



# Erfarenheter av temperaturloggar i sjöar inom Integrerad **K**alknings **E**ffekt **U**ppföljning och nationell miljöövervakning

av

Kerstin Holmgren<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Fiskeriverket Sötvattenslaboratoriet  
178 93 Drottningholm  
E-mail: Kerstin.Holmgren@fiskeriverket.se

---

Institutionen för miljöanalys, SLU  
Box 7050  
750 07 Uppsala

---

Rapport 2002:19

# Sammanfattning

Vattentemperaturen påverkar sjöars kemi och biologi, och bidrar därmed till naturlig variation mellan årstider och mellan år. Traditionellt har vattentemperaturen mätts i samband med övrig provtagning, ofta en gång per månad. Det ger dock begränsade möjligheter att utvärdera temperatur-effekter på ekologiska samspel. Ett enstaka temperaturvärde kan knappast representera en hel månad under den isfria delen av året, och en mätning per månad ger osäker uppskattning av t.ex. medeltemperatur under tillväxtsåsongen.

De senaste åren har månatliga temperaturmätningar kompletterats med kontinuerlig temperaturmätning (4-6 gånger per dygn), via batteri-drivna loggar, i sjöar inom nationell kalknings-effektuppföljning och miljöövervakning. Föreliggande arbete är en första utvärdering av kontinuerliga mätserier från fyra sjöar sedan sommaren 1998, och från mer än 20 sjöar sedan sommaren 2000.

Inom dygn kunde vattentemperaturen vid 1-1.5 m djup ha standardavvikelse på omkring + 1 °C, dvs. högre än noggrannheten på ca + 0,2 °C. Momentana mätningar vid vattenprovtagning (på 0,5 m djup) eller provfiske (på 1 m djup) låg oftast inom + 1,5 °C från temperaturloggarnas dygnsmedelvärden.

Erhållna dygnsmedelvärden av ytvattentemperatur användes för att jämföra variation både mellan och inom sjöar. Variationen mellan 23 sjöar var lägre för medeltemperatur i juli och augusti (12-14%) än för sammanfattande beskrivningar som årsmedelvärden, säsongmedelvärden (maj-september), antal dygn med mer än 10 °C och summerade graddagar över 10 °C (18-36%). Inom fyra sjöar var variationen mindre än 10% mellan åren 1999-2001, både för enskilda sommar-månader och för de sammanfattande beskrivningarna.

Eventuella samband mellan sjöars ytvattentemperatur och lufttemperatur kan teoretiskt användas för att beskriva temperaturförhållanden även under år utan daglig mätning av vattentemperatur. Därför analyserades även data från ett antal av SMHI:s väderstationer. Synkroniseringen i lufttemperatur var ofta hög mellan både relativt närliggande och mer avlägsna stationer, vilket ger flera alternativa väderstationer att kalibrera vattentemperaturen i enskilda sjöar mot.

Temperaturloggsdata från fyra sjöar delades upp i två perioder (t.o.m. 2000 respektive 2001), för kalibrering respektive validering av vattentemperatur via linjära samband med lufttemperatur. I båda fall utslöts vattentemperaturer lägre än 5 °C. En del av de funna sambanden mellan vatten- och lufttemperatur varierade både mellan kalenderår och mellan halvår, där det senare kunde hanteras med separata kalibreringar. Variationen mellan år minskade när man kalibrerade vattentemperaturen mot glidande medelvärden av lufttemperatur under fem till tjugo föregående dygn.

Även om kalibreringsmetoden måste optimeras för enskilda sjöar, så gav valideringen av uppskattad vattentemperatur relativt lovande resultat. Enskilda dygnsmedelvärden avvek oftast mindre än + 1,5 °C från observerade värden, och för månadsmedelvärden, antal dygn med mer än 10 °C och summerade graddagar var avvikelsen i allmänhet mindre än 5%.

För att undvika effekter av extrema år, så bör man nog sträva efter 3-4 års dagliga mätningar för kalibrering. Därefter finns det gott hopp om att dygnsmedelvärden i ytvattentemperatur ska kunna uppskattas för tidigare år med kemiska och biologiska övervakningsdata från respektive sjö.

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b> .....	1
<b>Innehåll</b> .....	2
<b>Inledning</b> .....	3
<b>Material &amp; Metoder</b> .....	4
Temperaturloggar .....	4
Övriga mätningar av vattentemperatur .....	4
Jämförelser mellan olika mätningar av vattentemperatur .....	4
Sammanfattande beskrivning av tillväxtsäsonger .....	6
Lufttemperatur via SMHI .....	6
Jämförelser mellan ytvatten- och lufttemperatur .....	6
Kalibrering och validering av samband mellan vatten- och lufttemperatur .....	6
<b>Resultat</b> .....	6
Erhållna data via temperaturloggar .....	6
Jämförelser med övriga temperaturmätningar i sjöarna .....	8
Variation i temperaturförhållanden mellan och inom sjöar .....	8
Variation hos tidsserier av lufttemperatur .....	9
Samband mellan temperatur i ytvatten och luft .....	11
Uppskattning av ytvattentemperatur via lufttemperatur .....	14
<b>Diskussion</b> .....	16
Skillnader mellan olika temperaturmätningar .....	16
Temperaturvariation mellan sjöar och år .....	16
Förutsättningar för prediktion av ytvattentemperatur via lufttemperatur .....	16
Förslag för framtiden .....	17
<b>Erkännande</b> .....	17
<b>Referenser</b> .....	17
<b>Bilaga 1</b> .....	20

# Inledning

Olika klimatiska regioner karaktäriseras bland annat av deras säsongsvariation i solinstrålning, lufttemperatur och nederbörd. Dessa faktorer leder till en mer eller mindre förutsägbar säsongsvariation i våra tempererade sjöar, vilken avspeglas i både hydrologi, vattenkemi och biologi. Detta faktum har motiverat månatliga provtagningar av vatten och plankton i nationella övervakningsprogram, liksom att årlig övervakning av bottenfauna och fisk utförs under väldefinierade och standardiserade tidsperioder.

Det förenklade mönstret är att ytvattentemperaturen stiger under våren och sjunker under hösten. I förlängningen påverkar det mer komplexa skeenden som temperaturstratifiering, isläggning och islossning (Ragotzkie 1978). Klimatisk variation mellan år leder till variation i vattentemperatur, mätt som års- eller månadsvisa medelvärden, och till varierande längd hos den isbelagda perioden (Magnuson m.fl. 2000).

Temperatur har i vissa sammanhang betraktats som en ekologisk resurs (Magnuson m.fl. 1979), genom att organismer kan konkurrera om utrymme med prefererad temperatur. Biokemiska och fysiologiska processer är temperaturberoende, och i många fall kan man identifiera både optimal temperatur och kritiska gränsvärden för olika arter och livsstadier (Coutant 1977, Beitinger m.fl. 2000). Den relativa konkurrensförmågan hos samexisterande fiskarter kan därför variera med vattentemperaturen (Persson 1986, Bergman 1987). Fiskars akuta temperaturpreferenser kan också vara positivt relaterade till aklimatiserings-temperatur (Johnson & Kelsch 1998, Beitinger & Bennet 2000), vilket underlättar anpassningen till olika årstider i tempererade klimat.

Temperaturens betydelse för naturliga populationers variation i rekrytering och kroppstillväxt har ofta utvärderats i relation till månadsmedelvärden i antingen lufttemperatur (t.ex. Kempe 1962, Lehtonen & Lappalainen 1995) eller vattentemperatur (t.ex. Neuman 1976, Böhling m.fl. 1991). Dagliga temperaturmätningar ökar säkerheten i uppskattningar av månadsmedelvärden. Dessutom kan man skapa ytterligare variabler för att beskriva tillväxtsäsongen, såsom summerade grad-dagar eller antal dagar då temperaturen överskrider kritiska värden. Valet av kritisk temperatur har ofta varierat inom 10-16 °C, vid studier av bland annat abborre, gös, gädda, mört och braxen (Goldspink 1981, Mills & Mann 1985, Le Cren 1987, Kjellman m.fl. 2001).

Den nedre gränsen för positiv kroppstillväxt ligger vid 12-13 °C för braxen, vid ca 10 °C för abborre, mört och gös, och vid 7-8 °C för gers (Mooij m.fl. 1994). Andra arter kan ha begränsad tillväxt vid mindre än 7 °C, t.ex. nors (Mooij m.fl. 1994), harr (Mallet m.fl. 1999), röding (Wandsvik & Jobling 1982) och öring (Elliott & Hurley 1995). Abborre och mört är bland de vanligaste fiskarterna i svenska sjöar (Rask m.fl. 2000), och även i de flesta av våra övervakningssjöar (Holmgren 1999). Därför är det rimligt att använda 10 °C som kritisk gräns vid sammanfattande beskrivning av tillväxtsäsongen.

Empirisk kunskap om hur konsumtion och kroppstillväxt varierar med kroppsstorlek, temperatur och födotillgång har ofta använts i bioenergetiska modeller (t.ex. Elliott 1976, Karås & Thoreson 1992, Horppila & Peltonen 1997). I vissa förenklade modeller kan man uppskatta daglig viktökning, förutsatt att endast temperaturen begränsar tillväxten (Elliott m.fl. 1995, Mooij & van Nes 1998). Med dylika modeller kan man uppskatta fiskens tillväxtpotential, bara man vet hur vattentemperaturen varierar från dag till dag.

När kompletta mätserier av daglig vattentemperatur saknas kan det vara värt att söka empiriska samband mellan vattentemperatur och lufttemperatur vid närliggande väderstationer. Linjära regressioner ger ofta olika konstanter beroende på om mätningarna gjorts vid perioder med ökande eller minskande temperatur (McCombie 1959), dvs. under första respektive andra halvåret. Alternativt kan man tänka sig en dynamisk modell där dagens förändring i vattentemperatur beror på gårdagens differens mellan temperaturer i luft och vatten (Kjellman m.fl. 2001). Det förutsätter i så fall att lufttemperaturen mäts i nära anslutning till sjön.

Vattentemperaturen har alltid mätts i samband med övrig provtagning i sjöar inom nationell miljöövervakning och integrerad kalkningseffektuppföljning (IKEU). På datavärdarnas hemsidor finns resultat av mätningar vid vattenprovtagning ([www.ma.slu.se](http://www.ma.slu.se)) respektive sjöprovfisken ([www.fiskeriverket.se](http://www.fiskeriverket.se)). De senaste åren har mätserierna kompletterats med utplacering av kontinuerligt registrerande temperaturloggar.

Föreliggande arbete syftade till att; 1) redovisa omfattning och kvalitet av hittills insamlade temperaturdata, och 2) utvärdera hur väl dygnsmedelvärden i ytvattentemperatur, liksom sammanfattande beskrivningar av tillväxtsäsongen, kan uppskattas via lufttemperatur vid SMHI:s väderstationer. Analyserna baserades på dagliga

mätningar av vattentemperatur under ett till fyra år per sjö. Arbetet avses ligga till grund för senare analyser av temperaturens betydelse för biologisk variation, t.ex. mellanårsvariation i fiskars rekrytering och tillväxt.

## Material & Metoder

### *Temperaturloggar*

Vi har använt Onset Computer Corporations temperaturloggar av typen StowAway® TidbiT®. Systemet består av tre komponenter; temperaturlogger, optisk avläsare och ett databehandlingsprogram till PC. Loggern registrerar och lagrar data på temperatur och tidpunkt för varje registrering. Mätkapaciteten begränsas i praktiken av batteriet med en livslängd på ca fem år vid kontinuerlig användning. Minneskapaciteten överskrider batteriets livslängd vid färre än 10 registreringar per dygn. Loggern ska fungera normalt i temperaturintervallet - 20 till + 50°C, och mätfelet förväntas ligga inom 0,1-0,2 °C vid temperaturer på - 5 till + 37 °C. Tidsregistreringen kan driva maximalt en timme per år vid rumstemperatur.

Vid start fästs loggern vid den optiska avläsaren som dessförinnan kopplats till en dator. Med hjälp av ett program (Boxcar® Pro) anges hur ofta loggern skall registrera temperaturen. Samtidigt överförs datorns klockinställningar till loggern. Lagrade data kan senare föras över till datorn med hjälp av samma utrustning och program som startade loggern.

De första loggarna införskaffades 1998. De startades upp på Sötvattenslaboratoriet, och under sommaren placerades de ut i sju sjöar. Loggarna ställdes in för temperaturregistrering var sjätte timme, dvs. fyra mätningar per dygn. I varje sjö placerades tre loggar på olika djup, epilimnion (1,5 m), metalimnion (språngskiktsdjup uppskattat vid tidigare provfisken) och hypolimnion (8-15 m i olika sjöar). För varje logger noterades serienummer, djup, datum och tidpunkt, och placeringen ritades in på sjöns lodkarta. 1999 testades den optiska avläsaren i fält, och erhållna data fördes senare över till dator.

Inför fältsäsongen 2000 planerades en utökad satsning med ändrade arbetsrutiner. Under 2000-2002 förklades det praktiska arbetet med utplacering alternativt byte av loggar i direkt anslutning till årliga sjöprovfisken (Figur 1), medan uppstart-

ning av loggar och nedladdning av data gjordes före respektive efter fältsäsongerna. Mätfrekvensen ökades till sex registreringar per dygn. Fler sjöar inkluderades, men i istället användes bara två loggar per sjö, placerade i epilimnion (1-1,5 m) respektive metalimnion. Loggarnas placering i sjön markerades med tydliga bojar och informationsbrickor.

Registerade data sparades först som en Microsoft Excel-fil per logger och mätperiod. Filen rensades från registreringar före och efter att loggarna legat på avsett djup i respektive sjö. Enskilda mätvärden aggregerades sedan till dygnsmedelvärden (per år, månad och dag). En enhetligt datafil lagrades på IKEU:s CD 2000, innehållande samtliga erhållna dygnsmedelvärden från 1998 till och med sommaren 2000. Senare data från 2001 och 2002 behandlades på motsvarande sätt.

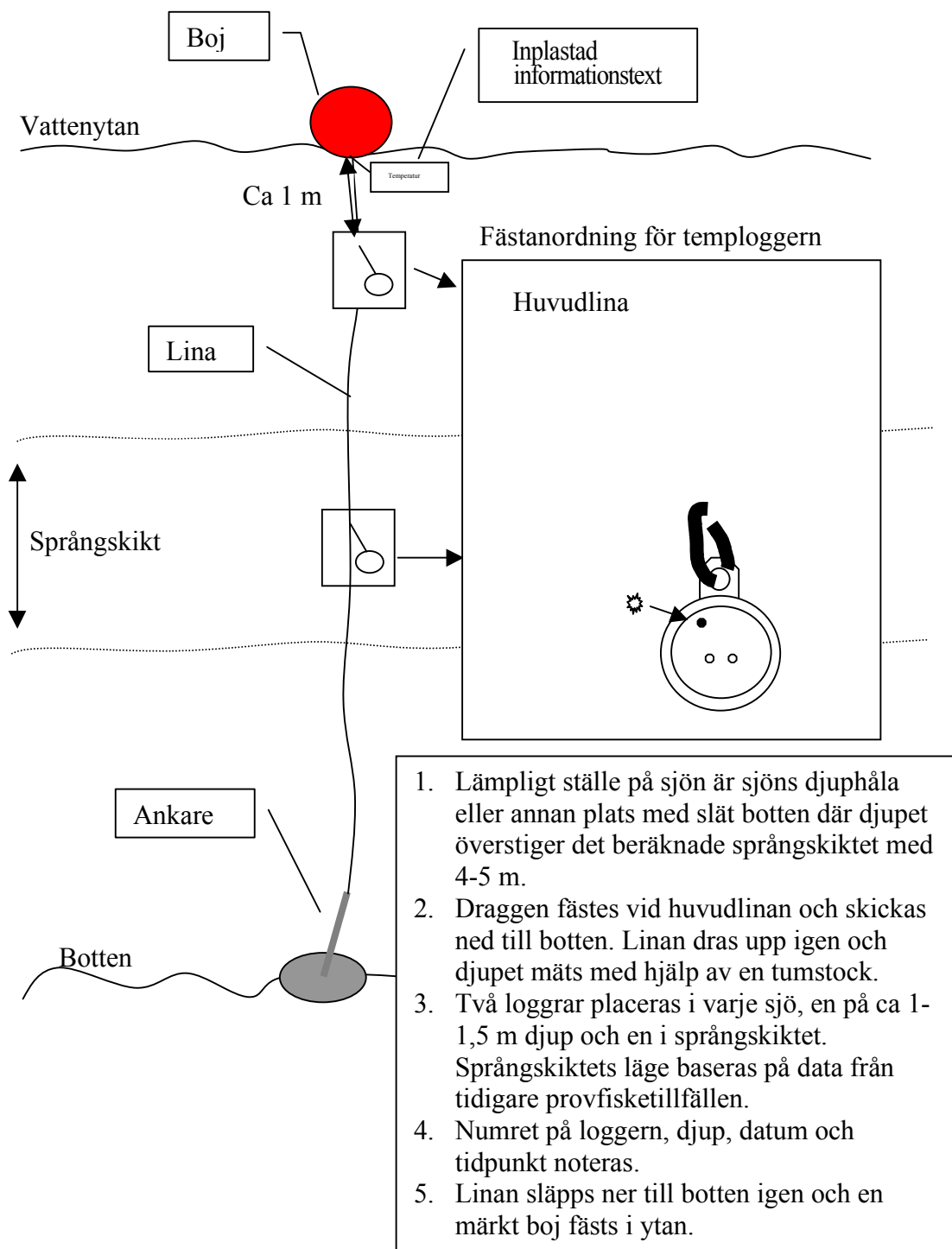
### *Övriga mätningar av vattentemperatur*

Temperaturmätningar görs i samband med de vattenprovtagningar som samordnas av SLU, oftast i mitten av varje månad från mars till oktober (Persson 1996). Proverna tas på station centralt i varje sjö. Via termometer i Ruttnerhämtare, noteras temperaturen på nivåerna 0,5, 5,0 och ca 1 m över botten.

Vid årliga provfisken tas en temperaturprofil, med hjälp av batteridrivna termistorer. Före fältsäsongen görs parallella avläsningar av termistorernas mätvärden, och ibland görs jämförelser med normaltermometer. Avvikelser på några tiondels grader har accepterats utan någon systematisk dokumentation. Ute vid sjöarna görs mätning vid ytan och från varje möjlig meter mellan 1 och 20 m djup. I djupa sjöar mäts temperaturen om möjligt även vid 25 och 30 m djup. Dessutom noteras lufttemperaturen när termistorn ligger i båten.

### *Jämförelser mellan olika mätningar av vattentemperatur*

Jämförelser mellan olika temperaturmätningar i respektive sjö ger en indikation om hur dygnsmedelvärden från temperaturloggar (vid 1-1,5 m djup) avviker från momentana mätvärden vid ungefär samma djup och datum. Därför gjordes jämförelser dels med SLU:s mätningar för de ytligaste vattenproverna (oftast vid 0,5 m djup) och dels med termistormätningar i samband med Sötvattenslaboratoriets provfisken (vid 1 m djup). Jämförelserna med SLU:s mätningar begränsades till de datum som fanns tillgängliga på hem-



**Figur 1:** Instruktion till placering av temperturloggar i sjöar.

sidan ([www.ma.slu.se](http://www.ma.slu.se)), dvs. t.o.m. kalenderåret 2001. För jämförelsen med termistormätningar inkluderades även data från provfisken sommaren 2002.

Inga jämförelser gjordes mellan djupare placerade loggar och övriga temperaturmätningar i språngskikt och hypolimnion. Det bedömdes som ännu svårare att avgöra hur pass jämförbara dessa mätningar är, med avseende på både djup och tidpunkt.

## ***Sammanfattande beskrivning av tillväxtsånger***

Sjöar och år med daglig temperaturmätning från januari till december valdes ut för sammanfattande beskrivning av tillväxtsånger. Dygnsmedelvärden via temperaturloggar användes till beräkning av ytvattnets medeltemperatur under olika månader, för hela året (årstemperatur) och för maj-september (säsongstemperatur). Dessutom beräknades antalet dygn med lägst 10 °C (säsongslängd) och summerade graddagar över 10 °C (graddagar). Utvärderingen inriktades på att illustrera variation mellan sjöar och mellan år.

## ***Lufttemperatur via SMHI***

SMHI har hundratals stationer där lufttemperaturen ca 1,5 m ovan markytan registreras 3-24 gånger per dygn ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)). För denna studie beställdes dygnsmedelvärden från 21 stationer, utvalda för att de ligger i närheten av våra övervakningssjöar och/eller på motsvarande höjd över havet. Tidsperioden begränsades till mätningar från 1980 t.o.m. augusti 2002.

Erhållna data inventerades med avseende på luckor i tidsserier orsakade av driftstörningar. Likheter, eller snarare synkronisering, mellan stationer undersöktes både med erhållna dygnsmedelvärden, och med glidande medelvärden under fem, tio respektive tjugo angränsande dygn. Pearson's korrelationskoefficient användes som ett mått på synkronisering.

## ***Jämförelser mellan ytvatten- och lufttemperatur***

Tanken var att för varje sjö söka samband mellan ytvattnets temperatur (dygnsmedelvärde) och lufttemperatur vid någon av SMHI:s väderstationer. Lufttemperaturen förväntades variera mer från dag till dag än vattentemperaturen, och vattentemperaturen förväntades bero mer på den senaste tidens lufttemperatur än på lufttemperaturen under ett givet dygn.

Förutsättningarna undersöktes via plottade tidsserier av vatten- och lufttemperaturer. De senare plottades både som dygnsmedelvärden och som glidande medelvärden enligt föregående avsnitt. Samstämmighet bedömdes utifrån plottarnas magnitud i variation mellan närliggande datum och synkronisering mellan respektive sjö och väderstation. Även här användes Pearson's korrelationskoefficient som mått på synkronisering.

Vattentemperatur matchades mot olika medel-

värden av lufttemperatur vid närmaste lämpliga väderstation. Eventuella effekter av kalenderår (1999, 2000 respektive 2001) och halvår (januari-juni respektive juli-december) analyserades med kovariansanalys (ANCOVA), för var och en av fyra sjöar med temperaturloggsdata sedan 1998.

## ***Kalibrering och validering av samband mellan vatten- och lufttemperatur***

Även kalibrering och validering koncentrerades till fyra sjöar med temperaturloggsdata sedan 1998. För varje sjö valdes lämplig tidsperiod för glidande medelvärden av lufttemperatur utifrån ovan nämnda korrelations- och kovariansanalyser. Data t.o.m. 2000 användes för kalibrering med linjär regression mellan ytvattnets dygnsmedeltemperatur och luftens medeltemperatur. Vid behov gjordes separata kalibreringar för första och andra halvåret.

Data från 2001 användes för att validera de erhållna relationerna mellan vatten- och lufttemperatur. Avvikelser mellan predikterade och observerade värden beräknades både för enskilda dygn med vattentemperatur över 5 °C, för månadsmedelvärden och för sammanfattande beskrivningar av tillväxtsånger. Förekomst av systematisk avvikelse i dygnsmedelvärden undersöktes med t-test, medan ingen statistisk jämförelse kunde göras för de sammanfattande beskrivningarna. Träffsäkerheten i predikterade värden bedömdes istället som relativa avvikelser i %.

# Resultat

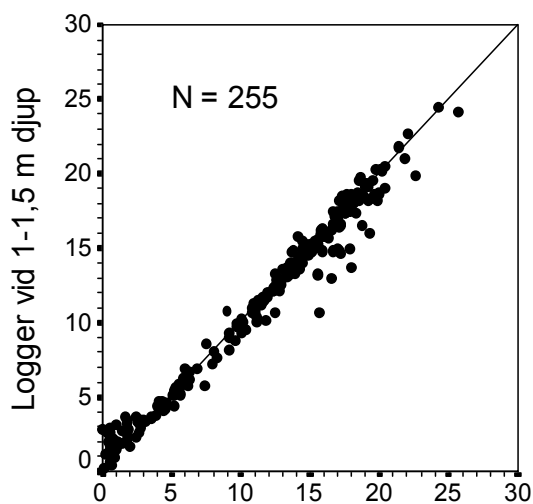
## ***Erhållna data via temperaturloggar***

De loggar som placerades ut 1998 återfanns senare bara i fyra av sju sjöar, medan 2000 års loggar återfanns 2001 i 26 av 27 sjöar (Tabell 1). År 2002 återfanns loggarna i 25 av 28 sjöar. Provfiskelaget i Fiolen hade dock ej fått med sig utbytesloggar, så de gamla lämnades kvar i sjön. Loggarna i Gyltigesjön och Lien var försvunna. Härsvatten besöktes ej, men loggarna ligger förhoppningsvis kvar till nästa sommars provfiske. För de fyra mätserierna från 1998 finns därmed dygnsmedelvärden från tre kompletta tillväxtsånger (1999-2001). Från nitton sjöar finns hittills bara 2001 års data till att beskriva en hel tillväxtsång, och från fyra sjöar finns bara ett års mätserie (2000/2001 eller 2001/2002).

**Tabell 1:** Sjöar med temperaturloggar placerade på 1-1,5 m djup, sorterade efter SMHI:s koordinater från söder till norr. HöH = höjd över havet (m), Area = sjöarea (ha), Maxdjup = maximalt djup (m). Program: NMÖ = nationell miljöövervakning, IKEU = Integrerad KalkningsEffektUppföljning, där k = kalkad, å = återförsurad och r = referenssjö. N = antal kompletta år i mätserie. Sjöar med mätserier sedan 1998 är markerade i fetstil.

Sjönamn	Xkoor	Ykoor	HöH	Area	Maxdjup	Program	Mätdatum		N	Anmärkning
							Första	Sista		
Brunnsjön	627443	149526	98	11	10,6	NMÖ	20000719	20020728	2	
Stora Skärsjön	628606	133205	60	31	11,5	NMÖ	20000814	20020724	2	
Gyltigesjön	629489	133906	66	40	20,0	IKEU-k	20000820	20010718	1	2001 års loggar ej återfunna
Fiolen	633025	142267	226	165	10,5	NMÖ	2001xxxx		0	2000 års loggar ej återfunna, 2C
Gyslättsjön	633209	141991	226	32	9,8	IKEU-k	20000715	20020812	2	
Stengårdshultasjön	638317	138010	224	488	26,8	IKEU-k	20000806	20020808	2	1998 års ytliga loggar ej återfunna
Stora Härsjön	640364	129240	89	257	42,0	IKEU-k	20000801	20020727	2	1998 års ytliga loggar fel inställt
<b>Allgjuttern</b>	<b>642489</b>	<b>151724</b>	<b>126</b>	<b>19</b>	<b>40,7</b>	<b>NMÖ</b>	<b>19980616</b>	<b>20020813</b>	<b>4</b>	
Härsvatten	643914	127698	129	18	26,0	IKEU-r	20000724	20010802	1	2001 års loggar kvar i sjön
Fräcksjön	645289	128665	58	28	14,5	IKEU-r	20010802	20020730	1	
Långsjön	652412	143738	141	67	17,8	IKEU-k	20000822	20020809	2	
<b>Rotehogstjärnen</b>	<b>652902</b>	<b>125783</b>	<b>121</b>	<b>17</b>	<b>9,4</b>	<b>NMÖ</b>	<b>19980617</b>	<b>20020722</b>	<b>4</b>	
Ejgdesjön	653737	125017	143	86	28,6	IKEU-k	20000719	20020717	2	
Älgsjön	655275	153234	49	36	7,0	IKEU-r	20000827	20020815	2	
Stora Envättern	655587	158869	62	38	11,2	NMÖ	20000828	20020816	2	
Stensjön	656419	164404	35	39	20,6	IKEU-k	20000823	20020815	2	
Långsjön	656590	164240	41	10	7,7	IKEU-å	20000826	20020813	2	
Lien	663216	148449	156	149	29,2	IKEU-k	20000723	20010723	1	1998 och 2001 års loggar ej återfunna
Övre Skärsjön	663532	148571	219	174	32,0	NMÖ	20000805	20020717	2	
<b>Västra Skälsjön</b>	<b>664620</b>	<b>148590</b>	<b>233</b>	<b>41</b>	<b>18,7</b>	<b>IKEU-k</b>	<b>19980622</b>	<b>20020717</b>	<b>4</b>	
Tryssjön	670275	146052	345	30	19,6	IKEU-k	20000814	20020728	2	
Bösjön	680235	141799	582	114	17,0	IKEU-k	20000810	20020806	2	
Övre Särnmanssjön	683337	133785	952	24	6,0	IKEU-r	20000820	20020802	2	
Nedre Särnmanssjön	683421	133742	951	42	4,3	IKEU-k	20000819	20020803	2	
Källsjön	683582	154935	230	24	17,4	IKEU-k	20000809	20020813	2	
Stensjön	683673	154083	268	57	8,5	NMÖ	20000812	20020815	2	
Remmarsjön	708619	162132	234	137	14,4	NMÖ	20000802	20020717	2	
<b>Jutsajaure</b>	<b>744629</b>	<b>167999</b>	<b>423</b>	<b>200</b>	<b>9,0</b>	<b>IKEU</b>	<b>19980723</b>	<b>20020722</b>	<b>4</b>	





SLU:s ytvattenprov

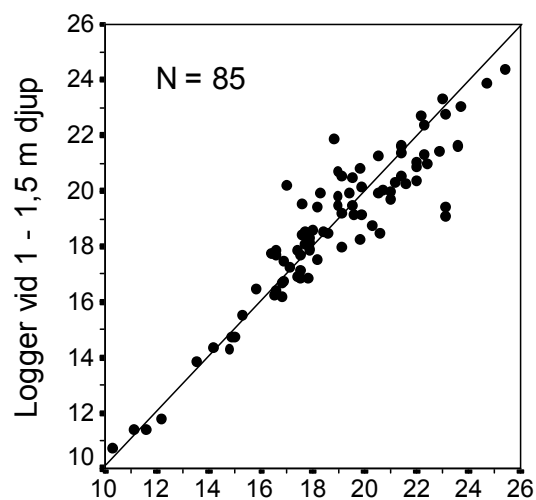
**Figur 2:** Samtliga parade temperaturjämförelser (°C) av SLU:s ytvattenprov och dygnsmedelvärde via logger på 1-1,5 m djup, projicerade kring den diagonala 1:1-linjen.

Erhållna dygnsmedelvärden vid 1-1,5 m djup presenteras som temperaturkurvor för varje sjö i Bilaga 1. Som väntat varierade temperaturnivån mellan sjöar i olika delar av landet. Dessutom kunde parallella oregelbundenheter i temperaturkurvorna ofta spåras i många sjöar. Till exempel noterades tre toppar under hög- och sensommar 2001 i alla utom de nordligaste sjöarna Remmarsjön och Jutsajaure.

### Jämförelser med övriga temperaturmätningar i sjöarna

Temperaturloggarnas dygnsmedelvärden avvek på olika sätt, vid jämförelser med SLU:s mätningar respektive termistormätningar vid provfisken. SLU:s mätningar täckte in ett brett temperaturintervall (Figur 2), eftersom vattenprover togs under alla månader utom november-januari. Av 322 parade jämförelser låg hälften av differenserna inom ca +0,3 °C och 80% inom ca +1 °C. De största differenserna noterades vid ytvattentemperaturer under 4 °C eller över 15 °C.

Sötvattenslaboratoriets standardiserade provfisken genomförs under senare hälften av juli eller i augusti, dvs. när temperaturen i ytvattnet i allmänhet är som högst. Termistormätningarna vid 1 m djup varierade då från 10-12 °C i ett par fjällsjöar till drygt 24 °C i sydligare skogssjöar (Figur 3). Deras avvikelser från temperaturloggarnas dygnsmedelvärden varierade generellt något mer än differenserna mellan SLU:s mätningar och loggarnas medelvärden. Av



Termistor vid 1 m djup

**Figur 3:** Samtliga parade temperaturjämförelser (°C) av Sötvattenslaboratoriets termistormätningar (vid 1 m djup) och dygnsmedelvärde via logger på 1-1,5 m djup, projicerade kring den diagonala 1:1-linjen.

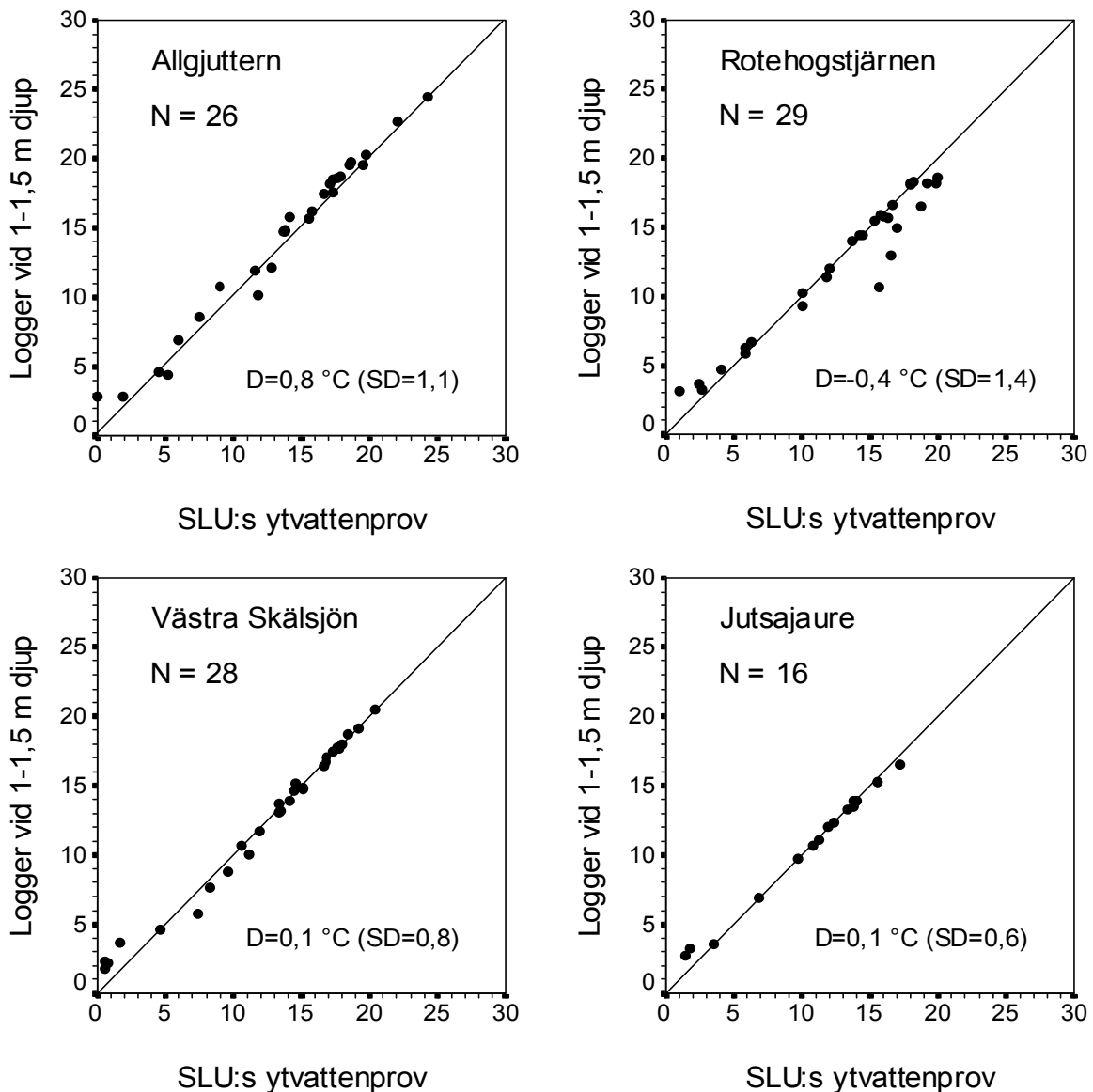
85 parade jämförelser låg hälften av differenserna mellan -0,8 och +0,5 °C, och 80% låg inom ca +1,3 °C. De största differenserna noterades vid vattentemperaturer över 16 °C, utan tydlig systematisk avvikelse.

Inom enskilda sjöar var antalet parade observationer i allmänhet för lågt för att göra relevanta temperaturjämförelser. Undantagen var de fyra sjöar där temperaturloggar placerades ut redan 1998 (Figur 4). I Rotehogstjärnen observerades den högsta variationen i differens mellan dygnsmedelvärde via logger och SLU:s ytvattenprov, med de mest extrema avvikelserna vid tre provtagningar i maj. Endast obetydliga differenser noterades i Jutsajaure, förutom för de två kallaste ytvattenproverna.

### Variation i temperaturförhållanden mellan och inom sjöar

Ytvattnets medeltemperatur under olika månader varierade generellt mer mellan sjöar under 2001 än inom sjöar mellan år (1999-2001) (Figur 5). Under 2001 hade alla sjöar högst medeltemperatur i juli, med värden från 14,0 °C i Övre och Nedre Särnmanssjön till 22,2 °C i Stora Envättern. Den högsta variationen mellan sjöar noterades i maj, med medelvärden från 1,4 °C i Nedre Särnmanssjön till 14,6 °C i Stora Skärsjön.

Relativ variation uttrycks lämpligen som variationskoefficient, dvs. som kvoten mellan standardavvikelse och medelvärde. På så sätt kan



**Figur 4:** Temperaturjämförelser (°C) inom sjöar, av SLU:s ytvattenprov och dygnsmedelvärde via logger på 1-1,5 m djup, projicerade kring diagonala 1:1-linjer. N = antal parade observationer, D = medeldifferens (logger minus SLU), SD = standardavvikelse av differensen.

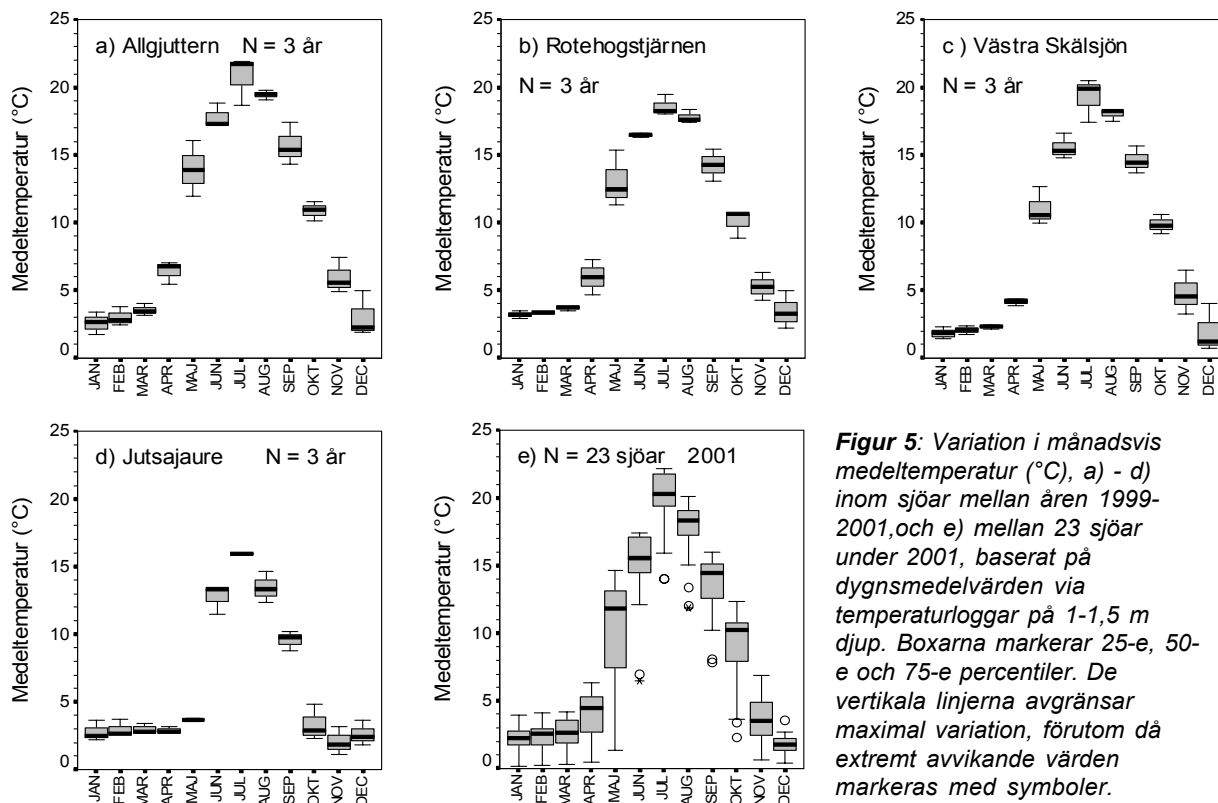
man jämföra mätningar gjorda med olika skalor och enheter. Även i relativa termer noterades lägre variation mellan sjöar under 2001 än inom sjöar mellan år. Det gällde såväl månadsmedelvärden som mer sammanfattande beskrivningar, dvs. årstemperatur (januari-december), säsongstemperatur (maj-september), säsongslängd (antal dagar med minst 10 °C) och grad dagar över 10 °C (Tabell 2). Inom varje jämförelsegrupp (mellan eller inom sjöar) varierade säsongslängd och grad dagar något eller betydligt mer än års- eller säsongstemperatur.

De fyra sammanfattande beskrivningarna av tillväxtsånger var positivt korrelerade med varandra, med mer än 92% förklaringsgrad (linjär anpassning med logaritmerade värden, sex par-

visa jämförelser, N = 31 kombinationer av sjö och år). Det i särklass bästa sambandet erhöles mellan medeltemperatur i maj-september och grad dagar över 10 °C (99,9% förklaringsgrad), där medeltemperaturer mellan 8,4 och 18,0 °C motsvarades av 209-1306 graddagar.

### **Variation hos tidsserier av lufttemperatur**

Den första genomgången av lufttemperaturdata från 21 väderstationer visade flera kortare eller längre avbrott i tidsserierna. Endast sex tidsserier var helt obrutna sedan 1980 (motsvarande 8279 dygn t.o.m. augusti 2002). Ytterligare tio tidsserier var kompletta sedan 1998 (motsvarande 1704



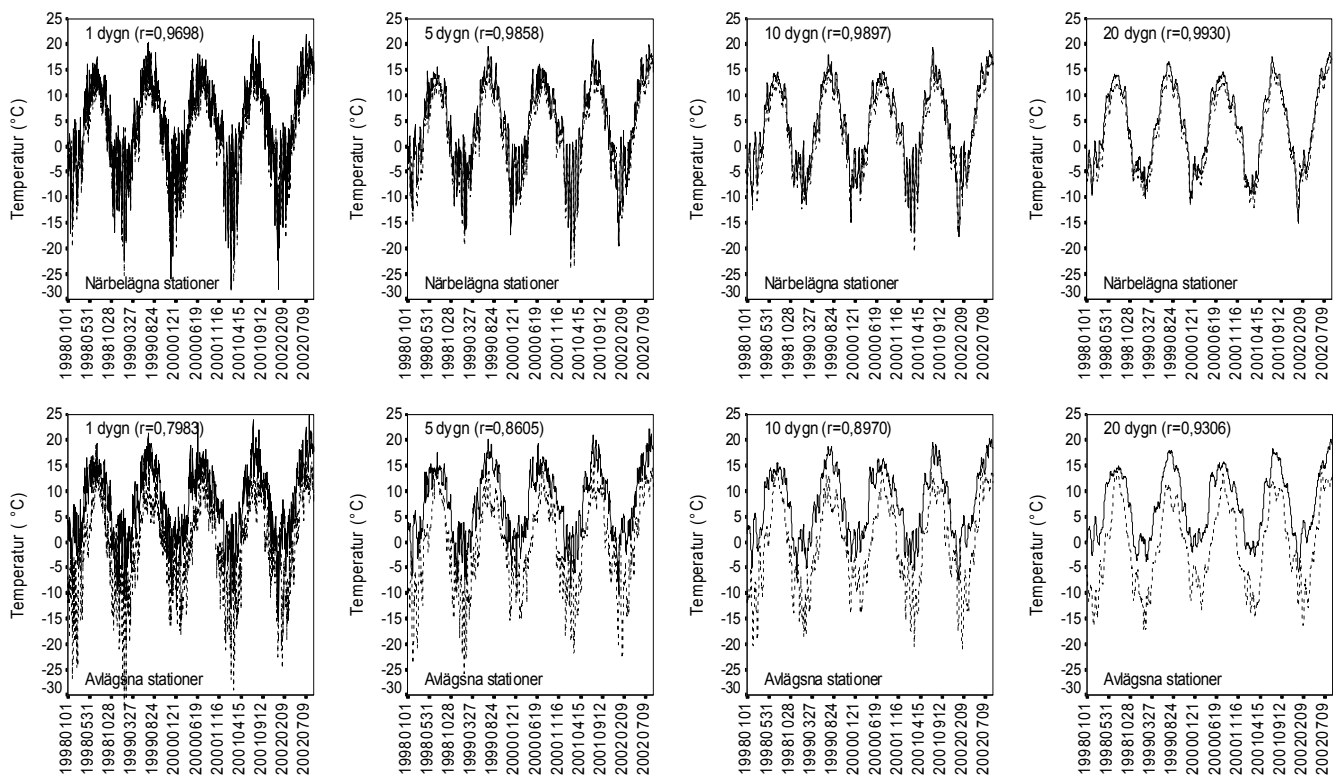
**Figur 5:** Variation i månadsvis medeltemperatur (°C), a) - d) inom sjöar mellan åren 1999-2001, och e) mellan 23 sjöar under 2001, baserat på dygnsmedelvärden via temperaturloggar på 1-1,5 m djup. Boxarna markerar 25-e, 50-e och 75-e percentiler. De vertikala linjerna avgränsar maximal variation, förutom då extremt avvikande värden markeras med symboler.

**Tabell 2:** Relativ variation (%) kring medelvärden i ytvattentemperatur, antal dygn med lägst 10 °C och summerade graddagar > 10 °C. Variationskoefficienterna baseras på 2001 års värden i 23 sjöar respektive 3 års värden inom fyra sjöar. Variation i månadsmedelvärden anges bara när medelvärdet överskred 5 °C.

Säsongsvariabel	23 sjöar 2001	Rotehogstjärnen	Västra Skålsjön	Jutsajaure
<b>Medeltemperatur</b>				
April	45,3	21,8		
Maj	41,5	16,0	12,6	
Juni	20,1	0,9	5,9	8,5
Juli	12,3	4,1	8,5	0,1
Augusti	13,7	2,9	2,4	8,4
September	16,9	8,4	6,9	7,5
Oktober	30,8	10,2	7,3	
November		19,9		
Januari-December	20,7	3,2	2,3	1,8
Maj-September	18,4	1,5	2,8	2,0
<b>Antal dygn med lägstst 10 °C</b>				
Antal dygn med lägstst 10 °C	23,2	8,0	7,6	9,4
<b>Summerade graddagar &gt; 10 °C</b>				
Summerade graddagar > 10 °C	35,6	4,7	8,0	5,1

dygn), och för en station saknades bara sju dagars data sedan 1998. Två av de utvalda stationerna hade avslutats före 1998, dvs. de kunde ej matchas med data från temperaturloggar. En station skulle i princip ha varit i funktion under hela perioden 1980-2002, men det fanns många störande avbrott i mätserien både före och efter 1998.

Lufttemperaturen varierade generellt så kraftigt att det var svårt att följa synkronisering mellan närliggande dygn, både mellan närbelägna och avlägsna stationer (exempel i Figur 6). Variationens magnitud minskade gradvis för medelvärden under 5, 10 respektive 20 föregående dygn, både totalt och mellan närliggande datum. Samtidigt ökade synkroniseringen mellan stationer. Malung och Ulvsjö ligger i mellersta Sverige, drygt 100 km från varandra, 308 respektive 585 m över havet. Temperaturen vid dessa stationer varierade mycket synkroniserat både för 10-dygns- ( $r=0,9897$ ) och 20-dygnsmedelvärden ( $r=0,9930$ ). Stationerna Urshult-Kunninge (145 m över havet) och Katterjåkk (508 m över havet) ligger mer än 1300 km från varandra. Även vid dylika avstånd ökade synkroniseringen i lufttemperatur med ökad tidsperiod för glidande medelvärden ( $r=0,9306$  för 20-dygnsvärden), trots att de plottade tidsserierna antydde betydande skillnader mellan stationer.



**Figur 6:** Lufttemperatur vid två relativt närbelägna (Malung [heldraget] och Ulvsjö [streckat]) respektive två avlägsna stationer (Urshult-Kunninge [heldraget] och Katterjåkk [streckat]). Till vänster visas dygnsmedelvärden, och därefter visas glidande medelvärden för 5, 10 respektive 20 föregående dygn. Korrelationskoefficienterna ( $r$ -värden) avser alla parade jämförelser sedan 1980, medan figurena av tekniska skäl bara visar tidsperioden 19980101-

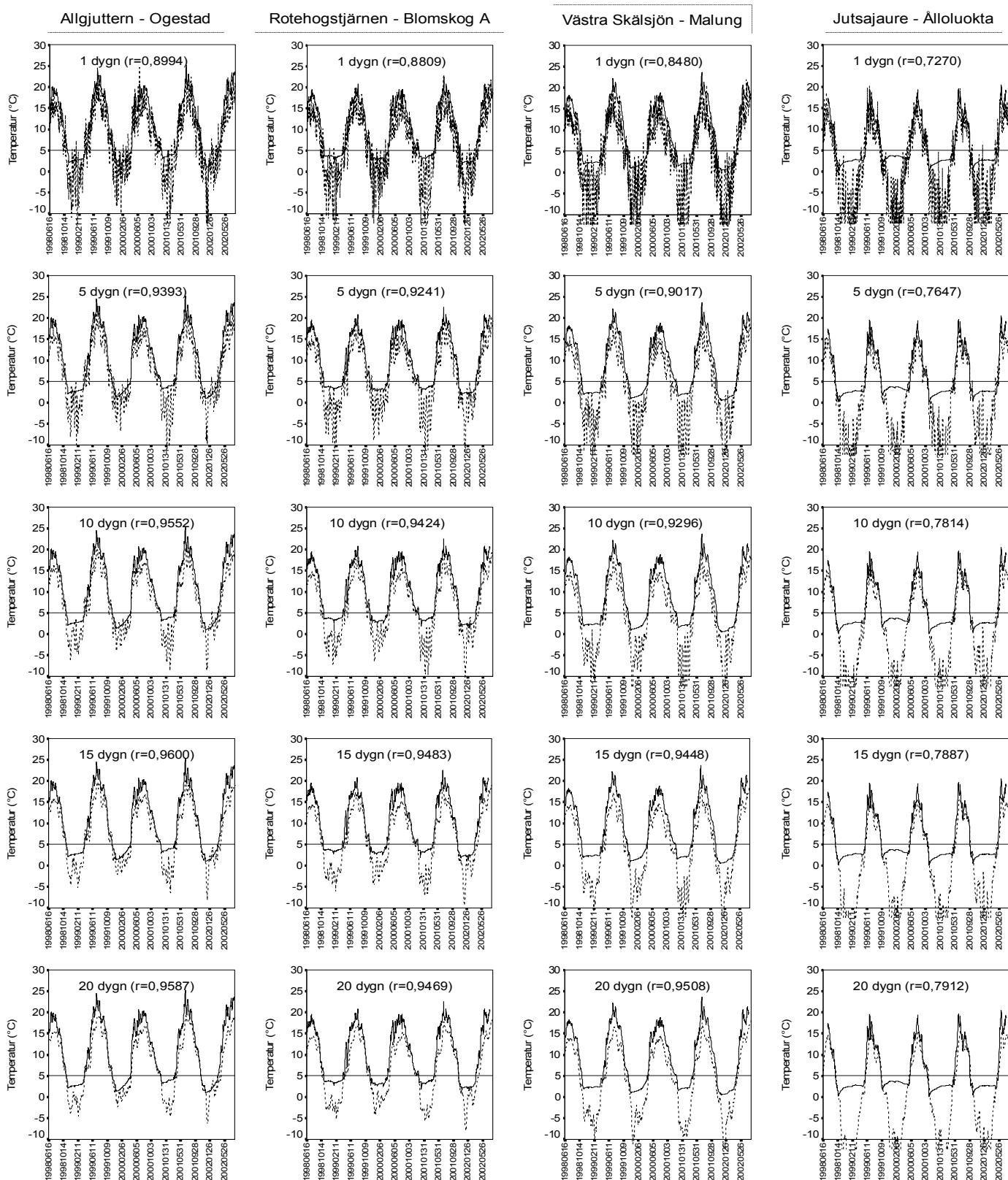
## Samband mellan temperatur i ytvatten och luft

Inledande jämförelser mellan daglig temperatur i ytvatten och luft gjordes för fyra sjöar med temperaturloggsdata sedan 1998. Vatten- och lufttemperatur varierade likartat mellan stationer, men synkroniseringen mellan sjö och väderstation tenderade att minska från Allgjuttern i söder till Jutsajaure i norr ( $r$ -värden i Figur 7). Lufttemperatur varierade som väntat betydligt mer än ytvattentemperatur mellan närliggande dygn. Variationen minskade betydligt för glidande medelvärden av lufttemperatur, vilket gav ökad synkronisering med vattentemperatur. Fem- och tiodygnsmedelvärden varierade fortfarande mer än vattentemperaturer, medan 15- och 20-dygnsmedelvärden blev mer utslätade under sommarhalvåret. De varierade fortfarande betydligt mer än vattentemperatur under vintermånaderna, delvis beroende på isläggning. Brytpunkten för god samvariation med vattentemperaturen låg i allmänhet mellan +2 och +5 °C, och den varierade såväl mellan sjöar som mellan år i samma sjö. Ytvattentemperatur lägre än ca +5 °C kan därför knappast förutsägas utifrån lufttemperatur.

Korrelationen mellan vattentemperatur och flerdygnsmedelvärden av lufttemperatur blev gene-

rellt högre när vattentemperaturer lägre än +5 °C utslöts (Tabell 3). Den optimala tiden för glidande medelvärden varierade dock både mellan sjöar och mellan delar av året. I Allgjuttern och Rotehogstjärnen var vattentemperaturer över 5 °C mest synkroniserade med 10-15-dygnsmedelvärden, även om femdygnsmedelvärdena speglade korttidsvariation under de varmaste månaderna (juni-augusti) något bättre. Västra Skälsjön avvek genom att synkroniseringen fortfarande ökade något från 15- till 20-dygnsmedelvärden, vilket möjligen indikerade att vattentemperaturen var mer stabil än i de övriga sjöarna. Den nordligt belägna Jutsajaure avvek på motsatt sätt, med högst synkronisering med 5- till 10-dygnsmedelvärden, sannolikt beroende på de korta somrarna då vattentemperaturen stiger och sjunker förhållandevis snabbt mellan 5 och 10 °C.

En serie av 16 kovariansanalyser (4 sjöar, 4 medelvärdesperioder) förstärkte intrycket från ovan nämnda korrelationsanalyser, genom att de bäst synkroniserade perioderna oftast gav lägst skillnad i linjär anpassning mellan år (Tabell 4). Skillnaden mellan första och andra halvåret ökade generellt med ökad period för flytande medelvärden, men separata kalibreringar kan kompensera för detta.



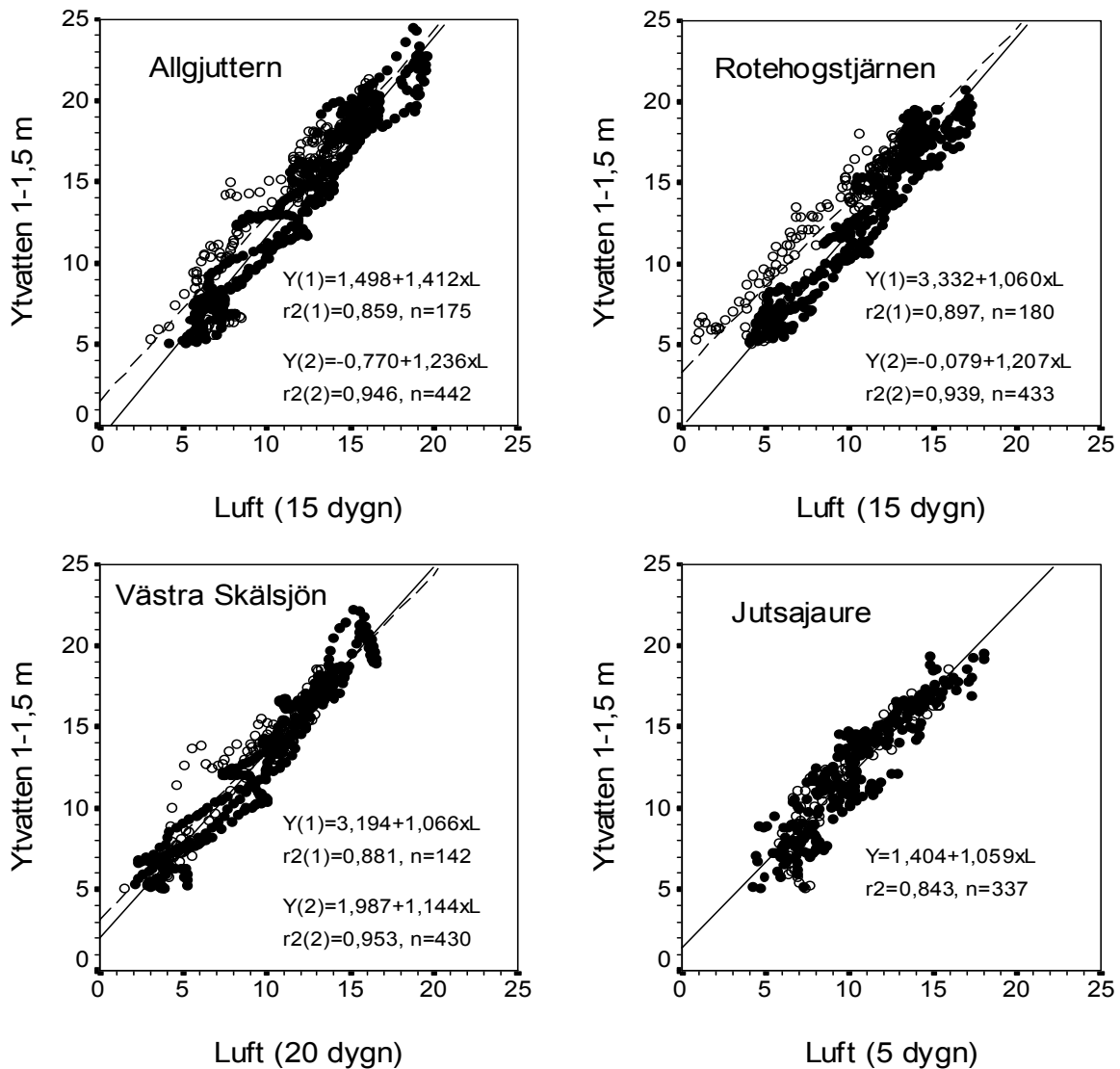
**Figur 7:** Synchronisering mellan ytvattentemperatur och lufttemperatur. För fyra sjöar och motsvarande väderstation, visas tidsserier av dygnsmedelvärde via loggar på 1-1,5 m djup och lufttemperaturens glidande medelvärde för olika långa perioder före ett givet datum. Korrelationskoefficienterna ( $r$ -värden) avser samtliga loggerdygn per sjö, men temperaturaxlarna är begränsade till minimum  $-10$  °C. Antalet dygn varierar mellan 1461 (Jutsajaure) och 1520 (Allgjuttern). Den horisontella referenslinjen är satt vid  $+5$  °C.

**Tabell 3:** Synkronisering mellan ytvattentemperatur via logger (dygnsmedelvärde) och lufttemperatur (dygnsmedelvärde eller medelvärde under 5, 10, 15, respektive 20 föregående dygn). Synkroniseringen beräknades för samtliga dygn (helår) eller för dygn med vattentemperatur på minst 5 °C, det senare även uppdelat på första eller andra halvåret eller för de varmaste månaderna (juni-augusti). Den mest synkroniserade perioden markeras med kursiv fetstil.

Sjönamn	Väderstation	Höjd- Avstånd skillnad		Period	Antal datum	Synkronisering (Pearson's korrelationskoefficient, r)				
		(km)	(m)			1 dygn	5 dygn	10 dygn	15 dygn	20 dygn
Allgjuttern	Ogestad	9	-45	helår	1520	0,899	0,939	0,955	<b>0,960</b>	0,959
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C	965	0,880	0,947	<b>0,959</b>	0,951	0,935
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jan-jun	343	0,808	0,923	<b>0,946</b>	0,944	0,934
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jul-dec	622	0,909	0,956	0,969	<b>0,970</b>	0,966
-"	-"	-"	-"	jun-aug	427	0,720	<b>0,904</b>	0,876	0,815	0,742
Rotehogstjärnen	Blomskog A	53	49	helår	1497	0,881	0,924	0,942	<b>0,948</b>	0,947
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C	928	0,850	0,934	<b>0,950</b>	0,941	0,922
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jan-jun	341	0,800	0,921	0,955	<b>0,957</b>	0,952
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jul-dec	587	0,873	0,946	0,965	<b>0,969</b>	0,968
-"	-"	-"	-"	jun-aug	404	0,587	<b>0,834</b>	0,827	0,763	0,700
Västra Skälsjön	Malung	134	75	helår	1498	0,848	0,902	0,930	0,945	<b>0,951</b>
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C	863	0,812	0,913	0,948	0,964	<b>0,967</b>
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jan-jun	274	0,715	0,883	0,928	0,943	<b>0,944</b>
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jul-dec	589	0,861	0,934	0,958	0,970	<b>0,976</b>
-"	-"	-"	-"	jun-aug	405	0,599	0,842	<b>0,884</b>	0,876	0,858
Jutsajaure	Älloluokta	21	-53	helår	1461	0,727	0,765	0,781	0,789	<b>0,791</b>
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C	530	0,828	<b>0,931</b>	0,909	0,871	0,831
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jan-jun	151	0,852	<b>0,943</b>	0,902	0,865	0,847
-"	-"	-"	-"	minst 5 °C, jul-dec	379	0,821	0,926	<b>0,929</b>	0,918	0,906
-"	-"	-"	-"	jun-aug	368	0,770	<b>0,930</b>	0,901	0,830	0,765

**Tabell 4:** Översiktliga resultat av kovariansanalyser med ytvattentemperatur (>5 °C) som beroende variabel. Förklaringsgraden ( $r^2$ ) avser hela modellen. P-värden avser fixerade effekter, kovariat eller interaktioner, där NS = icke signifikant. Den mest optimala modellen är markerad med kursiv fetstil. Antal observationer per (kalender-)år och halvår anges inom parentes.

Variationskälla	5 dygn	10 dygn	15 dygn	20 dygn
<u>Allgjuttern - Ogestad</u>	$r^2=0,900$	$r^2=0,933$	<b><math>r^2=0,933</math></b>	$r^2=0,923$
År (1999: 226, 2000: 246, 2001: 211)	P<0,001	P=0,002	<b>P=0,050</b>	P=0,006
Halvår (jan-jun: 236, jul-dec: 447)	NS	P<0,001	<b>P&lt;0,001</b>	P<0,001
Kovariat: Lufttemperatur	P<0,001	P<0,001	<b>P&lt;0,001</b>	P<0,001
Interaktion: År * Lufttemperatur	P<0,001	P=0,004	NS	NS
Interaktion: Halvår * Lufttemperatur	NS	NS	<b>P=0,039</b>	P<0,001
<u>Rotehogstjärnen - Blomskog A</u>	$r^2=0,874$	$r^2=0,927$	<b><math>r^2=0,936</math></b>	$r^2=0,931$
År (1999: 219, 2000: 255, 2001: 201)	P<0,001	P=0,004	NS	NS
Halvår (jan-jun: 236, jul-dec: 439)	P<0,001	P<0,001	<b>P&lt;0,001</b>	P<0,001
Kovariat: Lufttemperatur	P<0,001	P<0,001	<b>P&lt;0,001</b>	P<0,001
Interaktion: År * Lufttemperatur	P<0,001	P<0,001	NS	NS
Interaktion: Halvår * Lufttemperatur	P=0,011	P=0,001	<b>P&lt;0,001</b>	P<0,001
<u>Västra Skälsjön - Malung</u>	$r^2=0,853$	$r^2=0,905$	$r^2=0,930$	<b><math>r^2=0,940</math></b>
År (1999: 204, 2000: 234, 2001: 193)	P=0,001	P<0,001	P=0,004	<b>P=0,022</b>
Halvår (jan-jun: 195, jul-dec: 436)	P=0,034	P=0,009	NS	<b>P&lt;0,001</b>
Kovariat: Lufttemperatur	P<0,001	P<0,001	P<0,001	<b>P&lt;0,001</b>
Interaktion: År * Lufttemperatur	P=0,021	P=0,028	NS	NS
Interaktion: Halvår * Lufttemperatur	NS	NS	NS	<b>NS</b>
<u>Jutsajaure - Älloluokta</u>	<b><math>r^2=0,856</math></b>	$r^2=0,832$	$r^2=0,813$	$r^2=0,818$
År (1999: 130, 2000: 142, 2001: 128)	<b>P=0,008</b>	P=0,001	P<0,001	P<0,001
Halvår (jan-jun: 108, jul-dec: 292)	NS	NS	NS	NS
Kovariat: Lufttemperatur	<b>P&lt;0,001</b>	P<0,001	P<0,001	P<0,001
Interaktion: År * Lufttemperatur	<b>P=0,008</b>	P<0,001	P<0,001	P<0,001
Interaktion: Halvår * Lufttemperatur	NS	NS	P=0,045	P=0,005



**Figur 8:** Kalibrerkurvor mellan temperatur (°C) i ytvatten och luft, vid utvalda väderstationer och perioder för medelvärden. Y = ytvatten, L = luft. (1) och (2) står för första respektive andra halvåret, och mätvärdena markeras med ofyllda respektive fyllda symboler. Vid separat kalibrering representeras första halvåret med streckad och andra halvåret med heldragen regressionslinje.

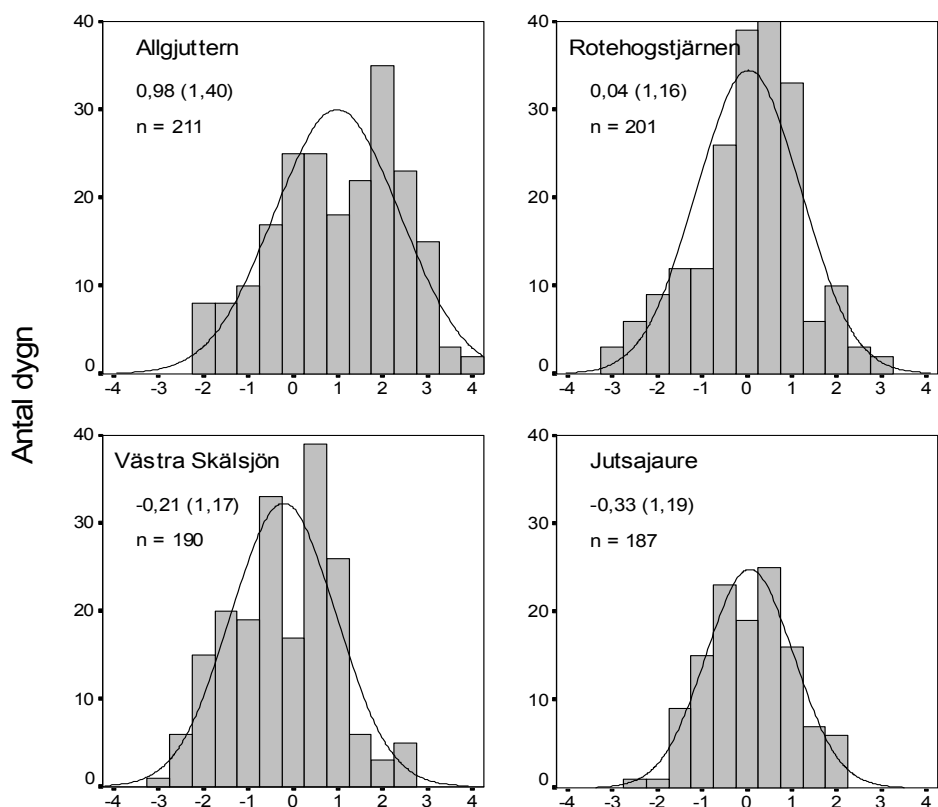
### Uppskattning av ytvattentemperatur via lufttemperatur

Ytvattentemperatur t.o.m. 2000 kalibrerades mot medeltemperatur i luft under 15 (Allgjuttern och Rotehogstjärnen), 20 (Västra Skälsjön) respektive 5 (Jutsajaure) föregående dygn (Figur 8). För ett givet luftmedelvärde var vattentemperaturen i allmänhet högre under första halvåret jämfört med andra halvåret, vilket motiverade separata kalibreringar i alla sjöar utom Jutsajaure. För 15-20 dygnsperioderna tenderade de parade observationerna ibland att ligga som pärlband, vilket antydde att residualerna låg över eller under regressionslinjerna under många närliggande dagar.

Predikterade dygnsmedelvärden i vattentempera-

tur 2001 överskattades i Allgjuttern (t-test:  $P < 0,001$ , Figur 9), underskattades i Västra Skälsjön ( $P = 0,015$ ), och varierade mer slumpmässigt i Rotehogstjärnen och Jutsajaure ( $P > 0,1$ ). Differensens standardavvikelse var högst i Allgjuttern (ca 1,4 °C) och ca 1,2 °C i de övriga sjöarna.

Träffsäkerheten i predikterade beskrivningar av tillväxtsången var generellt sämst i Allgjuttern, där medeltemperaturen i maj och juni, liksom antal graddagar över 10 °C, överskattades med mer än 10% (Tabell 5). I de övriga sjöarna låg träffsäkerheten i allmänhet inom + 5%. De enda undantagen var underskattningar av junimedelvärden med 8-10% i Rotehogstjärnen och Västra Skälsjön.



**Figur 9:** Fördelning av differens mellan predikterad och observerad dygnsmedeltemperatur (°C) i ytvattnet 2001. För varje sjö anges N = antal dygn med både predikterad och observerad temperatur > 5°C, liksom differensens medelvärde (standardavvikelse).

**Tabell 5:** Jämförelse mellan predikterade (P) och observerade (O) värden under 2001. Relativa avvikelsen mellan P och O anges i % inom parentes. Predikterade medeltemperaturer ges bara för månader då alla ingående dygn hade predikterad ytvattentemperatur > 5 °C.

Predikterad variabel:	Allgjuttern	Rotehogstjärnen	Västra Skälsjön	Jutsajaure
<u>Medeltemperatur</u>	<u>P - O</u>	<u>P - O</u>	<u>P - O</u>	<u>P - O</u>
Maj (°C)	16,1 - 13,9 (+16)	12,7 - 12,5 (+2)	10,7 - 10,5 (+2)	
Juni (°C)	19,2 - 17,3 (+11)	15,4 - 16,6 (-8)	13,8 - 15,3 (-10)	12,9 - 13,3 (-3)
Juli (°C)	21,6 - 21,9 (-1)	19,8 - 19,4 (+2)	20,2 - 20,5 (-1)	15,6 - 15,9 (-2)
Augusti (°C)	21,1 - 19,8 (+7)	18,4 - 18,3 (±0)	17,9 - 18,2 (-2)	13,6 - 13,3 (+2)
September (°C)	15,8 - 15,4 (+2)	14,6 - 14,3 (+2)	15,2 - 14,4 (+5)	
Oktober (°C)	11,5 - 10,9 (+5)	11,0 - 10,6 (+4)	9,8 - 9,8 (±0)	
Maj-September (°C)	18,8 - 17,7 (+6)	16,2 - 16,1 (±0)	15,6 - 15,8 (-1)	
Antal dagar med minst 10 °C	180 - 177 (+2)	170 - 167 (+2)	160 - 162 (-1)	109 - 111 (-2)
Graddagar > 10 °C	1389 - 1218 (+14)	992 - 1002 (-1)	894 - 931 (-4)	434 - 427 (+2)



# Diskussion

## *Skillnader mellan olika temperaturmätningar*

Provtagningarna var inte inriktade på att göra regelrätta interkalibreringar mellan de olika temperaturmätningsskylarna, eftersom mätningar med loggar, termometrar i Ruttnerhämtare och termistorer ej gjordes vid exakt samma tidpunkt och plats i sjön. Temperaturloggarnas 4-6 avläsningar per dygn kunde ge standardavvikelser på + 1 °C från dygnsmedelvärdet. En sådan dygnsvariation kan förväntas när ytvattnet reagerar med snabb uppvärmning eller avkyllning. Den rumsliga variationen i ytvattnets temperatur vid en given tidpunkt kan sannolikt vara ännu högre.

Problemet med rumslig och tidsmässig variation måste dock beaktas den dag man vill jämföra tillbakaräknad ytvattentemperatur (via lufttemperatur) med de momentana temperaturmätningar som utfördes i sjöarna innan det fanns temperaturloggar på plats. Avvikelser mellan loggarnas dygnsmedelvärden och SLU:s momentana mätningar kunde delvis förklaras av att loggarna i de flesta fall mätte på minst en halv meter större djup. Motsvarande jämförelser med Sötvattenslaboratoriets termistorer utfördes vid ungefär samma djup, men ibland med något dygnsförskjutning. Det är tyvärr också möjligt att termistorerna avlästes för tidigt, eftersom det ibland tar flera minuter innan de visar stabila värden. Med dessa reservationer är det positivt att de flesta parade differenser mellan loggarnas dygnsmedelvärden och momentana mätningar låg inom +1,5 °C.

## *Temperaturvariation mellan sjöar och år*

Tillgång till dagliga temperaturmätningar förväntas ge en bättre beskrivning av variation hos tillväxtsåsonger mellan sjöar och mellan år, jämfört med tidigare mätning en gång per månad. Tidigare har enstaka temperaturvärden från juli-augusti förklarat en del av variationen i olika fiskarters biomassa mellan 161 provfiskade sjöar (Holmgren & Appelberg 2000). En annan studie indikerade vissa effekter av sommartemperatur på rekryteringen av abborre och mört (Holmgren 2001). Medelvärden av enstaka temperaturmätningar bidrog dock inte till att förklara skillnader mellan sjöar i abborrens storleksberoende tillväxt (Holmgren & Appelberg 2001).

I denna studie varierade medeltemperaturen i juli och augusti relativt lite (12-14%) mellan 23 sjöar, och variationen mellan åren 1999-2001 var lägre än + 9% inom fyra av sjöarna. Variationen mellan sjöar var betydligt högre för de sammanfattande beskrivningar som definitivt förutsätter dagliga mätningar, dvs. antal dygn med minst 10 °C (+ 23%) och för summerade graddagar över 10 °C (+ 36%). Med denna spännvidd ökar förutsättningarna att utvärdera klimatberoende biologisk variation mellan sjöar. För att kunna relatera temperaturförhållanden under 1999-2001 till vanliga fiskarters rekrytering och tillväxt, behövs dock ålders- och tillväxtanalyser av senare insamlade individer, lämpligen från provfisken 2002-2004. En extremt hög korrelation mellan medeltemperatur under maj-september och graddagar över 10 °C berodde sannolikt på att just dessa månader bidrog med majoriteten av de summerade graddagarna.

## *Förutsättningar för prediktion av ytvattentemperatur via lufttemperatur*

Förhoppningen var att hitta en generell metod för beräkning av daglig vattentemperatur utifrån lufttemperatur, både före och efter perioder med kontinuerlig mätning i respektive sjö. Denna studie stöder antagandet om att linjära kalibreringskurvor kan fungera, åtminstone om man avstår från att försöka beräkna vattentemperaturer lägre än +5 °C. Däremot blev både urval av väderstationer och optimering av kalibreringskurvor mer komplicerat än förväntat.

Synkroniseringen i lufttemperatur var ofta hög mellan både relativt närliggande och mer avlägsna stationer. En fördel med detta är att det för varje sjö finns flera alternativa väderstationer att kalibrera vattentemperaturen mot. Tyvärr är det dock inte alltför ovanligt med brutna tidsserier vid SMHI:s väderstationer. Av detta skäl fick den station som var tänkt för kalibrering av Västra Skäl-sjöns vattentemperatur ersättas med en mer avlägsen station.

En del av de funna sambanden mellan vatten- och lufttemperatur varierade tyvärr både mellan år och mellan första och andra halvåret. Variationen mellan år minskade när man använde längre perioder för flytande medelvärden av lufttemperatur, vilket lyckligtvis sammanföll med en ökad synkronisering mellan dygnsmedelvärden för vatten och flerdygnsmedelvärden för luft. Den optimala perioden för flytande medelvärden varierade dock mellan de fyra sjöar som ingick i kalibrerings- och valideringsövningarna. Innan

man försöker kalibrera vatten- och lufttemperaturdata för en ny sjö bör man därför både optimera tidsperiod och testa för eventuella skillnader mellan första och andra halvåret.

Lufttemperaturen under vintermånaderna varierade mycket mer från dag till dag jämfört med vattentemperaturen. Skillnaden var alldeles för stor för att det skulle vara meningsfullt att försöka uppskatta dagliga vattentemperaturer mindre än 5 °C, åtminstone med hjälp av samma kalibreringskurvor som under sommarhalvåret. Om man i framtiden vill prediktera tid för isläggning och islossning behövs därför andra lösningar. Dessutom behövs även ett antal observerade isläggnings- och islossningsdatum, att kalibrera mot observerade mönster i temperaturkurvor för ytterligare placerade loggar.

Valideringen av uppskattad vattentemperatur över 5 °C under 2001 gav relativt lovande resultat. Endast en av fyra sjöar visade en generell tendens till systematisk avvikelse, beroende på att sambandet mellan vatten- och lufttemperatur varierade mellan år. Även i de övriga sjöarna avvek enskilda dygnsmedelvärden som mest ca 3 °C från observerat. Huvuddelen av avvikelserna låg dock inom +1,5 °C, dvs. i samma storleksordning som vid de tidigare jämförelserna av olika temperaturmätningar under ett givet dygn. Sammanfattande beskrivningar, såsom månadsmedelvärden, antal dagar med mer än 10 °C och summerade grad dagar avvek i allmänhet mindre än 5% från observerade värden. En sådan träffsäkerhet räcker sannolikt för att kunna identifiera och särskilja extremt kalla eller varma perioder. Eventuellt räcker det även för att detektera en del mer måttliga skillnader mellan år, av den omfattning som observerades i fyra sjöar 1999-2001.

### ***Förslag för framtiden***

Det mest önskvärda vore att fortsätta med kontinuerliga temperaturmätningar, så länge de intensiva övervakningsprogrammen löper. Då erhålls allt bättre uppskattningar av felmarginaler vid tillbakaräkning av dygnsmedelvärden m.m. under tidigare år. Dessutom slipper man förlita sig till osäkra samband med lufttemperatur under alla år med dagliga mätningar i sjöarna.

I praktiken behövs alltid avvägningar mellan kostnad och nytta med kontinuerlig mätning. Ett mer rimligt förslag är kanske att fortsätta med kontinuerlig mätning i ett mindre antal sjöar, inklusive de fyra sjöar med data sedan 1998. För övriga sjöar kan mätserierna kanske avslutas när

man har samlat in 3-4 års data för kalibrering i respektive sjö.

För att undvika problem med brutna tidsserier av lufttemperatur kan man tänka sig kalibrering mot medelvärden från flera av SMHI:s väderstationer. Behovet av en sådan avvägning ökar sannolikt ju längre tidsperioder och ju fler sjöar man vill tillbakaräkna tidigare temperaturförhållanden för.

I de aktuella sjöarna har det gjorts årliga provfisker åtminstone sedan 1994 och i de flesta av de kalkade sjöarna sedan 1989. Insamlade åldersprover rymmer också information om årsklasser som föddes flera år innan årliga provfisker infördes i respektive övervakningsprogram. Därför finns en stor potential för framtida analyser av temperaturens betydelse för biologisk variation, t.ex. mellanårsvariation i fiskars rekrytering och tillväxt.

## **Erkännande**

Arbetet samfinansierades av Naturvårdsverket (via IKEU-programmet, Integrerad KalkningsEffektUppföljning) och Fiskeriverket. Magnus Dahlberg och Björn Bergquist skaffade temperaturloggar och utförde alla praktiska moment 1998 och 1999. Sedan 2000 har Sötvattenslaboratoriets provfiskare skött utplacering och årligt utbyte av loggarna. Magnus Dahlberg fortsatte med planering, uppstart och datahantering, och han bidrog med information till metodavsnittet. Anders Kinnerbäck hjälpte till med att finna lämpliga väderstationer och Eva Edquist (SMHI) har levererat lufttemperaturdata. Värdefulla kommentarer till tidigare utkast har lämnats från Gunnar Persson och Anders Wilander vid SLU:s institution för miljöanalys, och av Björn Bergquist, Magnus Dahlberg, Maja Reizenstein och Olof Filipsson vid Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium.

## **Referenser**

Beitinger, T.L. & W.A. Bennett. 2000. Quantification of the role of acclimation temperature in temperature tolerance of fishes. *Environmental Biology of Fishes* 58: 277-288.

Beitinger, T.L., W.A. Bennett & R.W. McCauley. 2000. Temperature tolerances of North American

- freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental Biology of Fishes* 58: 237-275.
- Bergman, E. 1987. Temperature-dependent differences in foraging ability of two percids, *Perca fluviatilis* and *Gymnocephalus cernuus*. *Environmental Biology of Fishes* 19: 45-53.
- Böhling, P., R. Hudd, H. Lehtonen, P. Karås, E. Neumann & G. Thoresson. 1991. Variations in year-class strength of different perch (*Perca fluviatilis*) populations in the Baltic Sea with special reference to temperature and pollution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 1181-1187.
- Coutant, C.C. 1977. Compilation of temperature preference data. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34: 739-745.
- Elliott, J.M. 1976. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to body weight, water temperature and ration size. *Journal of Animal Ecology* 45: 923-948.
- Elliott, J.M., M.A. Hurley & R.J. Fryer. 1995. A new improved growth model for brown trout, *Salmo trutta*. *Functional Ecology* 9: 290-298.
- Goldspink, C.R. 1981. A note on the growth-rate and year-class strength of bream, *Abramis brama* (L.), in three eutrophic lakes, England. *Journal of Fish Biology* 19: 665-673.
- Holmgren, K. 1999. Between-year variation in community structure and biomass-size distributions of benthic lake fish communities. *Journal of Fish Biology* 55: 535-552.
- Holmgren, K. 2001. Variation i rekrytering av abborre och mört i kalkade, sura och neutrala sjöar sedan 1980-talet. *Vann* 36(4B): 433-440.
- Holmgren, K & M. Appelberg. 2000. Size structure of benthic fish communities in relation to environmental gradients. *Journal of Fish Biology* 57: 1312-1330.
- Holmgren, K. & M. Appelberg. 2001. Effects of environmental factors on size-related growth efficiency of perch, *Perca fluviatilis*. *Ecology of Freshwater Fish* 10: 247-256.
- Horppila, J. & H. Peltonen. 1997. A bioenergetic approach on food consumption of roach (*Rutilus rutilus* (L.)) in a eutrophic lake. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 207-222.
- Johnson, J.A. & S.W. Kelsch. 1998. Effects of evolutionary thermal environment on temperature-preference relationships in fishes. *Environmental Biology of Fishes* 53: 447-458.
- Karås, P. & G. Thoresson. 1992. An application of a bioenergetic model to Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.). *Journal of Fish Biology* 41: 217-230.
- Kempe, O. 1962. The growth of the roach (*Leuciscus rutilus* L.) in some Swedish lakes. Report of the Institute of Freshwater Research, Drottningholm 44: 42-104.
- Kjellman, J., J. Lappalainen & L. Urho. 2001. Influence of temperature on size and abundance dynamics of age-0 perch and pikeperch. *Fisheries Research* 53: 47-56.
- Le Cren, E.D. 1987. Perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius*) in Windermere from 1940 to 1985; studies in population dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44(Supplement 2): 216-228.
- Lehtonen, H. & J. Lappalainen. 1995. The effects of climate on the year-class variations of certain freshwater fish species, p. 37-44. In R.J. Beamish (ed.) *Climate change and northern fish populations*. Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences 121.
- Magnuson, J.J., L.B. Crowder & P.A. Medvick. 1979. Temperature as an ecological resource. *American Zoologist* 19: 331-343.
- Magnuson, J.J., D.M. Robertson, B.J. Benson, R.H. Wynne, D.M. Livingstone, T. Arai, R.A. Assel, R.G. Barry, V. Card, E. Kuusisto, N.G. Granin, T.D. Prowse, K.M. Stewart & V.S. Vuglinski. 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the northern hemisphere. *Science* 289: 1743-1746.
- Mallet, J.P., S. Charles, H. Persat & P. Auger. 1999. Growth modelling in accordance with daily water temperature in European grayling (*Thymallus thymallus* L.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 994-1000.
- McCombie, A.M. 1959. Some relationships between air temperatures and the surface water temperatures of lakes. *Limnology and Oceanography* 4: 252-258.
- Mills, C.A. & R.H. Mann. 1985. Environmentally-

- influenced fluctuations in year-class strength and their implications for management. *Journal of Fish Biology* 27 (Supplement A): 209-226.
- Mooij, W.M., E.H.R.R. Lammens & W.L.T. van Densen. 1994. Growth rate of 0+ fish in relation to temperature, body size, and food in shallow eutrophic Lake Tjeukemeer. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 516-526.
- Mooij, W.M. & E.H. van Nes. 1998. Statistical analysis of the somatic growth rate of 0+ fish in relation to temperature under natural conditions. -*Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 451-458.
- Neuman, E. 1976. The growth and year-class strength of perch (*Perca fluviatilis* L) in some Baltic archipelagoes, with special reference to temperature. Reports from the Institute of freshwater Research, Drottningholm 55: 51-70.
- Persson, G. 1996. 26 svenska referenssjöar 1989-1993. En kemisk-biologisk statusbeskrivning. Naturvårdsverket Rapport 4552, 141 s.
- Persson, L. 1986. Temperature-induced shift in foraging ability in two fish species, roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*): implications for coexistence between poikilotherms. *Journal of Animal Ecology* 55: 829-839.
- Ragotzkie, R.A. 1978. Heat budgets of lakes. I: Lerman (Ed.). *Lakes - chemistry, geology, physics*, pp. 1-19. Springer Verlag, New York.
- Rask, M., Appelberg, M, Hesthagen, T., Tammi, J., Beijer, U. & Lappainen, A. 2000. Fish Status Survey of Nordic Lakes - Species Composition, Distribution, Effects of Environmental Changes. TemaNord 2000:508. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Wandsvik, A. & M. Jobling. 1982. Observations on growth rates of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), reared at low temperature. *Journal of Fish Biology* 20: 689-699.

**Biaga 1:** Dagnsmedelvärden i temperatur (°C) via loggar vid 1-1,5 m djup. Notera att tidsaxeln sträcker sig från sommaren 1998 till sommaren 2002, oavsett hur länge det har funnits registrerande i respektive sjö.

