

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

O - 5/70

# KOLBOTNVATN

En limnologisk undersøkelse  
1967—1970

Saksbehandler: Cand.real. Hans Holtan

INNHALDSFORTEGNELSE:

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. GENERELL BESKRIVELSE	5
2.1 Prøvetakingssted og prøvetakingstider	7
2.2 Hydrografiske forhold	7
2.3 Hovedkomponentene kalsium, magnesium, natrium, kalium, hydrogenkarbonat, klorid og sulfat	15
2.4 Jern og mangan	17
2.5 Plantenæringsstoffer	24
2.6 Partikulært og organisk materiale	32
3. DISKUSJON AV DE HYDROGRAFISKE FORHOLD	37
4. GENERELT OM EUTROFIUTVIKLINGEN I EN INNSJØ, MED SPESIELT HENBLIKK PÅ KOLBOTNVATN	41
5. RESTAURERING AV KOLBOTNVATN	43

TABELLFORTEGNELSE:

	Side:
1. Morfometriske og hydrologiske data	5
2. Prøvetakingsdager og analysekomponenter	8
3. Hovedkomponenter, middelveidier	16

FIGURFORTEGNELSE:

	Side:
1. Kolbotnvatn, dybdekart	6
2. Isopletdiagram for temperatur	9
3. " " oksygen	9
4. Vannets oksygeninnhold under 1 cm <sup>2</sup> overfl. i relasjon til tiden. Vintrene 68/69 og 69/70	11
5. Vannets oksygeninnhold på de enkelte observasjonsdager, vinteren 69/70	12
6. Isopletdiagram for pH	14
7. " " elektrolytisk ledningsevne	14
8. Natrium. Frekvensdiagram	18
9. Kalium. "	19
10. Hydrogenkarbonat "	20
11. Klorider og sulfater	21
12. Isopletdiagram for jern	23
13. " " mangan	23
14. " " silisium	25
15. " " nitrater	26
16. " " ammonium	26
17. " " totalt fosfor	30
18. " " ortofosfater	30
19. Ufiltrert farge, turbiditet og siktedyp	33
20. Organisk stoff (dikromattall og kaliumpermanganattall)	34
21. Organisk karbon pr. 1 m <sup>2</sup> overflate fra 0 til 18 m	35
22. " " " " " " " 0 til 5 m	36

## 1. INNLEDNING

I brev av 14. september 1967 fra Oppegård kommune ble Norsk institutt for vannforskning anmodet om å vurdere årsakssammenhengen til den sterke algeoppblomstringen som hadde inntruffet i Kolbotnvatn samme høst, samt å utføre en løpende limnologisk kontroll av innsjøen.

I brev av 1. desember til Oppegård kommune ble det formelt bekreftet at instituttet ville påta seg oppgaven med en kontrollundersøkelse av Kolbotnvatn. Det ble her antydnet at det ville bli samlet inn prøver to ganger pr. år, nemlig i slutten av sommer- og vinterstagnasjonsperiodene. I samme brev ble det også gitt en kort vurdering av eutrofieringsforholdene i Kolbotnvatn.

Vinteren 1969 (mars-april) ble det observert fiskedød i Kolbotnvatn. I den sammenheng ble det foretatt noen befaringer med undersøkelser av oksygenforholdene i innsjøen. Rapport om denne tilleggsundersøkelse ble gitt i brev til Oppegård kommune den 26. juni samme år.

Fra høsten 1968 til våren 1970 ble det foretatt en relativt intens undersøkelse av forholdene i Kolbotnvatn. Dette ble gjort bl.a. for bedre å kunne skjønne utviklingsprosessene og utviklingstendensene i Kolbotnvatn. Det er samlet inn et forholdsvis stort fysisk-kjemisk observasjonsmateriale fra lokalitetene. Materialet er nå bearbeidet, og resultatene er fremstilt og behandlet i denne rapport.

Vinteren 1970 satte kommunen i gang et luftningsforsøk i Kolbotnvatn. Vårt institutt foretok i den sammenheng spredte undersøkelser av effekten av dette forsøk. Det viste seg at luftningen hadde liten effekt på vannets innhold av oksygen. Oppegård kommune er muntlig blitt orientert om dette.

Det foreligger som nevnt et fyldig fysisk-kjemisk observasjonsmateriale fra Kolbotnvatn. Biologisk materiale er innsamlet, men

foreløpig i liten grad bearbeidet. De biologiske forhold er bare i begrenset omfang behandlet i denne rapport.

## 2. GENERELL BESKRIVELSE

Kolbotnvatn er en relativt liten innsjø (0,3 km<sup>2</sup> overflate) som ligger i Oppegård kommune. Innsjøen har avløp (Kantorbekken) til Gjersjøen.

Lokaliteten ligger i et grunnfjellsområde i en høyde av 95 m.o.h. Løsavsetningene, som har liten mektighet, er til dels avsatt i et marint miljø. Nedbørfeltet, som er ca. 3 km<sup>2</sup> stort, er i stor grad utnyttet som boligområder, dette gjelder spesielt områdene nord og øst for innsjøen. Avløpsvannet fra denne bebyggelse er nå i vesentlig grad samlet i avskjærende kloakksystemer og ført ut av nedbørfeltet. Det antas imidlertid at det fortsatt finnes enkeltboliger som løser sine avløpsproblemer ved septiktanker med avløp i grunnen. Det foreligger dessverre ingen oppgave over hvor mange mennesker som bor i nedbørfeltet i dag, heller ikke om hvordan befolkningsutviklingen har vært i området og hvordan avløpsforholdene tidligere har vært ordnet.

Kolbotnvatn er loddet opp med ekkolodd, og dybdekart er tegnet i målestokk 1:5 000 med 5 meters koteavstand. Dybdekartet er gjengitt i fig. 1.

Morfometriske og hydrologiske data er gjengitt i tabell 1.

Tabell 1. Morfometriske og hydrologiske data.

Høyde over havet	95,2 m
Overflateareal	0,303 km <sup>2</sup>
Største dyp	18,5 m
Volum	3,1 mill. m <sup>3</sup>
Middel dyp	10,3 m
Nedbørfelt	2,96 km <sup>2</sup>
Midlere avløp (15 l/sek/km <sup>2</sup> )	ca. 44 l/sek.
Teoretisk oppholdstid	ca. 2 år

---

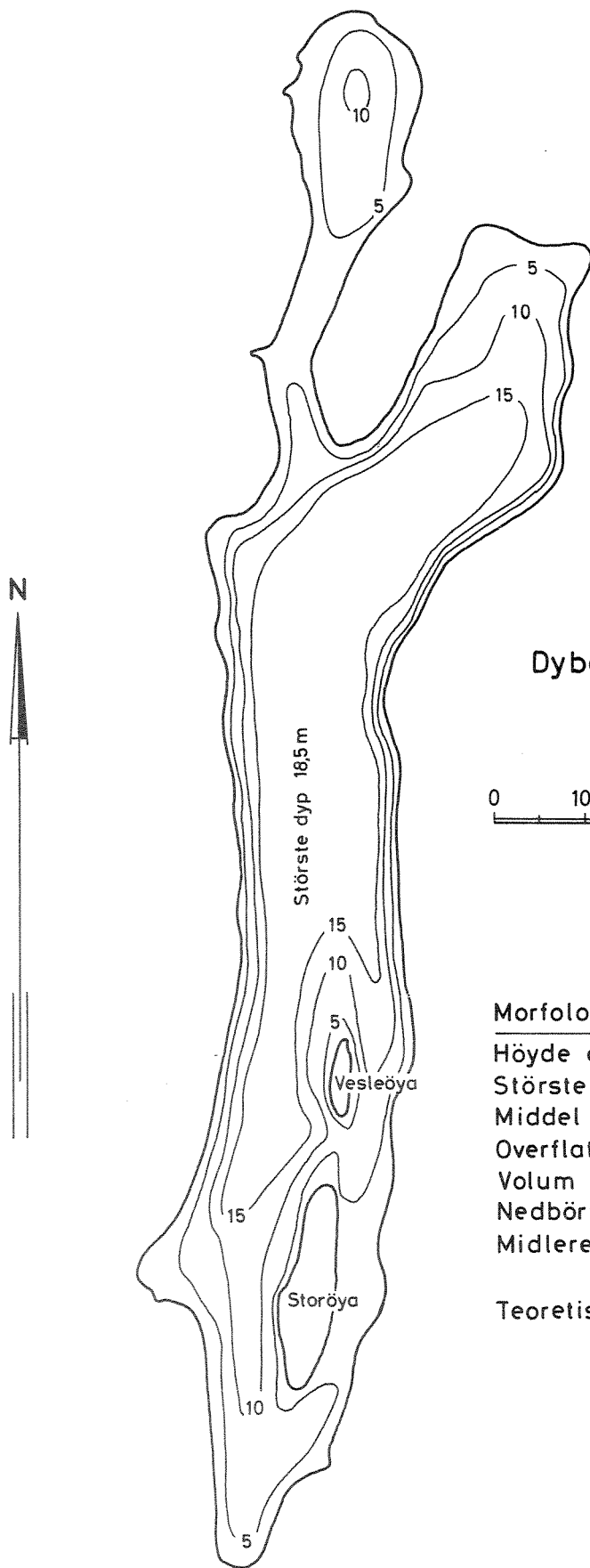
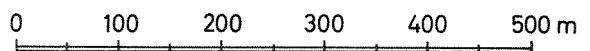


Fig. 1

Dybdekart Kolbotnvatn



Morfologiske og hydrologiske data

Høyde over havet	95,2 m
Største dyp	18,5 m
Middel dyp	10,3 m
Overflate areal	0,303 km <sup>2</sup>
Volum	3,1 mill. m <sup>3</sup>
Nedbørfelt	2,96 km <sup>2</sup>
Midlere avløp	15 l/sek. pr. km
	∑ 1,4 mill m <sup>3</sup> /år
Teoretisk oppholdstid	ca. 2 år

Innsjøen er liten og grunn, har relativt lang oppholdstid og er i liten grad eksponert for vind. Den er derfor lite egnet som resipient for avløpsvann.

## 2.1 Prøvetakingssted og prøvetakingstider

Prøvene er hele tiden blitt samlet inn fra innsjøens dypeste område (se fig. 1). Prøvetakingdagene er angitt i tabell 2, som også viser hvilke parametre som er blitt observert. Temperatur og siktedyp er observert i felten, de øvrige bestemmelser er utført på NIVAS's laboratorium i Oslo. Observasjonsmaterialet er lagret på hullkort og er lett tilgjengelig som utskrifter fra regnemaskin.

## 2.2 Hydrografiske forhold

### Temperaturforhold

Årsvariasjoner i vannets temperatur i Kolbotnvatn er fremstilt i isopletdiagram (fig. 2).

Som de fleste norske innsjøer gjennomløper Kolbotnvatn 4 forskjellige termiske perioder i løpet av et år, nemlig vinterstagnasjonsperioden, vårfullsirkulasjonsperioden, sommerstagnasjonsperioden og høstfullsirkulasjonsperioden. Sirkulasjonsperiodene er av kort varighet, særlig om våren. Både våren 1968 og 1969 gikk innsjøen praktisk talt direkte over fra vintersituasjonen til sommersituasjonen uten at vannmassene i mellomtiden ble vesentlig gjennomblandet. Om sommeren ligger sprangsjiktet i 6-8 meters dyp. I dyplagene er temperaturen da 4-5°C, mens temperaturen i overflatelagene kan bli betydelig over 20°C. Vintrene 67/68 og 68/69 var innsjøen islagt fra slutten av november til månedsskiftet april/mai. Dypvannstemperaturen lå da i området 3-4°C.

### Oksygenforhold

Variasjonene i vannets oksygeninnhold i tidsperioden januar 1968 til februar 1970 er fremstilt i isopletdiagram (fig. 3). Figuren viser at det både sommer og vinter er anaerobe forhold i dyplagene. De oksygenfrie dypvannsmasser har tydeligvis størst mektighet om sommeren, men til gjengjeld er det om vinteren meget lavt oksygeninnhold (<0,5 mg/l) også i de øverstliggende vannmasser. Under

Tabell 2. Kolbotnvatn. Prøvetakingsdager og analysekomponenter.

	1967	1968										1969										1970														
	19/9	13/2	25/3	20/5	26/8	2/10	30/10	7/11	3/12	16/12	21/1	13/2	19/3	15/4	5/5	16/5	10/6	26/6	9/7	14/7	23/7	7/8	20/8	15/9	1/10	30/10	26/11	15/1	17/2	18/3	3/4	14/5	24/8			
Temperatur, °C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Oksygen, mg O <sub>2</sub> /l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
pH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Spes. ledningsevne, 20°C, µS/cm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Farge, mg Pt/l, ufiltr.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x												
Farge, mg Pt/l, filtr.																			x	x	x	x			x	x										
Turbiditet, JTU, ufiltr.	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																		
Turbiditet, JTU, filtr.																																				
Permanganattall, mg O/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Total hårdhet, mg CaO/l	x	x	x	x	x																															
Kalsium, mg Ca/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Magnesium, mg Mg/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Natrium, mg Na/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Kalium, mg K/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Alkalitet, ml N/10 HCl/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Klorid, mg Cl/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Sulfat, mg SO <sub>4</sub> /l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Jern, µg Fe/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Mangan, µg Mn/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Ortofosfat, µg P/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Total fosfor, mg P/l, ufiltr.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Total fosfor, mg P/l, filtr.																																				
Nitrat, µg N/l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x <sup>1)</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Total nitrogen, µg N/l, ufiltr.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Total nitrogen, µg N/l, filtr.																																				
Dikromattall, mg O/l																																				
Silisium, mg SiO <sub>2</sub> /l	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Organisk karbon, mg C/l, ufiltr.																																				
Uorganisk karbon, mg C/l, ufiltr.																																				
Organisk karbon, mg C/l, filtr.																																				
Uorganisk karbon, mg C/l, filtr.																																				

1) Nitritt.



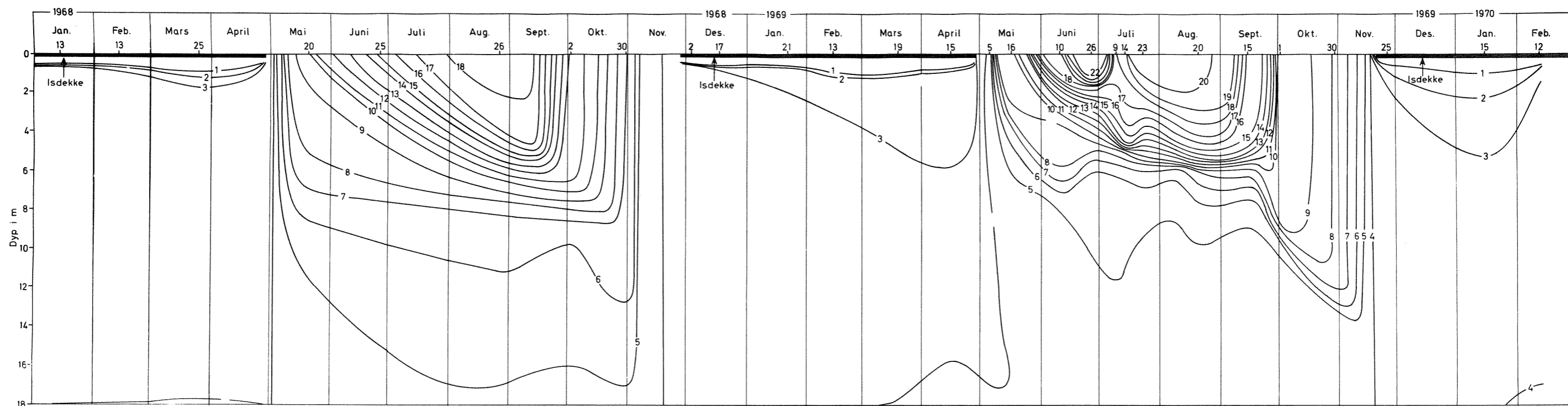


Fig. 2 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - feb. 1970 Isotermer

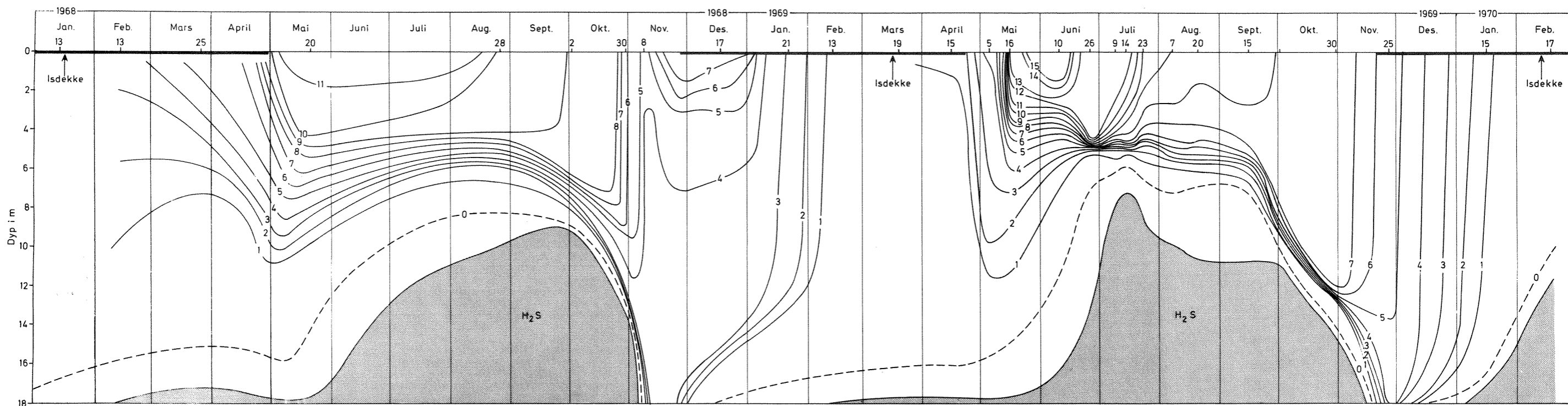
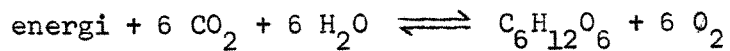


Fig. 3 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - feb. 1970 Isopletdiagram for oksygen, mg/l

produksjonsperioden om sommeren kan oksygenmetningen i overflatelagene bli opp til 200%. Dette har sammenheng med planteplanktonets produksjon av oksygen ved fotosyntesen:



Det levende planktonmateriale dør og synker til bunns. Nedbrytningen eller forråtnelsen av slikt materiale er oksygenkrevende prosesser. Etter hvert som prosessene skrider frem under stagnasjonsperiodene, avtar vannets oksygenreserve i dyplagene. Under isdekket om vinteren får ikke vannet tilførsel av oksygen fra atmosfæren, dessuten er det heller ikke noen planktonproduksjon i denne tidsperioden. Resultatet blir at oksygenreserven i hele vannmassen, også i overflatelagene, avtar. At det om vinteren praktisk talt er anaerobe forhold helt oppunder isen, har sammenheng med primærproduksjonens størrelse og dermed vannets belastning med organisk materiale.

Vinterens oksygenforbruk er illustrert i figurene 4 og 5. Figurene viser at oksygenforbruket er størst i begynnelsen av stagnasjonsperioden, men utviklingen kan variere noe fra år til år. Begge vintre var middelforbruket fra begynnelsen av stagnasjonsperioden til ca. 15. februar ca. 3,2 mg pr. cm<sup>2</sup> overflate pr. måned. Fra ca. 15. februar til isløsning var vannets oksygeninnhold meget lavt, og i disse perioder var det øyensynlig liten biologisk nedbrytningsaktivitet.

Sirkulasjonsperiodenes korte varighet gjenspeiler seg i vannets oksygeninnhold. Om våren er gjennomblandingen så lite effektiv at dypvannsmassene ikke får tilført oksygen i noen vesentlig grad, og innsjøen går inn i sommerstagnasjonsperioden med anaerobe forhold i dyplagene. Sirkulasjonsperiodene om høsten er av noe lengre varighet enn om våren, og i slutten av sommerstagnasjonsperioden er overflatelagene godt mettet med oksygen. Resultatet av dette er at dypvannsmassene i noen grad får tilført oksygen før innsjøen går inn i vinterstagnasjonsperioden, men metningsverdiene er også på dette tidspunkt lave.

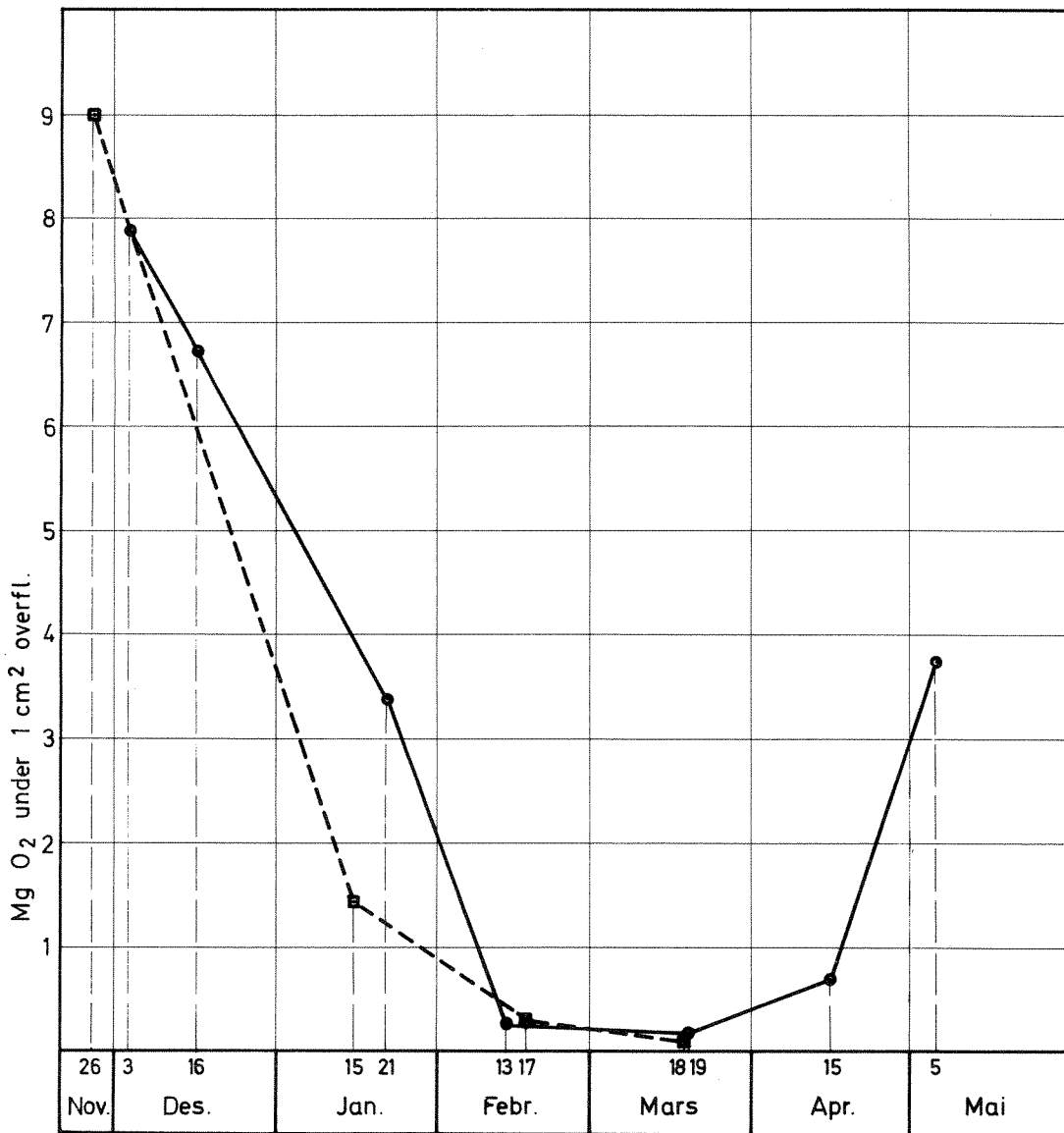


Fig. 4 Kolbotnvatn

Oksygenforhold vintrene 68 / 69 og 69 / 70

Vannets oksygeninnhold i mg under 1 cm<sup>2</sup> overfl.  
i relasjon til tiden.

— Vinteren 68 / 69  
- - - Vinteren 69 / 70

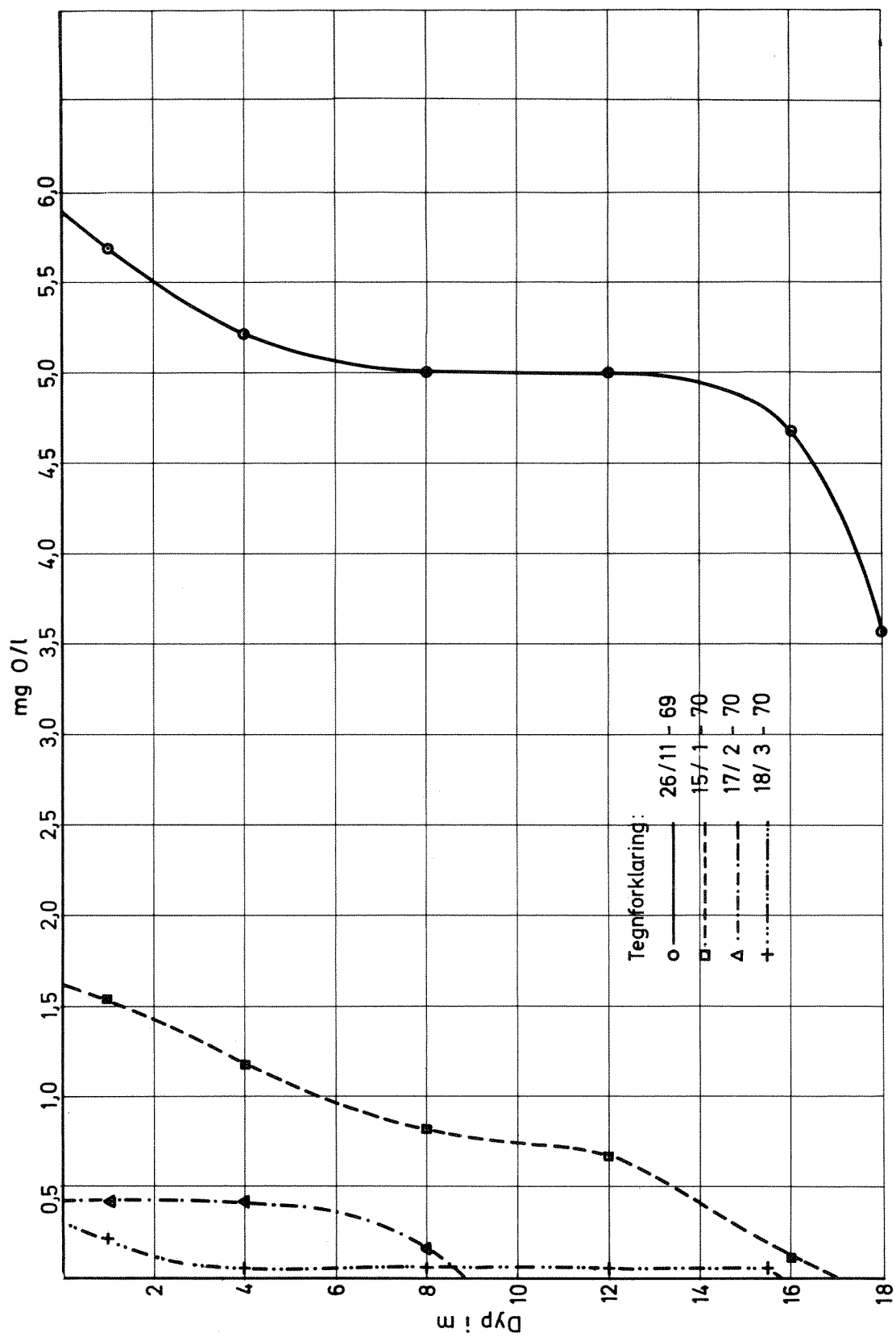


Fig. 5 Kolbotnvatn Vannets oksygeninnhold på de enkelte obs. dager vinteren 69/70  
 Oksygen, mg/l  
 Vinteren 69 / 70

Reduksjonsprosessene i dyplagene går så langt at sulfater og svovelforbindelser blir redusert til sulfider. Det er påvist  $H_2S$ -verdier på opptil 10 mg  $H_2S/l$ , men stort sett er verdiene lavere enn 3 mg  $H_2S/l$ .

#### pH

Variasjonene i vannets pH i tidsperioden januar 1968 - februar 1970 er fremstilt i isopletdiagram (fig. 6).

Karakteristisk for pH-variasjonene er relativt høye verdier i overflatelagene i produksjonsperiodene om sommeren, mens pH-verdiene i hele vannmassen om vinteren er relativt stabile og av samme størrelsesorden som i dyplagene om sommeren.

pH-variasjonene har sammenheng med planktonproduksjonen og nedbrytningen av organisk materiale. Når produksjonsbetingelsene er gode (varmt, stille vær og mye sol), er pH-verdiene spesielt høye i overflatelagene, men når lysforholdene blir dårligere, avtar planteplanktonets fotosynteseaktivitet som så igjen resulterer i lavere pH. Som det blir gjort rede for senere, er det i løpet av sommerperioden flere produksjonstopper. Dette gjenspeiler seg også i pH-verdiene - når primærproduksjonen er størst, er også pH-verdiene høyest. Likedan er pH-verdiene på det laveste når primærproduksjonen er minimal, derfor også de relativt lave pH-verdiene om vinteren.

I dyplagene er det som nevnt relativt ensartede pH-forhold (pH ca. 7,0), men tendensen er avtakende verdier i løpet av stagnasjonsperiodene og høyeste verdier under sirkulasjonsperiodene om høsten.

#### Spesifikk elektrolytisk ledningsevne

Variasjonsmønsteret for vannets elektrolyttinnhold uttrykt ved spesifikk elektrolytisk ledningsevne i tidsrommet januar 1968 - februar 1970, er fremstilt i isopletdiagrammet (fig. 7).

Som figuren viser, økte vannets elektrolyttinnhold noe mot dypet under stagnasjonsperiodene, mens en utjevning fant sted under sirkulasjonsperiodene. Dessuten var elektrolyttinnholdet noe høyere i slutten av

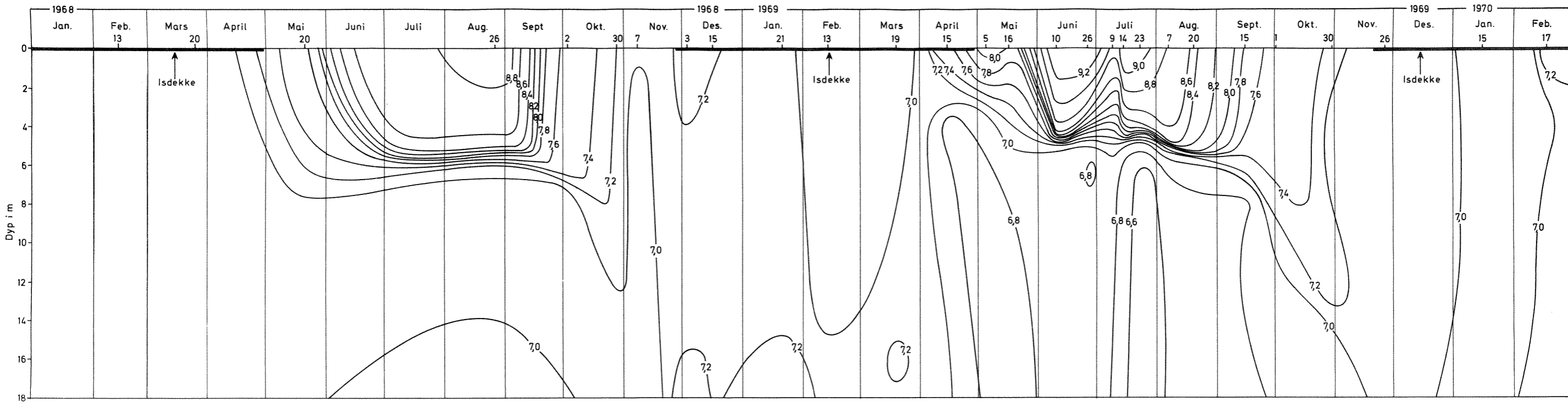


Fig. 6 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - feb. 1970 Isopletdiagram for pH

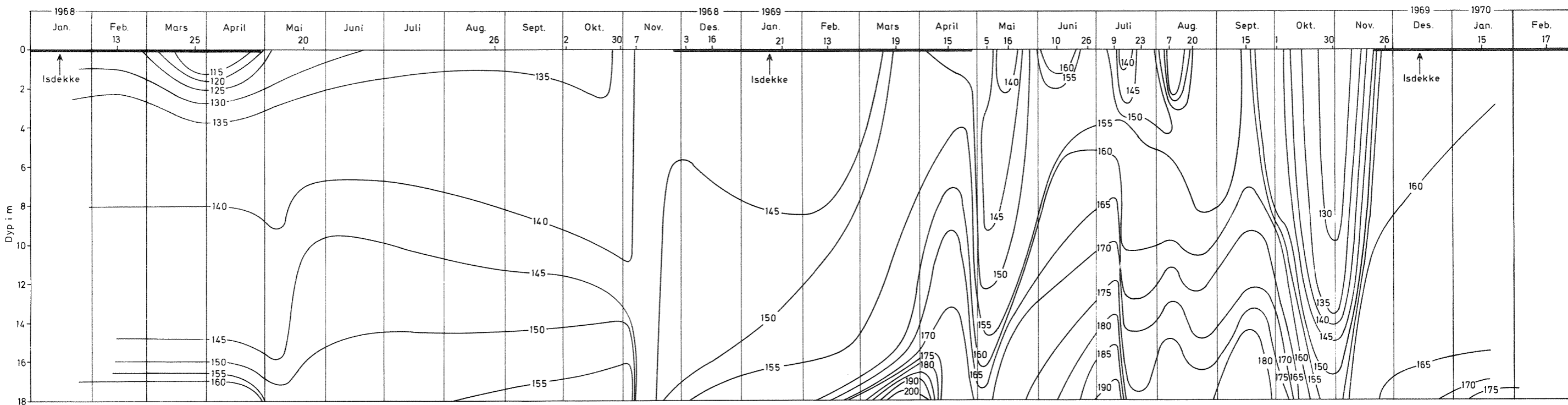


Fig. 7 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - feb. 1970 Isopletdiagram for vannets elektrolytiske ledningsevne,  $\mu\text{S}/\text{cm}$   $20^\circ\text{C}$

perioden enn i begynnelsen - noe som må antas å ha sammenheng med avrenningsforholdene. Årsaken til at vannets elektrolyttinnhold øker mot dypet, er de omtalte reduksjonsprosesser, som bl.a. medfører frigivelse av salter. I 1969 var verdiene i overflatelagene ca. 150  $\mu\text{S/cm}$ , mens elektrolyttinnholdet i dyplagene under sommerstagnasjonsperiodene var ca. 175  $\mu\text{S/cm}$ .

### 2.3 Hovedkomponentene, kalsium, magnesium, natrium, kalium, hydrogenkarbonat, klorid og sulfat

De komponenter som har størst innvirkning på vannets elektrolytiske ledningsevne, er kalsium, magnesium, natrium, kalium, hydrogenkarbonat, klorider og sulfater. Middelveiene for disse komponenter på de forskjellige observasjonsdager er fremstilt i tabell 3.

#### Total hårdhet

Vannets totale hårdhet er blitt undersøkt ved 5 anledninger. Verdiene varierte fra 23 til 31 mg CaO/l. Middelveien var 28 mg CaO/l. Til sammenlikning kan nevnes at vannets totale hårdhet i Maridalsvatnet er 6,6 mg CaO/l.

#### Kalsium

Vannets kalsiuminnhold varierte stort sett i området fra 13 til 19 mg Ca/l - middelvei = 16,4 mg Ca/l. Bortsett fra en svak økning mot dypet under sommerstagnasjonsperiodene og noe lavere verdier i begynnelsen av undersøkelsesperiodene, synes det ikke å være noen systematiske variasjoner i vannets innhold av kalsium.

#### Magnesium

Vannets innhold av magnesium varierte stort sett i området 2,8 - 3,5 mg Mg/l - middelvei = 3,09 mg Mg/l. Som for kalsium var verdiene stort sett lavest i begynnelsen av perioden, og under sommerstagnasjonsperiodene var det en svak økning mot dypet. Ellers var det ingen systematiske variasjoner i vannets innhold av magnesium.

Tabell 3. Hovedkomponenter, middelveidier. Kolbotnvatn.

	Total hårdhet mg CaO/l	Kalsium mg Ca/l	Magnesium mg Mg/l	Natrium mg Na/l	Kalium mg K/l	Alkalitet ml N/10 HCl/l	Klorid mg Cl/l	Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l
19/9 -67	28,7	13,4	2,83	7,78	2,66	7,58	12,7	10,8
13/2 -68	29,4	14,0	2,84	6,77	2,98	8,59	11,8	14,2
25/3 "	26,8	13,3	2,80	5,80	2,90	8,29	13,1	10,9
20/5 "	27,0	15,4	2,84	4,89	3,12	6,63	15,1	11,5
26/8 "	29,1	13,5	2,90	-	3,91	9,19	12,5	8,3
2/10 "		17,5	2,97	8,10	3,79	7,72	14,3	8,0
30/10		14,5	3,16	9,25	4,59	8,86	13,5	6,3
8/11		16,0	3,22	8,51	4,44	8,44	12,8	7,2
3/12		17,5	3,18	9,70	4,02	9,92	14,6	7,9
17/12		18,2	3,02	9,55	3,94	(8,81)	15,7	8,3
21/1 -69		16,5	3,14	9,75	4,26	8,70	-	10,4
13/2 "		16,5	3,04	9,99	4,01	9,06	12,9	10,7
19/3 "		17,1	3,06	9,90	3,92	8,99 (9,93)	13,9	10,3
15/4 "		17,0	3,21	10,01	3,88	8,87	14,5	12,9
5/5 "		16,9	3,04	9,69	3,67	8,93	14,4	15,2
16/5 "		16,4	2,99	9,73	3,82	8,93	14,3	15,2
10/6 "		16,5	2,97	9,19	3,60	8,74	14,6	13,2
26/6 "		16,4	3,05	9,18	3,75	8,30	12,0	12,6
9/7 "		17,1	3,05	9,59	3,59	9,31	12,0	12,3
14/7 "		17,0	3,19	10,03	3,63	8,38	12,1	15,0
23/7 "		16,3	3,17	9,70	3,35	8,67	12,0	14,5
7/8 "		16,7	3,43	9,19	3,91	8,83	14,2	14,3
20/8 "		16,6	3,10	10,29	3,80	9,35	14,2	8,3
15/9 "		16,8	3,43	10,24	3,76	9,78	14,1	12,5
1/10 "		17,0	3,26	9,54	3,91	10,05	13,3	10,7
30/10 "		17,3	3,28	10,43	3,55	10,09	14,0	8,9
26/11 "		17,3	3,25	9,64	3,71	9,90	13,7	13,0
15/1 -70		18,6	3,24	10,20	4,15	9,10	13,6	14,0
17/2 "		18,5	3,09	9,85	3,92	9,61	13,6	13,7
Middel- verdi	mg/l mekv/l	16,4 0,816	3,09 0,254	9,16 0,398	3,74 0,096	8,88 0,888	13,6 0,384	11,4 0,237



### Natrium og kalium

Variasjonene i vannets innhold av natrium og kalium er fremstilt i frekvensdiagrammene (fig. 8 og 9). De fleste verdiene for natrium ligger i området 9 - 10,5 mg Na/l, mens kaliumverdiene konsentrerer seg rundt 4 mg K/l. Verdiene var for begge komponenter lavest i begynnelsen av observasjonsperioden. Dessuten var det en svak økning mot dypet under sommerstagnasjonsperiodene.

### Hydrogenkarbonat

Frekvensdiagrammet, fig. 10, viser at vannets alkalitet (uttrykt som  $\text{ml } \frac{\text{N}}{10} \text{ HCl/l}$ ) varierte i området 5,5 til 13 - de fleste verdier konsentrerte seg i området 7,5 - 9,5. Middelveien, 8,88  $\text{ml } \frac{\text{N}}{10} \text{ HCl/l}$ , tilsvarer 54,2 mg  $\text{HCO}_3/\text{l}$ . Alkalitetsverdiene økte svakt mot dypet under stagnasjonsperiodene, ellers var det ingen systematiske variasjoner.

### Klorider og sulfater

Ifølge frekvensdiagram, fig. 11, var det relativt stor spredning i vannets innhold av klorider og sulfater. Kloridverdiene varierte i området 11,5 - 17 mg Cl/l, mens sulfatverdiene varierte i området 3 - 18 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$ . Middelveiene er henholdsvis 13,6 mg Cl/l og 11,4 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$ . Bortsett fra en svak økning i begynnelsen av observasjonsperioden var det ingen systematiske variasjoner i vannets kloridinnhold. Det foreligger heller ikke noe systematisk variasjonsmønster for vannets innhold av sulfater, men under stagnasjonsperiodene var det av og til relativt lave verdier i dyplagene. Dette har sammenheng med de før omtalte reduksjonsprosesser som bl.a. medfører en reduksjon av sulfationer til sulfider.

## 2.4 Jern og mangan

Variasjonene i vannets jerninnhold i tidsperioden januar 1968 - februar 1970 er vist i isopletdiagram (fig. 12).

Vannets jerninnhold viser et omvendt variasjonsmønster av vannets oksygeninnhold, dvs. når oksygeninnholdet avtar, øker vannets innhold av jern, eller omvendt. Når oksygeninnholdet avtar, utvikles nemlig

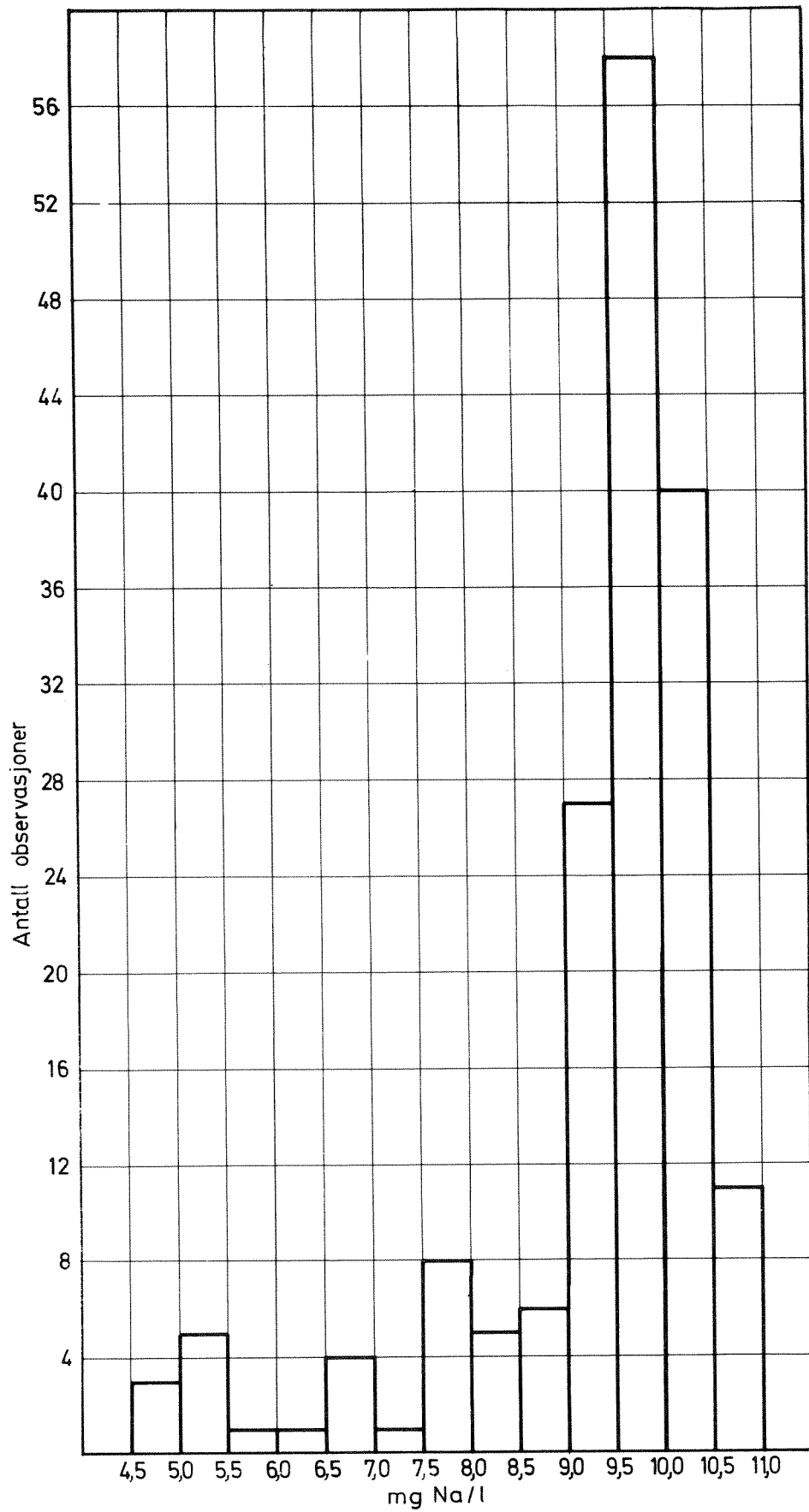


Fig. 8 Kolbotnvatn  
 Frekvensdiagram for natrium i mg Na/l  
 Tidsrom: sept. 1967 - mai 1970

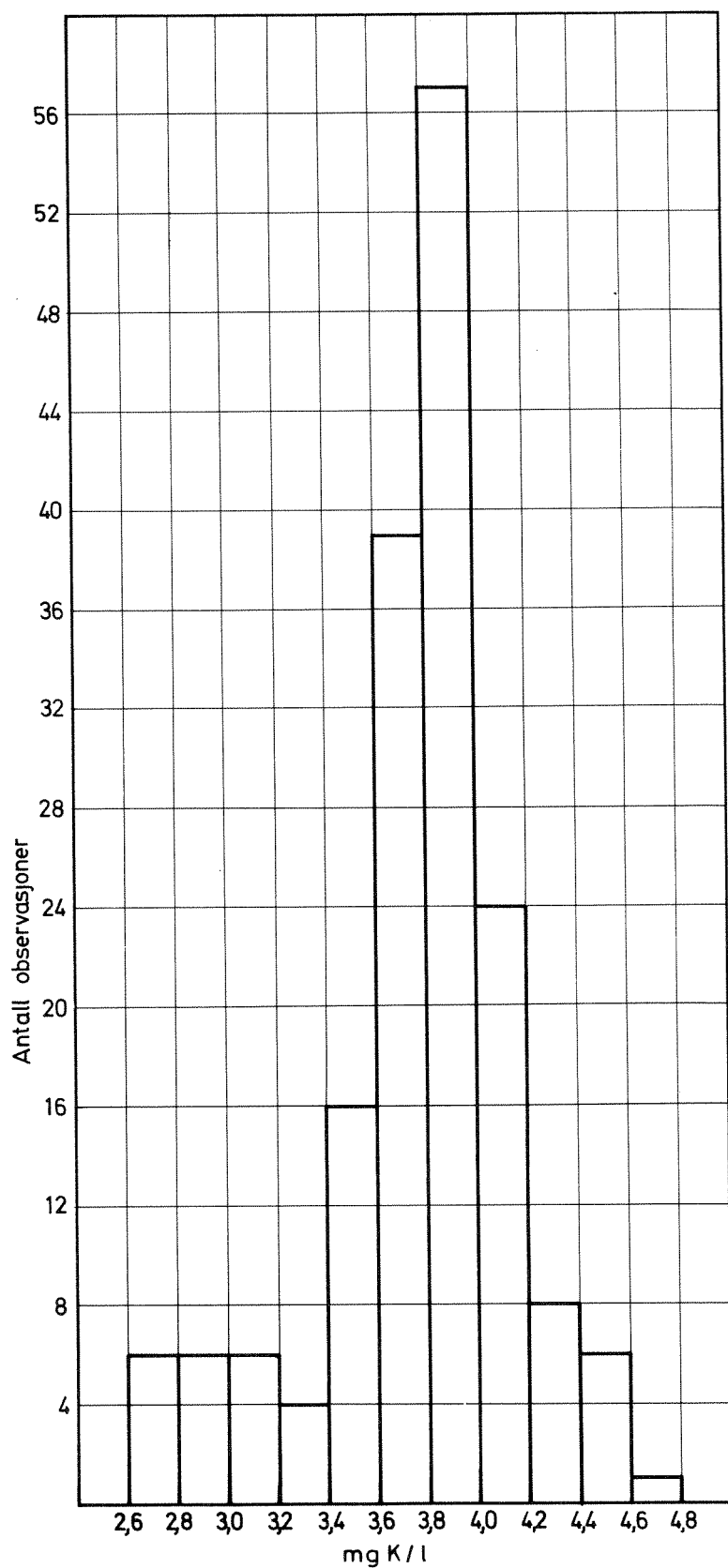


Fig. 9 Kolbotnvatn  
 Frekvensdiagram for kalium i mg K/l  
 Tidsrom : sept. 1967 - mai 1970.

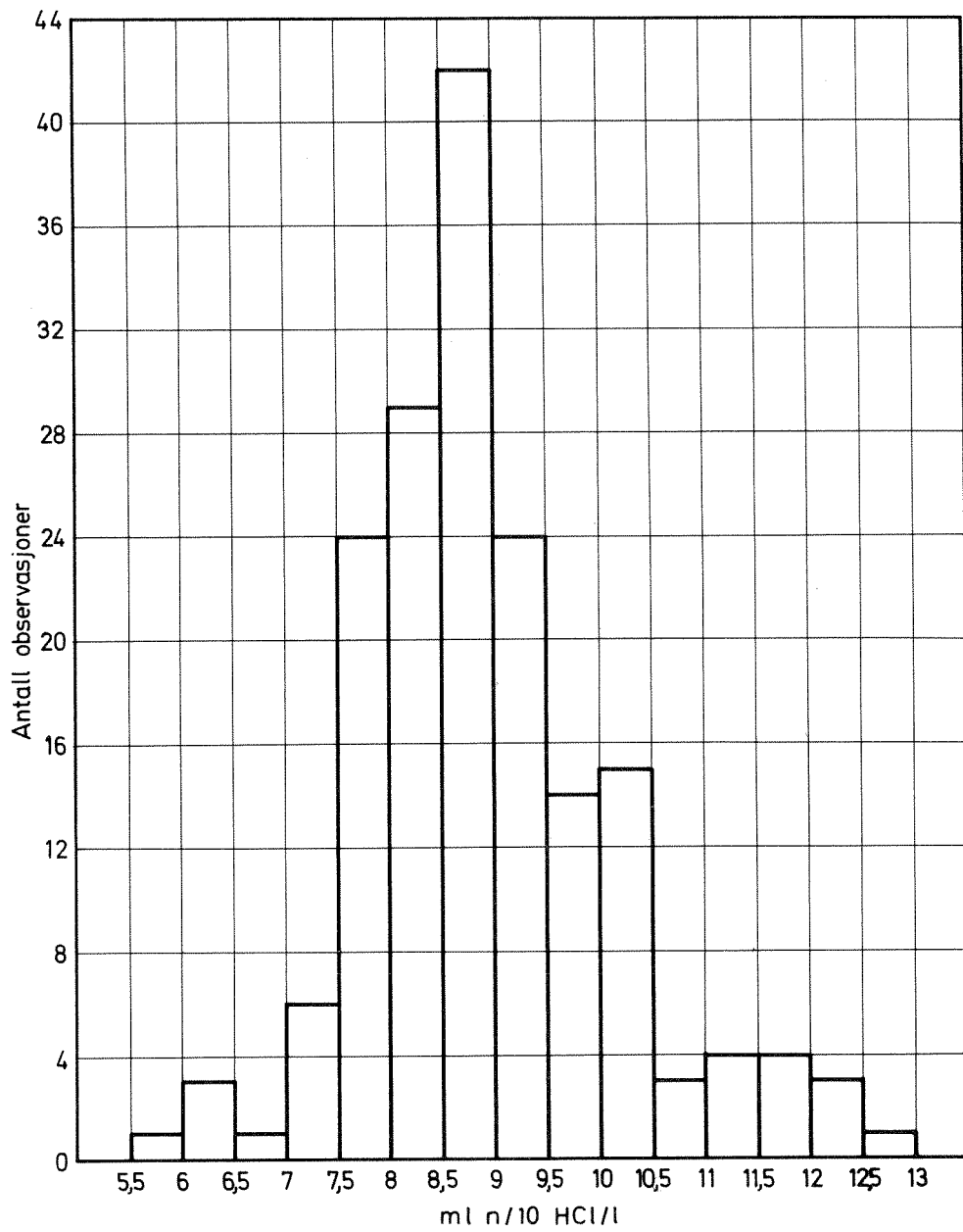


Fig. 10 Kolbotnvatn  
 Frekvensdiagram for alkalitet ml n/10 HCl/l  
 Tidsrom: sept. 1967 - mai 1970

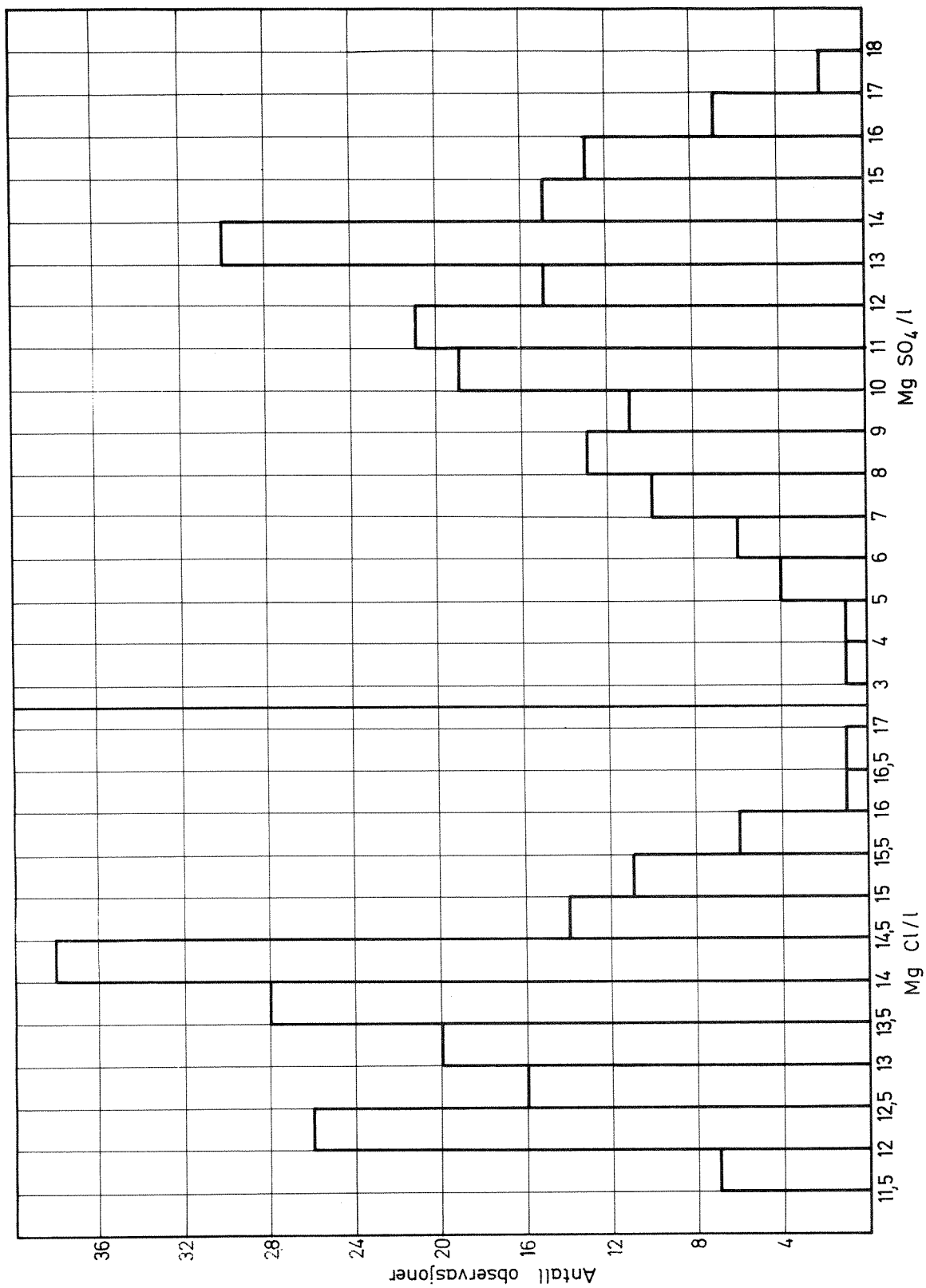


Fig. 11 Kolbotnvatn  
 Frekvensdiagram for klorid i mg Cl/l og sulfat i mg SO<sub>4</sub>/l  
 Tidsrom: sept. 1967 - mai 1970

et reduktivt miljø. Kjemiske forbindelser som er lagret i bunnmaterialet, reduseres. Således reduseres treverdige jernforbindelser som er tungt løselige i vann, til toverdige forbindelser som lett lar seg løse i vann. Etter hvert som oksygeninnholdet avtar oppover i vannmassene, vil disse løselige jernforbindelser ved diffusjon bli ført til stadig høyereliggende lag. Under sirkulasjonsperiodene øker også vannets jerninnhold i de øvre vannmasser, men etter hvert som det blir tilført oksygen, oksyderes de toverdige forbindelser til de tungt løselige treverdige forbindelser, som så sedimenterer. Vannets høye jerninnhold i overflatelagene er av relativt kort varighet.

### Mangan

Variasjonene i vannets manganinnhold i tidsperioden januar 1968 - februar 1970 er vist i isopletdiagrammet (fig.13).

Som figurene 12 og 13 viser, følger variasjonene i vannets manganinnhold samme variasjonsmønster som jerninnholdet. Mangan er imidlertid lettere reduserbart enn jern, dvs. mangan lar seg redusere ved et noe høyere red-oks-potensial. Dette går tydelig frem ved sammenlikning av jern- og manganinnholdet om vinteren. På denne årstid er som nevnt vannets oksygeninnhold og dermed red-oks-potensialet meget lavt også i de øvre vannmasser. Allikevel er oksygeninnholdet stort nok, eller red-oks-potensialet høyt nok, til at de toverdige jernforbindelser som blir tilført fra dyplagene under høstsirkulasjonsperioden, oksyderes til tungtløselige treverdige forbindelser som sedimenterer. Vannets jerninnhold er således lavt om vinteren. For at manganforbindelser skal oksyderes, er derimot oksygenspenningen for lav. Manganforbindelsene som blir tilført de øvre vannmasser fra dyplagene under høstsirkulasjonsperioden, blir altså i liten grad oksydert til tungtløselige forbindelser som sedimenterer, men blir i løsning hele vinteren igjennom. Under vårsirkulasjonsperioden blir det tilført overflatelagene nye mengder mangan fra dyplagene. Etter hvert blir imidlertid vannets oksygeninnhold stort nok til at også de løselige manganforbindelsene oksyderes til høyereverdige og tungtløselige forbindelser som sedimenterer. Følgelig er vannets manganinnhold lavest i de oksygenrike overflatevannmasser om sommeren.

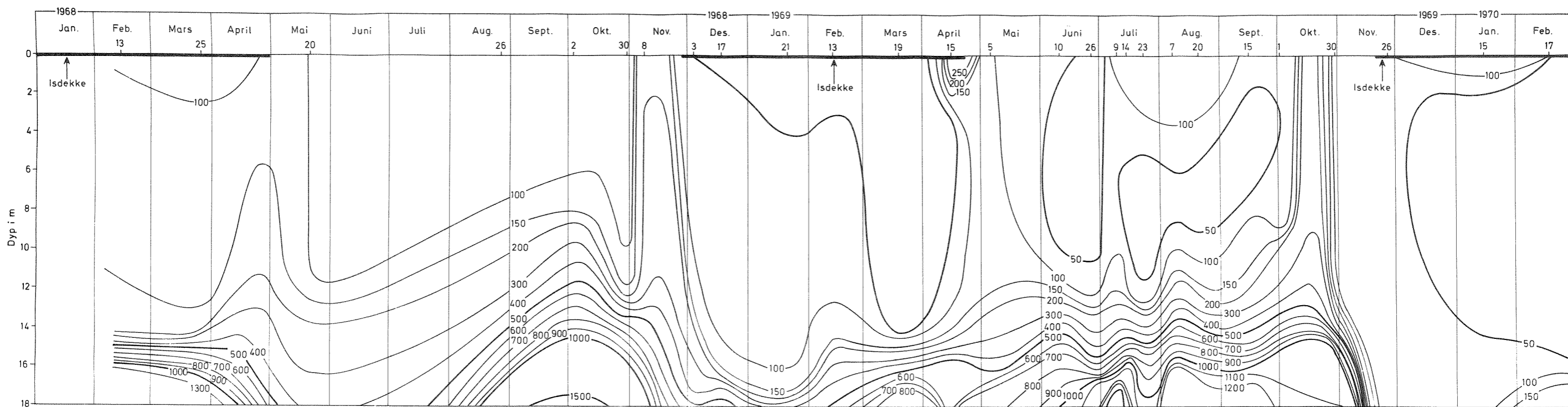


Fig. 12 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - feb. 1970 Isoplethdiagram for jern,  $\mu\text{g Fe/l}$

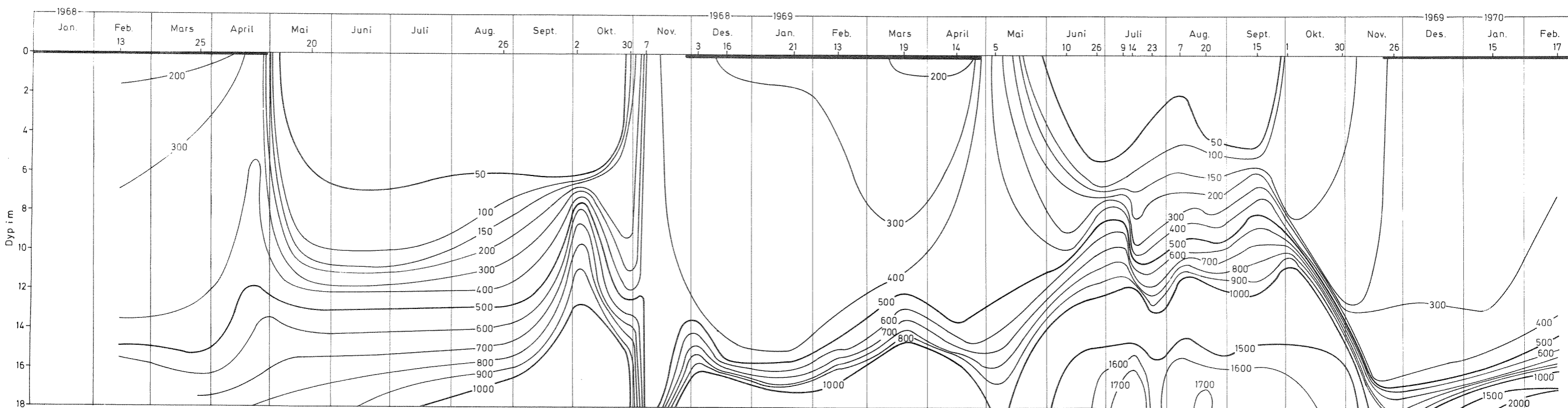


Fig. 13 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - feb. 1970 Isoplethdiagram for mangan,  $\mu\text{g Mn/l}$

## 2.5 Plantenæringsstoffer

### Silisium

Variasjonene i vannets innhold av silisium i tidsperioden januar 1968 - februar 1970 er fremstilt i isopletdiagrammet, fig. 14.

Figuren viser at konsentrasjonene av silisium i vannets overflatelag er meget lave ( $<0,5$  mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ ) i produksjonsperiodene om sommeren, mens de i dyplagene i samme tidsperiode er relativt høye (4-5 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ ). Under høstfullsirkulasjonsperiodene finner en utjevning sted, og i vinterhalvåret er silisiuminnholdet ca. 3 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$  i alle dyp.

De lave konsentrasjoner av silisium i overflatelagene om sommeren har sammenheng med planteplanktonproduksjonen, særlig av kiselalger.

### Nitrogenforbindelser

Variasjonene i vannets innhold av nitrogenforbindelser, nitrater og bundet og fritt ammonium er fremstilt i figurene 15 og 16.

Vannets innhold av nitrogenforbindelser varierte lite i de 3 år undersøkelsen har pågått. Fra årene 1968 og 1970 foreligger få observasjoner, men det synes som om det har vært tilsvarende variasjoner i disse år som i 1969.

Etter høstfullsirkulasjonen og under den første del av vinterstagnasjonsperioden økte vannets innhold av nitrater i alle dyp, men mest i de høyestliggende vannmasser. Vinteren 1970 var nitratinnholdet over 12-14 meters nivået  $>800$   $\mu\text{g N/l}$ . I de dypestliggende vannmasser var nitratinnholdet lavt ved inngangen til vinterstagnasjonsperioden, og det avtok gradvis utover vinteren slik at innholdet var praktisk talt null i de bunnære vannmasser i den siste halvdel av vinterstagnasjonsperioden.

Under vårsirkulasjonsperioden ble forholdene ned gjennom vannmassene i noen grad utjevnet, men ennå ved inngangen til sommerstagnasjonsperioden var nitratinnholdet i de aller dypestliggende vannmasser relativt lavt. I slutten av vårfullsirkulasjonsperioden 1969 var



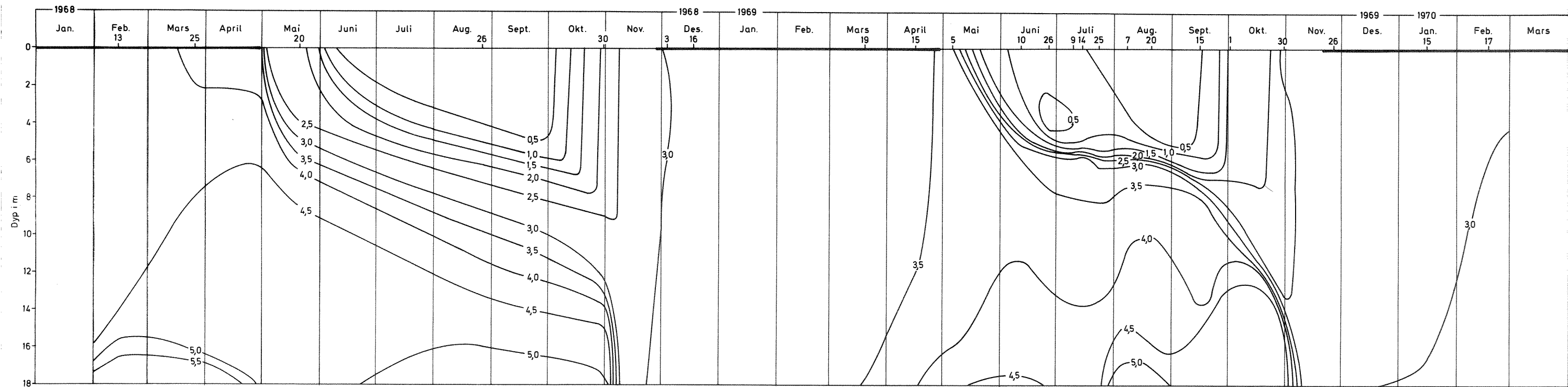


Fig. 14 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - mars 1970. Isoplethdiagram for silisium, mg SiO<sub>2</sub>/l

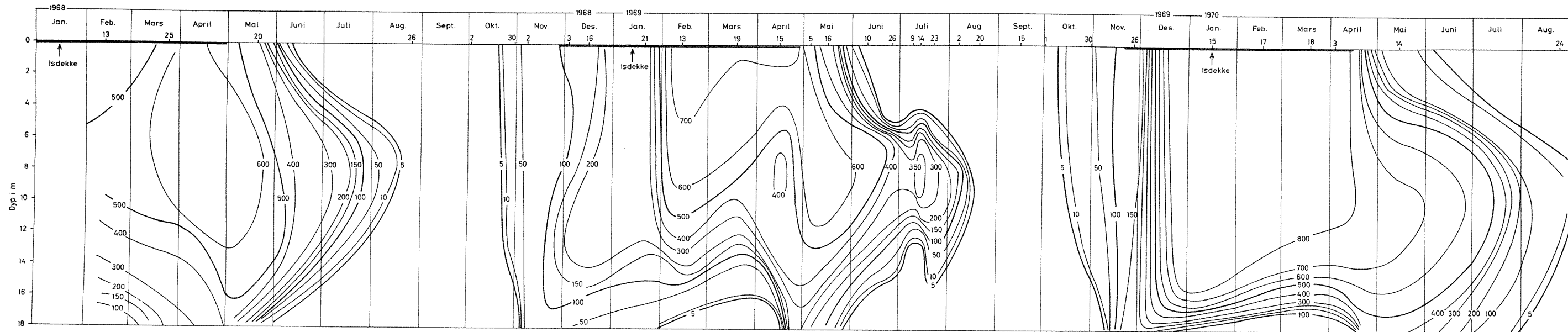


Fig. 15 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - aug. 1970 Isopletdiagram for nitrat µg N/l

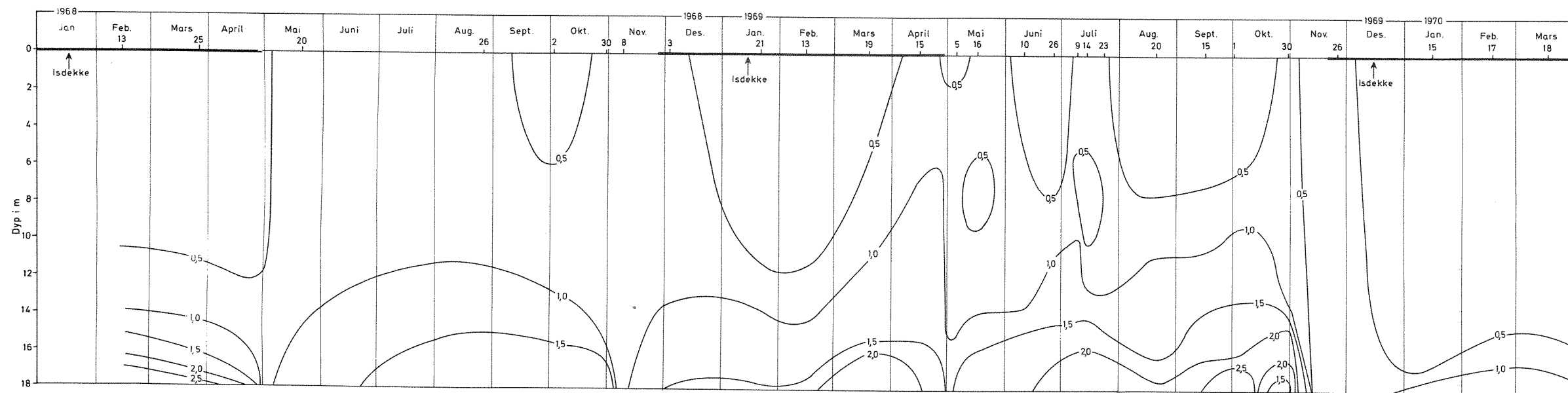


Fig. 16 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - mars 1970. Bundet og fritt ammonium, mg N/l

nitratinnholdet i de bunnære vannmasser ca. 200 µg N/l, mens innholdet i de øverste vannmasser var ca. 600 µg N/l.

Denne situasjon ble gradvis forandret utover sommeren. Vannets nitratinnhold avtok ned gjennom hele vannmassen, men den kraftigste reduksjon fant sted i de øverste og nederste vannmasser. I begynnelsen av juni 1969 var både overflatevannmassene og dypvannsmassene praktisk talt fri for nitrater, mens det i de mellomliggende vannmasser fortsatt var et nitratinnhold på 300-400 µg N/l. Videre utover sommeren avtok også nitratinnholdet i dette sjikt slik at fra midten av august var nitratinnholdet i alle dyp meget lavt (<5 µg N/l). Dette varte helt til høstfullsirkulasjonen tok til i slutten av oktober. Fra dette tidspunkt økte så igjen vannets innhold av nitrater.

Vannets innhold av ammoniumforbindelser (BFA) varierte også noe fra årstid til årstid. Om vinteren var vannets innhold av BFA noe lavere (0,5 mg N/l) i de øverste vannmasser enn i dyplagene (1-2 mg N/l). Utover vinteren økte BFA-innholdet også i de høyereliggende vannmasser. Under vårsirkulasjonen ble forholdene i noen grad utjevnet, men fortsatt var konsentrasjonen størst i de bunnære vannmasser. Situasjonsbildet om sommeren var omtrent som om vinteren. Ned til ca. 8 meters dyp var BFA-innholdet  $\approx$  0,5 mg N/l. Dypere ned var konsentrasjonene større, og i de bunnære vannmasser var konsentrasjonene 2-2,5 mg N/l. Under høstfullsirkulasjonen avtok BFA-innholdet i dyplagene, mens konsentrasjonene i de øverste vannmasser økte i begynnelsen av perioden. Senere avtok BFA-innholdet i alle dyp, slik at konsentrasjonene overalt var mindre enn 0,5 mg N/l.

Det ovenfor nevnte variasjonsmønster for vannets innhold av nitrogenforbindelser har sammenheng med produksjonsforholdene og nedbrytingen av organisk materiale. Nitrogenholdige forbindelser hører med til de viktigste gjødselstoffer og bidrar i høy grad til produksjon av planktonalger.

Observasjonsverdiene viser at relativt tidlig på sommeren (begynnelsen av juni) er vannets nitratinnhold i overflatelagene totalt forbrukt i produksjonssammenheng. Den store planteplanktonproduksjonen

videre utover sommeren må ha følgende forklaring når det gjelder tilførsel av nitrater: For det første tilføres innsjøen kontinuerlig (nitrogenforbindelser) nitrater fra nedbørfeltet, for det andre regenereres nitrogenforbindelsen fra organisk materiale som er under destruksjon, for det tredje er det mulig enkelte organismer (bakterier, men også enkelte blågrønne algearter) kan fikserte løst molekylært nitrogen, og for det fjerde kan enkelte algearter tilegne seg nitrogen i annen form enn som nitrater, f.eks. organiske nitrogenforbindelser.

Som tidligere omtalt er det anaerobe forhold i dyplagene under stagnasjonsperiodene. Dette skaper et reduktivt miljø som bl.a. bevirker at nitratene reduseres først til nitriter og videre til ammoniumforbindelser, og som sluttprodukt kan det oppstå fritt nitrogen. Ved sammenlikning av variasjonsmønstrene for nitrater og BFA viser det seg at parallelt med at nitratinnholdet avtar i dyplagene i løpet av stagnasjonsperiodene, øker vannets innhold av bundet og fritt ammonium. Om sommeren får man den situasjon at vannets innhold av nitrater avtar både ovenfra og nedenfra - ovenfra på grunn av produksjon eller oppbygging av organisk stoff, nedenfra på grunn av nedbrytning av organisk materiale. Disse prosesser griper så om seg at fra midten av august er hele vannmassen fri for nitrater. Det høyeste nitratinnhold finner man i de øverste vannmasser (under isen) om vinteren. I denne årstid er primærproduksjonen og dermed forbruket av nitrater i produksjonsøyemed praktisk talt lik null.

Totalt sett avtar vannets innhold av nitrogenforbindelser i løpet av sommeren. Under vårfullsirkulasjonsperioden i 1969 (5. mai) tilsvarte vannets innhold av nitrogenforbindelser på prøvetakingsstedet under 1 m<sup>2</sup> overflate 21,7 gram, målt som totalt nitrogen, mens det under høstfullsirkulasjonsperioden 1969 (26. november) var 15,9 gram totalt nitrogen under en tilsvarende overflate. Differansen, 5,8 gram, er sannsynligvis i vesentlig grad gått inn i produksjonen og foreligger ved inngangen til vinterstagnasjonsperiodene som bunden organisk nitrogenforbindelse i bunnsedimentene. I hvilken grad reduksjonsprosessene i dyplagene i løpet av sommeren har ført til frigivelse av fritt nitrogen, er ikke undersøkt.

### Fosforforbindelser

Variasjonene i vannets innhold av fosforforbindelser, total fosfor og ortofosfater, i tidsperioden februar 1968 - mars 1970, er fremstilt i figurene 17 og 18. Observasjonsmaterialet fra 1969 gir god dekning for variasjonsmønsteret i løpet av en årssyklus. Det synes som om det har vært tilsvarende variasjoner i 1968 og 1970 som i 1969.

Under sirkulasjonsperiodene, særlig om høsten, var vannets innhold av fosforforbindelser, total fosfor og ortofosfater, omtrent det samme i alle dyp. Det totale fosforinnhold på denne tid var ca. 100 µg P/l, mens ortofosfat-verdiene var ca. 50 µg P/l. Utover vinteren var det en kraftig økning av vannets innhold av fosfor i de bunnære vannmasser. I slutten av vinterstagnasjonsperioden var det over 2 mg P/l i de dypestliggende vannmasser. Fosforet forelå her som ortofosfater. Det var også en svak økning av vannets fosforinnhold i de overliggende vannmasser. Under vårsirkulasjonsperioden ble vannets fosforinnhold i noen grad utjevnet. Ved inngangen til sommerstagnasjonsperioden 1969 var det totale fosforinnhold over 12 meters dyp ca. 150 µg P/l, mens ortofosfatinnholdet på dette tidspunkt var ca. 70 µg P/l ned til samme dyp. Vårsirkulasjonsperioden hadde tydelig en viss betydning for utfelling av fosfor i de dypestliggende lag, men fosforinnholdet i disse vannmasser var fortsatt relativt høyt ennå ved inngangen til sommerstagnasjonsperioden.

Fosforinnholdet i overflatevannmassene avtok relativt hurtig etter at sommerstagnasjonsperioden var etablert, og allerede den 10. juni 1969 var vannets innhold av ortofosfater og totalfosfor henholdsvis <10 µg P/l og ca. 50 µg P/l i de produktive lag. Videre utover sommeren helt frem til slutten av oktober 1969 var verdiene omtrent konstante i vannmassene over sprangsjiktet. Under sprangsjiktet økte vannets fosforinnhold i løpet av sommerstagnasjonsperioden, og ved slutten av denne periode var fosforinnholdet henimot 1 mg P/l i de dypestliggende vannmasser. Under sirkulasjonsperioden om høsten ble som nevnt forholdene utjevnet.

Variasjonsmønsteret for vannets innhold av fosforforbindelser må, som for nitrogenforbindelsene, sees i sammenheng med produksjonsforholdene og nedbryting av organisk materiale. Om vinteren er det

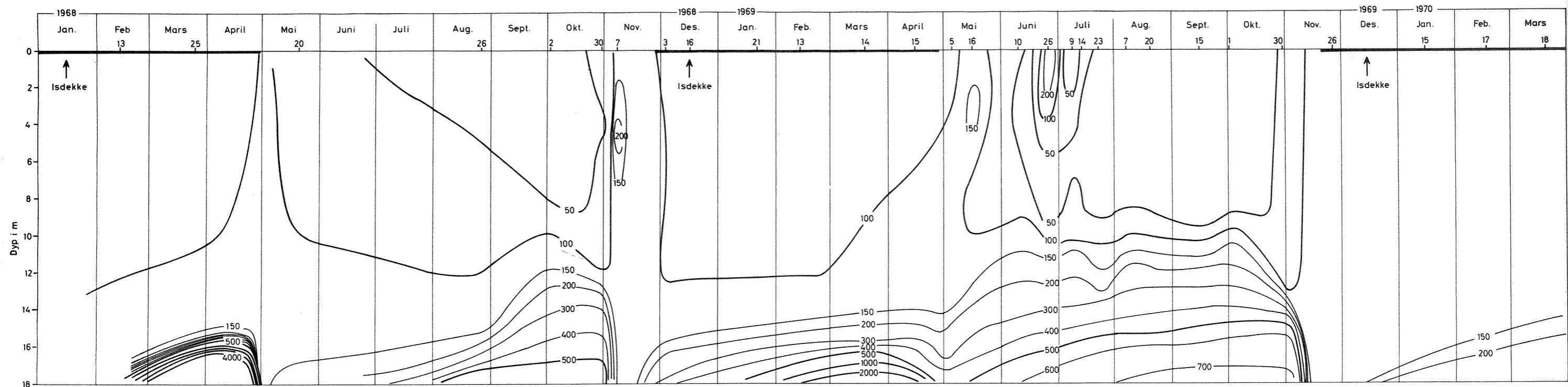


Fig. 17 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - mars 1970 Isopletdiagram for total fosfor  $\mu\text{g P/l}$

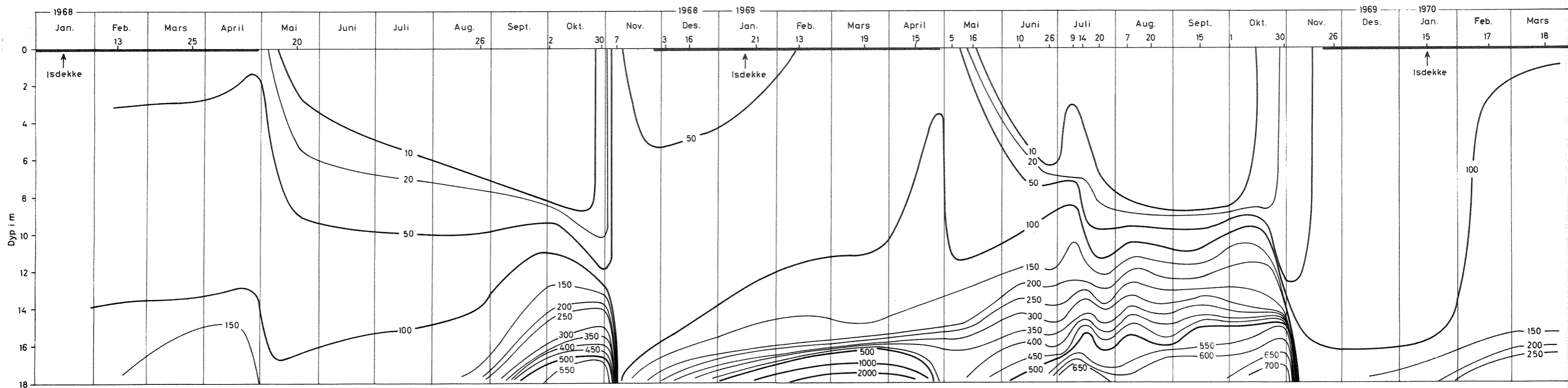


Fig. 18 KOLBOTNVATN Jan. 1968 - mars 1970 Isopletdiagram for orto-fosfat,  $\mu\text{g P/l}$

praktisk talt bare nedbrytningsprosessene som er av betydning. Etter hvert som oksygenreserven brukes opp, og det skapes et reduktivt miljø i de bunnære vannmasser, vil som nevnt en rekke kjemiske forbindelser i bunnsedimentene reduseres og gå over i en form som er lett løselig i vann. Dette er også tilfelle med fosforforbindelsene. Fosforforbindelsene løses ut fra sedimentene i det vesentligste som ortofosfater som diffunderer opp i høyereliggende vannmasser. Vårsirkulasjonen bevirker en utjevning av forholdene slik at bl.a. overflatevannmassenes fosforinnhold øker. Under denne periode avtar fosforinnholdet i noen grad i dyplagene både på grunn av tilførsel til overflatelagene og på grunn av utfelling av tungt løselige fosforforbindelser.

Så snart produksjonsbetingelsene i overflatelagene med hensyn til temperatur og lysforhold optimaliseres, blir det en kraftig oppblomstring av planktonalger i disse lag og følgelig et stort forbruk av fosfor. I løpet av ca. 14 dager i 1969 ble således ortofosfatinnholdet i overflatelagene redusert fra ca. 75  $\mu\text{g P/l}$  til verdier  $<10 \mu\text{g P/l}$ . I hvilken grad utfelling av tungt løselige forbindelser i disse lag har gjort seg gjeldende, er ikke undersøkt, men det antas at primærproduksjonen er den viktigste årsak til den ovennevnte reduksjon. Regenerering av fosfater fra dødt planktonmateriale betinger en fortsatt høy primærproduksjon utover sommeren. Som om vinteren øker fosforinnholdet i de bunnære vannmasser utover sommeren som følge av reduksjonsbetingelsene. Diffusjonsprosesser fører så igjen til at konsentrasjonene i de høyereliggende lag øker.

Ut på høsten avtar produksjonsbetingelsene i overflatelagene med det resultat at planktonmaterialet dør og synker til bunns. Samtidig får dypvannsmassene tilførsel av oksygen og fosforet her går i stor utstrekning over til tungt løselige forbindelser som sedimenterer, men på grunn av sirkulasjonsprosessene anrikes overflatelagene på fosfor i denne periode. Totalt sett avtok fosforinnholdet i vannmassene på prøvetakingsstedet fra ca. 3,6 g fosfor pr.  $\text{m}^2$  overflate den 30. oktober til ca. 1,9 g fosfor pr.  $\text{m}^2$  overflate den 26. november 1969. Differansen, ca. 1,7 g fosfor pr.  $\text{m}^2$  overflate, ble altså lagret i innsjøens bunnsedimenter i ovennevnte tidsrom.

## 2.6 Partikulært og organisk materiale

Forholdene i Kolbotnvatn når det gjelder vannets innhold av partikulært og organisk materiale, er forsøkt illustrert i figurene 19 og 20, som viser variasjoner i siktedyp, turbiditet, farge og organisk stoff oksyderbart med kaliumdikromat og kaliumpermanganat. For eventuelt å få frem produksjonseffekter er kurvene tegnet på grunnlag av middelveidier av observasjonsresultater fra 0-8 m, altså over sprangsjiktet, og fra 8-15 meters dyp. <sup>Resultatene</sup> ~~Forholdene~~ under 15 meters dyp er på grunn av de reduktive forhold i de bunnære vannmasser antakelig lite representative for de faktiske forhold, og det har derfor liten hensikt å fremstille disse i denne sammenheng.

Selv om de ovenfor nevnte komponenter ikke gir noe mål for primærproduksjonen i Kolbotnvatn, viser de likevel et klart bilde av variasjonsmønsteret. Generelt sett betinger primærproduksjonen et relativt lite siktedyp, særlig først på sommeren, mens verdiene for vannets turbiditet, farge og innhold av organisk materiale øker. Variasjonsmønsteret i overflatelagene for de sistnevnte komponenter er relativt lave verdier om vinteren og noe høyere verdier om sommeren. I dyplagene er verdiene noe lavere først på sommeren enn på ettersommeren. Dette har sammenheng med nedsynking av dødt planktonmateriale. Med så få målinger er det vanskelig å få frem et godt variasjonsbilde for vannets innhold av organisk stoff i løpet av en produksjonsperiode. Det synes imidlertid som om det sommeren 1969 var 3 produksjonstopper, nemlig en i midten av mai, en rundt 20. juli og en i månedsskiftet september-oktober.

Forholdet mellom dikromattall og organisk karbon er forsøkt beregnet statistisk ut fra et relativt stort observasjonsmateriale fra Kolbotnvatn og Gjersjøen, og man er kommet frem til følgende uttrykk:

$$K_2Cr_2O_7 = 2,5 \text{ org. C.}$$

Vannets innhold av organisk karbon på de forskjellige observasjonsdager er på denne måte beregnet ut fra dikromattallet, og verdiene under  $1 \text{ m}^2$  overflate fra 0 til 18 m og fra 0 til 5 m dyp er tegnet inn på figurene 21 og 22. Figurene viser at totalt sett har vannet



Fig. 19 KOLBOTNVATN 1968 - 1970

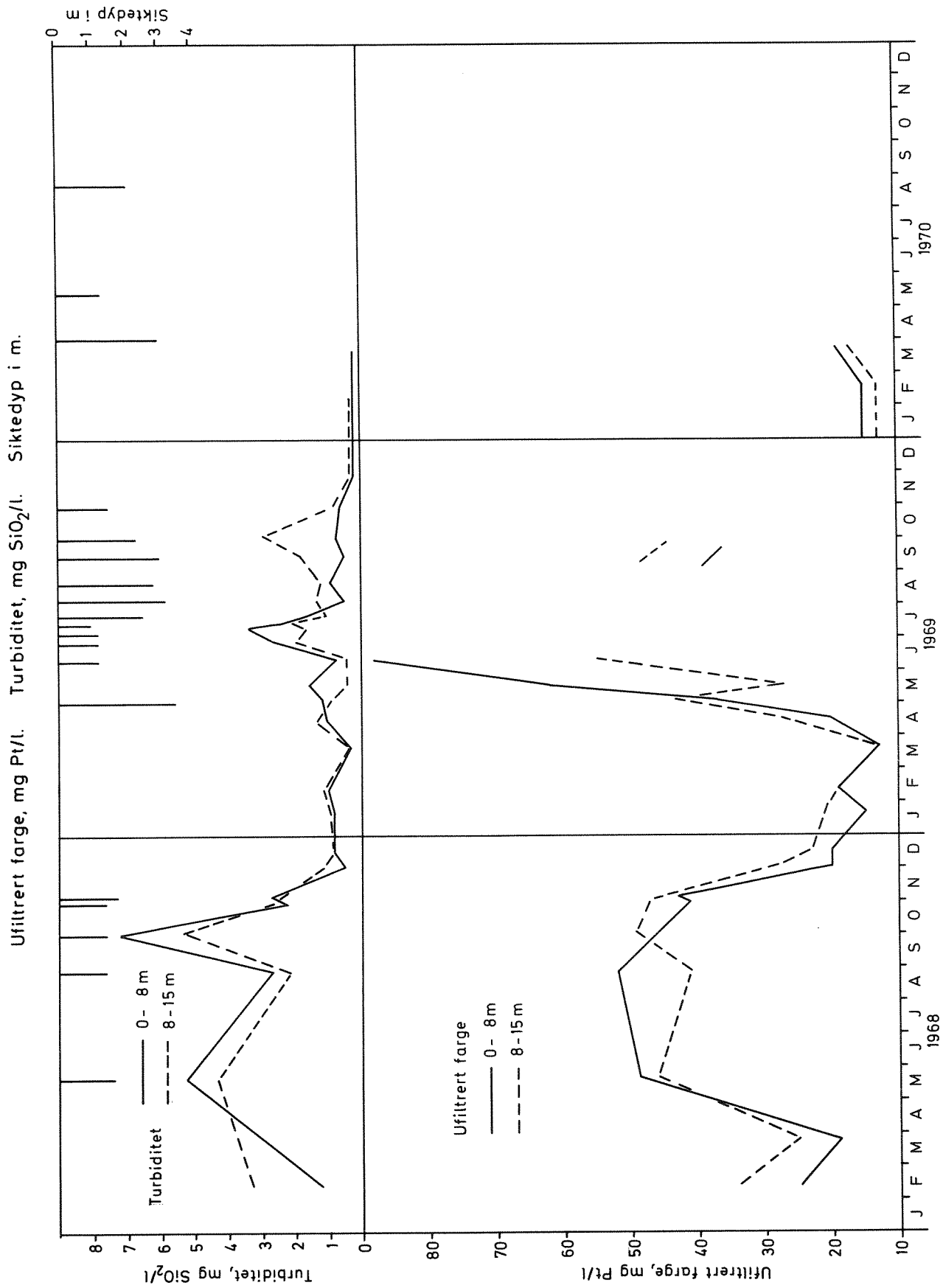


Fig. 20 KOLBOTNVATN 1968 - 1970

Organísk stoff (dikromattall, kaliumpermanganattall), mg O/l

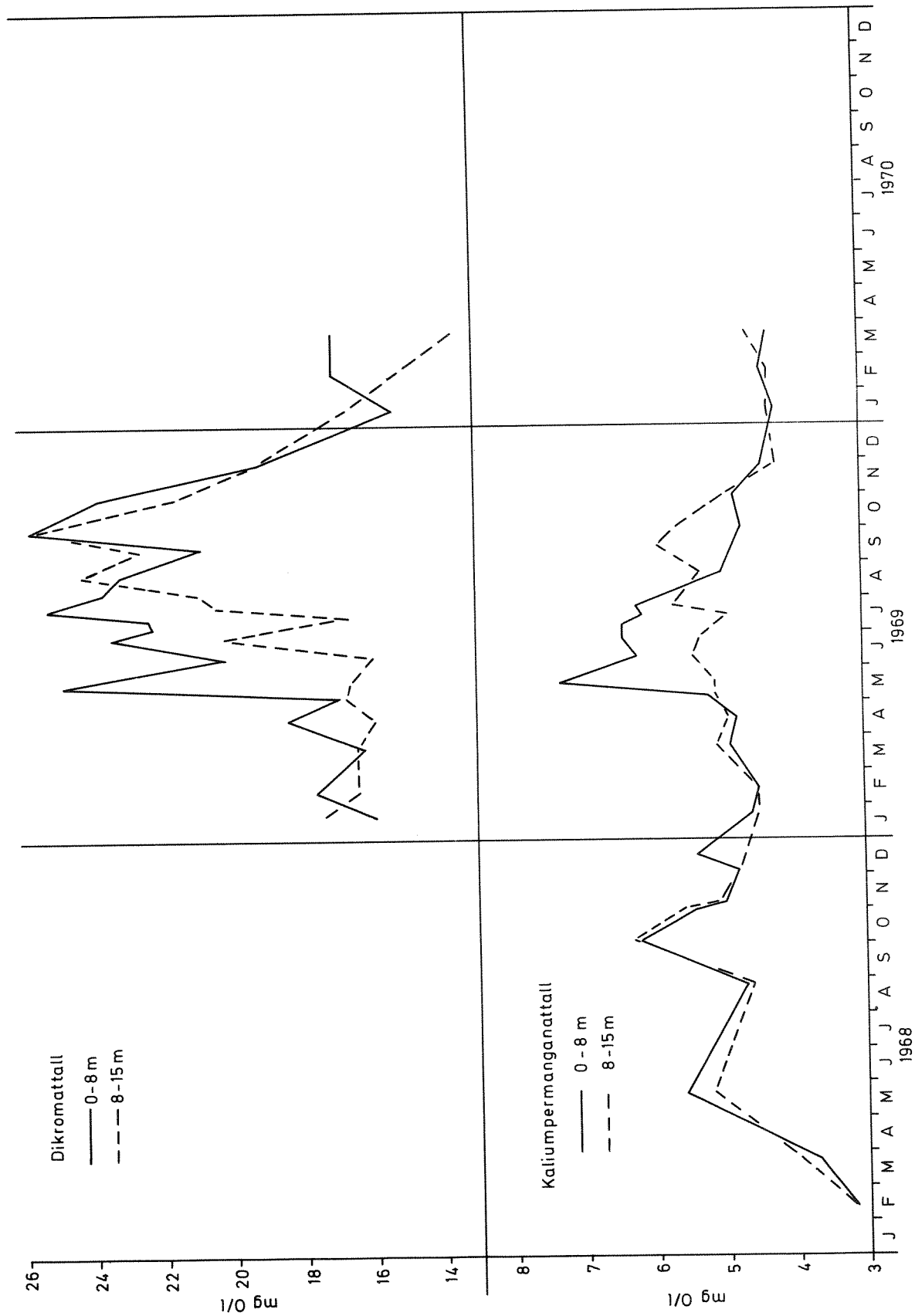


Fig. 21 KOLBOTNVATN

Organisk karbon i gram under 1m<sup>2</sup> overflate  
fra 0 til 18m (bunn)

Tallene er beregnet ut fra dikromattallet  
etter følgende ligning:

$$K_2Cr_2O_7 = 2,5 \cdot org.C$$

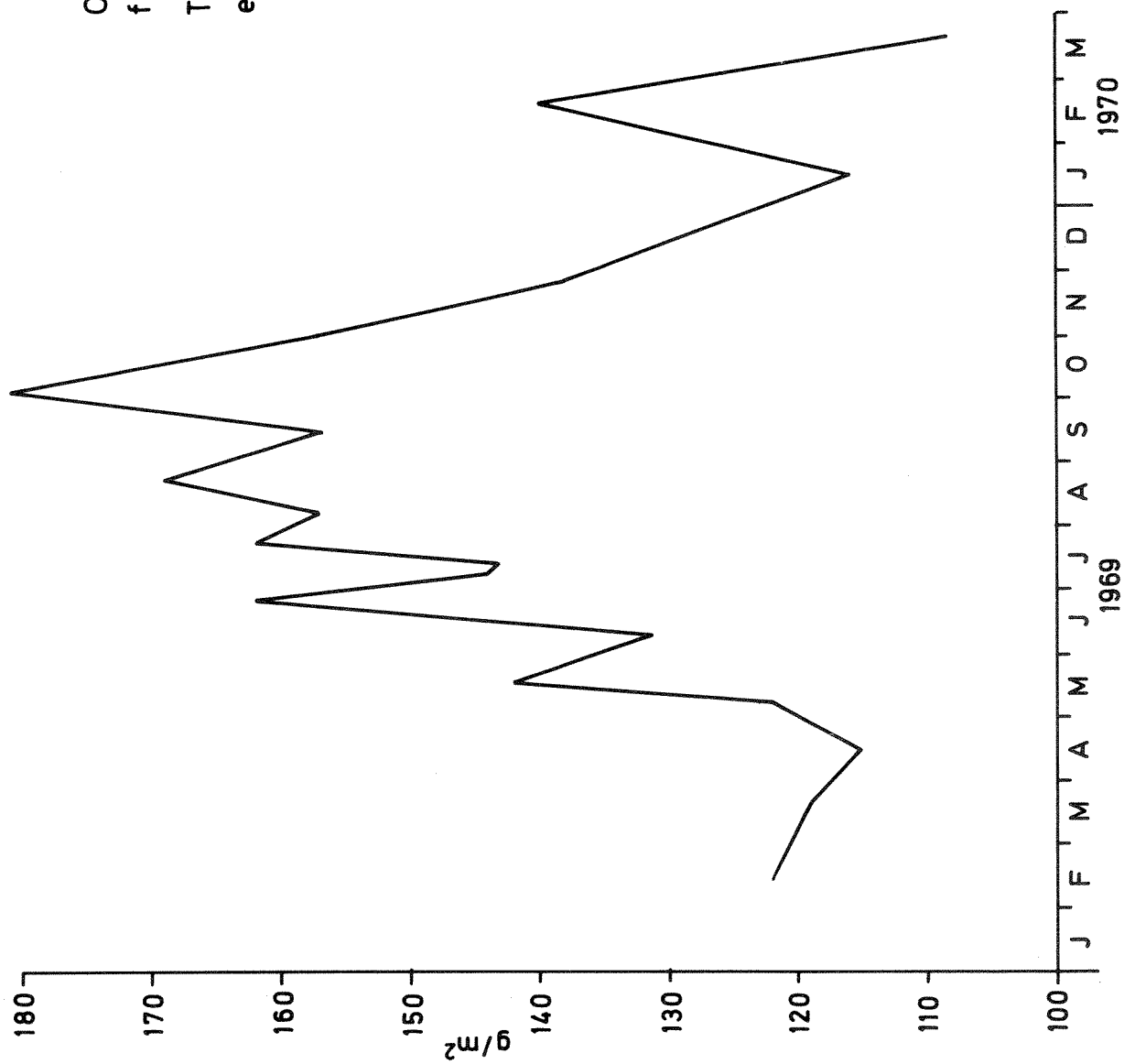
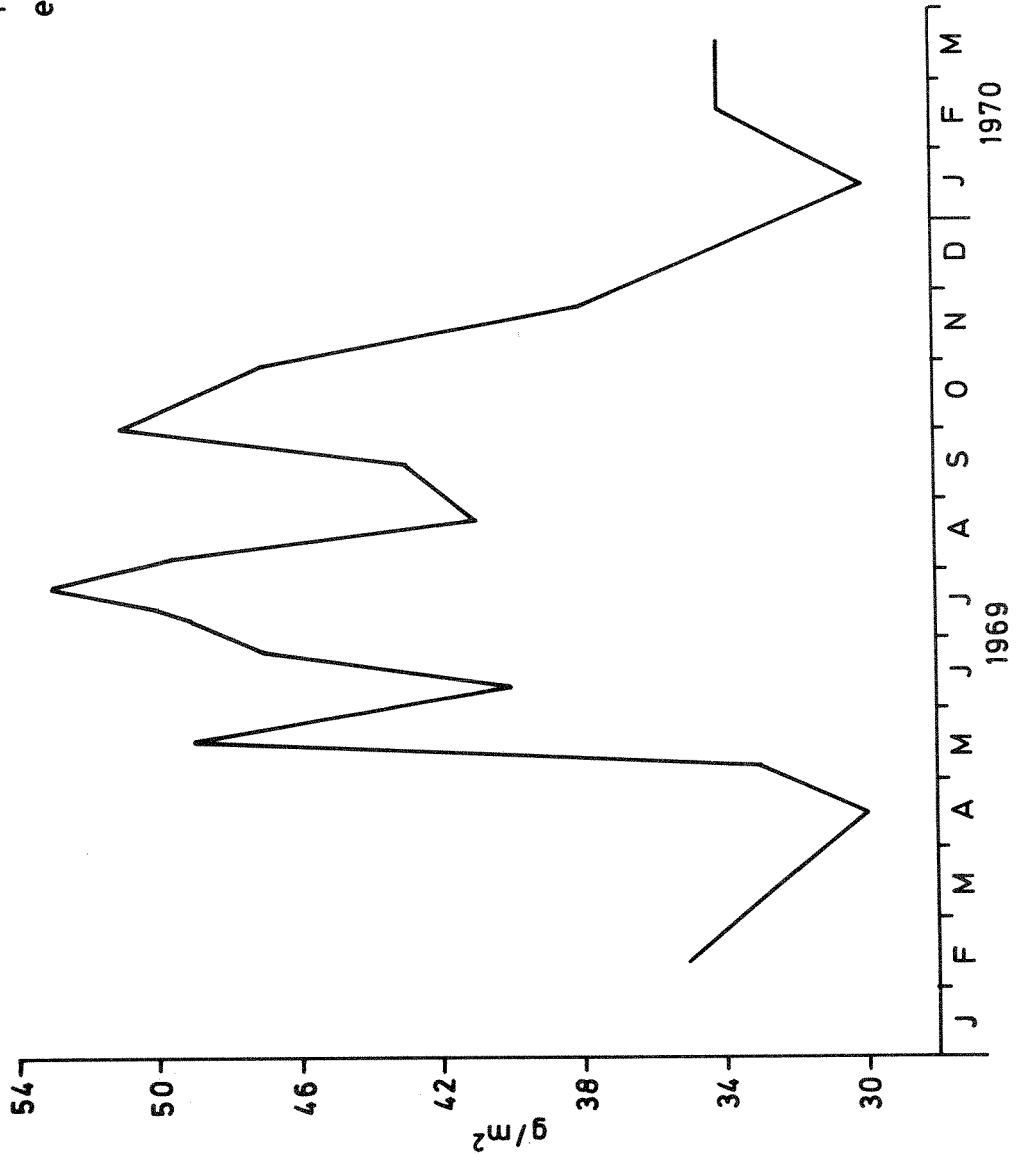


Fig. 22 KOLBOTNVATN

Organisk karbon i gram under 1m<sup>2</sup> overflate  
fra 0 til 5m

Tallene er beregnet ut fra dikromattallet  
etter følgende ligning:

$$K_2Cr_2O_7 = 2,5 \cdot \text{org.C}$$



sitt største innhold av organisk stoff ved månedsskiftet september-oktober, mens den laveste verdi ble observert om vinteren - i mars 1970. De høyeste verdier representerer 10 mg org. C/l, mens den laveste verdi representerer 6 mg org. C/l. Figuren som gjelder overflatelagene, viser variasjonsmønsteret i produksjonsforholdene med de 3 nevnte produksjonstopper om sommeren.

### 3. DISKUSJON AV DE HYDROGRAFISKE FORHOLD

Kolbotnvatn er en eutrofiert (produktiv) innsjø med masseoppblomstring av alger i sommerhalvåret. De biologiske forhold griper sterkt inn i det fysisk-kjemiske variasjonsmønster i innsjøen. På den annen side er det fysisk-kjemiske variasjonsmønster bestemmende for den biologiske utvikling i vannforekomsten. Det er med andre ord en vekselvirkning mellom de biologiske og fysisk-kjemiske forhold som er bestemmende for tilstanden i Kolbotnvatn.

En stor produksjon av planktonalger slik man har i Kolbotnvatn, representerer i første rekke store mengder organisk materiale. Generelt er vannets innhold av organisk materiale i en vannforekomst betinget av:

1. Tilførsel av organisk materiale fra nedbørfeltet - alloktont organisk materiale.
2. Produksjon av organisk materiale i selve vannforekomsten - autoktont organisk materiale.

I denne undersøkelse av Kolbotnvatn er det ikke gjort noe forsøk på å kvantifisere hvor mye organisk materiale som stammer fra nedbørfeltet og hvor mye som produseres i selve innsjøen. Ifølge observasjonsmaterialet er det imidlertid en betydelig økning av innsjøens innhold av organisk materiale i løpet av en produksjonsperiode. Vannets innhold av organisk karbon i 1969 er beregnet ut fra verdiene for kaliumdikromatforbruket. Disse beregningsresultater viser at vannets innhold av organisk karbon i overflatelagene økte fra ca. 6 mg organisk karbon pr. liter til ca. 10 mg organisk karbon pr. liter i løpet av produksjonsperioden.

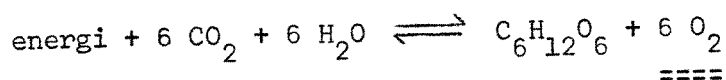
Det organiske materiale i overflatelagene representert ved den biologiske produksjon, er ikke konstant gjennom hele produksjonsperioden (sommersesongen). For det første er primærproduksjonen betinget av visse ytre miljøfaktorer (lys, temperatur, vindforhold osv.) som varierer fra dag til dag, for det andre er også en rekke miljøfaktorer underlagt visse langtidsvariasjoner (f.eks. forandringer i det fysisk-kjemiske miljø, forandringer i de klimatiske forhold osv.).

Som på landjorden vil en organisme lett dø ut eller bli utkonkurrert når vedkommende arts optimale livsbetingelser ikke lenger er til stede. I stedet vil nye arter, hvis fysiologiske vekstbetingelser mer er i overensstemmelse med de eksisterende miljøfaktorer, overta og komme til utvikling. Planktonmaterialet er stadig under nedbrytning, derved frigjøres en rekke næringsalter som kommer den fortsatte produksjon til gode. Disse suksesjonsforhold er ikke spesielt undersøkt i Kolbotnvatn, men vannets kjemiske oksygenforbruk i overflatelagene gir visse holdepunkter for variasjonsmønsteret som vannets innhold av organisk materiale har i løpet av en produksjonsperiode. I 1969 synes det som om det var 3 produksjonstopper, en på forsommeren (rundt midten av mai), en i siste halvdel av juli og endelig en i månedsskiftet september-oktober. Av grunner som nevnt ovenfor, er disse observasjonsverdiene for vannets innhold av organisk stoff intet mål for primærproduksjonens størrelse.

Det organiske materiale, både alloktont og autoktont, har som nevnt stor betydning for de øvrige kjemiske forhold i innsjøen. Ved forråtnelse eller destruksjon av slikt materiale forbrukes nemlig oksygen, som i det vesentligste tilføres innsjøen fra atmosfæren. Under stagnasjonsperioder er det liten eller ingen tilførsel av oksygen til de stagnerte vannmasser, dvs. hele innsjøen om vinteren og vannmassene under sprangsjiktet (som er betinget av temperaturen) om sommeren. Følgelig avtar oksygenreserven i de nevnte vannmasser i løpet av vinter- og sommersesongen. Mesteparten av det partikulære materiale synker til bunns og sedimenterer. Derfor er oksygenforbruket størst i de bunnære vannmasser hvor det lett oppstår anaerobe forhold. I Kolbotnvatn er de oksygenforbrukende prosesser

så omfattende i slutten av stagnasjonsperiodene at det er anaerobe forhold ikke bare i de dypeste lagene, men praktisk talt i hele den stagnerte vannmasse. Et annet forhold som er av stor betydning for vannets innhold av oksygen, er de termiske perioders varighet. Lange stagnasjonsperioder betyr nemlig en effektiv nedbrytning av organisk materiale, mens korte sirkulasjonsperioder betyr en dårlig utluftning av vannmassene. De termiske perioders varighet er avhengig av de klimatiske forhold, vannforekomstens størrelse, bassengets utforming og den geografiske beliggenhet med hensyn til vindpåvirkning o.l. Kolbotnvatns beliggenhet og morfometriske forhold betinger relativt lange stagnasjonsperioder og korte sirkulasjonsperioder, særlig om våren. Dette innebærer altså som nevnt ovenfor, en effektiv nedbrytning av organisk materiale og en dårlig luftning av vannmassene vår og høst. Ved inngangen til sommerstagnasjonsperiodene er det fortsatt anaerobe forhold i de dypereliggende lag.

Under produksjonsperioden om sommeren kan oksygenmetningen i overflatelagene av Kolbotnvatn på enkelte dager overstige 200%. Dette er et biologisk fenomen som har sammenheng med planteplanktonets produksjon av oksygen ved fotosyntesen:



Av denne reaksjonsprosess ser man at oppbygningen av organisk stoff medfører forbruk av karbondioksyd og produksjon av oksygen. Dette forårsaker bl.a. en økning av vannets surhetsgrad, og i Kolbotnvatn er det under produksjonsperioden om sommeren observert pH-verdier på henimot 10. (Produksjonens betydning for vannets surhetsgrad kan illustreres ved følgende forenklete reaksjon:  $\text{HCO}_3^- \longrightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{OH}^-$ ).

Den største betydning av de omtalte nedbrytningsprosesser (forråtning av organisk stoff) rent kjemisk sett, er at red-oks-potensialet avtar slik at en rekke kjemiske forbindelser reduseres. Dette medfører at tungt løselige forbindelser, f.eks. jern, mangan- og fosforforbindelser reduseres til en form som lett lar seg løse i vann (treverdige jern og mangan reduseres f.eks. til toverdige osv.). I de

dypere lag går reduksjonsprosessene så langt at f.eks. sulfationet ( $\text{SO}_4^{--}$ ) reduseres til sulfid ( $\text{S}^{--}$ ). Derfor kan det under stagnasjonsperioden i slike lokaliteter dannes store mengder hydrogen-sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) i de dypere lag.

I løpet av en stagnasjonsperiode øker konsentrasjonene av en rekke kjemiske komponenter, særlig i de bunnære lag. Ved diffusjonsprosesser føres så disse komponenter mot stadig høyere liggende lag, slik at konsentrasjonene også i disse lag øker i stagnasjonsperiodene. Under sirkulasjonsperiodene tilføres oksygen til vannmassene med den følge at red-oks potensialet øker. Følgelig vil de nevnte lett løselige forbindelser oksyderes og på nytt gå over til forbindelser som er tungt løselige i vann, og som etter hvert vil falle ut og sedimentere. Sirkulasjonsperiodene vil imidlertid medføre en mer eller mindre kortvarig forøkelse av de nevnte komponenters konsentrasjoner, også i overflatelagene.

Som det er antydnet tidligere, er det i Kolbotnvatn en hurtig oppblomstring av alger like etter isløsningen. For at en slik algevekst skal komme til utvikling, må det være god tilgang på plantenæringsstoffer (gjødselstoffer). Man må regne med at Kolbotnvatn også i dag tilføres slike stoffer fra nedbørfeltet, men plantenæringsstoffer som er akkumulert i Kolbotnvatn og som stadig er i omsetning der, vil alene kunne underholde en meget høy produksjon av planktonalger. Undersøkelles materialet viser at fosforinnholdet er størst i overflatelagene ( $>100 \mu\text{g P/l}$ ) like etter isløsningen og om høsten når de sirkulerende vannmasser bringer de frigjorte forbindelser fra bunnsedimentene opp til overflaten. Utover vinterstagnasjonsperioden øker også overflatevannets innhold av nitrater, slik at vannets innhold av slike forbindelser er maksimale like etter isløsningen. Fra da av, når algeproduksjonen begynner å gjøre seg gjeldende, avtar overflatevannets innhold av plantenæringsstoffer temmelig raskt. At produksjonen fortsetter utover sommeren, skyldes i liten grad tilførsel av plantenæringsstoffer fra nedbørfeltet, men derimot som nevnt nedbrytning av organisk materiale og derved en hurtig regenerering av plantenæringsstoffer som således på nytt stimulerer produksjonen. Dette er den egentlige årsak til den høye algeproduksjonen til tross for lave verdier for ortofosfater



og nitrater i overflatelagene om sommeren. Dette viser også at man ikke ut fra en enkel observasjon av de kjemiske forhold under produktionsperioden kan karakterisere produktjonsbetingelsene i en vannforekomst.

Samtidig med at algeproduksjonen holder nitratinnholdet nede i overflatelagene, foregår det i dyplagene en reduksjon av nitratforbindelser til ammoniumforbindelser (muligens også molekylært nitrogen - denitrifikasjon).

Det er altså to forskjellige prosesser som sammen er årsak til at innsjøens vannmasser praktisk talt er fri for nitrater fra midten av august og frem til at høstsirkulasjonen begynner å gjøre seg gjeldende, nemlig algenes forbruk av nitrater i overflatelagene og denitrifikasjonsprosesser i de anaerobe vannmasser i dyplagene.

Som nevnt er red-oks-potensialet bestemmende for variasjonsmønsteret for vannets innhold av jern- og manganforbindelser. Under stagnasjonsperiodene frigjøres disse komponenter i store mengder fra bunnsedimentene. Disse stoffer vil så diffundere mot stadig høyere liggende lag. I de ustabile forhold under sirkulasjonsperiodene anrikes også overflatelagene av disse stoffer. Red-oks-potensialet er noe høyere for mangan enn for jern. Følgelig reduseres mangan noe lettere og oksyderes noe vanskeligere enn jern. Under vinterstagnasjonsperiodene f.eks. er oksygeninnholdet og dermed red-oks-potensialet så lavt at manganforbindelsene blir holdt i løsning, mens jernforbindelsene oksyderes og faller ut.

#### 4. GENERELT OM EUTROFIUTVIKLINGEN I EN INNSJØ, MED SPESIELT HENBLIKK PÅ KOLBOTNVATN

At en innsjø gjennomgår en eutrofieringsutvikling eller utvikler seg mot mer produktive tilstander, har sammenheng med at plantenæringsstoffer etter hvert som tiden går, akkumuleres i innsjøen eller dens bunnsedimenter. Utviklingshastigheten for upåvirkede innsjøer er betinget av bl.a. den geografiske beliggenhet, geologiske forhold i nedbørfeltet, innsjøens form og dybdeforhold samt vannmassenes oppholdstid i innsjøen. Plantenæringsstoffer som er akkumulert i

bunnsedimentene, vil imidlertid ikke ha noen innvirkning på planktonproduksjonen før det er utviklet et reduktivt miljø i dyplagene. Det vil i praksis si når oksygenforrådet i dyplagene til sine tider er redusert til et minimum. Oksygenforholdene i dyplagene er igjen bestemt av nedbrytbart (oksyderbart) organisk materiale som til dels tilføres innsjøen fra nedbørfeltet og til dels produseres i selve innsjøen. Når så dette reduktive miljø er utviklet, vil en rekke kjemiske forbindelser, deriblant fosforforbindelser, reduseres og danne nye, lett løselige forbindelser. Under sirkulasjonsperiodene vil så disse løste salter bli bragt til overflatelagene og vil der stimulere produksjonen.

En naturlig eutrofieringsutvikling er imidlertid en uhyre langsom prosess, men så snart man begynner å tilføre en innsjø forurensninger, griper man inn i det naturlige hendelsesforløp med den følge at stoffomsetningen i innsjøen kommer ut av likevekt. Utviklingshastigheten er da betinget av hvor store mengder av slike forurensninger innsjøen mottar. Små og grunne innsjøer er særlig ømfintlige for tilførsler av plantenæringsstoffer, men også store og dype innsjøer vil etter hvert og med akselererende tempo reagere på forurensningsbelastningene de er utsatt for.

Som det går frem av foranstående, må utviklingen mot de produktive forhold man nå har i Kolbotnvatn, ha foregått over et noe lenger tidsrom. Det er imidlertid ikke mulig å rekonstruere utviklingskurvens forløp. Årsaken til forløpet er stor tilførsel av plantenæringsstoffer, da i første rekke fosfor- og nitrogenforbindelser. I hvilken grad dette skyldes avrenning fra septiktanker, lekkasjer og/eller overbelastning på kloaknettet, overflateavrenning fra tettsteder o.l., er det umulig å ha noen formening om. Det er imidlertid utelukket at forholdene i Kolbotnvatn bare skyldes et brudd på avløpsnettet høsten 1966, selv om den store tilførsel av kloakkvann til innsjøen dette bruddet forårsaket, var uheldig også sett i eutrofi-eringssammenheng. En analyse av årsakssammenhengen når det gjelder tilstanden i Kolbotnvatn, er en meget omfattende og vanskelig oppgave som bl.a. krever en analyse av befolkningsutviklingen i området. Dette nødvendiggjør et registreringsarbeid som antakelig kommunen selv

best kan utføre. På bakgrunn av dette registreringsmateriale vil det til en viss grad være mulig å rekapitulere hendelsesforløpet.

## 5. RESTAURERING AV KOLBOTNVATN

Som nevnt tidligere, virker innsjøer som feller for en rekke komponenter, bl.a. plantenæringsstoffer. Denne akkumulering vil selvsagt finne sted så lenge tilførslene er større enn transporten ut av systemet. Eksemplet med Kolbotnvatn viser at vannets innhold av f.eks. fosfater og nitrater som tradisjonelt betraktes som minimumsfaktorer, er lavt gjennom hele sommerhalvåret. Dette innebærer bl.a. at transporten av disse stoffer ut av systemet er relativt liten i denne tidsperiode. Middellavrenningen fra Kolbotnvatn er oppgitt til ca. 44 l/sek. Settes fosforkonsentrasjonen i Kolbotnvatns overflate lik 50 µg P/l om sommeren og 100 µg P/l om vinteren, er den årlige transport av fosfor ut av systemet ca. 75 kg. Hvis vi regner at et menneske produserer ca. 4 g fosfor pr. døgn, vil det fosfor som transporteres ut av systemet, representere avløpsvann fra ca. 50 personer. Med andre ord er det relativt sett så små mengder fosfor som transporteres ut av systemet, at det er vanskelig å tenke seg at tilførselen fra nedbørfeltet selv ved avskjærende avløps-systemer kan holdes lavere (enn transporten ut). De akkumulerte fosformengder kan underholde en høy planktonproduksjon i lang tid fremover. Forutsetningen er selvsagt da at plantenæringsstoffer forøvrig er tilstede i tilstrekkelige mengder.

Hvis målsettingen er å snu utviklingen mot mindre produktive tilstander, foreligger fire muligheter prinsipielt sett:

1. Luftning av vannforekomsten.
2. Tilsetning av stoffer som hindrer produksjon av plankton (bruk av toksiske stoffer).
3. Tilsetning av stoffer som binder plantenæringsstoffene i bunnsedimentene.
4. Oppsamling og fjerning av plantenæringsstoffer.

1. Nedbrytning av organisk materiale i vannet og i sedimentene er oksygenkrevende prosesser. I Kolbotnvatn resulterer disse prosesser i anaerobe forhold. Det reduktive miljø som dannes på denne måte, er i høy grad årsak til de høye konsentrasjoner av jern, mangan, fosfor osv. i dyplagene, og også i de høyere-liggende lag.

Ved tilførsel av luft eller oksygen vil man kunne forhindre at et slikt reduktivt miljø blir etablert, og derved kan de nevnte komponenter i høy grad bli holdt bundet i bunnsedimentene.

Slike luftningsforsøk er blitt gjort i en rekke vannforekomster verden over, til dels med godt resultat.

2. Over hele verden brukes kjemiske midler for å bekjempe planteplanktonproduksjonen i vannforekomster. Det er imidlertid vanskelig å finne stoffer som er selektive og som bare angriper de arter man vil utrydde. Som regel vil nemlig slike stoffer virke drepende også på organismesamfunn man vil søke å bevare, f.eks. fisk. Slike stoffer er derfor lite å anbefale for å bekjempe algeoppblomstringen i Kolbotnvatn. Det foregår eksperimenter med bruk av visse virusarter for å bekjempe algeoppblomstring i vannforekomster, men dette er tiltak som foreløpig er på forsøksstadiet og derfor ikke å anbefale på nåværende tidspunkt.

3. Forsøk med bruk av kjemiske stoffer, f.eks. <sup>aluminium</sup> ~~natrium~~sulfat, som kan binde enkelte forurensningskomponenter, har vært utført i en del lokaliteter utenlands, bl.a. i Sverige. Slike forsøk er imidlertid av en heller ny dato, og i hvert fall foreløpig foreligger sparsomme opplysninger om eventuelle langtidseffekter av slike tiltak.

4. Den mest effektive måte å restaurere innsjøer på er å fjerne de akkumulerte stoffer, det vil i praksis si de øverste lag av bunnsedimentene i vannforekomsten. Dette må da skje ved utskrapning eller utsugning av sedimentene, og vil antagelig både i teknisk og økonomisk sammenheng bli en svær oppgave.

Som det går frem av rapporten, er stoffkonsentrasjonene størst i de bunnære vannmasser, og det vil derfor være av stor betydning for stoffomsetningen i innsjøen hvis man med hevertssystemer kunne fjerne de dypereliggende vannmasser. Ved en slik løsning må man bl.a. ta i betraktning at avløpsbekken fra Kolbotnvatn renner ut i Gjersjøen. Allikevel vil vi anbefale at denne løsning vurderes grundig, hvis man vil arbeide for å bedre forholdene i Kolbotnvatn.