

Långsiktiga trender av vattenfärg och organiskt  
material i Skräbeåns vattenavrinningsystem

1966-2005

Henrik Persson

Examensarbete i Vattenvård 20 poäng  
Ht 2006 Lunds Universitet

Handledare: Wilhelm Granéli, Lunds Universitet  
Handledare: Lars Collvin, Länsstyrelsen Skåne Län

## *Abstract*

The water quality in Skräbeåns drainage area has during the last years gone through a significant change. Water color and organic matter has increased dramatically since the 1980s. This problem is not specific for Skräbeåns drainage area, but trends with increasing water color and organic matter have also been observed in other parts of Sweden, Norway and Finland. The objectives of this master thesis were to investigate what changes have occurred in water color and organic matter since 1966 in the drainage area, and to examine the causes to these changes. Further more, the aim of this study was to investigate and describe the dynamic of organic matter in aquatic ecosystems and if the high water color and content of organic matter in southern Sweden will be more common in the future. Time series of water parameters from 23 places in Skräbeåns drainage area (provided by Länsstyrelsen in Skåne län) were completed with climatologically parameters in terms of air temperature, precipitation and water flow (provided by SMHI). The time series were analyzed by statistical methods and diagrams to find trends and break points. The results showed that the water color has increased from moderate in the 1970s to heavily colored water in the 2000.

The development of water color in Lake Immeln and Lake Ivösjön differentiated during the time period analyzed, with a much stronger increase in Lake Immeln. This could be correlated to the characteristics of the drainage area. In the surrounding area of Lake Immeln the proportion of coniferous forest, low soil nutrients and mires are more frequent than in the surroundings of Lake Ivösjön where agriculture and deciduous forest dominate the landscape. The increase in temperature has been weak during the time period but on the other hand precipitation has shown a dramatic increase. In this study the precipitation explained 59 % of the variation of water color in running water, but only 41 % and 16 % in Lake Immeln and Lake Ivösjön, respectively. A carbon budget for the each of the two lakes was set up and confirms that the TOC loading in Lake Immeln is higher than in Lake Ivösjön. During the season the relationship between water color, TOC concentrations and water flow is relatively strong. This means that drier months with low water flows are connected to low water colors and TOC concentrations whereas months with high flows are connected to high water colors and TOC concentrations. Future climate changes with warmer winters and more rainfalls, causes higher water flow in winters that in turn most likely lead to higher water color and content of organic matter in the drainage area of Skräbeån.

## *Sammanfattning*

Under de senaste åren har vattenkvaliteten i Skräbeåns avrinningsssystem genomgått en tydlig försämring. Färgtal och organiskt material har stigit kraftigt sedan början på 1980-talet. Detta problemet är inte specifikt för Skräbeåns avrinningsssystem, utan tendenserna med ökande färgtal och organiska halter i vattendrag och sjöar har även observerats i andra delar av Sverige, Norge och Finland. Detta examensarbetet syftade till att undersöka vilka förändringar i färgtal och organiskt material som skett sedan år 1966 i Skräbeåns avrinningsssystem och utreda vad dessa förändringarna beror på. Studien syftade vidare till att beskriva humusdynamiken i vattendrag och sjöar samt försöka utreda om de senaste årens höga färgtal och halter organiskt material i södra Sverige kommer att bli vanligare i framtiden. Tidsserier över vattenparametrar från 23 provpunkter i Skräbeåns avrinningsssystem (data tillhandahålls av Länsstyrelsen i Skåne län) kompletterades med klimatologiska parametrar i form av lufttemperatur, nederbörd och vattenföring (data från SMHI). Med hjälp av statistiska metoder och diagram analyserades trender och brytpunkter i tidsserierna för att finna orsaker och samband. Resultatet visade att vattenfärgen i området har stigit ifrån måttligt färgat vatten under mitten på 1970-talet till starkt färgat vatten under 2000-talet.

I sjöarna Immeln och Ivösjön har utvecklingen i färgtal skiljts åt under tidsperioden, med en betydligt kraftigare ökning i Immeln, vilket kunde kopplas samman med avrinningsområdenas egenskaper. I omgivningarna runt Immeln är inslagen av barrskog, näringsfattiga jordarter och torv- och myrmark påfallande större än i Ivösjöns omgivning, där andelen jordbruksmark, lövskog och kalkrika jordarter är stor. Temperaturökningen har varit svag i området under tidsperioden men däremot har nederbörden ökat kraftigt. Nederbörden kunde förklara 59 % av variationen av färgtalen i vattendragen, men endast 41 % och 16 % i sjöarna Immeln respektive Ivösjön. En kolbudget för de båda sjöarna kunde bekräfta att belastningen av TOC är större i Immeln än i Ivösjön. Under säsongen följs färgtal, halter TOC och vattenföring relativt bra åt. Detta betyder att torra månader med låga flöden innebär låga färgtal och halter TOC medan nederbördsrika höstar och vintrar innebär höga halter. Framtida klimatförändringar i form av varmare vintrar och kraftigare nederbörd, orsakar högre vinterflöden som i sin tur rimligtvis ger högre färgtal och halt organiskt material i Skräbeåns avrinningsområde.

## Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1. Organiskt material i akvatiska system	1
1.2. Egenskaper hos humösa sjöar	3
1.3. Nedbrytning av DOM	4
1.4. Näringsvävar i humösa sjöar	5
1.5. Klimatförändringar	5
1.6. Syfte med studien	5
2. Material och metoder	6
2.1. Landskapet	6
2.2. Sjöar och vattendrag	6
2.3. Insamling av material	7
3. Resultat	9
3.1. Förändring under tidsperioden	9
3.2. Färgtalsgradient från norr till söder	9
3.3. Högre färgtal i Immeln än Ivösjön	11
3.4. Detaljstudie av fem år	11
3.5. Nederbörd och temperatur	14
3.6. Samband mellan färgtal och nederbörd	15
3.7. Kolbudget för Immeln och Ivösjön	16
4. Diskussion	19
4.1. Förändringar och orsaker	19
4.2. Framtidsscenarier	22
4.3. Felkällor i studien	22
4.4. Slutsatser	23
5. Referenser	24

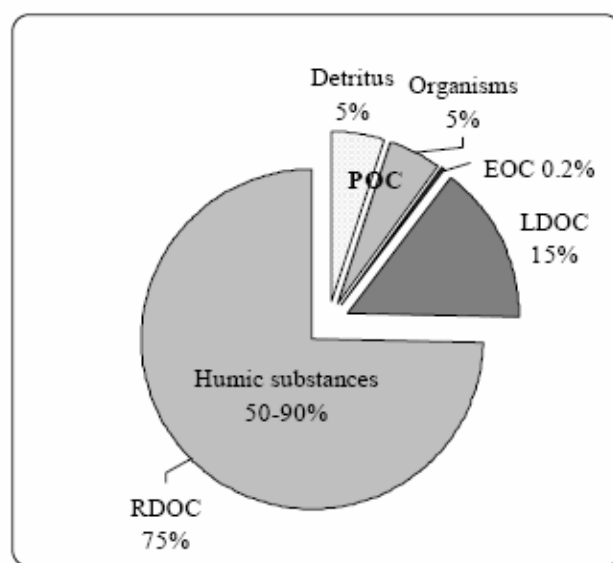
## 1. Introduktion

### 1.1 Organiska material i akvatiska ekosystem

Akvatiska ekosystem är inte fristående isolerade system utan utgör en spegelbild av det landskap som omger dem. Hög produktion av organiskt kol i terrestra system samt relativt låg mikrobiell produktion resulterar i höga halter av mer eller mindre nedbrutet löst organiskt material (DOM) i markvattnet. Klimatet, nederbörden och avrinningsområdets karaktär bestämmer i vilken omfattning organiskt material exporteras från land via vattenflöden och sjöar vidare till havet. Av den totala mängden organiskt kol (TOC) som når vattendrag, sjöar och hav är majoriteten löst (DOC). TOC klassificeras med hänsyn till molekylstorleken där allt organiskt material (OC) som passerar ett filter med 0,45 µm porstorlek räknas som DOC. Det organiska kolet som är större än 0,45 µm och som fastnar i filtret betecknas som partikulärt (POC) och utgör i genomsnitt i storleksordningen 10 % av TOC (Wetzel 2001, fig. 1).

Från en biologisk synvinkel kan löst organiskt material (DOM) delas in i labilt (LDOM) och refraktärt löst organiskt material (RDOM). Söndergaard och Middelboe (1995) visade genom att samla in data från vattendrag, sjöar och hav att i genomsnitt är 15 % av TOC labilt d v s att det relativt enkelt kan utnyttjas som energikälla för bakterier. Studier i humösa sjöar har påvisat betydligt lägre värden för labilt DOC (Moran et al. 2000, Raymond & Bauer 2000). Labilt DOM i akvatiska system består i huvudsak av föreningar med låg molekylvikt som t ex aminosyror, kolhydrater, fettsyror, nukleotider och steroider (Münster et al. 1999). Till fraktionen labilt DOM hör även extracellulära utsöndringsprodukter (EOC) från makrofyter, växtplankton och andra organismer högre upp i näringskedjan.

Andelen EOC av TOC är låg i humösa sjöar, t ex utgjorde EOC endast 0,2 % av TOC under sommarmånaderna i den humösa sjön Pääjärvi i Finland (Kankaala et al. 1996). Eftersom POC normalt utgör 10 % och labilt DOC 15 % betyder det att mer än 75 % av TOC är refraktärt. Detta innebär att den bakteriella nedbrytningen av denna fraktion är marginell på kort sikt (dagar). Humösa substanser, vilka tillhör fraktionen refraktärt DOC, är makromolekyler med komplexa kemiska strukturer och karaktäriseras av att de är brungula till svarta i färgen, har hög molekylvikt och är svårnedbrytbara för bakterier (Jefferson Curtis och Schindler 1997). Normalt utgör de humösa substanserna ca 50 % av DOC i sjöar men i färgade sjöar kan de utgöra så mycket som 90-95 % av DOC (Moran & Hodson 1990, Hongve 1999).



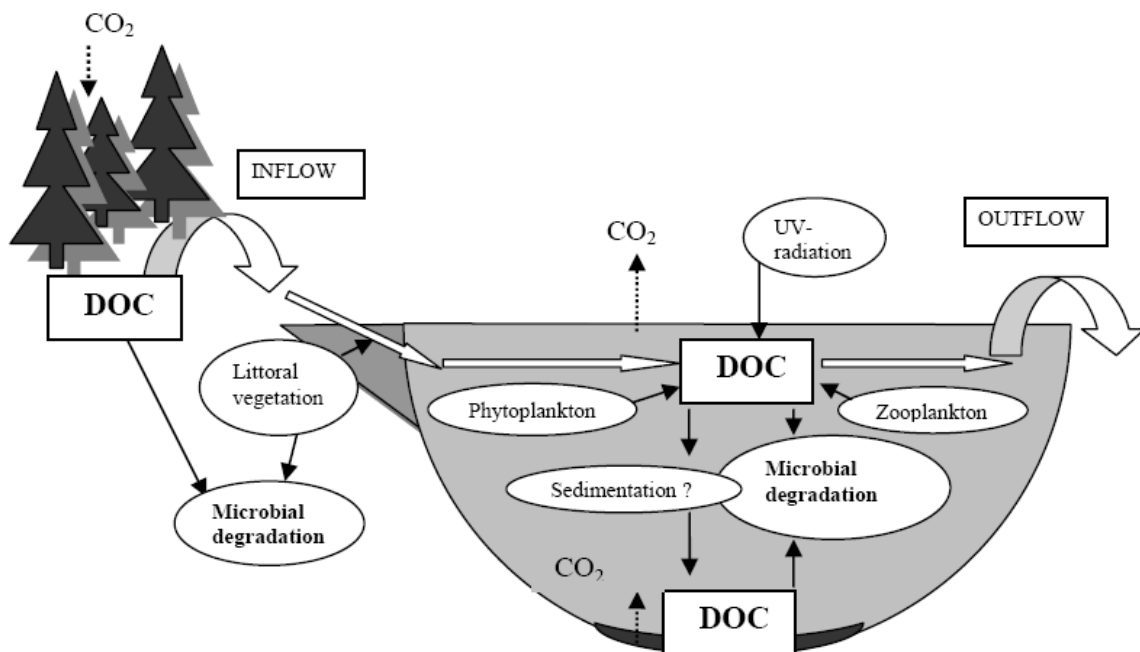
**Figur 1.** Visar en ungefärlig fördelning av de olika fraktionerna som utgör totalt organiskt kol (TOC) i akvatiska system. Löst organiskt kol (DOC) består av extracellulärt utsöndrat kol (EOC), labilt organiskt kol (LDOC) och refraktärt organiskt kol (RDOC) (Tulonen 2004).

Transformationen av partikulärt organiskt material (POM) till löst organiskt material (DOM) är en viktig process för den mikrobiella nedbrytningen i akvatiska system. Till fraktionen POM inkluderas både levande organismer (bakterier, växtplankton, protozoer och metazoer) och partikulärt detritus (dött organiskt material). Förhållandet mellan levande biota och detritus varierar både säsongsmässigt och mellan olika miljöer, t ex bedömdes andelen detritus i sjön Pääjärvi utgöra 10-30 % av POC under vår och sommar och 50 % under hösten (Kankaala et al. 1996).

Med hänsyn till det organiska materialets ursprung delas det in i autoktont och alloktont material, vilket redovisas i figur 2. Autoktont organiskt material innefattar allt POM och DOM som produceras internt i sjöekosystemet av makrofyter, växtplankton och andra organismer. Till autoktont material inkluderar således också detritus och utsöndringsprodukter (EOC) från fotosyntetiserande och heterotrofa organismer i sjön. Akvatiska system tar

även emot organiskt material från omgivande terrestra miljöer när DOM lakas ur avrinningsområdet och förs vidare ut i vattendragen och sjöar. Detta externt producerade organiska materialet kallas alloktont och härstammar primärt från fotosyntetiskt producerat material, främst från landlevande kärlväxter. Innan det alloktont materialet når sjöarna genomgår det ett antal nedbrytningssteg och består till största delen av refraktära molekyler med hög molekylvikt.

Tillförseln av alloktont kol överstiger alltid produktionen av autoktont kol i humösa sjöar. I sjön Örträsket, belägen i norra Sverige, visade det sig att endast 4 % av sjöns TOC utgjordes av autoktont kol under sommarmånaderna när sjön var skiktad (Jonsson et al 2001). Cole et al. (2002) visade genom analys av stabila kolisotoper ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -kvoten) att alloktont kol i humösa sjöar utgör mer än 90 % av TOC i vattenkolumnen. Till vilken grad alloktont kol transporteras vidare in i näringskedjan har varit ett aktuellt forskningsfält inom akvatisk ekologi de senaste decennierna.



**Figur 2.** Flödet av löst organiskt material (DOC) i akvatiska system. Sjöar belastas med externt producerat material (alloktont DOC) och internt producerat material (autoktont DOC). Sedimentation, bakteriell nedbrytning och fotomineralisering via UV-ljus är viktiga processer som påverkar halterna organiska material i sjöekosystem (Tulonen 2004).

## 1.2 Egenskaper hos humösa sjöar

DOC koncentrationerna i akvatiska miljöer varierar mellan < 0,5 mg/l i hav till 30 mg/l i färgade sjöar och ända upp till 60 mg/l i kärr (Wetzel 2001). Brunfärgade sjöar med höga halter DOC påträffas vanligen i den kalltempererade boreala zonen. Eftersom sjöar tar emot stora mängder DOC från terrestra miljöer är klimat och hydrologi viktiga bidragande faktorer till urlakningen av organiskt material från marken i sjöarnas avrinningsområden. Under 1995 utfördes en nordisk inventering av 4900 sjöar där halterna TOC analyserades. Extremt låga humushalter återfanns i de alpina delarna i Norge, där halterna TOC ofta understeg 1 mg/l. Majoriteten av de färgade vattnen återfanns i sydöstra Sverige och i Finland med TOC-halter ofta över 20 mg/l (Löfgren et al. 2003). I dessa områden gynnar det kalla klimatet och platta landskapet ackumuleringen av organiskt material i terrestra och akvatiska ekosystem.

Bruna sjöar med höga DOC koncentrationer kännetecknas av att de har: höga färgtal, reducerad ljuspenetrering i vattenpelaren med en dominans av det röda ljuset i spektrumet, naturligt lågt pH, låg alkalinitet, låg konduktivitet och låga koncentrationer av fria oorganiska näringsämnen (Danilov & Ekelund 2001). Den totala näringskoncentrationen i humösa sjöar kan vara hög men fosfatens förmåga att komplexbinda till humösa substanser och järn reducerar tillgängligheten av fosfor (Jonsson 2004). Även kvävet är svårtillgängligt för växtplankton i humösa sjöar och utgör en begränsande tillväxtfaktor (Jansson et al. 1996). Toxiciteten hos potentiellt giftiga ämnen har visats öka i humösa sjöar (Jones 1992). Produktionen och diversiteten av växtplankton påverkas negativt av den reducerade ljusinstrålningen i vattenmassan i bruna sjöar (Arvola et al. 1992). Detta har inneburit att växtplanktonen i bruna sjöar har anpassat

egenskaper för att kompensera för de dåliga ljusförhållandena, t ex är mixotrofi (utnyttjandet av både fotosyntes och assimilering av organiska föreningar som energikälla) och flagellerade alger (förmåga att förflytta sig) vanligare i humösa sjöar (Jansson et al. 1996). Jones (1992) påpekade att mixotrofi och rörelseförmåga inte enbart behöver vara en egenskap i humösa sjöar utan kan också vara en adaptation till små sjöar där epilimnion är tunn och vinden inte förmår att blanda om vattenmassan. I större sjöar, där den eufotiska zonen ofta är tunnare än epilimnion kan strömmar ständigt transportera alger under den eufotiska zonen, vilket leder till en reducerad primärproduktion.

Färgade substanser i akvatiska system påverkar även sjöarnas skiktning. Under sommarmånaderna är det epilimniska lagret tunnare i humösa sjöar än i klarvattensjöar och hypolimnisk syrebrist är vanligt. Zooplankton utnyttjar dessutom termoklinen som en extra tillflyktsort genom att under dagen gömma sig från predation i djupare, mörkare vatten för att under nattetid migrera till ytvattnen och beta av algerna (Wissel et al. 2003). I en studie av Lyche et al. (1996) kunde man inte påvisa något samband mellan biomassan zooplankton och TOC. Det är känt att fisk påverkas negativt av dåliga ljusförhållanden, lågt pH, termoklin och syrebrist. En försämring av ljuskvaliteten i vattenmassan reducerar planktivora fiskars förmåga att visuellt upptäcka föda. Alla dessa särdrag hos humösa sjöar har ekologiska konsekvenser som präglar struktur och funktion av näringsväven.

### 1.3 Nedbrytning av DOM

En gemensam egenskap hos humösa sjöar är att konsumtionen av DOC är större än produktionen av DOC dvs respirationen > primärproduktionen. Detta kan förklaras genom att konsumenterna i systemet utnyttjar DOC från omgivande terrestra källor. En betydande faktor för bakteriernas förmåga att bryta ner organiskt material styrs till stor del av materialets ursprung. Alloktont DOC består till största delen av refraktära substanser som är svåra för bakterier att bryta ner, däremot är autoktont producerat DOC labilt och utnyttjas nästan till fullo av mikroorganismer. I den humösa sjön Örträsket visade Jonsson et al. (2001) att endast 9 % av alloktont DOC utnyttjades medan 100 % av autoktont DOC kunde tillgodogöras av bakterier. Av den totala mineraliseringen i sjön Örträsket utgjorde bakterienedbrytningen ca 75 %. Genom att mäta bakteriernas tillväxteffektivitet (BGE), dvs hur mycket bakteriebiomassa som produceras jämfört med hur mycket organiskt material som bryts ner, kan man få ett mått på biotillgängligheten av organiska substrat och bakteriernas respiration (Tulonen 2004). I oligotrofa system kan BGE vara så lågt som 1 %, men däremot 50-60 % i kraftigt eutrofa system. Olika värden för BGE i humösa sjöar har angivits bl a angav Tulonen (2004) 18-24 % och Tranvik (1998) angav värden mellan 13 och 36 %. Det kolet som inte inkorporeras i bakteriebiomassan dvs ca 70-80 % av nedbrutet DOC respireras bort och förklarar varför humösa sjöar är heterotrofa nettoproducenter av CO<sub>2</sub> till atmosfären.

Nedbrytningen av organiska kolföreningar via solens UV-strålning har visat sig reducera DOC halterna i akvatiska system. Fotokemiska reaktioner reducerar organiska substrat till enklare molekyler med låg vikt, mestadels till CO och CO<sub>2</sub>. I humösa sjöar är denna abiotiska process begränsad till den översta metern eftersom

vattenfärgen har en kraftigt absorberande effekt på UV-strålningen. UV-B strålningen (280-320 nm) är aktivare när det gäller att bryta ner färgade organiska substanser än UV-A strålning (320-400 nm) och synligt ljus (400-800 nm). I sjöar med 50-100 mg Pt/l är utsläckningen av UV-B strålning koncentrerad till de översta 10 cm, och UV-A till den översta metern (Granéli 2002).

Trots att fotokemisk mineralisering endast står för 10-17 % av all mineralisering (Vähätalo 2000) är denna process mycket viktig för bakterierna. Transformationen av refraktärt DOM till labilt DOM stimulerar den bakteriella nedbrytningen och produktionen av CO<sub>2</sub>. Experiment har visat att bakterieproduktionen ökar med flera hundra procent när bakterier tilläts tillväxa i humöst vatten som var behandlat med UV-ljus. UV-ljus inte bara ökar antalet bakterieceller utan också cellvolymen med flera hundra procent, vilket kan förklaras av en plötslig produktion av lättillgänglig DOC (Lindell et al. 1995). Nedbrytningen av organiska kolföreningar via UV-strålning har visat sig vara effektivare för alloktont kol än för autoktont kol. Obernosterer och Benner (2004) visade med experiment att alloktont DOC reducerades 46 % genom fotomineralisering men endast 7 % av autoktont DOC reducerades. För DOC producerat av växtplankton observerades ingen reduktion. Fotokemisk nedbrytning av DOM i akvatiska system kan skilja mycket säsongsmässigt. I den kalltempererade zonen är fotolytisk mineralisering begränsad till den isfria perioden. Nedbrytningsprocesser av alloktont DOM i humösa sjöar är en viktig process för balansen av kol mellan terrestra och akvatiska system och atmosfären. Trots att den höga DOC halten i humösa sjöar utgör en potentiellt hög tillväxtfaktor för bakterier är bakterieproduktionen låg jämfört med eutrofa sjöar.



#### 1.4 Näringsvävar i humösa sjöar

Heterotrofa näringsvävar har en annan biostruktur än autotrofa näringsvävar och möjligen också en annan effektivitet vad gäller överföringen av energi från energimobiliserande organismer till konsumenter högre upp i näringskedjan. Intresset för den mikrobiella loopen uppkom när man insåg att produktionen av DOC via primärproducenterna inte var tillräcklig för att förklara tillväxtkapaciteten hos organismer högre upp i näringsväven. Bakterier, heterotrofa flagellater och ciliater förekommer i stort antal i humösa sjöar men har tidigare inte inkluderats i den traditionella näringskedjan som främst baserats på växtplankton, zooplankton och fisk (Amblard et al. 1995). I den mikrobiella loopen utnyttjar bakterierna DOC som utsöndrats från växtplankton och zooplankton. Eftersom bakterier äts av heterotrofa flagellater och ciliater, som i sin tur äts av zooplankton och mindre fiskar, återförs en del av kolet till den traditionella näringsväven. Denna återvinning av autoktont DOC, som tidigare antogs gick förlorat från systemet, förklarar energiöverföringen mellan organismer i humösa sjöar.

#### 1.5 Klimatförändringar

Correll et al. (2001) visade att halterna DOC i vattendrag och sjöar är starkt korrelerat med nederbörds mängderna. Ökade nederbörds mängder skyndar på urlakningen och frigöringen av alloktont DOC från marken till vattendragen. Nederbörds mönstren förändras i ett varmare klimat. Enligt SMHI (2006) beräknas södra Sverige få högre nederbörds mängder under vår, vinter och höst men däremot kommer somrarna att bli varmare och torrare. Mest känsliga mot en uppvärmning är regioner där vintertemperaturen varierar kring 0°C. Varmare vintertemperaturer ger fler

tillfällen med temperaturer över 0°C, vilket vanligtvis leder till ett ökat vattenflöde under vintern. Regioner där temperaturen är högre än 0°C kommer sannolikt att drabbas mindre av varmare vintertemperaturer eftersom vattnet i sådana regioner redan rinner hela vintern. På samma sätt kommer sannolikt regioner med betydligt lägre vintertemperaturer än 0°C att drabbas mindre av varmare vintertemperaturer (Weyhenmeyer 2005). Mindre snö och is gör att temperaturen stiger mer på vintern än på sommaren. Uppvärmningen leder även till att vegetationsperioden förlängs.

Enligt SMHI (2006) har det senaste århundradet karaktäriserats av milda regniga perioder under 1930-talet och 1990-talet, däremot var 1970-talet torrare än normalt. I genomsnitt var temperaturen i södra Sverige 0,7°C, nederbörden 11 % och avrinningen 7 % högre under 1990-2002 än de 90 föregående åren (Lindström och Alexandersson 2004).

#### 1.6 Syfte med studien

Studien syftade till att undersöka hur vattenfärgen i Skräbeåns avrinningssystem har förändrats från 1966 och framåt samt att utreda vad dessa förändringar beror på. Transporten av organiskt material till akvatiska system har av många forskare beskrivits vara starkt korrelerat till både klimat och avrinningsområdets karaktär. Nederbörds mängderna har ökat markant i södra Sverige det senaste århundradet och ett rimligt antagande borde vara att detta har påverkat urlakningen av färgade humösa substanser till Skräbeåns avrinningssystem. Studien syftade vidare till att beskriva humusdynamiken i sjöarna Immeln och Ivösjön. Immelns placering i landskapet, med en stor andel barrskog och myrmark, förväntades påverka Immeln med högre färgtal och halter TOC än Ivösjön där andelen jordbruksmark är större. Projektet syftade också till att ge en

allmän kunskap om humusdynamiken i akvatiska system samt att utreda om de senaste årens höga färgtal och halter TOC kommer att bli vanligare i framtiden.

området, bland annat Ryssberga där en av landets största bokskogar finns. Andelen torv- och myrmark är betydligt lägre här än i de övre delarna av avrinningsområdet.

## 2. Material och metoder

### 2.1 Landskapet

De övre delarna av avrinningsområdet ligger över högsta kustlinjen (+ 50 m) och har sitt källområde i sydöstra delen av Älmhults kommun. Området domineras av näringsfattiga berg- och jordarter och inslagen av myr- och torvmarker är stor. Rationaliseringar inom jordbruket har lett till att de små jordbruken försvunnit och ersatts av snabbväxande granskogsplanteringar. Vattnet inom de övre delarna i Skräbeåns avrinningsområde är försurningskänsligt, näringsfattigt och har hög humushalt.

Avrinningsområdets nedre del är belägen i Kristianstad och Bromölla kommun i Skåne län och ligger under högsta kustlinjen. Området domineras av glaciomarina sediment i form av sand och lera. Här finns mer öppen och uppodlad mark; främst i anslutning till Ivösjön där också marken är av högre kvalitet. Vattnet är i allmänhet näringsrikare här och har en bättre buffringskapacitet och kan motstå försurning bättre än i de norra delarna. Stora lövskogar präglar naturmiljön i

### 2.2 Sjöar och vattendrag

I avrinningsområdet ligger två stora sjöar som tillsammans motsvarar 76 km<sup>2</sup>. Immeln vars tillrinningsområde är 275 km<sup>2</sup>, är med sin area på 22,25 km<sup>2</sup> Skånes tredje största sjö. Ekeshultsån avvattnar de övre delarna av avrinningsområdet och mynnar ut i Immeln. I Olofström sammanstrålar biflödena Snöflebodaån och Vilhultsån med Holjeån, som rinner från Immeln via sjöarna Raslången och Halen. Immeln avvattnas också delvis av Lillån, via sjön Raslången, och mynnar i Holjeån strax norr om Näsrum. Ivösjön är med sin area på 54,2 km<sup>2</sup> och djup på 50 m i särklass Skånes största sjö. Holjeån mynnar i Ivösjön och utgör det största tillflödet till sjön, ca 78 % av tillrinningsområdet. Oppmannasjön avrinner via Oppmannakanalen till Ivösjön och utgör ca 10 % av sjöns avrinningsområde. Övriga tillflöden, t ex Byaån och tillflödet från Levrasjön, står för ca 12 % av tillrinningsarealen. Ivösjön har sitt avflöde i Skräbeån som efter ca 5 km mynnar i Hanöbukten vid Nymölla. Holjeåns inflöde i Ivösjön representerar avrinningsområdet norr om Ivösjön och är ca 700 km<sup>2</sup> stort. Totalt utgör hela Ivösjöns tillrinningsområde 994 km<sup>2</sup> (Skräbeån 2002). Sjödata över Immeln och Ivösjön presenteras i tabell 1. Hela Skräbeåns

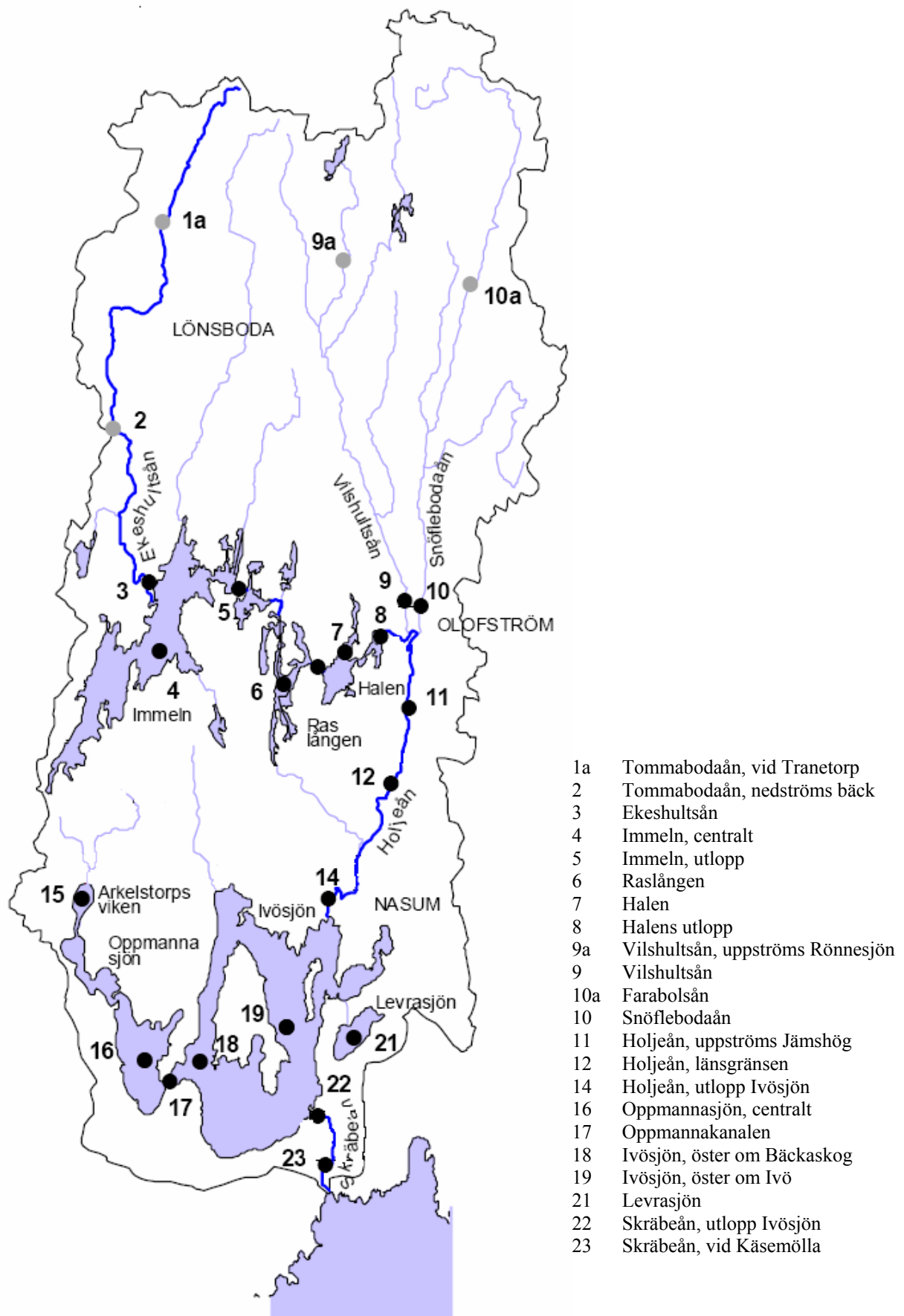
**Tabell 1.** Immelns och Ivösjöns morfometri samt tillrinningsområdenas storlek och deras andel sjö och skog.

	Sjö area (km <sup>2</sup> )	Medel djup (m)	Max djup (m)	Volym (Mm <sup>3</sup> )	Uppehålls tid (år)	Tillrinnings område (km <sup>2</sup> )	Andel sjö (%)	Andel skog (%)
Immeln	22,25	5,6	18,0	125,29	1,61	275,3	12	69
Ivösjön	54,20	11,3	50,0	553,29	1,9	994,1	14	63

avrinningsområde är vid mynningen i Hanöbukten 1 005,7 km<sup>2</sup> (Svenskt vattenarkiv 1990). Hela avrinningsområdet består av cirka 60 % skog, 10 % åkermark, 3 % betesmark, 14 % sjöyta, 2 % tätort och 14 % övrig mark (Skräbeån 2002). Figur 3 visar en detaljerad karta över Skräbeåns avrinningsområde, där provtagningspunkterna är utmärkta.

### *2.3 Insamling av material*

Fysikaliska och kemiska data från Skräbeåns recipientkontroll 1966-2005 sammanställdes och digitaliserades av Länsstyrelsen Skåne län (2006). Data på sjöarna och deras delavrinningsområden sammanställdes från flera olika källor; Länsstyrelsen (2006), Svenskt vattenarkiv (1990), Skräbeån (2002) och (Ekologgruppen 1995). Uppgifter om temperatur och nederbörd beställdes från SMHI:s väderstation i Osby för perioden 1931-2005 via Länsstyrelsen. Länsstyrelsens landskapsprogram utgjorde grund för beskrivningen av landskapet i Skräbeåns avrinningsområdet.



**Figur 3.** Skräbeåns avrinningsområde med provtagningspunkter. Området omfattar vid Skräbeåns mynning i Hanöbukten 1005,7 km<sup>2</sup>. Figuren är hämtad från Skräbeån (2002).

### 3. Resultat

#### 3.1 Förändring under tidsperioden

Undersökningsresultat från perioden 1966-2005 med avseende på vattenfärg och TOC har sammanställts för provpunkter i Skräbeåns avrinningsområde. Under tidsperioden har vattenfärgen ökat kraftigt totalt sett för hela avrinningsområdet, från måttligt färgat vatten i mitten av 1960-talet till starkt färgat vatten under 2000-talet enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Sjöar och vattendrag (Rapport 4913). En klassindelning av vattenfärg (mg Pt/l) görs enligt:

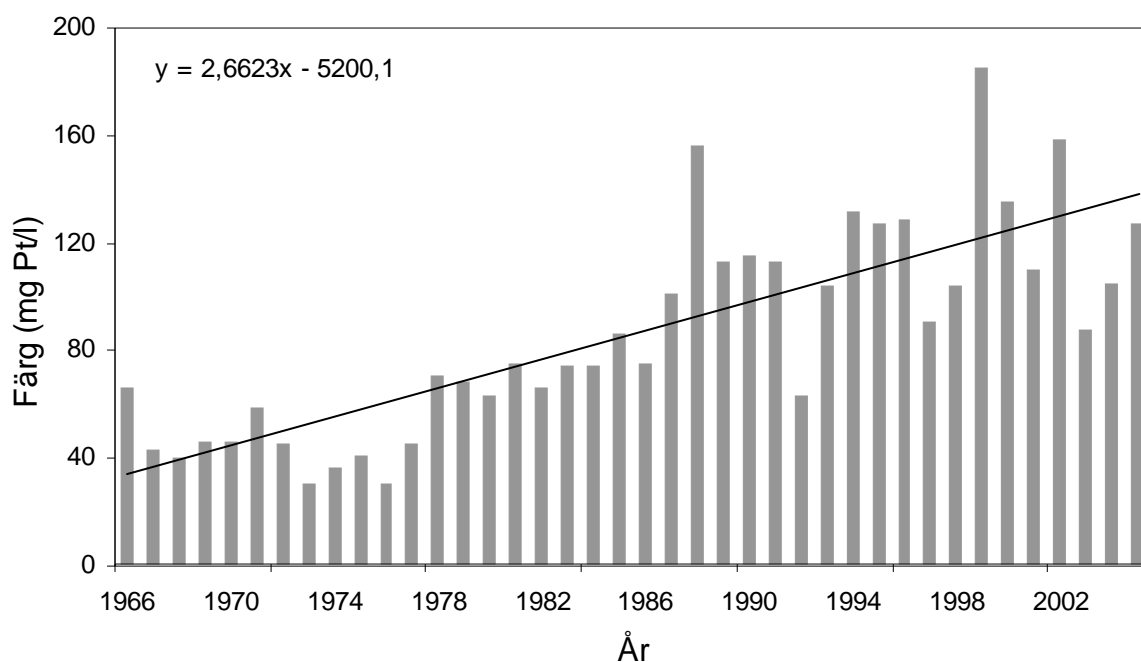
≤ 10	Ej eller obetydligt färgat vatten
10-25	Svagt färgat vatten
25-60	Måttligt färgat vatten
60-100	Betydligt färgat vatten
> 100	Starkt färgat vatten

Figur 4 visar ökningen av färgtalen för hela avrinningsområdet under tidsperioden 1966-2005 ( $F = 6,580$ ,  $df = 39$ ,  $p < 0,001$ ). Staplarna i figuren representerar ett medelvärde för samtliga provpunkter i avrinningsområdet under respektive år. Generellt visade färgtalen en svagt nedåtgående trend under åren 1966-1976 med halter som betecknas som måttliga. Efter denna perioden ökade färgtalen och vid 1980-talets slut var halterna uppe vid den nivån som man betraktar som starkt färgat vatten och halterna har sedan dess fortsatt att öka. Toppar med extremt höga färgtal noterades under åren 1988, 1999 och 2002 då koncentrationen nådde 156, 185 respektive 158 mg Pt/l. Linjens ekvation i figuren visar en genomsnittlig ökning av vattenfärgfärg med 2,66 mg Pt/l år.

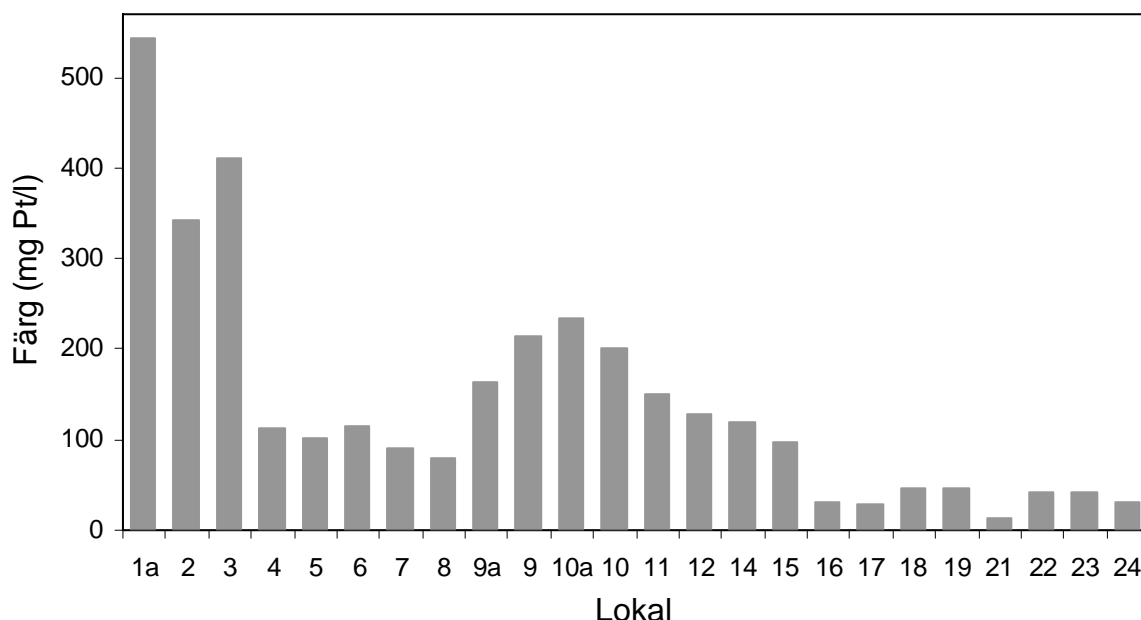
#### 3.2 Färgtalsgradient från norr till söder

Enligt figur 5 varierar färgtalen kraftigt mellan de olika provtagningspunkterna i Skräbeåns avrinningsystem. Staplarna i figuren representerar färgtalen som medelvärden för respektive provtagningsstation under tidsperioden 1966-2005. Avrinningsområdet uppvisar en tydlig nord-sydlig gradient av vattenfärg, med extremt höga halter i de nordligaste källområdena Tommabodaån, Vilshultsån och Farabolsån. Koncentrationerna i dessa tillflöden till sjöarna Immeln och Ivösjön är långt över den nivå som betraktas som starkt färgat vatten. Längre ner mot mynningen avtar halterna dramatiskt och vid utflödet i havet är koncentrationerna kraftigt reducerade.

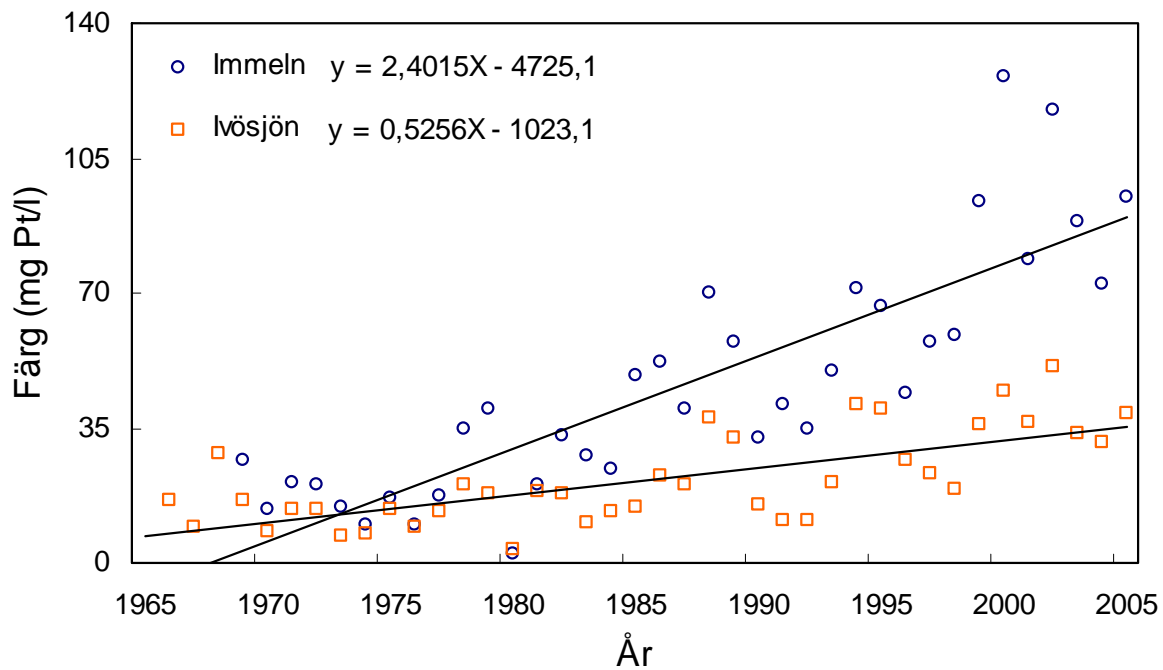
I figuren visas också att både Immeln och Ivösjön har en kraftigt reducerande effekt på vattenfärgen. Vattnet som rinner in i Immeln (punkt 3) är starkt färgat med en koncentration i medeltal på 411 mg Pt/l för tidsperioden. När det rinner ur sjön (punkt 5) är vattnet fortfarande betraktat som starkt färgat men med ett betydligt reducerat färgtal till 101 mg Pt/l. För Ivösjön gäller samma sak som för Immeln. Vid Holjeåns inlopp i Ivösjön (punkt 14) är färgtalet 120 mg Pt/l och i Ivösjöns utlopp i punkt 22 har halterna reducerats till 41 mg Pt/l, vilket anses vara måttligt färgat vatten.



**Figur 4.** Förändringen av färgtal i Skräbeåns avrinningsområde mellan åren 1966-2005. Staplarna i figuren är avsatta som årsmedelvärden för samtliga provtagningspunkter i avrinningsområdet.



**Figur 5.** Färgtal avsatta som medelvärden vid de olika provtagningspunkterna under tidsperioden 1966-2005. Höga färgtal kunde påvisas i de nordligaste åarna (punkt 1a, 2, 3, 9a, 9, 10a och 10). Flödet genom sjöarna medför en kraftig reduktion av vattenfärgen, jämför punkt 3 mot 5 för Immeln och punkt 14 mot 22 för Ivösjön.



**Figur 6.** Förändring av vattenfärg i Immeln (1969-2005) och Ivösjön (1966-2005). Punkterna är avsatta som årsmedelvärden för respektive sjö.

### 3.3 Högre färgtal i Immeln än Ivösjön

Under 1980-talet började färgtalen att stiga både i Ivösjön och i Immeln, mest dramatiskt i Immeln (fig. 6). Punkterna i figuren är avsatta som årsmedelvärden för samtliga provtagningspunkter i respektive sjö. Perioden 1966-1977 innebar låga färgtal i båda sjöarna. Under den första halvan av 1980-talet började halterna öka kraftigt i de båda sjöarna. Mest anmärkningsvärd var ökningen i Immeln där vattenfärgen steg ifrån obetydligt färgat vatten till starkt färgat vatten under en 20-årsperiod ( $F = 16,283$ ,  $df = 36$ ,  $p < 0,001$ ). Färgtalsökningen har inte varit lika dramatisk i Ivösjön som i Immeln. Här har vattenfärgen ökat ifrån obetydligt färgat vatten under 1980-talets början till måttligt färgat vatten under 1990-talets slut ( $F = 4,797$ ,  $df = 33$ ,  $p = 0,004$ ). Toppar med extremt höga färgtal noterades för Immeln under år 2000 och 2002 då årsmedelvärdet nådde 126 mg Pt/l respektive 118 mg Pt/l. Ekvationerna i figuren visar att den årliga genomsnittsökningen i färgtal har varit 2,4

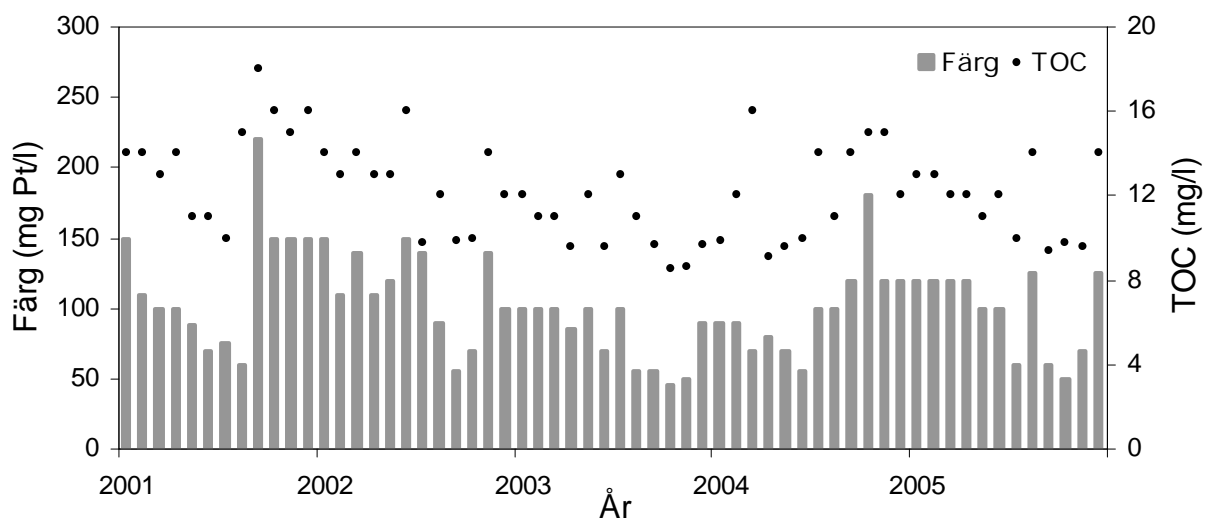
mg Pt/l i Immeln. Motsvarande siffra i Ivösjön var 0,5 mg Pt/l per år.

### 3.4 Detaljstudie av fem år

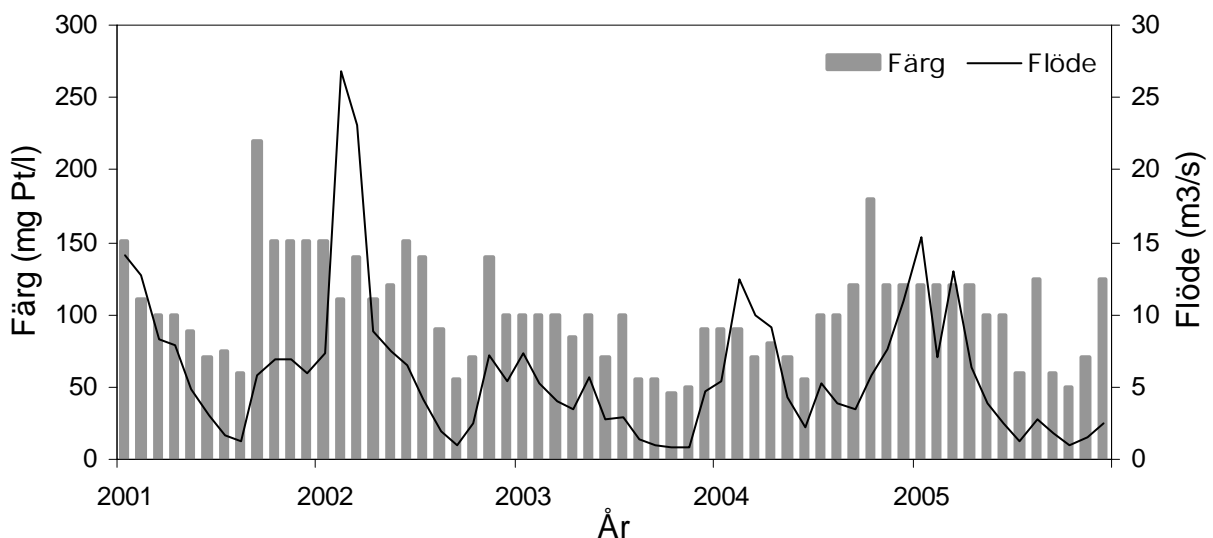
En detaljstudie från provtagningspunkt 14 under åren 2001-2005 presenteras i figur 7 och 8. Färgtal, TOC och flöde i figuren är avsatta som månadsmedelvärden under femårsperioden. En tydlig trend i figur 7 är att färgtalen och halterna TOC i stort sett följer samma säsongsmönster. Färgtalen och halterna TOC har varit höga under hela perioden, med de högsta halterna under 2001 och lägsta under 2003. Under sommarmånaderna då flödena varit som lägst uppvisade samtliga år förhållandevis låga färgtal och halter TOC. Höstmånaderna innebär en markant ökning av färgtalen då toppar med höga halter uppvisas i systemet. Detta är speciellt markant för vissa år, t ex 2001 och 2004, trots att flödena är relativt låga. Detta kan förklaras med den ackumulering av organiskt material i marken under och efter

växstsäsongen då nederbörden är låg. Under höstmånaderna, då nederbörden ökar, frigörs stora mängder löst organiskt material som lagrats i marken under ett och samma tillfälle. Regniga varma vintermånader resulterar i höga färgtal och halter TOC i ytvattnen. Sambandet mellan färgtal och TOC i provtagningspunkt 14 redovisas i figur 9 ( $F = 77,553$ ,  $df = 58$ ,  $p < 0,001$ ). Sambanden vattenfärg/flöde ( $F =$

$12,256$ ,  $df = 58$ ,  $p < 0,001$ ) och TOC/flöde ( $F = 10,658$ ,  $df = 58$ ,  $p = 0,002$ ) visas i figur 10. Enligt figuren uppvisar förhållandena färg/flöde och TOC/flöde inget linjärt samband med ett ökande flöde. Vid flöden över  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  avtar ökningen av färgtal och halt TOC och påvisar ingen markant ökning därefter.

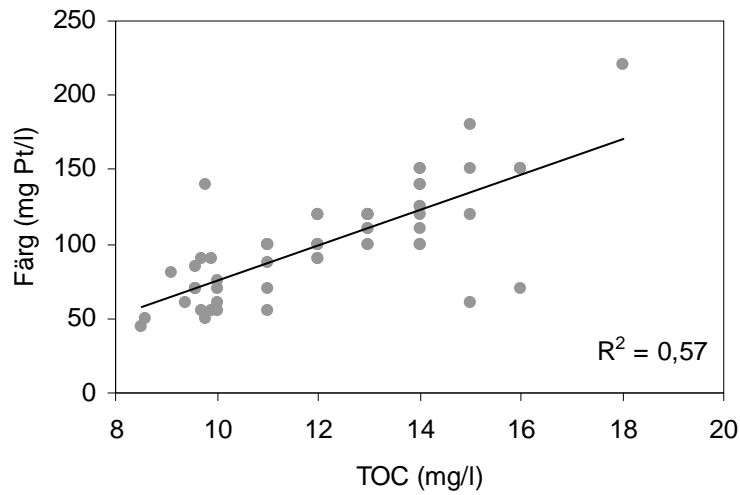


**Figur 7.** Färgtal och halterna TOC vid station 14 som månadsmedelvärden under femårsperioden 2001-2005.

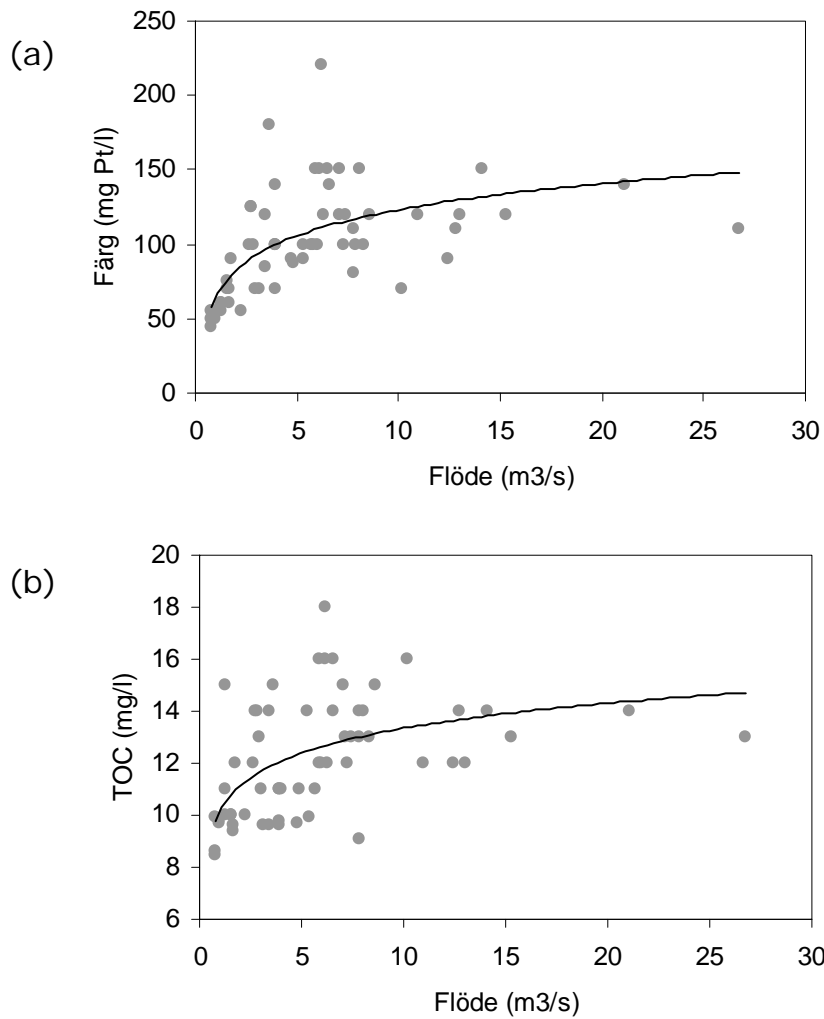


**Figur 8.** Färgtal och flöden vid station 14 som månadsmedelvärden under femårsperioden 2001-2005.





**Figur 9.** Sambandet mellan vattenfärgen och TOC avsatta som månadsmedelvärden i punkt 14 under perioden 2001-2005 ( $p < 0,001$ ).

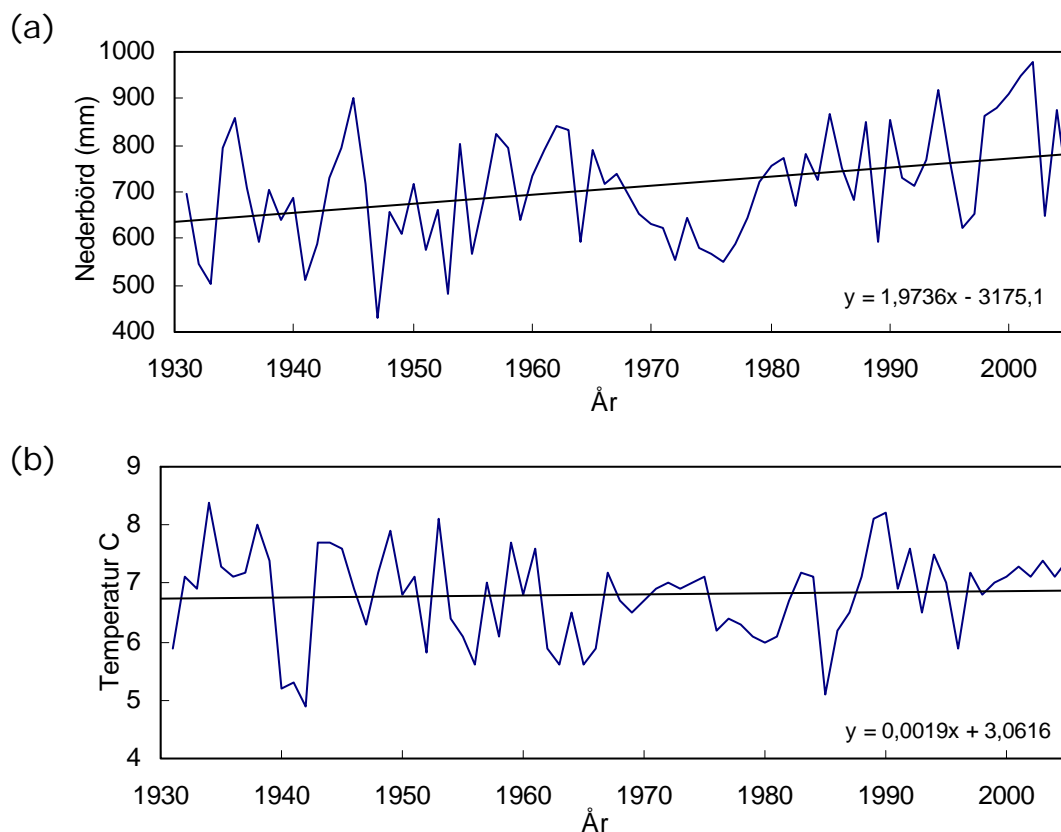


**Figur 10.** Vattenfärg, TOC och flöde avsatta som månadsmedelvärden från provtagningsstation 14 under perioden 2001-2005. (a) Vattenfärgen som en funktion av flödet ( $p < 0,001$ ). (b) Halten TOC som en funktion av flödet ( $p = 0,002$ ). Linjen i figuren är anpassad efter punkterna och visar att färg och TOC avtar vid flöden över  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

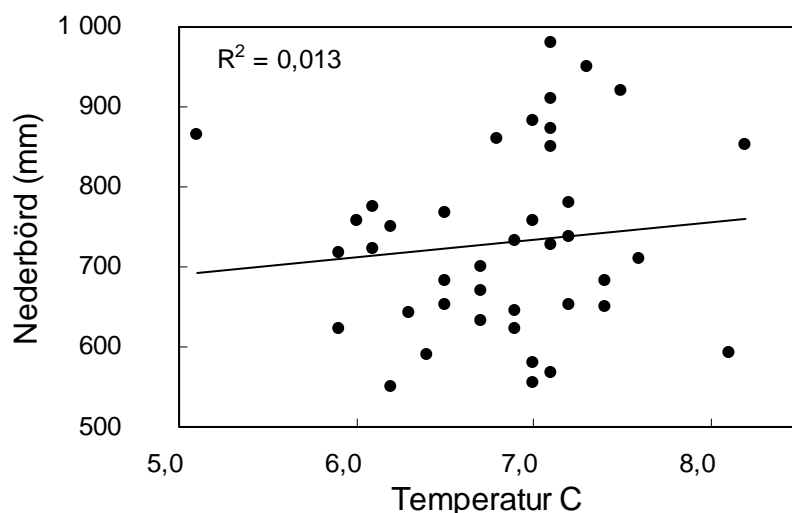
### 3.5 Nederbörd och temperatur

Uppgifter om nederbörd och temperatur under tidsperioden 1931-2005 beställdes från SMHI (figur 11). Osby väderstation valdes ut att representera hela avrinningsområdet. Nederbörden, beräknat som årsmedelvärden, har ökat kraftigt under tidsperioden 1931-2005. Den årliga medelnederbörden ökade från 632 mm år 1931 till 778 mm år 2005, vilket innebär en ökning på 23 %. Nederbördsmängderna har varierat kraftigt mellan åren med höga toppar under 1994, 2000 och 2002. Torrare perioder har noterats under hela undersökningsperioden, mest anmärkningsvärd var perioden under 1970-tallet.

Temperaturdata, som årsmedelvärden, påvisar ingen dramatiskförändring under tidsperioden. Medeltemperaturen steg endast 0,14°C i genomsnitt, från 6,73°C under 1931 till 6,87°C under 2005. Den årliga variationen har däremot varit stor under tidsperioden. Enstaka perioder med lägre temperaturer än normalt noterades under 1940-talet, 1962-1966 och 1975-1985. Efter 1995 har temperaturen stigit för att i stort sett ligga över normalt fram till 2005. Däremot var perioden mellan 1965-1975 torrare än normalt. Enligt figur 12 kunde inget samband mellan nederbörd och temperatur påvisas ( $F = 0,5$ ,  $df = 39$ ,  $p = 0,484$ ).



**Figur 11.** Nederbörd (a) och temperatur (b) som årsmedelvärden under tidperioden 1931-2005. Värdena är hämtade från SMHI:s väderstation i Osby. Under perioden ökade nederbörden med 146 mm och temperatur 0,14 °C.

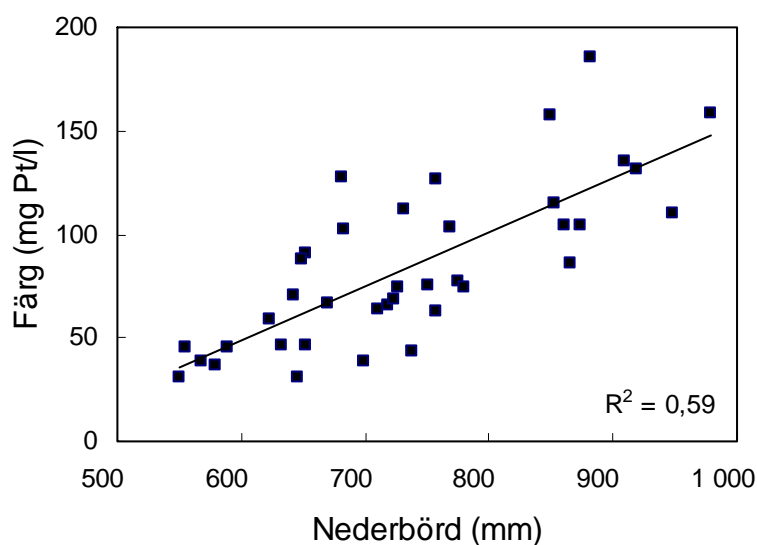


**Fig 12.** Förhållandet mellan nederbörd och temperatur avsatta som årsmedelvärden ( $p = 0,484$ ).

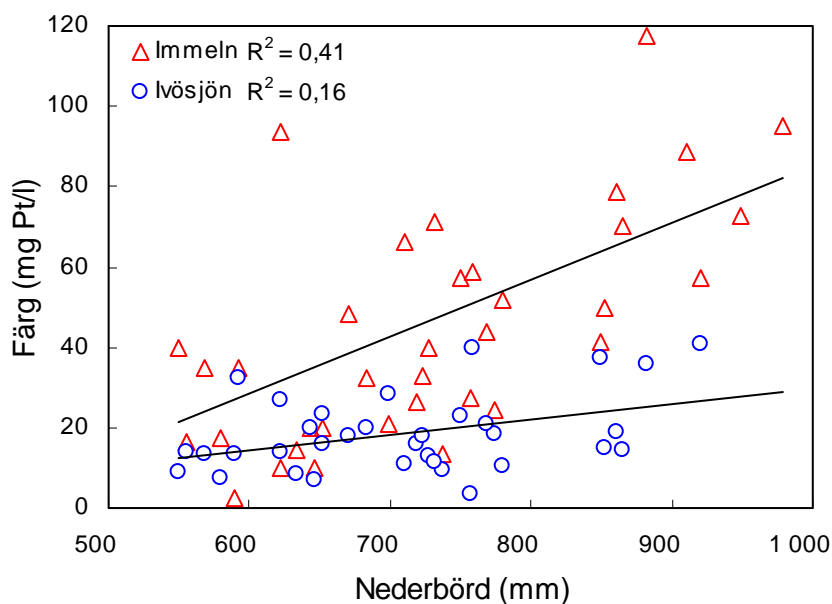
### 3.6 Samband mellan färgtal och nederbörd

Färgtal och nederbörd, beräknade som årsmedelvärden för samtliga provtagningsstationer, uppvisade ett större samband i vattendragen jämfört med sjöarna Immeln och Ivösjön. Enligt figur 13 kunde nederbörden i området förklara 59 % av variationen av färgtalen i vattendragen, ( $F = 51,308$ ,  $df = 37$ ,  $p < 0,001$ ). Förändringar i nederbörden påverkar sjöarna Immeln och Ivösjön

olika. Färgtalsökningen är mer markant i Immeln än i Ivösjön vid höga nederbördsmängder, vilket visas i figur 14. Nederbörden kunde förklara 41 % av variationen i vattenfärg i Immeln ( $F = 24,688$ ,  $df = 36$ ,  $p < 0,001$ ). Motsvarande siffra var betydligt lägre för Ivösjön. Här kunde nederbörden endast förklara 16 % av variationen av färgtalet i sjön ( $F = 6,072$ ,  $df = 33$ ,  $p = 0,019$ ).



**Fig 13.** Förhållandet mellan vattenfärg och nederbörd i vattendragen. Punkterna är avsatta som årsmedelvärden under perioden 1966-2005 ( $p < 0,001$ ).



**Fig 14.** Förhållandet mellan vattenfärg och nederbörd i Immeln ( $p < 0,001$ ) och Ivösjön ( $p = 0,019$ ). Punkterna är avsatta som årsmedelvärden under perioden 1966-2005.

### 3.5 Kolbudget för Immeln och Ivösjön

De budgetberäkningarna av organiskt material i Immeln och Ivösjön som presenteras i tabell 3, baseras på data från Skräbeåns recipientkontroll under tidsperioden 1966-2005. För vissa av provstationerna var informationen bristfällig till exempel saknades samtida data för flöde och TOC för flera av stationerna, vilket medförde problem vid transportberäkningarna. Uppgifterna i budgetberäkningarna grundas därför på beräknade medelvärden för hela tidsperioden. Detta ger endast en grov uppskattning av kolflödet i sjöarna och visar ingen variation mellan månader eller år. Sjöarnas areor utnyttjades för att beräkna belastningen per  $m^2$  och redovisas i tabell 1. Uppgifter om TOC och vattenflöden för de mindre tillrinningsområdena, Strömhultsbäcken, Nytebodaån, Lillån och övriga tillflöden saknades i Immeln. Likaså saknades uppgifter om tillflödena Byaån och övriga tillflöden i Ivösjön. Dessa mindre tillrinningsområdens bidrag av TOC beräknades genom att de belastar sjöarna

med TOC i proportion till deras tillrinningsområde i förhållande till respektive sjös huvudtillrinningsområde. Tillrinningsareor, flöden och TOC-koncentrationer som utnyttjades i beräkningarna redovisas i tabell 2. Bidragen beräknades enligt:

$$\frac{[\text{Strömhultsbäckens tillrinningsområde}]}{[\text{Ekehultsåns tillrinningsområde}]}$$

Kvoten mellan de båda tillrinningsområdena visar Strömhultsbäckens bidrag av TOC till Immeln i förhållande till Ekehultsåns bidrag av TOC, vilket är känt. Detta antagande stämmer förutsatt att TOC-koncentrationen i Strömhultsbäcken är densamma som i Ekehultsån. När alla bidrag från delavrinningsområdena var kända, då som  $g \text{ TOC}/m^2 \text{ år}$ , kunde den totala belastningen av alloktont material på respektive sjö beräknas. För Lillåns utflöde ur Immeln antogs samma TOC-koncentration som i Immelns utlopp (punkt 5).

**Tabell 2.** Immelns och Ivösjöns delavrinningsområden, tillrinningsarea samt flöden och TOC koncentrationer som medelvärden för perioden 1966-2005.

Delavrinnings- område	Tillrinnings- area km <sup>2</sup>	Flöde m <sup>3</sup> /s	TOC mg/l
<b>Immeln</b>			
Ekeshultsåån, inlopp Immeln	107,8	1,12	23,73
Strömhultsbäcken	56,6		
Nytebodaån	17,5		
Övriga tillflöden	71,1		
Lillån	14,6	0,6	13,3
Immelns utlopp	275,3	2,18	13,3
<b>Ivösjön</b>			
Holjeån, inlopp Ivösjön	699,9	5,97	12,7
Oppmannakanalen	93,4	0,92	9,18
Byaån	29,6		
Övriga tillflöden	77,2		
Skräbeån, utlopp Ivösjön	994,0	9,0	8,30

Små mängder kol transporteras till sjöarna via nederbörden. Ogren et al. (1983) analyserade koncentrationen DOC i regnvatten på 12 olika platser i Sverige under 1980-1981. Halterna varierade månadsvis mellan 20-600 µg/l, med ett medelvärde på 180 µg/l. Under perioden 1966-2005 beräknades nederbörden i genomsnitt vara 742 mm per år. Totalt ger detta ett bidrag av kol via nederbörden på 1,6 mg C/m<sup>2</sup> år. Detta låga värde har inte tagits med i kolberäkningarna.

Produktionen av DOC från primärproducenterna grundades på beräknade medelvärden av klorofyllkoncentrationer för sjöarna. Medelkoncentrationen klorofyll beräknades till 2,5 µg/l i Immeln och 3,5 µg/l i Ivösjön. Dessa klorofyllkoncentrationer betraktas som låga enligt Naturvårdsverkets rapport 4913. Wetzel (2001) anger att mesotrofa sjöar med klorofyllkoncentrationer mellan 2-15 µg/l har en produktion på 250-1000 mg C/m<sup>2</sup> per dag. Klorofyllhalterna i Immeln och Ivösjön ligger i den nedre regionen av dessa litteraturvärden.

Approximativt bedömdes produktionen i Immeln och Ivösjön vara ~280 mg C/m<sup>2</sup> per dag respektive ~300 mg C/m<sup>2</sup> per dag. På årlig basis ger detta i Immeln en produktion på 102,2 g C/m<sup>2</sup> och motsvarande 109,5 g C/m<sup>2</sup> i Ivösjön. Av den totala mängden autoktont TOC som primärproducenterna producerar frigörs 5-35 % som DOC (Wetzel 2001). I beräkningarna antogs 20 %. För Immeln och Ivösjön motsvarar detta 20,4 g C/m<sup>2</sup> per år, respektive 21,9 g C/m<sup>2</sup> per år. Resterande kol förloras som partikulärt detritus eller genom sedimentation (Lyche et al. 1996).

Akvatiska makrofyter, som också tillhör primärproducenterna, utsöndrar DOC under tillväxten i form av extracellulärt organiskt kol (EOC). Organiskt material frigörs dessutom vid nedbrytningen av döda växtdelar. Humösa sjöar har dock en mycket begränsad produktion av makrofyter, främst p.g.a. de dåliga ljusförhållanden som råder, och har därför inte tagits med i beräkningarna. I sjöar med höga färgtal är absorbansen av solljuset hög och makrofyter är begränsade till den

grunda littoralen. Av den minimala mängden DOC som frigörs av akvatiska makrofyter är majoriteten refraktärt (Wetzel 1992).

Majoriteten av det DOC som härstammar från terrestra källor är refraktärt och svårtillgängligt för bakterier att utnyttja som energikälla. Experiment har visat att bakterier kan tillgodogöra sig mindre än 10 % av alloktont DOC (Tranvik 1998,

Raymond & Bauer 2000). I beräkningarna antogs att 10 % av alloktont DOC var labilt och tillgängligt för bakteriell nedbrytning. Majoriteten av autoktont producerat DOC är labilt och utgör ett utmärkt substrat som energikälla för mikroorganismer. Biddanda et al. (2001) angav att 82-98 % av DOC producerat av växtplankton är tillgängligt för nedbrytning. I beräkningarna antogs att 80 % av autoktont DOC var labilt.

**Tabell 3.** Beräkning av alloktont bidrag, autokton produktion och utflöde av organiskt material i sjöarna Immeln (a) och Ivösjön (b). I tabellen har C via allokton belastning och utflöde angivits som TOC medan primärproduktion angivits som DOC. Bakteriell nedbrytning motsvarar 10 % av allokton belastning och 80 % av autokton produktion. Alla värdena är beräknade som årsmedelvärden under perioden 1966-2005 och uttrycks som g C/m<sup>2</sup>/år.

(a)		g C/m <sup>2</sup> år	%
	In		
	Ekeshultsån	37,67	35
	Strömhultsbäcken	19,78	18
	Nytebodaån	6,12	6
	Övriga tillflöden	24,84	23
	Nederbörd	–	–
	Primärproduktion <sup>1</sup>	20,44	18
	Totalt	108,86	100
	Ut		
	Immeln utlopp	41,28	38
	Lillån	8,57	8
	Bakteriell nedbrytning <sup>2</sup>	27,24	25
	Totalt	77,09	71
	NETTO	31,77	29
	(b)		
		g C/m <sup>2</sup> år	%
	In		
	Holjeån	52,9	60
	Oppmannakanalen	5,89	7
	Byaån	2,24	3
	Övriga tillflöden	5,83	7
	Nederbörd	–	–
	Primärproduktion <sup>1</sup>	21,9	23
	Totalt	88,76	100
	Ut		
	Skräbeån	55,89	63
	Bakteriell nedbrytning <sup>2</sup>	26,4	30
	Totalt	82,29	93
	NETTO	6,47	7

<sup>1</sup>data hämtade från Wetzel (2001)

<sup>2</sup>källa: Tranvik (1998), Raymond & Bauer (2000) och Biddanda et al. (2001).

## 4. Diskussion

### 4.1 Förändringar och orsaker

Undersökningar av vattenkvaliteten i Skräbeåns avrinningsssystem under perioden 1966-2005 visar att vattenfärgen från och med 1980 och framåt har stigit kraftigt och att halterna under mitten på 1970-talet var lägre än normalt. Löfgren (2003) uppvisade liknande resultat från Norge och södra Sverige och beskrev att humushalterna minskade fram till 1976 för att därefter stiga och nå sitt maximum år 2002. Färgtalen i avrinningsområdet visar en tydlig nord-sydlig gradient med kraftigt förhöjda färgtal i de nordligaste källflödena Tommabodaån-Ekeshultsån, Vilshultsån och Farabolsån-Snöflebodaån. Under vattnets transport från avrinningsområdets övre delar, via åarna och sjöarna, reduceras färgtalen gradvis för att vara betydligt lägre vid Skräbeåns mynningen i Östersjön.

Figur 6 visar förändringen av vattenfärg i Immeln och Ivösjön under den undersökta tidsperioden. Från 1966 fram till 2005 har halterna färgat organiskt material stigit ca 5 gånger i Immeln medan i Ivösjön har motsvarande ökningen inte varit lika dramatisk, ca 1,5 gång. Mönstren i de båda sjöarna har följts relativt bra åt under åren och uppvisar samtida ökning och sänkning i färgtalen. Under den första hälften på 1980-talet började koncentrationerna att tillta i de båda sjöarna och detta sammanfaller med ökande nederbörds mängder under samma period.

Klimatfaktorer som nederbörden och temperatur har av många forskare beskrivits vara den drivande faktorn när det gäller att avspegla avrinningsområdets egenskaper i vattendragen och sjöarna. Vid hög nederbörd ökar den vattenburna transporten av organiskt material till vattendragen vilket i sin tur medför förhöjda färgtal. Lindström och

Alexandersson (2004) påpekade att den globala uppvärmningen sannolikt påverkar avrinningen till akvatiska system. Deras modell för södra Sverige visar att temperaturen ökat med 0,7°C, nederbörden 11 % och avrinningen 7 % under perioden 1901-2002. Andersson et al. (1990) visade att nederbörds mängderna koncentrerats till höstarna medan sommarmånaderna har blivit allt torrare. Enligt långtidsanalysen i denna studien (1931-2005) av nederbörd och temperatur från SMHI:s väderstation i Osby kunde en 23 % ökning i nederbörd påvisas men endast en svag temperaturhöjning på 0,14°C. Inget samband mellan nederbörd och temperatur kunde påvisas i denna studien ( $r^2 = 0,013$ ).

I vattendragen kunde nederbörden förklara 59 % av variationen i vattenfärg. Perioder med höga humushalter förefaller alltså vara korrelerade med perioder med höga nederbörds mängder. På motsvarande sätt var perioder med låga humushalter bra korrelerade med torrare år. I Immeln och Ivösjön är sambandet mellan nederbörd och vattenfärg inte lika påtagligt som i vattendragen. Nederbörden i området kunde förklara 41 % av variationen av färgtalen i Immeln, och motsvarande siffra i Ivösjön var endast 16 %.

Förutom nederbörds mängden spelar avrinningsområdets karaktär en viktig roll när det gäller utbytet av organiskt material mellan terrestra och akvatiska system. I den övre delen av avrinningsområdet är inslagen av barrskogar, näringsfattiga jordarter och myr- och torvmarker stora. Längre ner i Skräbeåns avrinningsområde är de stora inslagen av jordbruksmark, lövskog och kalkrika jordarter mer påfallande. Här är jordarterna mer permeabla för vatten och har bättre buffringsegenskaper än i de övre delarna i avrinningsområdet.

Vattnets vägar genom marklagret i avrinningsområdet är en viktig faktor som styr transporten av DOC från terrestra till

akvatiska system. När det organiska materialet sakta tränger igenom ett djupt jordlager förlängs tiden för nedbrytnings- och markprocesser, vilket resulterar i reducerade halter DOC. Det tunna jordlagret och den kuperade terrängen i de norra delarna av avrinningsområdet gör att avrinningen vid hög nederbörd är snabbare och ytligare än i de södra delarna där jordlagret är mer permeabelt och håller kvar vattnet under längre tider. Endast en mindre del av DOC i låglänta avrinningsområden når vattendragen på grund av adsorption och mikrobiell aktivitet i de tjocka jordlagren (Ivarsson och Jansson 1994). Sjöar och vattendrag som ligger i avrinningsområden vars jordar är permeabla tar därför emot vatten med låga halter DOC, medan avrinningsområden med sämre jordmån har sjöar med högre DOC-koncentrationer. Trots att produktionen av organiskt material är betydligt högre i låglänta landskap är halterna DOC lägre i vattendragen jämfört med vattendrag i avrinningsområden med backiga landskap.

Under perioder med höga nederbörds mängder kan mer vatten flöda horisontellt genom de övre marklagren (Lundin 1995). Detta ökar markens förmåga att överföra markvatten till vattendragen. Under regn eller vid snösmältningen kan upp till 70 % av vattnet i vattendragen bestå av djupt grundvatten. Det resterande vattnet kommer från ytligt grundvatten eller direkt från nederbörd (Grip 1982). I djupt grundvatten är i regel halterna DOC låga ( $< 0,1$  mg/l) medan vattendragen i samma område kan ha koncentrationer över 15 mg/l. Hur är detta möjligt när det mesta vattnet kommer från grundvattnet? Grundvattnet lakar ur marken på DOC under transporten mot vattendraget. När grundvattennivån stiger på höga nederbörds mängder är grundvattnet i högre grad i kontakt med organiska jordar i utströmningsområdena. I de utströmningsområden som domineras av

våtmark eller myrmark är korrelationen mellan dessa och vattendragens halter av organiskt material stark. (Mollet och Dillon 1997).

Humushalterna i ytvattnen kan variera mycket mellan årstiderna och är starkt korrelerat till månader med högre nederbörd. Säsongvariationen av färgtal, TOC och flöden under femårsperioden 2001-2005 från punkt 14 visas i figur 7 och 8. Under vintermånaderna förefaller färgtalen och halterna DOC att vara som högst. Detta kan troligtvis sammankopplas med att medeltemperaturen har varit något högre än normalt i området under denna perioden och detta har medfört högre nederbörds mängder och vattenflöden. De högsta färgtalen och halterna TOC, som till exempel under 2001 och 2004, har noterats under höstmånaderna när vattenflödena varit relativt låga. Under hösten är halten DOC per volymmeter högre än under våren. Detta betyder att även om avrinningen är lägre under hösten jämfört med våren så kan koncentrationerna av organiskt material vara högre under hösten. Anledningen till detta är att mer organiskt material ackumuleras i och på marken under och efter växtsäsongen. Sommar- och vintertoppar uppstår troligtvis när grundvattennivåerna minskar, och ytvattnen primärt tillförs vatten från myrmarker och andra utströmningsområden rika på organiskt material. Enligt figur 10 är förhållandena mellan färg och flöde samt förhållandet mellan TOC och flöde icke linjära. Färgtal och halter TOC avtar dramatiskt vid flöden över  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  och planar därefter ut. Detta har troligtvis sin förklaring i att vid höga flödesregimer härstammar en betydande mängd av vattnet i vattendragen från djupare grundvatten, vilket innebär en utspädningseffekt av det ytliga grundvattnet. Kombinationen av hög avrinning och högt DOC kan vara en naturlig orsak till att vattendrag och sjöar periodvis är försurade, vilket beror på humussyrornas låga pH.



Kling et al. (2000) visade att förhållandet mellan sjöarean och avrinningsområdets storlek samt vattnets uppehållstid i sjön är korrelerat till sjöarnas halter av humus. Vattnets färgtal ökar proportionellt med ökande avrinningsområde och minskar med en längre uppehållstid. Detta kan förklaras genom att sjöar med en liten kvot mellan sjöarea/avrinningsområde tar emot mer DOC per area än sjöar med större kvot. En längre uppehållstid påverkar interna nedbrytningsprocesser i sjön positivt. För Immeln och Ivösjön är skillnaden mellan dessa variabler mycket liten. Immeln utgör 8 % av dess avrinningsområde och har en uppehållstid på 1,6 år medan motsvarande siffror för Ivösjön är 5,5 % och 1,9 år. Enligt Algesten et al. (2003) är uppehållstiden en starkare och bättre variabel att utnyttja än kvoten sjöarea/avrinningsområde när man ska förutsäga DOC reduktionen i sjöar. Kvoten mellan sjöarea och tillrinningsarea är konstant men däremot varierar uppehållstiden med klimatet. Under perioder med hög nederbörd ökar vattnets genomströmningshastighet, men däremot under torrare perioder förlängs vattnets uppehållstid i sjön. Avdunstningen från sjöytan ökar dessutom i ett klimat med högre medeltemperatur.

Immeln och Ivösjön uppvisar stor skillnad i vattenfärg trots att de ligger nära varandra. Att sjöarna uppvisar ett lägre samband mellan vattenfärg och nederbörd än vattendragen var väntat och kan förklaras genom att nedbrytnings- och sedimentationsprocesserna är betydligt mer påtagliga i sjöarna än i vattendragen. En annan förklaring kan vara att fördröjningsperioden mellan nederbörd och vattenfärg är mindre i vattendragen än i sjöarna. Detta innebär att vattendragen visar förhöjda färgtal omedelbart efter hög nederbörd medan i sjöarna sprids det organiska materialet i vattenmassan, vilket innebär en förskjutet färgtalsökning. Fördröjningsperioden mellan nederbörd och färgtal skiljer sig åt mellan sjöar och

korrelationen är minst i sjöar med stora avrinningsystem med långa uppehållstider. Johansson (2005) visade att vattenfärgen med ett års tidsförskjutning mot vattenföring kunde förklara variationen av färgtal i Mälaren. Ivösjöns lägre samband mellan vattenfärg och nederbörd kan inte enbart förklaras med nederbördsdata eftersom nederbörden i respektive sjö är lika. Inte heller kan vattnets uppehållstider eller kvoten sjöarea/tillrinningsområde förklara variationen mellan sjöarna eftersom dessa faktorer också är relativt lika. Den mest sannolika förklaringen till variationen mellan de två sjöarna är deras regionala skillnad i avrinningsområdet, som är kopplad till de markförhållanden, vegetation och topografi som råder i respektive sjös avrinningsområde.

I tabell 3 redogörs in- och uttransporten av organiskt material för de båda sjöarna vilket bekräftar att Immeln tar emot större mängder organiskt material per ytenhet än Ivösjön. Beräkningarna visar att belastningen av TOC är 23 % högre per ytenhet i Immeln än i Ivösjön och att flödena ut ur sjöarna står för den största reduktionen av organiskt material. I Immeln motsvarar reduktionen via Holjeån och Lillån 45 % av sjöns totala belastning av TOC och i Ivösjön motsvarade denna siffra 48 % via Skräbeån. Kvaliteten på det inkommande organiska materialet har stor betydelse för nedbrytningsprocesserna i sjöarna. Tillflödena till Immeln har sitt ursprung i avrinningsområdets övre delar där andelen barrskogar och mossar är högre än i de nedre delarna. Humus som härstammar från dessa områden består i hög grad av refraktära substanser som utgör ett dåligt substrat som energikälla för mikroorganismer. Detta avspeglar sig i en reducerad nedbrytning av det organiska materialet, vilket resulterar i att en ansenlig mängd passerar genom sjöekosystemet utan att påverkas av mikrobiella processer.

Det vatten som flödar ur Immeln via Holjeån sammanstrålar med biflöden Vilshultsån och Snöflebodaån som transporterar in nytt färskt organiskt material för vidare transport in i Ivösjön. Effekten av att sjöarna delvis ligger i serie gynnar sannolikt Ivösjön, men i vilken omfattning nedbrytningsprocesser av organiskt material i Immeln påverkar Ivösjön är svårt att uttala sig om. Enligt beräkningarna bidrar Oppmannasjön med 7 % av Ivösjöns totala belastning av TOC via Oppmannakanalen. Oppmannasjön är betydligt näringsrikare och har en högre växtplanktonbiomassa än Ivösjön. Denna utspädning av alloktont DOC med autoktont DOC samt tillförseln av näringsämnen från Oppmannasjön, gynnar sannolikt mikrobiella nedbrytningsprocesser i Ivösjön.

#### 4.2 Framtidsscenarioer

I ett längre tidsperspektiv bör förändringar i klimatet spela en viktig roll för vattenkvaliteten. Efter de senaste årens på många sätt extrema klimat har flera forskare studerat effekter av en extrem nederbörd och klimatförändring på vattnets kvalitet (Blenckner 2000, Weyhenmeyer 2005). Kraftig nederbörd drabbade flera delar av Sverige under 2000, i form av översvämningar. Detta år noterades också de högsta färgtalen i Skräbeåns avrinningsområde. Ytterligare extrema klimathändelser har noterats bl a 2002 då en årsnederbörd på 980 mm noterades i området. Enligt klimatscenarioer kommer framtida klimat i Norden bli varmare, mer nederbördsrikt och extremare (Rummikainen et al. 2002). Detta klimat kommer i sin tur påverka vattenflödet, och i simuleringar gjorda på sjön Vänern, visade två olika modeller på kraftigare vinterflöden (Andreasson et al. 2002) Enligt denna studien är nederbörden och framför allt vattenföringen de drivande krafterna till organiska material i sjöar.

Sweclim, Swedish regional climate modelling program (2002) har tagit fram klimatscenarioer för Norden med hjälp av två olika modeller. Osäkerheten i framtida utsläpp skapar ett problem vid förutseendet av framtida klimat. Utsläppen i dag är höga och förväntas vara det i decennier framöver, men exakt hur förloppen utvecklar sig framtiden är osäkert. För att reducera denna osäkerhet använder Sweclim två olika utsläppscenarioer, A2 och B2. I båda fallen beräknas utsläppen att öka, men A2 i snabbare takt än B2. Sweclim jämför 30-årsperioden 1961-1990 med den kommande perioden 2071-2100. Modellerna visar att årsmängderna kommer att öka i Norden, på grund av ökning i vår, vinter och höstnederbörd. Detta innebär att avrinningen kommer att bli högre i ett framtida klimat, och därmed kan också vattenkvaliteten i vattendrag och sjöar påverkas negativt.

#### 4.3 Felkällor i studien

Viktiga aspekter i studier av långvariga trender är noggrannhet och frekventa provtagningar. Provtagningarnas metodik, intensitet, parametrar och antalet provpunkter har ökat sedan kontrollen av Skräbeåns avrinningsområde startade. Under 1960-talet var provtagningarna få, vilket ökar osäkerheten i resultaten. Flera konsulter, med skiftande noggrannhet, har varit inblandade i vattenkontrollen och detta har sannolikt också påverkat resultaten. En annan felkälla ligger i kolbudgeten för Immeln och Ivösjön, där flera av delavrinningsområdena till respektive sjö har approximerats genom att jämföras med närliggande avrinningsområden med kända TOC halter och flöden. Denna generalisering ger endast en grov uppskattning av belastning organiskt material på sjöarna.

Ytterligare en felkälla är att data på temperatur och nederbörd är hämtade från en enda lokal. I studien representeras

temperatur och nederbörd från Osby väderstation, vilken är placerad relativt långt ifrån kusten. Detta innebär en överskattning av nederbörden och att beräkningarna endast avspeglar de klimatförhållanden som råder i avrinningsområdet övre delar. Avrinningsområdet nedre delar är beläget närmare kusten där klimatet är mildare och nederbördsfattigare. För att få representativa mätvärden över klimatet i avrinningsområdet bör mätvärden från två stationer utnyttjas; ett nära kusten, t ex Kristianstad, och ett inåt landet, t ex Osby.

Studien är begränsad och det finns en rad olika faktorer som studien inte tog hänsyn till. Brukningsmetoder i jord- och skogsbruk har sannolikt förändrats under perioden, men dessa har inte behandlats här. I det moderna skogsbruket strävar man efter högproducerande skogar där lövskog har ersatts av gran. Dikning och kalhyggen ökar vattnets hastighet ur skogen och de naturliga reningsprocesserna hinner inte verka. Utan våtmarker, kärr och andra vattensamlingar i skogen minskar skogsmarkens förmåga att magasinera vatten under vårfloden, vilket resulterar i kraftigare vårflod. Dessa parametrar borde också ha inkluderats i statistiken för att bättre ringa in orsaker och samband.

#### 4.4 Slutsatser

Denna studien visade att vattenfärgen i Skräbeåns avrinningsystem har stigit kraftigt under de senaste fyra decennierna och att nederbörden under samma period ökat kraftigt. Däremot har temperaturökningen i området varit svag. Klimatfaktoriska förändringar anses av många forskare vara anledning till de förhöjda humushalter som observerats i svenska ytvatten. Under hög nederbörd ökar avrinningen i de ytliga jordlagren och humusen följer med ut i vattendragen. Studien visade också att färgtalen i Immeln ökar mer än i Ivösjön vid höga

nederbördsmängder trots att uppehållstider och andel sjöarea i området är relativt lika för de båda sjöarna. Denna skillnad i färgtal är sannolikt resultatet av sjöarnas avrinningsområden, där Immelns geohydrologiska egenskaper gynnar en snabb och ytlig avrinning. Studien bekräftar, genom att upprätta en kolbudget, att importen av alloktont kol är betydligt högre än den interna produktionen autoktont kol i både Immeln och i Ivösjön. Detta innebär att det akvatiska ekosystemet blir mer beroende av energi som mobiliserats via nedbrytning av organiska material än av energi mobiliserad via fotosyntesen. Den höga bakterietillväxten i brunvattensjöar innebär att exporten av CO<sub>2</sub> till atmosfären är högre än vad som binds via primärproducenterna.

Eftersom humusdynamiken är så starkt sammankopplade med klimatvariationerna kommer humushalterna att förändras med tiden. Att bedöma hur humushalterna kommer att variera i framtiden är svårt eftersom prognoserna för framtida klimatförändringar är osäkra. För att bättre kunna förutspå framtida utveckling av humusnivåerna i sjöar och vattendrag är det viktigt att man drar paralleller mellan klimatförändringar och markanvändning och jämför dessa med humushalterna i ytvatten. En högre kontroll av Sveriges ytvatten och mer forskning är viktiga redskap för att vi ska få en större kunskap om humusdynamiken i svenska ytvatten. En ökande medvetenhet hos allmänheten om problemen är också viktig eftersom detta ökar pressen på politiker att reducera utsläppen till luft och vatten.

*Tack!*

Jag skulle vilja tacka Wilhelm Granéli, Limnologiska avdelningen, Lunds Universitet, för värdefulla kommentarer och förslag under arbetets gång. Vill också tacka Lars Collvin, Länsstyrelsen Skåne

län, som tagit fram all nödvändig data för att kunna utföra exjobbet. Sist men inte minst vill jag tacka Anders Hargeby, Länsstyrelsen Skåne län, som besparat mig mycket tid genom att digitalisera all data åt mig.

## 5. Referenser

- Algesten, G., Sobek, S., Bergström, A-K., Ågren, A., Tranvik, L.J & Jansson, M. 2003. Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone. *Global Change Biology* 10: 141-147.
- Amblard, C., Carrias, J-F., Bourdier, G & Maurin, N. 1995. The microbial loop in a humic lake: seasonal and vertical variations in the structure of the different communities. *Hydrobiologica*. 300/301: 71-84.
- Andreasson, J., Gardelin, M & Bergström, S. 2002. Modelling hydrological impacts of climate change in the lake Vänern region in Sweden. *Vatten* 58: 25-32.
- Arvola, L., Salonen, K., Kankaala, P. & Lehtovaara, A. 1992. Vertical distributions of bacteria and algae in a steeply stratified humic lake under high grazing pressure from *Daphnia longispina*. *Hydrobiologica*. 229: 253-269.
- Biddanda, B., Ogdahl, M. & Cotner, J. 2001. Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters. *Limnol. Oceanogr.* 46 (3): 730-739.
- Blenckner, T. 2000. Klimatförändringar och insjöar. *Sweclims årsrapport* 2000.
- Cole, J.J., Carpenter, S.R., Kitchell, J.F. & Pace, M.L. 2002. Pathways of organic carbon utilization in small lakes: Results from whole-lake <sup>13</sup>C addition and coupled model. *Limnol. Oceanogr.* 47: 1664-1675.
- Correll, D.L., Jordan, T.E. & Weller, D.E. 2001. Effects of Precipitation, Air Temperature, and Land Use on Organic Carbon Discharges from Rhode River Watersheds. *Water, Air, and Soil Pollution* 128: 139-159.
- Danilov, R.A. & Ekelund, N.G.A. 2001. Effects of solar radiation, humic substances and nutrients on växtplankton biomass and distribution in Lake Solumsjö, Sweden. *Hydrobiologica*. 444: 203-212.
- Duarte, M.C. & Prairie, Y.T. 2005. Prevalence of Heterotrophy and Atmospheric CO<sub>2</sub> Emissions from Aquatic Ecosystems. *Ecosystems*. 8: 862-870.
- Ekologgruppen. 1995. Ivösjön. Sammanställning och utvärdering av undersökningsresultat från perioden 1966-1993. Ekologgruppen i Landskrona AB.
- Granéli, W. 2002. Abstracts. Omsättning och effekter av humusämnen i sjöar, vattendrag och havsområden. Sammanfattning av föredrag den 4 februari 2002.
- Grip, H. 1982. Water chemistry and runoff in forest streams at Kloten. UNGI Rapport Nr 58. Doctoral Thesis, Uppsala University, Uppsala, 144 pp.
- Hongve, D. 1999. Production of dissolved organic carbon in forested catchments. *Journal of Hydrology* 224: 91-99.
- Ivarsson, H. & Jansson, M. 1994. Regional variation of dissolved organic matter in running waters in central northern Sweden. *Hydrobiologica* 286: 37-51.
- Jansson, M., Bergström, A-K., Blomqvist, P. & Drakare, S. 2000. Allochthonous Organic Carbon and Växtplankton/Bakterioplankton Production Relationships in Lakes. *Ecology*, 81 (11): 3250-3255.
- Jansson, M., Blomqvist, P., Jonsson, A. & Bergström, A-K. 1996. Nutrient limitation of bacterioplankton, autotrophic and mixotrophic växtplankton, and heterotrophic nanoflagellates in Lake Örträsket. *Limnol. Oceanogr.* 41: 1552-1559.
- Jefferson Curtis, P. & Schindler, D.W. 1997. Hydrologic control of dissolved organic matter in low-order Precambrian Shield lakes. *Biogeochemistry* 36: 125-138.
- Johansson, L. 2003. Utvärdering av långsiktiga trender i Mälaren. *Stockholm Vatten*.
- Jones, R.I. 1992. The influence of humic substances on lacustrine planktonic food chains. *Hydrobiologica* 229: 73-91.
- Jonsson, A. 2004. Fe and Al Sedimentation and their Importance as Carriers for P, N and C in a Large Humic Lake in Northern Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*. 99: 283-295.
- Jonsson, A., Meili, M., Bergström, A-K. & Jansson, M. 2001. Whole-lake mineralization of allochthonous and autochthonous organic carbon in a large humic lake (Öreträsket, N. Sweden). *Limnol. Oceanogr.* 46(7): 1691-1700.
- Kankaala, P., Arvola, L., Tulonen, T. & Ojala, A. 1996. Carbon budget for the pelagic food web of the euphotic zone in a boreal lake (Lake Pääjärvi). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 1663-1674.
- Kling, G.W., Kipphut, G.W., Miller, M.C & O'Brien, W.J. 2000. Integration of lakes and streams in a landscape perspective: the importance of material processing on spatial patterns and temporal coherence. *Freshwater Biology* 43: 477-497.
- Lindell, M.J., Granéli, W. & Tranvik, L.J. 1995. Enhanced bacterial growth in response to photochemical transformation of dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 40: 195-199.

- Lindström, G. och Alexandersson, H. 2004. Recent Mild and Wet Years in Relation to Long Observation Records and Future Climate Change in Sweden. *Ambio* Vol. 33 (4-5): 183-186.
- Lundin, L. 1995. Vattnet i skogsmarken. Skogsbrukets effekter på hydrologi och vattenkemi. *Skog & Forskning*, 4:8-16.
- Lyche, A., Andersen, T., Christoffersen, K., Hessen, D.O, Berger Hansen, P.H. & Klysner, A. 1996. Mesocosm tracer studies. 2. The fate of primary production and the role of consumers in the pelagic carbon cycle of a mesotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 41(3): 475-487.
- Löfgren, S., Forsius, M. & Andersen, T. 2003. Vattens Färg – klimatbetingad ökning av vattens färg och humushalt i nordiska sjöar och vattendrag. Broschyr Nordiska Ministerrådet. 12 sidor. (<http://www.ma.slu.se>).
- Löfgren, S. 2004. Klimat, skogsbruk och ökande vattenfärg. SLU. VA-mässan 2004, Stockholm, 15-17 september.
- Mollet, L.A & Dillon, P.J. 1997. Color – mass balances and color – dissolved organic carbon relationships in lakes and streams in central Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2789-2795.
- Moran, M.A. & Hodson, R.E. 1990. Bacterial production on humic and nonhumic components of dissolved organic carbon. *Limnol. Oceanogr.* 35 (8): 1744-1756.
- Moran, M.A., Sheldon Jr, W.M & Zepp, R.G. 2000. Carbon loss and optical property changes during long-term photochemical and biological degradation of estuarine dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 45(6): 1254-1264.
- Münster, U., Heikkinen, E., Likolammi, M., Järvinen, M., Salonen, K. & De Haan, H. 1999. Utilization of polymeric and monomeric aromatic and amino acids carbon in a humic boreal forest lake. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 54: 105-134.
- Naturvårdsverket. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. Rapport 4913.
- Obernosterer, I. & Benner, R. 2004. Competition between biological and photochemical processes in mineralization of dissolved organic carbon. *Limnol. Oceanogr.* 49: 117-124.
- Ogren, J.A., Charlson, R.J. & Groblicki, P.J. 1983. Determination of elemental carbon in rain water. *Analytical Chemistry* 55 (9): 1569-1572.
- Raymond, P.A. & Bauer, J.E. 2000. Bacterial consumption of DOC during transport through a temperate estuary. *Aquatic Microbial Ecology.* 22:1-2.
- Rummukainen, M., Bergström, S & Rodhe, J. 2002. Extremer är också vanliga händelser. Sweclims årsrapport 2002.
- Skråbeån 2002. Skråbeåns vattenvårdskommité. ALcontrol Laboratories.
- SMHI, Svenskt Vattenarkiv, Avrinningsområden i Sverige. Del 3. 1990. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- Sweclim. 2006. Information tillgänglig via <http://www.smhi.se/sweclim/>, 2006-09-07.
- Söndergaard, M. & Middleboe, M. 1995. A cross-system analysis of labile dissolved organic carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 118: 283-294.
- Tranvik, L.J. 1998. Degradation of dissolved organic matter in humic waters by bacteria. *Aquatic humic substances-ecology and biogeochemistry*, Vol. 133: 259-283.
- Tranvik, L.J. & Höfle, M.G. 1987. Bacterial Growth in Mixed Cultures on Dissolved Organic Carbon from Humic and Clear Waters. *Applied and Environmental Microbiology.* 55(3): 482-488.
- Tulonen, T. 2004. Role of allochthonous and autochthonous dissolved organic matter (DOM) as carbon source for bacterioplankton in boreal humic lakes. Faculty of Biosciences, University of Helsinki.
- Vähätalo, A. 2000. Abstract. Role of photochemical reactions in the biochemical cycling of detrital carbon in aquatic environments. *Dissertationes Biocentri Viiki Universitatis Helsingiensis* 3: 1-43.
- Weyhenmeyer, G. 2005. Aromatiska mätningar av löst organiskt material i Mälarens inflöden. SLU. Rapport 2005:7. (<http://www.ma.slu.se>).
- Wetzel, R.G. 1992. Gradient-dominated ecosystems: sources and regulatory functions of dissolved organic matter in freshwater ecosystems. *Hydrobiologia* 229: 181-198.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology, Lake and River Ecosystems*. 3<sup>rd</sup> edition. Academic Press, San Diego, USA.
- Wissel, B., Boeing, W.J. & Ramcharan, C.W. 2003. Effects of water color on predation regimes and zooplankton assemblages in freshwater lakes. *Limnol. Oceanogr.* 48(5): 1965-1976.