



# Isfria vintrar- hur påverkas vattenkvalitet och växtplanktonutveckling i Sveriges största sjöar

Examensarbete, 20 poäng.

av

Anna-Karin Westöö

Institutionen för Miljöanalys  
Sveriges Lantbruksuniversitet  
Box 7050 750 07 Uppsala

Handledare: Gesa Weyhenmeyer



# Isfria vintrar- hur påverkas vattenkvalitet och växtplanktonutveckling i Sveriges största sjöar

ISSN 1403-977X

## Sammanfattning

### Isfria vintrar- hur påverkas vattenkvalitet och växtplanktonutveckling i Sveriges största sjöar

Jordens medeltemperatur har ökat de senaste hundra åren och en fortsatt ökning kommer sannolikt att leda till mildare vintrar och att sjöar i Sverige allt mer sällan istäcks. I detta arbete undersöktes effekterna av frånvaro av is i Vänern och Vättern med avseende på fysikaliska, kemiska och biologiska variabler. Genom statistisk analys av data från åren 1979-2002 framkom att skillnaderna som uppkommer mellan år med respektive utan is generellt sett var störst i maj, vilken är den månad då mätningarna normalt påbörjades. Vattentemperaturen var högre i maj under år utan is medan ingen signifikant skillnad kunde påvisas för övriga månader. Vad gäller vattenkemi kunde inga entydiga skillnader ses men nitratkvävehalten i Vättern var högre i maj, juli och augusti under år utan is. Detta visade sig sakna koppling till islossningsdatum, nederbörd, nitratkvävehalt i tillrinnande vattendrag samt tillförd nitratkvävemängd. Dock saknades tillförlitliga vattenföringsdata och en del av beräkningarna baserades på data från Vätterns utlopp.

Kiselalgen *Aulacoseira* visade en tydlig respons på mildare, isfria vintrar och förekommer i större mängd i både Vänern och Vättern i maj under dessa år. Denna växtplanktongrupp är tyngre än andra då de är försedda med ett kiselskal, vilket gör att de gynnas av den turbulens som uppstår då vinden får fritt tillträde till vattenmassan under isfria perioder. Därför fick arten sannolikt en konkurrensfördel tidigt under våren och fanns kvar i den eufotiska zonen i maj då mätningarna skedde. Den högre vattentemperaturen i maj under isfria år kan också ha påverkat *Aulacoseira* positivt. Även cyanobakterien *Aphanizomenon flos-aquae* förekom i större mängd i Vänern i juni under år utan is. Vad detta beror på behöver utredas vidare.

Konsekvensen av ett fortsatt varmare klimat är sannolikt att Vänern och Vättern istäcks allt mer sällan, vilket kan leda till ökad biomassa av *Aulacoseira* och *Aphanizomenon flos-aquae*. Effekten av detta kan bli att fiskare får mer problem med kiselalger, ofta *Aulacoseira*, som sätter sig på fiskenät och synliggör dessa för fisken. Dessutom kan *Aphanizomenon flos-aquae* producera toxiner, farliga för både människor och djur.

Nyckelord: is, växtplankton, klimat, Vänern, Vättern, statistisk analys, kiselalger, *Aulacoseira*, *Aphanizomenon flos-aqua*

## Abstract

### Ice-free winters- how is water chemistry and phytoplankton in Sweden's largest lakes affected

The global mean temperature has increased during the last century and a continued increase will probably cause warmer winters and little or no ice in Swedish lakes. In this project, effects of the absence of ice on physical, chemical and biological processes have been investigated in Sweden's two largest lakes Vänern and Vättern.

A statistical analysis using data from 1979-2002 revealed that the differences between years with and without ice were most obvious in May. The water temperature was higher in May during years with no ice while no significant difference was found later during summer. Water chemistry showed no certain differences but the nitrate concentration was higher in Lake Vättern in May, July and August during ice-free years. No connection with the day of ice break up, precipitation, nitrate concentration in the streams flowing into the lake or the incoming nitrate quantity was found.

The diatom *Aulacoseira* showed an obvious response to warmer and ice-free winters, its biomass was greater during ice-free years in both lakes Vänern and Vättern in May than compared with the years when the lakes were covered in ice. This species contains a silica shell, which makes its density high and it's therefore probably favoured by the turbulence during ice-free springs. The higher water temperature in May during ice-free years may also explain the increase of *Aulacoseira*. Also the cyanobacteria *Aphanizomenon flos-aquae* has been present in a larger amount in June in Lake Vänern during ice-free years. This observation requires further studies.

The probable consequence of a future warmer climate is that Lake Vänern and Lake Vättern more seldom are covered with ice, which may lead to an increased biomass of *Aulacoseira* and *Aphanizomenon flos-aquae*. The increase of *Aulacoseira* can pose problems for fishermen because the algae often stick to the fish nets. Considering that *Aphanizomenon flos-aquae* can be toxic, the effect of warmer winters is potentially far-reaching.

Key words: ice, phytoplankton, climate, Lake Vänern, Lake Vättern, statistical analysis, diatom, *Aulacoseira*, *Aphanizomenon flos-aquae*

## **Förord**

Detta examensarbete (20 p) avslutar drygt fyra års studier vid civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik, Uppsala Universitet. Arbetet pågick från oktober 2003 till mars 2004 och utfördes vid Institutionen för Miljöanalys, SLU, efter en idé av Gesa Weyhenmeyer som även fungerat som handledare.

Jag vill tacka Gesa Weyhenmeyer, Institutionen för Miljöanalys, som bistått med allt från data till värdefulla synpunkter och som alltid har tagit sig tid när jag behövt hjälp. Ett stort tack även till Eva Willén vid samma institution som varit till stor hjälp framförallt för växtplanktondelen.

Tack även till övrig personal på Institutionen för Miljöanalys som hjälpt till med bland annat databehandling och bildhantering. Dessutom har folk Ulf Gullne, Sjöfartsverket och Jan-Eric Lundqvist, SMHI bidragit med data gällande isrestrektioner i Vänern samt tolkningen av dessa. Tack!

Uppsala, april 2004

Anna-Karin Westöö

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SYFTE</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL OCH METODER</b> .....	<b>2</b>
3.1	SJÖBESKRIVNING .....	2
3.2	DATAUNDERLAG .....	4
3.3	BEARBETNING .....	5
3.4	STATISTISK BEHANDLING .....	7
3.4.1	<i>Wilcoxons test</i> .....	7
3.4.2	<i>Linjär regression</i> .....	7
3.4.3	<i>Outliers</i> .....	8
<b>4</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>8</b>
4.1	FYSIKALISKA SKILLNADER .....	8
4.2	KEMISKA SKILLNADER .....	11
4.3	BIOLOGISKA SKILLNADER .....	14
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>19</b>
5.1	FYSIKALISKA SKILLNADER .....	19
5.2	KEMISKA SKILLNADER .....	19
5.3	BIOLOGISKA SKILLNADER .....	21
5.4	FELKÄLLOR .....	24
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>25</b>

# 1 INLEDNING

Globala mätningar visar att temperaturen ökat med i genomsnitt 0,6 grader under 1900-talet och forskare varnar för att fortsatt utsläpp av växthusgaser kommer att förstärka växthuseffekten och ge ett varmare klimat (SMHI, websida, 2004). Trots försök att genom internationella förhandlingar och avtal minska koldioxidutsläppen, ser det ut som om ökningen av växthusgaser kommer att pågå i flera årtionden framöver (SMHI, websida, 2004). I vilken grad klimatet påverkas, eller när och var effekterna dyker upp, är dock osäkert (Naturvårdsverket, websida, 2004).

SweClim, ett svenskt regionalt klimatmodelleringsprogram, förutspår en global temperaturhöjning med cirka 2,6 °C från år 1990 till 2100. En annan sammanställning gjord av IPCC, FN:s klimatpanel, anger att den globala uppvärmningen kan öka med 1,4-5,8°C till slutet av detta århundrade (SMHI, websida, 2004), bland annat beroende på hur mycket utsläppen förändras. I Sverige beräknas medeltemperaturen öka mer än jordens genomsnitt, vilket kommer att leda till mildare vintrar och mer regn (Naturvårdsverket, websida, 2004).

Flera studier om klimatförändringar och dess betydelse för det biologiska livet i sjöar har gjorts. Bland annat visade Weyhenmeyer (2001) att en stor del av vintrarna i Sverige under 1990-talet var ovanligt milda och dessa väderförändringar har fått till följd att islossningen har skett tidigare i Vänern, Vättern och Mälaren. Vissa vintrar har sjöarna inte ens varit istäckta. Även Blenckner (2001) undersökte i sin doktorsavhandling hur klimatförändringar påverkar jordens sjöekosystem. Han visade bland annat att tidigare islossning i sjön Erken utanför Norrtälje leder till en tidigare växtplanktonblomning på våren. Weyhenmeyer (2001) påvisade samma resultat för Vänern, Vättern och Mälaren. En annan studie har visat hur kiselalgers maximum på våren i alpina och arktiska sjöar styrs av islossningen (Lotter och Bigler, 2000). Dessutom kommer framtidens varmare klimat sannolikt att leda till förhöjda koncentrationer av näringsämnen, en slags intern övergödning, vilket gynnar framför allt blågröna alger (Blenckner, 2001).

Om SweClim och IPCC får rätt i sina förutsägelser kommer trenden av mildare vintrar att fortsätta. Detta innebär att många av de större svenska sjöarna inte längre kommer att istäckas under vintern eller täcks av is under en kortare period. Eftersom isen påverkar många fysikaliska, kemiska och biologiska processer i en sjö är det sannolikt att vattenkvaliteten och biomassan växtplankton förändras.



## 2 SYFTE

Detta arbete syftar till att analysera i vilken omfattning fysikaliska variabler (temperatur), kemiska variabler (syrgas, pH och näringsämnen) och biologiska variabler (växtplanktons artsammansättning och biomassa) påverkas under våren och sommaren efter isfria vintrar. Hypotesen är att det förekommer en signifikant skillnad i fysikaliska, kemiska och biologiska processer mellan år med respektive utan is vid olika mätstationer i Vänern och Vättern.

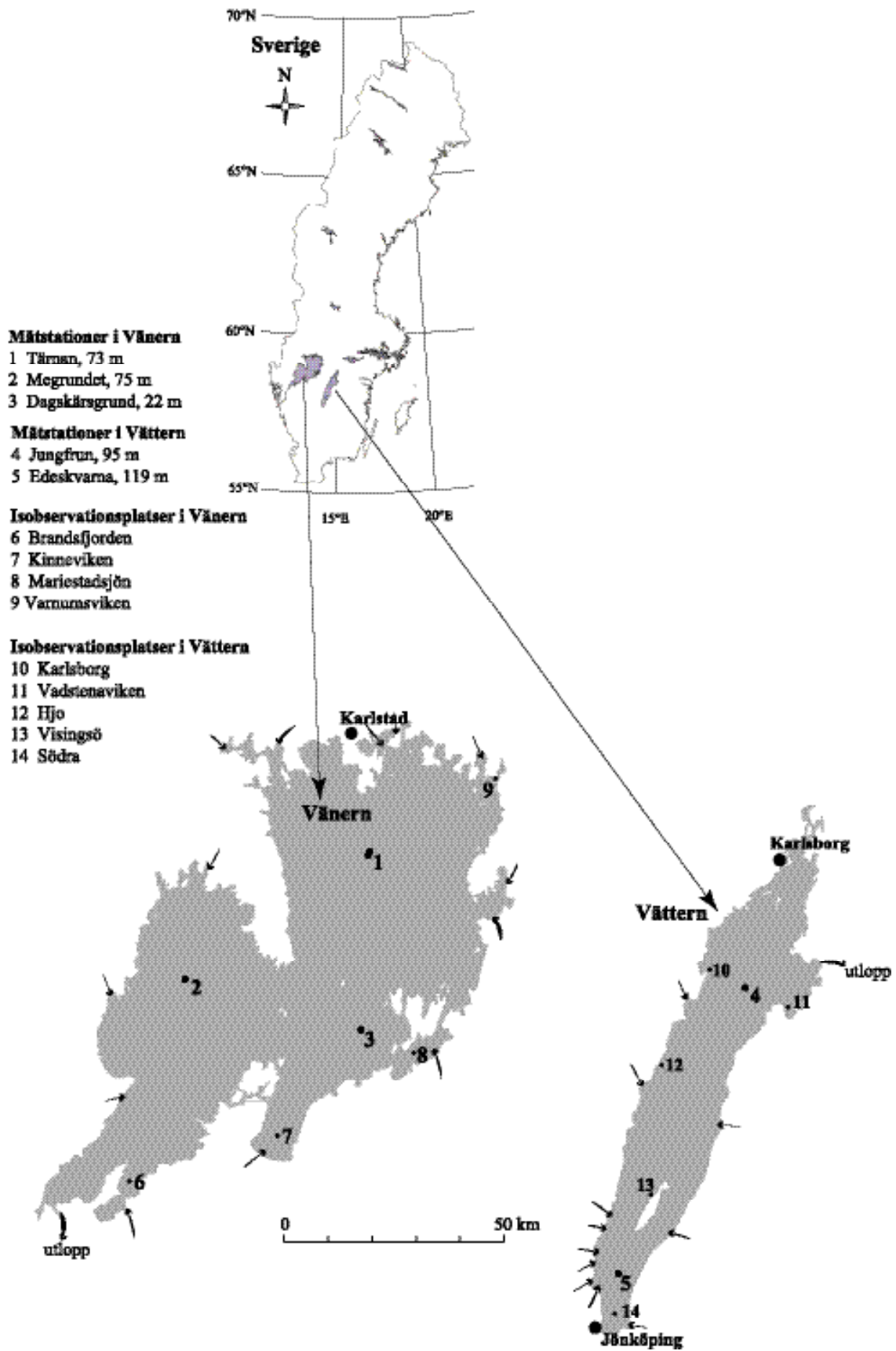
## 3 MATERIAL OCH METODER

### 3.1 SJÖBESKRIVNING

I denna studie undersöks Vänern och Vättern som är Sveriges två största sjöar och utgör vattentäkt för totalt 900 000 människor (Naturvårdsverket, 1990). Sjöarna har stor betydelse för turismen och friluftslivet i området och både yrkes- och fritidsfisket är omfattande. Dessutom används de som mottagare av avloppsvatten från industrier och städer. Kortfattade fakta och en karta över sjöarna återfinns nedan (tabell 1 och figur 1).

**Tabell 1** Data för Vänern och Vättern (Christensen, 2002).

	Vänern	Vättern
Sjöarea, km <sup>2</sup>	5 650	1 910
Volym, km <sup>3</sup>	153	78
Maxdjup, m	106	128
Medeldjup, m	27	40
Beräknad omsättningstid, år	8-9	58-60
Avrinningsområde exkl. sjöyta, km <sup>2</sup>	46 800	4 400
Siktdjup, m	4-6	10-15
Totalfosforhalt, µg/l	6-8	4-6
Totalkvävehalt, µg/l	800	700-800
Klorofyllhalt, vanligen, mg/m <sup>3</sup>	2-3	0,8-1,2



**Figur 1** Vänern och Vättern.

Vänern är Sveriges största sjö och en av de 30 största sjöarna i världen. Där bedrivs yrkessjöfart. Vattnet är näringsfattigt och relativt klart (Christensen, 2002). Många av floderna i västra Mellansverige mynnar i Vänern och störst är Klarälven. Sveriges näst största sjö, Vättern, har ett mycket klart och näringsfattigt vatten. Vattnets långa omsättningstid, ungefär 60 år, gör att det tar betydande tid för sjön att återhämta sig efter miljöpåverkan. Tillrinningsområdet är litet i förhållande till det stora vattenmagasin som Vättern utgör och tillsammans med den långa omsättningstiden bidrar detta till det ovanligt klara vattnet (Wilander, 1975). Ungefär 140 år av varierande storlek rinner ut i Vättern, störst är Forsviksån i väst och Huskvarnaån i söder. Utöver de tillrinnande åarna finns ett antal bäckar runt sjön (Fiska i Vättern, websida, 2004).

Vänern och Vättern har en likartad miljöhistoria. Vattenkraftsdammar byggdes tidigt i sjöarnas vattendrag och orsakade tillsammans med regleringar att fiskstammar slogs ut. Sedan början av 1900-talet har sjöarna varit utsatta för utsläpp från industrier, tätorter och luftburet nedfall. När föroreningsituationen var som mest påtaglig på 1960- och 1970-talen kunde man på grund av rådande höga kvicksilverhalter inte äta gädda från vissa delar av Vänern (Christensen, 2002). År 1969 infördes en ny miljöskyddslag samtidigt som myndigheter och allmänheten blev mer miljömedvetna. Stadsbidrag gavs till miljöförbättringar. Flera åtgärder medverkade till att miljön i sjöarna blev bättre; nya tekniker utvecklades inom industrin, kvicksilver förbjöds och avloppshanteringen förbättrades (Vänerns vattenvårdsförbund, websida, 2004). Idag kan man dricka vattnet som det är långt från land i Vänern och Vättern men fortfarande är halterna av miljögifter som kvicksilver, DDT och PCB förhöjda i fisk. Dessutom måste kvävehalterna i sjöarna minska. Kontinuerlig miljöövervakning startade år 1973 i Vänern och år 1971 i Vättern och idag ansvarar två vattenvårdsförbund för miljöövervakning av sjöarna (Christensen, 2002).

### **3.2 DATAUNDERLAG**

Data över sjöarnas perioder med respektive utan is erhöles från SMHI och Sjöfartsverket. Vänerns isdata bygger på data från Sjöfartsverkets isbrytarledning (bilaga 1) samt på observationer av islägnings- och islossningsdatum från SMHI gjorda på olika platser runt sjön (bilaga 2). För Vättern användes endast data från SMHI bestående av observationer av islägnings- och islossningsdatum (bilaga 3).

Data över vattenkemi och växtplankton erhöles från den databank som tillhandahålls av Institutionen för Miljöanalys vid Sveriges Lantbruksuniversitet. I båda sjöarna finns ett stort antal mätstationer och i detta arbete har data från tre stationer i Vänern (Dagskärsgrund N, Megrundet N och Tärnan SSO) och två stationer i Vättern (Edeskvarnaån NV och Jungfrun NV) använts (figur 1). Dessa fem stationer valdes eftersom mätningarna där skett kontinuerligt sedan år 1978 för vattenkemiska variabler.

Data över växtplankton är sedan år 1979 mätt som ett blandprov, vilket representerar det omrörda övre vattenskiktet (Wilander och Willén, 1996). En viss provvolym samlas in med hämtare från ytan och sedan med jämna avståndsintervall ner till 8 meters djup i Vänern och 25 meters djup i Vättern. Sedan blandas vattnet och ett delprov tas ut för analys. I bilaga 4 beskrivs de fysikaliska, kemiska och biologiska variabler som analyserats i denna studie.

Mätningarna är normalt gjorda en gång per månad under perioden maj till oktober. I detta arbete har enbart data från maj till augusti under åren 1979-2002 använts. Vid de få tillfällena då mätningarna skett mer än en gång i månaden har ett medelvärde beräknats. Från och med år 1996 startade mätningarna i april månad, vilket dock inte kunnat utnyttjats här eftersom endast ett fåtal år efter 1996 varit isbelagda.

### 3.3 BEARBETNING

All bearbetning av data har skett i Excel. För de statistiska analyserna har programmet JMP, version 4.0.4, använts. Som första steg delades de aktuella åren, 1979-2002, in i två grupper, ”år med is” respektive ”år utan is”.

För Vänern fanns två dataset med isdata. Det ena bestod av observationer från fyra platser (Varnumsviken, Mariestadsjön, Kinnevik och Brandsfjorden, figur 1 och bilaga 2) där isläggnings- och islossningsdatum noterats. Observationerna är menade att gälla för hela sjön men då samtliga platser är belägna i vikar där sjön i princip alltid fryser till is vintertid blev gruppindelningen ”år med is” respektive ”år utan is” mycket skev. Detta ger en felaktig bild eftersom hela Vänern inte istäcks varje år. Därför utnyttjades även isdata från Sjöfartsverkets isbrytarledning (bilaga 1) där fyra olika isklassindelningar används (pers. med., Lundqvist, 2003):

- II är den lägsta isklassen, vilket innebär mycket tunn is längs sjöns stränder och öppet vatten i mitten av sjön. I detta arbete räknas år klassificerade med ”II” som år utan is.
- 1C innebär att vissa delar av Vänern är istäckt, till exempel ofta Vänersborgsviken. Till sjöss är det öppet vatten eller endast tillfällig, tunn is. Denna klass räknas här som år utan is.
- 1B betyder att hela Vänern är istäckt och räknas som år med is.
- 1A är mycket kalla vintrar då hela Vänern är istäckt och räknas som år med is.

Tre av vintrarna (90-91, 93-94 och 95-96) under den aktuella perioden (1979-2002) klassificerades av Sjöfartsverket som ”1B/1C” vilket gör att det var svårt att bestämt avgöra om hela Vänern varit istäckt. Dessa år, 1991, 1994 och 1996, placerades i gruppen ”år med is” då Dalbosjön och Värmlandssjön troligtvis varit istäckta (pers.

med., Lundqvist, 2003) och hela Vänern ska i princip ha varit istäckt, om än bara tillfälligt eller med tunn is.

Tillgängliga isdata för Vättern bestod av observationer från fem olika platser; Hjo, Karlsborg, Vadstenaviken, södra delen av sjön och Visingsö (figur 1 och bilaga 3), där isläggnings- och islossningsdatum noterats. Precis som för Vänern är observationerna menade att gälla för hela sjön men då sjön är så stor skiljer sig datum för isläggning och islossning åt mellan de olika platserna. Därför behövdes kriterier för att dela in åren i ”år utan is” respektive ”år med is”.

Till gruppen ”år utan is” räknades år då:

- ingen av stationerna hade observationer om att is fanns
- det var isfritt från och med januari
- isen låg kvar mindre än 2 veckor
- is fanns endast i Vadstenaviken som är en grund, skyddad vik. Den är ofta isbelagd trots att det är öppet vatten i mitten av sjön (där mätstationerna för vattenkemi och växtplankton finns)

År 1984 (vintern 83-84) var tvungen att strykas då isdata från de olika platserna var motsägelsefulla. Observationer från vintrarna 93-94, 94-95 och 95-96 saknades helt vilket fick till följd att även åren 1994, 1995 och 1996 uteslöts.

Data över vattenkemi fanns att tillgå från flera olika djup. I denna studie användes mätvärden från 0,5 meters djup vilket kan tyckas inkonsekvent då växtplanktonbiomassan mäts på 0-8 eller 0-25 meters djup. Alternativet hade varit att beräkna en ”medelsammansättning” över motsvarande djup. Detta är tidsödande och då en utvärdering av mätningar i Vänern och Vättern visar att den vattenkemiska sammansättningen i blandprov inte nämnvärt skiljer sig åt från ytprov (Sonesten och Wallin, 2002), har data från 0,5 meters djup utnyttjats. När det gäller vattentemperaturen har data från flera olika djup använts för att konstruera vertikala temperaturprofiler.

## 3.4 STATISTISK BEHANDLING

### 3.4.1 Wilcoxon's test

Wilcoxon's test används genomgående för att testa om någon signifikant skillnad föreligger mellan mätvärden uppmätta under år med respektive utan is i Väner och Vättern.

Ofta när man, som här, vill analysera eventuella skillnader mellan två olika dataset används ett t-test. En av förutsättningarna för att det ska få användas är att mätvärdena är normalfördelade (Johnson, 2000). Det kan avgöras genom att plotta mätvärdena i lämpligt dataprogram och sedan utföra ett normalitetstest. Dock krävs ett stort antal värden för att säkert kunna anta normalfördelning. Därför har istället Wilcoxon's test, som inte kräver att stickprovets fördelning är känd (Blom och Holmquist, 1998), använts. Det är dessutom lämpligt att använda även i de fall då normalfördelning förekommer. För två stickprov, som här är fallet, är Wilcoxon's test nästan lika bra som t-testet (Blom och Holmquist, 1998).

Tillvägagångssättet för Wilcoxon's test är att data som ska analyseras först delas in i två grupper, stickprov 1 och stickprov 2 (i detta fall "år med is" och "år utan is"). Testet avgör sedan om de eventuella skillnader som finns mellan stickproven är signifikanta eller om de endast kan anses vara normala variationer. Detta sker genom att alla värden från de båda stickproven rangordnas i en enda följd, från det minsta till det största. Värdena ges ordningsnummer från 1 till N, där  $N=n_1+n_2$ . Antalet värden i stickprov 1 benämns  $n_1$  medan  $n_2$  står för antalet värden i stickprov 2. Sedan beräknas summan av de  $n_1$  ordningsnumren. Ett lågt värde för denna summa tyder på att fördelningen mellan de två stickproven skiljer sig åt, på så sätt att fördelningen i grupp 1 är förskjuten mot låga värden jämfört med den för grupp 2 (Blom och Holmquist, 1998). Den statistiska säkerheten blir större ju fler värden respektive stickprov innehåller. Dessutom bör antalet värden ( $n_1$  och  $n_2$ ) inte skilja sig alltför mycket åt.

### 3.4.2 Linjär regression

Linjär regression används i denna studie för att undersöka om mängden av ett visst växtplanktonsläkte eller nitrathalten i Vätterns tillflöden vid ett specifikt tillfälle korrelerar med islossningsdatumet samma år. Linjär regression är en metod att finna samband mellan två variabler, x och y, där den ena variabeln påverkar den andra. Normalt kallas x den förklarande, oberoende variabeln och y den förklarade, beroende variabeln (Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, websida, 2004). Regressionsmodellen får formen av en rät linje med ekvationen

$$y=\alpha + \beta x \quad (1)$$

där  $\alpha$  anger linjens intercept, det värde som y har då linjen skär y-axeln ( $x=0$ ). Beteckningen  $\beta$  kallas riktningskoefficient och anger linjens lutning. Den räta linjen anpassas till punkterna (värdena) med hjälp av minsta kvadratmetoden. Som ett mått på hur väl x och y samvarierar, används korrelationskoefficienten  $r^2$ . Vid perfekt korrelation är värdet 1 och vid ingen korrelation är  $r^2=0$ . Dock ger enbart  $r^2$  ingen bild av hur bra regressionen är utan antalet data, n, som används i regressionen är också nödvändig information. Den statistiska säkerheten blir större ju högre n är. Beteckningen p, statistisk signifikansnivå, är ett annat viktigt begrepp som anger sannolikheten att x påverkar y. Exempelvis innebär  $p=0,05$  att x påverkar y med 95 procents säkerhet. Vidare bör x- och y-variablernas frekvensfördelningar vid regressionsanalys vara normalfördelade. Om så inte är fallet används lämpligen olika transformationer (Håkanson och Peters, 1995). Vanliga sådana är log eller olika exponentialfunktioner.

### **3.4.3 Outliers**

För att identifiera eventuella avvikelser i data, så kallade "outliers", utfördes uteliggartest. Det gjordes med hjälp av "outlier box plots" där avvikande värden märktes ut. För alla stationer hade framför allt data över växtplankton stor spridning och flera avvikande värden hittades, men då de inte var orimligt höga eller låga kan de inte antas bero på mätfel. Därför har dessa värden inte tagits bort. I bilaga 5 återfinns 10% och 90% kvartiler för ett urval av de analyserade variablerna.

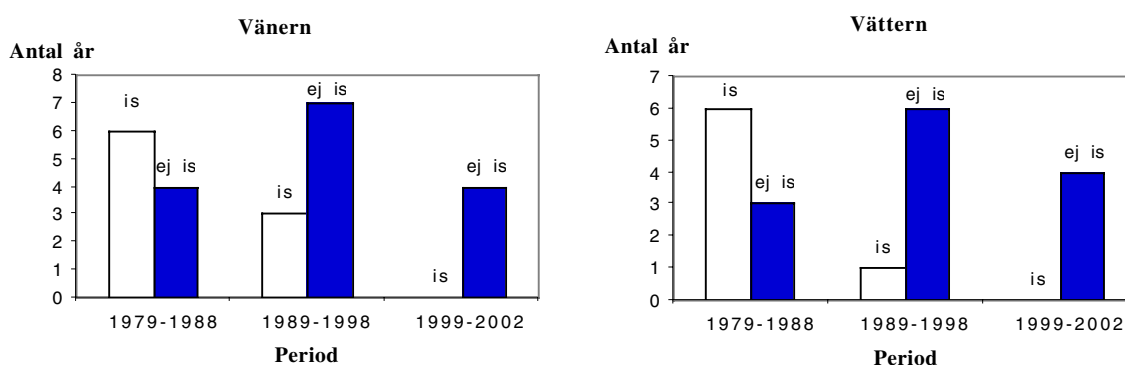
## **4 RESULTAT**

### **4.1 FYSIKALISKA SKILLNADER**

Under åren 1979-2002 har Vänern varit helt isbelagd under totalt nio år medan femton år varit utan is. Vättern har under samma period varit isbelagd under sju år och tretton år har varit utan is (tabell 2). Under perioden 1979-1988 frös sjöarna till is under flertalet av vintrarna, medan trenden var motsatt under perioderna 1989-1998 och 1999-2002 då frekvensen isfria vintrar var hög (figur 2).

**Tabell 2** Isklassificering för Vänern och Vättern.

År	Vänern	Vättern	År	Vänern	Vättern	År	Vänern	Vättern
1979	is	is	1987	is	is	1995	ej is	-
1980	is	is	1988	ej is	ej is	1996	is	-
1981	ej is	ej is	1989	ej is	ej is	1997	ej is	ej is
1982	is	is	1990	ej is	ej is	1998	ej is	ej is
1983	ej is	ej is	1991	is	ej is	1999	ej is	ej is
1984	ej is	-	1992	ej is	ej is	2000	ej is	ej is
1985	is	is	1993	ej is	is	2001	ej is	ej is
1986	is	is	1994	is	-	2002	ej is	ej is

**Figur 2** Uppdelning av år med och utan is i Vänern respektive Vättern under perioden 1979-2002.

Jämförelsen mellan år med respektive utan is gav att lufttemperaturen var signifikant högre vid Karlsborg och Jönköpings flygplats i januari, februari, mars, juli och augusti månad under år utan is jämfört med år med is (tabell 3).

**Tabell 3** Jämförelse av månadsmedellufttemperatur (Wilcoxons test) mellan år med respektive utan is, 1977-1999. Beteckningarna i tabellen har följande betydelse:

- + signifikant ökning av den aktuella variabeln år utan is jämfört med år med is
- signifikant minskning av den aktuella variabeln år utan is jämfört med år med is
- \* signifikansnivå 0,05
- \*\* signifikansnivå 0,01
- e.s ej signifikant skillnad

	Lufttemperatur							
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug
Karlsborg	+**	+**	+*	e.s	e.s	e.s	+*	+*
Jönköpings flygplats	+**	+**	+*	e.s	e.s	e.s	+*	+*

Även vattentemperaturen var signifikant högre ( $p < 0,05$ ) i maj vid fyra av de fem stationerna under de år sjöarna inte varit istäckta. Dagskärsgrund i Vänern var den station där detta mönster inte kunde ses. Under övriga sommarmånader; juni, juli och

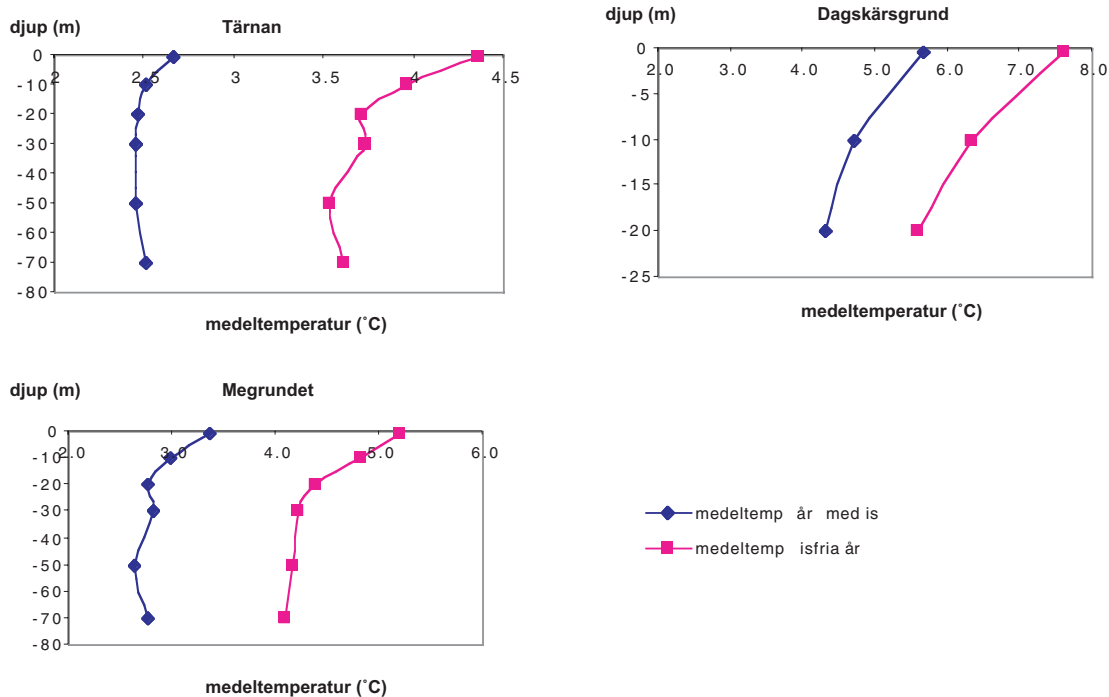


augusti, visade Wilcoxon's test ingen signifikant skillnad i vattentemperatur kopplat till istäcke (tabell 4).

**Tabell 4** Jämförelse av vattentemperatur (Wilcoxon's test) mellan år med respektive utan is, 1979-2002. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

Station		Vattentemperatur			
		maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	+*	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	+*	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	+*	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	+*	e.s	e.s	e.s

Inte enbart ytvattentemperaturen uppvisade skillnad mellan år utan respektive med is, även vattentemperaturprofilerna i maj skiljde sig åt beroende på om sjön varit istäckt eller ej (figur 3). Särskilt vattentemperaturen i vattenskiktet ned till 10 m visade en stark temperaturhöjning under år utan is vid alla stationer i både Vänern och Vättern.



**Figur 3** Vertikala vattentemperaturprofiler i Vänern. Majvärden från åren 1979-2002.

## 4.2 KEMISKA SKILLNADER

I Vänern var pH-värdet högre under år utan is i maj månad vid två av stationerna (Tärnan och Megrundet), däremot fanns inget liknande mönster i Vättern. Nitratkvävehalten ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) uppvisade en signifikant skillnad vid de båda stationerna i Vättern i både maj, juli och augusti månad. Koncentrationerna var högre under de år då sjön inte varit isbelagd. För Vänern upptäcktes inget sådant samband. Mätvärden från juli månad av fosfatfosforhalten ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) var lägre i Vättern under år utan is medan stationerna i Vänern inte uppvisade något mönster. Kiselhalten var signifikant lägre vid en del stationer under vissa månader men något tydligt mönster var svårt att urskilja. I maj uppvisade två av stationerna i Vänern en ökning av klorofyllhalten ( $p < 0,01$ ) under de år då sjön inte varit isbelagd. Inget eller endast mycket svaga samband hittades för syrgas, ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), totalfosfor (tot-P) och absorbans (tabell 5).

**Tabell 5** Jämförelse av kemiska variabler (Wilcoxon's test) mellan år med respektive utan is, 1979-2002. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

Station		Syrgas			
		maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	e.s	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	e.s	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	-*	e.s	-*	e.s
	Jungfrun	-*	e.s	e.s	e.s

Station		pH				$\text{NH}_4\text{-N}$			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	+*	+**	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	+*	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s

Station		$\text{NO}_3\text{-N}$				$\text{PO}_4\text{-P}$			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	-*	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	+*	e.s	+*	+**	e.s	e.s	-**	e-*
	Jungfrun	+*	e.s	+*	+*	e.s	e.s	-*	e.s

	Station	Tot-P				Absorbans			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s

	Station	Kisel				Klorofyll			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	e.s	e.s	e.s	e.s	+**	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	-**	-**	e.s	-*	+**	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	-**	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	e.s	e.s	-*	-*	e.s	e.s	e.s	+

Då nitratkvävehalten var högre i maj, juli och augusti månad i Vättern under år utan is jämfört med år med is (tabell 5), undersöktes samband mellan islossningsdatum, koncentration och transport av nitratkväve i Vätterns tillrinnande vattendrag samt nederbörd genom linjär regression och Wilcoxon's test. Inget samband mellan nitratkvävekoncentrationen i två av Vätterns tillrinnande vattendrag (Forsviksån och Huskvarnaån) och islossningsdatum hittades (tabell 6). Alla p-värden var, med några få undantag, mycket höga.

Inte heller nitratkvävehalten i Forsviksån och Röttleån, som mynnar i Vättern, visade någon signifikant ökning under år utan is (tabell 7). Dock förekom en lägre koncentration i april månad under år utan is. Vad gäller nitratkvävetransporten, den tillförda mängden, till Vättern kunde inga skillnader påvisas mellan år med respektive utan is (tabell 8). Observera att vattenföringsdata från Vätterns utlopp, Motala Ström, användes. Den jämförelse som gjorts av nederbörd visade att nederbördsmängden var signifikant högre under år utan is (tabell 9) i februari månad. Någon annan skillnad kunde inte utläsas.

**Tabell 6** Linjär regression mellan isdata från fem olika observationsplatser och nitratkvävekoncentrationen ( $\text{NO}_3^-$ ) i Forsviksån (data från år 1970-2002) och Huskvarnaån (data från år 1996-2002).

$y = \text{NO}_3^-$  ( $\mu\text{g/l}$ ) och  $x =$  islossningsdatum ( $x=0$  innebär ingen is aktuellt år,  $x=1$  innebär 1 januari osv),

	Isdata från Hjo				Isdata från Karlsborg			
	Ekvation	$r^2$	n	p<	Ekvation	$r^2$	n	p<
Forsv. ån maj	$y=0,68x+202$	0,13	14	0,21	$y=0,75x+174,2$	0,15	9	0,30
Huskv. ån jun	$y=15,1x+1059$	0,34	10	0,08	$y=13,1x+1367$	0,29	6	0,27
Forsv. ån jun	$y=0,89x+129,0$	0,15	14	0,17	$y=0,94x+86$	0,27	9	0,15
Huskv. ån jul	$y=-11,2x+1241$	0,23	5	0,41	-	-	-	-
Forsv. ån jul	$y=0,19x+71,1$	0,02	14	0,66	$y=0,51x+46,8$	0,19	9	0,24
Huskv. ån aug	$y=-7,4x+1871$	0,06	10	0,50	$y=-19,8x+3088$	0,20	7	0,31
Forsv. ån aug	$y=-0,06x+43,7$	0	14	0,86	$y=0,15x+29,7$	0,06	9	0,54

	Isdata från södra delen				Isdata från Visingsö			
	Ekvation	$r^2$	n	p<	Ekvation	$r^2$	n	p<
Forsv. ån maj	$y=0,76x+171,9$	0,14	19	0,11	$y=0,77x+186,8$	0,20	22	0,04
Huskv. ån jun	$y=17,0x+1422$	0,48	8	0,06	-	-	-	-
Forsv. ån jun	$y=0,57x+112$	0,09	19	0,22	$y=0,52x+127$	0,08	22	0,19
Huskv. ån jul	-	-	-	-	-	-	-	-
Forsv. ån jul	$y=0,19x+43,7$	0,03	19	0,45	$y=0,25x+47,9$	0,06	22	0,28
Huskv. ån aug	$y=-22,4x+3038$	0,26	8	0,20	-	-	-	-
Forsv. ån aug	$y=0,10x+24,2$	0,02	19	0,53	$y=0,16x+25,1$	0,06	22	0,28

	Isdata från Vadstenaaviken			
	Ekvation	$r^2$	n	p<
Forsv. ån maj	$y=-0,13x+217$	0	15	0,85
Huskv. ån jun	$y=4,1x+1490$	0,02	11	0,65
Forsv. ån jun	$y=0,59x+99,7$	0,05	15	0,40
Huskv. ån jul	$y=16,6x+2472$	0,54	4	0,26
Forsv. ån jul	$y=0,38x+39,0$	0,06	15	0,40
Huskv. ån aug	$y=-20,2x+3394$	0,21	11	0,16
Forsv. ån aug	$y=-0,18x+61,8$	0,02	15	0,64

**Tabell 7** Jämförelse (Wilcoxon's test) av nitratkvävekoncentrationerna i Forsviksån och Röttleån mellan år med respektive utan is under perioden 1977-2002. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

	$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{g/l}$ )							
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug
Forsviksån	e.s	e.s	e.s	-*	e.s	e.s	e.s	e.s
Röttleån Gränna	e.s	e.s	e.s	-*	e.s	-*	e.s	e.s

**Tabell 8** Jämförelse (Wilcoxon test), av nitratkvävetransporten i Forsviksån (data från år 1979-2002) och Röttleån (data från år 1979-1996) beräknat med hjälp av vattenföringsdata från Motala ström, mellan år med respektive utan is. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

	Transport				
	jan	feb	mar	apr	maj
Forsviksån	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Röttleån Gränna	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s

**Tabell 9** Jämförelse (Wilcoxons test) av nederbörds mängd mellan år med respektive utan is. Data från Karlsborg och Flahult, i närheten av Jönköping, från åren 1977- 1999. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

	Nederbörd (mm/månad)							
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug
Karlsborg	e.s	+*	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Flahult	e.s	+**	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s

### 4.3 BIOLOGISKA SKILLNADER

Vid samtliga fem stationer i Vänern och Vättern var totalbiomassan växtplankton signifikant högre i maj under år som inte varit isbelagda jämfört med år med is (tabell 10). En tydlig ökning i samma månad uppvisade kiselalger, vars biomassa var signifikant högre i både Vänern och Vättern. Vid tre av de fem stationerna var signifikansnivån mycket hög ( $p < 0,01$ ). Framför allt var det arten *Aulacoseira* som stod för denna ökning, dess biomassa var högre under år utan is jämfört med år med is (tabell 11). Signifikansnivån var mycket hög ( $p < 0,01$ ) vid fyra av stationerna då biomassan mäts som  $\text{mm}^3/\text{l}$  men även då enheten var antal celler/liter var signifikansnivån hög. Ingen annan art av kiselalger visade något entydigt mönster (tabell 11 och figur 4).

**Tabell 10** Jämförelse av biologiska variabler (Wilcoxon's test) mellan år med respektive utan is, 1979-2002. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

<b>Station</b>		<b>Total biomassa</b>				<b>Kiselalger</b>			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	+**	e.s	e.s	e.s	+**	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	+**	+*	e.s	e.s	+**	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	+*	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	+*	e.s	e.s	e.s	+*	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	+*	e.s	e.s	e.s	+**	e.s	e.s	e.s

<b>Station</b>		<b>Cryptomonader</b>				<b>Dinoflagellater</b>			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	+**	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Megrundet N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	+*	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	+**	e.s	e.s
	Jungfrun	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s

<b>Station</b>		<b>Guldalger</b>				<b>Cyanobakterier</b>			
		maj	jun	jul	aug	maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	+*	e.s	e.s
	Megrundet N	e.s	+**	e.s	e.s	e.s	+*	+*	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	+**	+*	e.s
Vättern	Edeskvärna	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	e.s	e.s	e.s	e.s	+*	e.s	e.s	e.s

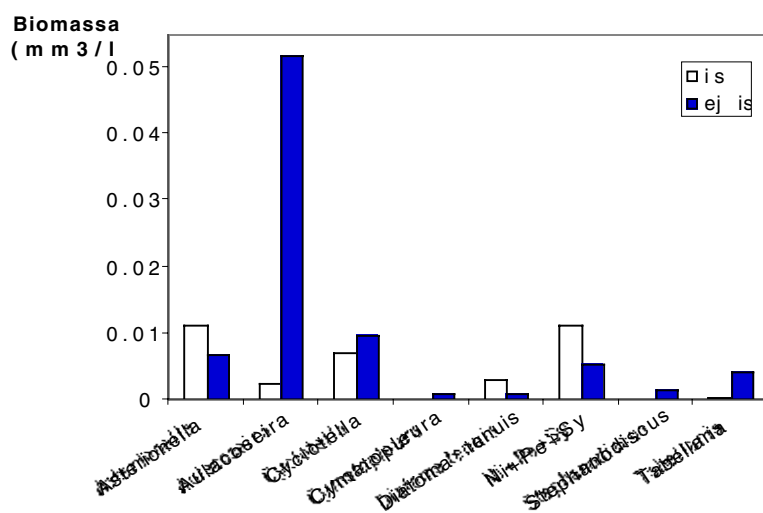
<b>Station</b>		<b>Grönalger</b>			
		maj	jun	jul	aug
Vänern	Tärnan SSO	+*	e.s	e.s	+*
	Megrundet N	+*	e.s	e.s	e.s
	Dagskärsgrund N	e.s	+*	e.s	e.s
Vättern	Edeskvärna	e.s	e.s	e.s	e.s
	Jungfrun	e.s	e.s	e.s	e.s

**Tabell 11** Jämförelse av kiselalgsarter (Wilcoxons test) i maj månad mellan år med respektive utan is, 1979-2002. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

	Art	Tärnan SSO		Megrundet N		Dagskärsgrund N	
		# celler/l	mm <sup>3</sup> /l	# celler/l	mm <sup>3</sup> /l	# celler/l	mm <sup>3</sup> /l
Vänern	<i>Asterionella</i>	e.s	e.s	+*	e.s	e.s	e.s
	<i>Aulacoseira</i>	+*	+**	+**	+**	e.s	+*
	<i>Cyclotella</i>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Cymatopleura</i>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Diatoma tenuis</i>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Nitz.+Penn.+Syn.<sup>1)</sup></i>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Stephanodiscus</i>	e.s	+*	e.s	+*	e.s	e.s
	<i>Tabellaria</i>	+*	+*	e.s	e.s	e.s	e.s

	Art	Edeskvärna		Jungfrun	
		# celler/l	mm <sup>3</sup> /l	# celler/l	mm <sup>3</sup> /l
Vättern	<i>Asterionella</i>	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Aulacoseira</i>	+**	+**	+*	+**
	<i>Cyclotella</i>	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Cymatopleura</i>	e.s	e.s	+*	+*
	<i>Diatoma tenuis</i>	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Nitz.+Penn.+Syn.<sup>1)</sup></i>	e.s	-*	e.s	-*
	<i>Stephanodiscus</i>	+*	+*	e.s	e.s
	<i>Tabellaria</i>	+*	+*	e.s	e.s

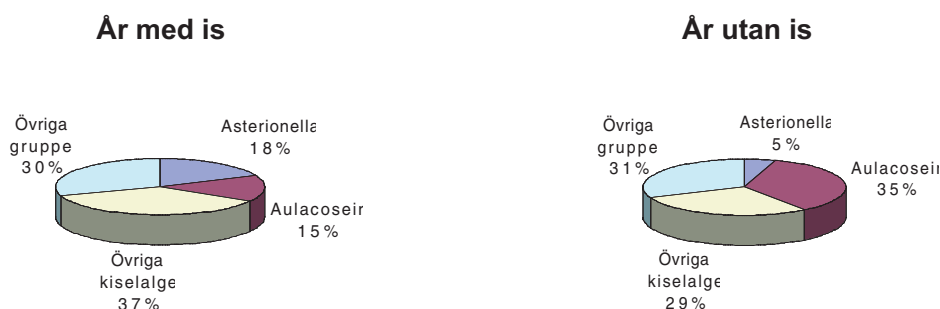
<sup>1)</sup> Då *Nitzschia*, *Pennales* och *Synedra* är lika varandra med avseende på utseende och levnadssätt slogs de samman.



**Figur 4** Biomassa kiselalger vid stationen Edeskvärna i Vättern, uppdelat i olika arter. Medelvärde för maj månad 1979-2002.

I maj utgjorde kiselalgen *Aulacoseira* en stor del av den totala biomassen växtplankton, under år utan is var andelen så hög som 35 procent. Under år med is var siffran 15 procent (figur 5). *Asterionella* är en annan kiselalg vars biomassa utgjorde 18 procent av den totala biomassen under år med is och fem procent under år utan is. Dessa siffror

kommer från stationen Edeskvarna i Vättern men även stationen Jungfrun och de tre stationerna i Vänern uppvisade liknande siffror.



**Figur 5** Andel kiselalger av total biomassa (%) i maj, år med respektive utan is. Medelvärde från Edeskvarna under perioden 1979-2002.

Trots att en klar koppling mellan isfria år och ökad biomassa av *Aulacoseira*, fanns inget samband mellan islossningsdatum och Aulacoseiramängd. Signifikant utslag gav utförd linjär regression endast med isdata från södra delen av Vättern samt Hjo (tabell 12), där ett negativt samband mellan islossningsdatum och biomassa noterades.

**Tabell 12** Linjär regression mellan islossningsdatum och biomassan *Aulacoseira* i maj.  $x$ =islossningsdatum (1=1 januari etc.) och  $y$ = antal celler/l, uppmätt i maj månad, år med is, under perioden 1979-2002. År utan is ( $x=0$ ) är ej med i regressionen.

Station		Isdata från Mariestadssjön				Isdata från Brandsfjorden			
		Ekvation	$r^2$	n	p<	Ekvation	$r^2$	n	p<
Vänern	Tärnan	$y = 4190x + 3 \cdot 10^6$	0	14	0,87	$y = -126180x + 2 \cdot 10^7$	0,65	15	0
	Dagskärsgrund	$y = 12890x + 2 \cdot 10^6$	0,01	14	0,76	$y = 30846x + 455279$	0,03	15	0,51
	Megrundet	$y = 10732x + 2 \cdot 10^6$	0,02	14	0,67	$y = -30222x + 7 \cdot 10^6$	0,02	15	0,59

Station		Isdata från Hjo				Isdata från Vadstenaviken			
		Ekvation	$r^2$	n	p<	Ekvation	$r^2$	n	p<
Vättern	Edeskvarnaån	$y = -2809x + 309010$	0,80	5	0,04	$y = -1870x + 310346$	0,14	12	0,24
	Jungfrun	$y = -8438x + 823680$	0,83	6	0,01	$y = -9723x + 293754$	0,01	12	0,81

Station		Isdata från södra delen				Isdata från Visingsö			
		Ekvation	$r^2$	n	p<	Ekvation	$r^2$	n	p<
Vättern	Edeskvarnaån	$y = -3497x + 386359$	0,63	7	0,03	$y = -11941x + 1 \cdot 10^6$	0,38	8	0,11
	Jungfrun	$y = -12234x + 1E+06$	0,64	7	0,03	$y = 1811x - 59538$	0,01	8	0,85



Även cyanobakterier visade sig förekomma i större mängd under isfria år, en ökning av biomassan noterades i Vänern i juni (tabell 10). *Aphanizomenon flos-aquae* stod för denna ökning, biomassan var signifikant högre vid samtliga tre stationer i Vänern denna månad under år med is (tabell 13). Speciellt tydlig var ökningen i Dagskärsgrund ( $p < 0,01$ ). *Aphanizomenon flos-aquae* utgjorde i genomsnitt nio procent av Vänerns totala biomassa i juni under år med is. Under år utan is var andelen högre, 17 procent (figur 6).

**Tabell 13** Jämförelse av cyanobakteriearter (Wilcoxon's test) i juni månad mellan år med respektive utan is, 1979-2002. För beteckningarnas betydelse se tabell 3.

	Art	Tärnan SSO		Megrundet N		Dagskärsgrund N	
		# celler/l	mm <sup>3</sup> /l	# celler/l	mm <sup>3</sup> /l	# celler/l	mm <sup>3</sup> /l
Vänern	<i>Anabaena</i>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	+*	+*	+*	+*	+**	+**
	<i>Gomph.+Woron.</i> <sup>1)</sup>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s
	<i>Oscillat.+Plankt.</i> <sup>2)</sup>	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s	e.s

<sup>1)</sup> Då *Gomphosphaeria* och *Woronichinia* är lika varandra med avseende på utseende och levnadssätt slogs de samman.

<sup>2)</sup> Då *Oscillatoria* och *Planktothrix* är lika varandra med avseende på utseende och levnadssätt slogs de samman.



**Figur 6** Andel *Aphanizomenon* av total biomassa (%) i juni, år med respektive utan is. Medelvärde från Tärnan under perioden 1979-2002.

Utöver ökningen av kiselalger och cyanobakterier isfria år upptäcktes inga tydliga skillnader vad gäller växtplankton, men en större mängd grönalger noterades vid två av stationerna i Vänern i maj isfria år (tabell 10). Denna grupp stod dock för en mycket liten andel av den totala biomassan i maj (<1%), vilket beror på att de inte utvecklas i stora mängder förrän senare under året. Därför behandlas denna grupp inte närmare.

## 5 DISKUSSION

Generellt sett kan sägas att skillnaderna mellan år med respektive utan is var större i maj än senare under sommaren. Detta är naturligt då isens effekter har större betydelse i början av året än på sommaren. De största skillnaderna noterades för luft- och vattentemperatur och även tydliga biologiska skillnader kunde upptäckas. Däremot fanns få entydiga skillnader i vattenkemi.

### 5.1 FYSIKALISKA SKILLNADER

Vänern och Vättern fryser allt mer sällan till is vintertid (figur 2) vilket är i enlighet med tidigare studier. Om medeltemperaturen i Sverige fortsätter att öka som flera klimatmodeller förutspår (SMHI, websida, 2004) är det sannolikt att Vänern och Vättern även i framtiden fryser till is mer sällan. Som väntat var lufttemperaturen en viktig variabel för om sjöar istäcks eller inte vintertid; Vänern och Vättern täcktes inte lika ofta med is under mildare vintrar som under kallare (tabell 3).

Vattentemperaturprofilerna (figur 3) visar att temperaturen i maj generellt sett var högre under år utan is vid samtliga undersökta stationer i både Vänern och Vättern. Detta är naturligt då år utan is ofta är milda vintrar med relativt hög lufttemperatur (tabell 3) och detta påverkar vattentemperaturen. Temperaturprofilerna bekräftar också den högre vattentemperaturen i ytskiktet under isfria år (tabell 4). Intressant är att skillnaden, mellan år med respektive utan is, procentuellt sett är större i ytskiktet jämfört med längre ned i vattenpelaren. Speciellt tydligt är detta vid de båda stationerna i Vättern, Edeskvarnaån och Jungfrun. Det kan motsvara den uppvärmning som sker tidigt på sommaren genom absorption av solenergi samtidigt som vattnet inte omblandas i någon stor utsträckning (Ahlgren, a, 1999). Eventuellt kan det också vara etablerandet av ett temperatursprångskikt, början till skiktning, som ses.

### 5.2 KEMISKA SKILLNADER

pH-värdet i sjöarna uppvisar inte något entydigt mönster för alla stationer (tabell 5) men det är signifikant högre i maj under år utan is vid Tärnan och Megrundet i Vänern. Detta är vad man kan förvänta sig då biomassan växtplankton är signifikant högre under denna månad (tabell 10) och vid fotosyntes förbrukas koldioxid. Det gör att koldioxidjämvikten förskjuts och pH-värdet stiger. Även tidigare studier har gett samma resultat, se exempelvis Weyhenmeyer (2004). Den tredje stationen i Vänern, Dagskärsgrund, och de två stationerna i Vättern uppvisar ingen pH-höjning trots att biomassan är större även här (tabell 10). En förklaring kan vara att dessa stationer är mindre produktiva än Tärnan och Megrundet.

Ytterligare en kemisk variabel, kisel, uppvisade en skillnad mellan år med respektive utan is. Halten är signifikant lägre under år utan is vid några stationer under vissa månader, vilket är svårt att förklara då skillnaderna inte är entydiga. Möjligen kan den lägre halten delvis kopplas till den högre andelen kiselalger (tabell 10) då denna grups kiselupptag är stort. Eventuellt kan kisel vara begränsande för kiselalgers tillväxt, uppmätta värden för kisel på 0,5 m djup varierar mellan 0,1 och 0,5 mg/l i maj (ungefär samma värden finns noterade för sommarmånaderna) i både Vänern och Vättern under åren 1979-2002 (bilaga 5). Då halter under 0,5 mg Si/l är kritiska för kiselalgen *Aulacoseiras* tillväxt (Boney, 1975 och Lund, 1955) kan kisel vara begränsande i Vänern och Vättern i maj. Det är dock ofta svårt att bestämma om ett visst ämne är tillväxtbegränsande för växtplankton vid en given tidpunkt eftersom koncentrationen i vattnet representerar balansen mellan konsumtion och tillgång. En låg koncentration av ett näringsämne behöver nödvändigtvis inte betyda att det är brist på ämnet. Vilken koncentration som är begränsande beror även på övriga näringsämnen koncentrationer och andra faktorer, till exempel förmågan för celler att lagra ett reservförråd av ett visst ämne (Fogg, 1975).

Vad gäller övriga variabler finns inga tydliga skillnader förutom nitratkvävehalten som är högre i maj, juli och augusti månad i Vättern under år utan is jämfört med år med is (tabell 5). En förklaring till förhöjda nitrathalter kan vara att processer i avrinningsområdet kan förändras under mildare vintrar. Tanken var att påvisa detta genom att hitta eventuella skillnader mellan nitratkvävekoncentrationen i Vätterns tillflöden mellan varma och kalla år (år utan respektive med is). På detta sätt skulle den ökade nitratkvävekoncentrationen i Vättern under år utan is kunna förklaras. Dock kunde inte islossningsdatumet korreleras till nitratkvävekoncentrationen i Vätterns två största tillrinnande åar, Huskvarnaån och Forsviksån, med hjälp av linjär regression (tabell 6). Alla p-värden är, med några få undantag, mycket höga och resultatet motsäger sig själv i flera fall. Inte heller jämförelse (Wilcoxons test) av nitratkvävehalten i Forsviksån och Röttleån kunde förklara den förhöjda nitratkvävekoncentrationen i Vättern under år utan is (tabell 7). Anledningen till detta resultat kan vara att de tillrinnande vattendragens koncentration av nitrat i sig inte är viktig, utan det är den tillförda *mängden* som har betydelse. För att beräkna denna transport behövdes vattenföringsdata. Tyvärr fanns detta endast från och med år 1983, vilket gör att antalet år i gruppen ”år med is” blev för lågt för att kunna utföra Wilcoxons test. Istället användes vattenföringsdata från Vätterns utlopp, Motala Ström. Tanken är att flödesmönstret där liknar det i tillflödena. Det absoluta värdet spelar ingen roll då det är skillnaden, års till årsvariationen, som är intressant. Men inte heller Wilcoxons test med denna transportberäkning gav någon förklaring (tabell 8). Detta kan bero på att Vätterns utlopp, Motala Ström, är reglerad. Dessutom är mängden tillfört vatten liten jämfört med Vätterns volym och det tar relativt lång tid innan förändringar i tillflödenas vattenkvalitet påverkar sjön som helhet. Därför, med Vätterns långa

omsättningstid i åtanke, är de ökningarna i nitratkvävekoncentration som ses (tabell 5) svåra att sätta i relation till vattenkemin i tillflödena från samma period.

Även nederbördsdata användes för att försöka förklara höjningen av nitratkvävekoncentrationen (tabell 9). Jämförelsen visar att mer nederbörd har fallit i februari månad under år utan is än under år med is. Det är svårt att koppla samman detta med Vätterns förhöjda nitratkvävekoncentration i maj, juli och augusti månad. Den mängd nitratkväve som tillförs med nederbörden är förhållandevis liten men läckage från avrinningsområdet under längre tid kan påverka Vättern. Detta har dock inte påvisats i denna studie och slutsatsen blir därför att den observerade nitratkoncentrationsökningen i Vättern är svår att direkt koppla till islossningsdatum, tillrinnande flödets koncentration eller nederbörd. Man ska ha i åtanke att tillförlitliga vattenföringsdata saknades, kanske hade resultatet i annat fall blivit annorlunda. Tidigare, under perioden 1971-1994, har ökade halter av nitrat i Vätterns utlopp noterats (Wilander och Willén, 1996). Detta antogs bero på ökande deposition av nitrat på sjöns yta.

### 5.3 BIOLOGISKA SKILLNADER

I både Väneren och Vättern står kiselalgen *Aulacoseira*, trådkisel, för ökningen av den totala biomassan växtplankton i maj och i flera fall är signifikansnivån mycket hög ( $p < 0,01$ ). Mönstret är inte lika tydligt vid Dagskärsgrund, vilket möjligen kan bero på att Dagskärsgrund ligger i ett skärgårdsområde där det är varmare än längre ut i vattnet. Vårens kiselalgsutveckling kan därför redan ha skett innan mätningen ägde rum i mitten av maj. *Aulacoseira*utvecklingen sker vanligen tidigare i kustnära områden än ute i centrala sjön på grund av en tidigare uppvärmning av vattenmassan (pers. med., Willén, 2004).

Förklaringen till att mängden *Aulacoseira* är större under år utan is är sannolikt att detta släkte är försett med ett kiselskal som kraftigt påverkar dess densitet. De kan därför inte utvecklas i fria vattnet utan kraftiga vattenrörelser. Detta gör att de gynnas under varmare år då vinden får fritt tillträde till vattenmassan genom att ett skyddande istäcke saknas. Äldre engelska studier har tydligt visat att påtaglig vattenturbulens krävs för att hålla *Aulacoseira* i den eufotiska zonen (Lund, 1955). Vikten av turbulens för *Aulacoseira* påvisas även av Agbeti m fl (1997) som undersökt växtplanktonets förekomst i två sjöar med liknande vattenkemi men olika omblandningsmönster. Andra studier gjorda i stora, turbulenta sjöar som Ladoga, Onega, Bajkalsjön, Winnipeg och de Stora sjöarna i Nordamerika visar att just *Aulacoseira* förekommer i stora mängder under dessa förhållanden (Willén, 1991). Även Gerten och Adrian (2000) visade att ovanligt stora mängder kiselalger utvecklades efter vintrar med kort period av is, eller ingen is alls, och under turbulenta förhållanden.

*Aulacoseira* dominerar växtplanktonsammansättningen i både Vänern och Vättern i maj under år utan is (figur 5). En annan kiselalg, *Asterionella formosa*, utgör även den en relativt stor del av den totala biomassan isfria år men andelen är mindre än *Aulacoseiras*. *Asterionella* påverkas således i mindre utsträckning än *Aulacoseira* av isens frånvaro. Förklaringen till detta är sannolikt att *Asterionella* inte innehåller lika mycket kisel som *Aulacoseira* och är därför lättare. Dessutom är *Asterionella* stjärnformad, vilket gör att dess flytförmåga är större och därmed är denna art inte lika beroende av turbulens som *Aulacoseira* (pers. med., Willén, 2004).

Det kan tyckas märkligt att mängden *Aulacoseira* i maj är beroende av om det funnits is eller inte under vintern då isen ändå försvunnit i mars eller april. En trolig förklaring är att *Aulacoseira* redan i april gynnas av den turbulens som uppstår tack vare frånvaro av is och får på så sätt en bra start och börjar tillväxa. Arten får därigenom en konkurrensfördel mot andra kiselalger och finns därmed kvar i den eufotiska zonen också i maj, även sedan en viss skiktning av vattenmassan inträtt (figur 3). Det går heller inte att utesluta att ökningen av *Aulacoseira* även beror på den i maj högre vattentemperaturen (tabell 4) under år utan is. Hög vattentemperatur är inte lika viktig för *Aulacoseira* som för andra växtplanktonarter men studier har visat att tillväxten är som högst vid vattentemperaturer kring 5°C (Willén, 1991). I Vänern och Vättern ligger temperaturen i det övre vattenskiktet just i detta intervall under år utan is (figur 3).

Ytterligare en anledning till *Aulacoseiras* ökning kan vara att isens frånvaro ger bättre ljusförhållanden. Ett svagt sådant räcker för att *Aulacoseira* ska föröka sig medan ett för starkt ljus till och med är skadligt (Lund, 1995). Mängden *Aulacoseira* på våren styrs även av hur stor populationen var föregående säsong. Lund (1955) drog slutsatsen att ett år med lite *Aulacoseira* ger färre ympkroppar i sedimenten vilket påverkar utvecklingen nästa vår negativt, även om vintern skulle vara isfri.

Enligt Fogg (1975) kan man ofta upptäcka en nedgång i sjöars kiselkoncentration vid de tillfällena då kiselalger uppvisar ett tillväxtsmaximum. Så är fallet vid två av stationerna i Vänern (Megrundet och Dagskärsgrund) där kiselhalten i maj under år utan is är signifikant lägre ( $p < 0,01$ ) jämfört med år med is (tabell 5). Vid stationen Tärnan i Vättern och de tre stationerna i Vänern ses dock inget sådant mönster, vilket är svårt att förklara. Förutom kisel är fosfor ett viktigt näringsämne för kiselalger (pers. med., Willén, 2003). Fosfortillgången kan inte förklara ökningen av *Aulacoseira* i maj under de isfria åren då varken fosfatfosfor- eller totalfosforhalten i maj uppvisar någon signifikant skillnad (tabell 5).

Då biomassan *Aulacoseira* är större i maj månad under år som inte varit isbelagda (tabell 11) är det rimligt att anta att även islossningsdatumet har betydelse för *Aulacoseiras* tillväxt. Vårens maximum borde således inträffa tidigare ju tidigare isen försvunnit. Att hitta ett sådant samband med hjälp av befintliga data är svårt då

mätningarna före år 1996 startade först i maj månad. Det är troligt att *Aulacoseiras* maximum sker tidigare än så, troligtvis i april, om isen går tidigt. Mot denna bakgrund är det inte konstigt att den linjära regressionen uppvisar så låg signifikansgrad (tabell 12). P-värdet är sällan lägre än 0,05. Islossningsobservationerna gjorda för Vättern i Hjo och vid södra delen av sjön uppvisar högst signifikansnivå ( $p < 0,05$ ) med mängden *Aulacoseira* och visar att biomassan i maj är högre ju tidigare isen försvinner. Värt att notera är att antalet år, n, är så lågt som fem i ett av fallen. Det förväntade resultatet hade varit att biomassan *Aulacoseira* i maj hade varit låg om isen gått tidigt eftersom tillväxten då troligen redan haft sin topp, sannolikt i april. Data från övriga platser ger inte något samband alls mellan islossningsdatum och *Aulacoseira*utveckling. En förklaring till att signifikansnivån varierar så mycket beroende på varifrån isdata kommer, är att islossningen sker vid olika tidpunkter vid olika platser. Därför blir resultatet inte entydigt när man matchar islossningsdatum från olika platser mot data över biomassa taget från respektive mätstation för växtplankton. Dessutom behöver eventuella samband inte vara linjära utan andra varianter kan förekomma.

Det är beklagligt att provtagningar normalt har påbörjats först i maj varje år. För denna studie hade det varit värdefullt att ha data över växtplankton i april månad från fler år än från och med 1996 då reguljär provtagning i denna månad påbörjades. Även vattenkemiska data över kisel hade varit värdefullt då man med hjälp av det kan dra slutsatser om när *Aulacoseira* har sitt tillväxstmaximum. Om kiselhalten exempelvis är hög i mars och låg i maj kan man anta att maximumet skett i april eller maj.

Eftersom *Aulacoseira* utgör en mycket stor del av biomassan i både Vänern och Vättern i maj isfria år, i medeltal cirka 35 procent av den totala biomassan (figur 5), är det av intresse att diskutera vilka konsekvenser ökningen kan få. En effekt är att fiskare kan komma att få mer problem. Redan nu rapporterar fiskare i både Vänern och Vättern (Wilander och Willén, 1996 och Bengtsson, 2000) om hur kiselalger, ofta *Aulacoseira*, sätter sig på fiskenät och synliggör dessa för fisken så att fångst uteblir. Dessutom kan växtplankton ibland ge medicinska olägenheter som klåda och hudutslag (Wilander och Willén, 1996). Även andra problem kan uppkomma då mängden växtplankton ökar, oavsett vilken art det gäller. En alltför hög halt kan leda till syrebrist, minskat siktdjup och en förändrad artfördelning (Dillon och Rigler, 1974). En allmän ökning av kiselalger kan ha en positiv verkan på bottenfauna då kiselalger som sedimenterat ner på botten är en god födoresurs (pers. med., Willén, 2004).

Biomassan cyanobakterier är större i Vänern i juni isfria år (tabell 10) och *Aphanizomenon*, knippvattenblom, är arten som står för ökningen (tabell 13). Denna art av cyanobakterier har gasblåsor, fyllda med luft, som gör att positionen i vattnet kan regleras (Willén, 2001) vilket gör att det är svårt att koppla ökningen till isens frånvaro. Vattentemperaturen är inte signifikant högre i Vänern i juni månad (tabell 4), däremot i maj. Det är dock svårt att säga att detta är orsaken till ökningen av *Aphanizomenon*.

Absorbansen uppvisar inte något mönster (tabell 5), vilket skulle kunna tyda på att inte heller ljusändringar har betydelse. Siktdjupet i Vänern har ökat från 1970-talet till mitten av 1990-talet (Vänerns vattenvårdsförbund, 2003) vilket har medfört klarare vatten. Detta kan vara orsaken till ökningen av *Aphanizomenon* under år utan is då dessa år delvis sammanfaller med den period då siktdjupet ökat. I samband med vattnets uppklärnande har också andelen cyanobakterier i allmänhet ökat i sjön.

Konsekvensen av en ökad mängd *Aphanizomenon* är värd att nämna eftersom de besitter förmågan att producera toxiner (Fogg m fl, 1973). Dessa är på olika sätt skadliga för både djur och människor (Willén, 2001) och att bada eller dricka cyanorikt vatten kan leda till sjukdom eller döden. Cyanobakterier kan också vålla problem för fiskeindustrin och i vattenverk eftersom de kan producera lukt- och smakämnen (Willén, 2001).

## 5.4 FELKÄLLOR

Fel eller osäkerhet i data är alltid en felkälla, varje värde har en osäkerhet beroende på mätmetod, analysmetod och så vidare. Både de vattenprov som använts till att analysera växtplanktonbiomassan och de vattenkemiska variablerna är tagna vid endast ett tillfälle per månad och enbart som ett prov per mätstation. Det är alltid en fördel med fler värden eftersom man då kan beräkna ett medelvärde eller lättare upptäcka eventuella mätfel vid jämförelse som visar orimliga skillnader. Framför allt finns risk för stora variationer hos halten av vissa växtplankton. Exempelvis kan växtplanktonprover tagna på samma plats i en sjö variera mycket från dag till dag på grund av vindinducerade vattenrörelser (Fogg, 1975).

Mätningarna är inte alltid gjorda samma datum i månaden år efter år. Ofta är proverna tagna runt den 15:e i varje månad men långt ifrån alltid. Detta kan påverka resultatet då mycket kan hända enbart under en tvåveckors period. Till exempel kan vattentemperaturen och biomassan av en viss art skilja sig mycket åt mellan början och slutet av en månad.

Indelning i de två grupperna; år utan respektive år med is, är osäker. För Vätterns indelning användes observationer som uppger isläggnings- och islossningsdatum och däremellan antas isen ligga kvar. I själva verket kan det vara så att isen gått upp däremellan och sedan frusit till igen. Som islossningsdatum räknas den dag då isen är borta, med undantag av mindre partier med is (Eklund, 1999).

## 6 SLUTSATSER

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras

- Skillnaderna mellan år med respektive utan is är generellt sett större i maj än senare under sommaren
- Vattentemperaturen är högre i maj under år utan is. För övriga månader, juni, juli och augusti, förekommer ingen signifikant skillnad
- Inga entydiga skillnader i vattenkemi kan ses men nitratkvävehalten i Vättern är högre i maj, juli och augusti under år utan is
- Kiselalgen *Aulacoseira* förekommer i större mängd i både Vänern och Vättern i maj under år utan is. Sannolikt kan detta kopplas till frånvaron av is tidigare samma år och/eller den högre vattentemperaturen samma månad
- Cyanobakterien *Aphanizomenon flos-aquae* förekommer i större mängd i Vänern i juni under år utan is

Detta innebär att vattenkvaliteten och växtplanktonutvecklingen med stor sannolikhet kommer att förändras i framtiden när Sveriges sjöar på grund av ett mildare klimat inte längre fryser till is.



## REFERENSER

### LITTERATUR

Agbeti, M.D., Kingston, J.C., Smol, J.P. och Watters, C., 1997. "Comparison of phytoplankton succession in two lakes of different mixing regimes". Archiv für hydrobiologie, 140 (1): 37-69.

Ahlgren, I., a, 1999. "Vattnets egenskaper, skiktning och strömmar". Litteraturkompendium från kursen Akvatisk ekologi för civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet.

Ahlgren, I., b, 1999. "Syrgas, redoxpotential, järn, svavel". Litteraturkompendium från kursen Akvatisk ekologi för civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet.

Ahlgren, I., c, 1999. "Kväve och fosfor". Litteraturkompendium från kursen Akvatisk ekologi för civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet.

Ahlgren, I., d, 1999. "Akvatiska ekosystemens struktur". Litteraturkompendium från kursen Akvatisk ekologi för civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet.

Bengtsson, R., 2000. "Alger som fastnar på fisknät i Vänern, Mälaren och Hjälmaren". Rapport nr 14, Vänerens vattenvårdsförbund.

Blenckner, T., 2001. Climate related impacts on a lake: from Physics to Biology, Acta Universitatis Upsaliensis, Tryck & Medier, Uppsala.

Blom, G. och Holmquist, B., 1998. Statistikteori med tillämpningar, Studentlitteratur, Lund.

Boney, A.D., 1975. Phytoplankton, Edward Arnold, London.

Christensen, A., 2002. "Livet vid Vänern, Vättern och Mälaren. En berättelse om natur och miljö". 1403-6134 Vänerens vattenvårdsförbund, 1102-3791 Vätternvårdsförbundet.

Dillon, P.J. och Rigler, F.H., 1974. "The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes". Limnology and Oceanography, 19: 767-773.

Eklund, A., 1999. "Isläggning och islossning i svenska sjöar". Nr 81, SMHI Hydrologi.

Fogg, G.E., Stewart, W.D.P. och Walsby, A.E., 1973. The blue-green algae, Academic Press, Storbritannien.

Fogg, G.E., 1975. Algal cultures and phytoplankton ecology, The university of Wisconsin Press, USA.

Gerten, D. och Adrian, R., 2000. "Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation". *Limnology and Oceanography*, 45 (5): 1058-1066.

Håkanson, L. och Peters, R.H., 1995. Predictive limnology- methods for predictive modelling, Academic Publishing, Amsterdam.

Johnson, R.A., 2000. Probability and statistics for engineers, Prentice- Hall, USA.

Lenmark, I. och Andersson, E., 1993. Sjö och älv- en bok om djur och växter i sötvatten, Aarhus Stiftsbogtrykkeri, Danmark.

Lotter, A.F. och Bigler, C., 2000. "Do diatoms in the Swiss alps reflect the length of ice-cover?". *Aquatic Sciences*, 62 (2): 125-141.

Lund, J.W.G., 1955. "Further observations on the seasonal cycle of *Melosira italica* (ehr.) kütz. Subsp. Subarctica o. Müll". *Journal of Ecology*, 43 (1): 90:102.

Lund, J.W.G., 1971. "An artificial alteration of the seasonal cycle of the plankton diatom *Melosira italica* subsp. subarctica in an English lake". *Journal of Ecology*, 43 (1): 90:102.

Maitland, P.S., 1978. Biology of fresh waters, Robert MacLehose and Company Limited, Storbritannien.

Naturvårdsverket, 1990. "Stora sjöar, miljösituation och förslag till åtgärder". Rapport 3839, Bilaga till Sötvatten '90.

Raven, P.H., Evert, R.F. och Eichhorn S.E., 1999. Biology of plants, W.H. Freeman, New York.

Richardson, T.L., Gibson, C.E. och Heaney, S.I., 2000. "Temperature, growth and seasonal succession of phytoplankton in Lake Baikal, Siberia". *Freshwater Biology*, 59: 521-533.

Sonesten, L. och Wallin, M., 2002. "Utvärdering av blandprov för vattenkemi i Vänern, Vättern och Mälaren". Rapport 2002:16, Institutionen för Miljöanalys, SLU.

Vänerns vattenvårdsförbund, 2003. "Vänern- årsskrift 2003". Rapport nr 27, Vänerns vattenvårdsförbund.

Vätternvårdsförbundet, 2003. "Årsskrift 2002". Rapport nr 69, Vätternvårdsförbundet.

Wetzel, R.G., 1975. Limnology, W.B. Saunders Company, USA.

Weyhenmeyer, G.A., 2001. "Warmer winters: Are planktonic algal populations in Sweden's largest lakes affected?". *Ambio*, 30 (8): 565-571.

Weyhenmeyer, G.A., 2004. "Synchrony in relationship between the North Atlantic Oscillation and water chemistry among Sweden's largest lakes". Acceperad för publicering i *Limnology and Oceanography*.

Wilander, A., 1975. "Vättern" ur Vänern, Vättern, Mälaren, Hjälmaren- en översikt, Statens Naturvårdsverk, publikationer 1976:1, Liber Förlag, Stockholm.

Wilander, A. och Willén, E., 1996. "Vättern och dess tillflöden 1971-1994". Rapport nr 40, Vätternvårdsförbundet.

Willén, E., 1991. "Planktonic diatoms- an ecological review". *Algological Studies*, 62: 69-106.

Willén, E., 2001. Checklista över cyanobakterier i Sverige, ArtDatabanken, SLU, Uppsala.

## **INTERNET**

Fiska i Vättern, 2004-02-13, Fakta om Vättern,  
<http://www.vattern.org/..%5Cindex3.html>

Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, 2004-02-26, Enkel linjär regression,  
<http://www.handels.gu.se/stat/software/spsshelp/b132.htm>

Naturvårdsverket, 2004-02-18, Snabbkurs om klimatförändringen,  
<http://www.naturvardsverket.se/dokument/hallbar/klimat/snabbkurs/snabbkurs.htm>

Naturvårdsverket, 2004-02-18, Ljusförhållanden i sjöar och vattendrag,  
<http://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/lagar/bedgrund/sjo/sjodok/ljus.html>

SMHI, 2004-02-18, SweClim,  
<http://www.smhi.se/sgn0106/rossby/sweclim/klimatproblem.htm>

Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Miljöanalys, 2003 och 2004, Databank,  
<http://info1.ma.slu.se/db.html>

Vänerns vattenvårdsförbund, 2004-02-13, Historik- kort miljöhistoria för Vänern,  
[http://www.vanern.s.se/ovrig\\_info/historik.asp](http://www.vanern.s.se/ovrig_info/historik.asp)

## **PERSONLIGA KONTAKTER**

Lundqvist, Jan-Eric, SMHI, Norrköping, 2003, telefonsamtal

Willén, Eva, Institutionen för Miljöanalys, SLU, Uppsala, 2003 och 2004

## Bilaga 1 Isrestriktioner på Vänern sedan 1979

Vinter	Lägst isklass/restriktion	Innebär	Klassificering
2001-02	1C/II	Isbrytare i Vänern	isfri
2000-01	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1999-00	inga restriktioner	Inga ishinder	isfri
1998-99	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1997-98	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1996-97	1C/II	Isbrytare i Vänern	isfri
1995-96	1B/1C	Isbrytare i Vänern	is
1994-95	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1993-94	1B/1C	Isbrytare i Vänern	is
1992-93	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1991-92	inga restriktioner	Inga ishinder	isfri
1990-91	1B/1C	Isbrytare i Vänern	is
1989-90	inga restriktioner	Inga ishinder	isfri
1988-89	inga restriktioner	Inga ishinder	isfri
1987-88	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1986-87	1A/1B	Isbrytare i Vänern	is
1985-86	1A/1B	Isbrytare i Vänern	is
1984-85	1A/1B	Isbrytare i Vänern	is
1983-84	1C	Isbrytare i Vänern	isfri
1982-83	II	Isbrytare i Vänern	isfri
1981-82	1A/1B	Isbrytare i Vänern	is
1980-81	1C	Isbrytare i Vänern	isfri
1979-80	1A/1B	Isbrytare i Vänern	is
1978-79	1A/1B	Isbrytare i Vänern	is

Data kommer från Sjöfartsverkets isbrytarledning och beteckningarna har följande betydelse:

II=lägsta isklassen, mycket tunn is, öppet vatten till sjöss

1C=vissa delar istäckt, t ex Vänersborgsviken. Öppet vatten till sjöss eller endast tillfällig, tunn is

1A och 1B=hela Vänern istäckt

1A=besvärliga vintrar

Jan-Eric Lundqvist, SMHI istjänst, Norrköping, har hjälpt till att tolka uppgifterna.

**Bilaga 2** Isläggnings- och islossningsdatum i Vänern, data från SMHI

Del	Vinter	Islägg.- månad	Isläggn.- datum	Islossn.- månad	Islossn.- datum	Islossn.- dag (1=1 jan)
Varnumsviken	84-85	12	26	5	3	123
Varnumsviken	85-86	11	25	4	26	116
Varnumsviken	86-87	-	-	4	28	118
Varnumsviken	87-88	12	17	4	22	113
Varnumsviken	88-89	11	7	2	7	37
Varnumsviken	89-90	11	25	1	25	25
Mariestadssjön	81-82	12	9	4	7	97
Mariestadssjön	82-83	2	5	3	20	79
Mariestadssjön	83-84	12	12	4	13	104
Mariestadssjön	84-85	1	4	4	30	120
Mariestadssjön	85-86	12	9	4	14	104
Mariestadssjön	86-87	1	7	4	26	116
Mariestadssjön	87-88	3	9	3	25	85
Mariestadssjön	88-89	12	12	1	10	10
Mariestadssjön	89-90	12	15	1	9	9
Mariestadssjön	90-91	2	2	3	17	76
Mariestadssjön	92-93	12	24	-	-	-
Mariestadssjön	93-94	12	13	3	30	89
Mariestadssjön	94-95	-	-	-	-	-
Mariestadssjön	95-96	-	-	-	-	-
Mariestadssjön	96-97	12	18	3	1	76
Mariestadssjön	97-98	1	27	2	19	50
Mariestadssjön	98-99	12	22	3	27	86
Kinneviken	84-85	1	5	5	17	137
Kinneviken	85-86	12	18	4	9	99
Kinneviken	86-87	11	3	4	29	119
Kinneviken	87-88	2	29	4	9	100
Kinneviken	88-89	11	29	12	6	-
Kinneviken	89-90	12	13	12	17	-
Kinneviken	90-91	2	14	3	8	67
Brandsfjorden	84-85	1	5	5	6	126
Brandsfjorden	85-86	12	26	4	12	102
Brandsfjorden	86-87	12	22	4	27	117
Brandsfjorden	87-88	2	25	4	11	102
Brandsfjorden	88-89	12	1	12	28	0
Brandsfjorden	89-90	0	0	0	0	0
Brandsfjorden	90-91	2	4	3	21	80
Brandsfjorden	91-92	1	21	-	-	-
Brandsfjorden	92-93	1	26	3	19	78
Brandsfjorden	93-94	12	15	3	24	83
Brandsfjorden	94-95	2	8	3	5	64

---

Brandsfjorden	95-96	2	9	4	21	112
Brandsfjorden	96-97	2	13	3	28	87
Brandsfjorden	97-98	1	21	3	15	74
Brandsfjorden	98-99	11	24	3	17	76
Brandsfjorden	99-00	12	16	2	6	37
Brandsfjorden	00-01	1	12	4	4	94
Brandsfjorden	01-02	12	16	1	15	15

---

**Bilaga 3** Isläggnings- och islossningsdatum i Vättern, data från SMHI.

Del	Vinter	Islägggn.- månad	Islägggn.- datum	Islossn.- månad	Islossn.- datum	Islossn.- dag (1=1 jan)
Hjo	81-82	1	19	3	24	83
Hjo	82-83	0	0	0	0	0
Hjo	83-84	0	0	0	0	0
Hjo	84-85	2	6	4	24	114
Hjo	85-86	12	7	4	1	91
Hjo	86-87	1	17	4	23	113
Hjo	87-88	0	0	0	0	0
Hjo	90-91	0	0	0	0	0
Hjo	91-92	0	0	0	0	0
Hjo	92-93	2	16	3	9	63
Hjo	96-97	0	0	0	0	0
Hjo	97-98	-	-	-	-	-
Hjo	98-99	0	0	0	0	0
Hjo	99-00	-	-	-	-	-
Hjo	00-01	0	0	0	0	0
Hjo	01-02	0	0	0	0	0
Karlsborg	83-84	2	19	3	5	65
Karlsborg	84-85	2	7	4	25	115
Karlsborg	85-86	2	17	4	7	97
Karlsborg	86-87	1	16	4	27	117
Karlsborg	87-88	0	0	0	0	0
Karlsborg	88-89	0	0	0	0	0
Karlsborg	89-90	0	0	0	0	0
Karlsborg	90-91	0	0	0	0	0
Karlsborg	91-92	0	0	0	0	0
Vadstenaaviken	81-82	0	0	4	16	106
Vadstenaaviken	82-83	2	12	3	20	79
Vadstenaaviken	83-84	11	30	4	8	99
Vadstenaaviken	84-85	1	8	5	7	127
Vadstenaaviken	85-86	1	19	4	14	104
Vadstenaaviken	86-87	12	22	4	29	119
Vadstenaaviken	87-88	0	0	0	0	0
Vadstenaaviken	88-89	0	0	0	0	0
Vadstenaaviken	90-91	2	1	3	19	78
Vadstenaaviken	91-92	0	0	0	0	0
Vadstenaaviken	92-93	1	31	3	24	83
Vadstenaaviken	96-97	3	21	3	26	85
Vadstenaaviken	97-98	3	9	3	16	75
Vadstenaaviken	98-99	1	11	3	15	74
Vadstenaaviken	99-00	1	24	1	27	27
Vadstenaaviken	00-01	2	2	3	12	-
Vadstenaaviken	01-02	12	23	1	21	-
Södra	78-79	12	30	4	19	109



Södra	79-80	12	4	4	17	108
Södra	80-81	-	-	-	-	-
Södra	81-82	1	8	4	7	97
Södra	82-83	0	0	0	0	0
Södra	83-84	2	19	2	20	52
Södra	84-85	2	7	4	25	115
Södra	85-86	2	7	4	3	93
Södra	86-87	1	16	4	28	118
Södra	87-88	0	0	0	0	0
Södra	88-89	0	0	0	0	0
Södra	89-90	0	0	0	0	0
Södra	90-91	0	0	0	0	0
Södra	91-92	0	0	0	0	0
Södra	92-93	2	14	3	14	73
Visingsö	78-79	1	26	4	18	108
Visingsö	79-80	2	4	4	18	109
Visingsö	80-81	3	14	3	19	78
Visingsö	81-82	1	22	3	31	90
Visingsö	82-83	0	0	0	0	0
Visingsö	83-84	1	20	4	12	103
Visingsö	84-85	2	10	4	24	114
Visingsö	85-86	2	9	3	23	82
Visingsö	86-87	1	18	4	27	117
Visingsö	87-88	0	0	0	0	0
Visingsö	88-89	0	0	0	0	0
Visingsö	00-01	0	0	0	0	0
Visingsö	01-02	0	0	0	0	0

**Bilaga 4** Beskrivning av fysikaliska, kemiska och biologiska variabler som analyserats i denna studie.

## **FYSIKALISKA VARIABLER**

### **Is**

En sjös istäcke påverkar bland annat ljusstillgången, för även om isen kan tillåta ljus att nå ner till vattnet reducerar ett eventuellt snötäcke instrålningen (Lennmark och Andersson, 1993). Dessutom hämmar isen omblandning av vattenmassan, vilket påverkar syrgasutbytet. Då isen smälter sker gasutbyte med luften samtidigt som fotosyntesen producerar syre. Dessutom medför cirkulationen att vattentemperaturen utjämnas och de näringsämnen som frigjorts från sedimenten under vintern förs upp från djupet (Lennmark och Andersson, 1993). Flera faktorer påverkar isläggningen, bland dem kan nämnas lufttemperatur, nederbörd, vind, sjöareal och sjödjup. Tidpunkten för islossning beror både på väderförhållanden (främst solstrålningen) och istjocklek. Sjöns egenskaper, som areal och djup, har vid islossning mindre betydelse än vid isläggning (Eklund, 1999).

### **Vattentemperatur**

Vattentemperaturen är viktig för växtplanktons tillväxt och påverkas främst av lufttemperaturen och antalet soltimmar. Sjöar i Sverige skiktas normalt under vintern och sommaren. Sommartid är det övre lagret, epilimnion, relativt homogent och varmt. Metalimnion (språngskikt) kallas det underliggande lagret där temperaturgradienten är stor och därunder finns det kallare bottenskiktet, hypolimnion (Ahlgren, a, 1999).

## **VATTENKEMISKA VARIABLER**

### **Syrgas**

I en del sjöar kan det vintertid bli syrebrist under isen eftersom ingen eller mycket lite fotosyntes förekommer och isen hindrar gasutbyte med atmosfären. Om sjöarna är näringsrika och grunda kan syrgasbrist i extrema fall föreligga i hela vattenmassan. På sommaren är situationen ibland den omvända då växtplanktons fotosyntes kan leda till syreövermättnad i eutrofa sjöars epilimnion (Ahlgren, b, 1999).

### **pH**

Om biomassan växtplankton i en sjö ökar, höjs ofta pH-värdet till följd av att koldioxid förbrukas under fotosyntesen. Detta gör att koldioxidjämvikten förskjuts och pH-värdet stiger (Wetzel, 1975).

### **Ammoniumkväve och nitratkväve**

Kväve är en viktig komponent i alla levande organismers celler och den tillgängliga mängden som finns i vattnet har stor betydelse för ekosystemet. I de flesta naturliga vatten förekommer kväve framför allt i nitratform men även som ammonium.

Växtplankton kan utnyttja båda formerna men vid upptag av ammonium krävs ingen extra energi för att reducera kvävet vilket är fördelaktigt. Ammonium tas också upp fortare än nitrat om båda formerna finns tillgängliga, däremot verkar inte växtplanktons tillväxthastighet påverkas av vilken form som erbjuds (Boney, 1975 och Ahlgren, c, 1999). Sjöars kvävehalt påverkas av tillförsel via vattendrag (extern belastning), direkt deposition i form av nederbörd/partikeldeposition, nitrifikations- och denitrifikationsprocesser samt vissa växtplanktons förmåga att fixera kvävgas (biologisk kvävefixering).

### **Fosfatfosfor och totalfosfor**

Fosfor är, tillsammans med kväve, det viktigaste näringsämnet för sjöars primärproduktion. Det förekommer naturligt i mycket små koncentrationer, framförallt som fosfat. Det beror på att ämnet är naturligt sällsynt och dessutom är kapaciteten hos akvatiska växter och organismer, exempelvis växtplankton, för att absorbera och lagra fosfat mycket större än det omedelbara behovet (Maitland, 1978). Ofta är fosfor det begränsande näringsämnet i sjöar och ibland längs kuster medan kväve är begränsande i öppna hav (Ahlgren, c, 1999). Totalfosfor är summan av partikulärt bundet och löst fosfor.

### **Absorbans**

Hur djupt ner i vattnet växtplankton kan överleva styrs av vattnets ljusförhållanden och detta påverkas av vattenfärgen och partikelmängden. Genom att i en spektrofotometer mäta absorbansen fås ett mått på vattnets färg. Vattnets transparens beror av mängden färgande vattenlösta ämnen (t ex humus) och partikelinnehållet (grumligheten). Om provet filtreras vid absorbansmätning fås ett värde på vattenfärgen medan ett ofiltrerat prov ger ett mått på vattnets färg samt grumlighet, då allt partikulärt material finns kvar. I detta arbete har data från ofiltrerade prov använts. Ofta är färgen kraftigare i vatten med kort omsättningstid medan sjöar med lång uppehållstid i högre grad tillåter partiklar att sedimentera till botten (Naturvårdsverket, websida, 2004).

### **Kisel**

Kisel i löslig form är ett nödvändigt näringsämne för kiselalger som använder det till att bygga upp sitt skal och skelett. Kisels kretslopp i sjöar anses vara en relativt snabb process, vilket innebär att även om kisel ibland kan vara den begränsande tillväxsfaktorn är det normalt inget stort problem eftersom omvandlingen sker så fort (Boney, 1975).

## **Klorofyll**

Klorofyll är ett grönt pigment i växtceller och återfinns, förutom i växter, i växtplankton och fotosyntetiserande bakterier (Raven m fl, 1999). Det tar upp solenergi som sedan används i fotosyntesen. Koncentrationen klorofyll i vatten används som ett mått på mängden växtplankton.

## **BIOLOGISKA VARIABLER (VÄXTPLANKTON)**

Växtplankton är fotosyntetiserande, encelliga organismer och primärproducenter av organiskt material i akvatiska ekosystem (Boney, 1975). De kan därför sägas utgöra basen för livet i en sjö. De är mycket små och har en stor area i förhållande till sin volym, vilket gör att friktionen med vattnet blir större och sjunkhastigheten minskar. Det är en viktig anpassning eftersom växtplankton därigenom kan undvika att sjunka ner i vattenkolumnen till de mörkare skikten (Fogg, 1975 och Ahlgren, a, 1999). Endast i några fall är planktons densitet lika eller lägre än vattnet, ofta är den högre och plankton sjunker därför sakta under statiska förhållanden (Maitland, 1978 och Ahlgren, a, 1999). För att motverka detta är många växtplankton långsträckta i formen (Maitland, 1978) och en del har gasvakuoler som förbättrar flytförmågan. Samtidigt som det är en fördel att vara nära vattenytan och ta tillvara solljuset är det ibland nödvändigt att sjunka för att få tag i näringsämnen. Många växtplanktongrupper har flageller (Fogg, 1975) som gör att de kan förflytta sig. Dock kan även de växtplanktongrupper som inte har förmågan att aktivt kunna röra sig, exempelvis kiselalger och blågröna alger, tack vare den vindinducerade cirkulationen som förekommer i vattnets översta lager ändå klara att omväxlingsvis vara både nära ytan och lite längre ner i vattenpelaren (Fogg, 1975).

## **Kiselalger**

Denna grupp växtplankton förekommer nästan överallt och har ett mycket karakteristiskt cellmembran med hög kiselhalt och komplex struktur (Boney, 1975). Det höga kiselinnehållet gör att den specifika vikten är så hög som 1,1-1,3 g/cm<sup>3</sup> (Willén, 1991). Tillgång på kisel är en viktig tillväxtsreglerande faktor för denna växtplanktongrupp och vid tillfällen då kiselalger uppvisar ett tillväxtsmaximum kan man ofta upptäcka en nedgång i kiselkoncentration i vattnet (Fogg, 1975). Mycket låga kiselhalter, 0,5 mg/l (Boney, 1975 och Lund, 1955), anses som begränsande för kiselalgstillväxt trots att en del arter verkar kunna växa med mycket tunna kiselväggar (Boney, 1975). Kiselalger förekommer ofta i stort antal i sjöar under vår och höst (Ahlgren, d, 1999) då vattnet omblandas och de tunga kiselalgerna gynnas. Detta märks tydligt i bland annat Väneren och Vättern där kiselalger av släktet *Aulacoseira* dominerar under våren (Vänerens vattenvårdsförbund, 2003 och Vätternvårdsförbundet, 2003).

Utöver totalbiomassan växtplankton och kiselalger har följande grupper av växtplankton analyserats:

Cyanobakterier (blågröna alger)

Cryptomonader

Dinoflagellater

Guldalger

Grönalger

**Bilaga 5** Intervall (10 och 90% kvartiler) för ett urval av de analyserade parametrarna i detta arbete. Månadsvärden för maj under perioden 1979-2002, från 0,5 meters djup vid fem stationer i Vänern och Vättern.

#### Kemiska parametrar

	pH	Nitratkväve ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Kisel ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Klorofyll ( $\text{mg m}^{-3}$ )
Tärnan	7,1-7,4	510-600	0,24-0,59	0,2-2,8
Megrundet	7,1-7,4	488-593	0,16-0,43	0,4-3,3
Dagskärsgrund	7,2-7,6	507-612	0,16-0,48	1,1-5,1
Jungfrun	7,6-7,8	408-536	0,11-0,40	0,8-1,4
Edeskvärna	7,5-7,9	321-539	0,15-0,42	0,7-1,8

#### Växtplankton

	Total biomassa ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ )	Kiselalger ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ )	Grönalger ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ )	Aulacoseira ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ )
Tärnan	0,033-0,655	0,020-0,611	0,00003-0,010	0,010-0,594
Megrundet	0,039-0,672	0,017-0,574	0,0001-0,024	0,009-0,540
Dagskärsgrund	0,146-0,989	0,034-0,879	0,00013-0,027	0,020-0,792
Jungfrun	0,033-0,151	0,015-0,080	0,0009-0,026	0-0,060
Edeskvärna	0,045-0,235	0,015-0,174	0,0008-0,015	0-0,149