



O-92202

E-92452

Variasjoner i
kystvannets tetthetsfelt
ved Torungen og
Jomfruland



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-92202 E-92452	Undernr.:
Løpenr.: 3222	Begr. distrib.:

Hovedkontor Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Variasjoner i kystvannets tetthetsfelt ved Torungen og Jomfruland	Dato: 31/1-95	Trykket: NIVA 1995
	Faggruppe: Oseanografiske modeller	
Forfatter(e): Anders Stigebrandt Jan Aure Jarle Molvær	Geografisk område: Sørlandskysten	
	Antall sider: 38	Opplag: 60

Oppdragsgiver: Norges forskningsråd	Oppdragsg. ref.: 104329/720
--	--------------------------------

Ekstrakt:

Tetthetsfeltets variasjon er den viktigste drivkraften til vannfornyelse i de fleste fjorder. Med grunnlag i målinger over ca. 12 måneder har dette prosjektet fremskaffet en beskrivelse av variasjonen og fordelingen på ulike frekvenser i kystvannet utenfor Jomfruland og Torungen. Analyser viser at variasjonene avtar raskt med dypet, og at variasjoner med perioder mindre enn 1 time er ubetydelige. Betydningen av kortperiodiske variasjoner (< 1 uke) avtar raskt med dypet, mens mellomlange perioder (1 - 4 uker) har samme relative betydning i hele vannsøylen. Fra ca. 30 m dyp og nedover var intervallet mellom situasjoner med ekstrem høy tetthet ca. 1 år, og tildels betydelig kortere over dette dypet.

4 emneord, norske

1. Kystvannet
2. Tetthetsfelt
3. Torungen
4. Jomfruland

4 emneord, engelske

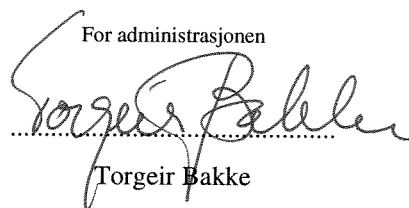
1. Coastal water
2. Density field
3. Torungen
4. Jomfruland

Prosjektleder



Jarle Molvær

For administrasjonen



Torgeir Bakke

ISBN-82-577-2731-8

HI
Bergen

NIVA
Oslo

O-92202
E-92452

VARIASJONER I KYSTVANNETS TETTHETSFELT

VED

TORUNGEN OG JOMFRULAND

Gøteborg/Bergen/Oslo, 31.1 1995
Anders Stigebrandt
Jan Aure
Jarle Molvær

FORORD

Den foreliggende rapport presenterer resultater fra et prosjekt som Havforskningsinstituttet, Bergen, Norsk institutt for vannforskning, Oslo, og Ancylus, Gøteborg, gjennomfører for Norges Forskningsråd (prosjektnr. 104329/720).

Rapporten omhandler prosjektets første fase: Beskrivelse av variasjoner i kystvannets tetthetsfelt. Feltarbeidet foregikk utenfor kysten av Telemark og Aust-Agder fra høsten 1992 til vinteren 1994.

Ved Havforskningsinstituttet har Jan Aure hatt ansvar for gjennomføring av måleprogrammet ved Torungen fyr, Aust-Agder, mens Øystein Østensen har utført databehandlingen av tidsseriene.

Anders Stigebrandt, Ancylus, har utført de statistiske analysene av tidsseriene og i alt vesentlig skrevet rapporten.

NIVA hadde ansvaret for målingene utenfor Jomfruland, Telemark, og Frank Kjellberg og Terje Hopen utførte det meste av feltarbeid og databehandling. Jarle Molvær har ledet prosjektet.

Oslo, 31.1 1995

Jarle Molvær

INNHold

Side:

FORORD	1
KONKLUSJONER	3
1. INNLEDNING	4
2. OBSERVASJONER AV TEMPERATUR OG SALTHOLDIGHET VED TORUNGEN OG JOMFRULAND I 1992-93	7
2.1 Innsamlede data fra Torungen	7
2.2 Innsamlede data fra Jomfruland	8
2.3 Oseanografiske forhold ved Torungen	8
2.4 Oseanografiske forhold ved Jomfruland	9
2.5 Vindobservasjoner fra Sørlandskysten	9
2.6 Samtidige målinger foretatt av kystovervåkingsprogrammet	10
3. STATISTISK ANALYSE AV DATA	10
3.1 Tetthetsfeltets variabilitet ved Torungen	11
3.2 Tetthetsfeltets variabilitet ved Jomfruland	12
3.3 Diskusjon av målt variabilitet samt målingenes representativitet	13
3.4 Tetthetsfeltets tids- og lengdeskalaer	14
3.5 Frekvens og varighet av tilfeller med ekstremt høy tetthet	15
4. AVSLUTTENDE DISKUSJON	16
5. LITTERATUR	17

KONKLUSJONER

Tetthetsfeltets variasjon i kystvannet er den klart viktigste drivkraften til vannutskiftning i de fleste fjorder og er dermed den viktigste faktoren for vannkvalitet over terskeldyp. Variasjonenes karakteristikk, som fordeling på ulike frekvenser samt varighet og frekvens av ekstremisituasjoner, har betydning ikke bare for utskiftningshastigheten over terskeldyp men også for utskiftningshastighet og vannkvalitet i en fjords bassengvann.

Målet med denne undersøkelsen var å fremskaffe en beskrivelse av tetthetsfeltets variasjon ved Sørlandskysten, spesielt fordelingen på ulike frekvenser. For å nå dette mål har vi innsamlet en årssyklus av tetthetsfeltet langs to vertikaler på Sørlandskysten, ved Torungen (HI) og ved Jomfruland (NIVA). Foreliggende rapport presenterer datagrunnlaget og gir en beskrivelse av tetthetsfeltets variasjon ved Sørlandskysten. De viktigste resultatene fra undersøkelsen er summert nedenfor.

Tetthetsfeltets variabilitet på Sørlandskysten kan oversiktlig karakteriseres på følgende måte:

- o Variabiliteten i tetthetsfeltet avtar raskt med dypet. På ca. 30 m dyp er variansen kun 10 % av den ved overflaten.
- o Variasjoner med perioder mindre enn 1 time er ubetydelige.
- o Den relative betydningen av kortperiodiske variasjoner (< 1 uke) avtar raskt med dypet.
- o Variasjoner med perioder 1-4 uker har samme relative betydning i hele vannsøylen (0-100 m)
- o Fra ca. 30 m dyp og nedover bidrar den årlige variasjonen med ca. halvparten av variansen, høyere oppe i vannsøylen har den mindre betydning.
- o Tidsintervallet mellom tilfeller med ekstremt høy tetthet var ca. 1 år fra 30 m dyp og nedover og kortere over dette dyp. På f.eks. 13 m dyp var mellomrommet ca 4 måneder.

1. INNLEDNING

På grunn av stadige bevegelser i vannmassene og vertikal lagdeling varierer alltid vannets tetthet i et punkt i havet. Tetthetsvariasjoner ved en kyst skyldes ofte vindindusert opp- og nedstrømning i kombinasjon med en vertikal tetthetsgradient, men i visse områder vil horisontal strøm i kombinasjon med horisontale tetthetsgradienter være av større betydning. Dette gjelder spesielt i områder sterkt influert av ferskvannskilder.

Tidsvariasjoner i den vertikale lagdelingen i kystvannet gir opphav til momentane horisontale trykkforskjeller mellom kystvannet og innenforliggende fjorder. Disse driver den såkalte "intermediære sirkulasjon" mellom fjord og kystvann. Denne sirkulasjonen, som foregår mellom havoverflaten og terskeldyp, er i fjordene i Sør-Norge ofte en størrelsesorden større enn både estuarin og tidevannsdrevet sirkulasjon [Aure & Stigebrandt (1989) og Stigebrandt (1990)]. Eksempel på den intermediære sirkulasjonens avgjørende betydning for vannkvalitet og biologiske forhold i fjorder finner en f. eks. i Matthews & Heimdal (1980), Lindahl (1987), Aure & Stigebrandt (1989) og Stigebrandt & Molvær (1990).

På tross av en ofte dominerende betydning for vannutvekslingen mellom fjorder og kystvann er den intermediære sirkulasjon fortsatt forbausende anonym og ofte oversett. En viktig årsak til dette er at det først i senere år er blitt utviklet metoder for å kvantifisere intermediær sirkulasjon. Bl.a. har en utviklet numeriske modeller som beregner utskiftning av vann i ulike dyplag mellom fjord og kystvann [f.eks. Stigebrandt (1990), Stigebrandt & Molvær (1990), Engqvist & Omstedt (1992)]. Disse modellene er imidlertid krevende både mht. arbeidstid og feltnålinger, bl.a. kreves samtidige tidsserier av den vertikale lagdelingen i kystvannet og i fjorden. Det er derfor urealistisk å bruke slike modeller i annet enn større prosjekter.

For å utvikle en enkel metode å kvantifisere midlere intermediær sirkulasjon Q_i brukte Stigebrandt & Aure (1990) den numeriske fjordmodellen beskrevet i Stigebrandt (1990). Modellen ble applisert på et bredt spekter av fjorder med ulike kombinasjoner av munningstopografi (terskeldyp H_t og bredde B_m) og overflateareal A_f . Som drivning ble brukt en målt tidsserie av tetthet i ulike dyp fra kystvannet i Møre og Romsdal. Av modellresultatene tilpasset man følgende formel for midlere vannutveksling drevet av den intermediære sirkulasjon

$$Q_i = \beta \sqrt{B_m H_t A_f \frac{g \Delta M}{\rho}} \quad (1)$$

I formelen er drivningen beskrevet av standardavviket ΔM av vekten M av en vannsøyle fra midlere havoverflaten ned til terskeldyp. ΔM beregnes ved vertikal integrasjon av standardavviket σ_ρ av observert tetthet ρ . Verdien av den empiriske konstanten β ble bestemt til $17 \cdot 10^{-4}$. For å kunne beregne størrelsen av intermediær vannutveksling vha. denne formelen trenger en således bare å kjenne fjordens areal og munningstopografi samt tetthetsfeltets varians, σ_ρ^2 , i kystvannet utenfor fjorden. Formelen brukes bl.a. i vannkvalitetsmodellen "Fjordmiljø" (se Stigebrandt, 1992).

Tetthetsfeltets varians er oppbygget av bidrag fra et bredt spekter av tidsskalaer, fra titalls minutter til titalls år. Komponenter med lav frekvens vil være mindre effektiv mht. å drive intermediær sirkulasjon enn komponenter med samme amplitude og høyere frekvens. Dette gjelder opp til en øvre, fjordspesifikk grense. Over denne begynner vannutskiftningen å bli mindre effektiv fordi vannet tenderer å pendle fram og tilbake i fjordmunningen. Størrelsen på den intermediære vannutskiftningen er dermed ikke bare styrt av variansens amplitude men også variansens fordeling på ulike frekvenser. For å kunne bruke formel (1) på et nytt område, med samme verdi på den empiriske konstanten β som ble bestemt for Møre og Romsdal, må variansens fordeling på ulike frekvenser være den samme som i Møre og Romsdal. Hvis dette ikke er tilfelle må en for det nye området bestemme en ny verdi på β . I det avsluttende kapitlet blir det framlagt indisier for at β i hvert fall ikke varierer meget på kyststrekningen fra Grenlandsfjordene i Telemark til Glomfjord i Nordland.

At den intermediære vannutvekslingen er drevet av tetthetsfeltets varians i kystvannet (lign. 1), skyldes dels at dette er fornuftig fra et hydrodynamisk synspunkt og dels at ΔM var mulig å bestemme ut fra tilgjengelige data. For å bestemme tetthetens varians langs en kyst trenger en et tilstrekkelig antall vertikale hydrografiske profiler fra et passelig antall lokaliteter. Ved hjelp av data fra Havforskningsinstituttets faste stasjoner, hvor målinger ofte er tatt i over 50 år og med typisk måleintervall på 1 måned, beregnet Stigebrandt & Aure (1990) tetthetsvariensens vertikale og horisontale fordeling langs kysten fra Lista til Nordkapp. Senere har Aure & Østensen (1993a) komplettert dette med resultater for bl.a. Torungen. Disse analysene viser at variansen avtar både med økende dyp og med avstanden fra Skagerrak.

Fra eksisterende datasett (HI), med typiske måleintervall på ca. 1 måned, kan en bare bestemme den totale variansen samt størrelsen på bidrag fra diskrete lengre perioder. Aure & Østensen (1993a) bestemte amplituden på tetthetsvariasjonen med periode 1 år. For å bestemme hvordan variansen fordeler seg over hele spektret av frekvenser må en ha målinger med så høy målefrekvens at det ikke forekommer variasjoner med høyere frekvens. Det foreliggende prosjekt har derfor spesielt tatt sikte på å samle inn data som kan brukes for å bestemme hvordan variansen fordeler seg på korte tidsskalaer, noe man

tidligere manglet kunnskap om. Dette er realisert gjennom målinger med høy målefrekvens ved Torungen og Jomfruland gjennom et år. I tillegg har en fått økt kunnskap om tetthetsvariasjonene i løpet av en årssyklus i indre Skagerrak.

Variasjonen av tetthetsfeltet i kystvannet har betydning ikke bare for størrelsen av den intermediære sirkulasjon, men også for tidspunkt og frekvens av utskifting av bassengvannet i en fjord. Frekvensen bestemmes imidlertid også i høy grad av takten på tetthetsreduksjonen i bassengvannet ved turbulent vertikal blanding (se Stigebrandt & Aure, 1989). Gade (1973) betraktet utskifting av bassengvannet i fjorder som en stokastisk prosess. Han beskrev tetthetsvariasjonen i kystvannet som en årsbølge med en overlagret stokastisk variasjon mens tetthetsreduksjonen i bassengvannet ble antatt å skje med en konstant observert rate. Bassengvannet ble antatt utskiftet momentant når tettheten i kystvannet blir høyere enn i bassengvannet. Anvendelse på noen store fjorder med sjelden forekommende vannutskifting ga realistiske resultater for beregnet tidsintervall mellom utskiftninger.

Aure & Stigebrandt (1989) utviklet en metode for beregning av tiden (T_e) mellom to fullstendige utskiftninger av vannet i et fjordbasseng. T_e avhenger dels av hastigheten for tetthetsreduksjonen i bassengvannet, som kan beregnes teoretisk fra formler gitt i Aure & Stigebrandt (1989) og Stigebrandt (1992), og dels av en empirisk konstant R_e som er den tetthetsreduksjon som i et fjordbasseng må til før en kan regne med en ny fullstendig utskifting av bassengvannet. Senere ble det framlagt en hypotese om at R_e -verdien bør variere med amplituden på tetthetsvariasjonene i kystvannet (Stigebrandt et al, 1992). Metoden er implementert i vannkvalitetsmodellen "Fjordmiljø" hvor R_e foreløpig er antatt proporsjonal med σ_p , se Stigebrandt (1992).

Bassengvannet i fjorder med meget trange munnings har vist seg å ha en forlenget oppholdstid T_e (Aure & Stigebrandt, 1989). Dette innebærer at disse fjordene har forhøyet R_e -verdier. Årsaken er at munningene til slike fjorder har liten transportkapasitet og det derfor tar lang tid å fylle opp terskelbassenget (lang fyllingstid). Bassengvannet rekker dermed ofte bare å bli delvis utskiftet i løpet av den tiden vannet over terskeldypet (utenfor fjorden) har høyere tetthet enn terskelbassenget. Størrelsen av tetthetsreduksjonen R_e , mellom fullstendige vannutskiftninger, vil dermed øke. Bassengvannet i slike fjorder vil derfor få en lavere tetthet enn i fjorder med kort fyllingstid, noe som gir mulighet for hyppigere innstrømning av nytt bassengvann siden også vann med lavere tetthet (enn i fjorder med kort fyllingstid) kan fornye bassengvannet. En lang fyllingstid tenderer altså å bli delvis kompensert av hyppigere innstrømning av nytt dypvann.

For å bestemme en fjords R_e -verdi må en altså kjenne fjordbassengets fyllingstid og denne må settes i relasjon til varigheten av tilfeller med ekstrem høy tetthet i kystvannet over

fjordens terskeldyp. Hvordan en skal beregne R_c -verdier for fjorder med lang fyllingstid er foreløpig ikke utredet. For å gi et balansert perspektiv på forekomst av fjorder med lang fyllingstid bør det sies at de aller fleste fjordbasseng synes å ha kort fyllingstid i forhold til varighet av perioder med maksimal tetthet. Denne erkjennelsen har etter hvert vokst fram ut fra erfaringer fra bruken av "Fjordmiljø" som peker på at metoden å beregne T_c fungerer tilfredsstillende for de aller fleste fjorder.

Denne rapporten er organisert slik at målingene fra Torungen og Jomfruland presenteres i kap. 2. I kap. 3.1-3.3 gjennomføres en analyse av måledata mht. variansens fordeling på ulike frekvensbånd. I kap. 3.4 diskuteres ulike tids-og romskalaer i kystvannet ut fra målingene. Varigheten av situasjoner med ekstremt høy tetthet blir diskutert i kap. 3.5. Rapporten avsluttes med diskusjon og konklusjoner. Alle figurer er plassert til slutt i rapporten.

2. OBSERVASJONER AV TEMPERATUR OG SALTHOLDIGHET VED TORUNGEN OG JOMFRULAND I 1992-93.

I dette kapitlet presenterer vi de årelange målinger av temperatur og saltholdighet som ble foretatt av HI ved Torungen og av NIVA ved Jomfruland, se kart i Fig. 2.1. Vi presenterer også vindobservasjoner fra Oksøy, Torungen og Jomfruland. For sammenligning vises også observasjoner fra Sørlandskysten av temperatur og saltholdighet tatt av SFTs kystovervåkingsprogram i 1993.

2.1 Innsamlede data fra Torungen

Temperatur, saltholdighet og strøm ble målt i posisjon N 58° 21,98', E 8° 50,83' på dypene 13, 20, 30, 50, 75 og 100 m av selvregistrerende Aanderaa strømmålere i tidsrommet 27.10.1992 - 22.9.1993 med registrering hvert 10 minutt. Instrumentene ble i løpet av måleperioden tatt opp og avlest fem ganger. Målingene i perioden 27.10.92-5.4.93 er presentert i Aure & Østensen (1993b). I Tabell 2.1 nedenfor gies middelværdier av temperatur og saltholdighet for hver måleperiode og hvert måledyp. Stort sett synes instrumentene å ha fungert godt men for nesten hele måleperiode 1 mangler saltholdighet på 100 m dyp. For måleperiode 3 er saltholdigheten i 50 m og 75 m dyp litt høyere enn saltholdigheten i 100 m. Måledata mangler helt fra 50 m dyp i måleperiode 4 og fra 100 m dyp i måleperiode 5. Strømmålinger blir ikke behandlet i foreliggende rapport, men er presentert i Aure & Østensen (1993b).

Tabell 2.1 Midlere saltholdighet og temperatur for de fem måleperiodene ved Torungen.

Dyp (m)	Per.1		Per. 2		Per.3		Per.4		Per.5	
	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
13	6.04	32.46	5.56	29.31	9.07	33.29	13.75	32.81	12.45	32.96
20	6.42	33.12	5.09	32.49	8.24	34.13	13.31	33.14	11.66	33.62
30	6.75	33.71	5.21	33.78	7.74	34.45	12.36	33.56	10.18	34.29
50	7.16	34.28	5.67	34.54	7.32	34.99	----	----	8.17	35.06
75	7.38	34.60	6.14	34.84	7.13	34.88	8.64	34.66	7.31	35.31
100	7.27	----	6.22	35.05	6.95	34.84	7.74	35.17	----	----

2.2 Innsamlede data fra Jomfruland

Temperatur og saltholdighet ble målt i posisjon N 58° 50,51', E 09° 42,15' på dypene 5, 14, 24, 44, 69 og 94 m av en Aanderaa strømmåler (5 m dyp) og Aanderaa TS-kjede (øvrige måledyp) i tidsrommet desember 1992 - januar 1994 med registrering hvert 20 minutt. På 5 m dyp foreligger en sammenhengende måleserie fra 22.12.92 til 5.2.94 og øvrige dyp i perioden 31.03.93 - 19.1.94. Teknisk feil i TS-kjedens datalogger i tidsrommet 22.12.92-31.3.93 førte til tap av dataene fra 14 - 94 m dyp. På 69 m dyp mangler data for perioden 23.9.93 - 19.1.94. Dataene ser stort sett fornuftige ut men kvaliteten på saltholdighetsdata fra 44 og 94 m dyp er usikre i siste delen av perioden med start i begynnelsen av november 1993. Målingene i perioden 22.12.92 - 28.8.93 er presentert i Molvær & Hopen (1993).

2.3 Oseanografiske forhold ved Torungen

Temperaturdata (Fig. 2.2) viser en karakteristisk årssyklus med størst amplitude, $\sim 13^{\circ}\text{C}$ på 13 m dyp, nærmest overflaten. På 100 m dyp varierer temperaturen bare med ca. 2°C over året. I dette og følgende tidsplott er 1.1.92 satt til Dag 1. Saltholdigheten (Fig. 2.3) viser også en årssyklus med maksimum saltholdighet i desember-januar og minimum i løpet av våren og sommeren i de øverste dypene. I de største dypene er saltholdigheten høyest om sommeren og lavest om vinteren. Den beskrevne årsvariasjonen stemmer godt overens med variasjonene i løpet av et middelår ved Torungen (Aure & Østensen, 1993a).

I Fig. 2.4 og 2.5 vises isoplet-diagram for henholdsvis temperatur og saltholdighet for hele måleperioden. Manglende data har blitt beregnet vha. interpolasjon og ekstrapolasjon.

2.4 Oseanografiske forhold ved Jomfruland

Temperaturdata (Fig. 2.6) og salinitetsdata (fig. 2.7) viser også her en karakteristisk årsvariasjon og de generelle trekkene ligner mye på de som kan ses fra målingene ved Torungen beskrevet ovenfor, selv om måleperiodene ikke er helt sammenfallende.

I Fig. 2.8 og 2.9 vises isopleth-diagrammer for temperatur og saltholdighet. Generelt er inntrykket at det er mere variabilitet i målingene fra Jomfruland enn i målingene fra Torungen som viser et mindre dramatisk forløp.

2.5 Vindobservasjoner fra Sørlandskysten

Vindobservasjoner fra Oksøy, Torungen og Jomfruland ble først delt opp i vinkelrette komponenter, langs (SV-NO) og på tvers av kysten (NV-SO). Deretter beregnet vi såkalt "stress-vind" som er kvadratroten av midlere vindkvadrat over døgnet, beskrevet av formelen $(1/N(W_1^2 + W_2^2 + \dots + W_N^2))^{1/2}$ der W_1 er den første og W_N er den siste observasjonen under døgnet. Stressvinden langs disse aksene er vist i Fig. 2.10 og 2.11. Måleserien fra Jomfruland savner data for juli og desember 1993. En sammenligning mellom vind og saltholdighetsvariasjoner gir ingen tydelige sammenhenger, noe som viser at systemet er komplekst.

I Tabell 2.2 nedenfor sammenlignes vindobservasjonene fra de tre lokalitetene. Tabellen viser at for alle tre observasjonsstedene var vindkomponenten (stress-vind) langs aksene NV-SØ noe sterkere enn vindkomponenten langs aksene SV-NØ. Vinden er generelt sterkere ved Oksøy enn ved Torungen og Jomfruland. Dette gjelder også den såkalte blandingsvinden definert gjennom formelen $(1/N(W_1^3 + W_2^3 + \dots + W_N^3))^{1/3}$.

Tabell 2.2 Sammenligning av vindobservasjoner i 1993 fra Oksøy, Torungen og Jomfruland. Vinden er oppdelt på vinkelrette komponenter (SV-NØ og NV-SØ) og deretter midlet over døgnet. MH er midlere hastighet (m/s) og Fr er frekvens av angitt vindkomponent (%).

Stasjon	SV-vind		NØ-vind		NV-vind		SØ-vind		Blandingsvind Hastighet
	MH	Fr	MH	Fr	MH	Fr	MH	Fr	
Oksøy	4.4	66	3.4	34	6.0	56	5.8	44	8.1
Torungen	2.9	53	2.5	47	5.5	55	5.5	45	6.9
Jomfrul.	3.2	57	2.6	43	5.4	51	4.2	49	6.5

2.6 Samtidige målinger foretatt av kystovervåkingsprogrammet

I Fig. 2.12 vises isopleth-diagrammer av temperatur og saltholdighet for noen steder langs Sørlandskysten (Aure et al., 1994). Målefrekvensen er en til to målinger per måned og diagrammene viser derfor et mindre dramatisk forløp enn isoplethdiagrammene produsert fra data fra foreliggende prosjekt (Fig. 2.4, 2.5 og 2.8, 2.9). En kan derfor slutte seg til at mye av variabiliteten i øvre vannlag skyldes dynamiske prosesser med perioder kortere enn ½-1 måned.

3. STATISTISK ANALYSE AV DATA

I dette kapitlet vil vi beskrive hvordan tetthetsfeltets variasjon fordeler seg vertikalt og på ulike perioder ved Torungen og Jomfruland. For å analysere hvordan variansen fordeler seg på ulike periode-bånd bruker vi en enkel men oversiktlig metode som ble brukt av Stigebrandt (1984). Metoden blir beskrevet nedenfor. Vi vil også diskutere tetthetsfeltets tids- og lengdeskalaer samt varighet av tilfeller med ekstremt høy tetthet.

Metoden å analysere hvordan variansen fordeler seg på ulike periodebånd er som følger. Man går ut fra en tidsserie av f.eks. saltholdighet som er N timer lang og med M data for hver time. Saltholdighetsverdi nummer j time i betegnes S_{ij} . Variansen av tidsserien er

$$\sigma^2 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (S_{ij} - S_0)^2 \quad (2)$$

hvor tidsseriens middelværdi S_0 er definert ved

$$S_0 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M S_{ij} \quad (3)$$

En kan skrive om formel (2) på følgende måte

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M ((S_{ij} - S_{0i})^2 + (S_{0i} - S_0)^2 + 2(S_{ij} - S_{0i})(S_{0i} - S_0)) \quad (4)$$

hvor middelværdien S_{0i} for time i er definert gjennom

$$S_{0i} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_{ij} \quad (5)$$

Til forskjell fra de to første ledd til høyre om likhetstegnet i formel (4), som er positive, er tredje ledd skiftende positiv og negativ og summerer seg til noe som er en faktor 10^{-4} .

10^{-5} mindre enn de to første leddene og derfor kan neglisjeres, se Stigebrandt (1984).

Variansen for tidsserien kan da med meget god tilnærming skrives

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_{0i} - S_0)^2 + \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (S_{ij} - S_{0i})^2 \quad (6)$$

Det første ledd til høyre om likhetstegnet er variansen av tidsserien av timesmiddelverdier og det andre leddet er middelverdien av variansen for perioder kortere enn en time. Den sistnevnte beregnes lettest som forskjellen mellom variansen for den originale tidsserien (S_{ij}) og variansen for tidsserien basert på timesmiddelverdier (S_i). Gjennom suksessiv midling over stadig lengre perioder og beregning av variansen for resulterende tidsserier kan en med denne metoden bestemme variansens fordeling på ulike periodebånd.

For å demonstrere metoden har vi plukket ut 60 dager av en av de tidligere presenterte måleseriene av saltholdighet basert på 6 målinger hver time. Den utvalgte tidsserien har variansen $\sigma^2 = 0.922$ (psu)². Serien basert på timesmiddelverdier har variansen 0.846 (psu)². Bidraget til variansen fra perioder fra en time og kortere er slik $0.922 - 0.846 = 0.076$ (psu)². Variansen for en tidsserie av døgnmiddelverdier er 0.591 (psu)². Således bidrar perioder mellom 1 time og 1 døgn med variansen $0.846 - 0.591 = 0.255$ (psu)². For å grafisk anskueliggjøre effekten av midlingen viser vi i Fig. 3.1a et utsnitt av den originale tidsserien sammen med serien basert på timesmiddel og i Fig. 3.1b et utsnitt av tidsseriene basert på henholdsvis timesmiddel og døgnmiddel.

3.1 Tetthetsfeltets variabilitet ved Torungen

Nye dataserier ble fremstilt ved å midle de opprinnelige dataseriene over 1 time. I Tabell 3.1 vises midlere saltholdighet og tetthet samt standardavviket σ_ρ av tettheten. Fig. 3.2 viser frekvensfordeling av tettheten i intervall med bredden 0.1 kg m^{-3} for ulike dyp for disse seriene. Figuren viser tydelig at variasjonsbredden i tetthet avtar med økende dyp. Standardavviket for den opprinnelige dataserien med 10 min måleintervall på 13 m dyp var $1.55 \text{ (kg m}^{-3}\text{)}$, dvs bare 0.02 enheter større enn for serien med timesmiddelverdier. Forskjellen i standardavvik mellom opprinnelig og midlet dataserie blir enda mindre med økende dyp.

I Tabell 3.1 har vi innført standardavviket $\sigma_{\rho 1}$, $\sigma_{\rho 7}$ og $\sigma_{\rho 28}$ for tetthet for tidsserier midlet over henholdsvis 1, 7 og 28 døgn. En kan se at bidragene til variansen på tidsintervallet 1

time til 1 døgn, dvs. $\sigma^2 - \sigma_{\rho 1}^2$, er liten og begrenset til de øverste 50 m av vannsøylen. Bidragene til variansen på tidsintervallet 1 døgn - 1 uke er noe større og påvirker et noe tykkere vannlag. Variansen på tidsskalaen 1-4 uker har samme relative betydning i alle vannlag. En kan derfor konkludere med at variansen fra ca 30 m dyp og nedover for en stor del skyldes svingninger med perioder lengre enn ca. 1 måned (Fig. 3.3).

Tabell 3.1. Antall timesverdier (ant), middelverdier for saltholdighet (mvs) og tetthet (mvρ) samt standardavvik σ_{ρ} for tettheten på ulike måledyp ved Torungen. $\sigma_{\rho 1}$, $\sigma_{\rho 7}$ og $\sigma_{\rho 28}$ er standardavviket for tetthet for tidsserier basert på henholdsvis 1, 7 og 28 døgns middelverdier.

Dyp (m)	Ant	mvs (o/oo)	mvρ (kg m ⁻³)	σ_{ρ} (kg m ⁻³)	$\sigma_{\rho 1}$ (kg m ⁻³)	$\sigma_{\rho 7}$ (kg m ⁻³)	$\sigma_{\rho 28}$ (kg m ⁻³)
13	7682	32.30	25.10	1.53	1.45	1.27	1.07
20	7681	33.22	25.85	0.79	0.76	0.66	0.57
30	7681	33.82	26.36	0.64	0.62	0.55	0.47
50	6184	34.49	27.02	0.36	----	----	----
75	7681	34.71	27.15	0.28	0.28	0.27	0.23
100	3550	35.03	27.46	0.14	----	----	----

3.2 Tetthetsfeltets variabilitet ved Jomfruland

Tilsvarende analyse som ble gjort ovenfor for Torungen ble også gjennomført for målingene tatt ved Jomfruland (Tab. 3.2). Målt tetthet har større varians i hele vannsøylen ved Jomfruland enn ved Torungen, men gir omtrent samme bilde av variansens vertikale variasjon og fordeling på ulike periodebånd (Fig. 3.4). En framtrædende forskjell mellom tidsseriene er imidlertid at det på større dyp er betydelig mere variabilitet på kortere tidsskalaer ved Jomfruland enn ved Torungen. Dette kan delvis forklares ved at TS-kjeden ved Jomfruland hang fritt under bøyen, men med ca. 50 kg lodd i enden. Av trykksensoren nederst kan en se at den likevel har svinget ut og opp under (trolig) sterk strøm.

Tabell 3.2. *Antall timesverdier (ant), middelveidier for saltholdighet (mvs) og tetthet (mv ρ) samt standardavviket σ_{ρ} for tettheten på ulike måledyp ved Jomfruland. $\sigma_{\rho 1}$, $\sigma_{\rho 7}$ og $\sigma_{\rho 28}$ er standardavviket for tetthet for tidsserier basert på henholdsvis 1, 7 og 28 døgns middelveidier.*

Dyp (m)	Ant	mvs (o/oo)	mv ρ (kg m ⁻³)	σ_{ρ} (kg m ⁻³)	$\sigma_{\rho 1}$ (kg m ⁻³)	$\sigma_{\rho 7}$ (kg m ⁻³)	$\sigma_{\rho 28}$ (kg m ⁻³)
05	9835	28.70	22.27	2.97	2.77	2.52	2.02
14	8185	30.95	23.98	1.97	1.86	1.60	1.27
24	7583	32.22	24.94	1.53	1.49	1.26	1.11
44	8185	34.35	26.78	0.83	0.77	0.68	0.63
69	5371	34.76	27.18	0.50	0.50	0.47	0.44
94	8185	34.84	27.31	0.32	0.31	0.28	0.25

3.3 Diskusjon av målt variabilitet samt målingenes representativitet

En stor andel av tetthetsfeltets variabilitet ligger på perioder lengre enn 1 måned (Fig. 3.3 og 3.4). Denne variabiliteten hengte trolig sammen med Skagerraks storstilte respons på ferskvannstilførsel (dominerende bidrag fra Østersjøen) og vind (både transport og blanding). Hvordan variabiliteten er fordelt over lengre perioder er avhengig av flere tidskonstanter i systemet. De viktigste er oppholdstiden for ferskvann i henholdsvis Skagerrak (~ 1 måned) og Kattegat (~ 2 måneder) samt årlig variasjon i vind og ferskvannstilførsel. Svingningene med korte perioder, < 7 døgn, er formodentlig i høyere grad koblet til det lokale/regionale vindfeltet for disse kortperiodiske svingninger reduseres hurtigere med dypet enn svingningene med lengre perioder.

Aure & Østensen (1993a) rapporterte månedsmidler av tetthet samt standardavviket for disse på standarddyp på HIs hydrografiske stasjon ved Torungen. Variansen ble således oppdelt dels på perioden 1 år inklusiv overtoner (1/2 år, 1/3 år,..) og dels på øvrige perioder. I Fig. 3.5 har vi plottet amplituden av disse to komponentene mot dypet. En ser at variansen fra 30 m dyp og nedover får like store bidrag fra årsvariasjonen (Tor_ann) som fra øvrige perioder (Tor_res) men over dette dyp dominerer øvrige perioder. Ut fra månedlige målinger kan en imidlertid ikke bestemme fordelingen av variansen på øvrige perioder. En kan merke seg at den totale variansen på ulike dyp ved Torungen er omtrent lik den som ble angitt for Lista i Stigebrandt & Aure (1990).

For å kunne bedømme hvorvidt målingene fra foreliggende prosjekt er representative for området trenger vi å vite om variansen var normal i måleperioden. I Fig. 3.6 har vi

plottet den totale variansen ved Torungen fra målingene foretatt i foreliggende prosjekt (Tor_pmf) og fra HIs hydrografiske stasjon ($Tor_{tot_HI} = Tor_{ann} + Tor_{res}$) (Aure & Østensen, 1993a). En kan se at målingene tatt i dette prosjektet gjennomgående har lavere varians, noe som kan tyde på at måleperioden ikke har vært helt representativ. En skal imidlertid merke seg at målingene på visse dyp dekker perioder vesentlig kortere enn 1 år, noe som gir lavere varians. Til sammenligning viser vi i Fig. 3.6 også variansen i målingene ved Jomfruland (Jom_pmf). Disse har høyere varians enn målingene fra HIs hydrografiske stasjon ved Torungen (Tor_{tot_HI}). Siden en har større tetthetsgradienter i øvre vannlag østover i Skagerrak er det naturlig at også variansen er større. En forventer imidlertid at tetthetsgradientene på større dyp er ganske like ved Jomfruland og Torungen. At variansen dypere ned skiller så mye som den faktisk gjør mellom målestedene skyldes sannsynligvis i hvert fall til dels at TS-kjeden ved Jomfruland svingte ut til siden - og oppover i vannmassen - i perioder med sterk strøm (se kap. 3.2).

Vinden ved Torungen fyr var i 1993 noe svakere enn normalt og det var litt høyere frekvens av vind fra NØ og litt lavere frekvens av vind fra SV enn normalt. Således var dette året midlere vindstyrke fra SV 6.5 m/s mot normalt 7.2 m/s mens frekvensen av vind fra denne retningen var 40.5% mot normalt 44.2%. Midlere vindstyrke fra NØ var 5.7 m/s mot normalt 6.7 m/s mens frekvensen av vind fra denne retningen var 39.1% mot normalt 36.5%. Denne oppdelingen på vindkomponenter er basert på dominerende vindretning og bl.a. derfor ikke direkte sammenlignbar med oppdelingen som ble brukt i Tabell 2.2 ovenfor. Det er mulig at den, sammenlignet med normalen, noe svakere og noe annerledes fordelte vinden i 1993 bidrar til at variansen i våre målinger ved Torungen (Tor_{pmf}) er noe mindre enn den normale variansen (Tor_{tot_HI}), se Fig. 3.6.

3.4 Tetthetsfeltets tids- og lengdeskalaer

Tetthetsfeltet ble ovenfor analysert på en robust måte som ga informasjon om hvordan variansen fordeler seg på ulike periodebånd. Denne informasjonen kan en også få fram ved såkalt spektralanalyse. Vi har også gjennomført parvis spektralanalyse av dataserier for å studere eventuell samvariasjon. Det er relativ god korrelasjon vertikalt, dvs hvis saltholdigheten for eksempel øker på et nivå så er det temmelig høy sannsynlighet for at den øker på nærliggende nivåer, noe som også direkte framgår fra Fig. 2.3 og 2.7. Dette gjelder spesielt for perioder dels omkring ca. 3 dager og dels omkring ca. 10 dager. For disse periodene er det også relativ god korrelasjon mellom variasjoner i saltholdighet og vindstress langs kysten som gir opphav til opp- og nedstrømning. Korrelasjonen mellom vindstress vinkelrette på kysten og saltholdighetsvariasjoner er liten. Dette gjelder også for korrelasjonen mellom blandingsvind og saltholdighetsvariasjoner. Dette betyr ikke at blanding er uvesentlig for variabiliteten. Blandingen er imidlertid en sterkt ikke-lineær og

ikke reversibel prosess og tilfeller med blanding vil fremfor alt gi bidrag til variansen på tidsskalaer bestemt av vannets oppholdstid i Kattegat og Skagerrak. Med spektralanalyse får en bare fram lineære sammenhenger og en kan derfor ikke ha så store forventninger på at spektralanalyse skal kunne avsløre annet enn muligens noen hovedtrekk av den meget komplekse dynamikken i Skagerrak.

3.5 Frekvens og varighet av tilfeller med ekstremt høy tetthet

For utskiftning av bassengvannet i en fjord har det betydning hvor ofte episoder med høy tetthet forekommer (dvs. frekvens) over terskeldyp utenfor fjorden. Episodenes varighet kan også ha betydning siden fullstendig vannutskiftning bare kan skje hvis varigheten er lengre enn fyllingstiden for bassengvann. Fra frekvensfordelingen av tetthet i forskjellige tetthetsintervall (Fig. 3.2) kan en ikke si hvor ofte og med hvilken varighet en viss tetthet overskrides.

Vi har analysert frekvens og varighet av tilfeller med tetthet over en viss verdi. I analysen har vi brukt tidsseriene basert på døgnmiddel. Fra Fig. 3.7 a-e, for henholdsvis 13, 20, 30, 50 og 75 m dyp ved Torungen, kan en lese av midlere varighet av tilfeller med tetthet over en viss verdi, hvor lang tid det går (både i gjennomsnitt og maksimalt) mellom slike tilfeller og, sluttelig, antall tilfeller. Målingene på 100 m dyp er ikke medtatt grunnet relativt lite data, jf. Tab. 3.2.

Typiske trekk ved Fig. 7 a-e er at midlere varighet avtar med økende tetthet, at både midlere og maksimale tidsintervall har et bredt minimum og at antall tilfeller har et bredt maksimum for midlere tetthet, se spesielt Fig. 7e som dekker hele variasjonsbredden i tetthet.

For utskiftning av bassengvann i fjorder er spesielt maksimale tidsintervallet mellom tilfeller med ekstremt høy tetthet av interesse. Dette øker generelt med dypet, jf. Fig. 7 a-e. Dette stemmer godt med den fordeling av variansen på frekvenser som vi tidligere kom frem til, nemlig at tettheten fra ca. 30 m dyp og nedover kan beskrives som en årsbølge modulert med en fortrinnsvis langsom variasjon. Maksimal tetthet vil derfor ofte opptre til samme årstid hvert år og mellomrommet blir derfor ca. 1 år fra 30 m dyp og nedover, jf. Fig. 7 c,d,e. I de øverste 25 m av vannsøylen er bidraget fra årssyklusen til variansen lite. Maksimal tetthet kan derfor opptre under en større del av året og mellomrommet blir derfor kortere, jf. Fig. 7 a.

For å bestemme hvordan konstanten R_c påvirkes av at en fjord har en lang fyllingstid må en bruke en numerisk fjordmodell. I og med at det nå foreligger årelange tidsserier for

tetthetsfeltet kan slike studier gjøres.

4. AVSLUTTENDE DISKUSJON

Innledningsvis i foreliggende rapport ble presentert en formel (1) for intermediær vannutskiftning. Denne inneholder en empiriske konstant β som ble bestemt for Møre og Romsdal. For å bruke formelen med denne verdien på β i andre områder langs kysten må variansen være fordelt på ulike frekvenser på samme måte som i Møre og Romsdal. Det finnes foreløpig ingen publisert kunnskap om variansens fordeling på ulike frekvenser utover den i foreliggende rapport. For å få undersøkt variansens frekvensfordeling må en ha årelange målinger med høy målefrekvens i et passelig antall vertikaler langs kysten fra Lista til Nordkapp. Det kan imidlertid nevnes at formel (1) både for Grenlandsfjordene i Telemark og for Holandsfjord og Glomfjord i Nordland gir resultater som stemmer bra med beregninger foretatt med en numerisk modell drevet av målt tetthetsfelt i det lokale kystvann. Dette indikerer at den empiriske konstanten ikke varierer påfallende mye langs norskekysten.

For å planlegge måleprogram er det viktig å vite hvordan variansen for de viktigste parametrene fordeler seg på ulike perioder. Spesielt gjelder dette målinger som skal brukes for beregning av vannutskiftningen i en fjord vha. numerisk modell.

De lange tidsseriene fra Skagerrakkysten presentert i foreliggende rapport finnes lagret på HI og NIVA. De bør kunne bli brukt til mange formål.

5. LITTERATUR

- Aure, J., Dahl, E., Hovind, H. og Magnusson, J., 1994: Langtidsovervåking av trofiutviklingen i kystvannet langs Sør-Norge. Hydrografi/hydrokjemi. Datarapport 1993. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 556/94. NIVA-rapport nr. 3032. 70 sider.
- Aure, J. og Stigebrandt, A., 1989: Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastning for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Rapport nr. FO8803. Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Aure, J. og Østensen, Ø., 1993a: Hydrografiske normaler og langtidsvariasjoner i norske kystfarvann. Fisken og Havet, nr. 6.
- Aure, J. og Østensen, Ø., 1993b: Strømmålinger sør for Torungen fyr 27.10.92 - 5.4.93. Foreløpig datarapport, Havforskningsinstituttet.
- Engqvist, A. and Omstedt, A., 1992: Water exchange and density structure in a multi-basin estuary. *Continental Shelf Res.*, 12, 1003-1026.
- Gade, H.G., 1973: Deep water exchange in a sill fjord: A stochastic process. *J. Phys. Oceanogr.*, 3, 213-219.
- Lindal, O., 1987: Plankton community dynamics in relation to water exchange in the Gullmar Fjord, Sweden. PhD-thesis. Dept. of Zoology, Univ. of Stockholm. 138 pp.
- Matthews, J.B.L. and Heimdal, B.R., 1980: Pelagic productivity and food chains in fjord systems. Pp. 377-398 In: Freeland, H.J., Farmer, D.M. and Levings, C.D. (eds.) Fjord Oceanography. Plenum Press. New York and London.
- Molvær, J. og Hopen, T., 1993: Strømmålinger fra Jomfruland. Foreløpig datarapport, NIVA.
- Stigebrandt, A., 1984: Analysis of a 89-year-long sea level record from the Kattegat with special reference to the barotropically driven water exchange between the Baltic and the sea. *Tellus*, 36A, 401-408.
- Stigebrandt, A., 1990: On the response of the horizontal mean vertical density distribution in a fjord to low-frequency density fluctuations in the coastal water. *Tellus*, 42A, 605-614.

- Stigebrandt, A., 1992: Beregning av miljøeffekter i fjorder fra menneskelige aktiviteter. Lærebok for brukere av vannkvalitetsmodellen Fjordmiljø. Statens forurensningstilsyn Oslo/Ancylus Gøteborg. Ancylus rapport nr 9201. 58 sider.
- Stigebrandt, A. and Aure, J., 1989: Vertical mixing in the basin water of fjords. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 917-926.
- Stigebrandt, A. og Aure, J., 1990: De ytre drivkreftenes betydning for vannutskiftningen i fjordene fra Skagerrak til Finnmark. Havforskningsinstituttet, Bergen. Rapport Nr. FO9003. 28 sid.
- Stigebrandt, A., Aure, J. og Molvær, J., 1992: Utprøving og kalibrering av terskelfjordmodellen. NIVA-rapport nr. 2701. Bergen/Oslo/Gøteborg. 66 sider.
- Stigebrandt, A. og Molvær, J., 1990: Undersøkelse av eutrofisituationen i Grenlandsfjordene. Rapport nr. 2. Modell for miljøeffekter fra utslipp av næringssalter, oppløst og partikulært materiale. NIVA-rapport nr. 2534. Oslo/Gøteborg. 74 sider.

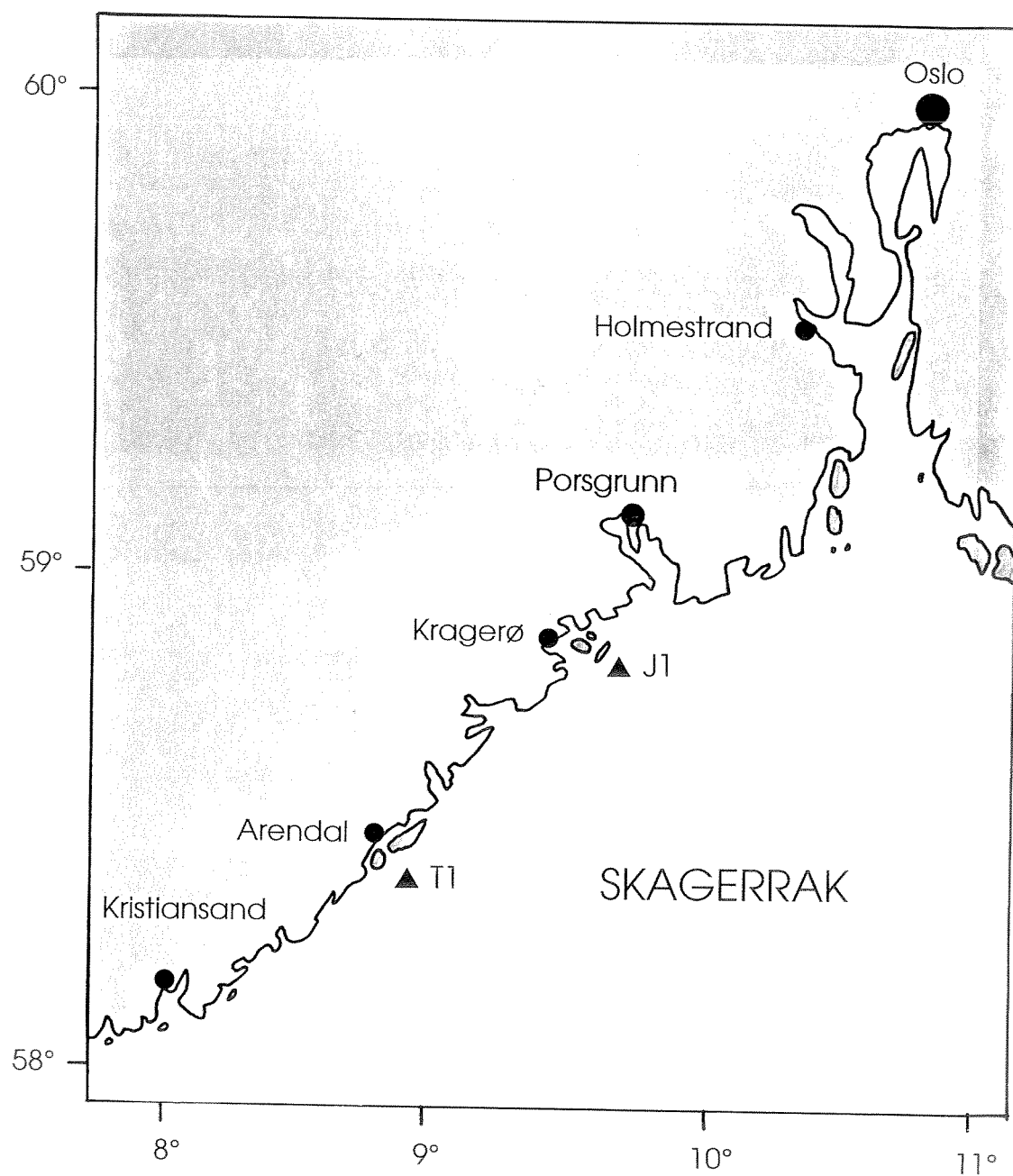


Fig. 2.1 Kart over Sørlandskysten med innregnede posisjoner for målingene ved Torungen (st. T1) og Jomfruland (st. J1).

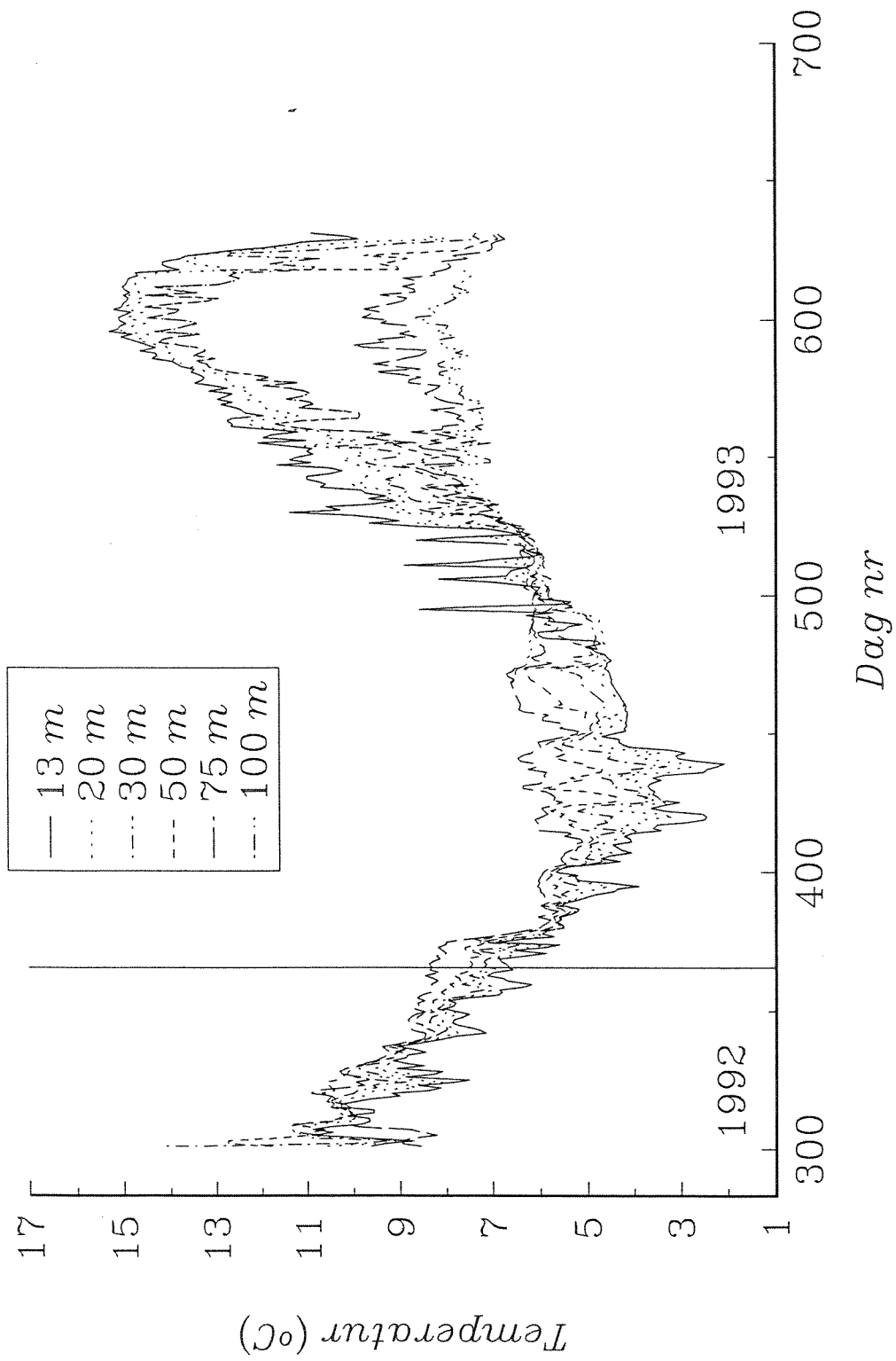


Fig. 2.2 Målte temperaturer ved Torungen.

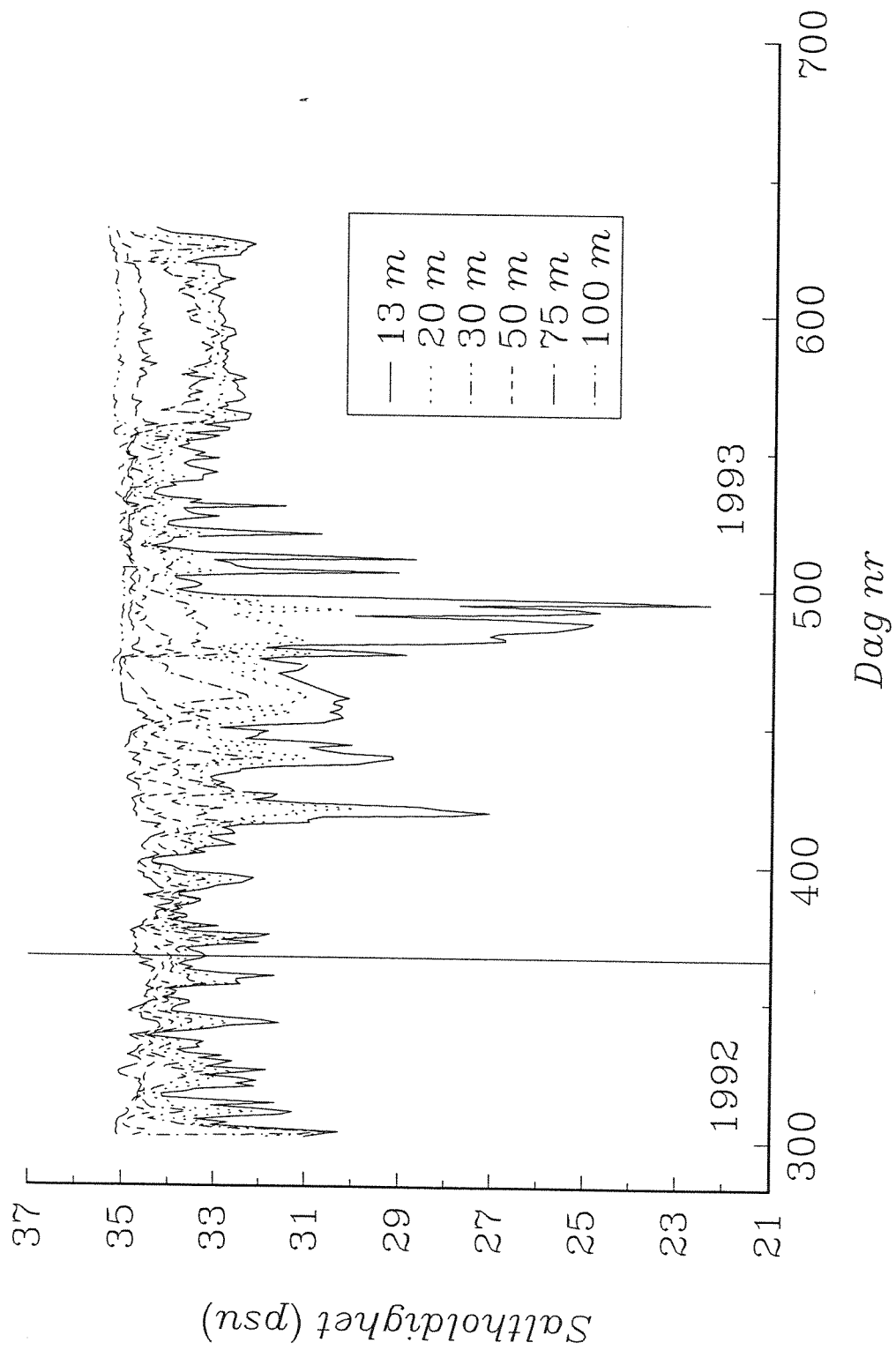


Fig. 2.3 Målte saltholdigheter ved Torungen.

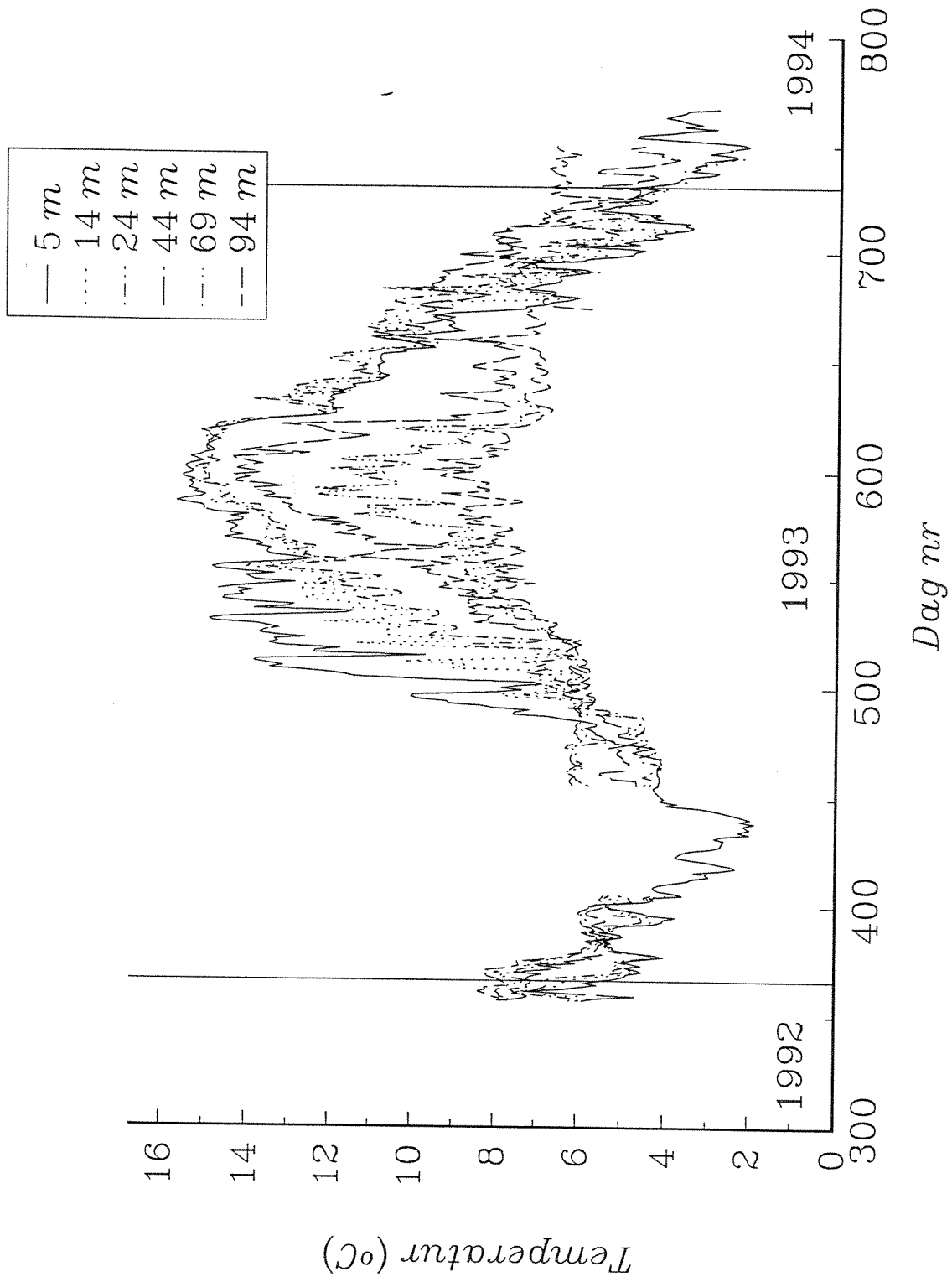


Fig. 2.6 Målte temperaturer ved Jomfruland.

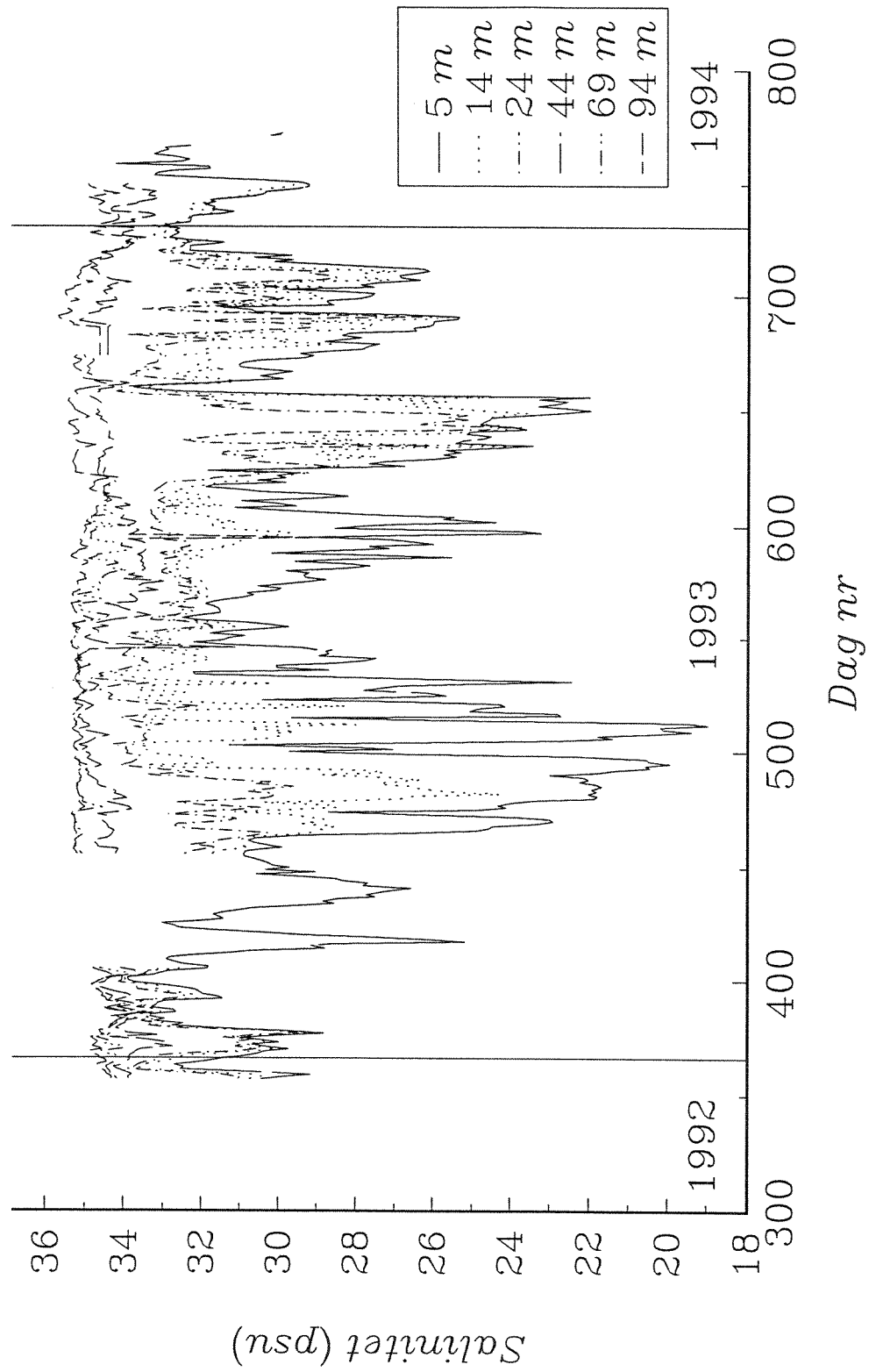


Fig. 2.7 Målte saltholdigheder ved Jomfruland.

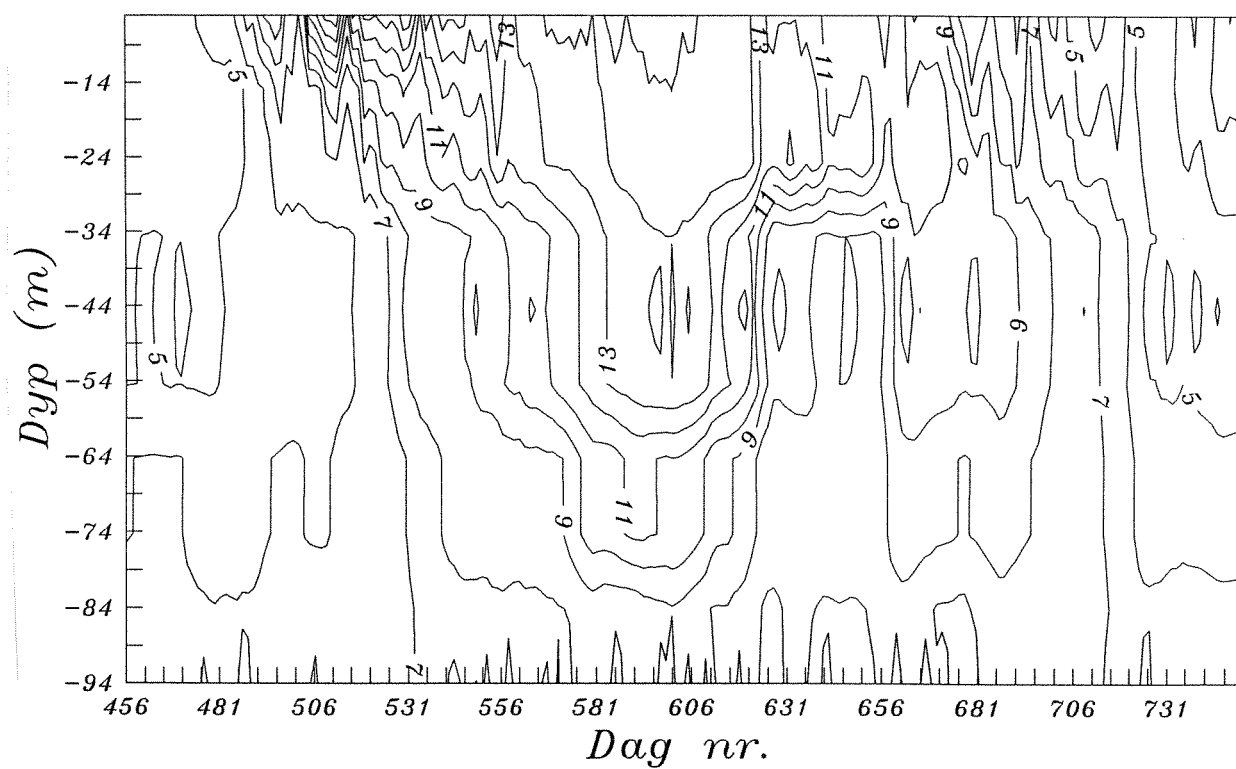


Fig. 2.8 Isopleth-diagram for temperatur ved Jomfruland.

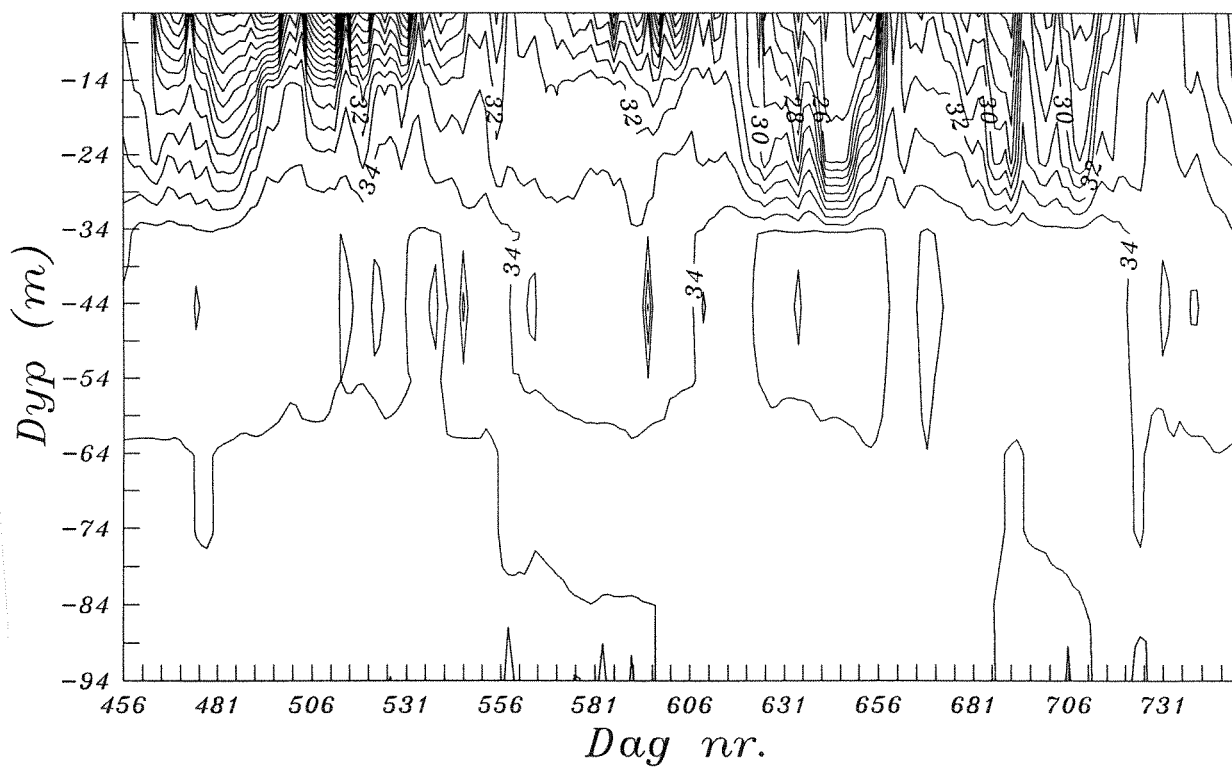


Fig. 2.9 Isopleth-diagram for saltholdighet ved Jomfruland.

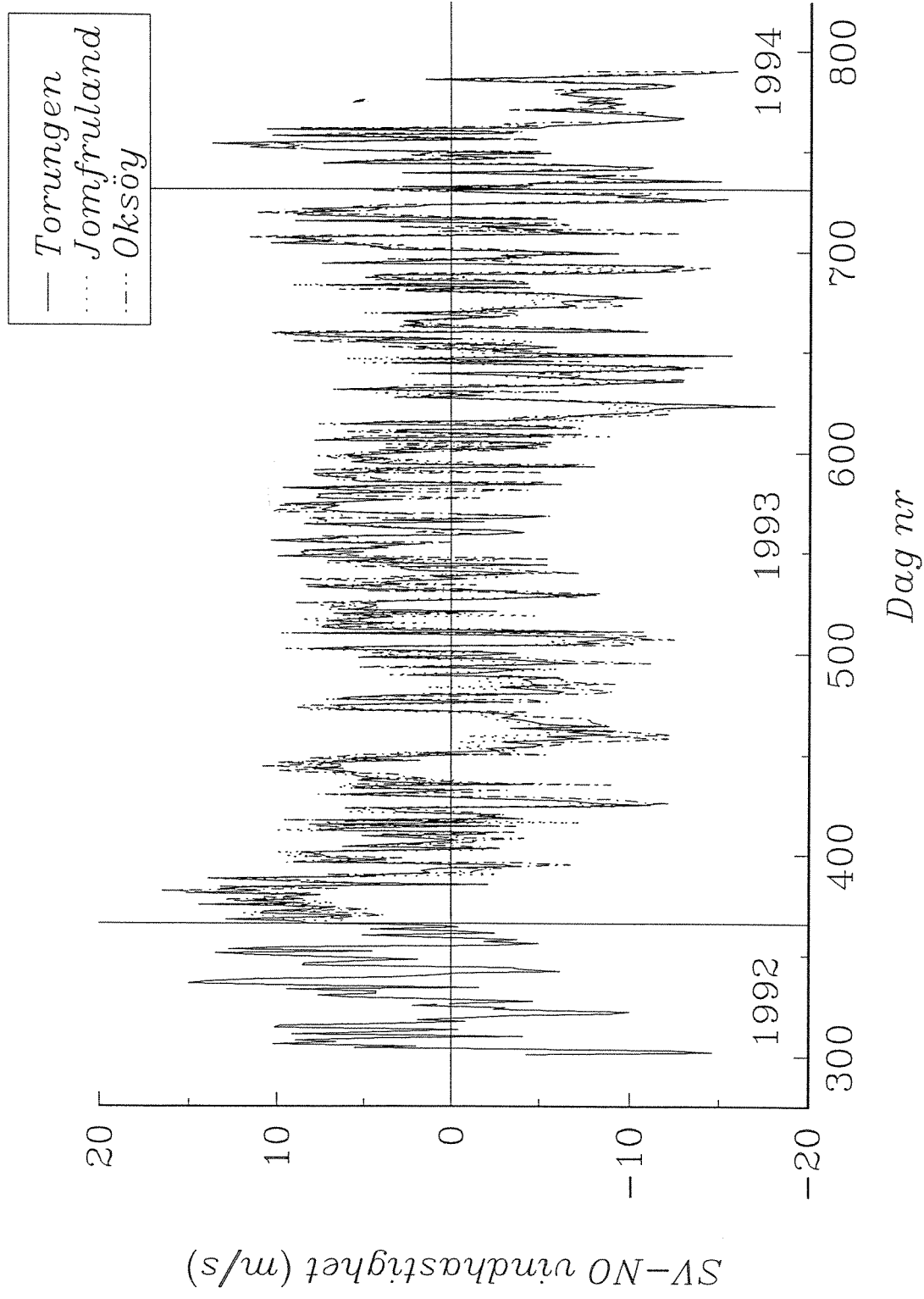


Fig. 2.10 Vind langs kysten (SV-NO) ved Oksoy, Torungen og Jomfruland.

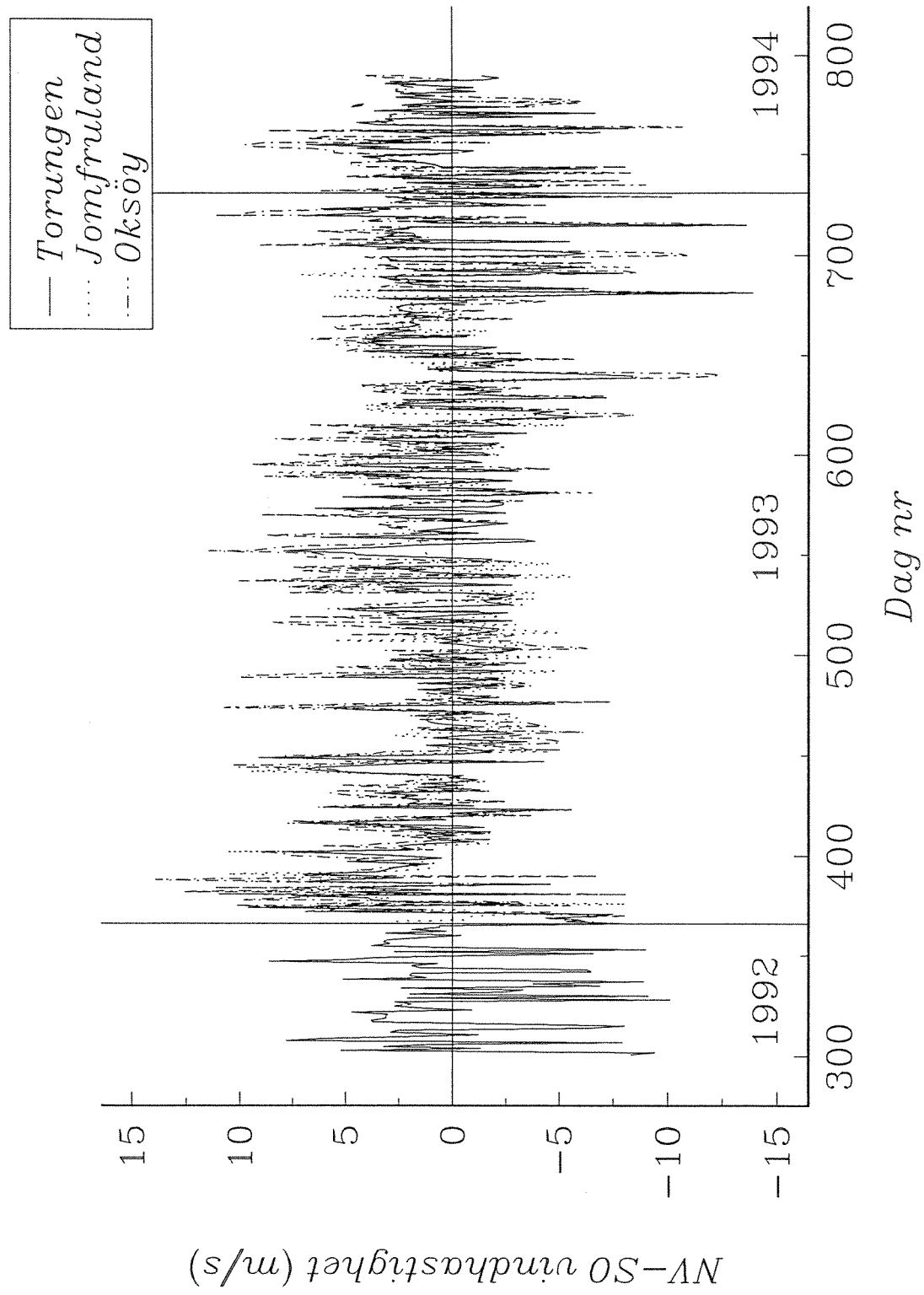


Fig. 2.11 Vind på tvers av kysten (SV-NO) ved Oksoy, Torungen og Jomfruland.

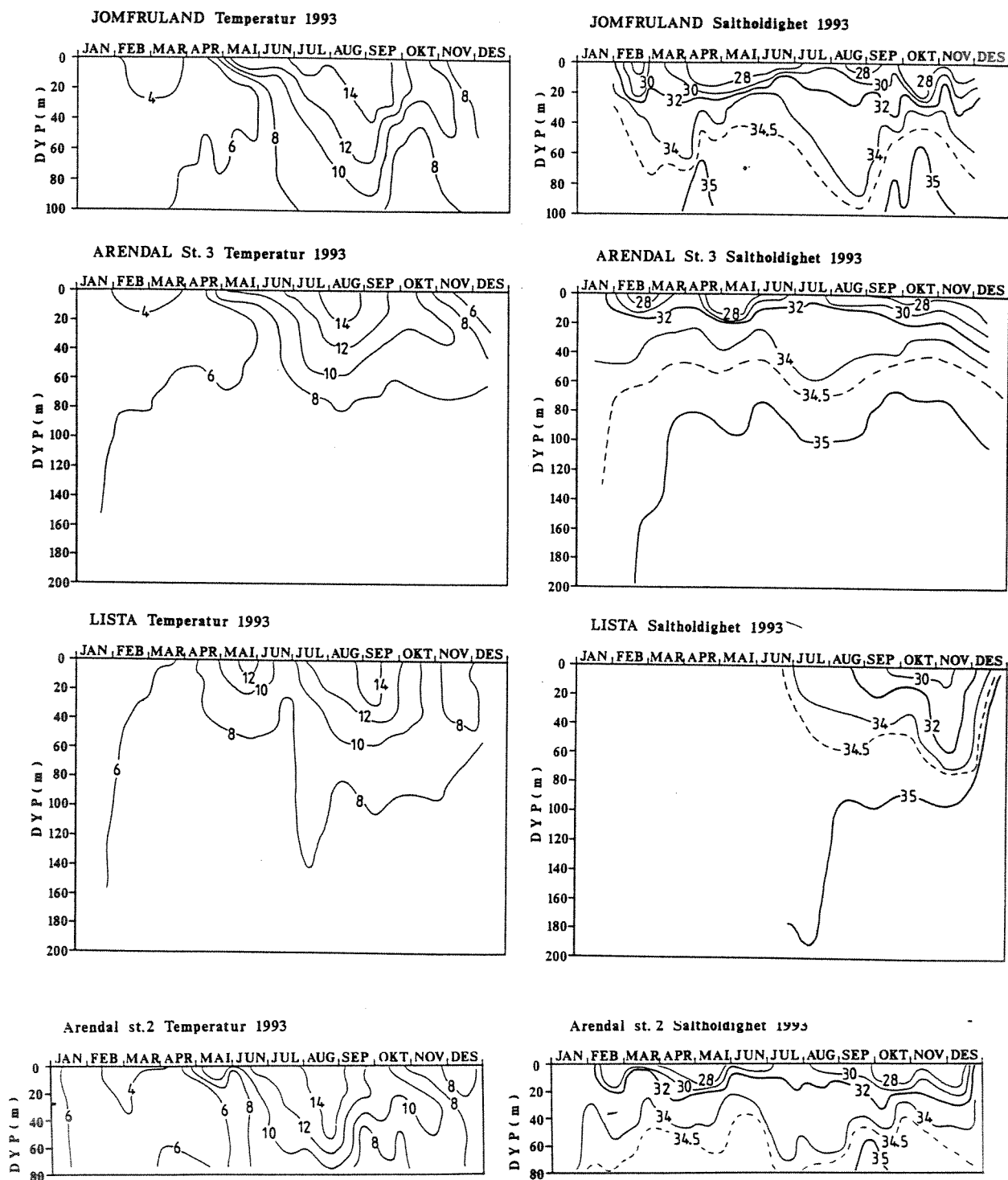


Fig. 2.12 Observasjoner av temperatur og saltholdighet i 1993 foretatt av kystovervåkingsprogrammet (fra Aure et al., 1994).

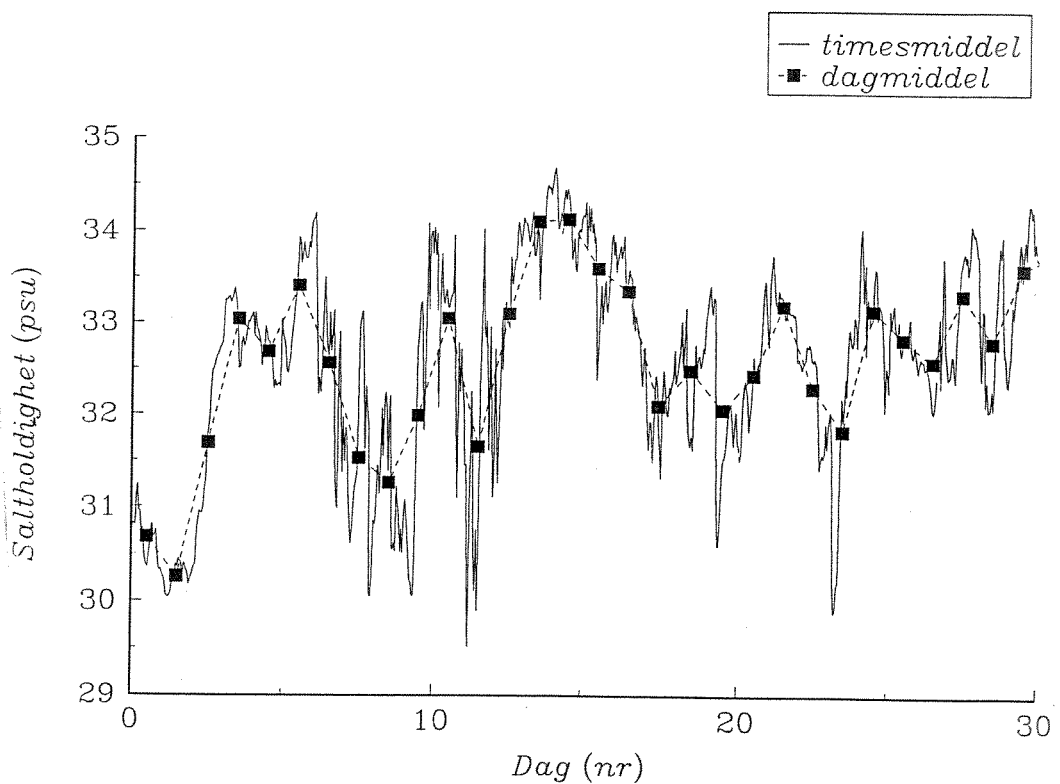
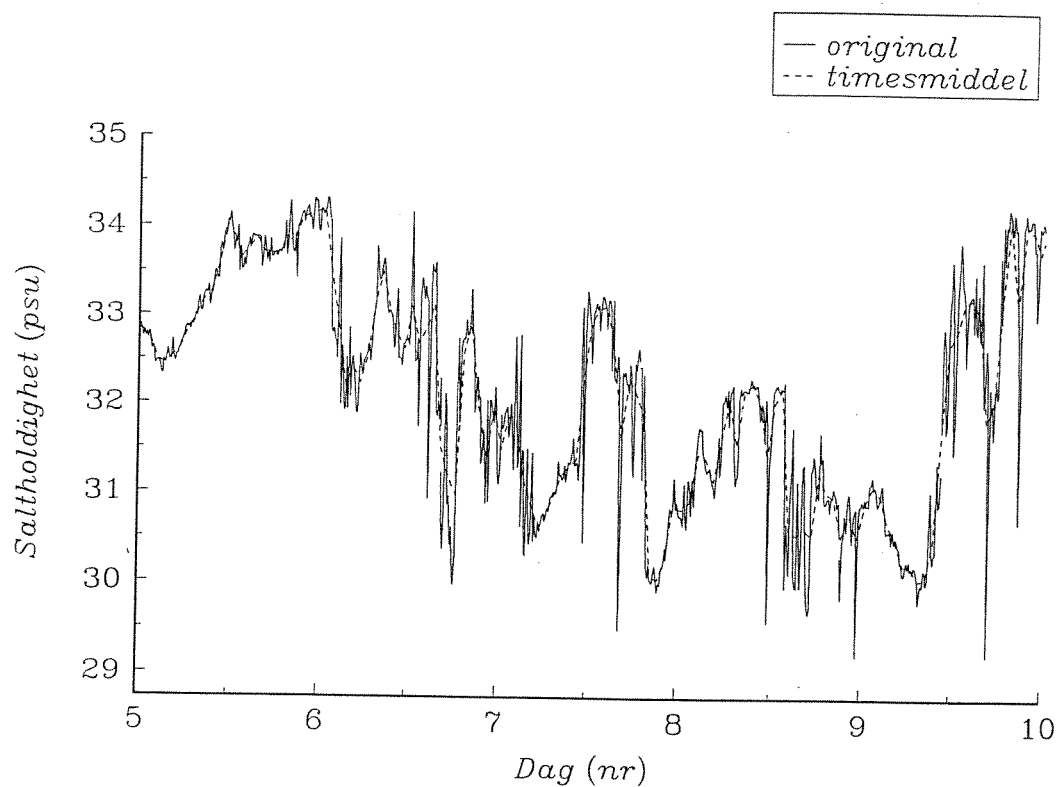


Fig. 3.1 Eksempel på effekten av midling på tidsserier.

a) Tidsserie basert på målinger med 10 min mellomrom og tidsserie basert på timesmiddel. b) Tidsserie basert på timesmiddel og døgnmiddel (dagmiddel).

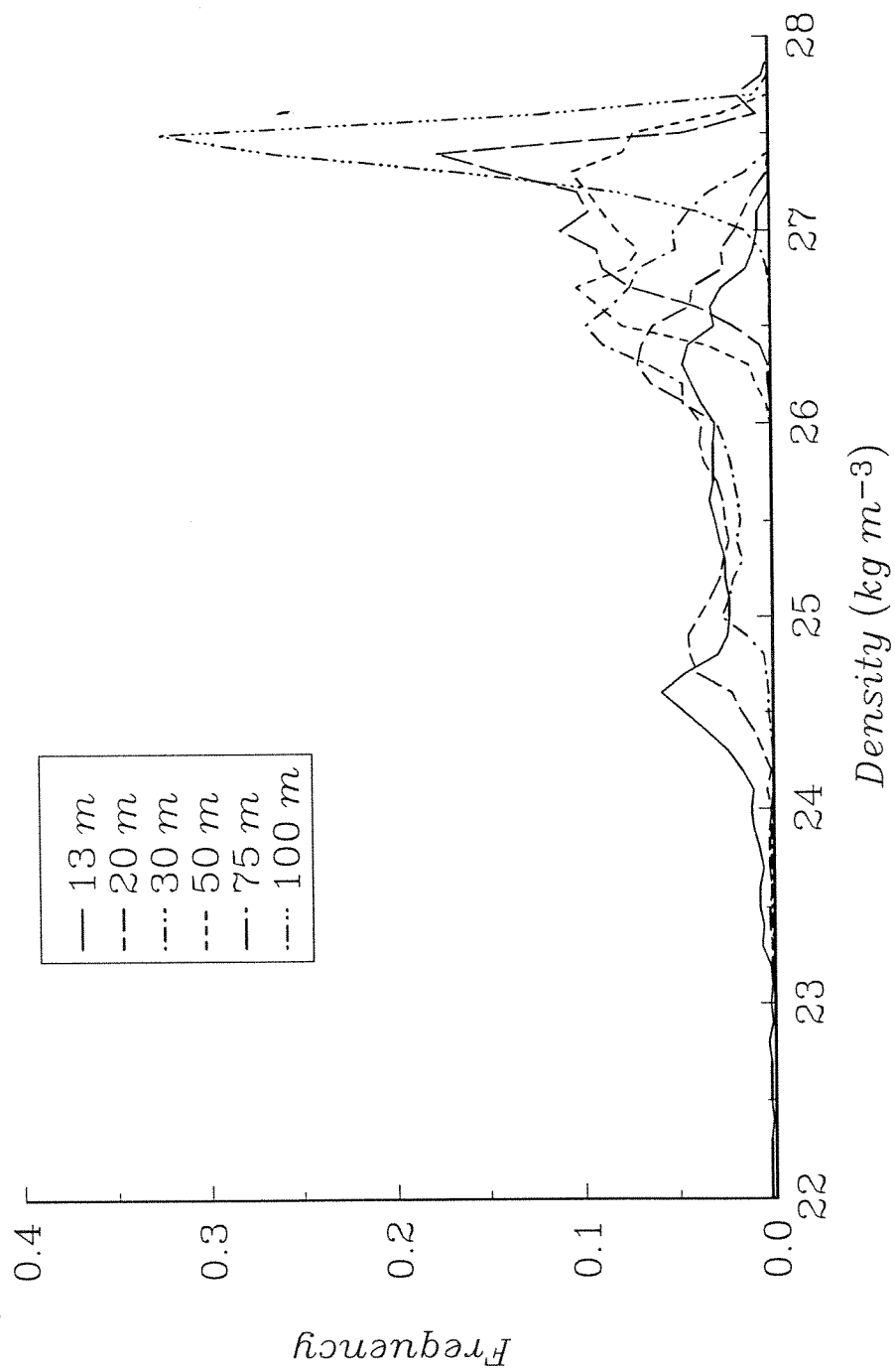


Fig. 3.2 Frekvensfordeling av tettheten i intervall med bredden 0.1 kg m³ på ulike dyp ved Torungen.

Torungen. Bidrag til varians i tetthet fra forskjellige perioder.

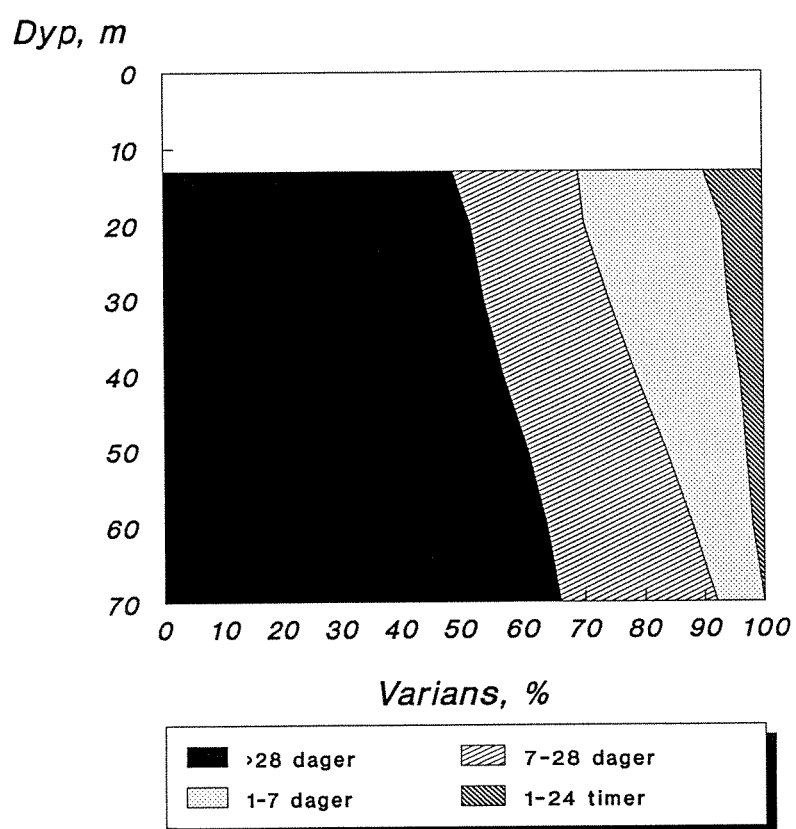


Fig. 3.3 Fordeling i dypet av tetthetens varians på ulike perioder ved Torungen.

Jomfruland. Bidrag til varians i tetthet fra forskjellige perioder.

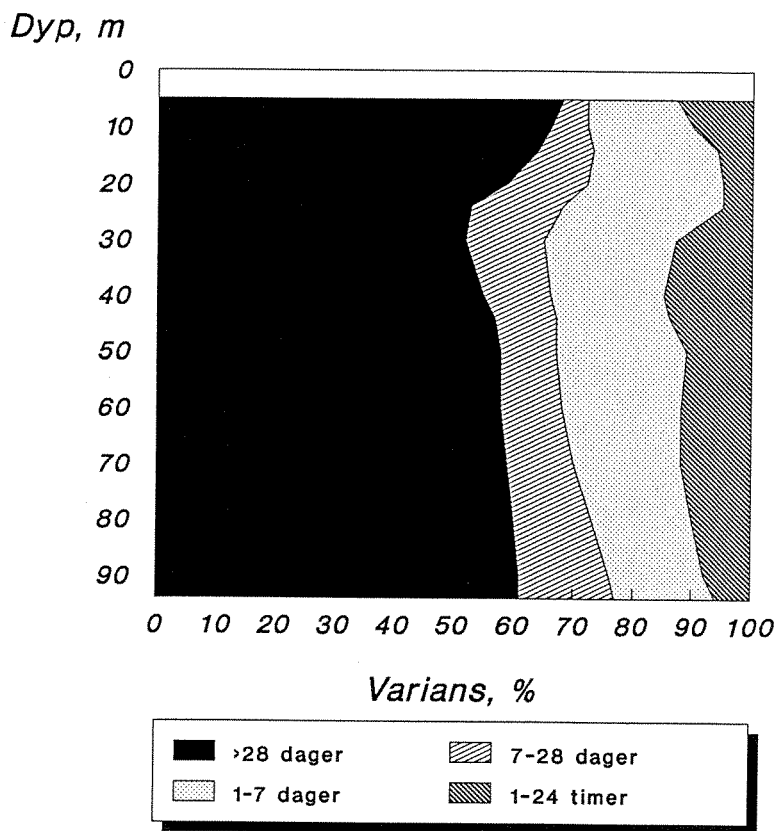


Fig. 3.4 Fordeling i dypet av tetthetens varians på ulike perioder ved Jomfruland.

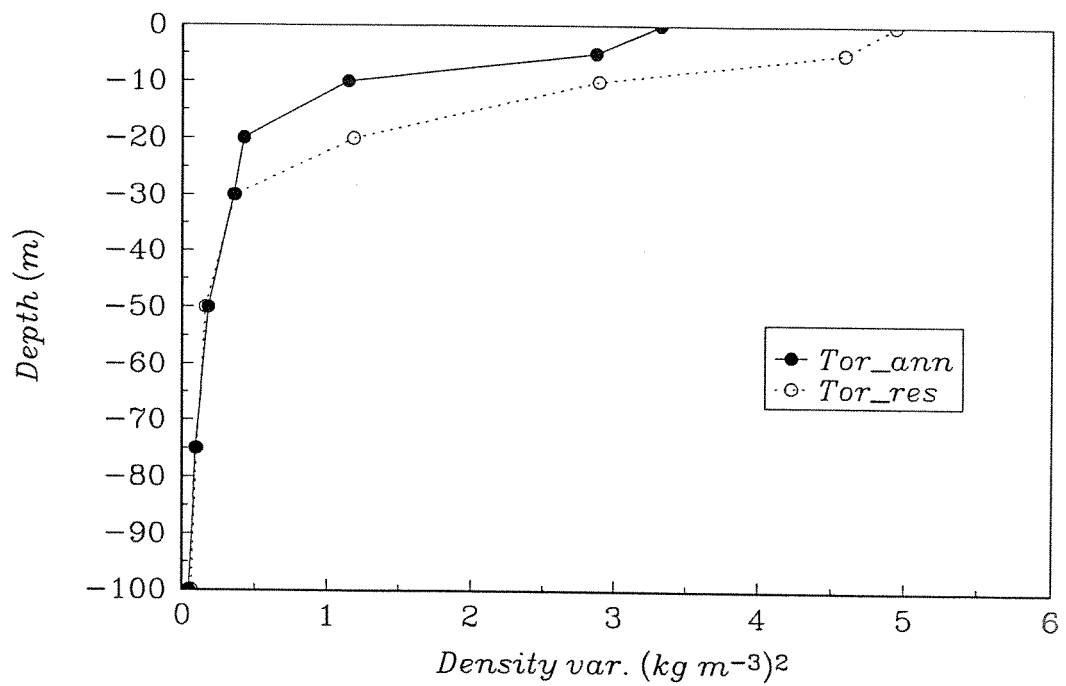


Fig. 3.5 Variansen for årsbølgen (Tor_ann) og øvrig varians (Tor_res) vs. dyp ved Torungen fra historiske hydrografiske målinger.

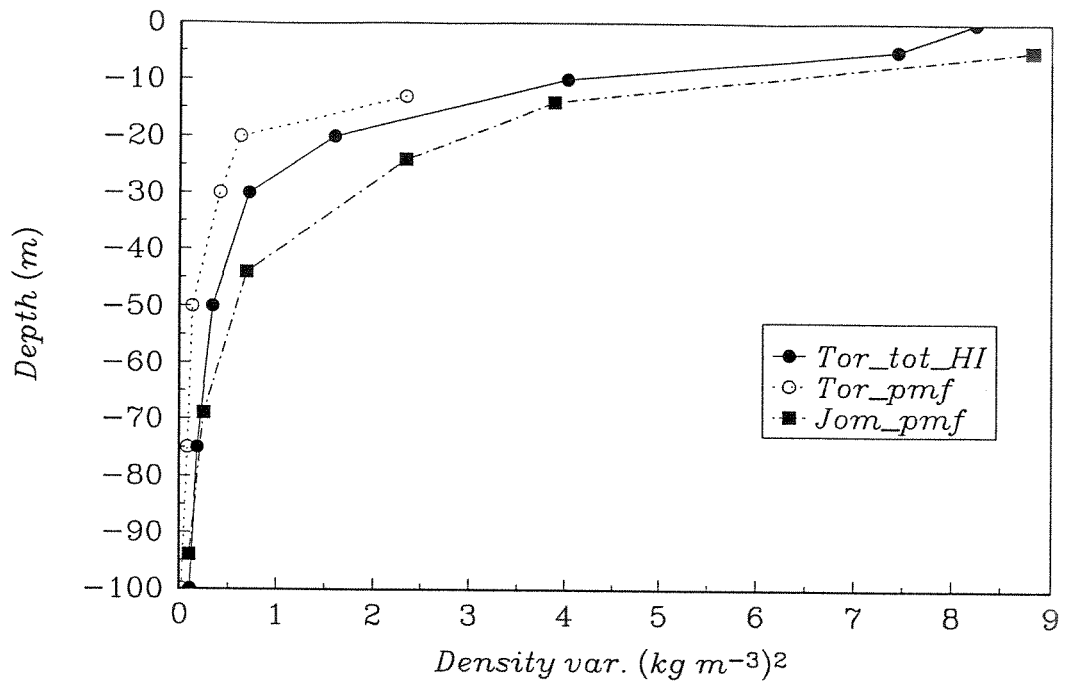


Fig. 3.6 Total varians vs dyp fra målingene i foreliggende prosjekt (Tor_pmf og Jom_pmf) samt fra historiske hydrografiske målinger (Tor_tot_HI).

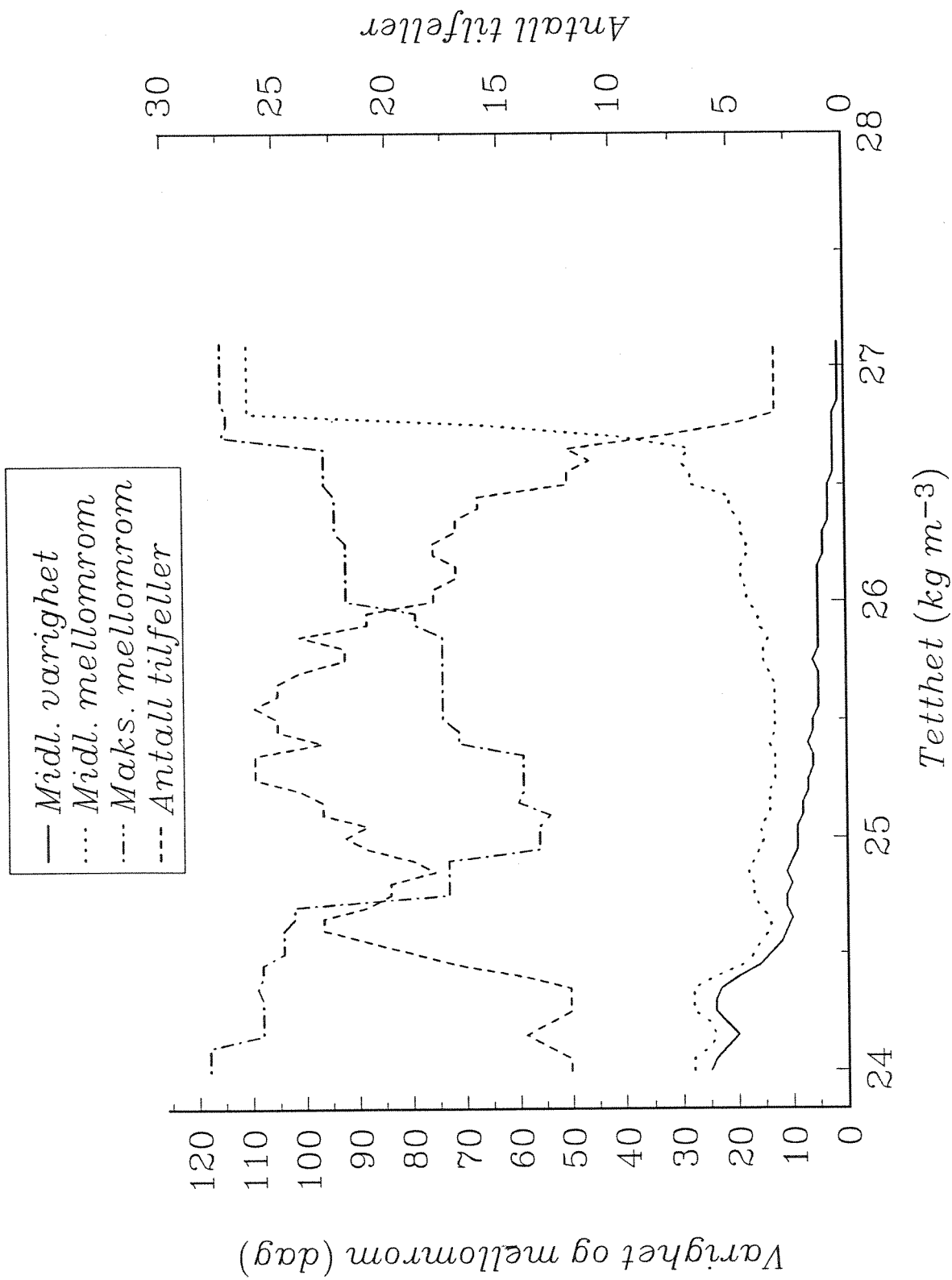


Fig. 3.7a Varighet for tilfeller med tetthet over en viss verdi i 13 m dyp, tidsmellomrom mellom tilfellene og antall tilfeller ved Torungen. I figuren er tettheten redusert med 1000 enheter slik at f.eks. tetthet 26.0 kg m^{-3} i fig. tilsvarer tettheten 1026 kg m^{-3} .

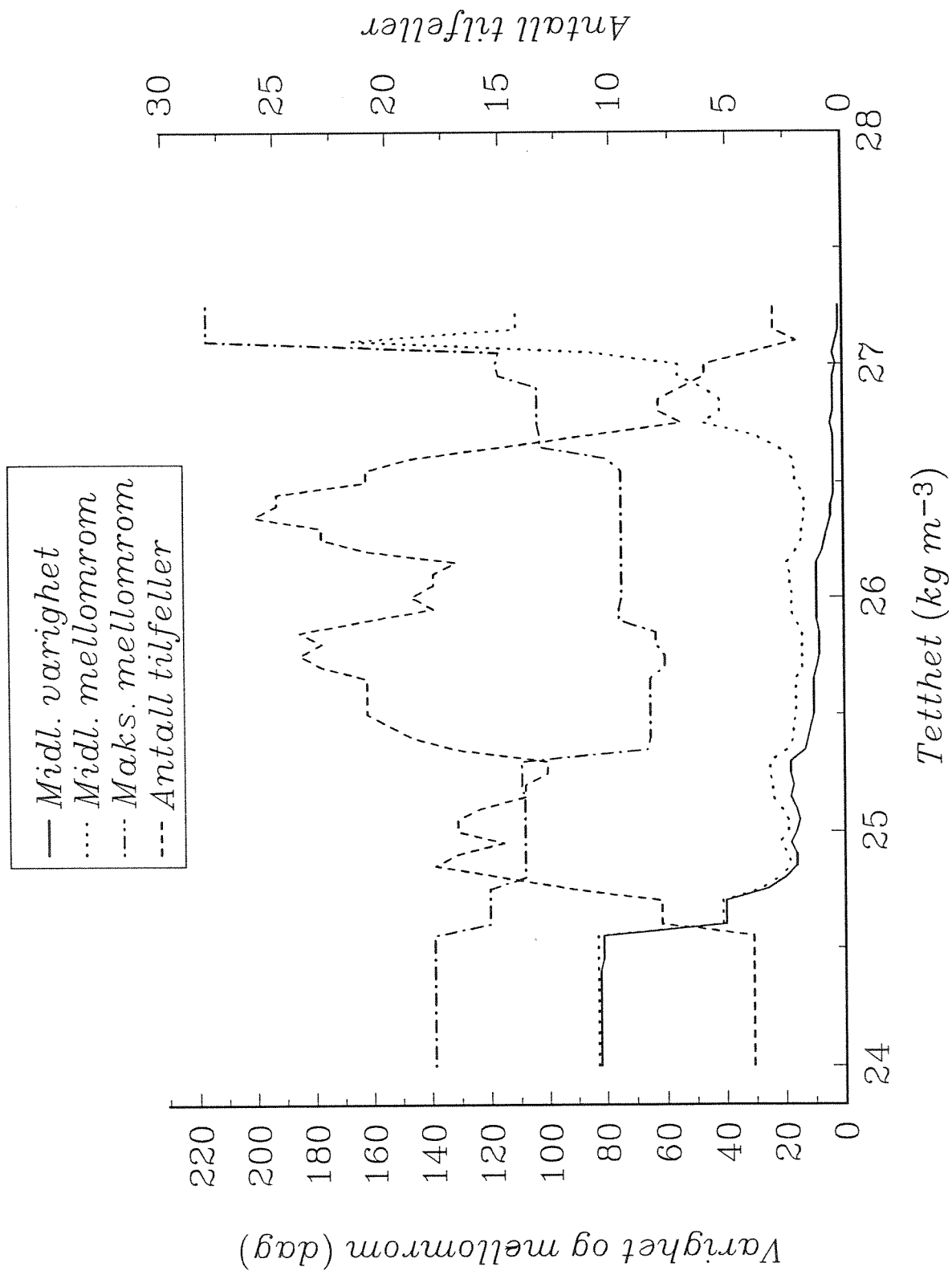


Fig. 3.7b. Varighet for tilfeller med tetthet over en viss verdi i 20 m dyp, tidsmellomrom mellom tilfellene og antall tilfeller ved Torungen. I figuren er tettheten redusert med 1000 enheter slik at f.eks. tetthet 26.0 kg m⁻³ i fig. tilsvarer tettheten 1026 kg m⁻³.

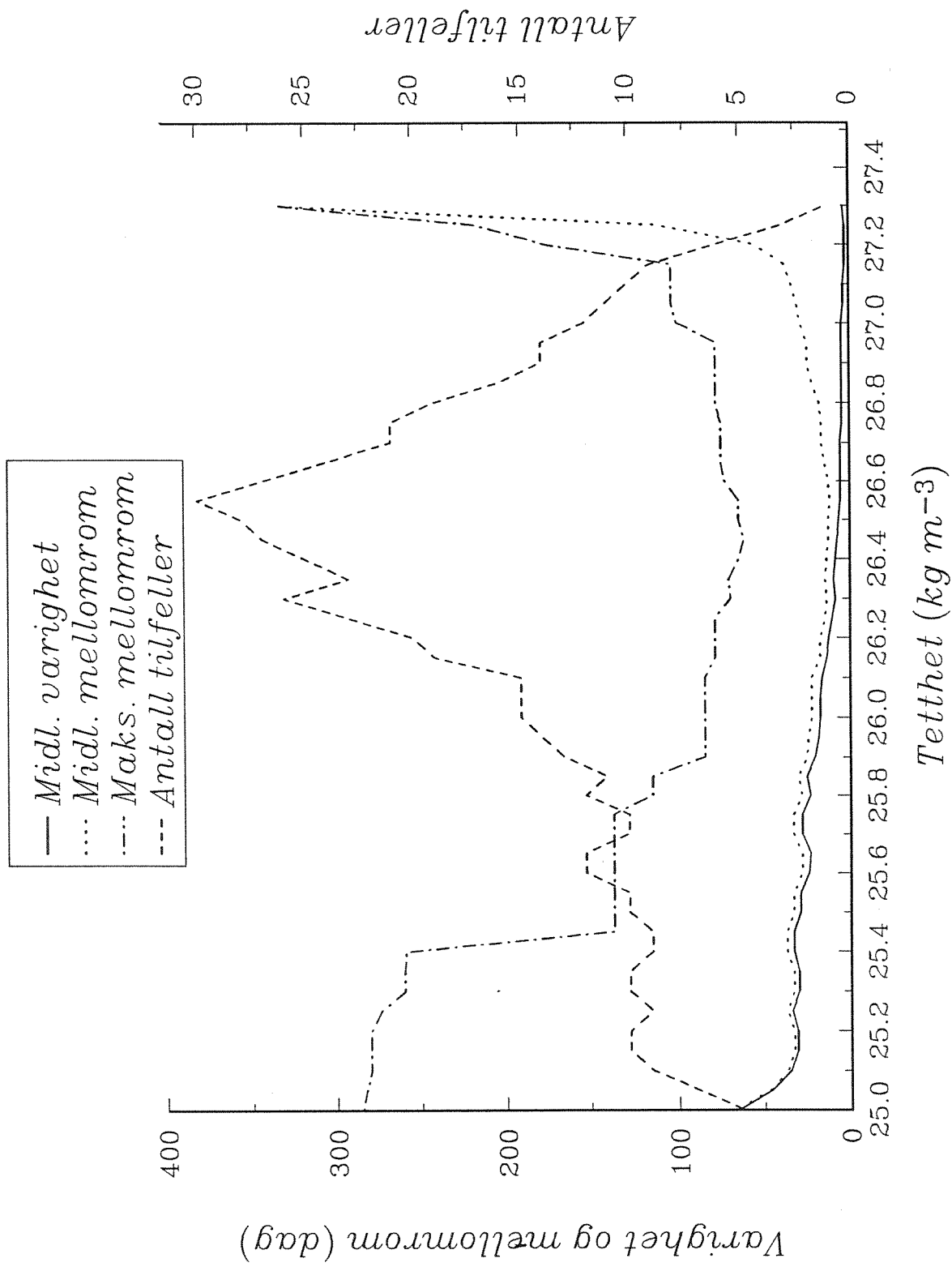


Fig. 3.7c. Varighet for tilfeller med tetthet over en viss verdi i 30 m dyp, tidsmellomrom mellom tilfellene og antall tilfeller ved Torungen. I figuren er tettheten redusert med 1000 enheter slik at f.eks. tetthet $26.0\ kg\ m^{-3}$ i fig. tilsvarer tettheten $1026\ kg\ m^{-3}$.

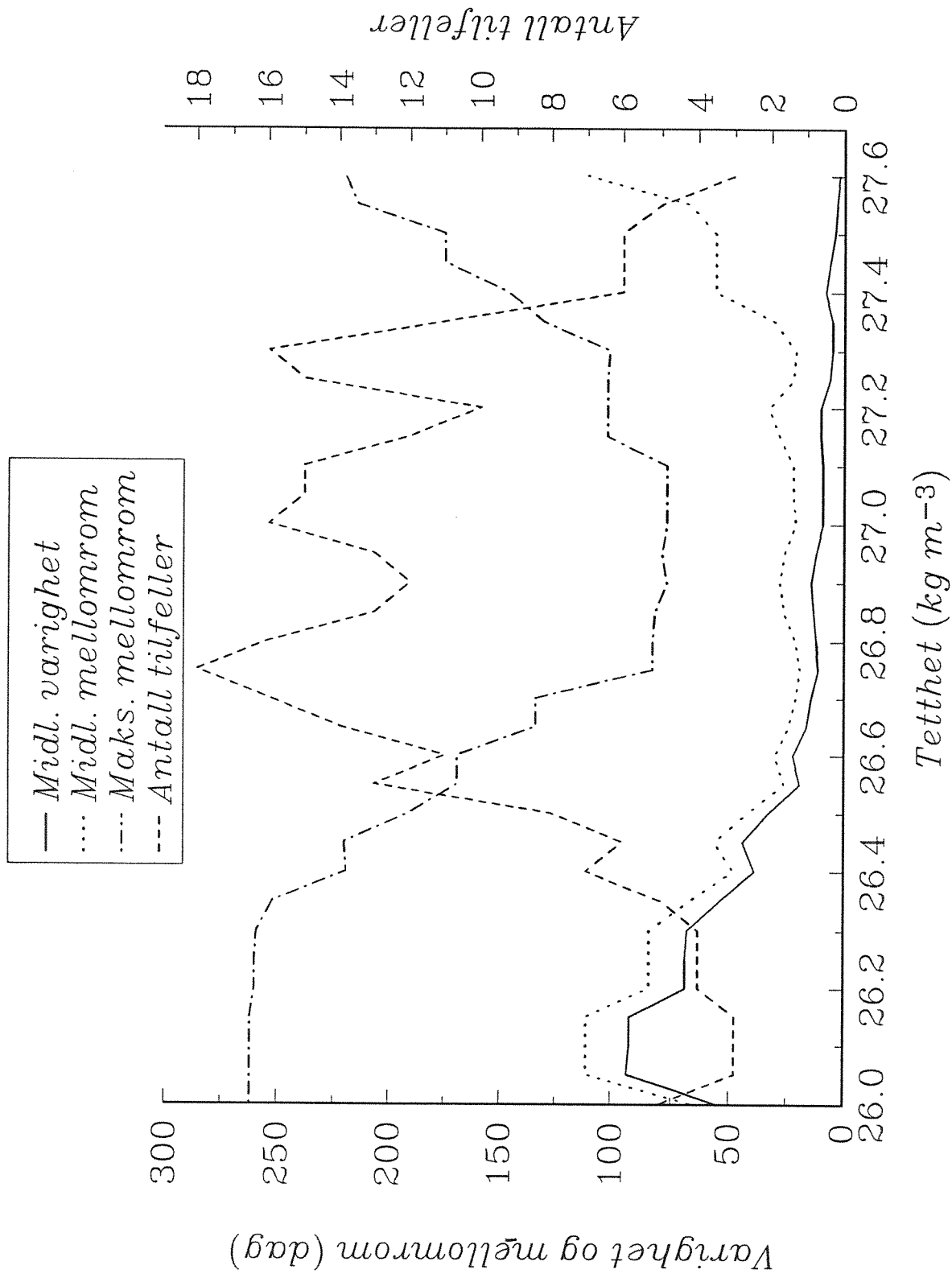


Fig. 3.7d. Varighet for tilfeller med tetthet over en viss verdi i 50 m dyp, tidsmellomrom mellom tilfellene og antall tilfeller ved Torungen. I figuren er tettheten redusert med 1000 enheter slik at f.eks. tetthet 26.0 kg m^{-3} i fig. tilsvarer tettheten 1026 kg m^{-3} .

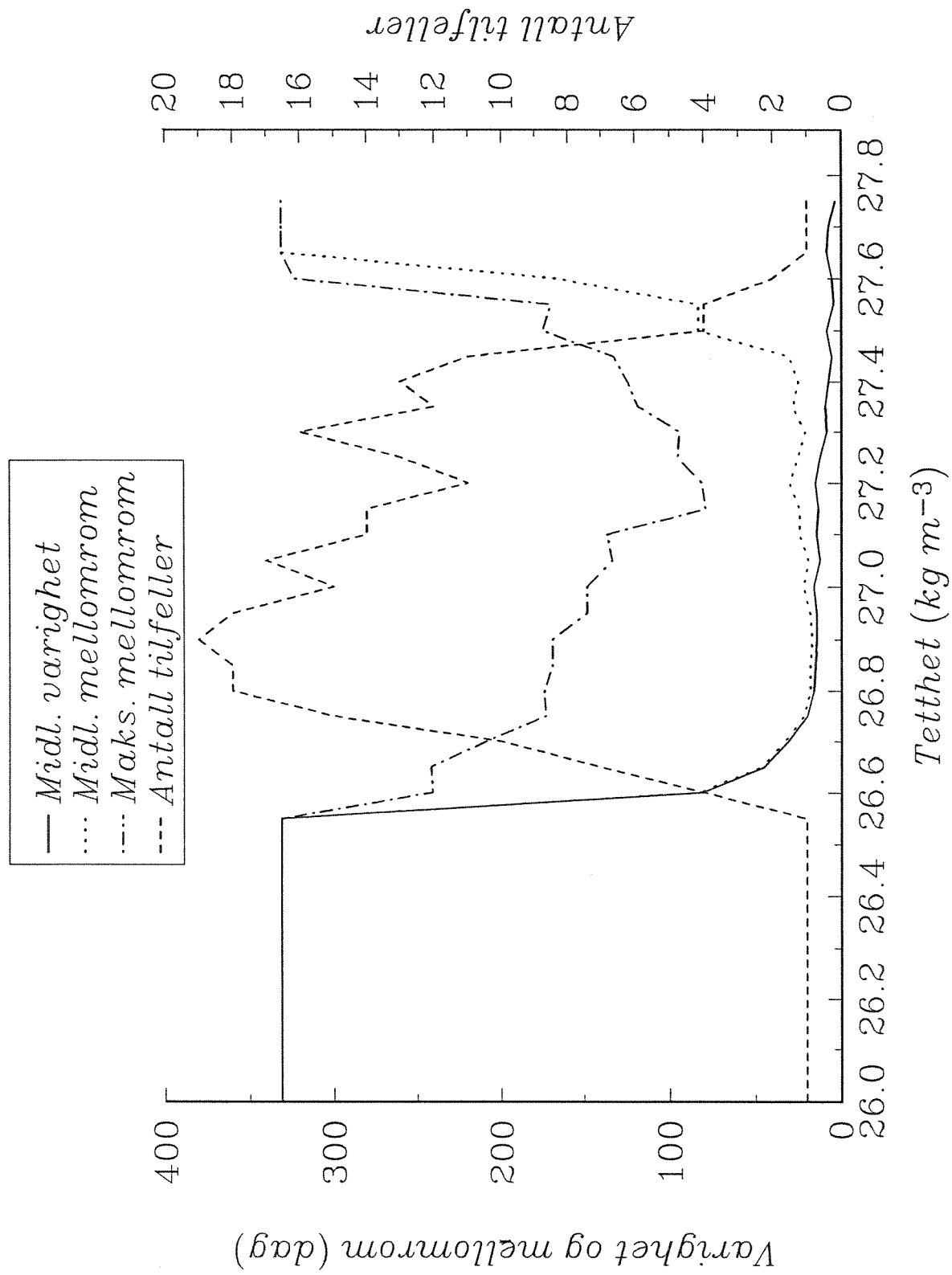


Fig. 3.7e. Varighet for tilfeller med tetthet over en viss verdi i 75 m dyp, tidsmellomrom mellom tilfellene og antall tilfeller ved Torungen. I figuren er tettheten redusert med 1000 enheter slik at f.eks. tetthet 26.0 kg m^{-3} i fig. tilsvarer tettheten 1026 kg m^{-3} .



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2731-8