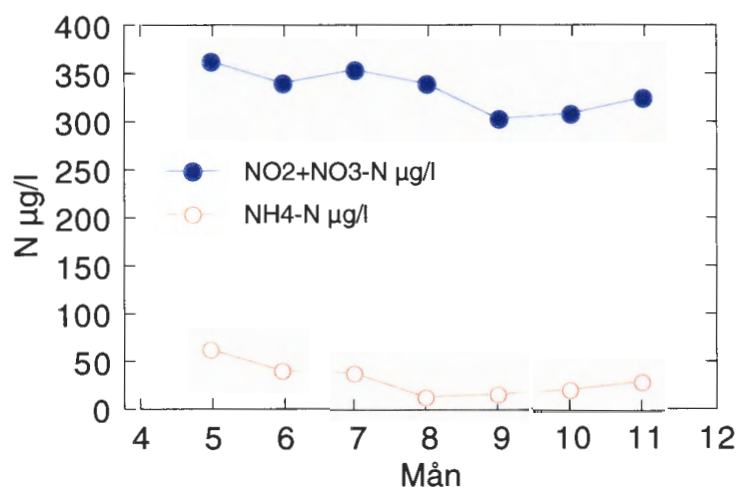


Figur 3. pH-värde i Stora Neden under 2001. Ytvatten.

Näringstillgång

De viktigaste näringsämnen i vatten är fosfor och kväve. Dessa förekommer i oorganisk form som fosfat respektive nitrat och ammonium. Totalhalterna av P och N användes oftast för bedömningar av näringstillgången.

Omfattningen av förändringar hos näringsämneskoncentrationerna under året beror på vattnets produktionsförmåga (trofinivå). Eftersom halten av total-P är mycket lågt ($3 \mu\text{g/l}$) i Stora Neden kan man inte förvänta sig någon större produktion. Algernas upptag av fosfor förändrar inte totalfosforkoncentrationen så länge som algen finns kvar i vattenmassan. Man kan därmed inte här mäta någon årstidsvariation. Nitrat, liksom ammonium, tas upp av alger under vegetationsperioden. Den låga produktiviteten i sjön leder naturligtvis endast till små minskningar i koncentrationerna av oorganiskt kväve (fig. 4).



Figur 4. Koncentration av oorganiskt kväve (nitrat och ammonium) i Stora Neden under 2001. Ytvatten.

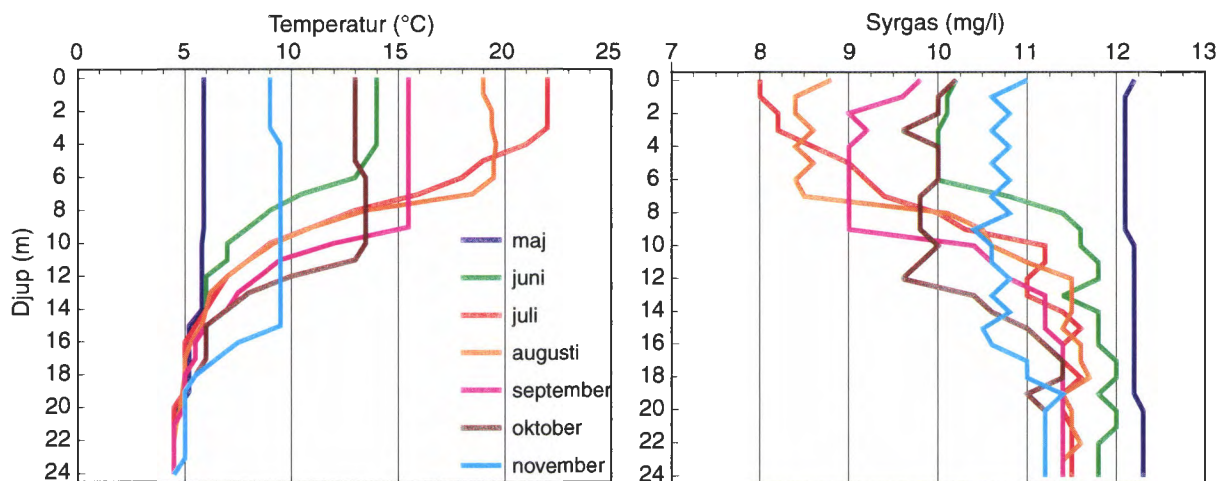
Resultaten visar att algproduktionen i sjön är helt fosforbegränsad.

Förhållanden i djupprofiler

Prover togs i en profil i sjön för att fastställa variationen i djupled för vattenkvaliteten.

Resultaten från dessa mätningar finns i bilaga 3. Förutsättningen för en variation styrs av temperaturskiktningar (fig. 5). Under maj 2001 var sjön omblandad med en vattentemperatur på ca 6°C . I juni har yttemperaturen stigit till 14°C , medan bottenvattnet var mellan 4 och

5°. Fortfarande i november har inte denna skiktning brutits, trots att ytvattentemperaturen sjunkit till 9-10°. Gränsen mellan yt- och bottenvatten (språngskiktet) har då pressats ned till 15 m djup, från att ha legat på 11 m i oktober. Denna termiska skiktning kan sekundärt ge upphov till vattenkemiska skillnader mellan yt- och bottenvatten.



Figur 5. Temperatur och syrgaskoncentration i profiler. Maj–november 2001.

Trots att bottenvattnet avskiljs från ytvattnet och således ingen återluftning kan ske så är syrgashalterna efter skiktningen högre i det kalla bottenvattnet (strax över 11 mg/l) än i det varma ytvattnet (i oktober ca 9,8 mg/l). Sådana förhållanden är typiska för produktionsfattiga, djupa sjöar med låg humushalt.

Den ovan påvisade minskningen i nitratkoncentration i ytvattnet, orsakad av upptag i alger medför när alger dör och sedimenterar, att nitrat kan frigöras i bottenvattnet. Detta leder till stigande nitrathalter i syrerika bottenvatten, såsom i Stora Neden.

Den bakteriella nedbrytningen av organiskt material i bottenvattnet ökar koncentrationen av koldioxid och därmed sjunker pH-värdet. I slutet av skiktningensperioden (oktober-november) har det sjunkit till strax under 6,5 från att ha varit 6,7 när skiktningen just etablerats i maj.

Spårmetaller i vattnet

Under 2001 togs 8 prover i sjön under maj och augusti på vardera fyra djup. Resultaten sammanfattas i tabell 3 och redovisas komplett i bilaga 4. Koncentrationerna av de flesta metallerna är klart högre i maj än i augusti. Då är även halterna av organiskt material såväl

löst som partikulärt större. De högre halterna i maj kan alltså tänkas komma från tillflöden under våren. Under sommaren, med mindre vattenflöde sedimenterar metallerna bundna till oorganiska och organiska partiklar.

Tabell 3. Medelvärden för metallkoncentrationer och några andra parametrar i prover (profil 0,5, 10, 30 och 50 m djup) från Stora Neden tagna i maj och augusti 2001.

Parameter	Månad	
	Maj	Augusti
pH	6,58	6,75
Konduktivitet mS/m	6,73	6,73
Alkalinitet mekv/l	0,1	0,099
Abs OF 420/5	0,043	0,031
Abs F 420/5	0,032	0,022
Abs.Diff 420/5	0,011	0,009
TOC mg/l	7,8	3,6
Fe µg/l	80	37
Mn µg/l	10	5,7
Cu µg/l	4,2	0,89
Zn µg/l	13	5,4
Al_ICP µg/l	51	40
Cd µg/l	0,05	0,03
Pb µg/l	1,99	1,22
Cr µg/l	0,49	0,33
Ni µg/l	0,84	0,56
Co µg/l	0,10	0,09
As µg/l	0,25	0,2
V µg/l	0,22	0,15

Budgetberäkningar

Budgetberäkningar har inte utförts på grund av brist på information, främst beträffande vattenföring. Beträffande närsalter kan vissa uppskattningar göras, medan metoder för organiska ämnen (vattenfärg) inte fungerar tillfredsställande.

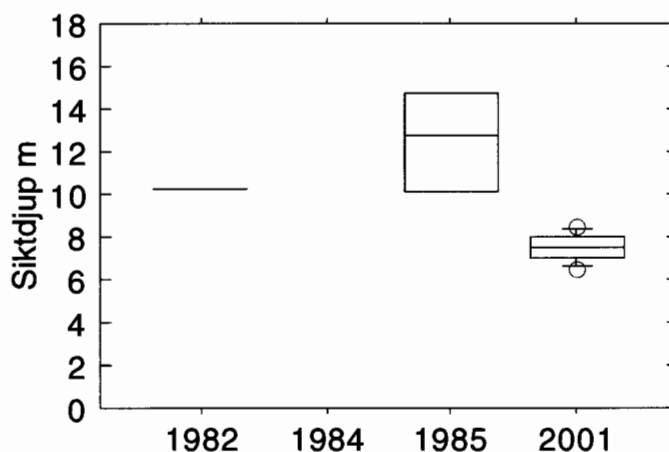
Jämförelser med tidigare undersökningar i Stora Neden

Vattenkemiska undersökningar har tidigare gjorts i Stora Neden 1982, 1984, 1985 samt nu 2001. Detta material ger möjligheter att jämföra dagens förhållande med de som förekom

tidigare i sjön. Vid riksinventeringar 1972, 1974, 1990 och 1995 togs dessutom stickprov i sjöns ytvatten. Nedan görs en sådan bedömning uppdelad på några vattenkvalitetsområden.

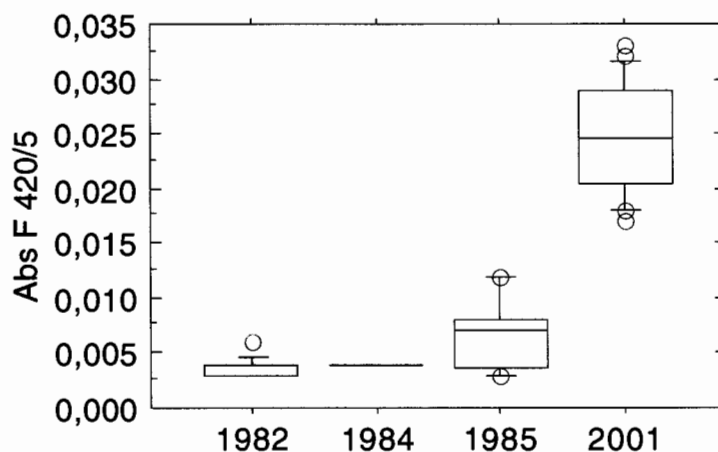
Ljusklimat

Ljusklimatet kan beskrivas både som siktdjup, mätt direkt i sjön, och som vattenfärg (absorbans) bestämt i laboratorium. Mätningarna av siktdjupet under de olika åren antyder att det är ovanligt lågt under 2001 (fig. 6). Vid 1972 års riksinventering uppmättes ett siktdjup augusti på 10,5 m.



Figur 6. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Siktdjup.

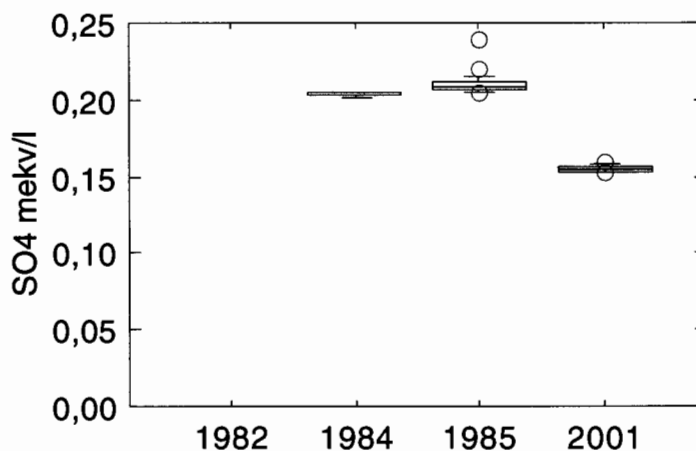
Av fig. 7 framgår klart att vattenfärgen (mätt som absorbans på ett filtrerat prov) ökat med tiden. Redan 1985 avviker värdena från förhållandena tidigare och under 2001 är de ungefär fem gånger högre.



Figur 7. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Absorbans (filtrerat).

Surhet

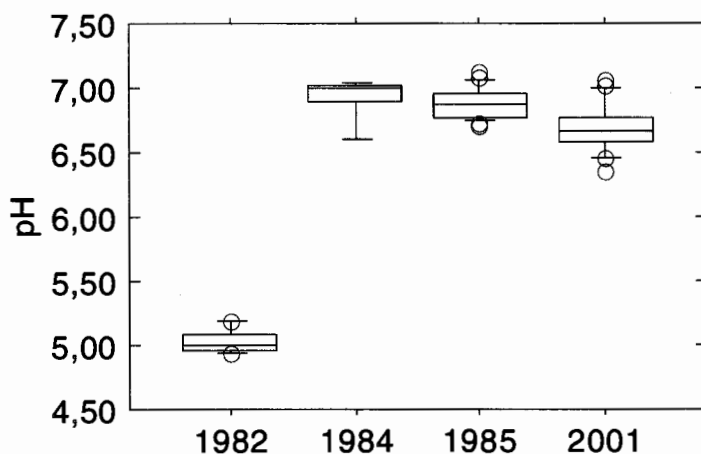
I framför allt sydvästra Sverige har deposition av svavel lett till försurning av många sjöar och vattendrag. Redan under 1970-talet började dock depositionen att minska, men först under 1990-talet skedde mer påtagliga förändringar. Halten 1975 i Stora Neden var 0,24 mekv/l. Som en följd av denna allmänna minskning har också sulfathalterna här sjunkit (fig. 8).



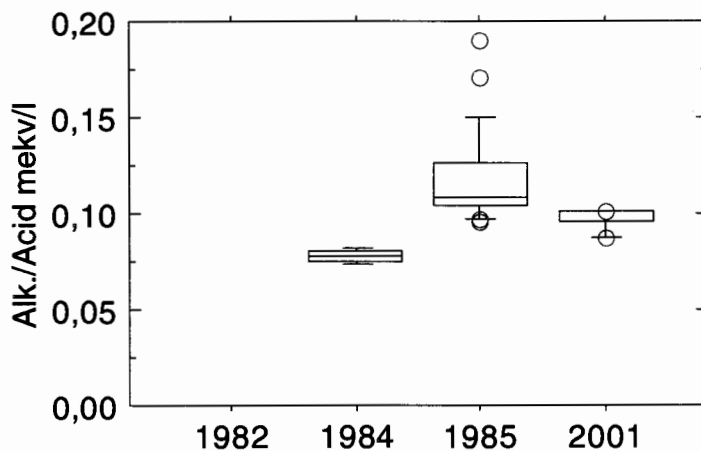
Figur 8. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Sulfat.

1982 hade Stora Neden ännu inte kalkats, trots att den då var försurad. pH-värdet bestämdes också i samband med riksinventeringarna 1972 och 1974 till 5,0. Sjön var alltså redan då försurad. Efter kalkningen har pH-värdet stigit till över 6,5 (fig. 9). Alkaliniteten var 1982 noll, dvs. vattnet hade egentligen en aciditet som dock inte bestämdes. Sedan kalkningen

påbörjats har värdet legat runt 0,1 mekv/l (fig. 10). Förhållandena motsvarar således väl de som ges i Naturvårdsverkets Allmänna råd för kalkning (Naturvårdsverket 1988).

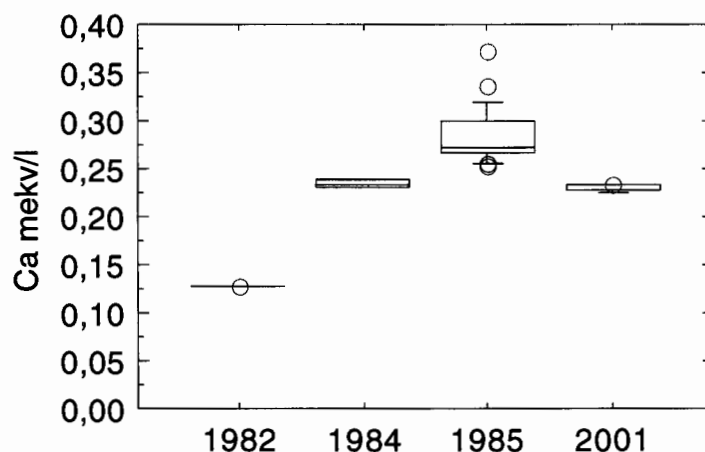


Figur 9. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. pH-värde.



Figur 10. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Alkalinitet.

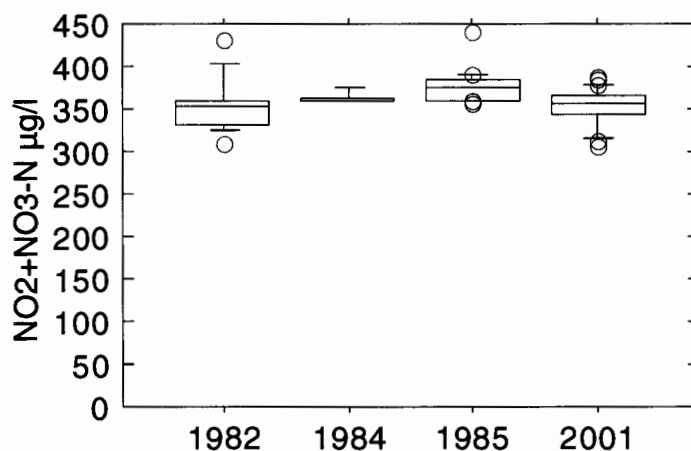
Före kalkningen var kalciumkoncentrationen i sjön ca 0,12 mekv/l och den steg efter kalkningsåtgärder till ca 0,25. I och med den minskande syradepositionen kan även doseringen av kalk minskas vilket framgår av fig. 11.



Figur 11. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Kalcium.

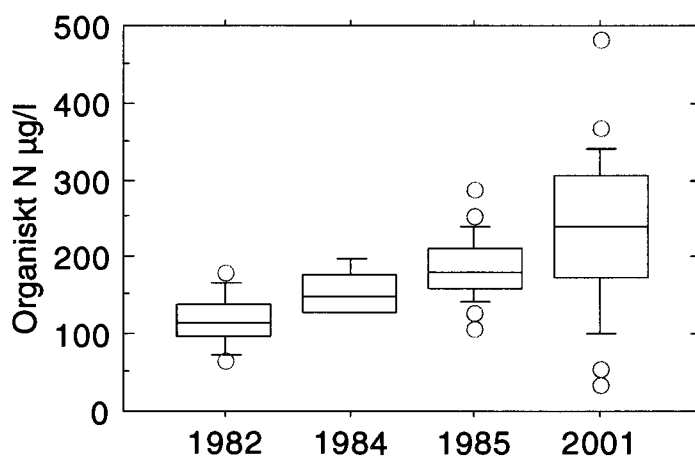
Näringstillgång

Näringstillgången i Stora Neden beskrivs med avseende på nitrat och total-P. För nitrat visar fig. 13 att några påtagliga skillnader inte finns mellan de fyra undersökningsåren. Däremot har halten av organiskt bundet kväve ökat drastiskt under hela perioden (figur 14).



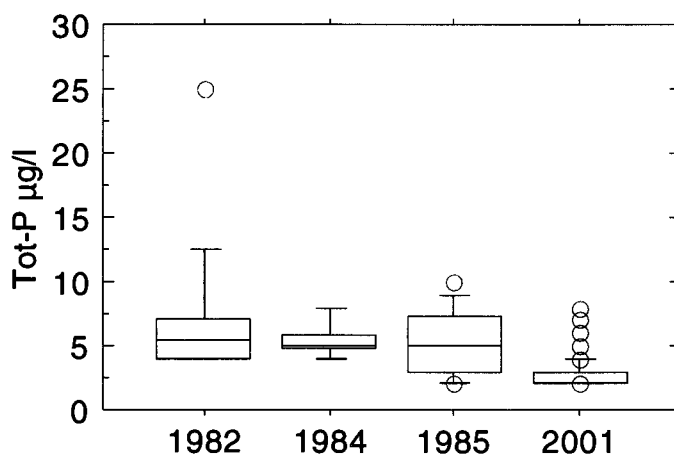
Figur 12. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Summa nitrat- och nitrit-N.

Vid riksinventeringarna 1972 och 1974 var nitrat-N halterna lägre; 280 respektive 260 $\mu\text{g/l}$. Detta är sannolikt en effekt av den ökade depositionen av kväveföreningar sedan dess. På samma sätt som vattenfärgen (absorbansen) ökat sedan 1982 har även halterna av organiskt bundet kväve ökat (fig. 14).



Figur 13. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Organiskt N.

Som ovan nämnts är fosforhalten den mest begränsande för algproduktionen i sjön. Resultaten antyder en successiv minskning under åren (fig. 15).



Figur 14. Jämförelse mellan olika undersökningar av Stora Neden. Total-P.

De två stickprovena från augusti 1972 och april 1974 hade totalfosforkoncentrationerna 5 respektive 2 µg/l. Hur förändringar i sjön mer långsiktigt skett är alltså oklart, även om minskningar under de två senaste decennierna är påtagliga.

Spårmetaller i vattnet

Spårmetaller bestämdes med samma teknik som vid riksinventeringarna 1995 och 2000 (för Stora Neden i januari 2001) och värdena är därmed väl jämförbara. Resultaten för de två provtagningarna 2001 skiljer sig, med klart högre halter för majproverna (tab. 4).

Tabell 4. Metallkoncentrationer för riksinventeringarna 1995 och 2000 samt medelvärden för maj och augusti 2001.

År	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	As	V
1995	13	2	0.3	2.2	0.019	0.07	0.25	0.02	0.377	0.19	0.14
2000	96	33	0.4	4.3	0.022	0.08	0.34	0.53	0.137	0.22	0.14
2001	58	8	2,5	9	0,04	1,6	0,41	0,7	0,10	0,23	0,19

Koncentrationerna av de flesta metaller är ungefär lika vid de tre undersökningarna. Påtagliga avvikelser gäller för koppar, zink, kadmium och bly. Orsakerna till detta är svår att förklara.

Kvalitetsbedömning enligt Bedömningsgrunder

I Bedömningsgrunder för miljökvalitet (Naturvårdsverket 1999) presenteras klassningar av tillstånd och påverkan för näringsämnen, syretillstånd och syretärande ämnen (organiskt material), ljusförhållanden, surhet och metaller.

Tillståndsklassningen skall "återspegla effekter i olika delar av ekosystemet" och är indelad i fem klasser. Dessa är antingen "effektrelaterade" eller "statistiskt fördelade". Klass 1 innebär att parametern inte orsakar någon känd negativ effekt på vattnet, medan klass 5 anger att en tydlig påverkan sker. En ungefärlig gräns mellan "opåverkade" och "påverkade" vatten är klassgränsen mellan 2 och 3.

Näringstillståndet i sjöar klassas utgående från medelvärden för sommaren (maj–oktober) för halterna av totalfosfor och totalkväve. För Stora Neden innebär detta klass 1 (låga halter) när total-P används, medan den klassas som måttligt höga halter (2) med avseende på total-N. Sjön karakteriseras av ett stort kväveöverskott relativt till total-P (N/P kvot). Lägsta värdet är 94 och som medeltal för sommaren så högt som 250. Det innebär att sjön har ett kväveöverskott dvs. klass 1.

Stora Neden har ett syrerikt tillstånd (klass 1). Förekomsten av organiskt material klassas som låg halt (klass 2). Av de undersökta objekten vid riksinventeringen hösten 2000 klassas 37% i klasserna 1 och 2 med avseende på organiskt material.

Ljusförhållandena i sjöar kan klassas utgående från vattenfärgen och siktdjupet. Mätningarna av vattenfärg innebär klass 1 dvs. ej "eller obetydligt färgat vatten".

Eftersom Stora Neden och delar av dess tillrinningsområde är kalkat har en klassning av surhetstillståndet mindre väsentligt. Utifrån pH-värdet klassas tillståndet som nära neutralt (klass 1) och när alkalinitet används som svag buffertförmåga (klass 2).

För flera av de analyserade metallerna i vatten kan klassningar av tillståndet göras. Resultatet framgår av nedanstående sammanställning.

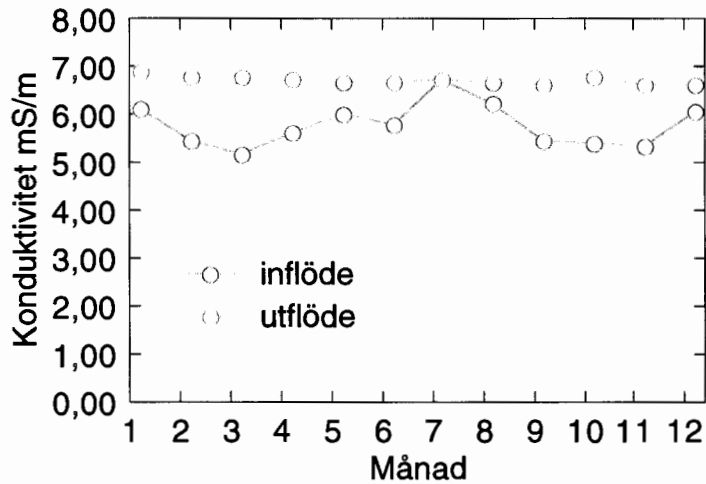
Metall	Cd	Pb	Cr	As	Cu	Ni	Zn
Klass	2	3	2	1	2	2	2

Av den framgår att halterna för alla metaller utom bly klassas som låga. Bly faller däremot i klass 3 dvs. måttligt höga halter. Om det jämförvärde för bly på 0,24 $\mu\text{g/l}$ som anges i Bedömningsgrunder för sjöar i södra Sverige används kan avvikelserna beräknas till 5 gånger, vilket klassas som en liten avvikelse från jämförvärdet.

Vattenkvaliteten i inlopp och utlopp

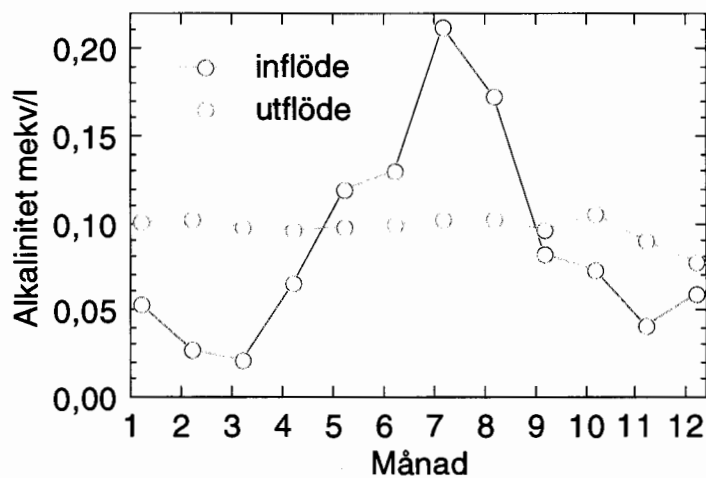
Ett inlopp till och utloppet ur Stora Neden provtogs månatligen under 2001 och analyserades med avseende på ett begränsat antal parametrar (se bilaga 5).

Som regel varierar de vattenkemiska förhållandena mycket mer i framför allt mindre tillflöden än i utloppet eftersom sjön dämpar skillnader. Det framgår redan för konduktivitetens värdena (fig. 15). Den högre konduktiviteten i sjön kan bero på sjökalkning.



Figur 15. Konduktivitet i Stora Nedens in- och utlopp under 2001.

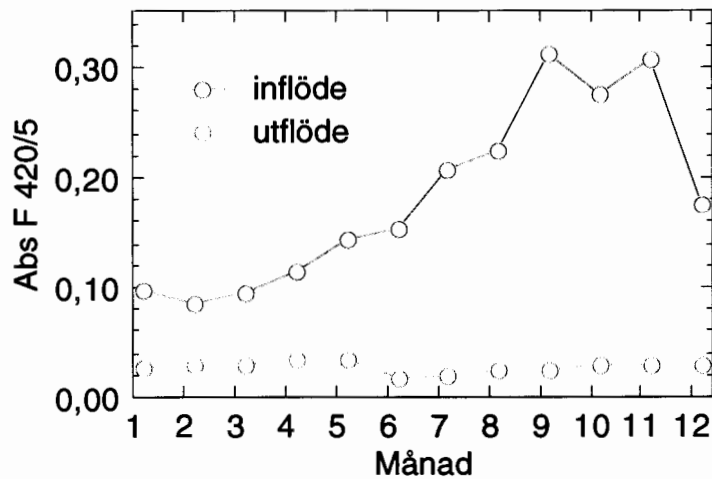
En mer påtaglig variation finns för alkaliniteten i inloppets vatten, som inte bara påverkas av utspädning vid snösmältning eller regn utan även av syratillförsel (både syradeposition och naturliga humussyror) (fig. 16). Även i detta fall framgår sjöns dämpande egenskaper tack vare en relativt lång hydraulisk uppehållstid.



Figur 16. Alkalinitet i Stora Nedens in- och utlopp under 2001.

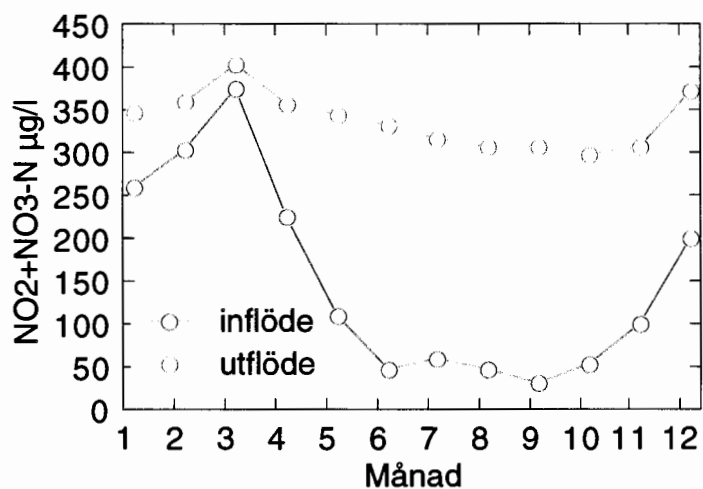
Medan koncentrationen av alkalinitet i inloppet endast under kortare perioder är högre än det i utloppet så är absorbansen i inloppet ständigt högre än det i utloppet (fig. 17). De höga

värdena under september till december sammanfaller med de relativt låga halterna av alkalinitet. Tillförda bruna humussyror minskar alkaliniteten, men vattnets ursprung (nederbördsandel kontra grundvatten) har också betydelse. Det organiska materialet bryts ned under uppehållet i sjön och därmed minskar halterna i sjöns utlopp.



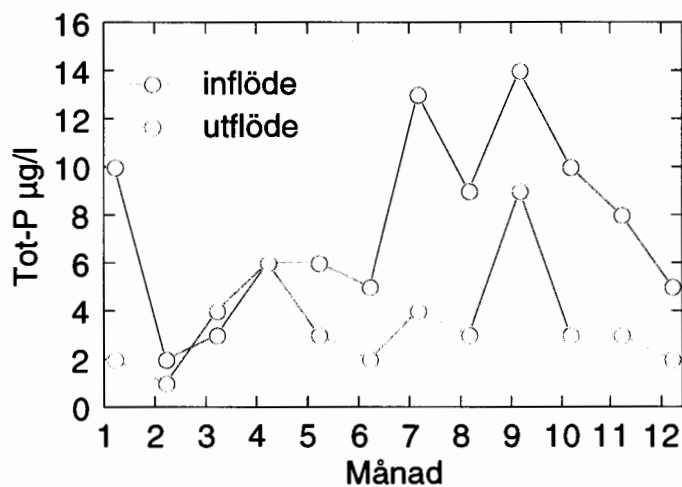
Figur 17. Vattenfärg (absorbans filtrerat prov) i Stora Nedens in- och utlopp under 2001.

Nitrathalterna i tillflödet är däremot avsevärt lägre i inloppet än i utloppet. Inflödets årtidsvariation följer en förväntad variation, med höga halter under vinter-vår före vegetationsperioden. Därefter tar landväxter upp den nitrat som kommer med nederbörden och finns i ytligt grundvatten. De konstant högre halterna i sjön (utloppet) måste bero på en stor deposition av nitrat direkt på sjöytan och dessutom ett lågt upptag i sjön (fig. 18).



Figur 18. Nitratkvävehalt ($\mu\text{g/l}$) i Stora Nedens in- och utlopp under 2001.

Eftersom halterna av total-P är låga är variationen under året något oklar. De högsta halterna i tillloppet tycks finnas under lågvattensperioder. Så gott som utan undantag är inflödets halter högre än de i utloppet och dessutom med en större amplitud (fig. 19). De lägre halterna i sjöns utlopp visar på sjöns naturliga funktion som fälla.



Figur 19. Total-fosforhalt ($\mu\text{g/l}$) i Stora Nedens in- och utlopp under 2001.

JÄMFÖRELSE MED REFERENSOBJEKT OCH DISKUSSION OM ORSAKS-SAMBAND

Resultaten för den kalkade Stora Neden kan jämföras med de undersökningar av kalkade sjöar, som görs inom det så kallade IKEU-programmet. Inom detta undersöks 13 sjöar, belägna över större delen av Sverige. Dessutom kan de 13 sjöar som undersöks intensivt inom Naturvårdsverkets projekt tidsseriesjöar användas för jämförelser. Bägge dessa grupper av sjöar är dock väsentligt mindre till ytan än Stora Neden. Medianvärden för dessa redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Medianvärden för några vattenkemiska parametrar under 2001. Data för Stora Neden och för 13 kalkade sjöar (IKEU) och 13 icke kalkade tidsseriesjöar (KRF special).

Parameter	Stora Neden	IKEU (13)	KRFspecial (13)
Siktdjup m	7,4	3,0	3,0
Konduktivitet mS/m	6,72	4,21	4,59
pH	6,67	6,41	6,01
Ca mekv/l	0,229	0,234	0,148
Mg mekv/l	0,098	0,062	0,073
Alkalinitet mekv/l	0,096	0,093	0,043
Cl mekv/l	0,268	0,095	0,095
SO ₄ mekv/l	0,155	0,0935	0,109
Si mg/l	0,7	1,7	1,7
Abs F 420/5	0,025	0,175	0,129
TOC mg/l	5,8	7,8	7,7
NH ₄ -N µg/l	51	22	23
NO ₂ +NO ₃ -N µg/l	357	71	57
Total-N µg/l	616	392	396
Organiskt-N µg/l	225	252	281
Total-P µg/l	2	7	9
AL_ICP µg/l	46	.	100

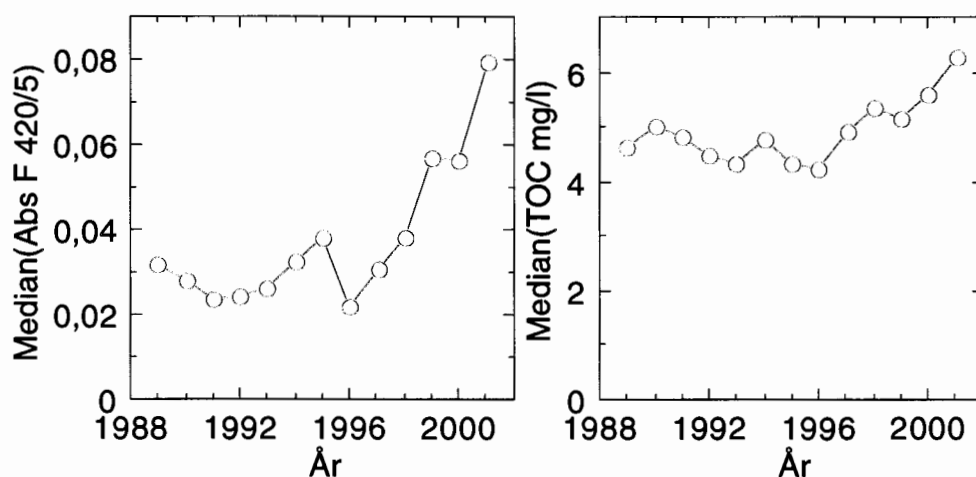
* Bestämningen gjord med fotometrisk metod (svensk standard).

Stora Neden har en något högre salthalt än jämförelsesjöarna, vilket beror på närheten till havet som ger en nederbörd med rikligt med havssalter. Detta framgår klart av den högre kloridhalten och i viss mån av magnesiumhalten. I jämförelse med IKEU-sjöarna är

kalkningen likvärdig. Även om pH-värdet är något högre så är både kalciumhalten och alkaliniteten mycket lik de för IKEU-sjöarna.

Måtten på humusämnen (abs filtrerat och TOC) visar att Stora Neden är klarare än både de kalkade och de okalkade referenssjöarna. Detta beror sannolikt på en längre uppehållstid för vatten i Stora Neden än i de betydligt mindre referenssjöarna.

Troligen av samma skäl är halten av total-P betydligt lägre i Stora Neden än i referenssjöarna. Däremot är både nitrat och ammoniumhalterna högre. En orsak till detta är den högre depositionen av kväveföreningar på Västkusten, en annan är att den låga fosforhalten begränsar den biologiska aktivitet i sjön. Det finns alltså ett överskott av kväve. Ejdgesjön (653737 125017) som är en IKEU-sjö visar en ökning av absorbans (vattenfärg) liknande den för Stora Neden, och även en ökning av TOC (fig. 20).



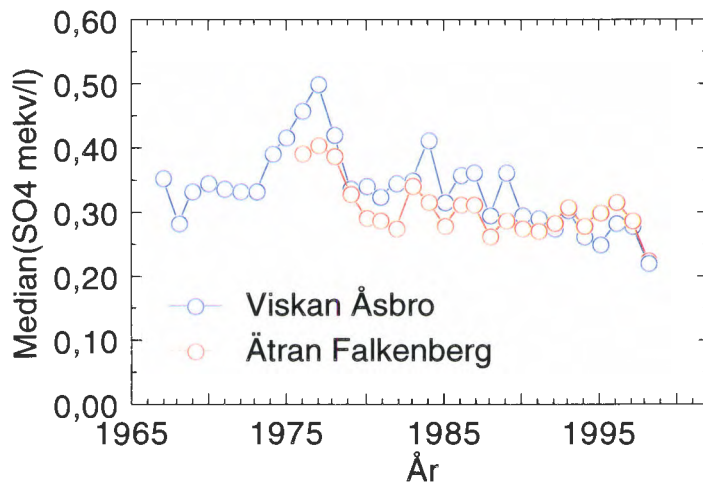
Figur 20. Förändringar med tiden i den kalkade Ejdgesjön (653737 125017)). Absorbans och TOC.

För Ejdgesjön finns ingen trend för nitrat, möjligen en svag minskning för total-P.

Kloridhalterna i Ejdgesjön har minskat under perioden, med ett maximum omkring 1998 och ett lågt värde 2001. Även i Stora Neden förekom den lägsta halten år 2001, men den högsta mättes 1985. I bägge fallen är orsaken havssalter transporterade med kraftigare regn.

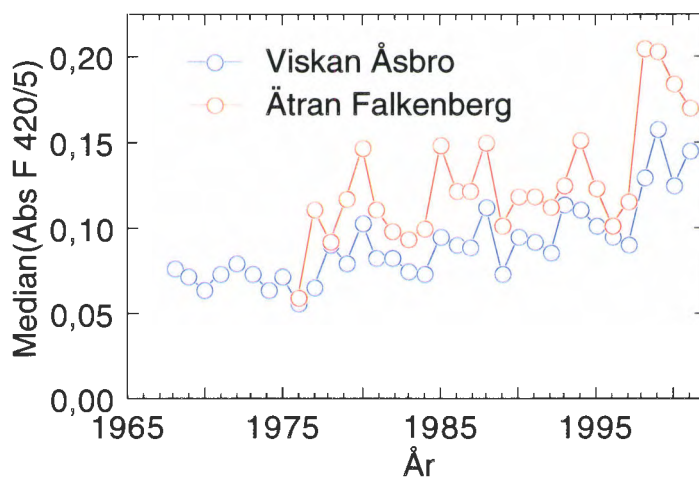
Förändringar i Viskan och Ätran

Stora Neden avvattnas genom Himleån mellan Viskan och Ätran. Dessa floders vattenkemi har följts med månatliga provtagningar sedan 1966 respektive 1976. För att få en något mer storskalig bild av förändringar i både tid och rum redovisas några resultat nedan. Förändringar i surhet är synliga som minskningar i sulfatkoncentrationer (fig. 21), men i övrigt har den omfattande kalkningen påverkat vattendragets kemi, bl.a. genom stigande kalciumhalter.



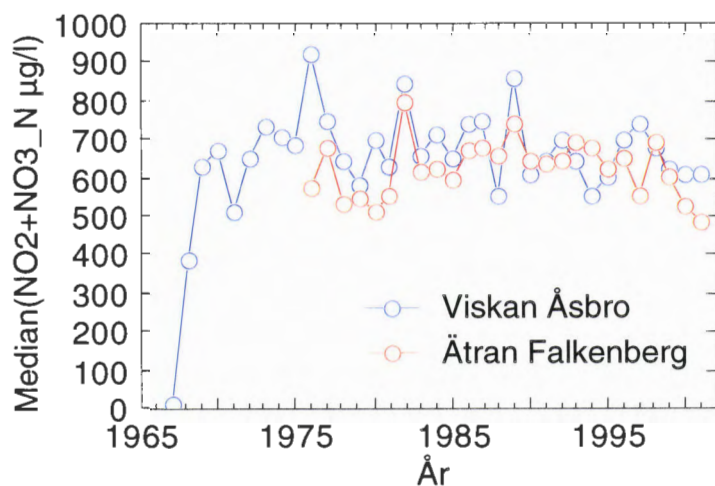
Figur 21. Förändringar med tiden i Ätran och Viskan. Sulfat.

Liksom för Stora Neden har absorptionsen ökat med tiden. Den lägre tidsserien antyder dock att ett minimum inträffade i början av 1970-talet (fig. 22). Sedan dess har dock färgvärdena stigit till de högst uppmätta under perioden.



Figur 22. Förändringar med tiden i Ätran och Viskan. Absorbans.

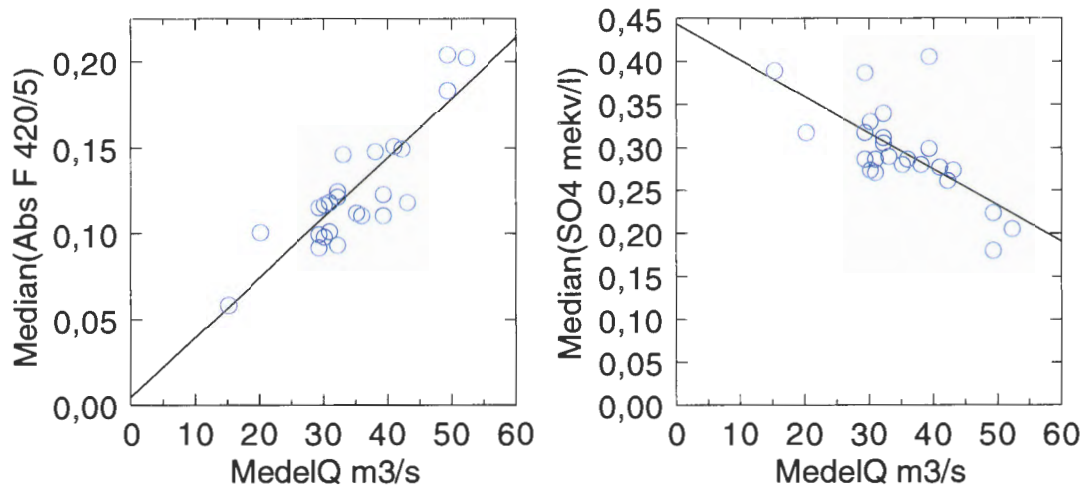
I Ätran har halterna av total-P minskat med åren. Det är sannolikt att det beror på åtgärder vid reningsverk i området. Däremot har nitrathalterna ökat sedan mätningarnas början, men koncentrationerna har förblivit relativt konstanta sedan början av 1980-talet (fig. 23). Förhållandet liknar alltså väl det för Stora Neden, där ingen förändring observerades, samtidigt är koncentrationerna påtagligt lika vid de bägge mätpunkterna.



Figur 23. Förändringar med tiden i Ätran Viskan. Nitrat-N.

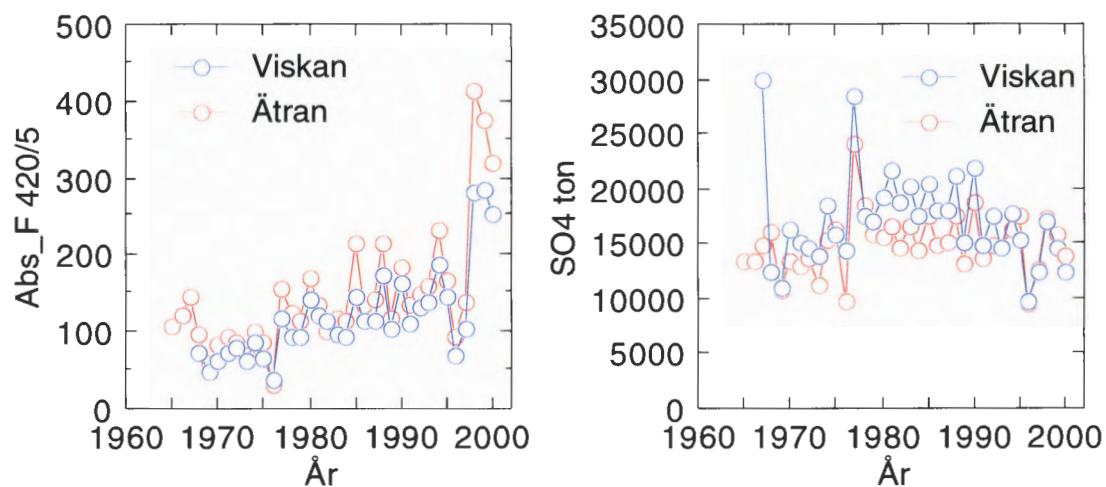
Orsakssammanhang

Ökningen i vattenfärg kan förklaras av ett stigande grundvattenstånd som medför att nederbördsvattnet rinner ytligare i marken, där det finns större mängder av organiskt material (humusämnen). Samtidigt kan en mindre del av markens samlade förråd av sulfat lakas ut och sulfatkoncentrationerna i avrinnande vatten blir då lägre (fig. 24).



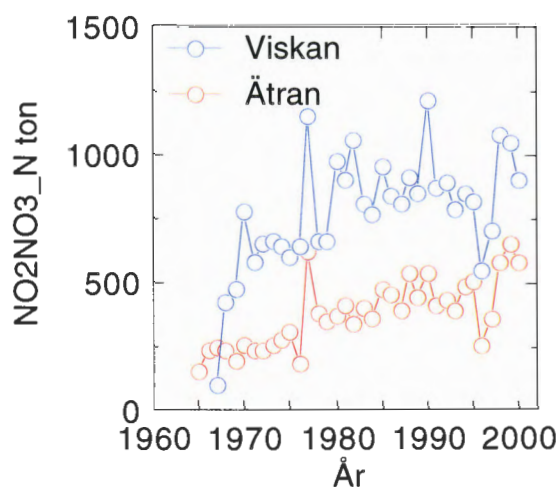
Figur 24. Förhållandena mellan absorbans och sulfatkoncentration (årsmedianer) och årmedelvattenföring för Ätran.

Eftersom det är ett positivt samband mellan absorbans och vattenföring har naturligtvis transporten av "vattenfärg" ökat avsevärt, nästan fyra gånger högre de senaste tre åren jämfört med 1970-talets början. Transporten av sulfat har däremot i stort varit konstant under hela undersökningsperioden (fig. 25).



Figur 25. Årstransport av "absorbans" och sulfat för Viskan och Ätran.

Transporten av nitrat har ökat under hela perioden i bägge vattendragen (fig. 26). De låga transporterna under 1996 orsakades av mycket låga vattenföringar detta år.



Figur 26. Årstransport av nitrat-N för Viskan och Ätran.

Den höga nitrathalten är en effekt av höga koncentrationer i nederbörden. Sker depositionen över land tas nitraten upp av vegetationen och halterna i sjön blir relativt låga såsom fallet är för Ejdgesjön med endast 6% sjöyta. Stora Neden med en så stor sjöprocent som 24% kommer en ovanligt stor andel av depositionen att falla direkt på vattenytan. Naturligtvis uteblir för denna andel allt upptag av nitrat i landvegetation och halterna i sjön blir höga. Vättern har liknande förhållanden; andelen sjöyta är 29% och nitratkoncentrationen ungefär 450 $\mu\text{g/l}$.

VÄXTPLANKTON

Artrikedom

Antalet registrerade taxa (arter eller andra enheter där artidentifikation inte gått att göra) har varit 69 från de utförda provtagningarna (tab. 1). I medeltal fanns 27 arter per prov/månad med en variationsvidd (maximum–minimum) av 31–24. En viss ökning av artantalet kunde noteras under perioder med omrörd vattenmassa men någon säkerställd skillnad mellan månaderna torde inte vara möjlig, men hänsyn till den använda inventeringsmetoden, som inte har kompletterats med en tidskrävande analys av håvprov. Den i Stora Neden använda

inventeringsmetoden överensstämmer dock med den som används i det nationella monitoringprogrammet av referenssjöar vilket gör jämförande studier möjliga.

Guldalger som här helt präglas av små ($<20 \mu\text{m}$) frisimmande gisselförsedda arter är den artrikaste gruppen med 26 % av det totala artantalet. Därefter kommer grönalger där flertalet av arterna i sjön lever i koloniform med 4–8 celler. Under större delen av tillväxtsäsongen finns kolonier av mycket småcelliga ($\leq 1 \mu\text{m}$) cyanobakterier som oftast har ett cellantal av 10–30 och i undantagsfall upp till 100 celler. Iögonfallande bland de större cyanobakterierna är *Chroococcus minutus*, fig. 27, som ofta påträffas i näringsfattiga vatten ända upp i fjällregionen (Skuja 1964).

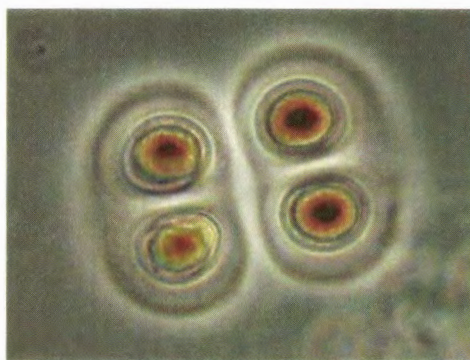


Fig. 27 *Chroococcus minutus* har den största biovolymen per liter av förekommande cyanobakterier i Stora Neden 2001 och når sitt maximum i september.

Ett mindre antal kiselalgsarter finns också i Stora Neden och släktet *Cyclotella* är särskilt vanlig och finns hela undersökningsperioden. Påtagligt sällsynta är arter bland okalgerna (desmidieer), en grupp som annars förekommer i humösa sjöar av näringsfattig karaktär och med låg buffertkapacitet.

Det totala artantalet i Stora Neden indikerar artfattigdom om än inte extrem artfattigdom. Vanligtvis bör man förvänta sig att hitta 40–55 taxa i ett prov i södra delen av vårt land. En extremt utarmad, sur sjö har ett artantal som understiger 20. I en skala från 0–5 som föreslagits för System Aqua (ett naturvärderingssystem för vatten) där 5 karakteriserar stor

mångfald skulle Stora Neden ges en 2:a och betraktas som artfattig vad gäller växtplankton (Naturvårdsverket 2001).

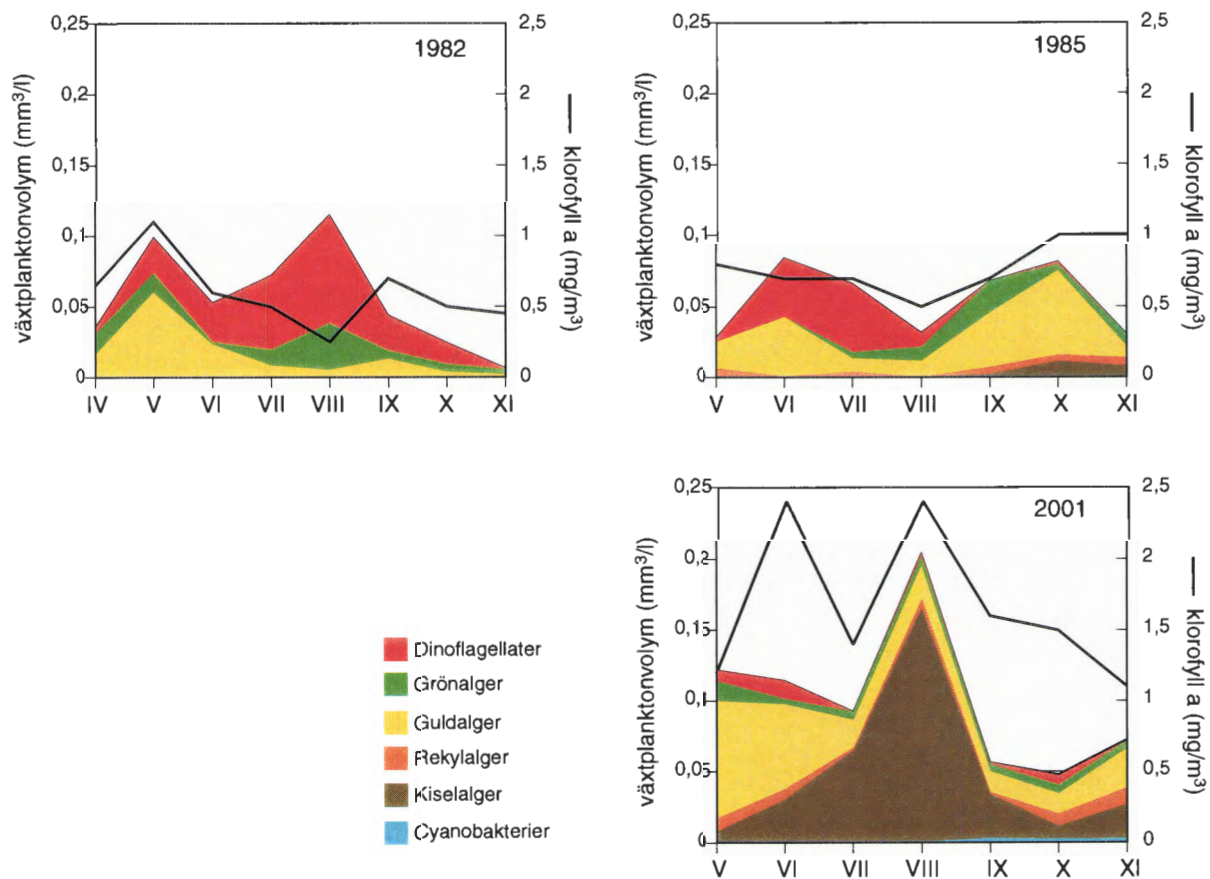
Bland de påträffade arterna finns inte många som skulle ge upphov till osmak eller lukt på vattnet. Även om guldalger och kiselalger avger kolväteföreningar och fettsyror som kan ge besvärande smak/lukt på ett dricksvatten är mängderna av dessa alger så små i Stora Neden att de inte torde ge några problem.

Biomassa och diskussion om planktonsamhällets struktur

Biomassan planktiska alger är mycket liten i Stora Neden mätt både som halten klorofyll a och totalvolymen plankton – en bedömning som görs i enlighet med Bedömningsgrunder för Miljö kvalitet – Sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket, 1999). Biomassan har två utvecklingstoppar under året, en mindre på våren (maj) och en högre på sensommaren (augusti). På våren dominerar guldalger och på sensommaren kiselalger, fig. 28, tabell 6 samt bilaga 6.

Tabell 6. Biovolym totalt och per grupp samt andelar av totalvolymen av planktiska alger i Stora Neden 2001. Resultaten avser epilimnionnivån 0–6 m. Värden < 0,0001 ej utskrivna,

Datum	Totalvolym	Cyano-bakt.	Crypt.	Dinofl.	Chrys.	Bacill.	Xanth.	Chlor.	Zygn.
Maj 7	0,122		0,009 7%	0,008 6%	0,083 68%	0,008 7%		0,014 12%	0,0001 0%
Juni 5	0,115		0,007 6%	0,013 11%	0,060 52%	0,031 27%		0,004 3%	
Juli 10	0,093	0,0001 0%	0,001 1%	0,0001 0%	0,020 22%	0,065 70%		0,005 6%	
Aug. 7	0,205	0,001 0%	0,006 3%	0,003 1%	0,024 12%	0,165 81%		0,006 3%	0,0001 0%
Sept. 11	0,057	0,003 5%	0,001 2%	0,002 3%	0,015 27%	0,031 55%		0,005 8%	
Okt. 9	0,048	0,003 5%	0,008 17%	0,007 15%	0,015 30%	0,009 19%	0,001 2%	0,006 12%	0,0001 0%
Nov. 5	0,073	0,003 4%	0,011 15%	0,0001 0%	0,028 39%	0,024 33%		0,005 7%	0,001 1%



Figur 28. Förändring i växtplanktons biomassa (mätt som totalvolym $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$ och koncentrationen klorofyll a, mg m^{-3}), efter genomförda kalkningsinsatser i Stora Neden. 1982 är ett basår innan kalkning, 1985 säsongen efter första kalkningen samt 2001 efter ytterligare 3 kalkningstillfällen.

Bedömningsgrundernas värdering av vårutvecklande kiselalger är inte relevant för Stora Neden. De fåtaliga cyanobakterier som finns i sjön utgör inte heller någon grund för värdering.

Tabell 7. Medelbiomassor av växtplankton samt min.-max.-värden under växtsäsongen i Stora Neden 1982, 1985, 1995 och 2001.

Period	Klorofyll a, $\mu\text{g l}^{-1}$ säsongmedelvärde	Totalvolym växtplankton $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$, säsongmedelvärde
1982 (n=16)	0,59	0,053
min-max	0,2–1,3	0,0005–0,12
1985 (n=10)	0,76	0,057
min-max	0,4–1	0,021–0,095
1995 (n=4)*	-	0,285
min-max		0,21–0,36
2001 (n=7)	1,66	0,102
min-max	1,1–2,4	0,048–0,205

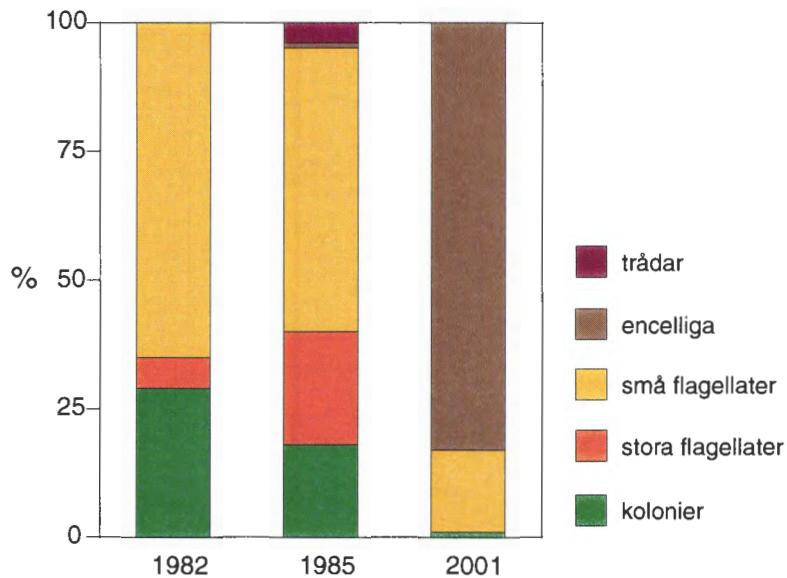
*undersökningen avser endast juni, juli, september och oktober på provplats nära vattenverket.

År 2001 hade guldalger (Chrysophyceae), kiselalger (Bacillariophyceae) och grönalger (Chlorophyta) den största andelen av totalvolymen. Bland guldalgerna dominerade olika typer av små flagellater, bland kiselalgerna släktet *Cyclotella* med ett par arter och bland grönalgerna släktet *Monoraphidium* med arterna *M. dybowskii* och *M. griffithii*.

Klorofyllhalten i algerna (kvoten klorofyll/totalvolym) varierade mellan 1–2% av våtvikten, vilket är högt. I sjöar med mycket låga biomassor kan det beräknade klorofyllinnehållet i algerna bli orealistiskt stort vilket beror på överskattningar/underskattningar av klorofyllhalten eller totalvolymen växtplankton (Tolstoy 1979). Alger med stor andel klorofyll brukar emellertid förekomma i brunfärgade vatten för att på så sätt kompensera för ett sämre ljusklimat. Som ett generellt medelvärde av klorofyllhalter i växtplankton anges vanligen 0,5% av våtvikten men stora variationer föreligger, som beror bl.a. av förekommande algsammansättning, algernas tillväxtstadium och variationer i näringsstatus.

Det är i huvudsak två livsformsmönster som präglar planktonfloran 2001: små frisimmande flagellater och encelliga arter som inte är utrustade med rörelseorgan, fig. 29. Den här typen av livsformsmönster är vanlig i mycket näringsfattiga sjöar som inte är starkt försurade (Andersson & Willén 1999). En försurad sjö har också en majoritet av alger som

karaktiseras av frisimmande flagellater, men inslaget av större former ($> 20\mu\text{m}$) är mer uttalad. Denna typ av alger fanns i Stora Neden 1982 (Willén 1983).



Figur 29. Livsformer av planktiska alger i Stora Neden, augusti 1982, 1985 och 2001.

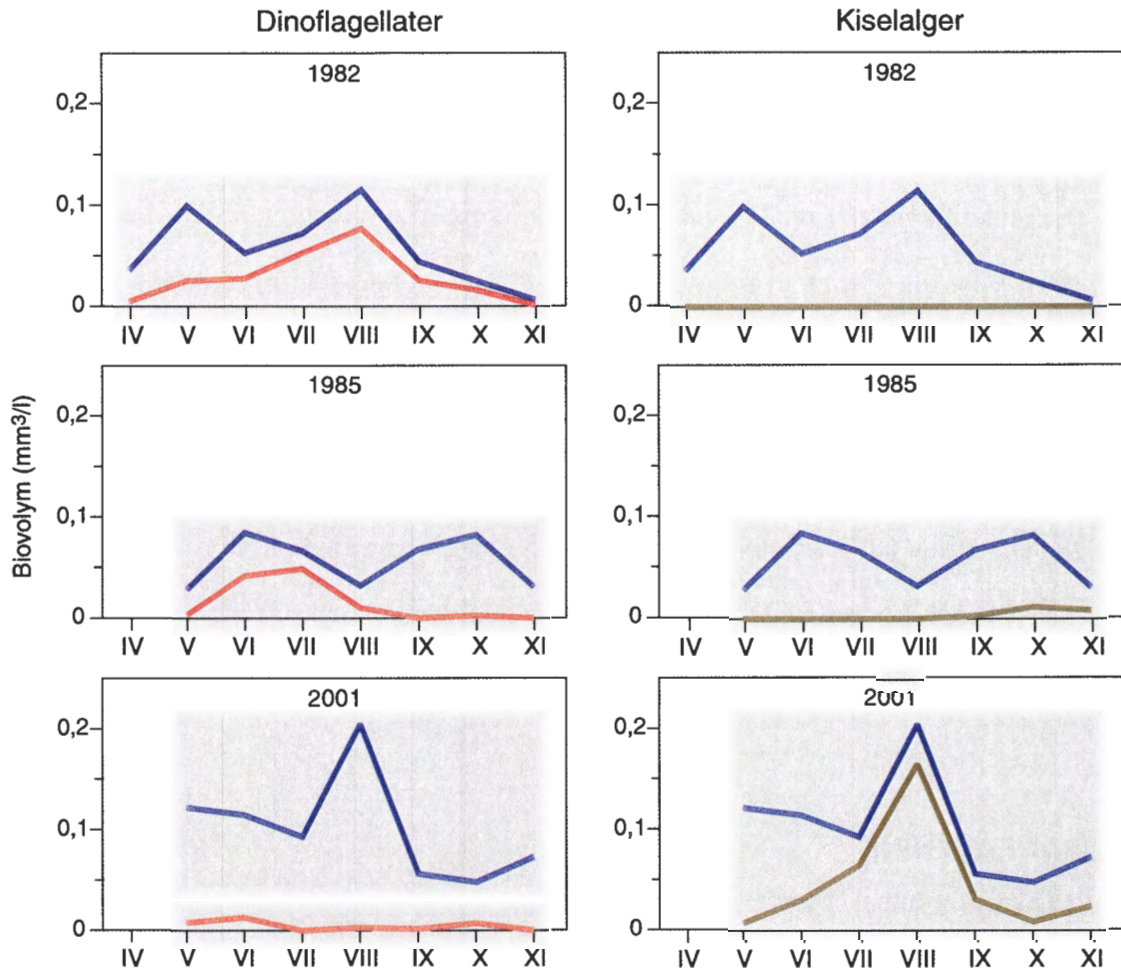
Ett stort antal av de små frisimmande flagellaterna i Stora Neden har mixotroft levnadssätt, d.v.s. de kan bygga in näring i cellerna både genom fotosyntes och genom intag av färdigbildad organisk substans som betning av bakterier. Exempel på mixotrofa alger i Stora Neden är många små *Ochromonas* och *Chromulina* arter liksom *Chrysochromulina* (vilka förts under beteckningen monader), arter bland släktena *Dinobryon*, *Pseudopedinella*, *Spiniferomonas*, *Gymnodinium*, *Peridinium* och *Cryptomonas* (Isaksson 1998). Fördelen med en mixotrof livsstrategi är påtaglig i fosforfattiga vatten, som Stora Nedens. Bakterier är nämligen effektivare än alger på att ta hand om fosfor när detta ämne förekommer i låga koncentrationer. Mixotrofa alger kan då dels ta upp fosfor från vattnet dels få i sig det genom betning av bakterier. Betning av fosforrika bakterier blir således en effektiv överlevnadsstrategi.

Förändringar i algsammansättning efter kalkningsinsatser

Förutsättningarna för algproduktion där tillgängliga närsalter utgör en viktig del tycks inte nämnvärt förändrats i Stora Neden sedan 1982 om totalfosforvärdena beaktas. pH-värdet har helt naturligt drastiskt ökat sedan den första kalkningsinsatsen gjordes 1984. En påtaglig förändring av vattnets ljusförhållanden har också skett vilket tydligt spåras i siktdjupsvärden och vattenfärg år 2001, fig. 6 och 7. En annan viktig faktor för algproduktion är aluminiumhalterna i vattnet, vilka borde ha varit betydligt högre under sjöns suraste period och därmed toxiska för algproduktion. En ökad humushalt i vattnet reagerar med metalljoner så att en stabil förening bildas, vilket gör att skadliga metaller inte blir tillgängliga för växtplankton. En indikation på att just aluminiumhalterna har minskat är utvecklingen av grönalgen *Monoraphidium griffithii* vars tillväxthämning i aluminiumrika vatten verifierats i laborietester (Hörnström m.fl. 1984, 1995). Redan efter första kalkningen i sjön fanns den arten vid enstaka provtagningar på sommaren 1985, och 2001 finns den noterad vid alla provtagningar.

Växtplanktons biomassa har successivt ökat efter gjorda kalkningsinsatser. En fördubbling av växtplanktons totalvolym kan registreras mellan 1985 och 2001 och klorofyllhalterna har tredubblats beräknat på säsongmedelvärdena (jfr tab. 6). Sammansättningen i växtplanktonsamhället har också förändrats. Statistiskt säkerställda skillnader (Tukey test $\alpha = 0,05$) kan registreras bland dinoflagellater som sommartid 2001 bara utgör ett par procent av den totala biomassa men som utgjorde mer än 50% under 1980-talets undersökningar. Stora andelar av dinoflagellater i växtplanktons biomassa är ett typiskt inslag i försurade sjöar (jfr Willén, 1983). En annan mycket påtaglig strukturförändring är den nu förekommande kiselalgsutvecklingen på sommaren (fig. 30). En ökning av just den gruppen har varit särskilt märkbar även i andra försurade sjöar efter kalkningsinsatser och särskilt har släktet *Cyclotella* börjat utvecklas i större mängder när pH överstigit 6 (Hörnström 1999). Andra statistiskt verifierbara strukturförändringar är en ökad mångfald av cyanobakterier och särskild småcelliga kolonibildare. På detaljnivå kan också nämnas att vissa surhetstoleranta arter som

fanns i planktonsamhällen 1982 (t.ex. guldalgerna *Bitrichia ollula* och *Pseudokephyrion gibbosum*) nu inte återfinns.



Figur 30. Exempel på alggrupper med signifikanta biomasseskilnader i Stora Neden som ett resultat av upprepade kalkningsinsatser från 1984. Den blå linjen anger totalvolyum.

Den ökade brunheten i vattnet är däremot svårare att belägga i växtplanktons sammansättning. Ofta har bruna sjöar en stor andel gisselförsedda organismer som därmed lätt kan röra sig upp i lämplig ljuszon men många av dessa arter är också konkurrenskraftiga vid mycket låga närsaltnivåer, vilket ju är fallet i Stora Neden.

Vid en jämförelse med några referenssjöar inom Naturvårdsverkets program för integrerad kalknings- effektuppföljning har Ejgdesjön och Stora Härsjön i Västra Götaland utvalts för att båda har ett klart vatten och totalfosforhalter som varierar mellan 5–10 $\mu\text{g l}^{-1}$. Dessa sjöar är dock något humösare än Stora Neden och betydligt mindre och med kortare vattenomsättningstider. De är dock båda djupa och väl skiktade sommartid. Den storskaliga artsammansättningen i dessa sjöar och Stora Neden skiljer sig endast obetydligt. Alla präglas av en stor andel flagellater med en mixotrof näringsstrategi. Guldalger är den vanligaste alggruppen. Kiselalger är en något mer utpräglad del av biomassan i Ejgdesjön och Stora Härsjön. Stora Neden är påtagligt artfattigare än de valda referenssjöarna vilket får tillskrivas dess extrema fosforfattigdom $<5 \mu\text{g l}^{-1}$. Planktonbiomassan i Ejgdesjön och Stora Neden är av samma storleksordning medan Stora Härsjön är rikare. På det hela taget avviker således inte Stora Neden när det gäller effekter av kalkningsinsatser, men sjön är fosforfattigare än jämförda sjöar och här har medelvärdesavvikelser med bara ett par mikrogram stor betydelse för planktonalger.

SAMMANFATTNING

Sulfathalterna har minskat under mätperioden. Kalciumhalterna har även minskat, vilket antyder god anpassning av kalkningen till neutraliseringsbehovet. Trots att sulfatkoncentrationen minskat så transporteras ungefär lika stora mängder sulfat i Ätran per år.

Vattenfärgen har stigit. Detta syns både som minskande siktdjup och ökande absorbans. En ökning sker även i Ätran, men halterna var nästan lika höga under slutet av 1960-talet, minskade sedan till ett minimum under början av 1980-talet för att nu vara de högsta uppmätta. Problemet är likartat i stora delar av Sverige. Den högre nederbörden medför att grundvattenståndet stiger och därmed rinner en större andel vatten genom ytligare humusrikare jordlager.

Fosforhalterna tycks minska något, och är mycket låga. Nitrathalterna har varit konstanta och är relativt höga.

Halterna av tungmetaller klassas som låga (klass 1) utom för bly. Men avvikelserna för bly från jämförvärdet klassas som liten (avvikelseklass 1).

Växtplanktonbiomassan som domineras av guldalger och kiselalger klassificeras enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder som mycket liten vilket också klorofyllhalten är.

Planktonfloran är artfattig. Artantalet understiger 30 alla månader. Totalantal för hela säsongen är 69.

Fosfor är det begränsande ämnet för planktons tillväxt.

Planktonssamhället innehåller en stor del mixotrofa arter som bygger in näring både genom fotosyntes och betning av bakterier. Betning av fosforrika bakterier blir en effektiv överlevnadsstrategi för algerna i fosforfattig miljö.

Det är inte troligt att de låga algbiomassorna skulle ge upphov till lukt- och smakförändringar på vattnet.

Algfloran har successivt förändrats på grund av kalkningsinsatserna. Dinoflagellater har påtagligt minskat, kiselalger och cyanobakterier har ökat. Vissa särskilt surhetstoleranta arter återfinns inte 2001. Arter känsliga för höga aluminiumhalter som inte fanns innan kalkningar utfördes finns nu hela den provtagna säsongen. Biomassan mätt både som totalvolym växtplankton och halten klorofyll a har fördubblats respektive tredubblats sedan 1982. Algsammansättningen på gruppnivå avviker dock fortfarande från andra mycket näringsfattiga sjöar som aldrig har varit sura. Där är förskjutningen mellan alggrupperna annorlunda; särskilt är kiselalger ej ett så dominerande inslag och andelen rekylalger (cryptomonader) är mer uttalad.

I jämförelse med referenssjöar inom IKEU-programmet är Stora Neden artfattigare men en dominerande del av planktonfloran är gemensam.

REFERENSER

- Andersson, B. & Willén, E. 1999. Lakes. Kapitel 10 i Swedish Plant Geography (red: Rydin, H. m.fl.). – Acta Phytogeographica Suecica 84: 149–168.
- Hörnström, E. 1999. Long-term phytoplankton changes in acid and limed lakes in SW Sweden. – Hydrobiologia 394: 93–102.
- Hörnström, E., Ekström, C. & Duraini, M.O. 1984. Effects of pH and different levels of aluminium on lake plankton in the Swedish west coast area. – Institute of Freshwater Research Report 61.
- Hörnström, E., Harbom, A. & Andrén, C. 1995. The influence of pH and humus on aluminium toxicity to the phytoplankton species *Monoraphidium griffithii* and *M. dybowskii*. – Water, Air and Soil Pollution 85: 817–822.
- Isaksson, A. 1998. Phagotrophic phytoflagellates in lakes – a literature review. – Archiv für Hydrobiologie, Special Issues, Advances in Limnology 51: 63–90.
- KM Lab Recipientteknik 1995 (G. Cronberg). Plankton i Stora Neden sommaren 1995. – Stencil, Varbergs kommun.
- KM Laboratorierna AB 1989 (T. Willén). Angående växtplanktonundersökning vid Kvarnagårdens vattenverk, Varberg, 1988. – Stencil, Varbergs kommun.
- Naturvårdsverket 1988. Kalkning av sjöar och vattendrag. – Allmänna Råd 88:3.
- Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. – Rapport 4913.
- Naturvårdsverket 2001. System Aqua. – Rapport 5157.
- Skuja, H. 1964. Grundzüge der Algenflora und Algenvegetation der Fjeldgegenden um Abisko in Schwedisch-Lappland. – Nova Acta Societatis Scientiarum Upsalienses. Serie IV, volym 18:3.
- Tolstoy, A. 1979. Chlorophyll a in relation to phytoplankton volume in some Swedish lakes. – Archiv für Hydrobiologie 85: 133–151.
- VA-INGENJÖRERNA AB 2000. Varbergs vattenförsörjning. Ombyggnad av Kvarnagårdens vattenförsörjningsanläggning. Pilotförsök. – Stencil, Varbergs kommun.
- Willén, E. (red.). 1983. Limnologiska undersökningar i Stora Neden 1982, en försurad sjö i Hallands län. – Naturvårdsverket rapport 1735.

Bilagor

Bilaga 1. Vattenkemiska analysmetoder.

Analysvariabel	Metod(referens)	Mät-osäkerhet*	Mätområde*
pH	SS 028122-2 mod	1	3-10
Konduktivitet	SS-EN 27888-1	2	0,1-100 mS/m
Kalcium	SS-EN ISO 11885	4	0,01-5,0 mekv/l
Magnesium	SS-EN ISO 11885	4	0,002-0,8 mekv/l
Natrium	SS-EN ISO 11885	3	0,005-2,2 mekv/l
Kalium	SS-EN ISO 11885	4	0,002-0,26 mekv/l
Alkalinitet	SS-EN ISO 9963-2 utg.1 mod	2	0,01-1 mekv/l
Sulfat	SS-EN ISO 10304-1 utg.1 mod	4	0,01-1,7 mekv/l
Klorid	SS-EN ISO 10304-1 utg.1 mod	4	0,004-0,6 mekv/l
Ammoniumkväve	SIS 028134-1	6	1-1200 µg/l
Nitratkväve	SIS 028133-2	8	1-700 µg/l
Totalkväve	SIS 028131-1 mod	9	50-4000 µg/l
Fosfatfosfor	SS 028126-2	15	1-25 µg/l
Totalfosfor	SS 028127-2	15	2-50 µg/l
Absorbans	SS-EN ISO 7887 utg.1 Chalupa, Jiri, 1963. Humic acids in water.	6	0,001-1,0
Kisel		7	0,5-8 mg/l
Totalt org. kol	SS-EN 1484	3	0,3-50 mg/l
Klorofyll	SS 028146-1	5	>0,5 mg/m ³
Oxygen	SS 028114-2	3	0-20 mg/l
Järn	SS-EN ISO 11885	4	10-2000 µg/l
"	ICP-MS	3	2-2000 µg/l
Mangan	SS-EN ISO 11885	3	5-2000 µg/l
"	ICP-MS	5	0,06-2000 µg/l
Aluminium	ICP-MS	5	0.4-2000 µg/l
Arsenik	ICP-MS	3	0.03-20 µg/l
Kadmium	ICP-MS	15	0.005-20 µg/l
Kobolt	ICP-MS	10	0.006-20 µg/l
Krom	ICP-MS	20	0.10-20 µg/l
Koppar	ICP-MS	3	0.04-20 µg/l
Mangan	ICP-MS	5	0.06-2000 µg/l
Nickel	ICP-MS	5	0.05-20 µg/l
Bly	ICP-MS	10	0.02-20 µg/l
Vanadin	ICP-MS	7	0.03-20 µg/l
Zink	ICP-MS	10	0.2-100 µg/l

*Mätosäkerhet Bestämd som CV%

*Mätområde Analysbart haltområde utan spädning

Bilaga 2. Vattenkemiska förhållanden i Stora Neden 2001.

Mån	Dag	Nivå	pH	Kond. mS/m	Ca mekv/l	Mg mekv/l	Na mekv/l	K mekv/l	Alk. mekv/l	SO4 mekv/l	SO4 mekv/l	Cl mekv/l	NH4-N µg/l	NO2+NO3 -N µg/l	Org.-N µg/l	Tot-N µg/l	PO4-P µg/l	Tot-P µg/l	Abs. OF	Abs.F	Si mg/l	TOC mg/l
5	7	0,5	6,48	6,76	0,233	0,095	0,261	0,017	0,098	0,153	0,153	0,269	63	364	484	911	1	2	0,041	0,033	1,06	7,8
5	7	10	6,60	6,72					0,100				62	357	237	656	1	2	0,043	0,032	1,02	
5	7	30	6,62	6,76					0,101				62	364	368	794	1	2	0,043	0,031	1,07	
5	7	50	6,65	6,67					0,101				55	364	326	745	1	8	0,044	0,030	1,11	
6	5	0,5	6,83	6,65	0,228	0,097	0,259	0,013	0,097	0,159	0,159	0,275	41	343	239	623	1	2	0,034	0,033	1,04	3,8
6	5	10	6,77	6,72					0,089				52	355	206	613	1	3	0,041	0,030	1,05	
6	5	30	6,71	6,74					0,089				56	351	213	620	1	2	0,036	0,029	1,06	
6	5	50	6,69	6,75					0,100				56	358	206	620	1	2	0,037	0,029	1,03	
7	10	0,5	7,07	6,66	0,23	0,099	0,262	0,013	0,098	0,155	0,155	0,266	39	355	337	731	1	5	0,025	0,018	0,70	10
7	10	10	6,76	6,7					0,100				64	365	303	732	1	6	0,032	0,025	0,90	
7	10	30	6,69	6,71					0,101				76	358	308	742	3	2	0,031	0,025	0,83	
7	10	50	6,62	6,71					0,101				70	358	329	757	1	2	0,032	0,025	0,82	
8	7	0,5	7,06	6,66	0,229	0,098	0,272	0,013	0,097	0,157	0,157	0,261	14	342	130	486	1	3	0,023	0,018	0,52	3,6
8	7	10	6,73	6,74					0,100				45	365	186	596	1	3	0,034	0,023	0,62	
8	7	30	6,64	6,76					0,100				51	379	105	535	1	2	0,031	0,025	0,77	
8	7	50	6,57	6,77					0,100				48	389	161	598	1	5	0,034	0,02	0,77	
9	11	0,5	7,03	6,63	0,226	0,098	0,26	0,013	0,097	0,155	0,155	0,256	16	305	288	609	1	4	0,029	0,018	0,62	6,7
9	11	10	6,66	6,72					0,098				46	352	270	668	1	7	0,034	0,023	0,79	
9	11	30	6,58	6,76					0,098				58	363	279	700	1	2	0,032	0,024	0,98	
9	11	50	6,46	6,75					0,098				52	376	259	687	2	2	0,036	0,026	1,02	
10	9	0,5	6,92	6,62	0,234	0,1	0,259	0,013	0,096	0,156	0,156	0,275	22	312	186	520	2	2	0,031	0,02	0,58	3,4
10	9	10	6,93	6,7					0,088				20	306	265	591	2	3	0,032	0,022	0,54	
10	9	30	6,55	6,76					0,098				53	355	146	554	2	2	0,035	0,025	0,87	
10	9	50	6,45	6,74					0,098				47	338	166	551	2	2	0,032	0,024	0,93	
11	5	0,5	6,75	6,63	0,226	0,096	0,261	0,014	0,096	0,152	0,152	0,268	31	329	125	485	3	4	0,03	0,019	0,98	5,8
11	5	10	6,79	6,62					0,101				30	340	94	464	1	2	0,029	0,017	1,03	
11	5	20	6,36	6,75					0,099				49	385	35	469	4	3	0,027	0,021	1,37	
11	5	30	6,45	6,74					0,101				54	373	55	482	1	2	0,029	0,021	1,37	

Bilaga 3. Temperatur och syrgaskoncentration (mg/l) i Stora Neden under 2001. Mätningar utförda av Varbergs gatukontor.

Djup m	Månad													
	5 Temp	5 Syre	6 Temp	6 Syre	7 Temp	7 Syre	8 Temp	8 Syre	9 Temp	9 Syre	10 Temp	10 Syre	11 Temp	11 Syre
0	5,9	12,2	14	10,2	22	8	19	8,8	15,5	9,8	13	9,8	9	11
1	5,9	12,1	14	10,1	22	8	19	8,4	15,5	9,6	13	9,6	9	10,6
2	5,9	12,1	14	10,1	22	8,2	19,4	8,4	15,5	9	13	9	9	10,8
3	5,9	12,1	14	10	22	8,2	19,4	8,6	15,5	9,2	13	9,2	9	10,6
4	5,9	12,1	14	10	21	8,6	19,6	8,4	15,5	9	13	9	9,5	10,8
5	5,9	12,1	13,5	10	19	9	19,5	8,6	15,5	9	13	9	9,5	10,6
6	5,9	12,1	13	10	18	9,2	19,5	8,4	15,5	9	13,5	9	9,5	10,8
7	5,9	12,1	10,5	10,8	16	9,4	18,5	8,5	15,5	9	13,5	9	9,5	10,6
8	5,9	12,1	9	11,4	13	10	13,5	10,1	15,5	9	13,5	9	9,5	10,8
9	5,9	12,1	8	11,6	11	10,3	11	10,5	15,5	9	13,5	9	9,5	10,4
10	5,8	12,2	7	11,6	9	11,2	9,2	10,6	12	10,4	13,5	10,4	9,5	10,6
11	5,8	12,2	7	11,8	8	11,2	8	11	9,5	10,6	13	10,6	9,5	10,6
12	5,8	12,2	6	11,8	7	11	7	11,5	8,5	10,8	10	10,8	9,5	10,8
13	5,8	12,2	6	11,4	6,5	11	6,2	11,5	7,5	11,2	8	11,2	9,5	10,6
14	5,8	12,2	6	11,8	6	11,4	6	11,5	7	11,2	7	11,2	9,5	10,8
15	5,2	12,2	5,5	11,8	5,5	11,6	5,8	11,4	6	11,2	6	11,2	9,5	10,5
16	5,2	12,2	5	11,8	5	11,4	5,3	11,6	5,5	11,4	6	11,4	7,5	10,6
17	5,2	12,2	5	12	5	11,4	5	11,6	5,5	11,4	6	11,4	6,5	11
18	5,2	12,2	5	12	5	11,6	5	11,7	5	11,4	5,5	11,4	5,5	11
19	5,2	12,2	5	11,8	5	11,4	4,9	11,4	5	11,4	5	11,4	5	11,4
20	4,7	12,3	5	12	4,5	11,4	4,8	11,5	5	11,4	5	11,4	5	11,2
21	4,5	12,3	4,5	12	4,5	11,5	4,6	11,5	4,5	11,4	5	11,4	5	11,2
22	4,5	12,3	4,5	11,8	4,5	11,5	4,5	11,6	4,5	11,4	5	11,4	5	11,2
23	4,5	12,3	4,5	11,8	4,5	11,5	4,5	11,4	4,5	11,4	5	11,4	5	11,2
24	4,5	12,3	4,5	11,8	4,5	11,5	4,5	11,4	4,5	11,4	4,5	11,4	4,5	11,2

Bilaga 4. Koncentrationer i vatten av spårmetaller i Stora Neden 2001.

Mån	Dag	Nivå m	pH	Kond mS/m	Abs.F	Abs. Diff	Si mg/l	TOC mg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Al_ICP µg/l	Cd µg/l	Pb µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	Co µg/l	As µg/l	V µg/l
5	7	0,5	6,48	6,76	0,033	0,008	1,06	7,8	83	9,9	5,1	16	54	0,060	1,69	0,51	0,90	0,106	0,26	0,22
5	7	10	6,60	6,72	0,032	0,011	1,02		66	9,1	5,7	16	49	0,056	1,80	0,53	0,95	0,096	0,25	0,21
5	7	30	6,62	6,76	0,031	0,012	1,07		83	10	4,2	13	50	0,048	2,05	0,49	0,78	0,098	0,24	0,21
5	7	50	6,65	6,67	0,030	0,014	1,11		89	11	1,7	7,6	51	0,045	2,41	0,44	0,75	0,105	0,26	0,22
8	7	0,5	7,06	6,66	0,018	0,005	0,52	3,6	32	2,9	0,93	5,1	35	0,031	1,20	0,32	0,51	0,086	0,2	0,14
8	7	10	6,73	6,74	0,023	0,011	0,62		37	6,3	0,96	5,3	40	0,025	1,16	0,31	0,62	0,086	0,2	0,14
8	7	30	6,64	6,76	0,025	0,006	0,77		41	6,8	0,81	5,5	42	0,028	1,23	0,34	0,54	0,085	0,2	0,15
8	7	50	6,57	6,77	0,020	0,014	0,77		39	6,7	0,89	5,8	43	0,031	1,31	0,35	0,58	0,085	0,2	0,15

Bilaga 5. Vattenkemiska analysresultat för inlopp till och utlopp från Stora Neden under 2001.

Stn	Mån	Dag	Temp. °C	pH	Kond. mS/m	Alkalin. mekv/l	NH ₄ -N µg/l	NO ₂ +NO ₃ - N µg/l	Org.-N µg/l	Tot-N µg/l	PO ₄ -P µg/l	Övr.-P µg/l	Tot-P µg/l	Abs._OF 420/5	Abs._F 420/5	Abs.Diff 420/5	Si mg/l
UTL	1	25		6,60	6,88	0,101	49	348	191	588	1	1	2	0,033	0,026	0,007	0,82
UTL	2	20	1,3	6,64	6,79	0,102	53	360	83	496	1		1	0,034	0,03	0,004	0,81
UTL	3	19	1	6,54	6,77	0,098	71	403	64	538	1	3	4	0,034	0,03	0,004	1,53
UTL	4	23	5	6,69	6,72	0,097	44	357	185	586	1	5	6	0,041	0,034	0,007	0,66
UTL	5	21	11	6,63	6,65	0,098	38	344	274	656	1	2	3	0,038	0,033	0,005	1,08
UTL	6	18	14	6,84	6,66	0,100	32	332	211	575	1	1	2	0,019	0,016	0,003	1,01
UTL	7	10		6,92	6,73	0,103	39	316	353	708	1	3	4	0,028	0,02	0,008	0,63
UTL	8	7	18	6,84	6,65	0,103	15	306	168	489	1	2	3	0,034	0,024	0,010	0,49
UTL	9	11	15	6,86	6,60	0,096	13	305	283	601	2	7	9	0,036	0,025	0,011	0,77
UTL	10	9	12,5	6,63	6,78	0,106	21	298	279	598	2	1	3	0,049	0,028	0,021	0,62
UTL	11	5	7	6,53	6,62	0,090	33	306	143	482	2	1	3	0,035	0,028	0,007	0,98
UTL	12	11	3	6,43	6,62	0,078	45	372	80	497	1	1	2	0,035	0,029	0,006	1,10
INL	1	25		6,18	6,12	0,053	59	259	309	627	1	9	10	0,129	0,097	0,032	1,26
INL	2	20	0,5	5,94	5,42	0,027	49	304	138	491	1	1	2	0,106	0,086	0,02	1,79
INL	3	19	0,5	6,28	5,19	0,021	62	374	145	581	1	2	3	0,121	0,096	0,025	2,46
INL	4	23	6	6,70	5,63	0,066	49	225	275	549	1	5	6	0,159	0,114	0,045	1,74
INL	5	21	11	6,45	6,00	0,119	42	109	350	501	1	5	6	0,181	0,143	0,038	1,91
INL	6	18	11	6,56	5,80	0,130	47	46	396	489	1	4	5	0,221	0,153	0,068	1,77
INL	7	10		6,91	6,73	0,212	108	59	447	614	3	10	13	0,328	0,207	0,121	1,99
INL	8	7	14	6,70	6,25	0,172	59	47	441	547	2	7	9	0,326	0,223	0,103	1,66
INL	9	11	13	6,46	5,46	0,082	45	31	463	539	3	11	14	0,403	0,312	0,091	2,00
INL	10	9	11,5	6,43	5,37	0,074	48	54	319	421	3	7	10	0,362	0,274	0,088	2,29
INL	11	5	9	6,14	5,35	0,042	71	99	267	437	4	4	8	0,403	0,307	0,096	2,37
INL	12	11	1,5	6,37	6,08	0,060	69	201	275	545	3	2	5	0,220	0,174	0,046	2,53



Växtplankton, Kvantitativ analys (mm ³ /l)	1040 0050							Fullständig analys
	010507	010605	010710	010807	010911	011009	011105	
<u>Cyanophyceae</u>								
Anabaena lemmermannii	.	.	.	.	.	.	.	.
Aphanocapsa elachista v. planctonica	.	.	.	.	.	.	.	.
Aphanothece sp.	.	.	,0003	,0004	,0002	,001	,0006	.
Chroococcus minutus	.	.	.	.	,0028	,0014	,0013	.
Merismopedia hyalina	.	.	,0001	,0002	.	.	.	.
Merismopedia tenuissima	.	.	.	.	,0001	.	.	.
Microcystis flos-aquae	.	.	.	.	.	.	,0008	.
Planktothrix agardhii	.	.	.	.	.	.	.	.
Snowella septentrionalis	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	,001	,003	,003	,003	.
<u>Cryptophyceae</u>								
Cryptaulax sp.	.	.	.	.	.	.	,0007	.
Cryptomonas spp. <20 µ	.	,0015	.	,0031	.	,0054	,0063	.
Cryptomonas spp. 20-40 µ	,0014	,0009	.	.	.	.	.	.
Katablepharis ovalis	,0014	,0016	.	,0018	,001	,0001	.	.
Rhodomonas lacustris	,0059	,0031	,0013	,0009	.	,0026	,0042	.
	,009	,007	,001	,006	,001	,008	,011	.
<u>Dinophyceae</u>								
Glenodinium sp.	.	.	.	.	.	,0062	.	.
Gymnodinium helveticum	.	.	.	,0001	.	.	.	.
Gymnodinium spp. 5-9 µ	.	.	,0002	,0026	.	.	.	.
Gymnodinium spp. 10-14 µ	,0025	,0051	.	.	.	,001	.	.
Gymnodinium spp. 15-19 µ	.	.	.	.	.	.	.	.
Gymnodinium spp. 20-29 µ	,0004	.	.	.	.	.	.	.
Gymnodinium uberrimum	,0007	,0011	.	.	.	.	,0002	.
Peridinium umbonatum	,002	.	.	,0001	,0018	.	,0001	.
Peridinium willei	,0023	,0068	.	.	.	.	.	.
	,008	,013	.	,003	,002	,007	.	.
<u>Chrysophyceae</u>								
Bitrichia chodatii	.	.	,0003	,0008	.	,0005	.	.
Chrysococcus sp.	.	.	.	.	.	.	,001	.
Chrysolykos skujae	,0002	,0004	,0001	.	.	.	.	.
Dinobryon borgei	,0009	,0005	.	,0001	,0001	.	,0001	.
Dinobryon crenulatum	,0004	,0005	,001	.	,0015	,0006	,0002	.
Dinobryon cylindricum	,0008	.	.	.	.	.	.	.
Dinobryon suecicum	.	.	.	.	.	.	.	.
Kephyrion littorale	,0014	.	.	,0004	.	.	.	.
Mallomonas akrokomos	,0002	.	,0002	.	.	,0002	.	.
Mallomonas caudata	,0001	.	.	.	.	.	.	.
Mallomonas crassisquama	.	.	,0036	.	.	.	,0019	.
Monader <3 µ	,0009	,0104	,003	,0123	,0052	,0039	,0029	.
Monader 3-5 µ	,0136	.	.	.	,0084	.	.	.
Monader 5-7 µ	,0642	,023	,0114	,0091	.	,0082	,022	.
Monader 7-10 µ	.	,0228	,0009	.	.	.	.	.
Pseudokephyrion entzii	.	,0025	.	.	.	.	.	.
Pseudopedinella sp.	,0005	.	.	.	.	,0011	.	.
Spiniferomonas sp.	.	.	.	,001	.	.	.	.
	,083	,06	,02	,024	,015	,015	,028	.
<u>Bacillariophyceae</u>								
Asterionella formosa	,0002	.	.	.	.	.	.	.
Aulacoseira alpigena	,0001	,0031	.	.	.	.	.	.



Växtplankton, Kvantitativ analys (mm³/l)

	010507	010605	010710	010807	010911	011009	011105
Cyclotella comta v. radiosa	,004	,0218	,0425	,1272	,0304	,0047	,0175
Cyclotella spp. 5-10 µ	,0013	,0055	,0224	,0377	.	,0041	,0045
Rhizosolenia longiseta	,0024	,0002	,0001	,0005	.	,0004	.
Synedra sp.	.	.	.	.	.	.	,0005
Tabellaria flocculosa	,0002	.	.	.	,0006	.	,0017
	,008	,031	,065	,165	,031	,009	,024

Xanthophyceae

Isthmochloron trispinatum	.	.	.	.	.	,0008	.
	.	.	.	.	.	,001	.

Chlorophyceae

Botryococcus spp.	.	,002	.	,001	,0002	.	,0005
Chlamydomonas spp. 5 -10 µ	,0134	.	.	.	.	.	.
Chlamydomonas spp. 10 -20 µ	.	.	.	.	.	.	.
Chlorococcales	.	.	.	.	,0003	,0004	.
Elakatothrix genevensis	.	,0003	,0003	,0002	,0003	,0002	.
Monoraphidium dybowskii	,0002	,0006	,0035	,0019	,0013	,0042	,0019
Monoraphidium griffithii	,0002	,0005	,0011	,0021	,0017	,0005	,0008
Nephrocystium lunatum sensu skuja	.	.	.	.	.	.	.
Oocystis submarina v. variabilis	.	,0003	,0001	,0003	.	,0004	,0002
Pediastrum privum	.	.	.	.	.	.	,0014
Scenedesmus gr. armati	.	.	.	.	,0002	.	,0005
Scenedesmus gr. scenedesmus	.	.	,0002	.	.	.	.
Sphaerocystis Schroeterii	.	.	.	,0007	.	.	.
Tetraedron minimum v. tetralobulatum	.	,0002	,0001	.	.	.	.
Tetrastrum triangulare	.	.	,0001	,0002	,0005	,0002	.
Volvocales	,0004	.	.	.	.	.	.
	,014	,004	,005	,006	,005	,006	,005

Zygnematales

Closterium sp.	.	.	.	,0001	.	.	.
Staurodesmus crassus	.	.	.	.	.	.	,001
Staurodesmus sellatus	.	.	.	.	.	.	.
Staurodesmus triangularis	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	,001
Totalt	,122	,115	,093	,205	,057	,048	,073