



Statlig program for  
forurensningsovervåking

# Rapport 757/99

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

Utførende institusjon

NIVA

## Grenlandsfjordene

En vurdering av kystvannets innflytelse på overflatelaget



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Serlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

<b>Titel</b> <b>Grenlandsfjordene</b> En vurdering av kystvannets innflytelse på overflatelaget  Overvåkingsrapport nr. 757-99. TA 1627-99.	Løpnr. (for bestilling) 3961-98	Dato 15.4 1999
	Prosjektnr. Undernr. 800312 3	Sider Pris 16
<b>Forfatter(e)</b> Anders Stigebrandt, Ancylus	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Telemark	Trykket NIVA

<b>Oppdragsgiver(e)</b> Statens forurensningstilsyn, Oslo.	<b>Oppdragsreferanse</b>
---	--------------------------

<b>Sammendrag</b> For å beskrive i hvilken grad overflatelaget i Grenlandsfjordene står i forbindelse med vannmassen i Langesundsbukta, er det laget en oversikt over andelen kystvann i overflatelaget (brakkvannslag +sprangsjikt) i de enkelte fjordavsnittene basert på alle tilgjengelige målinger av vertikale saltholdighetsprofiler. I en gjennomsnittssituasjon består overflatelaget i Frierfjorden av ca. 1/3 kystvann og ca. 2/3 lokalt ferskvann, mens i Langesundsfjorden og Eidangerfjorden er det 3/4 kystvann og 1/4 ferskvann. Ornefjorden og Håøyfjorden er lite påvirket av lokalt tilført ferskvann og overflatelaget består av mer enn 9/10 av kystvann. En karakteristisk variasjon av kystvannsinhold i overflatelaget i løpet av året (måned/årstider) er også beskrevet i rapporten.
---

<b>Fire norske emneord</b> 1. Grenlandsfjordene 2. Hydrofysikk 3. Overflatelag 4. Kystvann	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Grenland fjords 2. Hydrophysics 3. Surface layer 4. Coastal water
--	---

  
 Prosjektleder

ISBN 82-577-3555-8

  
 Forskningssjef

8003123

**Grenlandsfjordene**

En vurdering av kystvannets innflytelse på  
overflatelaget

## Forord

*I Grenlandsfjordene finner man flere ulike vannmasser, fra et overflatelag med en stor del ferskvann til nærmest rent sjøvann i fjordenes bassengvann. Over tersklene står vannmassene i fjordområdet i åpen forbindelse med kystvannet. Den foreliggende rapporten beskriver hvordan kystvannet påvirker sammensetningen av overflatelaget i fjordområdet, og er utarbeidet av Anders Stigebrandt, Ancylus, Gøteborg. Den samme forfatteren har tidligere utarbeidet flere rapporter om vannmasser og vannkvalitet i Grenlandsfjordene.*

*Jarle Molvær  
(prosjektleder)*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Problemstilling	7
1.2 Formål	7
<b>2. Data</b>	<b>9</b>
<b>3. Metode</b>	<b>11</b>
<b>4. Resultat</b>	<b>12</b>
<b>5. Avsluttende kommentar</b>	<b>16</b>
<b>6. Litteratur</b>	<b>16</b>

---

## Sammendrag

For å beskrive i hvilken grad overflatelaget i Grenlandsfjordene står i forbindelse med Langesundsbukta, er det laget en oversikt over andelen kystvann i overflatelaget (brakkvannslag +sprangsjikt som er 8 m tykt) i de enkelte fjordavsnittene basert på alle tilgjengelige målinger av vertikale saltholdighetsprofiler. Med kystvann menes her kystvannet i Langesundsbukta som består av en blanding av sjøvann og en varierende andel ferskvann. I gjennomsnitt består overflatelaget i Frierfjorden av ca. 1/3 kystvann og ca. 2/3 lokalt tilført ferskvann, mens i Langesundsfjorden og Eidangerfjorden er det 3/4 kystvann og 1/4 ferskvann. Ornefjorden og Håøyfjorden er lite påvirket av lokalt tilført ferskvann og overflatelaget består av mer enn 9/10 av kystvann. En karakteristisk variasjon av innholdet av kystvann i fjordenes overflatelag i løpet av året (måned/årstider) er også beskrevet i rapporten.

## Summary

Title: The Grenland fjords. A study of coastal water influence on the fjord surface layer

Year: 1999

Author: Anders Stigebrandt

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3555-8

By means of vertical salinity profiles the amount of coastal water in the fjord surface layer (here brackish layer+halocline down to 8 m depth) has been calculated for various areas of the Grenland fjords. As an average the surface layer in the Frierfjord consists of approximately 1/3 of coastal water and 2/3 of fresh water, while in the Langesundsfjord and the Eidangerfjord the surface layer is characterised by 75% of coastal water and 25% of fresh water. In the Ormefjord and the Håøyfjord the surface layer consists of more than 90% coastal water. The report also describes a characteristic monthly variation of the coastal water content in the surface layer.

# 1. Innledning

## 1.1 Problemstilling

Overflatelaget i fjorder er en blanding av kystvann og lokalt tilført ferskvann. Slike blandinger kalles for brakkvann. I Grenlandsfjordene har dette brakkvannslaget lavest saltholdighet og størst tykkelse i Frierfjorden hvor Skienselva har sitt utløp (Figur 1). Figur 2 viser en vertikal saltholdighetsprofil fra Frierfjorden. Brakkvannslaget er oftest ca. 4 m tykt, men inkluderes sprangsjiktet med sitt ferskvann er man nede på ca. 8 m før en finner "rent" kystvann fra Langesundsbukta. Dette laget (brakkvannslag+sprangsjikt) vil vi heretter kalle overflatelaget. Brakkvannslagets tykkelse avtar og saltholdigheten øker med avstanden fra Frierfjorden (Molvær & Stigebrandt, 1991). Således øker kystvannets innflytelse utover i Grenlandsfjordene på bekostning av ferskvannets innflytelse.

Brakkvannslagets utseende, som den blir oppfattet av en betrakter, er hovedsakelig bestemt ved vannets farge og partikkelinnhold. Skienselva og andre mindre vassdrag tilfører fjordområdet store mengder partikler og periodevis humus. I tillegg kommer utslipp av farvet materiale, plantenæring og partikulært materiale fra industrielt og kommunalt avløpsvann samt avrenning fra landarealer som både kan gi farge og grumsing. For et gitt område kan en forvente at ved en økende andel kystvann vil vannkvaliteten i økende grad også harmonere med vannkvaliteten i kystvannet. Ut fra slike betraktninger er det av interesse å få tall på hvor stor andel av overflatevannet i et fjordområde som utgjøres av kystvann.

'Kystvannsinholdet' i et 8 meter tykt overflatelag blir i denne rapporten brukt som et mål på innflytelsen av kystvann i overflatelaget i Grenlandsfjordene. Jo høyere kystvannsinhold jo større innflytelse av vann fra Langesundsbukta. Dypet 8 m er valgt fordi en normalt bare finner lokalt tilført ferskvann over dette dypet. Dessuten er siktedypet, som bestemmer tykkelsen på det lag som gir det visuelle inntrykket av vannets kvalitet, i regel grunnere enn 8 m i fjordsystemet.

Andelen kystvann i et 8 meter tykt overflatelag vil variere både over tid og mellom fjordområder. Dessuten varierer andelen i vertikalen med lavest andel nærmest overflaten (Fig. 2). I kap. 3 vises hvordan midlere andel kystvann i overflatelaget blir beregnet. Beregningen av midlere innhold i ulike deler av fjordområdet både over året og ved ulike årstider blir presentert i kapittel 4.

## 1.2 Formål

*Denne utredningen skal beskrive andelen av kystvann som til vanlig blandes inn i overflatelaget i Grenlandsfjordene.*



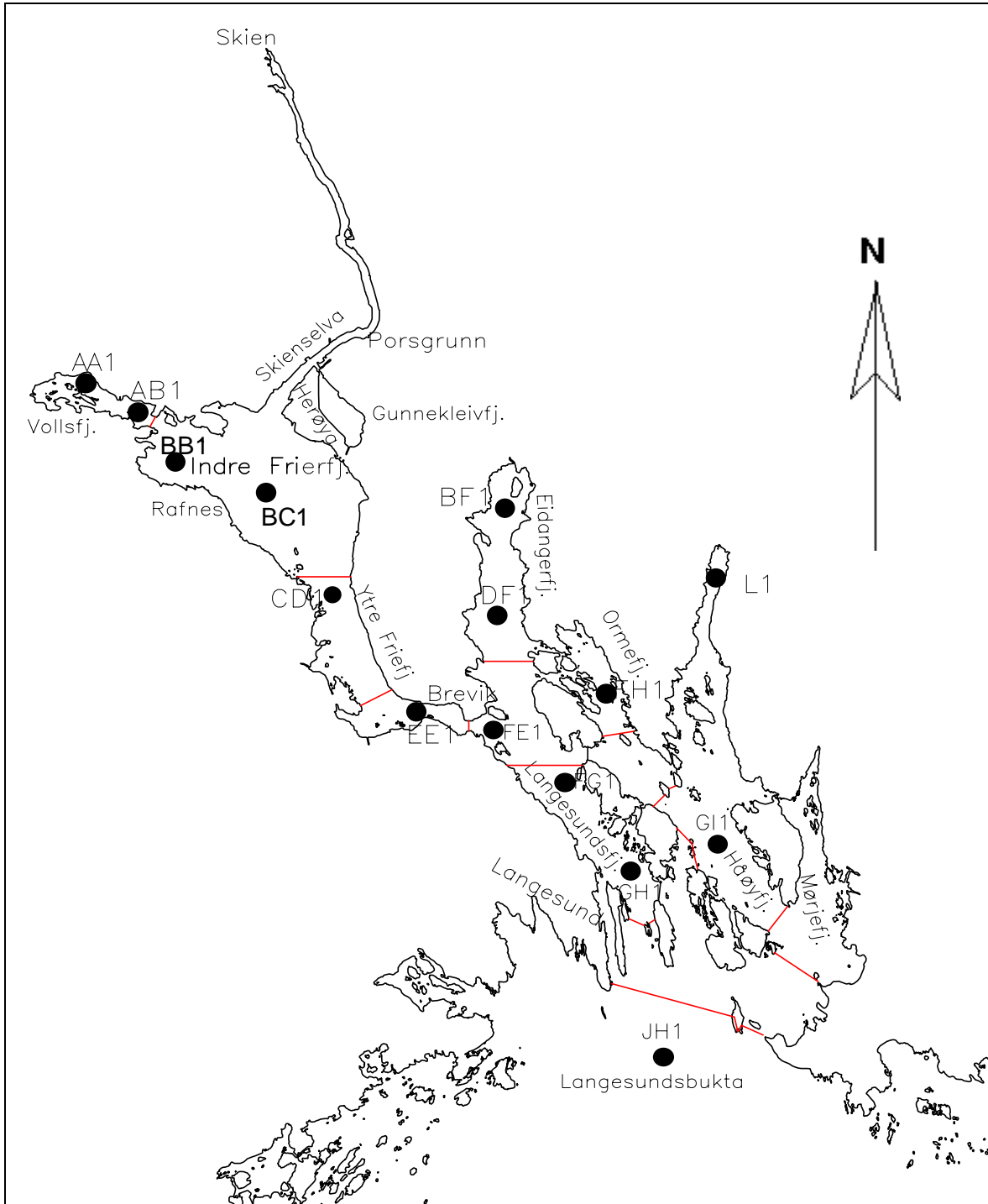


Fig. 1. Oversiktskart over Grenlandsfjordene med inndeling i områder (8) og de viktigste stasjonene for innsamling av vannprøver. Distansen fra Skienelvas munningsområde til Langesundbukta er ca. 23 km.

## 2. Data

Målingene som er brukt i denne rapporten er hentet fra NIVAs database. Grenlandsfjordene er inndelt i 8 områder (Figur 1) og Tabell 1 gir stasjonsbetegnelser for hvert fjordområde. En vertikalprofil av saltholdighet er akseptabel hvis følgende tre krav er oppfylt: det må foreligge målinger fra minst 3 forskjellige dyp i intervallet 0 - 8 m, øverste måling må være tatt i intervallet 0 - 2 m og det må foreligge en måling fra 8 m dyp eller dypere. Antall vertikale profil som oppfyller disse kravene i hvert fjordområde er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Inndeling i fjordområder, stasjonsbetegnelser i NIVAs database og antall akseptable vertikale profil. Fjordområdene og posisjonen for de viktigste stasjonene er vist i Figur 1.

Område	Stasjonsbetegnelser	Antall akseptable profil
Vollsfjorden	AA1 AA2 AB1 AB2	52
Indre Frierfjorden	BB1 BC1 BC2 BD1 DD1	182
Ytre Frierfjorden	CD1	23
Brevikstrømmen	EE1	31
Eidangerfjorden	BF1 DF1	38
Langesundsfjorden	FE1 FG1 GF1 GH1	122
Ornefjorden	FH1	33
Håøyfjorden	GI1 L1	40
Langesundsbukta	JH1	58

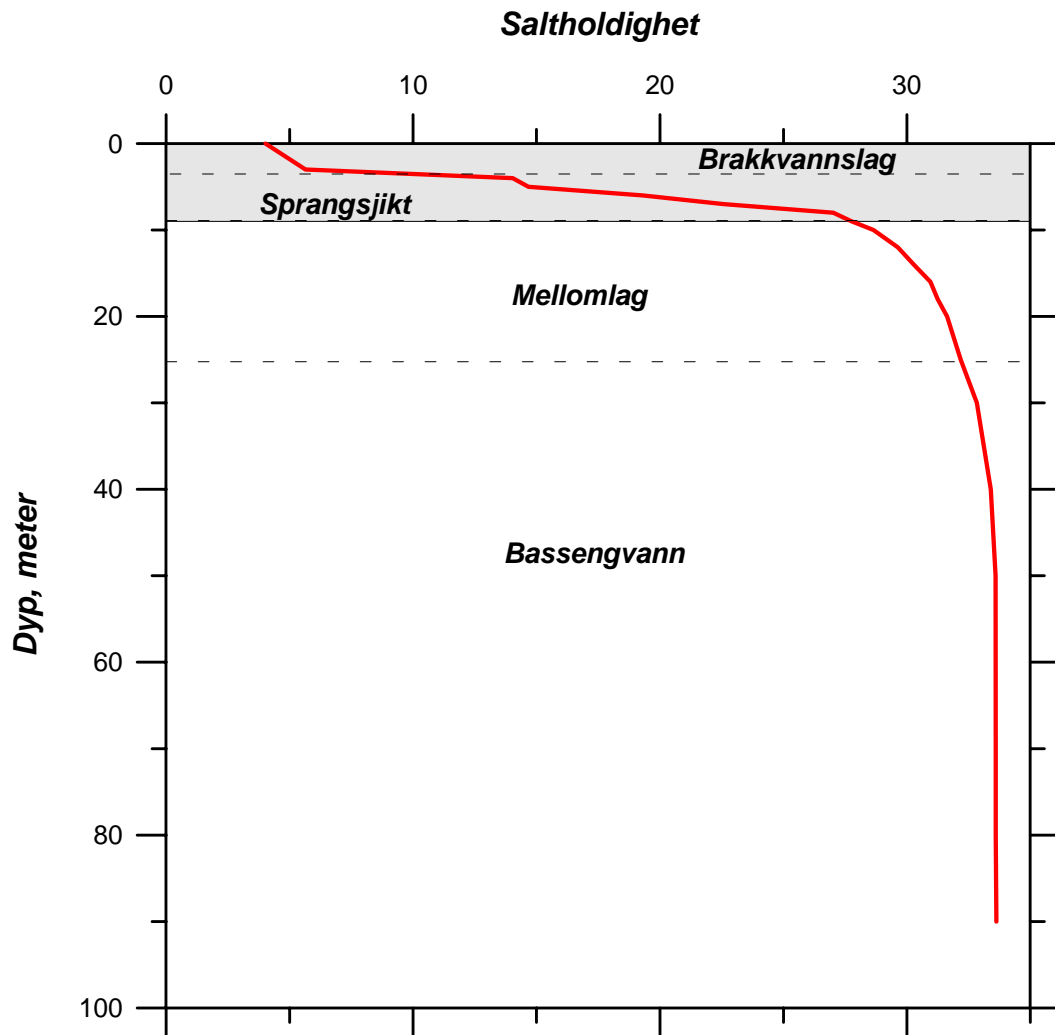


Fig. 2. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser. Beregningene av kystvannsandelen omfatter både brakkvannslaget og sprangsjiktet (i rapporten kalt overflatelaget og i figuren vist med gråtone).

### 3. Metode

Overflatelaget i et fjordområde består i varierende grad av kystvann og ferskvann. Andelen ferskvann betegnes F og andelen kystvann H slik at

$$F + H = 1 \quad (\text{lign. 1})$$

F og H er således komplementære størrelser. I en homogen vannpakke med saltholdighet S er andelen ferskvann gitt av  $F=(S_r-S)/S_r$  mens andelen kystvann er  $H=S/S_r$ . Her er  $S_r$  kystvannets saltholdighet (referanseverdi). I et lag med bestemt tykkelse D kan saltholdigheten S, og dermed andelen kystvann, variere med dyptet z slik at  $S=S(z)$ . Midlere andel ferskvann F og kystvann H i en vertikal vannsøyle kan en bestemme ved å integrere over søylen på følgende måte

$$F = \frac{1}{D} \int_0^D \frac{S_r - S(z)}{S_r} dz \quad (\text{lign. 2})$$

$$H = \frac{1}{D} \int_0^D \frac{S(z)}{S_r} dz \quad (\text{lign. 3})$$

Hvis en multipliserer F og H med tykkelsen av laget (D) får en henholdsvis ferskvannshøyden (FD) og kystvannshøyden (HD). Ved hjelp av Lign. (1) ser en at ferskvannshøyde pluss kystvannshøyde er lik høyden D av vannsøylen.

Ferskvann har lavere tetthet enn kystvann og derfor vil ferskvann inngå i et overflatelag. Vannet i dette laget er i regel ikke helt ferskt (brakkvann) siden ferskvannet blandes med kystvann, både ved utløpet til fjorden (i elvemunningen) og senere gjennom vinddrevet omblending. Saltholdigheten i brakkvannslaget kan være svært lav. I Grenlandsfjordene gjelder dette særlig for Frierfjorden hvor saltholdigheten oftest er i intervallet 4-6. Tykkelsen av brakkvannslaget i en fjord vil variere bl.a. med hvor mye ferskvann som renner ut i fjorden, med fjordmunningens topografi (bredde og terskeldyp) og med størrelsen av blandingen slik at selv med like stor ferskvannstilførsel vil brakkvannslagets tykkelse i to fjorder i regel være forskjellig. Saltholdigheten i brakkvannslaget øker utover i fjordsystemet som følge av økende innblanding av sjøvann.

Det virkelige kystvannet i Langesundsbukta er imidlertid ikke vertikal homogent med saltholdigheten  $S_r$  men lagdelt slik at saltholdigheten avtar oppover i vannet. Kystvannet i Langesundsbukta består av en blanding av sjøvann og ferskvann som i stor grad er tilført fra vassdragene rundt ytre Oslofjord, fra den svenske vestkysten og Østersjøen samt tilført fra de store elvene som munner ut i den sørlige delen av Nordsjøen (Rhinen, Elbe mfl.) via Jyllandstrømmen.

## 4. Resultat

Kystvannet blir i beregningene definert av lokal referansesaltholdighet  $S_r$  under 8 m dyp. Midlere andel kystvann ble først beregnet for hver måned for de enkelte avsnittene av Grenlandsfjordene og for Langesundsbukta. Tabell 2 viser årsmiddel av H og  $S_r$  for de ulike fjordavsnittene.

Kystvannsinholdet i Langesundsbuktas overflatelag  $H=H_{LB}$  er ca 0.77, som bekrefter at vannet her ikke bare inneholder vann med saltholdigheten  $S_r$  uten også en relativt stor andel ferskvann fra Skienselva, vassdragene som lenger øst munner ut i Ytre Oslofjord og fra Østersjøen. Som følge av dette vil selv den øverste vannsøylen ofte være lagdelt i Langesundsbukta. For å beregne den virkelige andelen av vann fra Langesundsbukta har man derfor normalisert (dividert) tallene for idealisert kystvannsinhold H i de enkelte fjordavsnittene med idealisert kystvannsinhold ( $H_{LB}$ ) i Langesundsbukta. Resultatene er vist i høyre kolonne i Tabell 2. Forholdet  $H/H_{LB}$  bør gi et bedre mål på det virkelige innholdet av kystvann i overflatelaget, slik at  $H/H_{LB}$  i fortsettelsen kalles kystvanninnholdet og H for idealisert kystvannsinhold.

Fjordsystemet viser tre distinkte klasser av kystvannsinntilførsel. I Frierfjorden til og med Brevik består overflatelaget i gjennomsnitt av ca. 1/3 av kystvann og 2/3 av ferskvann og kan derfor i høy grad forventes å være preget av ferskvannets optiske egenskaper. I Eidangerfjorden og Langesundsfjorden består overflatelaget i gjennomsnitt av ca. 3/4 av kystvann og 1/4 av ferskvann og vil derfor være mer preget av kystvannets enn av ferskvannets egenskaper. Overflatelaget i både Ormefjorden og Håøyfjorden er nesten helt preget av kystvann (mer enn 9/10) med marginal innblanding av lokalt tilført ferskvann og bør derfor ha optiske egenskaper som ligger tett opp til egenskapene i Langesundsbukta.

Vi påpeker imidlertid at for brakkvannslaget alene (jfr. Figur 2) vil andelen av kystvann være noe mindre.

Tabell 2. Gjennomsnittsverdier av referansesaltholdighet  $S_r$ , innhold av idealisert kystvann (H) og innhold av virkelig kystvann ( $H/H_{LB}$ ) i de forskjellige fjordavsnittene i Grenlandsfjordene og i Langesundsbukta.

Område	$S_r$	H	$H/H_{LB}$
Vollsfjorden	26.07	0.27	0.35
Indre Frierfjorden	27.44	0.29	0.38
Ytre Frierfjorden	27.40	0.29	0.37
Breviksfjorden	28.20	0.27	0.34
Eidangerfjorden	28.00	0.59	0.76
Langesundsfjorden	28.17	0.59	0.77
Ormefjorden	27.52	0.74	0.96
Håøyfjorden	27.41	0.75	0.97
Langesundsbukta	27.76	0.77	1.00

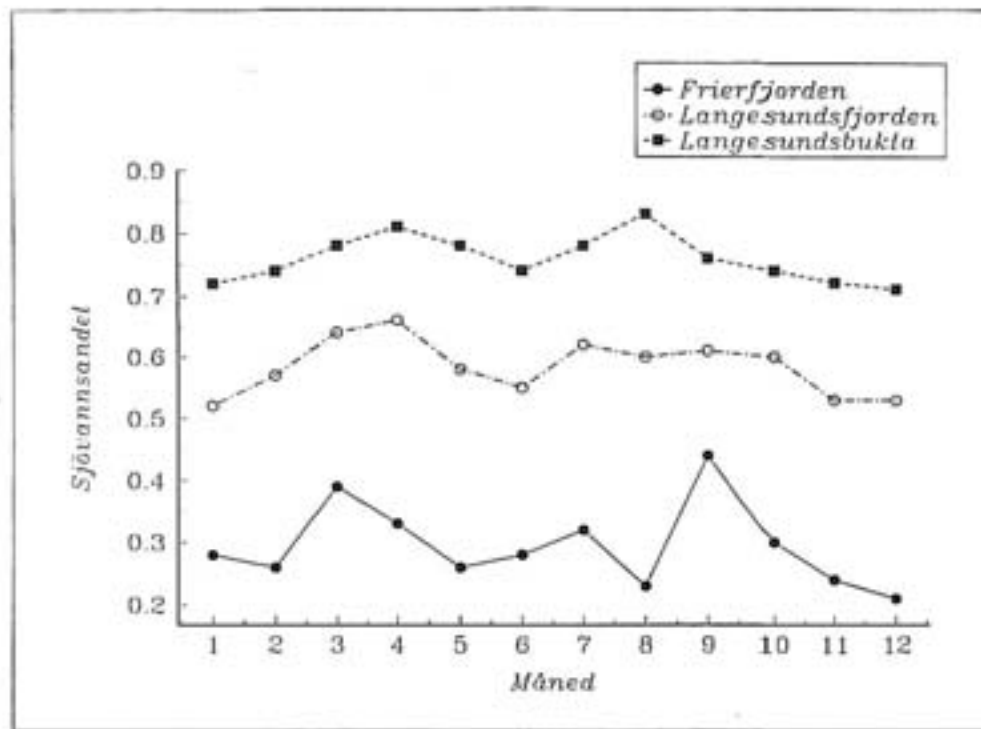
Datamaterialet tillater kun en studie av variasjonen over året for Frierfjorden, Langesundsfjorden og muligens for Langesundsbukta. For januar savnes samtidige målinger i Langesundsbukta, derfor ble januarverdier av  $H$  (0.72) og  $S_r$  (30.7) interpolert fra verdiene for desember og februar.

Kystvannsinholdet viser maksimum under tidlig vår (mars-april) og sen sommer (august-september) og minimum under vinter (november-februar) og sen vår (mai-juni) med størst amplitude i Frierfjorden (Fig. 3). Referansesaltholdigheten viser god samvariasjon i de tre områdene med maksimum under vinter (februar-mars) og et utstrakt minimum under vår og sommer (Fig. 4). Nivået i Frierfjorden er litt lavere enn i Langesundsfjorden og Langesundsbukta.

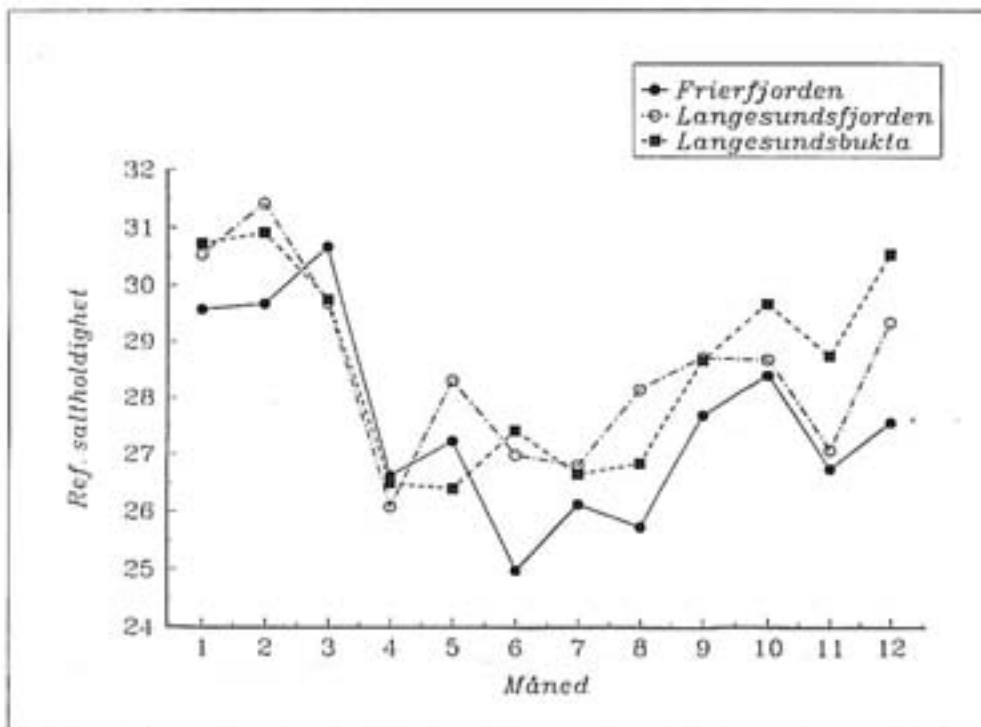
For øvrige fjordområder får en være fornøyd med en oppdeling på årstider (kvartal). Innhold av kystvann i overflatelaget gis kvartalsvis i Tabell 3, og er illustrert på kart over Grenlandsfjordene for perioden april - juni (Figur 5). I Ormefjorden og Håøyfjorden fås i kvartal 1 og kvartal 4 innhold over 1. Årsaken til dette er et spinkelt dataunderlag for disse kvartalene og dermed et fåtall vertikale profil i disse områdene (se Tabell 3).

Tabell 3. Innhold av kystvann ( $H/H_{LB}$ ) antall profil (innen parenteser) for kvartal 1-4 i de ulike avsnittene av Grenlandsfjordene og i Langesundsbukta.

Område	1. kvartal	2. kvartal	3. kvartal	4. kvartal
Vollsfjorden	0.59 (3)	0.28 (19)	0.38 (19)	0.39 (11)
Indre Frierfjorden	0.44 (40)	0.36 (54)	0.41 (45)	0.34 (43)
Ytre Frierfjorden	0.38 (5)	0.32 (8)	0.57 (5)	0.24 (5)
Breviksfjorden	0.35 (7)	0.28 (9)	0.47 (8)	0.28 (7)
Eidangerfjorden	0.79 (7)	0.74 (12)	0.73 (11)	0.85 (8)
Langesundsfjorden	0.79 (26)	0.76 (39)	0.78 (35)	0.76 (22)
Ormefjorden	1.06 (4)	0.93 (14)	0.94 (13)	1.01 (2)
Håøyfjorden	1.04 (5)	0.96 (16)	0.92 (17)	1.11 (2)
Langesundsbukta	1.00 (8)	1.00 (23)	1.00 (20)	1.00 (7)



Figur 3. Variasjon under året av sjøvannandel H i Frierfjorden, Langesundsfjorden og Langesundsbukta basert på månedsmiddelverdier.



Figur 4. Variasjon under året av referansesaltholdigheten  $S_r$  på 8 m dyp i Frierfjorden, Langesundsfjorden og Langesundsbukta basert på månedsmiddelverdier.

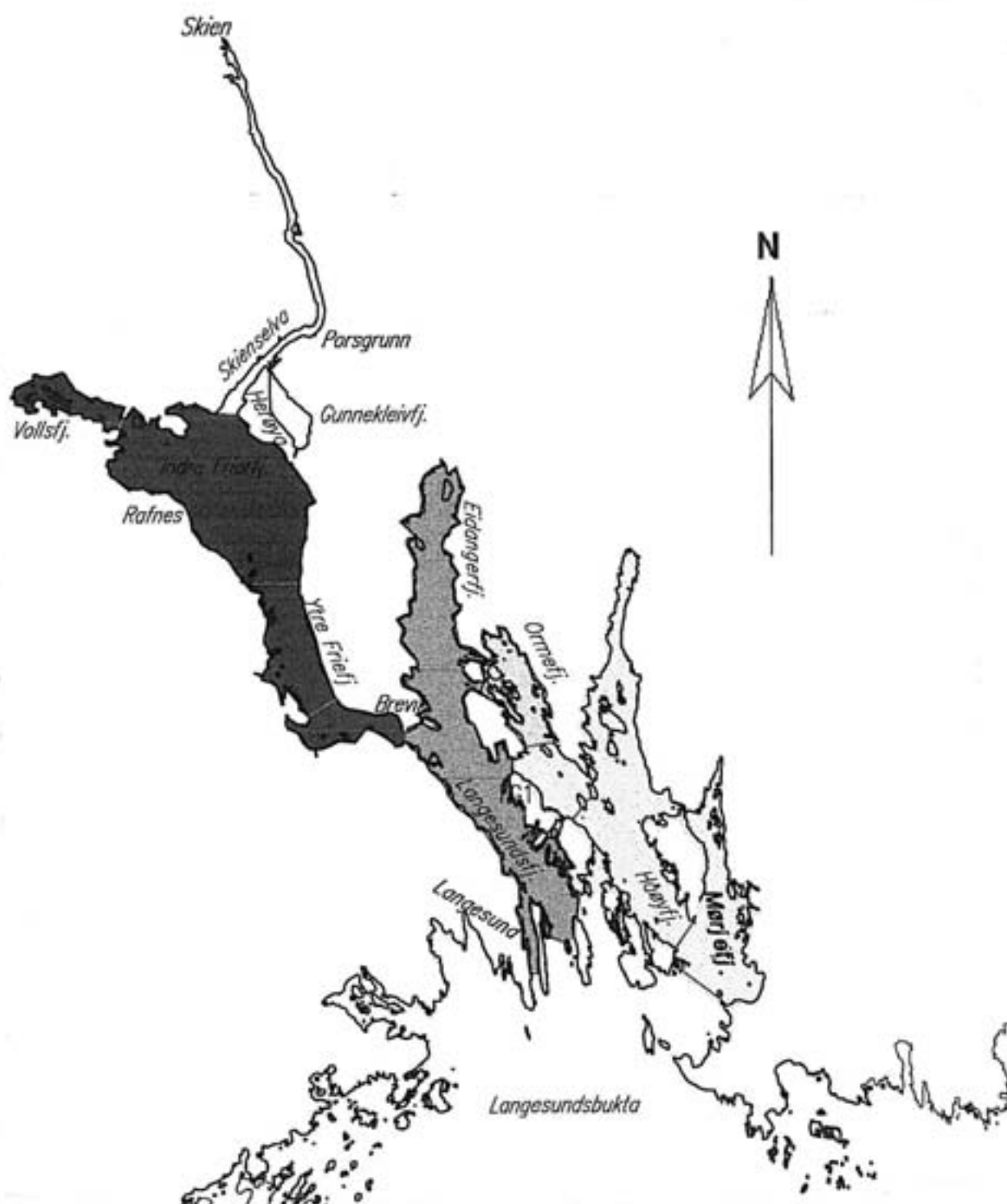


Fig. 5 Normalisert midlere andel av kystvann i Grenlandsfjordenes overflatelag i kvartal 2 (april-juni), etter Tabell 3. Mørkest skravur viser en andel på 30-35%, deretter ca. 75% og den lyseste skravuren viser en andel på 90-95%.



## 5. Avsluttende kommentar

Resultatene ovenfor viser at innholdet av kystvann fra Langesundsbukta i overflatelaget som forventet avtar innover i fjordsystemet med ca 3/4 kystvann i Langesundsfjorden og Eidangerfjorden og ca 1/3 kystvann fra Brevik og innover i Frierfjorden. Håøyfjorden og Ormefjorden, med en kystvannandel større enn 9/10, er åpenbart lite påvirket av Skienselva. For selve brakkvannslaget (dvs. uten at kystvannsinholdet i sprangsjiktet er tatt i betraktning) vil innholdet av vann fra Langesundsbukta være noe lavere. Den lokale referansesaltholdigheten er omtrent den samme i alle fjordavsnitt og i Langesundsbukta.

I modellen for Langesundsfjorden og Eidangerfjorden (Stigebrandt & Molvær, 1991) ble det antatt at det er god vannutveksling mellom disse fjordene og dermed små horisontale gradienter på grunn av meget brei åpning mellom de to fjordområdene. Den foreliggende undersøkelsen bekrefter at kystvannsinholdet i overflatelagene i de to fjordområdene er omtrent lik.

## 6. Litteratur

Molvær, J. & Stigebrandt, A., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-1989. Delrapport 3: Vannutskiftning i fjordene. NIVA-rapport No. 2588. Oslo.

Stigebrandt, A. & Molvær, J., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-1989. Delrapport 6: Modellberegninger av miljøeffekter i Langesundsfjorden-Eidangerfjorden. NIVA-rapport No. 2692. Oslo.