

Arreskov Sø 1993

Løbenr.: 15

Eksemplar nr.: 1/3



Fyns Amt



Arreskov Sø 1993



Titel: VANDMILJØovervågning - Arreskov Sø 1993

Udgiver: Fyns Amt
Natur- og Vandmiljøafdelingen
Ørbækvej 100
5220 Odense SØ

Telefon 66 15 94 00
Telefax 66 15 45 59

Udgivelsesår: Maj 1994

Tryk: Fyns Amt/Barlebo Bogtryk

Oplag: 150

Forside: Mimi Fuglsang

Kortmateriale: Copyright Kort- og Matrikelstyrelsen 1992/KD.86.1023

ISBN 87-7343-203-2

OBS	AAR	KVARTAL	MTIL_P	INDSIVP	TIL_P	AFL_P	UDSIVP	RET	RETPCKV
1	1989	1	7361.81	2067.26	12412.12	6937.00	41.64	1620.87	13.059
2	1989	2	2894.13	2584.73	7373.00	4422.64	260.65	11349.27	153.930
3	1989	3	623.28	80.64	2044.59	752.21	615.57	-1484.56	-72.609
4	1989	4	4584.67	155.98	7046.83	6168.79	1819.96	-13635.77	-193.502
5	1990	1	13548.12	6460.16	24499.13	18606.07	0.00	9729.36	39.713
6	1990	2	2294.14	0.57	4042.61	1806.02	217.44	13492.21	333.750
7	1990	3	2562.93	298.82	4675.17	2621.03	467.82	-6906.36	-147.724
8	1990	4	10039.75	5737.70	19413.20	10870.79	0.00	7377.48	38.002
9	1991	1	13653.85	1159.25	19329.71	11983.76	122.69	6095.38	31.534
10	1991	2	3330.35	873.06	6203.87	2217.47	0.00	14719.32	237.260
11	1991	3	1063.36	0.00	2511.29	2079.03	934.66	-1916.23	-76.305
12	1991	4	4119.70	1064.57	7377.12	3097.49	59.40	6717.52	91.059
13	1992	1	10381.43	1961.36	16061.81	6177.58	134.94	11473.86	71.436
14	1992	2	4192.34	1184.93	7587.82	2668.55	103.44	10389.98	136.930
15	1992	3	558.85	0.00	1883.81	627.03	621.40	2149.56	114.107
16	1992	4	12057.24	3579.57	19764.29	4169.54	331.16	4351.54	22.017
17	1993	1	14392.23	1822.74	20911.56	7449.00	335.16	12892.79	61.654
18	1993	2	1150.76	695.17	3315.16	656.51	129.90	14718.46	443.974
19	1993	3	1171.86	0.00	2646.23	1356.71	754.37	-1163.54	-43.969
20	1993	4	12147.59	5202.70	21499.79	5308.37	14.23	9718.77	45.204

	M		M	N	F	A	T	I	U	I
	N		A	E	O	F	I	N	D	N
O	T	A	N	D	R	L	L	D	S	S
B	O	A	E	B	D			I	I	I
S	T	R	D	I	U	Q	Q	V	V	P
1	3.05315	1989	1	52.305	7.925	675.84	631.46	242.251	0.000	1498.69
2	3.26254	1989	2	117.924	28.213	385.22	295.51	0.000	9.213	0.00
3	3.60548	1989	3	235.531	72.276	753.82	590.57	62.196	0.000	568.57
4	3.35247	1989	4	155.964	148.990	608.96	601.98	273.807	0.000	1889.30
5	2.36297	1989	5	42.161	310.660	258.34	305.84	131.543	0.000	695.44
6	2.38076	1989	6	81.786	317.317	141.68	95.21	0.000	110.535	0.00
7	2.20255	1989	7	253.600	327.144	189.50	77.05	0.000	174.302	0.00
8	2.73454	1989	8	255.502	241.871	75.48	92.84	0.000	63.150	0.00
9	2.94820	1989	9	111.267	129.970	26.05	106.75	27.446	0.000	80.64
10	3.04703	1989	10	245.041	57.060	44.95	137.97	15.356	0.000	57.51
11	4.15022	1989	11	81.786	9.510	23.83	140.55	22.242	0.000	98.47
12	5.09000	1989	12	266.280	6.023	466.22	363.96	0.000	142.142	0.00
13	5.97504	1990	1	249.162	10.778	645.71	819.33	353.841	0.000	3423.34
14	5.99200	1990	2	242.822	25.043	1068.97	788.19	129.040	0.000	1446.67
15	4.37086	1990	3	162.304	74.495	1037.51	695.70	168.969	0.000	1590.14
16	3.50424	1990	4	102.391	163.255	252.13	249.99	0.000	3.983	0.00
17	2.80783	1990	5	43.746	278.643	122.97	103.86	0.134	0.000	0.57
18	2.55105	1990	6	379.132	219.681	144.75	175.30	0.000	60.228	0.00
19	3.02960	1990	7	163.889	309.075	134.65	120.84	0.000	16.729	0.00
20	3.72672	1990	8	232.678	259.623	71.09	193.04	61.187	0.000	298.82

	A		U		A	T		N		T	T
	T		D		R	I		T	N	O	O
O	M		S	V	E	L	A	O	R	T	T
B			I	O	A		F	T	E	Q	Q
S	N		V	P	L	N	L	M	T	T	F
			P	R	L		N	2	2	L	A
1	396.25	0.00	24	5880	3.17	4302.81	2040.82	45.245	17.408	683.77	675.84
2	396.25	41.64	24	5880	3.17	2314.31	1653.47	24.336	-5.998	413.43	385.22
3	396.25	0.00	24	5880	3.17	5794.99	3242.71	60.936	5.634	826.10	753.82
4	396.25	0.00	24	5880	3.17	4550.01	3309.66	47.844	28.686	757.95	608.96
5	396.25	0.00	24	5659	3.17	2013.15	782.68	21.169	79.611	348.00	258.34
6	396.25	260.65	24	5377	3.17	809.84	330.30	8.516	11.044	176.99	141.68
7	396.25	436.17	24	5191	3.17	614.09	472.26	6.457	15.875	330.65	189.50
8	396.25	179.39	24	5222	3.17	720.61	212.61	7.577	-24.588	348.35	75.48
9	396.25	0.00	24	5284	3.17	709.89	67.34	7.465	-6.898	218.02	26.05
10	396.25	0.00	24	5565	3.17	912.94	229.97	9.600	-7.313	383.01	44.95
11	396.25	0.00	24	5754	3.17	1018.55	183.05	10.710	-64.018	222.34	23.83
12	396.25	1819.96	24	5912	3.17	5115.34	5755.76	53.789	-72.052	630.24	466.22
13	396.25	0.00	24	6324	3.17	8323.10	4511.52	87.519	-40.826	1068.49	645.71
14	396.25	0.00	24	6261	3.17	9232.67	8085.52	97.084	14.904	1031.01	1068.97
15	396.25	0.00	24	6007	3.17	6943.36	6009.02	73.011	128.228	858.00	1037.51
16	396.25	17.49	24	5944	3.17	1891.07	1050.81	19.885	65.897	352.38	252.13
17	396.25	0.00	24	5690	3.17	837.50	289.11	8.806	56.793	147.61	122.97
18	396.25	199.95	24	5880	3.17	1314.05	466.11	13.818	19.184	554.43	144.75
19	396.25	52.89	24	5721	3.17	890.32	406.47	9.362	-19.436	284.73	134.65
20	396.25	0.00	24	5816	3.17	1339.01	230.43	14.080	-34.003	425.72	71.09

	M		M	N	F	A	T	I	U	I
	N		A	E	O	F	I	N	D	N
O	T	A	N	D	R	L	L	D	S	S
B	O	A	E	B	D			I	I	I
S	T	R	D	I	U	Q	Q	V	V	P
21	3.92733	1990	9	487.229	117.290	407.98	323.04	0.000	81.808	0.00
22	4.35874	1990	10	184.811	45.014	702.58	530.79	195.505	0.000	1626.77
23	3.66671	1990	11	296.078	7.608	693.41	626.94	65.236	0.000	597.44
24	3.87681	1990	12	144.235	6.974	819.88	872.62	380.094	0.000	3513.49
25	4.02185	1991	1	300.833	6.974	1296.65	938.80	0.000	27.702	0.00
26	4.16989	1991	2	110.316	16.801	837.40	551.88	98.140	0.000	850.39
27	4.32538	1991	3	118.241	57.694	722.86	535.31	41.462	0.000	308.86
28	4.12763	1991	4	108.097	145.186	336.64	405.72	118.291	0.000	712.82
29	3.21253	1991	5	121.411	236.799	184.70	268.09	8.953	0.000	48.29
30	2.45000	1991	6	377.547	222.851	104.34	236.64	23.566	0.000	111.94
31	2.48262	1991	7	121.094	321.755	169.03	145.69	0.000	52.753	0.00
32	3.19679	1991	8	131.238	255.502	247.24	87.50	0.000	130.949	0.00
33	3.07762	1991	9	286.885	147.088	273.07	102.28	0.000	108.548	0.00
34	2.58808	1991	10	143.284	49.769	195.05	132.53	0.000	18.554	0.00
35	2.46110	1991	11	218.413	15.850	203.79	318.23	75.823	0.000	483.60
36	2.52416	1991	12	172.765	10.144	662.71	468.09	76.952	0.000	580.97
37	2.79840	1992	1	122.679	11.729	865.05	469.10	0.000	44.075	0.00
38	2.58853	1992	2	128.385	25.043	664.41	561.07	126.382	0.000	1073.76
39	2.33828	1992	3	253.283	72.910	769.45	684.08	102.946	0.000	887.60
40	2.42718	1992	4	232.361	132.823	572.80	536.26	112.518	0.000	862.60

	A		U		A	T	A	N		T	T
	T		D		R	I	O	N		O	O
O	M		S	V	E	L	T	E	R	T	T
B			I	O	A		L	T		Q	Q
S	N		V	N	L	N	N	M	M	I	R
			P	R	L			2	2	L	A
21	396.25	414.934	24	6101	3.17	2445.84	1984.12	25.719	-19.1837	810.27	407.98
22	396.25	0.000	24	6069	3.17	4812.84	3249.26	50.608	-9.7683	715.60	702.58
23	396.25	0.000	24	6291	3.17	6137.86	2989.42	64.541	68.7109	923.02	693.41
24	396.25	0.000	24	6481	3.17	8462.50	4632.12	88.985	18.6334	1016.85	819.88
25	396.25	122.689	24	6417	3.17	9767.50	5453.38	102.708	38.1859	1239.63	1296.65
26	396.25	0.000	24	6225	3.17	5178.34	3527.09	54.452	15.7933	662.20	837.40
27	396.25	0.000	24	6098	3.17	4383.88	3003.29	46.098	10.1152	653.55	722.86
28	396.25	0.000	24	6130	3.17	2841.15	1217.85	29.875	28.3606	513.82	336.64
29	396.25	0.000	24	6098	3.17	1842.38	722.94	19.373	71.8382	389.50	184.70
30	396.25	0.000	24	6385	3.17	1520.35	276.68	15.987	54.5785	614.19	104.34
31	396.25	109.722	24	6161	3.17	993.28	339.12	10.445	10.5364	266.79	169.03
32	396.25	455.195	24	5877	3.17	711.08	838.61	7.477	-38.0613	218.74	247.24
33	396.25	369.739	24	5846	3.17	806.93	901.30	8.485	7.3754	389.16	273.07
34	396.25	59.400	24	5877	3.17	1021.00	595.35	10.736	33.7246	275.82	195.05
35	396.25	0.000	24	6194	3.17	2425.89	569.91	25.509	19.1599	536.64	203.79
36	396.25	0.000	24	6162	3.17	3930.24	1932.23	41.327	17.7519	640.85	662.71
37	396.25	134.939	24	5877	3.17	4604.28	2519.02	48.415	12.5436	591.78	865.05
38	396.25	0.000	24	5877	3.17	5163.18	1714.02	54.292	49.2386	689.45	664.41
39	396.25	0.000	24	5972	3.17	6294.36	1944.54	66.187	58.8682	937.36	769.45
40	396.25	0.000	24	6035	3.17	4507.39	1513.44	47.396	24.2918	768.62	572.80

			M					I		I
	M		A	N	F	A	T	N	U	N
	N		A	E	O	F	I	D	D	D
O	T	A	N	D	R	L	L	S	S	I
B	O	A	E	B	D			I	I	V
S	T	R	D	I	U	Q	Q	V	V	P

41	2.00628	1992	5	59.596	316.683	432.43	311.52	50.052	0.000	322.34
42	1.63589	1992	6	8.242	389.910	167.27	83.94	0.000	66.293	0.00
43	1.54648	1992	7	143.918	352.187	68.69	62.96	0.000	66.724	0.00
44	2.93420	1992	8	334.752	247.894	90.49	64.63	0.000	90.143	0.00
45	1.49916	1992	9	174.984	120.460	107.56	84.03	0.000	107.555	0.00
46	1.40955	1992	10	233.629	48.501	38.85	130.72	0.000	38.159	0.00
47	1.96721	1992	11	501.494	11.095	115.62	761.22	274.533	0.000	3579.57
48	3.05759	1992	12	186.713	7.291	1109.85	610.42	0.000	11.887	0.00
49	3.46060	1993	1	309.709	24.092	890.96	1087.35	82.638	0.000	855.88
50	3.42191	1993	2	72.910	21.556	1128.78	627.42	0.000	90.337	0.00
51	3.02441	1993	3	41.844	73.544	197.47	453.17	136.085	0.000	966.86
52	2.15448	1993	4	47.233	180.056	174.63	307.45	132.555	0.000	695.17
53	1.55224	1993	5	100.172	280.228	96.17	84.23	0.000	50.847	0.00
54	1.21192	1993	6	116.973	298.297	45.39	67.72	0.000	23.682	0.00
55	2.13218	1993	7	205.416	263.744	73.43	68.76	0.000	71.268	0.00
56	1.65406	1993	8	213.341	219.364	53.14	59.16	0.000	48.527	0.00
57	1.58279	1993	9	425.097	95.734	363.56	225.19	0.000	61.796	0.00
58	1.61260	1993	10	213.341	38.040	247.46	425.16	0.000	8.187	0.00
59	1.71243	1993	11	152.477	12.046	55.32	435.89	143.866	0.000	1164.07
60	2.25012	1993	12	358.527	6.023	1703.46	1515.96	436.889	0.000	4038.63

								N		T	T
	A		U		A	T	A	T	N	O	O
	T		D		R	I	F	O	R	T	T
O	M		S		E	L	L	T	E	Q	Q
B			I	V	A				T	T	F
S	N		V	N	A	N	N	M	M	I	R
			P	R	L			2	2	L	A

41	396.25	0.000	24	5657	3.17	2402.43	902.21	25.262	50.4599	371.11	432.43
42	396.25	103.438	24	5192	3.17	678.01	252.89	7.129	34.5015	92.18	167.27
43	396.25	138.663	24	4978	3.17	569.06	142.53	5.984	12.8464	206.87	68.69
44	396.25	482.739	24	5039	3.17	613.64	484.50	6.453	-73.1643	399.38	90.49
45	396.25	0.000	24	5070	3.17	701.10	0.00	7.372	82.9211	259.02	107.56
46	396.25	290.561	24	5347	3.17	1163.94	295.57	12.239	9.8028	364.35	38.85
47	396.25	0.000	24	6483	3.17	10321.62	276.74	108.534	50.7710	1262.71	115.62
48	396.25	40.597	24	6163	3.17	8278.73	3597.23	87.053	-14.8163	797.14	1109.85
49	396.25	0.000	24	6645	3.17	11657.81	2830.24	122.585	49.1674	1397.05	890.96
50	396.25	335.162	24	6195	3.17	5637.79	3989.57	59.283	36.2268	700.33	1128.78
51	396.25	0.000	24	6419	3.17	3615.96	629.19	38.023	50.1767	495.02	197.47
52	396.25	0.000	24	6419	3.17	2008.65	415.79	21.121	75.4674	354.68	174.63
53	396.25	88.826	24	6227	3.17	699.05	163.93	7.351	49.4108	184.40	96.17
54	396.25	41.073	24	6068	3.17	607.46	76.79	6.388	29.8900	184.69	45.39
55	396.25	437.235	24	6005	3.17	589.53	449.81	6.199	-55.8373	274.17	73.43
56	396.25	193.572	24	6005	3.17	574.84	211.03	6.045	34.0162	272.51	53.14
57	396.25	123.562	24	6196	3.17	1481.86	695.87	15.582	9.5862	650.29	363.56
58	396.25	14.227	24	6549	3.17	3166.74	408.62	33.299	21.0745	638.50	247.46
59	396.25	0.000	24	7070	3.17	3923.17	192.15	41.253	22.9760	588.36	55.32
60	396.25	0.000	24	7235	3.17	14409.88	4707.60	151.523	58.1448	1874.49	1703.46

OBS	AAR	_TYPE_	_FREQ_	TIL_N	AFL_N	RETY	TIL_Q	AFL_Q
1	1989	0	12	28876.53	18280.63	-2150.19	3439.70	3649.89
2	1990	0	12	52630.11	33903.91	23692.69	5499.63	6101.63
3	1991	0	12	35422.00	19377.75	25615.99	4190.76	5233.47
4	1992	0	12	45297.73	13642.70	28364.93	4359.96	5002.47
5	1993	0	12	48372.74	14770.59	36166.48	5357.45	5029.77

OBS	INDSIV	UDSIV	NEDBI	FORDU	INDSIVP	UDSIVP	RETYPC
1	774.84	499.342	1899.15	1656.96	4888.61	2737.82	-7.4461
2	1354.01	162.749	2688.48	1517.48	12497.25	685.26	45.0174
3	443.19	338.506	2210.12	1486.41	3096.87	1116.75	72.3166
4	666.43	424.837	2380.04	1736.53	6725.86	1190.94	62.6189
5	932.03	354.644	2257.04	1512.72	7720.61	1233.66	74.7662



Indholdsfortegnelse

	Side
Forord	1
Indledning	3
1. Beskrivelse af søen og dens opland	5
1.1 Søens beliggenhed og morfometri	5
1.2 Målsætning for søens kvalitet og anvendelse	5
1.3 Søens miljøtilstand	10
2. Meteorologiske og hydrologiske forhold	11
3. Søens eksterne belastningsforhold	15
3.1 Oplandsbeskrivelse	15
3.2 Historiske belastningsforhold	17
3.3 Total ekstern belastning med kvælstof og fosfor	18
3.4 Afstrømning af kvælstof og fosfor	20
3.5 Atmosfærisk deposition	26
3.6 Grundvand	27
3.7 Øvrige belastningskilder	27
3.8 Vurdering af belastningen fra de enkelte hovedtilløb til søen	27
3.9 .Udviklingstendenser i søens eksterne belastningeforhold 1989-93	31
3.10 Vurdering af muligheder for begrænsning af næringsstofftilførsel til søen	32
4. Vandbalance	33
5. Stofbalance	37
6. Fysisk-kemiske forhold i søen	41
6.1 Søvand	41
6.2 Sammenhæng mellem stoftilførsel og stofkoncentration i søen	47
6.3 Stofudveksling mellem atmosfære, søvand og sediment	50
7. Biologiske forhold i søen	57
7.1 Planteplankton	57
7.2 Dyreplankton	59
7.3 Fiskebestandens udvikling 1987-93	65
7.4 Bundvegetation	67
8. Udvikling i søens miljøtilstand	71
8.1 Tidligere tilstand	71
8.2 Tilstanden i 1993	76
8.3 Søens fremtidige tilstand	77
9. Sammenfatning og konklusion	81

Referencer	85
-----------------------------	----

Bilag 1. Anvendt metodik	89
Bilag 2. Vandbalance på måneds-, sommer- og årsbasis, 1993	98
Bilag 3. Stofbalance på måneds-, sommer- og årsbasis, 1993	99
Bilag 4. Oversigt over fysisk-kemiske parametre: Års- sommer og vintergennemsnit, 1974-93	100
Bilag 5. Månedlig nettoudveksling af total-kvælstof via interne processer, 1993	104
Bilag 6. Månedlig nettoudveksling af total-fosfor med sediment, 1993	105
Bilag 7. Sammenhænge mellem målte fysisk-kemiske og biologiske variable, 1989-93.	107
Bilag 8. Oversigt over biologiske parametre, 1987-93	108
Bilag 9. Resultater fra vegetationsundersøgelse, 1993	110

Forord

I foråret 1987 vedtog Folketinget en handlingsplan (Vandmiljøplanen), der skal nedbringe næringsstofbelastningen af det danske vandmiljø.

Målet med Vandmiljøplanen er at reducere den samlede kvælstofudledning til overfladevand og grundvand med 50% fra 290.000 til 145.000 tons pr. år og fosforudledningen med 80% fra 15.000 til 3.000 tons pr. år.

Vandmiljøplanen indebærer bl.a. øget spildevandsrensning for kommuner og industri samt krav til jordbruget med henblik på at mindske tilførslerne af næringsstoffer til vandmiljøet.

Samtidig er der med Vandmiljøplanen iværksat en øget overvågning af vandmiljøet med det formål at følge effekten af Vandmiljøplanen. Overvågningen omfatter alle de forskellige led i vandkredsløbet. Amterne er ansvarlige for gennemførelse af overvågningsaktiviteterne, der omfatter følgende områder: Grundvand, vandløb, søer, særlige landovervågningsoplande, punktkilder (kommunale og industrielle spildevandsudledninger) samt kystnære havområder.

Amterne udarbejder årligt rapporter over resultater af disse overvågningsopgaver. Tilsvarende udarbejder Danmarks Miljøundersøgelser rapporter over tilstanden i de åbne havområder og om stoftilførsler via nedbør/nedfald.

Rapporterne danner baggrund for landsdækkende oversigter, som udarbejdes af Miljøstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Geologiske Undersøgelser. Endelig sammenfatter Miljøstyrelsen de landsdækkende oversigter til en årlig redegørelse.

Denne rapport er et led i Fyns Amts samlede rapportering af vandmiljøovervågningen i 1993, der i alt omfatter følgende rapporter:

- Vandløb 1993 (ISBN 87-7343-205-9)
- Arreskov Sø 1993 (ISBN 87-7343-203-2)
- Langesø 1993 (ISBN 87-7343-201-6)
- Søholm Sø 1993 (ISBN 87-7343-202-4)
- Landovervågning 1993 (ISBN 87-7343-199-0)
- Punktkilder 1993 (ISBN 87-7343-198-2)
- Kystvande 1993 (ISBN 87-7343-206-7)
- Grundvand 1993 (ISBN 87-7343-199-0)
- Atmosfærisk nedfald 1993 (ISBN 87-7343-200-8)
- Det fynske vandmiljø (ISBN 87-7343-208-3)

I tilknytning til sørapporterne er der endvidere udarbejdet følgende to tekniske rapporter: Fiskebestanden i Søholm Sø, August 1993 og Trådalger i vandløb 1993.

The first part of the paper discusses the importance of the study and the objectives of the research. It also mentions the scope of the study and the limitations. The second part of the paper discusses the methodology used in the study. It mentions the data sources and the data collection methods. The third part of the paper discusses the results of the study. It mentions the findings and the conclusions. The fourth part of the paper discusses the implications of the study. It mentions the practical implications and the theoretical implications. The fifth part of the paper discusses the future research. It mentions the areas for further research and the suggestions for future studies.

Indledning

Denne rapport beskriver de undersøgelser i Arreskov Sø, som Fyns Amt har foretaget i perioden 1989-1993 som led i Vandmiljøplanenes Overvågningsprogram.

Arreskov Sø er således udpeget som én ud af ialt 37 nationale overvågningssøer. Undersøgelserne i dette udsnit af danske søer skal om muligt give svar på, om Vandmiljøplanens gennemførelse medfører forbedringer danske søers miljøtilstand. De pågældende søer er derfor udvalgt således, at de er beliggende i områder med forskellig grad af arealudnyttelse og med forskellige kilder til næringsstofftilførsel. Desuden indgår både lavvandede og dybe søer i overvågningsprogrammet.

De fire forudgående års overvågning af Arreskov Sø er beskrevet i Fyns Amt (1990, 1991, 1992, 1993).

I denne rapport er temaet, ud over at præsentere resultatet af undersøgelserne i 1993, at beskrive sammenhængen mellem stofftilførsel og miljøtilstand i søen. I 1983 blev en betydelig spildevandsbelastning således afskåret fra søen, og betydningen af dette vurderes. Arreskov Sø er et af tre vandområder, hvor effekten af spildevandsrensning eller -afskæring beskrives i forbindelse med temarapporteringen 1994. De tre eksempler (en sø, et vandløb og et fjordområde) er samlet i et særligt notat (Fyns Amt, 1994d).

1. Beskrivelse af søen og dens opland

1.1 Søens beliggenhed og morfometri

Arreskov Sø ligger nordøst for Fåborg i et randmorænelandskab, der udgør en del af Svanninge Bakker (jf. figur 1.1.1).

Søen har tidligt haft betydning for mennesker. Således er der fundet stenalderbopladser ved søen. Bopladsernes placering 100-200 m fra den nuværende søbred tyder på, at søens vandspejl dengang har været 3-4 m højere, end det er i dag.

Vandstanden i søen er blevet sænket flere gange. I 1924-25 blev vandspejlet således sænket ca. 75 cm, og i 1967 blev det yderligere sænket 17-25 cm efter ønske fra en kreds af lodsejere. I afløbet fra søen ligger Arreskov Vandmølle, hvor vandstanden i søen reguleres ved hjælp af et stigbord. Den seneste vandstandssænkning betød bl.a., at det ikke længere var muligt for møllen at udnytte vandkraften. Flodemålet (den højst tilladte vandstand) er fra og med 1. januar 1991 fastsat til 33,06 m over DNN.

Arreskov Sø er Fyns største sø med et overfladeareal på 317 ha. Søen er lavvandet, idet middeldybden kun er på 1,9 m. Da søen samtidig ligger vindeksposteret, bliver vandet normalt omrørt helt til bunden af vinden. Arreskov Sø er omkranset af en tæt, men ikke særlig bred rørsump. De nære omgivelser er naturprægede med enge, moser, marker og skov.

Søens dybdeforhold og morfometriske data fremgår af figur 1.1.2 og tabel 1.1.1.

En detaljeret beskrivelse af søens opland fremgår af afsnit 3.1. Indledningsvis skal blot nævnes, at afstrømningsoplandet til Arreskov Sø er på 24,9 km². Heraf består 58% af landbrugsområder og 35% af skovområder. I forhold til både Fyn og resten af Danmark er oplandet til Arreskov Sø naturpræget med forholdsvis meget skov og lidt landbrug.

Jorden i oplandet til Arreskov Sø består overvejende af lerblandet sand, og er således noget lettere end på Fyn som helhed. Det er også karakteristisk, at der er en relativt stor andel af humusjord i oplandet. Dette skyldes at store arealer, som for år tilbage var eng eller mose, er inddraget i dyrkningen.

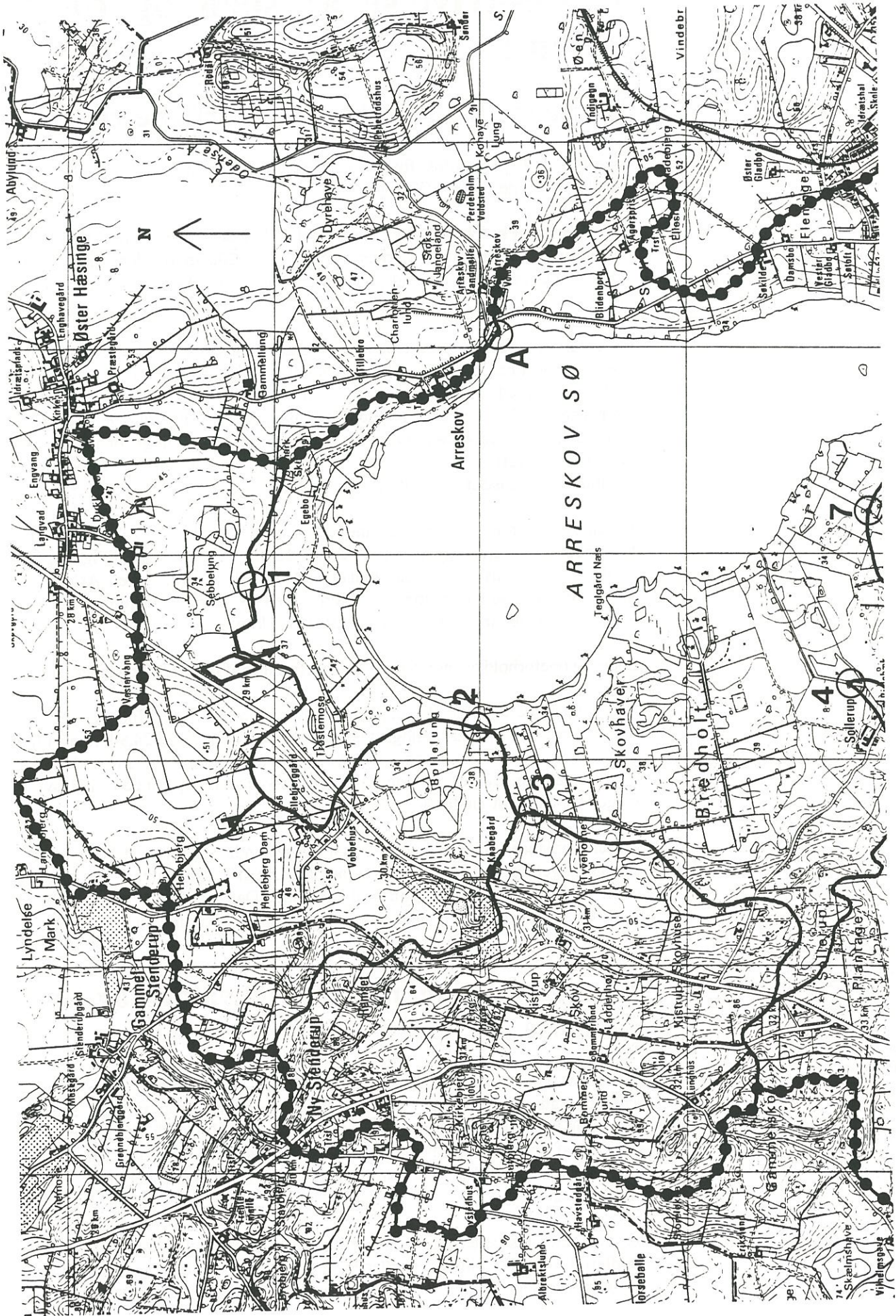
Arreskov Sø	
Overfladeareal, ha	317
Middeldybde, m	1,9
Maksimumdybde, m	3,7
Vandvolumen, m ³	5.880.000
Kystlængde, km	8,50

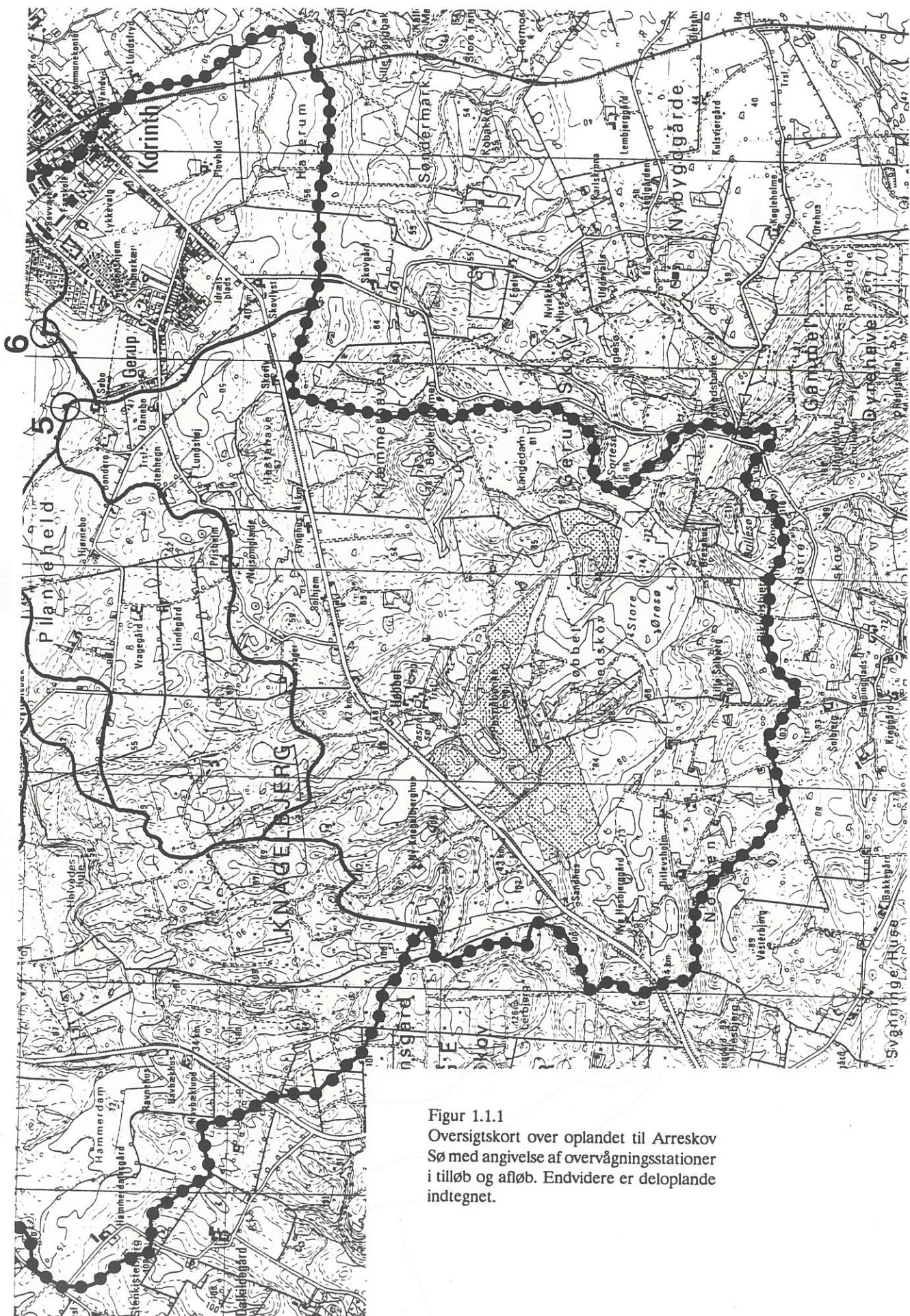
Tabel 1.1.1.
Fysiske forhold i Arreskov Sø.

1.2 Målsætning for søens kvalitet og anvendelse

Arreskov Sø er i Fyns Amts Regionplan 1989-2001 målsat som "Referenceområde for naturvidenskabelige studier". Baggrunden herfor er primært søens betydning som levested og rasteplass for fugle, specielt vandfugle, for hvilke søen er af international betydning. Søen er endvidere udpeget som EF-fuglebeskyttelsesområde. Den nordlige del af søen (ca. 240 ha) er siden 1985 vildtreservat.

Regionplanen fastsætter ingen direkte krav til søens miljøkvalitet. Det indgår imidlertid som en retningslinje i planen, at al spildevandsafledning til Arreskov Sø og andre søer i videst muligt omfang skal undgås. Endvidere indebærer





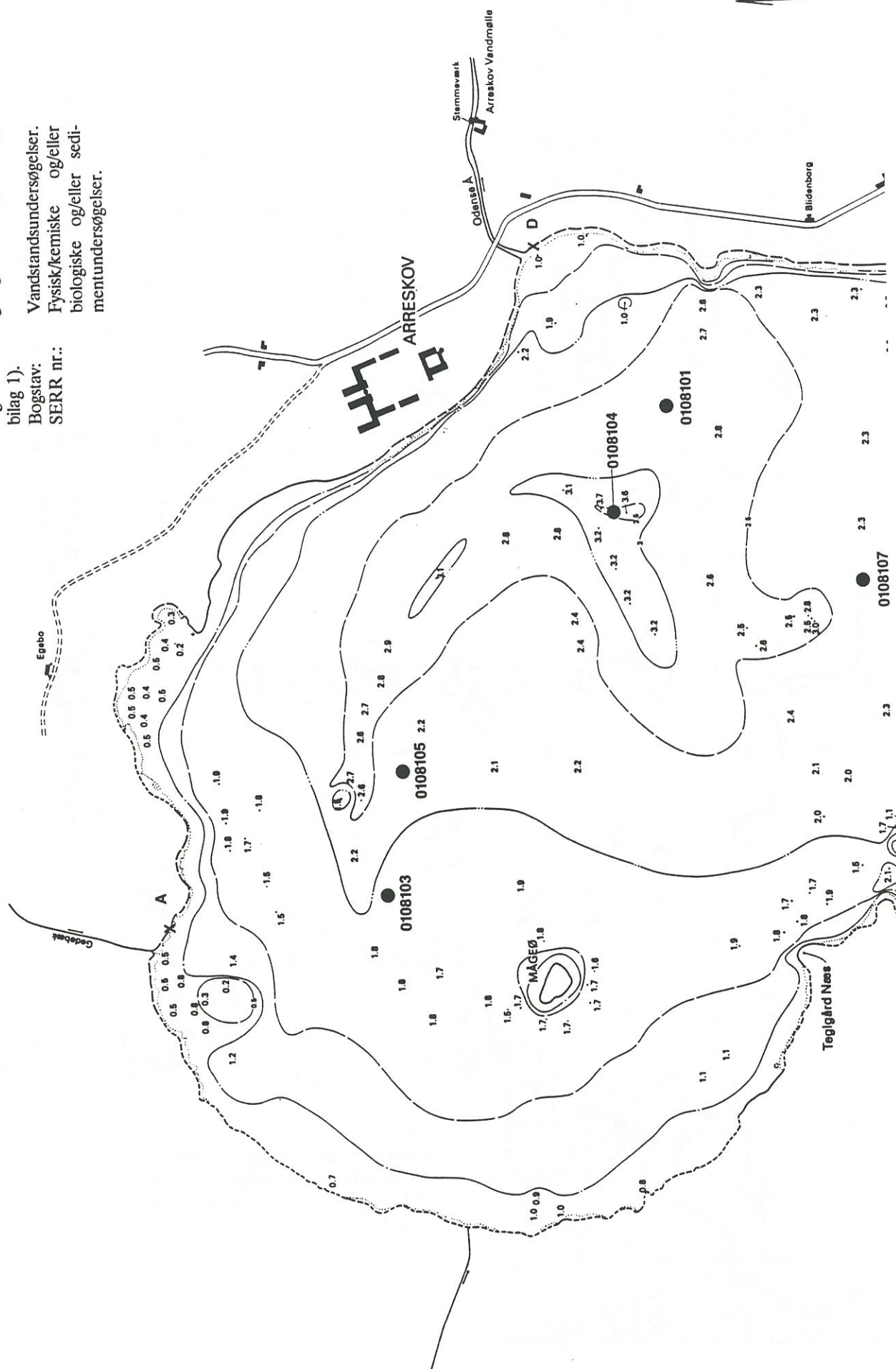
Figur 1.1.1
Oversigtskort over oplandet til Arreskov
Sø med angivelse af overvågningsstationer
i tilløb og afløb. Endvidere er deloplande
indtegnet.

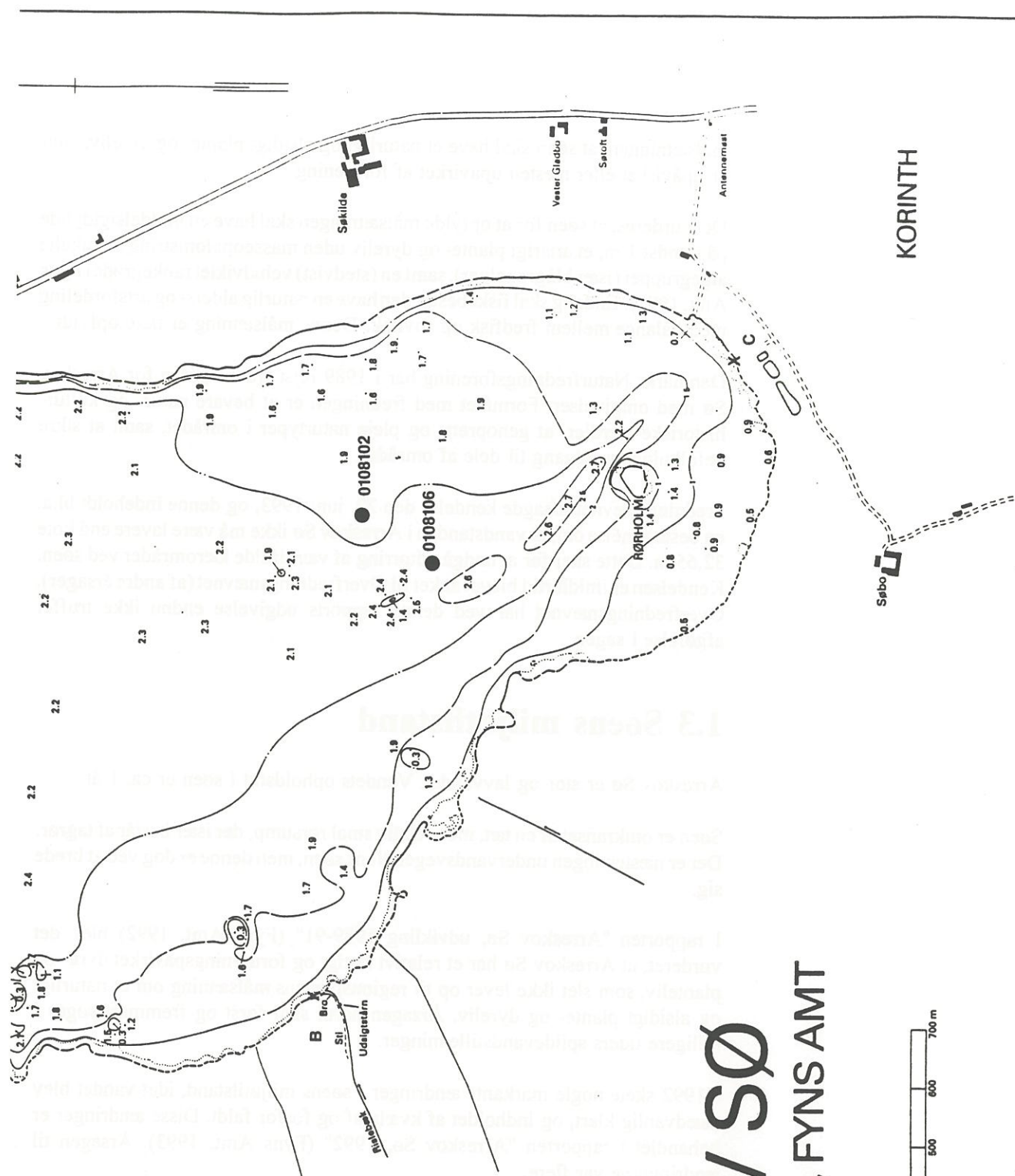
Figur 1.1.2

Dybdekort over Arreskov Sø med ind-
tegnede overvågningsstationer (se i øvrigt
bilag 1).

Vandstandsundersøgelser.
Fysisk/kemiske og/eller
biologiske og/eller sedi-
mentundersøgelser.

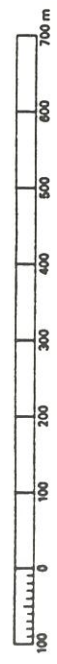
Bogstav:
SERR nr.:





ARRESKOV SØ

FÅBORG KOMMUNE, FYNs AMT



Hængeakskant. Punktering i øvrigt
 markerer et kystlinien er uskarp
 Ydergrænse for sørummet indtegnet
 efter luftfoto optaget 28.5.1989

Efterskudning foretaget maj 1989
 ved vandpejl 32,7 m over DNN (GI)
 Tegnet af Tom Thorkildsen
 Publiceret af landinspektør Thorkild Høj juli 1989

målsætningen, at søen skal have et naturligt og alsidigt plante- og dyreliv, som er upåvirket eller næsten upåvirket af forurening.

Det vurderes, at søen for at opfylde målsætningen skal have en middelsigtdybde på mindst 1 m, et artsrigt plante- og dyreliv uden masseopblomstring af enkelte algegrupper (især blågrønalger), samt en (stedvist) veludviklet rankegrøde (Fyns Amt, 1991). Endelig skal fiskebestanden have en naturlig alders- og artsfordeling med balance mellem fredfisk og rovfisk. Denne målsætning er ikke opfyldt.

Danmarks Naturfredningsforening har i 1989 rejst fredningssag for Arreskov Sø med omgivelser. Formålet med fredningen er at bevare natur- og kulturhistoriske værdier, at genoprette og pleje naturtyper i området, samt at sikre befolkningens adgang til dele af området.

Fredningsnævnet afsagde kendelse den 22. juni 1993, og denne indeholdt bl.a. en bestemmelse om, at vandstanden i Arreskov Sø ikke må være lavere end kote 32,65 m. Dette sker for at undgå udtørring af værdifulde kærømråder ved søen. Kendelsen er imidlertid blevet anket til Overfredningsnævnet (af andre årsager). Overfredningsnævnet har ved denne rapports udgivelse endnu ikke truffet afgørelse i sagen.

1.3 Søens miljøtilstand

Arreskov Sø er stor og lavvandet. Vandets opholdstid i søen er ca. 1 år.

Søen er omkranset af en tæt, men relativt smal rørsump, der især består af tagrør. Der er næsten ingen undervandsvegetation i søen, men denne er dog ved at brede sig.

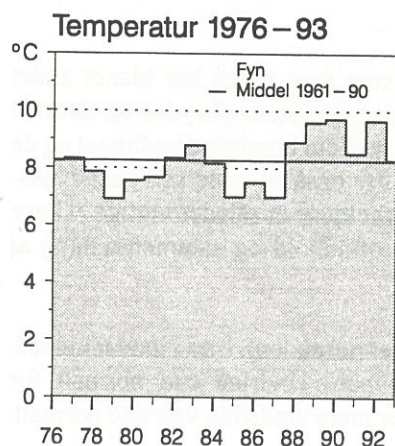
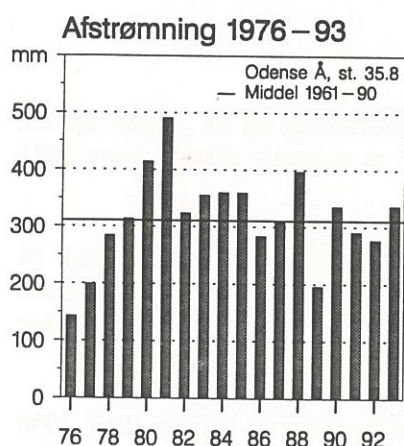
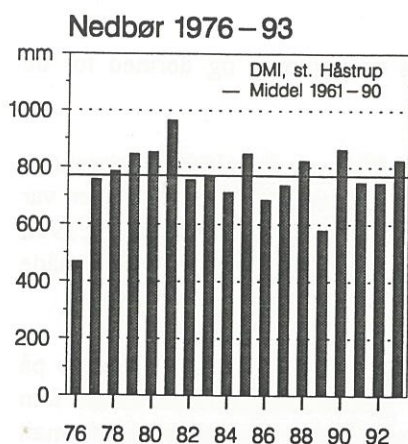
I rapporten "Arreskov Sø, udvikling 1989-91" (Fyns Amt, 1992) blev det vurderet, at Arreskov Sø har et relativt fattigt og forureningspåvirket dyre- og planteliv, som slet ikke lever op til regionsplanens målsætning om et naturligt og alsidigt plante- og dyreliv. Årsagen hertil skal først og fremmest søges i tidligere tiders spildevandstilledninger.

I 1992 skete nogle markante ændringer i søens miljøtilstand, idet vandet blev usædvanlig klart, og indholdet af kvælstof og fosfor faldt. Disse ændringer er behandlet i rapporten "Arreskov Sø, 1992" (Fyns Amt, 1993). Årsagen til ændringerne var flere:

- 1) En stor tilførsel af spildevand til søen blev afskåret i 1983. Dette medførte dog ikke umiddelbart en forbedring i søens tilstand, idet der snarere optrådte en forværring op igennem 1980'erne.
- 2) I 1991-92 skete der et drastisk fald i antallet af dyreplanktonædende fisk. Årsagen var bl.a. en aktiv opfiskning, samt at fiskene døde under perioder med dårlige iltforhold. Fiskenes fravær gav mulighed for tilstedeværelsen af store dafnier, som er effektive algespisere. Som følge heraf kunne de holde algemængden på et meget lavt niveau det meste af året.

Som det vil fremgå af denne rapport, har den omtalte ændring holdt sig i 1993.

2. Meteorologiske og hydrologiske forhold.



Figur 2.1
Nedbør, ferskvandsafstrømning og temperatur på årsbasis 1976-1993.

De meteorologiske og hydrologiske forhold, der havde betydning for Arreskov Sø og dens opland i perioden 1989-1993 beskrives kortfattet i det følgende. Årstidsvariationer i nedbør, ferskvandsafstrømning, lufttemperatur, soltimer og vindhastighed er illustreret på henholdsvis figur 2.1 og 2.2.

De meteorologiske og hydrologiske forhold i perioden 1989-1993 er sammenlignet med normalværdier, der er beregnet på baggrund af data fra perioden 1961-1990. De anvendte tidsserier er beskrevet i bilag 1.

Nedbør.

I oplandet til Arreskov Sø falder der i gennemsnit 769 mm nedbør om året. 1993 var et forholdsvis vådt år. I oplandet til Arreskov Sø faldt der 7 % mere nedbør end normalt (824 mm). For Fyn som helhed faldt der 9 % mere nedbør end normalt.

Nedbøren var dog ikke jævnt fordelt over året, idet næsten halvdelen af årets nedbør faldt i løbet af tre måneder. September var årets vådeste måned med 141 mm nedbør, men også i januar og december faldt der usædvanlig meget nedbør. I disse tre våde måneder var nedbørsmængden næsten dobbelt så stor som normalt.

Derimod var hele perioden fra februar til og med juni ret tør med mindre nedbør end normalt. Marts var årets tørreste måned med kun 17 mm nedbør. Også november havde mindre nedbør end normalt for årstiden.

Ferskvandsafstrømning.

Ferskvandsafstrømningen til Arreskov Sø udgør normalt 5,2 l/s·km², hvilket svarer til 21 % af den nedbør, der falder i oplandet.

Ferskvandsafstrømningen følger i vid udstrækning nedbøren bortset fra sommermånederne, hvor størsteparten af nedbøren fordamper eller optages i planterne på landjorden.

På basis af afstrømningsmålinger i Odense Å ved Nr. Broby vurderes, at afstrømningen til Arreskov Sø i 1993 var forholdsvis stor (8 % over normalen). Afstrømningen var ekstremt stor i december, hvor niveauet var dobbelt så højt som normalt og det højeste, der er målt i perioden.

Den store nedbørsmængde i september afspejler sig også i en forholdsvis stor afstrømning i denne måned, hvor afstrømningen var dobbelt så højt som normalt, selvom afstrømningen i september kun var en fjerdedel af afstrømningen i december.

Afstrømningen i januar og oktober var også større end normalt for årstiden, mens afstrømningen i perioden fra marts til juli var lavere end normalt.

Lufttemperatur.

Lufttemperaturen er af betydning for søens opvarmning og dermed for de biologiske og kemiske processer i søen.

Normaltemperaturen for Fyn er på årsbasis 8,2° C, og årsmiddeltemperaturen for Fyn som helhed lå i hele perioden 1989-1993 over gennemsnittet, men var i 1993 meget tæt på gennemsnittet. Derimod hører årene 1989, 1990 og 1992 til blandt de varmeste i dette århundrede, og der var meget milde vintre både i 1989 og 1990.

I 1993 var årsmiddeltemperaturen som sagt tæt på det normale, men på månedsbasis var der en del afvigelser fra gennemsnittet. Årets første fem måneder var varmere end normalt, mens temperaturen var lavere end normalt i årets sidste halvdel undtagen december, der lå på gennemsnittet. Især november var meget koldere end det normale for årstiden.

Soltimer.

Solindstrålingen har betydning for søens opvarmning og for plantevæksten, herunder væksten af planktonalger i søen. I et normalår skinner solen 1621 timer.

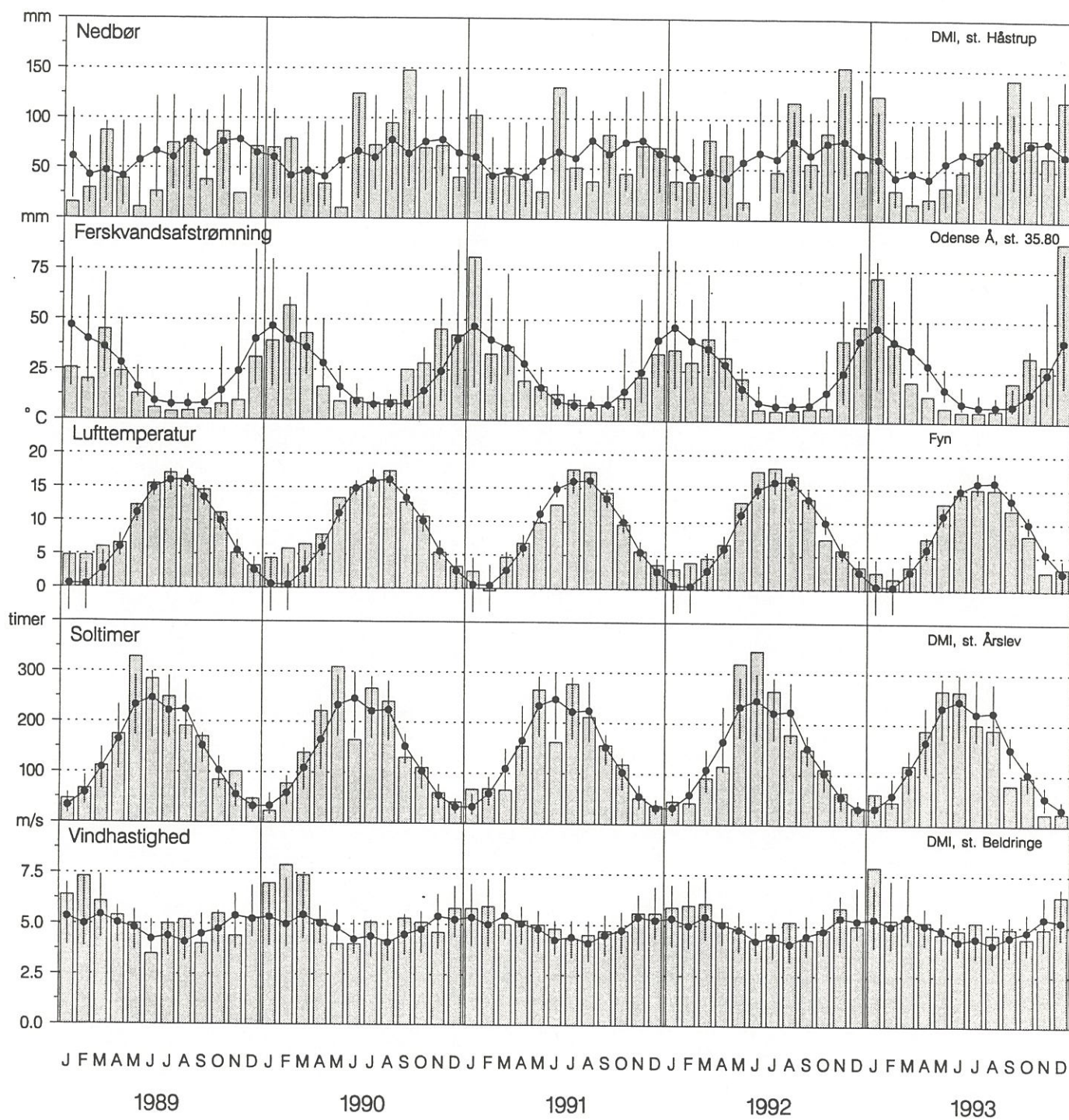
1993 havde lidt færre soltimer end et normalår (3 % under normalen). På månedsbasis var der en del udsving. I januar samt forår og forsommer skinnede solen flere timer end normalt, mens juli, august og især september og november havde færre soltimer end normalt for årstiden.

Med hensyn til de fire foregående år kan det konstateres, at både 1989, 1990 og 1992 solrige år, mens 1991 var et normalår.

Vindforhold.

Vinden påvirker opblandingen af vandmasserne i en sø og har blandt andet betydning for, hvor dybt et eventuelt springlag dannes/nedbrydes og dermed betydning for udvekslingen af næringsstoffer mellem bundvand/sediment og de mere overfladenære vandmasser. Vinden spiller også en rolle ved gasudvekslingen mellem vandet og atmosfæren. Vindforholdene er således vigtige at have for øje ved en vurdering af skift i næringsstofindhold og sammensætning af planteplankton i søen.

På årsbasis blæste det meget i 1993 (7,5 % over normalen), især i januar måned. Sommerperioden samt december var også mere vindrige end normalt for årstiden. Derimod havde oktober og november mere vindstille vejr end normalt.



Figur 2.2

Nedbør, ferskvandsafstrømning og lufttemperatur, soltimer og vindenergi på månedsbasis 1989-1993. 10-, 50- og 90% fraktileerne fremgår ligeledes af figuren.

3. Søens opland og eksterne belastning

3.1 Oplandsbeskrivelse

Afstrømningsoplandet til Arreskov Sø er i alt 2491 hektar. Der gennemføres afstrømningsmålinger på ialt 6 tilløb til søen, svarende til 80 % af søens opland. En oversigt over oplandsarealerne til de enkelte tilløb samt restoplandet (det umålte opland) er vist i tabel 3.1.1.

Afgrænsningen af søens samlede opland og deloplandene samt placering af målestationer fremgår af figur 1.1.1.

Tabel 3.1.1.

Oplandsareal for de enkelte tilløb, restoplandet samt det samlede opland for Arreskov Sø.

	Ha	%
Tilløb 1, Gedderenden	171	7
Tilløb 2, Bollelung	474	19
Tilløb 4, Rislebæk	351	14
Tilløb 5, Søbo Afløb	657	26
Tilløb 6, Korinth Regnvand	185	7
Tilløb 7, Planteheld	163	7
Restopland	490	20
Samlet opland	2491	100

Arealanvendelse og jordbundsforhold

Oplandet som helhed er meget naturpræget med mere skov og ekstensivt dyrkede arealer samt færre landbrugsarealer end på Fyn som helhed og resten af Danmark. I oplandet er der 35 % skov og kun 58 % landbrug (se figur 3.1.1).

Arealanvendelsen i oplandet til de enkelte tilløb varierer dog betydeligt fra gennemsnittet - et faktum, der kan være med til at forklare forskellen på de næringsstofkoncentrationer, der måles i de enkelte tilløb. Således udgør landbrugsarealerne hele 94 % i oplandet til tilløb 1. Det skal dog bemærkes, at et større areal omkring den faste målestation i Gedderenden er blevet braklagt efter høsten i 1993 (5 års permanent brak).

Også ved tilløb 2 og tilløb 7 er der store landbrugsarealer i oplandet. Derimod er der meget skov i oplandet til både tilløb 4 og tilløb 5. (Se figur 3.1.1).

Jordbunden i landbrugsområderne består hovedsageligt af lerblandet sand, men der er også områder med sandblandet ler og humus.

Jorden er således noget lettere i oplandet til Arreskov sø end på Fyn som helhed. Den relativt store andel af humus skyldes, at områder, der tidligere var eng eller mose, er inddraget i dyrkingen.

En detaljeret oversigt over jordtyperne fremgår af figur 3.1.1.

Husdyrhold

Husdyrhold er opgjort i antal dyreenheder pr. hektar **dyrket** areal (DE/ha). Ifølge Arealdatakontoret udgør det dyrkede areal kun gennemsnitligt 80 % af landbrugsarealet, fordi der på arealet også er veje, bebyggelser i landzone og eventuelt jernbaner og enge m.v.

Oplysninger om husdyrhold stammer fra oplysninger fra landbrugstilsyn udført af Fåborg og Broby kommuner. For oplandet som helhed er der 0,66 DE/ha, hvilket er lidt lavere end husdyrtætheden for både Fyn og Danmark, hvor niveauet ligger på henholdsvis 0,80 DE/ha og 0,88 DE/ha.

Den samlede opgørelse dækker dog over store variationer i oplandet til de enkelte tilløb. Således er der en meget høj husdyrtæthed i oplandet til tilløb 1, hvor niveauet er helt oppe på 2,5 DE/ha. Dette skyldes, at der i oplandet er en meget stor svinefarm. Ejeren har dog aftale om levering af en del af husdyrgødningen til marker udenfor søoplandet.

Husdyrtætheden er dog også høj i oplandet til tilløb 7 (1,5 DE/ha), fordi der i dette opland er en del ejendomme med dyrehold.

Både i oplandet til tilløb 2 og tilløb 4 er husdyrtætheden på niveau med det normale for Fyn og Danmark, mens der kun er meget få husdyr i oplandet til tilløb 5. Der er ingen husdyr i oplandet til tilløb 6. (Se figur 3.1.1).

Spildevandsforhold

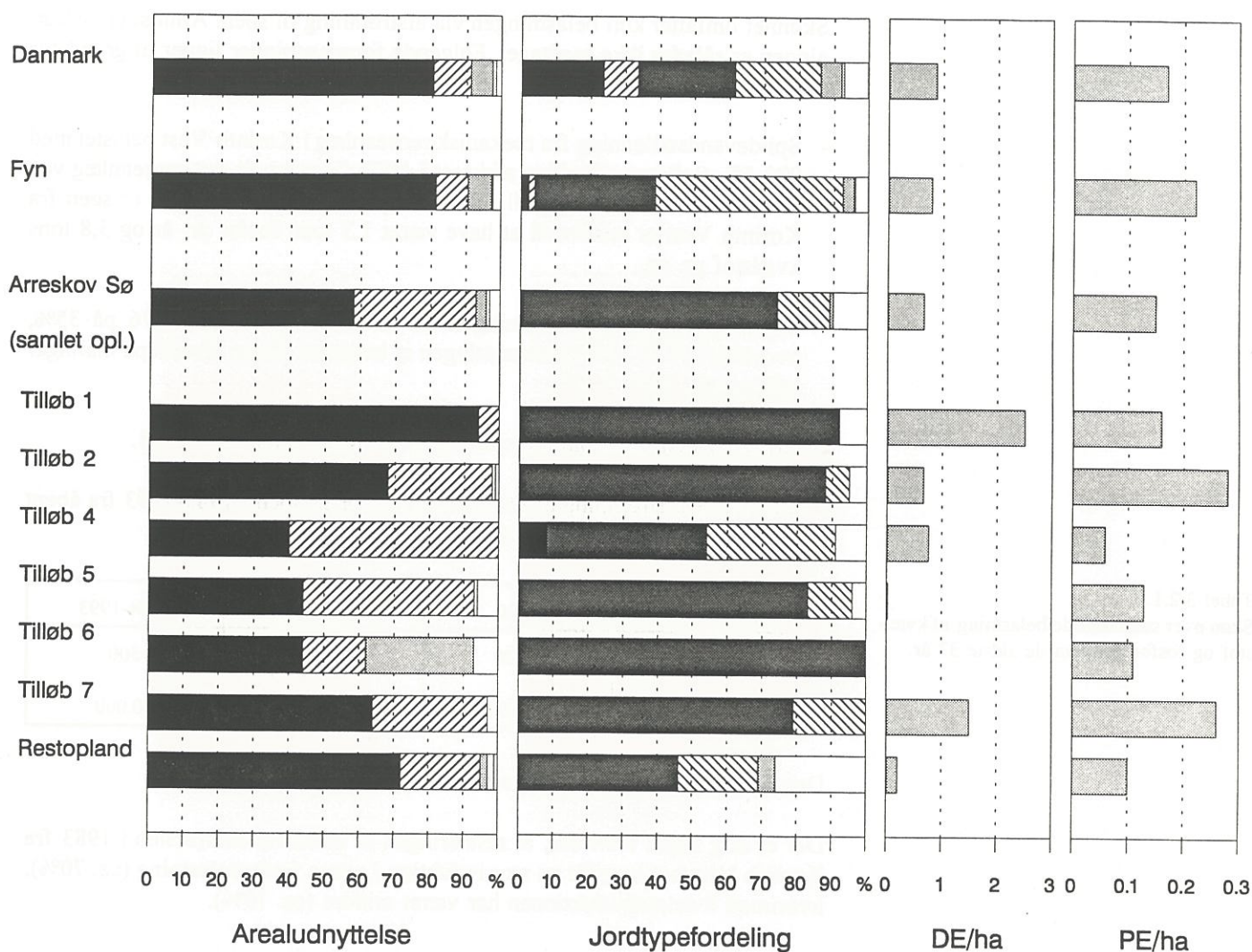
Der er i dag ingen udledning af spildevand fra kommunale renseanlæg til Arreskov Sø. En udledning af mekanisk rensed spildevand fra Korinth blev afskåret i 1983. Belastningen var på det tidspunkt på 970 personekvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til den mængde spildevand, en person producerer.

Imidlertid udledes der regnvand til søen fra den vestlige del af Korinth via tilløb 6, og i forbindelse med større regnskyl tilføres der også urensed spildevand til tilløbet via et overfaldsbygværk. Dette regnvand/spildevand passerer normalt et regnvandsbassin, inden det løber ud i vandløbet/søen.

Søen tilføres også spildevand fra den spredte bebyggelse. Antallet af ejendomme er optalt af Fåborg og Broby kommuner. Det samlede antal ejendomme i oplandet til Arreskov Sø er 134 ejendomme (ejendommenes fordeling i de enkelte deloplande fremgår af bilag 1).

Som minimum passerer husspildevandet fra den spredte bebyggelse en septiktank inden udledning til recipienten. Et ukendt antal ejendommene har nedsivningsanlæg, og to af ejendommene udleder til samletank.

Det antages, at hver ejendom er beboet af 2,8 personer. Befolkningstætheden i søens opland kan derefter opgøres til 0,15 PE/ha, hvilket er lavere end gennemsnittet for Fyn (0,23 PE/ha), men nogenlunde på niveau med det åbne land i Danmark (0,17 PE/ha).



Figur 3.1.1.

Arealanvendelse, jordtypefordeling, husdyrtæthed og befolkningstæthed i oplandet til Arreskov Sø samt på Fyn og i Danmark.

Arealudnyttelse

- Rest
- Ferskvand
- By
- ▨ Skov
- Landbrug

Jordtypefordeling

- Humus
- Svær lerjord
- ▨ Lerjord
- ▨ Sandblandet ler
- Lerblandet sand
- ▨ Finsandet jord
- Grovsandet jord

Befolkningstætheden i oplandene til de enkelte tilløb fremgår af figur 3.1.1..

Det ses, at der er stor variation i befolkningstætheden i de enkelte oplande varierende fra 0,06 PE/ha i oplandet til tilløb 4 (Rislebæk) til 0,28 PE/ha i oplandet til tilløb 2.

I oplandet til tilløb 6 er den reelle befolkningstæthed højere end den viste (0,11 PE/ha), idet opgørelsen kun dækker antallet af ukloakerede ejendomme (og ikke den del af Korinth by, der ligger i oplandet).

Den potentielle spildevandsbelastning fra den spredte bebyggelse er beregnet under afsnit 3.4.

3.2 Historiske belastningsforhold

Der foreligger kun sparsomme oplysninger til belysning af søens historiske belastningsforhold. De oplysninger, som foreligger, er brugt til at angive et **skøn** over søens middelbelastning af N og P gennem de sidste 30 år (tabel 3.2.1).

Skønnet omfatter kun belastningen via afstrømning til søen. Atmosfærebelastningen er således ikke medtaget. Følgende forudsætninger ligger til grund for skønnet:

- Spildevandsudledning fra mekanisk renseanlæg i Korinth Vest belastet med 970 PE. Spildevandet blev afskåret i 1983 fra søen til nyt renseanlæg ved Hellemose med afledning til Silke Å. Spildevandsbelastningen til søen fra Korinth Vest er anslået til at have været 1,3 tons fosfor pr. år og 3,8 tons kvælstof pr. år.
- Stigning i kvælstofafstrømningen fra det åbne land 1960-1976 på 35%, hvorefter (1976-1993) afstrømningen er konstant (Skøn baseret på målinger i Odense Å 1967-1993).
- Konstant fosforafstrømningspotentiale fra åbent land 1960-1993.
- Den målte afstrømning af kvælstof og fosfor til søen i 1989-1993 fra åbent land svarer til middelaflstrømningen 1976-1993.

Tabel 3.2.1.
Skøn over søens middelbelastning af kvælstof og fosfor gennem de sidste 33 år.

	1960	1976-1983	1984-1993
P-afstrømning (kg)	1.800	1.800	500
N-afstrømning (kg)	23.300	33.800	30.000

Den historiske belastningsopgørelse er usikker.

Der er dog ingen tvivl om, at afskæringen af spildevandstilførslen i 1983 fra Korinth Vest har betydet en stor reduktion i søens fosforbelastning (ca. 70%), hvorimod kvælstofreduktionen har været mindre (ca. 10%).

3.3 Total ekstern belastning med kvælstof og fosfor

I det følgende beskrives den eksterne belastning af Arreskov Sø med næringsstofferne kvælstof og fosfor for perioden 1989-1993. Den eksterne belastning omfatter afstrømning via vandløb og grundvand, den atmosfæriske deposition på søen samt øvrige belastningskilder, herunder belastningen fra rastende fugle.

Der er desuden gennemført en vurdering af belastningen fra de enkelte hovedtilløb til søen. Ved gennemgang af belastningen beskrives både år-til-år variationer samt variation indenfor året, og eventuelle særlige begivenheder omtales.

Endelig vurderes eventuelle kulturbetingede udviklingstendenser i belastningen, og mulighederne for at begrænse tilførslen af næringsstoffer til Arreskov Sø vurderes.

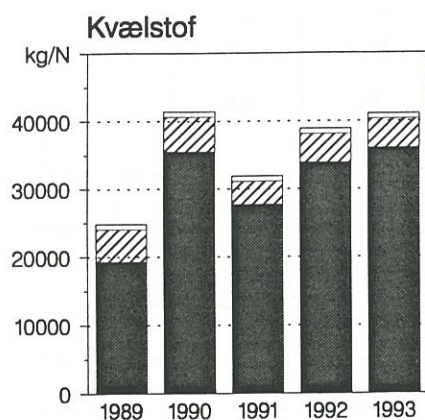
Den samlede eksterne belastning af Arreskov Sø i perioden 1989-1993 dels på årsbasis, dels i sommerperioden (1/5-30/9) fremgår af tabel 3.3.1 og 3.3.2. Den totale eksterne belastning er desuden illustreret på figur 3.3.1.

Tabel 3.3.1.
Den totale årlige eksterne belastning af
Arreskov Sø i perioden 1989-1993.

Årsbelastning	1989	1990	1991	1992	1993
	kg	kg	kg	kg	kg
KVÆLSTOF:					
Afstrømning	19.200	35.400	27.600	33.800	35.900
Atmosfærisk deposition	4.800	5.260	3.510	4.260	4.430
Fugle	42	42	42	42	42
Grundvand	750	750	750	750	750
I ALT	24.800	41.400	31.900	38.900	41.100
FOSFOR:					
Afstrømning	398	614	466	414	520
Atmosfærisk deposition	115	127	89	70	54
Fugle	18	18	18	18	18
Grundvand	20	20	20	20	20
I ALT	551	778	592	521	612

Tabel 3.3.2.
Den totale eksterne belastning af Arreskov
Sø i sommerperioden (1/5-30/9) i 1989-
1993.

Sommerbelastning	1989	1990	1991	1992	1993
	kg	kg	kg	kg	kg
KVÆLSTOF:					
Afstrømning	2.110	4.550	3.730	2.660	1.970
Atmosfærisk deposition	1.750	2.470	1.350	1.410	1.840
Fugle	39	39	39	39	39
Grundvand	312	312	312	312	312
I ALT	4.210	7.370	5.430	4.430	4.160
FOSFOR:					
Afstrømning	98	185	135	77	91
Atmosfærisk deposition	68	88	56	30	22
Fugle	16	16	16	16	16
Grundvand	8	8	8	8	8
I ALT	191	298	215	132	138

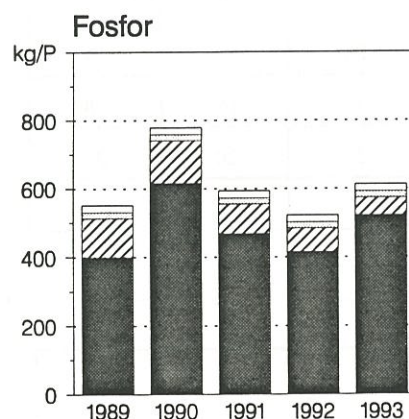


Det fremgår, at langt den største kilde til belastning af søen sker via afstrømning til søen. På årsbasis udgør afstrømningen af kvælstof til søen knap 90 % og afstrømningen af fosfor omkring 80 % af søens samlede belastning med disse stoffer.

Derfor skal belastningen af Arreskov Sø, udvikling, årsagssammenhænge og muligheder for reduktion fortrinsvis beskrives ud fra afstrømningsmålinger til søen.

I sommermåneder med ringe ferskvandsafstrømning kan den atmosfæriske deposition udgøre en væsentlig del af den samlede næringsstofbelastning, og i både juli og august 1993 var den atmosfæriske deposition af kvælstof således godt dobbelt så stor som kvælstofafstrømningen.

3.4 Afstrømning af kvælstof og fosfor



Variationer i kvælstof- og fosforafstrømningerne følger i høj grad variationerne i ferskvandsafstrømningen og er afhængig af variationer i nedbøren, især i vinterhalvåret (se afsnit 2).

Store nedbørsmængder kan specielt i vinterhalvåret udløse en frigivelse af næringsstoffer fra depoter knyttet til de dyrkede arealer. Følgende begivenheder i søens opland har betydning for afstrømningen af næringsstoffer:

- Udvaskning fra dyrkede arealer til dræn og grundvand. Dette gælder især kvælstof, men også fosfor kan under ekstremt store nedbørshændelser udvaskes i større mængder via landbrugsdræn.
- Overfladisk afstrømning til vandløbene af jordpartikler fra især pløjemarken tæt ved vandløbene. Under kraftig nedbør kan der ske erosion fra arealer med overfladisk afstrømning, hvorved især fosforholdige jordpartikler tilføres vandløbene. Den overfladiske afstrømning er afhængig af graden af plantedækkede arealer, den maskinelle bearbejdnings-/såretning på landbrugsarealer, terrænets hældningsforhold mod vandløbet samt bredden af plantedækkede bræmmer langs vandløbet.
- Ophvirvling af aflejret materiale fra vandløbsbunden i forbindelse med store ferskvandsafstrømninger. Det ophvirvlede materiale kan typisk stamme fra dyrkede arealer eller spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse.
- Overløb til vandløb/sø af fortyndet spildevand fra fælleskloaksystemer under kraftig nedbør.

I tabel 3.4.1 er afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor til Arreskov Sø på årsbasis vist for perioden 1989-1993. I tabel 3.4.2 er vist tilsvarende for sommerperioden.

Kvælstofafstrømning 1993

I 1993 var der en stor kvælstofafstrømning til Arreskov Sø. Afstrømningen var 24 % større end gennemsnittet for de fire foregående år, men på samme niveau

Figur 3.3.1.
Den årlige totale eksterne belastning af Arreskov Sø i 1989-1993.

Signaturforklaring.

- ☐ Grundvand
- ☐ Fugle
- ☒ Atmosfærisk deposition
- ☒ Afstrømning

som i 1990. Årsagen er den store ferskvandsafstrømning, der i 1993 også var 24 % større end gennemsnittet for de fire foregående år, og den største, der er målt i perioden. Det skal bemærkes, at godt halvdelen af kvælstofafstrømningen fandt sted i løbet af to måneder: januar og december.

I sommerperioden var der imidlertid en relativt lille kvælstofafstrømning (40% mindre end gennemsnittet for de fire foregående år), og knap halvdelen af kvælstofmængden i sommerperioden blev tilført i september måned. Den lave kvælstofafstrømning kan til dels forklares ved, at ferskvandsafstrømningen i sommerperioden også var lille (26 % mindre end gennemsnittet for de fire foregående år og den mindste, der er målt i perioden).

Set over flere år afhænger kvæstofafstrømningen først og fremmest af intensiteten af landbrugsdriften. De nedbørsbetingede år-til-år variationer kan dog være betydelige.

Tabel 3.4.1.

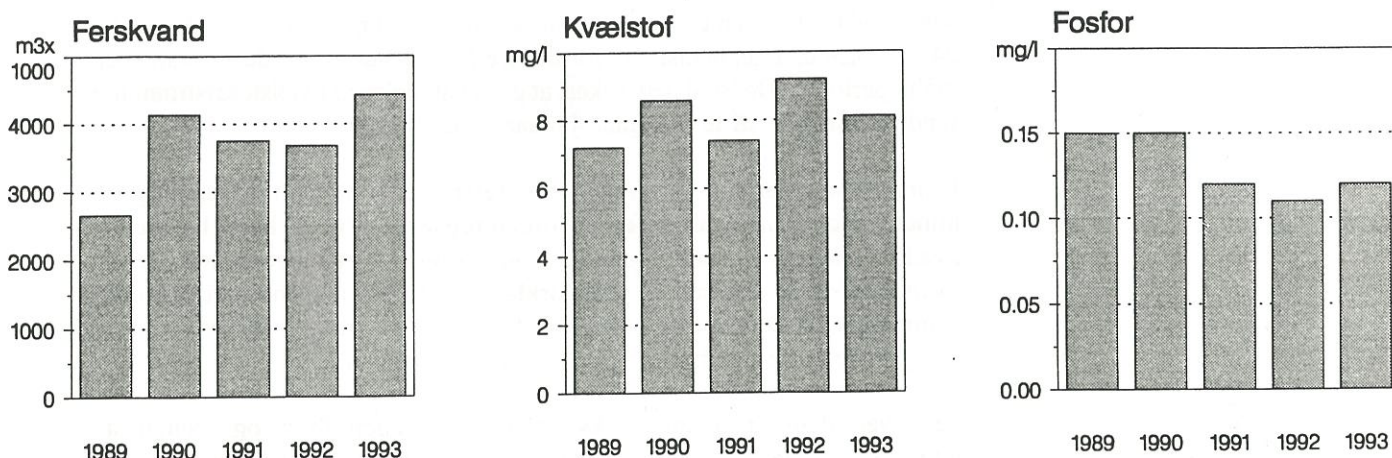
Årlig afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor til Arreskov Sø i perioden 1989-1993.

	Ferskvand		Kvælstof		Fosfor	
	m ³ ·10 ³	l/s·km ²	kg	kg/ha	kg	kg/ha
1989	2.660	3,40	19.200	7,7	398	0,16
1990	4.140	5,29	35.400	14,3	614	0,25
1991	3.750	4,79	27.600	11,1	466	0,19
1992	3.680	4,70	33.800	13,6	414	0,17
1993	4.430	5,64	35.900	14,4	520	0,21

Tabel 3.4.2.

Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor til Arreskov Sø i sommerperioden (1/5-30/9) i 1989-1993.

	Ferskvand		Kvælstof		Fosfor	
	m ³ ·10 ³	l/s·km ²	kg	kg/ha	kg	kg/ha
1989	519	1,58	2.110	0,85	98	0,04
1990	855	2,61	4.550	1,83	185	0,07
1991	808	2,46	3.730	1,50	135	0,05
1992	557	1,70	2.660	1,07	77	0,03
1993	505	1,53	1.970	0,79	91	0,04



Figur 3.4.1.
Ferskvandsafstrømning samt vandføringsvægtede årsmiddelkoncentrationer af kvælstof og fosfor i tilløbene til Arreskov Sø 1989-1993.

Kvælstofafstrømningen er uændret høj

Den vandføringsvægtede gennemsnitskoncentration af kvælstof i tilløbene til Arreskov Sø har udvist en svagt stigende tendens i perioden 1989-1993. Når der tages højde for de nedbørsbetingede år-til-år variationer i kvælstofafstrømningen til søen, er der ikke noget, der tyder på et fald i den kulturbetingede kvælstofafstrømning.

I tabel 3.4.3 er arealafstrømningen i oplandet til Arreskov Sø sammenlignet med oplandene til de to andre fynske nationale overvågningssøer samt med resten af Fyn og naturvandløb. Det ses, at arealafstrømningen af ferskvand til Arreskov Sø var lavere end niveauet på resten af Fyn.

Tabel 3.4.3.
Sammenligning af arealafstrømning fra forskellige oplande i 1993.

	Ferskvand l/s·km ²	Kvælstof kg/ha	Fosfor kg/ha
Arreskov Sø	5,6	14	0,21
Langesø	10,7	42	0,53
Søholm Sø	7,9	16	0,17
Fyn, total	9,2	30	0,60
Fyn, diffus	-	27	0,35
Naturvandløb	6,3	2,84	0,099

Arealafstrømningen af kvælstof var også meget mindre end niveauet på resten af Fyn, men meget højere end niveauet i naturvandløb. Dette kan forklares med, at der i oplandet til Arreskov Sø er mere skov og færre landbrugsarealer end på resten af Fyn, og at arealafstrømningen af ferskvand var lavere end på det øvrige Fyn.

Fosforafstrømning 1993

Indledningsvis skal det understreges, at der er meget stor usikkerhed på beregningen af fosforafstrømningen. Dette skyldes, at forsøg med intensive målinger af stofafstrømningen i mindre vandløb har vist, at fosforafstrømningen er meget usikkert bestemt med den nuværende overvågningsstrategi (26 stikprøver/år).

På basis af undersøgelser i mindre vandløb kan det således konstateres, at afstrømningen af total-fosfor generelt underestimeres (medianværdi: - 34 %, max: - 322 %) (Danmarks Miljøundersøgelser, 1994).

Fosforafstrømningsværdierne skal derfor generelt tages med et vist forbehold, indtil en forbedret prøvetagningsstrategi er iværksat. Kvælstofafstrømningen er generelt sikkert bestemt med den nuværende overvågningsstrategi.

Fosforafstrømningen var på årsbasis lidt større i 1993 end gennemsnittet for de fire foregående år, hvilket kan forklares med en stor ferskvandsafstrømning i 1993. Derimod var fosforafstrømningen i sommerperioden mindre end gennemsnittet for de fire foregående år, og knap halvdelen af sommerperiodens afstrømning af fosfor fandt sted i september.

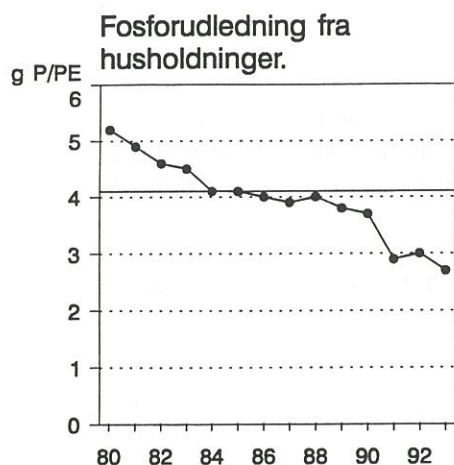
Størrelsen af fosforafstrømningen i oplandet set over en årrække er primært styret af kulturbetingede forhold. Der ses dog år-til-år variationer i fosforafstrømningen som følger ferskvandsafstrømningen.

Tendens til faldende fosforafstrømning

Datamaterialet tyder på et kulturbetinget fald i fosforafstrømningen fra 1989 til 1993, når der ses på den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration (se figur 3.4.1). Årsager til faldet i fosforkoncentrationen og -afstrømningen kan være:

- Øget forbrug af fosfatfri vaskemidler i husholdningerne.
- Flere grønne marker. For Fyn som helhed er andelen af grønne marker steget i perioden. (1989/90: 62 %, 1990/91: 81 %, 1991/92: 82 %, 1992/93: 81 %).

Foreløbige undersøgelser baseret på analyser af spildevandstilledningerne til kommunale renseanlæg i Århus Amt (Wiggers, 1994) tyder på, at der i den seneste 10 års periode er sket et markant fald i den fosformængde, der udledes fra husholdningerne (se figur 3.4.2). Der ses således mere end en halvering af fosforudledningen pr. person fra 1980 og frem til i dag.



Figur 3.4.2.

Analyse af den daglige fosforudledning fra husholdninger 1980-1993, baseret på analyser af spildevandstillædning til 6 kommunale rensesanlæg i Århus Amt (Wiggers, 1994). Referencelinien angiver Miljøstyrelsens normtal for spildevandsproduktion i en husholdning ($4,1 \text{ g P/PE} \cdot \text{dg}$ svarende til $1,5 \text{ kg P/PE} \cdot \text{år}$).

Siden 1989 er fosforudledningen pr. person tilsyneladende faldet med 30 %. Dette forhold er formodentlig en del af forklaringen på faldet i den vandføringsvægtede fosforkoncentration i tilløbene til søen - en tendens, der også ses i andre tilsvarende vandløb på Fyn (Fyns Amt, 1994c).

Det er dog også sandsynligt, at andelen af grønne marker i søens opland er forøget, som det er tilfældet for Fyn som helhed. Herved er en større del af søoplandet plantet dækket i hovedparten af året, hvorved overfladisk afstrømning af fosforholdige jordpartikler formindskes.

Arealafstrømningen af fosfor til Arreskov Sø var i 1993 på $0,21 \text{ kg/ha}$, hvilket er noget mindre end gennemsnittet for det åbne land på resten af Fyn, men på et langt højere niveau end i naturvandløb (se tabel 3.4.3). Årsagen skal igen findes i det faktum, at en stor del af oplandet til Arreskov Sø er dækket af skov. Befolkningstætheden i oplandet til Arreskov Sø er dog også lidt lavere end gennemsnittet for det åbne land på Fyn, hvilket betyder, at der udledes forholdsmæssigt mindre spildevand fra den spredte bebyggelse.

Kilder til næringsstofafstrømningen

Belastningskilderne til kvælstof- og fosforafstrømningen kan generelt deles op i følgende kategorier:

- Basisbidrag (naturlig afstrømning).
- Punktkilder (rensesanlæg og regnvandsbetingede udløb).
- Diffus afstrømning (afstrømning fra spredt bebyggelse og landbrugsjord).

Kilderne til kvælstof- og fosforafstrømningen fremgår af tabel 3.4.4 og figur 3.4.3. I 1993 udgjorde den kulturbetingede kvælstof- og fosforafstrømning henholdsvis 79% og 59% af den samlede afstrømning (heraf udgjorde belastningen fra punktkilder 0,4% af kvælstofafstrømningen og 4% af fosforafstrømningen). Tilsvarende udgjorde den naturlige afstrømning af kvælstof og fosfor henholdsvis 21 % og 41 % af den totale afstrømning til søen.

Som gennemsnit for undersøgelsesperioden 1989-1993 har den diffuse kvælstof- og fosforafstrømning udgjort henholdsvis 79 % og 57 % af den samlede afstrømning til søen.

På grund af usikkerheder med hensyn til bestemmelsen af fosforafstrømningen i små vandløb er det sandsynligt, at den kulturbetingede andel af fosforafstrømningen er større end de ovenstående tal viser.

Kvælstofafstrømningen sker primært fra landbruget

Hovedparten af kvælstofafstrømningen skyldes et kulturbetinget bidrag fra det åbne land, primært afstrømning fra landbrugsarealer. Kvælstofudledningen fra den spredte bebyggelse er ubetydelig sammenholdt med, hvad der afstrømmer fra landbrugsarealer (sammenhold tabel 3.4.4 og tabel 3.4.5), men kvælstofudledningen fra spildevandet kan alligevel have en meget negativ effekt i de små vandløb på grund af et stort ammoniakindhold.

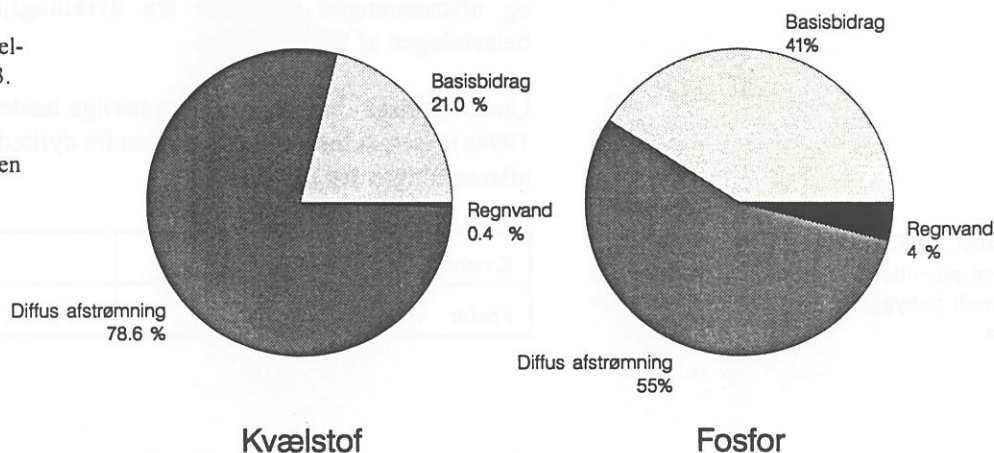
alt her: x grundvand, fyle, afen.

	1989		1990		1991		1992		1993	
	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg	kg/kg/ha	kg	kg/ha
KVÆLSTOF:										
Basisbidrag *)	4.800	1,93	6.630	2,66	5.620	2,26	5.890	2,36	7.530	3,02
Punktkilder	77	0,03	116	0,05	113	0,05	112	0,05	136	0,05
Diffus afstrømning	14.300	5,74	28.800	11,6	21.800	8,75	27.800	11,2	28.200	11,3
I ALT	19.200	7,71	35.400	14,2	27.600	11,1	33.800	13,6	35.900	14,4
FOSFOR:										
Basisbidrag *)	147	0,06	228	0,09	195	0,08	173	0,07	213	11,3
Punktkilder	13	0,01	20	0,01	18	0,01	18	0,01	22	14,4
Diffus afstrømning	238	0,10	366	0,15	253	0,10	223	0,09	285	0,11
I ALT	398	0,16	614	0,25	466	0,19	414	0,17	520	0,21

*) Basisbidraget er beregnet ud fra medianværdien for den vandføringsvægtede koncentration af N og P i naturvandløb i de aktuelle år (se bilag 1).

Tabel 3.4.4.
Kildeopsplitning af afstrømningen af kvælstof og fosfor i Arreskov Sø 1989-1993.

Figur 3.4.3.
Kilder til kvælstof- og fosforafstrømningen til Arreskov Sø 1993.



Usikkert at vurdere fosforkilderne

En opgørelse af den potentielle spildevandsbelastning fra den spredte bebyggelse i oplandet til Arreskov Sø (baseret på Miljøstyrelsens normtal) fremgår af tabel 3.4.5.

Den potentielle spildevandsbelastning omfatter spildevandsproduktionen fra ejendomme med afledning til sø, vandløb eller dræn. Der regnes således ikke

med belastning fra ejendomme med nedsivning eller samletank.

Den potentielle spildevandsbelastning til Arreskov Sø vurderes at være usikkert bestemt, blandt andet fordi de foreliggende oplysninger om spildevandsafledningsforhold er meget usikre. Især vurderes, at det oplyste antal ejendomme med nedsivning er for højt. Også usikkerheder med de anvendte normaltal (se bilag 1) spiller ind.

På nuværende tidspunkt vurderes det at være for usikkert at fastlægge, hvor stor en del af den diffuse fosfortilledning til søen, der stammer fra den spredte bebyggelse, og hvor stor en del, der stammer fra dyrkningsjorden. Dette skyldes primært 3 forhold:

1. Målinger af fosforafstrømningen i mindre vandløb er usikker med den nuværende målestrategi. Man undervurderer generelt fosforafstrømningen (Fyns Amt, 1994a og Danmarks Miljøundersøgelser, 1994)
2. Bestemmelsen af fosformængden, der produceres i husholdningerne (jvf. tabel 3.4.5) baserer sig sandsynligvis på forældede normaltal. Fosformængden er tilsyneladende faldet (jvf. figur 3.4.2).
3. Der foreligger endnu ikke veldokumenterede metoder til at fastlægge, hvor stor en andel af spildevandet fra den spredte bebyggelse, der når frem til recipienterne.

Der er dog ingen tvivl om, at både fosforudledningen fra den spredte bebyggelse og afstrømningen af fosfor fra dyrkningsjorden er betydende kilder til belastningen af Arreskov Sø.

Undersøgelser i blandt andet Det særlige landovervågnings-opland (Fyns Amt, 1994a) viser, at fosforafstrømningen fra dyrkede arealer er væsentligt større end afstrømningen fra naturarealer.

Tabel 3.4.5.

Den potentielle spildevandsbelastning fra spredt bebyggelse i oplandet til Arreskov Sø.

Kvælstof	450 kg N/år
Fosfor	150 kg P/år

3.5 Atmosfærisk deposition

Den atmosfæriske deposition på søen er skønnet på baggrund af depositionsmålinger fra målestationerne i Årslev, Boelsmose og Grøftehøj. Ingen af disse stationer er placeret i oplandet til Arreskov Sø, men ligger på Midt- og Østfyn.

Der henvises til rapporten Fyns Amt 1994b for en nærmere beskrivelse af den atmosfæriske deposition, herunder blandt andet årsagssammenhænge for år-til-år variationer.

Tabel 3.5.1.
Atmosfærisk deposition af kvælstof og
fosfor på Arreskov Sø 1989-1993.

	Kvælstof kg/ha	Fosfor kg/ha
1989	15,1	0,36
1990	16,6	0,40
1991	11,1	0,28
1992	13,4	0,22
1993	14,0	0,17

3.6 Grundvand

Grundvandstilførsel direkte til en sø kan udgøre en betragtelig del af den samlede ferskvandstilførsel. Stoftilførsel via grundvand kan derfor også have en væsentlig betydning i forbindelse med opgørelser af stofbelastninger for søer.

Arreskov Sø har en ret betydelig tilførsel af grundvand direkte til søen. Ud fra vandbalancer for søen vurderes det, at grundvandstilførslen har udgjort 16-30 % af den totale tilstrømning i de fem år. I 1993 var grundvandstilførslen 18 %. Opgørelsesmetoden er beskrevet i bilag 1.

3.7 Øvrige belastningskilder.

Arreskov Sø er en vigtig rasteplass for grågæs i månederne august-september. Græssene søger i perioden føde på tilgrænsende arealer, men tilbringer nattetimerne på søen. Herved sker der med gæssenes affaldsprodukter en tilførsel af næringsstoffer fra søens omgivelser til selve søen.

Belastningens størrelse er skønnet ud fra en vurdering af antallet af grågåsedage ved søen og den daglige tilførsel af kvælstof og fosfor pr. grågå (oplysninger fra Jesper Madsen, Miljøministeriets Vildtforvaltning).

3.8 Vurdering af belastningen fra de enkelte hovedtilløb til søen

Belastningen fra de enkelte hovedtilløb til Arreskov Sø er illustreret på figur 3.8.1 for perioden 1989-1993. Der er dels vist de målte koncentrationer af kvælstof og fosfor, dels afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor på månedsbasis. Desuden er vist de anslåede værdier for det umålte opland.

Koncentrationerne af total-kvælstof og total-fosfor i søens hovedtilløb er sammenholdt med, hvad der er målt i andre fynske vandløb i samme periode. Dette er illustreret grafisk på figuren ved et fraktilbånd, der dækker 25-75 %-fraktilen for de målte koncentrationer (50 % af koncentrationerne ligger indenfor dette interval). Fraktilbåndet er beregnet på baggrund af vandkvalitetsmålinger på 33 fynske vandløbsstationer.

Desuden er den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af kvælstof og fosfor i de enkelte tilløb samt i naturvandløbet Holstenshuus vist i tabel 3.8.1.

Den geografiske placering af de enkelte tilløb samt afgrænsning af afstrømningsoplandet fremgår af figur 1.1.1.

Kvælstof-koncentrationsniveauer

Kvælstofkoncentrationen i fire ud af de seks tilløb, der måles på, er relativ lille sammenlignet med andre fynske vandløb. Dette skyldes, at disse vandløb afvander områder med meget skov og kun lidt landbrug. Kvælstofniveauet i de fire tilløb er dog noget højere end niveauet i naturvandløb.

Meget høje kvælstofkoncentrationer i Gedderenden.

I to tilløb til søen, Gedderenden og Planteheld, er kvælstofkoncentrationen høj sammenlignet med, hvad der generelt måles i fynske vandløb. Dette skyldes, at en stor andel af oplandet består af landbrugsarealer kombineret med et stort husdyrhold.

I Gedderenden forekommer de højeste kvælstofkoncentrationer, der overhovedet er målt på Fyn (Fyns Amt, 1994c). Forklaringen herpå er formentlig et stort husdyrhold i oplandet (jvf. figur 3.1.1).

I 1993 blev der afviklet to synkrone målerunder forskellige steder i oplandet til Gedderenden med henblik på at kortlægge årsagerne til det høje kvælstofkoncentrationsniveau i Gedderenden. Målingerne viste de højeste værdier i den øverste halvdel af Gedderenden.

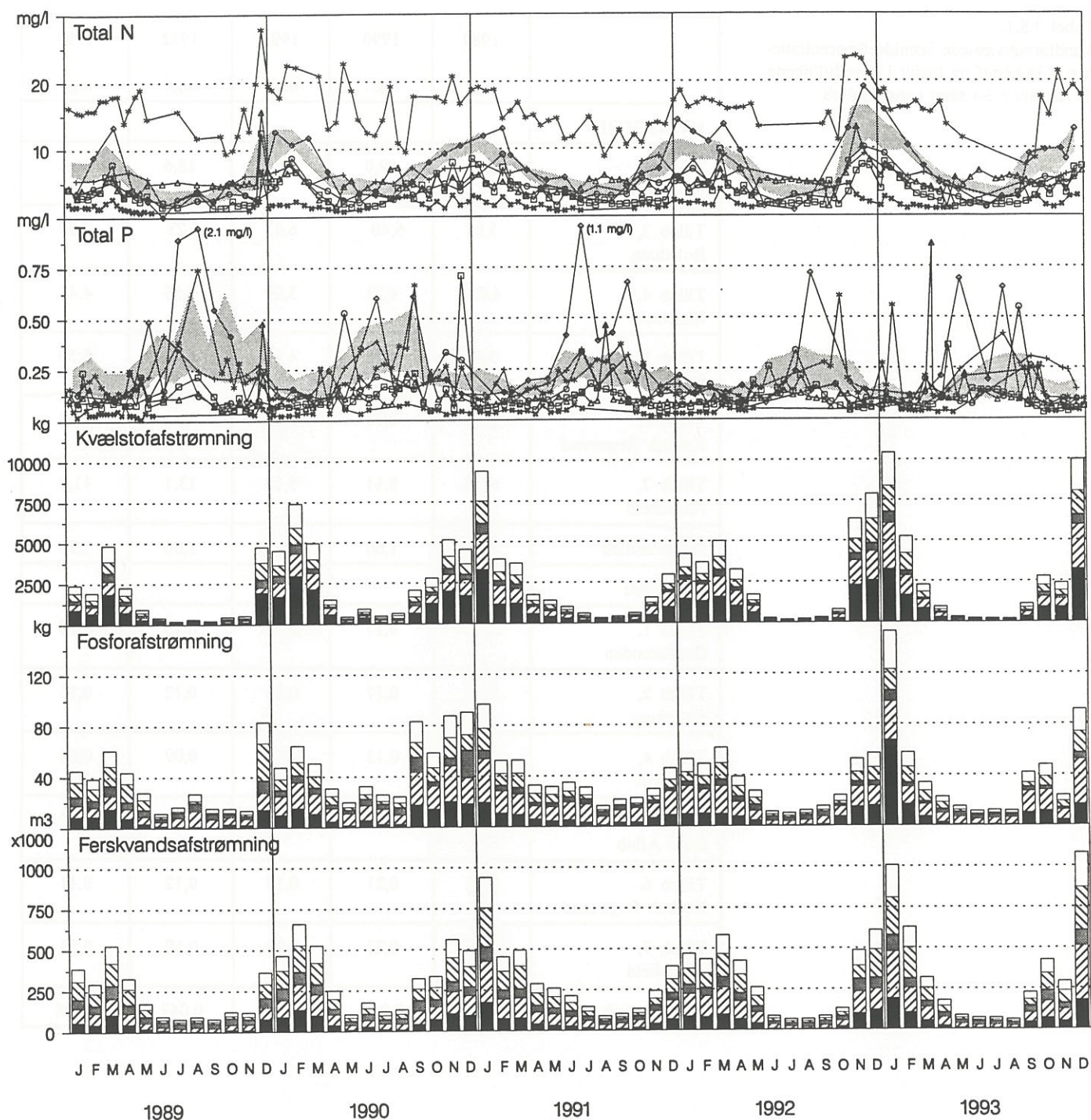
I oplandet til Gedderenden har der tidligere været ulovlige udledninger af ajle og møddingsvand, mens gødningsopbevarings-forholdene er nu bragt i orden og et eventuelt gårdbidrag kan derfor udelukkes.

Det høje kvælstofkoncentrationsniveau i Gedderenden må derfor antages at stamme fra et ekstraordinært stort tab af kvælstof fra landbrugsarealer i oplandet måske som følge af en dårlig udnyttelse af husdyrgødningen fra ejendomme med husdyrhold i oplandet.

I afløbet fra Søbo er der på årsbasis en relativ lav kvælstofkoncentration, men i sommerhalvåret er kvælstofkoncentrationen i dette vandløb højere end i de fleste andre vandløb på Fyn.

Kvælstofafstrømning udviser stigende tendens i to tilløb

I tilløb 6 (Korinth Regnvand) og tilløb 7 (Planteheld) er der sket en stigning i den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i perioden 1989-1993. Dette skyldes formentlig et øget kvælstoftab fra landbrugsdriften i de to områder. For de øvrige vandløb, der afstrømmer til Arreskov Sø, vurderes den kulturbetingede kvælstofafstrømning at være uforandret høj i perioden 1989-1993, hvilket også gælder den samlede kvælstofafstrømning til søen.



Figur 3.8.1.

Belastningen fra de enkelte deloplønde til Arreskov Sø 1989-1993. Øverst er vist de målte koncentrationer af kvælstof og fosfor sammenholdt med værdier for andre fynske vandløb. Nederst er vist afstrømningen af kvælstof, fosfor og ferskvand på månedsbasis.

- Tilløb 1, Gedderenden
- +—+ Tilløb 2, Bøllelung
- Tilløb 4, Rislebæk
- △—△ Tilløb 5, Søbo Afløb
- Tilløb 6, Korinth Regnvand
- ◇—◇ Tilløb 7, Plantheild
- *— Naturvandløb, Holstenshuus (afstrømmer ikke til søen)

▨ Variationsinterval (25% – 75% – fraktiler) for fynske vandløb

- Tilløb 1, Gedderenden
- ▨ Tilløb 2, Bøllelung + Tilløb 6, Korinth Regnvand + Tilløb 7, Plantheild
- ▩ Tilløb 4, Rislebæk
- ▤ Tilløb 5, Søbo Afløb
- Umålt opland

Tabel 3.8.1.

Vandføringsvægtede årsmiddelkoncentrationer af kvælstof og fosfor i hovedtilløbene til Arreskov Sø samt naturvandløb.

	1989	1990	1991	1992	1993
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
KVÆLSTOF:					
Tilløb 1, Gedderenden	18,1	19,0	15,9	18,6	16,4
Tilløb 2, Bollelung	5,85	6,40	6,43	7,23	5,90
Tilløb 4, Rislebæk	4,03	4,71	3,99	4,55	4,47
Tilløb 5, Søbo Afløb	5,47	4,98	4,59	6,17	5,50
Tilløb 6, Korinth Regnvand	3,28	4,17	5,06	5,91	5,76
Tilløb 7, Planteheld	6,76	9,11	9,14	13,1	11,2
Naturvandløb	1,80	1,60	1,50	1,60	1,70
FOSFOR:					
Tilløb 1, Gedderenden	0,17	0,17	0,14	0,13	0,20
Tilløb 2, Bollelung	0,14	0,17	0,16	0,12	0,15
Tilløb 4, Rislebæk	0,12	0,13	0,09	0,09	0,08
Tilløb 5, Søbo Afløb	0,15	0,10	0,08	0,08	0,08
Tilløb 6, Korinth Regnvand	0,12	0,21	0,15	0,12	0,11
Tilløb 7, Planteheld	0,23	0,21	0,20	0,18	0,13
Naturvandløb	0,055	0,055	0,052	0,047	0,048

Fosforkoncentrationsniveauer

Fosforkoncentrationsniveauet i de seks søtilløb, der måles stofafstrømning på, er noget højere end niveauet i et naturvandløb, og det må derfor konstateres, at alle tilløb har et forhøjet kulturbetinget indhold af fosfor.

To af tilløbene (Rislebæk og Søbo Afløbet) har generelt ret lave fosforniveauer sammenlignet med andre fynske vandløb. I et søtilløb (Planteheld) ses relativt høje fosforkoncentrationer.

I førømtalte synkrone målerunder blev de højeste fosforkoncentrationer målt i tilløb 2 (Bollelung) samt i Gedderenden ved rørudløbet ved Odensevej. Dette kan forklares med udledning af spildevand fra ejendomme ved Ny Stenderup og Gammel Stenderup.

Kulturbetinget fald i fosforkoncentrationsniveau i 4 tilløb

I 4 ud af de 6 undersøgte tilløb ses et fald i den vandføringsvægtede fosforkoncentration i perioden 1989-1993 (se tabel 3.8.1). Dette fald kan sandsynligvis henføres til en reduceret fosforudledning fra husholdningerne samt en øget andel af vintergrønne marker langs tilløbene, jvf. afsnit 3.4.

Afstrømning af kvælstof, fosfor og ferskvand

Gedderenden, Rislebæk og Søbo Afløbet.

De tre største tilløb til Arreskov Sø er Gedderenden, Rislebæk og Søbo Afløbet. Disse tre tilløb bidrager med over halvdelen af oplandets ferskvandstilførsel til søen. Af disse tre tilløb er Søbo Afløbet det største, idet 25 % af oplandets samlede ferskvandstilførsel kommer fra dette tilløb, mens Gedderenden og Rislebæk i perioden 1989-1993 har bidraget med henholdsvis 14-17 % og 12-19%.

Med hensyn til kvælstoftilførsel kommer det største bidrag fra Gedderenden, svarende til 31-39 % af den samlede kvælstofafstrømning til søen. Rislebækken og Søbo Afløbet har bidraget med henholdsvis 6-11 % og 15-19 % af den totale kvælstofafstrømning i perioden 1989-1993.

Oplandet til de tre tilløb udgør 47 % af søens samlede opland, hvoraf oplandet til Gedderenden udgør 7 %, oplandet til Rislebæk 14 % og oplandet til Søbo Afløbet 26 %.

Umålt opland.

Det umålte opland skønnes at bidrage med 18-20 % af den samlede kvælstofafstrømning til søen.

Med hensyn til den årlige fosforafstrømning til Arreskov Sø er den største mængde kommet fra Gedderenden (17-26 % med maksimum i 1993), mens det største bidrag kom fra Søbo Afløbet i 1989 (25 %). I 1993 var Søbo Afløbet på anden pladsen med 16 %. Det umålte opland skønnes at bidrage med 18-20% af den fosforafstrømning til søen.

3.9 Udviklingstendenser i søens eksterne belastning

Kvælstof

På baggrund af vurderinger af Arreskov Søs eksterne belastningskilder må man konkludere, at den kulturbetingede kvælstoftilførsel er uforandret høj. De konstaterede år-til-år variationer i tilførslerne kan alene henføres til forskelle i de meteorologiske forhold de enkelte år.

Fosfor

Derimod ses tendens til et fald i den kulturbetingede fosforafstrømning til søen i perioden 1989-1993. Årsagen til faldet kan formentlig henføres til et generelt fald i fosforudledningerne fra husholdningerne samt en øget andel af vintergrønne marker i undersøgelsesperioden, jvf. afsnit 3.4.

3.10 Vurdering af muligheder for begrænsning af næringsstofftilførsel til søen

For at sikre at regionplanens målsætning for Arreskov Sø kan opfyldes, er det nødvendigt med en reduktion i næringsstofftilførslerne til søen. Der kan peges på følgende muligheder for en reduktion af belastningen:

- Bedre rensning af spildevandet fra den spredte bebyggelse i oplandet.
- Marginalisering/ekstensivering af vandløbsnære arealer med henblik på:
 - 1) Tilbageholdelse/omsætning af kvælstof, der afstrømmer fra landbrugsarealer.
 - 2) Tilbageholdelse af fosfor, der ved jorderosion afstrømmer overfladisk fra dyrkede arealer.

De foranstaltninger, der er iværksat for at sikre, at landbruget lever op til Vandmiljøplanens mål for reduktion af udledning af næringsstoffer, forventes ad åre at reducere kvælstofafstrømningen med 20 % (Fyns Amt, 1994c), mens der ikke umiddelbart forventes en reduktion i fosforafstrømningen fra landbrugsarealer som følge af disse foranstaltninger.

EUs landbrugsreform vil måske give anledning til yderligere reduktion i kvælstofafstrømningen fra landbruget, idet der bl.a. gives tilskud til braklægning, hvilket jo er sket ved Gedderenden.

Det skal i den forbindelse nævnes, at Fyns Amt og Landboorganisationerne på Fyn har indledt et samarbejde blandt andet med henblik på at målrette EU-reformens braklægnings-foranstaltning til fordel for såvel landbrug som fynske natur- og miljøinteresser.

Vandmiljøplanen stiller ingen udlederkrav til spildevand fra spredt bebyggelse. Men i Fyns Amts udkast til Regionplan (1993-2005) er der lagt op til gennemførelse af en forbedret spildevandsrensning for den spredte bebyggelse i søens opland inden 1997.

4. Vandbalance

Dette afsnit beskriver vandbalancen for Arreskov Sø i 1993, idet der drages sammenligninger med perioden 1989-92. Vandbalancen angiver til- og fraførslen af vand til søen, idet der skal være balance mellem den vandmængde, der strømmer til søen og den mængde, der strømmer fra søen:

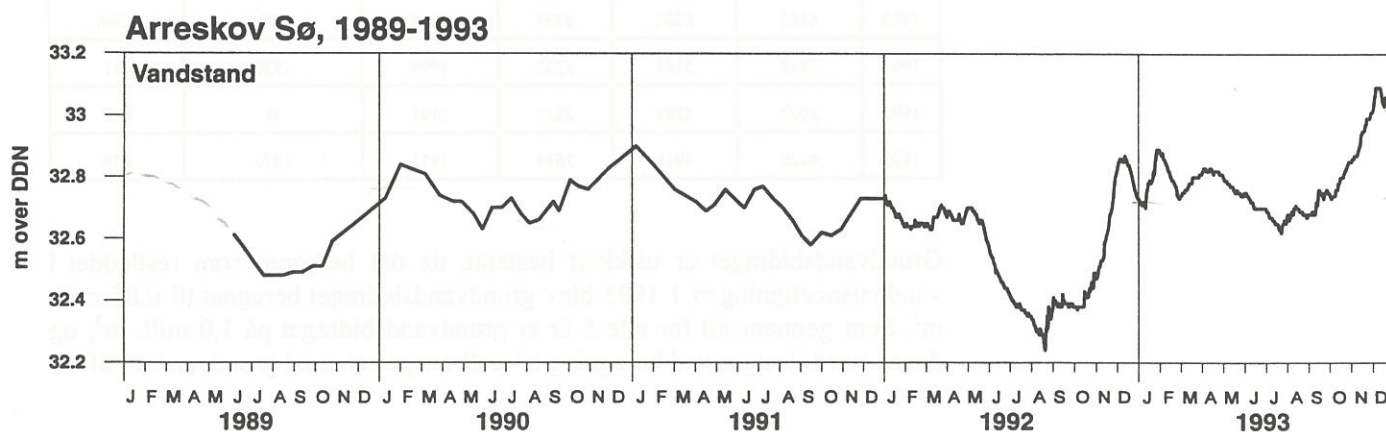
$$Q_{\text{overfl.}} + \text{Nedbør} + \text{Grundvand} = Q_{\text{aflob}} + \text{Fordampning} + \text{Magasinændring}$$

$Q_{\text{overfl.}}$ betegner den samlede overfladiske tilstrømning fra det topografiske opland, og er beregnet på baggrund af målinger i 6 tilløb. Dette målte opland udgør 80% af det samlede opland på 24,8 km². Afstrømningen fra restoplandet er beregnet på baggrund af det målte opland ved arealkorrektion som beskrevet i bilag 1. Q_{aflob} betegner den samlede vandføring i afløbet. Grundvandsbidraget er ikke målt, men beregnes ud fra vandbalanceligningen. Magasinændringen beregnes ud fra ændringer i vandstanden og regnes positiv, når der ophobes vand.

Vandstand

Vandstanden i søen reguleres ved en opstemning ved Arreskov Vandmølle i søens afløb. Som det fremgår af figur 4.1 og tabel 4.1 har vandstanden i 1993 været holdt på et noget højere niveau end i 1992 på trods af, at vandtilførslen har været mindre. Vandstanden var således kun i en meget kort periode under den minimumsvandstand på kote 32,65 DNN, som er fastsat i fredningskendelsen af 22. juni for Arreskov Sø med omgivelser (Fredningsnævnet for Fyns Amts sydlige Fredningskreds, 1993). Kendelsen er dog ikke gældende, fordi den er anket til Overfredningsnævnet (af andre årsager).

I slutningen af året steg søens vandstand kraftigt, og fra midt i november var vandstanden højere end i nogen af de tidligere år. Ved årets udgang var vandstanden 33 cm højere end ved årets begyndelse, svarende til en magasinændring på ca. 1 mill. m³.



Figur 4.1.
Vandstand i Arreskov Sø 1989-93 målt i
meter over "Dansk Normal Nul".

Tabel 4.1.

Vandstande i Arreskov Sø, 1989-93. Værdierne for 1989 er usikre, da målingerne først startede i juni. Fra og med 1992 er værdierne baseret på en kontinuert registrering af vandstanden.

	År			Sommer		
	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.	Min.
1989	32,55	32,71	32,48	32,50	32,70	32,48
1990	32,73	32,88	32,63	32,67	32,76	32,63
1991	32,71	32,90	32,58	32,69	32,76	32,58
1992	32,64	32,97	32,24	32,39	32,70	32,24
1993	32,77	33,09	32,62	32,70	32,81	32,62

Vandbalancen

Balancen mellem vand, som er ført henholdsvis til og fra Arreskov Sø i årene 1989-93, fremgår af tabel 4.2. De beregnede opholdstider for vandet i søen ses i tabel 4.3, og i bilag 2 er vandbalancen angivet på månedsbasis.

Den overfladiske afstrømning til Arreskov Sø i 1993 var den største i de fem overvågningsår. Afstrømningen var usædvanlig fordelt, idet det specielt var afstrømningerne i januar og december (og til dels september-oktober), der var ekstremt høje (se figur 5.1 og afsnit 2). Derimod var afstrømningen i foråret og forsommeren (marts-juni) forholdsvis lav. I sommerperioden 1.5-30.9 blev afstrømningen derfor den laveste i de fem overvågningsår (se bilag 2).

Fordampningen fra søoverfladen var lavere end i de øvrige overvågningsår, både på års- og sommerbasis. Dette skyldes især, at sommermånederne juli-september var kølige og solfattige (afsnit 2).

Tabel 4.2.

Års-vandbalance for Arreskov Sø 1989-93.

	$Q_{\text{overfl.}}$ 1.000 m ³	$Q_{\text{afb.}}$ 1.000 m ³	Nedbør 1.000 m ³	Fordampn. 1.000 m ³	Magasinændring 1.000 m ³	Grundvand 1.000 m ³
1989	2665	3158	1837	2118	-	-
1990	4146	6004	2737	2124	352	1598
1991	3748	5147	2368	1999	-320	711
1992	3697	4789	2359	2191	0	942
1993	4426	4916	2614	1911	1070	858

Grundvandsbidraget er usikkert bestemt, da det beregnes som restleddet i vandbalanceligningen. I 1993 blev grundvandsbidraget beregnet til 0,85 mill. m³. Som gennemsnit for alle 5 år er grundvandsbidraget på 1,0 mill. m³, og denne værdi bruges ved beregning af stoftransporten med grundvandet i afsnit 5.

Grundvandstilskuddet svarede i 1993 til 19% af den overfladiske tilstrømning til søen. For hele perioden har det beregnede grundvandstilskud svaret til 26 % af den overfladiske tilstrømning.

Vandets opholdstid i søen

I tabel 4.3 er vist den beregnede opholdstid for vandet i Arreskov Sø, dels på basis af den overfladiske tilstrømning, og dels på basis af fraførslen af vand i søens afløb. Forskellen på de to værdier skyldes først og fremmest tilstrømningen af grundvand. Endvidere kan store magasinændringer have betydning.

På trods af forskelle i afstrømning og vandstand fra år til år er middel-opholdstiden (beregnet ud fra fraførslen af vand) nogenlunde konstant på 1,2 år. Den tørre forsommer i 1993 viser sig i en forholdsvis stor sommeropholdstid, hvorimod vinteropholdstiden er kort som følge af den store afstrømning i starten af året.

Tabel 4.3.

Oversigt over opholdstider for vand i Arreskov Sø, 1989-93.

Opholdstid ud fra tilførsel (år):					
	År (1.1-31.12)	Sommer (1.5-30.9)	Vinter (1.12-31.3)	Maks. måned	Min. måned
1989	2,1	4,4	1,2 *	5,8	0,95
1990	1,5	2,9	1,0	4,8	0,73
1991	1,6	3,1	0,85	5,6	0,56
1992	1,5	3,8	1,0	6,6	0,84
1993	1,4	4,9	0,80	8,4	0,53
Opholdstid ud fra fraførsel (år):					
	År (1.1-31.12)	Sommer (1.5-30.9)	Vinter (1.12-31.3)	Maks. måned	Min. måned
1989	1,8	6,9	0,8 *	58	0,66
1990	1,0	3,5	0,65	7,3	0,44
1991	1,2	3,4	0,53	4,5	0,40
1992	1,1	3,8	0,64	uendelig	0,45
1993	1,3	6,3	0,60	219	0,33

* I 1989 er vinteropholdstiden beregnet for perioden 1.1 - 31.3.

For en nærmere diskussion af afstrømningsforhold og tilførsler af kvælstof og fosfor henvises til afsnit 3. I det følgende gennemgås de enkelte stoffers balancer for 1989-1993.

Tabel 5.2
Stofbalance for Arreskov Sø i sommerperioden (1.5-30.9), 1989-92.

	Total kvælstof					Total fosfor				
	1989	1990	1991	1992	1993	1989	1990	1991	1992	1993
Tilført, kg	4209	7372	5429	4429	4161	191	298	215	132	138
Fraført, kg	920	2592	2405	1115	752	76	178	154	65	47
Nettotab, kg	3289	4780	3024	3314	3409	115	120	61	67	91
Nettotab, %	78	65	56	75	82	60	40	29	51	66

Kvælstof

Søens arealbelastning (belastning pr.m² søoverflade) af kvælstof var i perioden 1989-93 på 8-13 g N/m²*år, lavest i 1989 og højst i 1990 og 1993. Denne arealbelastning er meget lav, idet den kun udgør ca. 10% af, hvad der er fundet som gennemsnit for 25 nationale overvågningssøer i 1989-91 (Kristensen m.fl., 1992).

Årsagen til ovennævnte forhold er en relativt lille afstrømning af ferskvand og kvælstof fra oplandet (se afsnit 3), samt at søen har et relativt stort overfladeareal.

Den gennemsnitlige (vandføringsvægtede) kvælstofkoncentration i afstrømningen fra søens opland var på 7,2-9,2 mg N/l, hvilket er lidt mindre end gennemsnittet for overvågningssøerne (Kristensen m.fl., 1992).

Kvælstoftabet i søen i 1993 er beregnet til 65%, hvilket er på niveau med tabet i 1992, men væsentligt større end i de foregående år. De sidste to år har tabet således været i den høje ende af, hvad man finder i danske søer, hvor det typisk ligger på 40-50% (Kristensen m.fl., 1992).

Årsagen til dette forøgede kvælstoftab er nærmere beskrevet i afsnit 6.2 og 6.3.

Det procentvise kvælstoftab var rekord højt i sommerperioden 1993 (82%). Imidlertid er den tilbageholdte mængde af kvælstof i denne periode ikke særlig stor, idet kun ca. 13% af den samlede årlige tilbageholdelse skete i sommerperioden.

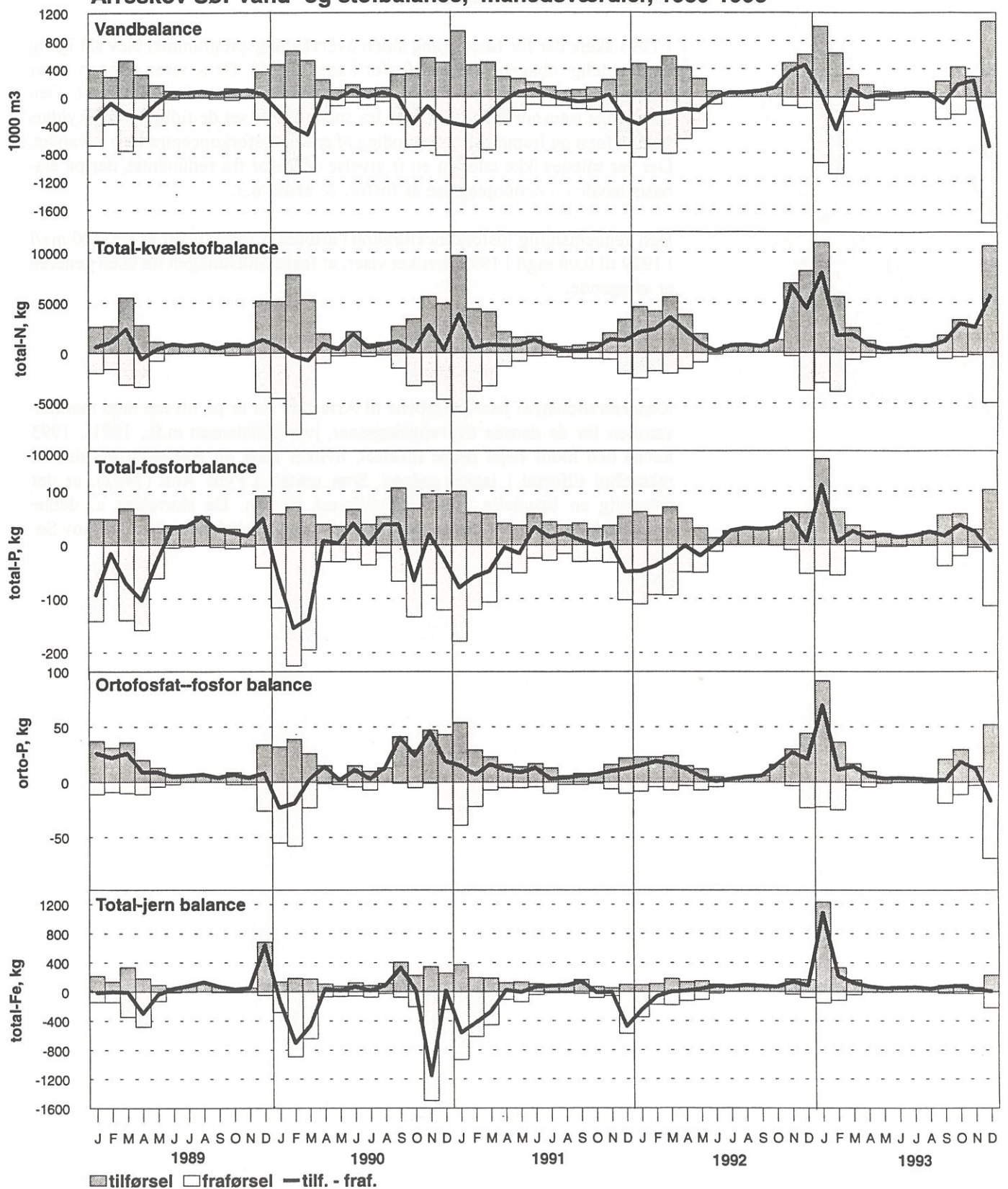
Fosfor

Arealbelastningen af fosfor var i perioden 1989-93 på 0,16 - 0,25 g P/m²*år, hvilket er lavt i forhold til gennemsnittet af de danske overvågningssøer, hvor arealbelastningen var 3,6 - 4,0 g P/m²*år i 1989-91 (Kristensen m.fl., 1992).

Den gennemsnitlige (vandføringsvægtede) fosforkoncentration i afstrømningen fra søens opland var ligeledes forholdsvis lav, nemlig 0,11 - 0,15 mg total P/l, imod 0,24 - 0,40 mg P/l som gennemsnit for overvågningssøerne i 1989-91 (Kristensen m.fl., 1992). Arreskov Sø er altså relativt svagt belastet med fosfor. Selvom fosfortilførslen i 1993 var den næststørste i perioden 1989-93, holdt den vandføringsvægtede indløbskoncentration sig på et lavt niveau i 1993. Den højere fosfortilførsel skyldes altså først og fremmest en stor vandtilstrømning til søen, specielt i januar og december måned. Fosfortilførslen i januar måned

ej ind. mængder.

Arreskov Sø: Vand- og stofbalance, månedsværdier, 1989-1993



Figur 5.1

Tilførsel og fraførsel af vand, total-kvælstof, total-fosfor, ortofosfat-fosfor og total-jern for Arreskov Sø, 1989-1993. Den angivne vandtilførsel er den overfladiske tilførsel fra oplandet. Den angivne tilførsel af total-kvælstof og total-fosfor er den totale tilførsel fra opland og atmosfære, mens den angivne tilførsel for ortofosfat-fosfor og total-jern er den overfladiske tilførsel. Endvidere er angivet forskellen mellem tilførsel og fraførsel.

ny!
indregnes magasin-
Andersens er der
og på rekorden i 90-92
Der har indregnet
med af P_i-g_i-doand
= P_i overfl.

var således den hidtil højst målte.

I 1993 skete der for første gang siden overvågningsprogrammet blev sat igang en betydelig tilbageholdelse af fosfor i søen (49%). Dette viser, at søen nu er kommet ind i en mere naturlig balance mellem tilførsel og fraførsel. Den betydelige transport af fosfor bort fra søen, der er set de tidligere år skyldtes nemlig først og fremmest en fortynding af en høj fosforkoncentration i søvandet. Der var således ikke tale om en frigivelse af fosfor fra sedimentet, der på årsbasis havde en nettooptagelse af fosfor, se afsnit 6.3.

Den gennemsnitlig fosforkoncentration i afløbet er faldet hvert år fra 0,20 mg/l i 1989 til 0,06 mg/l i 1993, hvilket viser, at fosforafloadningen fra søen generelt er aftagende.

Jern

Koncentrationen af jern i tilløbene til Arreskov Sø er på niveau med medianværdien for de danske overvågningssøer, jvf. (Kristensen m.fl., 1991). 1993 havde den hidtil højst målte tilførsel, hvilket først og fremmest skyldes en rekordhøj tilførsel i januar måned. Som omtalt i Fyns Amt (1992), er der antagelig en betydelig grundvandstilførsel af jern. Da størrelsen af denne imidlertid er ukendt, er der en stor usikkerhed på jernbalancen for Arreskov Sø.

6. Fysisk-kemiske forhold i søen

6.1 Søvand

Dette afsnit giver en kort karakteristik af de fysisk-kemiske forhold i 1993, specielt med henblik på forskelle fra tidligere år.

Resultaterne af de i 1989-93 udførte fysisk-kemiske målinger i søens overfladevand fremgår af figur 6.1.1 - 6.1.5, der endvidere viser sommer- og årsgennemsnit for de enkelte parametre. For alle år, hvorfra der foreligger målinger, er der i bilag 4 vist beregnede sommer-, vinter- og årsmiddelværdier samt fraktiler af udvalgte parametre. I bilag 7 er endvidere vist en sammenstilling af en række fysisk-kemiske parametre.

Den betydelige ændring i søens miljøforhold, som indtrådte i 1992 blev yderligere forstærket i 1993. I forhold til årene før 1992 var søen således i 1993 bl.a. karakteriseret ved usædvanligt klart vand og et lavere fosfor- og kvælstofniveau. Det klare vand var en følge af en ringe algemængde og et lavt indhold af suspenderet stof i vandet.

Temperatur- og iltforhold (fig. 6.1.1)

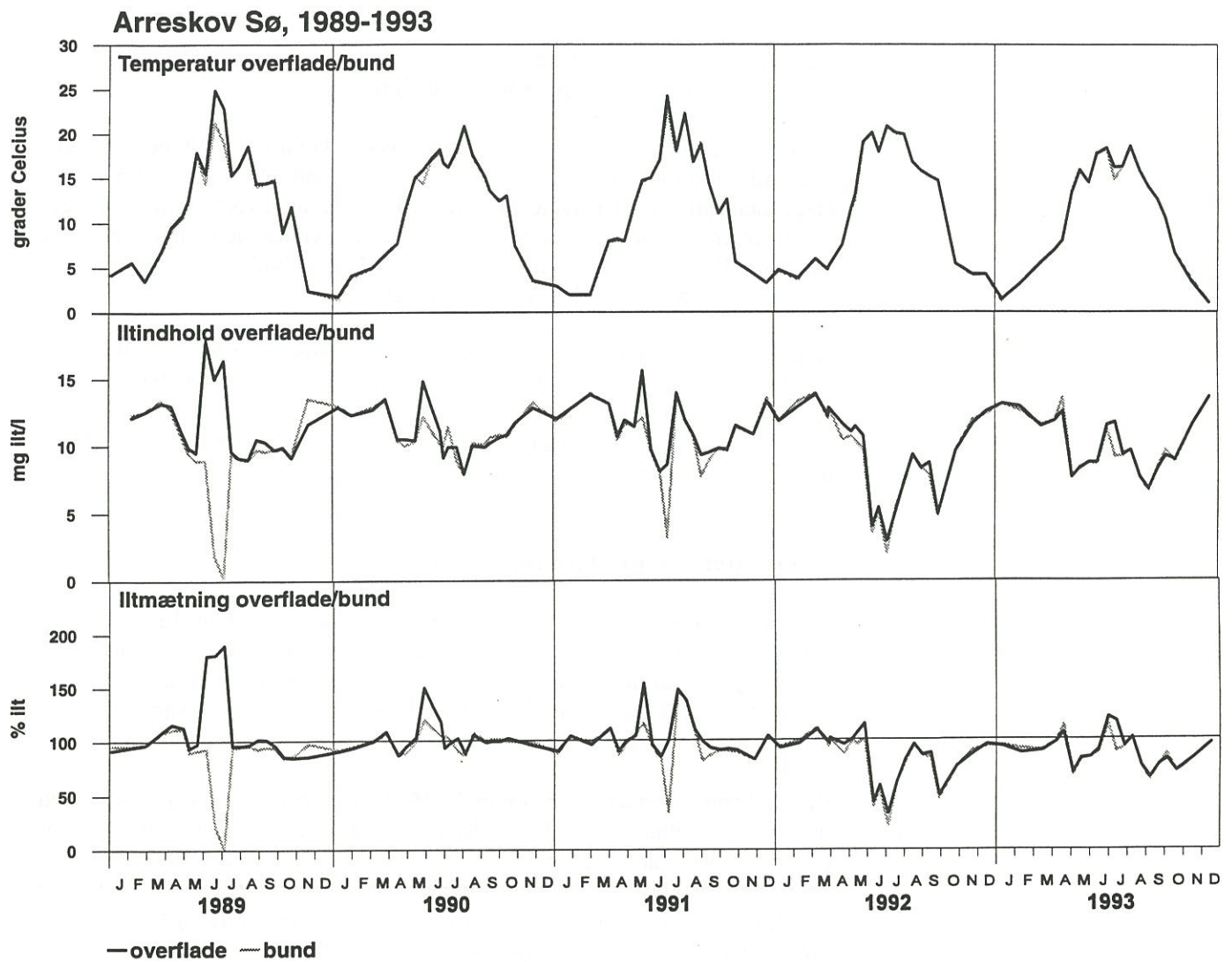
Søen var ikke isdækket i vinterperioden. Fra slutningen af april skete der en hurtig opvarmning af vandet i forbindelse med et varmt forår. Selve sommeren var kølig, og den højeste temperatur (18,9 °C) målt i starten af september. Dermed blev vandtemperaturen i 1993 den laveste i de 5 overvågningsår, og for første gang kom den ikke over 20 °C.

Iltforholdene i vandet var bedre end i 1992, hvor der forekom perioder med under 50% mætning. I 1993 blev der ikke målt under 64% iltmætning. Under opvarmningen i april-maj måned faldt iltindholdet fra godt 100% til 69%. I denne periode blev der observeret mange småfisk i afløbet fra søen. Dette kan skyldes en flugtreaktion, selvom der intet er i målingerne, der tyder på kritisk lave iltindhold eller kritisk høje koncentrationer af ammoniak i vandet.

Vandets iltindhold er et resultat af en balance mellem iltproducerende processer (primærproduktion), iltforbrugende processer (nedbrydning/respiration) og iltudveksling med atmosfæren. Hvis primærproduktionen og respirationen er moderate, kan iltudvekslingen holde iltmætningen i vandet på omkring 100 %. Iltkurvens forløb tyder på, at nedbrydningsprocesserne ligesom i 1992 har haft mere betydning end primærproduktionen, og at der derfor netto er fjernet organisk stof fra søen i denne periode.

Sigtedybde (fig. 6.1.2)

Sigtedybden har ligesom i 1992 varieret meget i 1993 - fra 0,6 m til 3,10 m. Som i 1992 skyldtes den store sigtedybde dels en ringe algemængde i søen, dels at der generelt forekom en mindre mængde suspenderet materiale i vandet. Tendensen fra 1992 blev således forstærket i 1993. Specielt var forårsperioden mere klarvandet i 1993 end i 1992. Dette hænger sammen med, at dyreplanktonet gennem hele denne periode holdt algemængden på et meget lavt niveau, jf. afsnit 7.



Figur 6.1.1
Temperatur og iltindhold/iltmætning nær vandoverfladen (0.20m dybde) og lige over bunden i Arreskov Sø, 1989-1993.

pH (fig. 6.1.2)

Vandets pH er bl.a. afhængig af forholdet mellem primærproduktion og respiration i vandet. Primærproduktion får således pH til at stige, og respiration får pH til at falde.

pH var både i 1992 og 1993 lavere end de foregående år. Dette afspejler den generelt lavere primærproduktion og algemængde i disse år. Den højeste pH værdi (og den højeste iltmætning i vandet) i 1993 forekom den 1. juli, 14 dage før blågrøn-algebiomassen toppede. Dette kunne tyde på, at algerne havde en meget stor primærproduktion på dette tidspunkt, og at algerne allerede var begyndt at falde hen (lav primærproduktion), da deres højeste biomasse målte.

Kvælstof (fig. 6.1.3)

Som i 1992 var kvælstofindholdet i søvandet lavt sammenlignet med de tidligere år, og det var især den partikulære fraktion, der var mindsket. Kvælstofkoncentrationen i søen synes i høj grad at være knyttet til algemængden. Der er således fundet en rimelig god sammenhæng mellem koncentrationen af partikulært kvælstof og klorofyl-a (bilag 7).

Koncentrationen af uorganisk kvælstof var i 1993 lidt højere end det foregående år, hvilket især skyldtes en høj koncentration i begyndelsen af året. Dette hænger antagelig sammen med, at kvælstofafstrømningen i december-januar måned var meget høj. De laveste koncentrationer af uorganisk kvælstof opnåedes op til og under det store maksimum af blågrøn-alger i juli måned. Der var dog gennem hele perioden kvælstof tilstede i målbare koncentrationer (min. 32 µg/l), og **kvælstof var således ikke begrænsende for algevæksten i 1993.**

Ammoniumkoncentrationen var generelt moderat, og nogenlunde på niveau med det foregående år. På grund af dette og den generelt lave pH-værdi i vandet, har der i 1993 næppe optrådt koncentrationer af fri ammoniak, som kunne være skadelige for fiskene.

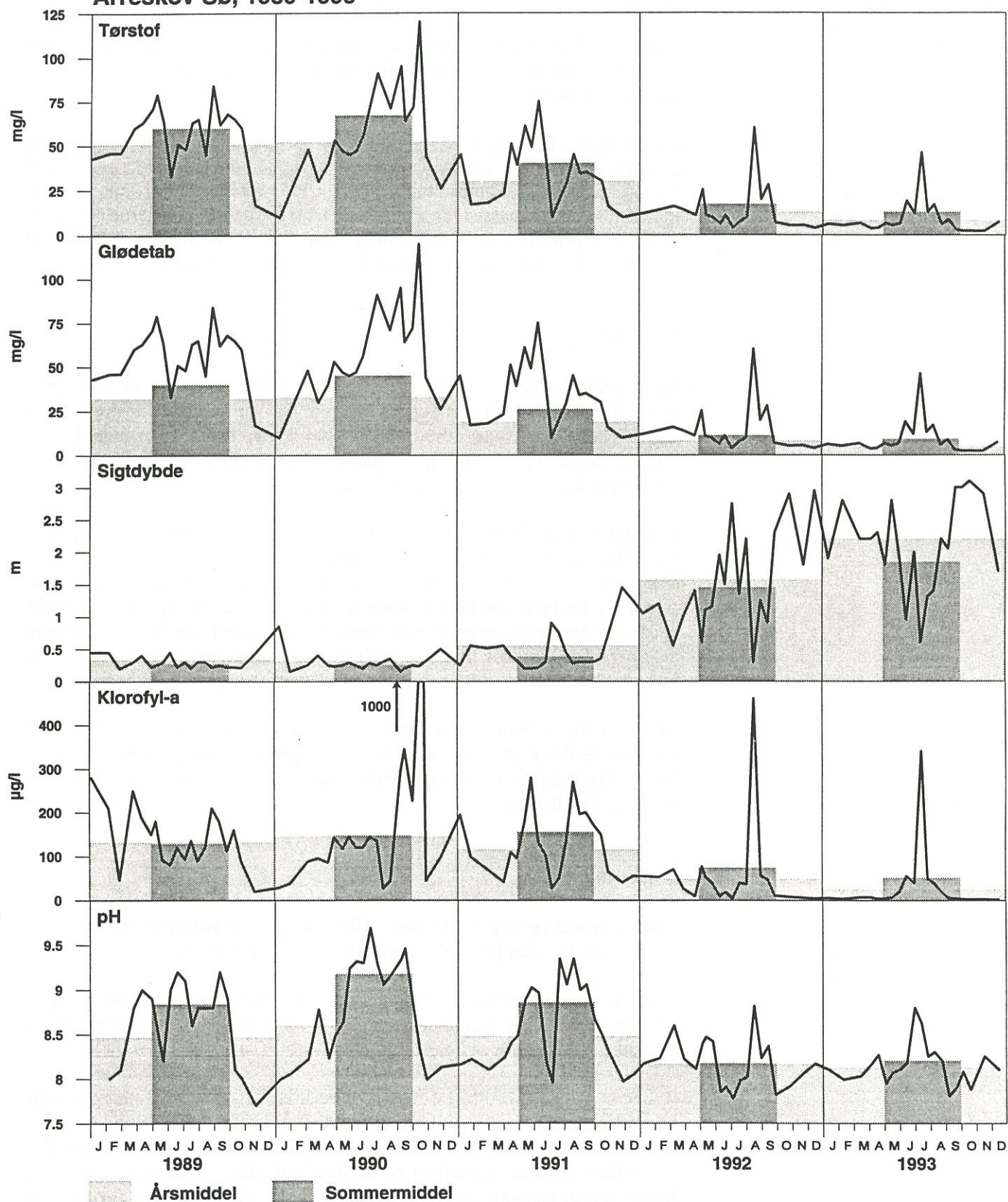
Fosfor (fig. 6.1.4)

Fosforniveauet var nogenlunde som i 1992, dvs. meget lavere end de foregående år. Det var især den partikulære fraktion, der var mindsket.

En markant top i fosforkoncentrationen forekom i forbindelse med blågrøn-algerne maksimum i juli. Det er sandsynligt, at denne top skyldes algerne aktive transport af fosfor fra sedimentet til vandfasen, jf. afsnit 6.3.

Koncentrationen af ortofosfat-fosfor var relativt høj gennem sommerperioden. På 3 tidspunkter blev der målt lave indhold af ortofosfat-fosfor (under 10 µg/l). Der sker dog en hurtig omsætning af fosfor (herunder frigivelse af ortofosfat-fosfor fra partikulært materiale), og da alger endvidere er i stand til at anvende fosfor, som er opmagasineret i cellerne, har **fosfor næppe været begrænsende for algevæksten i 1993.**

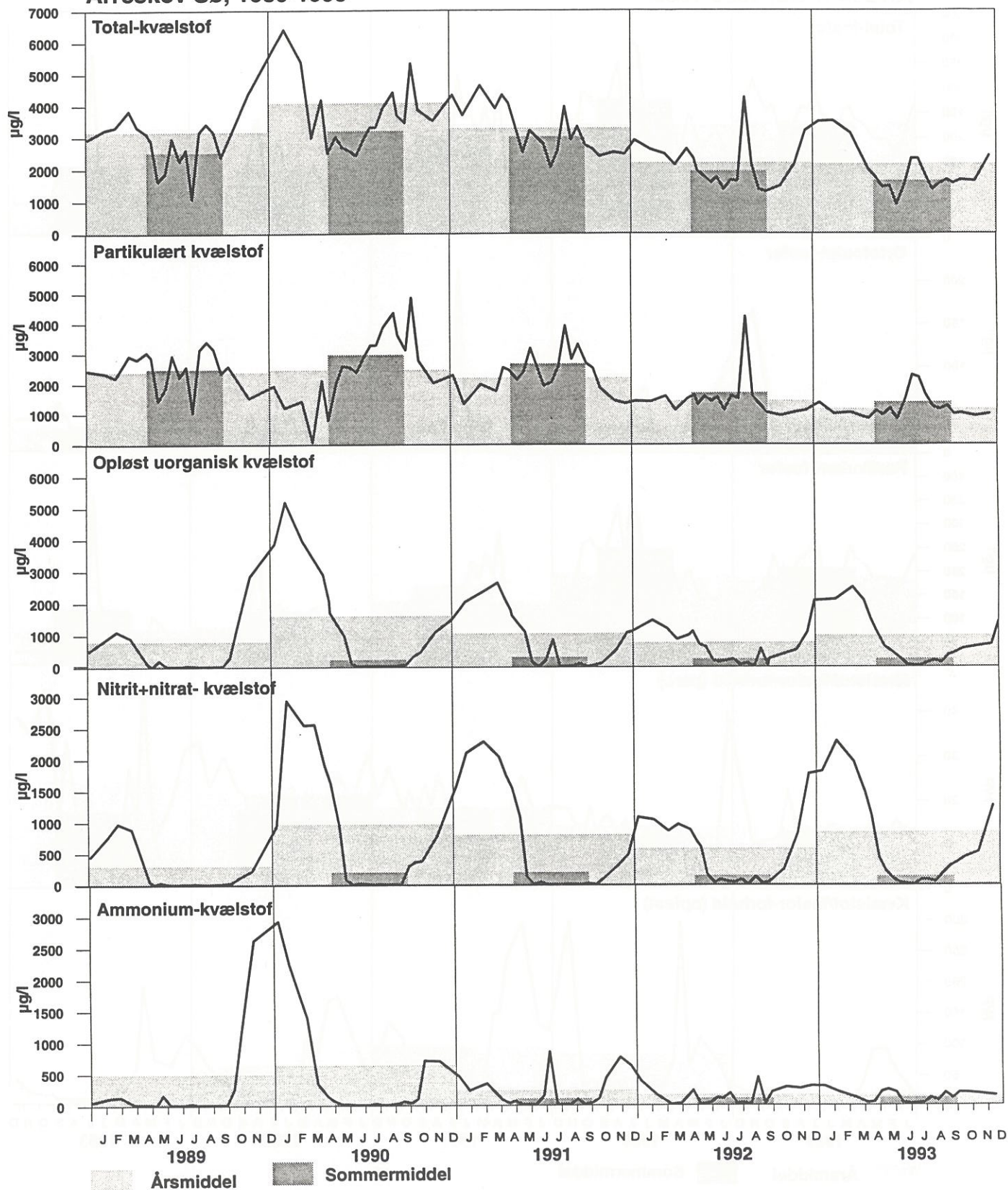
Arreskov Sø, 1989-1993



Figur 6.1.2

Indhold af partikulært tørstof, partikulært organisk stof (glødetab), sigtdybde, klorofyl-a og pH i søvandet i vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-1993.

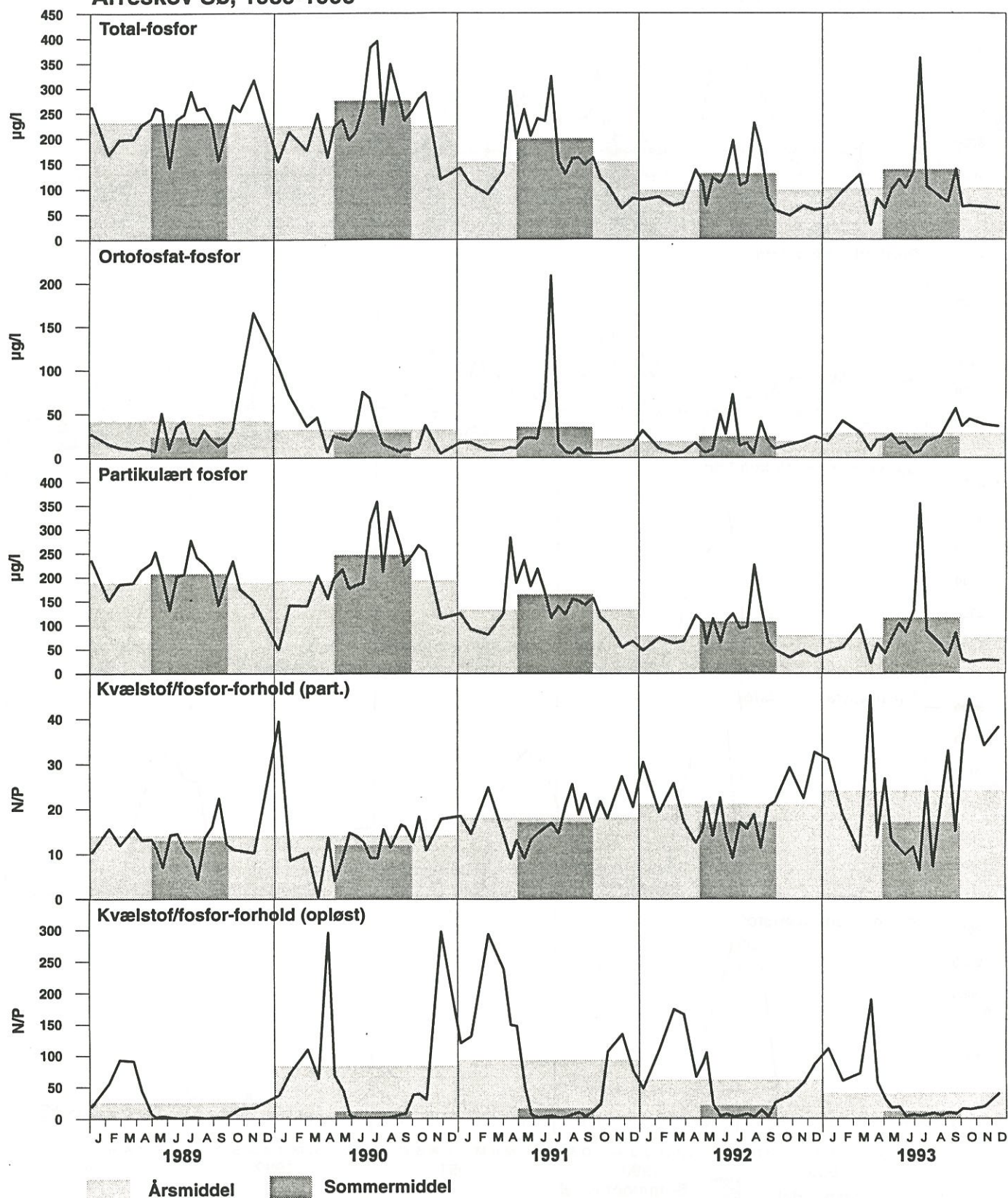
Arreskov Sø, 1989-1993



Figur 6.1.3

Indhold af total-kvælstof, partikulært kvælstof, opløst uorganisk kvælstof, nitrit+nitrat-kvælstof og ammonium-kvælstof i søvandet i vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-1993.

Arreskov Sø, 1989-1993



Figur 6.1.4

Indhold af total-fosfor, uorganisk fosfor, partikulært fosfor samt forhold mellem kvælstof og fosfor i henholdsvis partikulær og opløst form i søvandet i vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-1993.

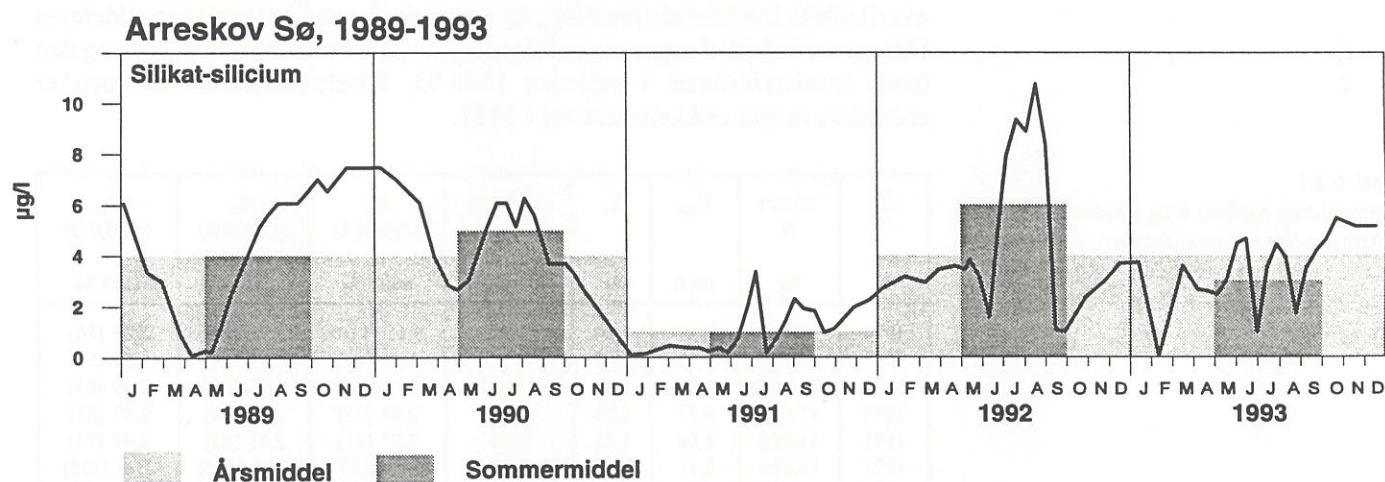
Kvælstof/fosfor forhold (fig. 6.1.4)

Forholdet mellem partikulært kvælstof og fosfor var i 1993 mere svingende end de tidligere år, men sommergennemsnittet (17) lå på samme relativt høje niveau som i 1992 og 1991. Dette kan skyldes, at det partikulære stof i de senere år i højere grad har bestået af alger og dyreplankton. Tidligere har en stor del af det partikulære materiale i vandet således bestået af ophvirvlet bundmateriale, som har et forholdsvis lavt N/P forhold.

Det er bemærkelsesværdigt, at (N/P)part.-forholdet var meget lavt under det store maksimum af blågrønalgerne *Aphanizomenon flos-aquae* og *Gloeotrichia echinulata*. Dette underbygger teorien om, at sidstnævnte alger optager store mængder fosfor i sedimentet, og bringer det med op i vandet, jf. afsnit 6.3 og Barbiero og Welch (1992).

Silicium (fig. 6.1.5)

Koncentrationen af opløst silikat var svingende gennem 1993. De lave koncentrationer optrådte i perioder, hvor der var en betydelig andel af kiselalger i planktonet. Koncentrationen af silikat var dog ikke så lav, at det var begrænsende for deres vækst. Den meget lave værdi i februar er sandsynligvis en analysefejl, da planktondata ikke tyder på, at der skulle have været en stor mængde kiselalger i januar.



Figur 6.1.5.

Indhold af silikat-silicium i søvandet nær vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-93.

6.2 Sammenhæng mellem stoftilførsel og stofkoncentration i søen

Der er for søer udviklet en række simple modeller, som beskriver sammenhængen mellem den årlige tilførsel af henholdsvis kvælstof og fosfor og den koncentration af stofferne, som findes i søvandet. Disse modeller kan bl.a. bruges til at vurdere, om stofkoncentrationen i søvandet er i ligevægt med tilførslerne, og hvordan en sø vil udvikle sig ved en ændring af belastningens størrelse.

Kvælstof

Sammenhængen mellem kvælstoftilførslen til søen og søvandets kvælstofindhold er af Kristensen m.fl. (1990) beskrevet ud fra 3 forskellige modeller:

Model 1: $N_{\text{sg}} = 0,45 N_{\text{ind}}$

Model 2: $N_{sa} = 0,42 N_{ind} Tw^{-0,11}$

Model 3: $N_{sa} = 0,34 N_{ind} Tw^{-0,16} z^{0,17}$

hvor N_{so} og N_{ind} er henholdsvis middelkoncentrationen af totalkvælstof i søvandet og i tilløbsvandet, T_w er vandets opholdstid i søen (år) og z er søens middeldybde (m).

I modellen er N_{ind} beregnet som den årlige overfladiske kvælstoftilførsel divideret med den årlige overfladiske afstrømning. På grund af Arreskov Sø's store overfladeareal, svarer nedbør direkte på vandoverfladen imidlertid til 60-70% af den overfladiske afstrømning til søen, og samtidig er fordampningen af samme størrelsesorden. Nedbør og fordampning har derfor stor indflydelse på vandbalancen og dermed på vandets opholdstid i søen.

For at tage højde for dette, er N_{ind} i tabel 6.2.1 beregnet som den totale kvælstoftilførsel divideret med den samlede vandtilførsel incl. grundvand og nedbør, men fratrækket fordampning. For 1974 foreligger kun værdier for den overfladiske kvælstofafstrømning, og der er derfor ved beregningen adderet et bidrag svarende til den gennemsnitlige forskel på kvælstofafstrømningen og den totale kvælstoftilførsel i perioden 1989-93. Kvælstoftilførslen til søen er endvidere meget usikkert bestemt i 1987.

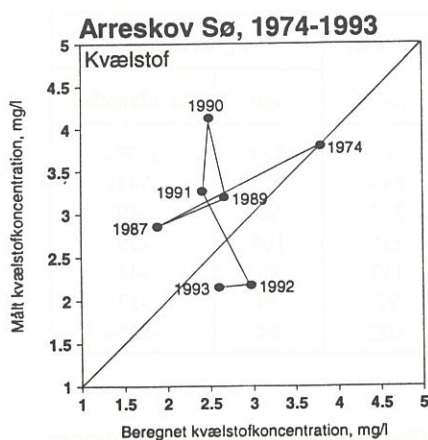
Tabel 6.2.1

Sammenhæng mellem årlig kvælstoftilførsel til Arreskov Sø og søvandets årsmiddelkoncentration af kvælstof, dels målt og dels beregnet efter model 1, 2 og 3 i Kristensen m.fl. (1990).

År	Tilført N	N _{ind}	T _w	N _{ss} (målt)	N _{ss} (model 1)	N _{ss} (model 2)	N _{ss} (model 3)
	kg	mg/l	år	mg/l	mg/l %	mg/l %	mg/l %
1974	36.000	10,57	1,54	3,78	4,15 (110)	3,70 (98)	3,27 (86)
1987	22.600	4,12	1,09	2,86	1,86 (65)	1,71 (60)	1,54 (54)
1989	24.000	7,86	1,78	3,18	3,54 (110)	3,10 (97)	2,69 (85)
1990	41.400	6,52	0,95	4,08	2,93 (72)	2,75 (68)	2,49 (61)
1991	31.900	6,60	1,23	3,26	2,97 (81)	2,71 (83)	2,42 (74)
1992	38.900	8,11	1,14	2,18	3,65 (167)	3,36 (154)	2,96 (136)
1993	41.100	6,87	1,03	2,15	3,09 (144)	2,87 (134)	2,60 (121)

Ingen af modellerne giver en præcis beskrivelse af sammenhængen mellem kvælstof-tilførsel og -koncentration. Generelt beregner model 1 de højeste og model 3 de laveste værdier, men alle modeller beregner både for høje og for lave værdier i forhold til de observerede. Dette hænger antagelig sammen med, at interne processer har haft en stor betydning for kvælstofkoncentrationen i den undersøgte periode.

Da Arreskov Sø er forholdsvis lavvandet, og har en lang opholdstid, må man antage, at model 3, som har indarbejdet disse forhold, vil give den bedste beskrivelse. Denne er præsenteret i figur 6.2.1.



Figur 6.2.1.
Sammenhæng mellem søvandets målte årsmiddelkoncentration af kvælstof, og den koncentration, der beregnes ud fra den årlige kvælstoftilførsel (vha. model 3, se tekst).

Det bemærkes, at årene 1987-91 har haft forholdsvis høje koncentrationer i forhold til tilførslen, hvorimod 1992 og 1993 har haft forholdsvis lave koncentrationer. Dette hænger sammen med, at der i førstnævnte periode 1) forekom en kraftig ophvirvling af kvælstofholdigt bundmateriale, 2) var en stor algemængde i søen (kvælstofindholdet i søen er i høj grad knyttet til algemængden, jf. afsnit 6.1) og 3) skete en nedbrydning af kvælstofholdigt organisk stof i søen, hvorved kvælstof i perioder blev frigivet til vandet.

I 1992 og 93 faldt kvælstofkoncentrationen i søen i forhold til de foregående år. Dette var ikke et resultat af mindskede tilførsler, men skyldtes hovedsageligt, at algemængden var blevet mindre, og at der forekom en mindre ophvirvling af kvælstofholdigt bundmateriale, jf. afsnit 6.1.

Fosfor

Fosformodellerne bygger typisk på en generel sammenhæng udtrykt ved ligningen:

$$P_{so} = P_{ind} (1 - R_p)$$

hvor P_{so} og P_{ind} er årsmiddelkoncentrationen af total-fosfor i hhv. søvandet og indløbsvandet, og R_p er retentionskoefficienten for fosfor, dvs. den brøkdel af fosfortilførslen, som tilbageholdes i søen.

Modellerne adskiller sig i den måde, hvorpå R_p beregnes. Den model, der synes at beskrive forholdene i Arreskov Sø bedst, er anført som model 12 af Kristensen m.fl. (1990).

I denne model beregnes R_p således:

$$R_p = (0,11 + 0,18 Tw) / (1 + 0,18 Tw),$$

hvor Tw er vandets opholdstid i søen.

Ifølge Kristensen m.fl. (1990) er model 12 endvidere den, der bedst beskriver forholdene i lavvandede søer med relativ lang opholdstid. Arreskov Sø er netop en sådan sø.

I tabel 6.2.2 er de observerede årsmiddelkoncentrationer af total-fosfor i Arreskov Sø sammenstillet med de værdier, der fremkommer ud fra de målte fosfortilførsler ved anvendelse af ovennævnte model 12.

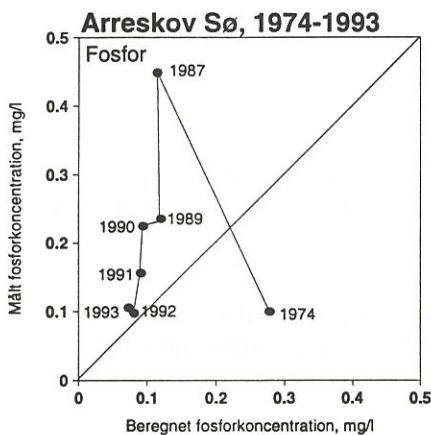
I tabellen er P_{ind} beregnet som den totale fosfortilførsel divideret med den samlede vandtilførsel incl. grundvand og nedbør men fratrasket fordampningen. Dette gælder dog ikke 1974, hvor kun den overfladiske tilførsel er anvendt ved beregningen, og 1987, hvor grundvandsbidraget ikke er medregnet. Resultaterne fra modelberegningen skal tages med forbehold og kun betragtes som retningsgivende. Modellen er følsom overfor, om de beregnede/skønnede grundvandsmængder og koncentrationer er korrekte.

Tabel 6.2.2.

Fosfortilførsler og middelkoncentrationen i tilløb til Arreskov Sø sammenstillet med den observerede årsmiddelkoncentration i søen og den koncentration, der kan modelberegnes ud fra formel 12 i Kristensen m.fl. (1990).

År	Tilført P kg	P_{ind} µg/l	T_w år	P_{so} målt µg/l	P_{so} beregnet	
					µg/l	% afvigelse
1974	1560	400	1,54	97	279	187%
1987	850	155	1,09	449	115	-74%
1989	551	174	1,78	232	96	-49
1990	778	122	0,95	225	104	-59
1991	592	123	1,23	153	86	-42
1992	521	109	1,14	97	79	-17
1993	612	102	1,03	102	84	-25%

Modellens resultater er i figur 6.2.2 sammenstillet med de målte koncentrationer i søen. Ud fra denne kan sammenhængen mellem tilførsel og koncentration af fosfor tolkes.



Figur 6.2.2.

Sammenhæng mellem søvandets målte årsmiddelkoncentration af fosfor, og den koncentration, der beregnes ud fra den årlige fosfortilførsel (vha. model 12, se tekst).

I 1974 synes søens sediment at have haft en god bindingskapacitet for fosfor. Selvom der blev tilført store fosformængder med spildevand, var den målte fosforkoncentration i søen således væsentligt lavere end den beregnede. Det skal dog bemærkes, at der er stor usikkerhed på tallene fra 1974.

De store tilledninger af spildevand fortsatte indtil 1983, og som følge heraf skete der en voldsom ophobning af fosfor i sedimentet. Denne ophobning forårsagede, at der i midten af 1980'erne blev afgivet store mængder fosfor fra sedimentet. I 1987 var årsmiddelkoncentrationen af fosfor i søvandet således omkring 3 gange så stor som den, man ville forvente ud fra de målte tilledninger. I årene derefter aftog fosforfrivivelsen, og der skete en fortynding af fosforindholdet i søen (indløbskoncentrationen var mindre end søkoncentrationen). I 1992 og 1993 blev mængden af alger og ophvirvlet bundmateriale mindsket, hvilket er en væsentlig årsag til det lave fosforindhold i søvandet i disse år. I 1992 og 1993 er fosforindholdet næsten nået ned på det niveau, modellen forudsiger.

Modellen beregner den fosforkoncentration, man ville forvente i en ligevægtssituation, dvs. uden en intern belastning fra sedimentet. Det forhold, at det observerede fosforniveau nærmer sig det modelberegnete, tyder på, at søen nærmer sig en ligevægtssituation, hvor fosforfrivivelsen fra sedimentet får mindre betydning.

Om denne tendens fortsætter, afhænger bl.a. af de biologiske forhold i søen, se afsnit 7.

6.3 Stofudveksling mellem atmosfære, søvand og sediment

Udover den eksterne næringsstofbelastning af søen har også interne fysisk-kemiske og biologiske processer i søen væsentlig betydning for næringsstofindholdet i søvandet.

Stofudvekslingen mellem søens vand og sediment/atmosfære i en given periode kan beregnes ud fra ændringerne i vandets stofpulje, når der tages hensyn til de stofmængder, der tilføres og fraføres søen indenfor perioden. Til dette formål

er fosfor- og kvælstofpuljen i søen opgjort til den første i hver måned ved interpolation mellem de målte værdier af vandstand (volumen) samt kvælstof- og fosforkoncentration.

Kvælstof

Bortset fra tilførsler udefra, kan søvandet tilføres kvælstof ved kvælstoffrigivelse fra sedimentet og ved algers optagelse af frit kvælstof fra atmosfæren (kvælstoffiksering). Der fjernes kvælstof fra vandet i forbindelse med bundfældning af organisk stof og ved denitrifikation. Denitrifikation er en bakteriel omsætning af nitrat til frit kvælstof (N_2), der afgives til atmosfæren. Processen foregår først og fremmest i sedimentet, og bidrager ofte med omkring 70% af kvælstoftabet i søer (Kristensen m.fl., 1990).

Nettoresultatet af disse processer er normalt et tab af kvælstof fra søvandet.

Det beregnede månedlige kvælstoftab i Arreskov Sø i 1993 er vist i bilag 6. I tabel 6.3.1 er der for perioden 1989-93 opstillet en årlig balance for kvælstof, hvor de beregnede ændringer af kvælstofpuljen i vandet samt tabet af kvælstof er anført.

Tabel 6.3.1.
Årsbalance for kvælstof i Arreskov Sø inklusiv ændringer i kvælstofpuljen i søvandet og beregnet tab af kvælstof.

Kvælstof		1989	1990	1991	1992	1993	1994
Pulje 1.januar,	tons	17	33	26	16	20	18
Tilført,	tons	24	41	32	39	41	
Ophobet i vand,	tons	15	-6	-10	4	-2	
Tab,	tons	-6	15	22	22	29	
Tab i %	(%)	(-25%)	(36%)	(69%)	(56%)	(71%)	
Fraført,	tons	15	33	20	13	18	
Årsmiddel pulje,	tons	18	24	19	11	14	

På baggrund af den beregnede årsbalance ses følgende:

Efter en kraftig stigning i kvælstofpuljen fra januar 1989 til januar 1990 er puljen i 1992-1993 igen faldet til 1989-niveauet.

Bortset fra 1989, hvor der sidst på året skete en kraftig kvælstofafgivelse fra sedimentet (fig. 6.1.3 og Fyns Amt, 1992), har det beregnede kvælstoftab ligget på 36-71% af de tilførte mængder.

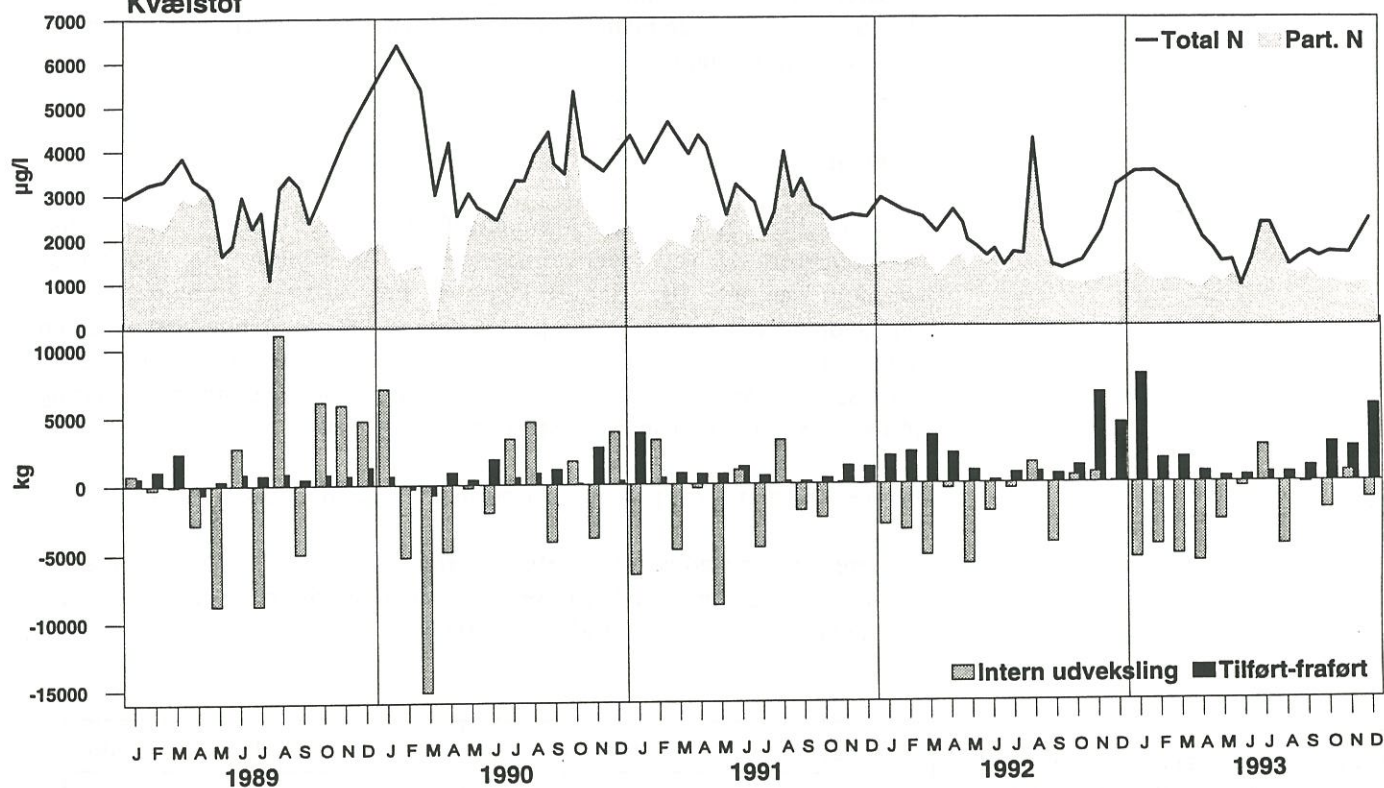
De sidste tre år har tabet ligget noget over det niveau på 40-50%, man finder som gennemsnit for overvågningssøerne (Kristensen m.fl., 1992). Dette viser, at søen har et stort potentiale for kvælstofreduktion, hvilket hænger sammen med, at søen har en forholdsvis stor sedimentoverflade og lang opholdstid.

Den interne kvælstofomsætnings betydning for kvælstofkoncentrationen i søvandet

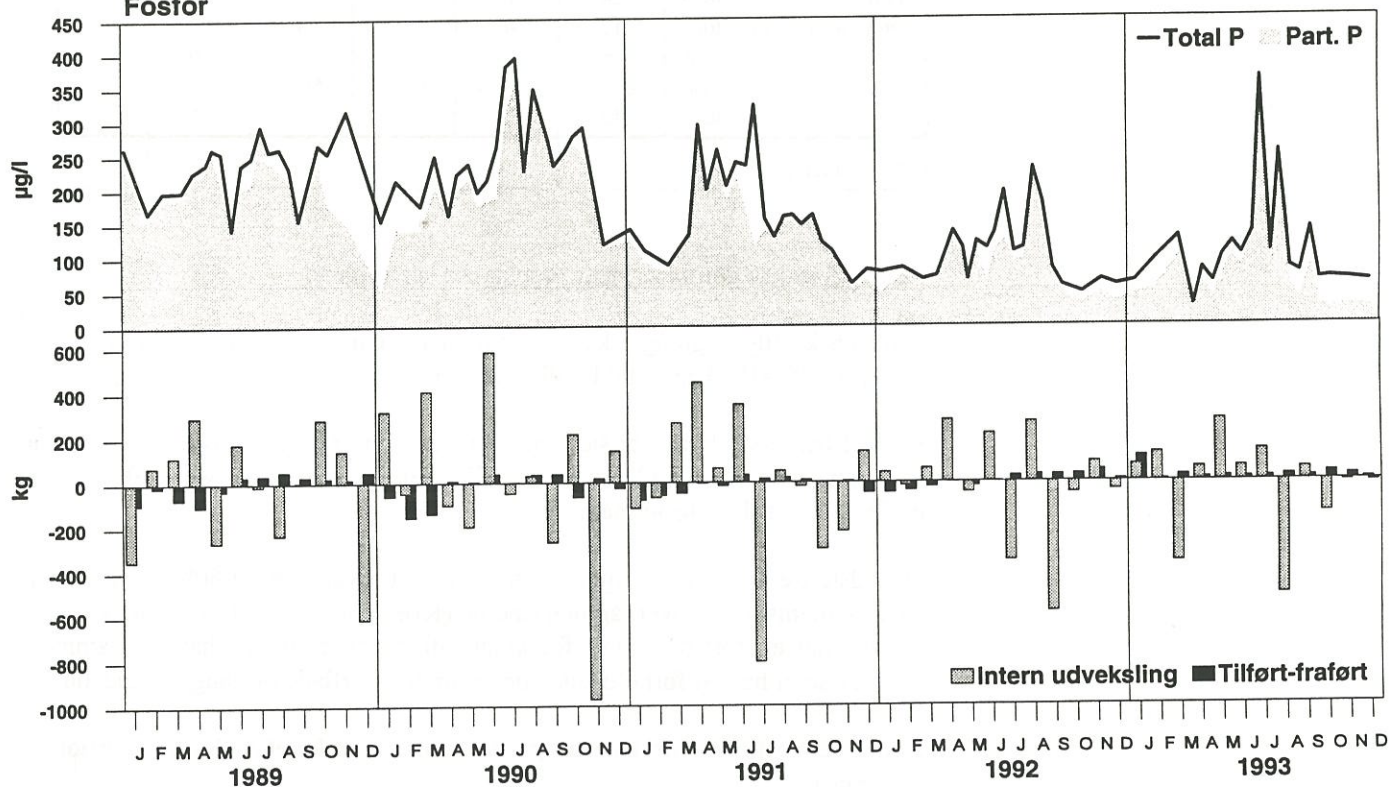
Kvælstofkoncentrationen i søvandet er påvirket dels af tilførslerne udefra (jf. afsnit 6.2) dels af de interne processer.

Arreskov Sø, 1989-1993

Kvælstof



Fosfor



Figur 6.3.1

Kvælstof- og fosforbalance for Arreskov Sø, 1989-93. De målte kvælstof- og fosforkoncentrationer i søvandet er sammenstillet med nettotilførslen af kvælstof/fosfor udefra og den beregnede månedlige nettoudveksling mellem søvand og sediment/atmosfære (kun kvælstof). Positive værdier betegner tilførsel til søvandet, og negative værdier betegner tab fra søvandet.

For at sammenligne størrelsen af disse, er den beregnede interne kvælstofomsætning på figur 6.3.1 sammenstillet med nettotilførslen (tilførsel-fracførsel) på månedsbasis og søens kvælstofkoncentration. På grund af usikkerhed på opgørelsen, skal de enkelte månedsværdier tages med forbehold, men sammenstillingen kan give en ide om størrelsesordenen af de enkelte processer. Beregningsgrundlaget fremgår af bilag 6.

Betragtes hele perioden ses, at den interne omsætning havde relativt større betydning i 1989-90 end i 1992-93. 1991 var et overgangså. I den første periode var kvælstofkoncentrationen således overvejende styret af søens interne kvælstofomsætning, som kunne forårsage nogle ganske betydelige koncentrationsændringer. F.eks. var der en betydelig kvælstofafgivelse fra sedimentet i slutningen af 1989.

I 1992-93 var billedet mere "rent": Der var typisk en nettotilførsel af kvælstof udefra og en kvælstoffjernelse fra søen via de interne processer sedimentation og denitrifikation. I de sidste par år har kvælstofkoncentrationen i søvandet altså i langt højere grad end tidligere været styret af de udefra komnede tilledninger. I august 1992 og juli 1993 sås et øget kvælstofindhold i søvandet i forbindelse med de store maxima af blågrønalgerne *Gloeotrichia echinulata* og *Aphanizomenon flos-aquae*. Førstnævnte alge er kendt for at kunne opbygge en betydelig population på bunden og først herefter stige op i vandfasen, medbringende sit indhold af fosfor og kvælstof (jvf. afsnittet om fosfor). Både *Gloeotrichia echinulata* og *Aphanizomenon flos-aquae* er endvidere kvælstoffikserende, så det øgede kvælstofindhold kan både skyldes en transport af kvælstof fra sedimentet og algernes kvælstoffiksering.

Det største tab af kvælstof synes generelt at finde sted i perioden januar til maj. De største tilførsler af kvælstof til søen sker i denne periode, og der er derfor en høj koncentration af opløst uorganisk kvælstof i vandet. Dette kvælstof kan optages af algerne og føres til sedimentet, når de sedimenterer. Med stor nitratkoncentration og meget organisk stof er der endvidere en god mulighed for, at der kan ske denitrifikation. Denne hæmmes dog af lave vandtemperaturer.

I sommermånederne juni-august er der ingen klar tendens i kvælstofudvekslingen, og der ses både tab og frigivelse i denne periode.

I august eller september er der alle årene konstateret et tab af kvælstof, sandsynligvis i forbindelse med sedimentation af sommerens algebiomasse og en høj denitrifikation på grund af høje temperaturer.

I oktober til december er der gennem årene konstateret både tab og frigivelse af kvælstof. I mange søer ses et betydeligt kvælstoftab i denne periode (jvf. (Kristensen m.fl., 1992)). Når dette ikke er tilfældet i Arreskov Sø, kan det skyldes, at der frigøres ammoniak fra sedimentet i forbindelse med mineralisering af organisk stof. At der foregår en betydelig omsætning i denne periode ses bl.a. af, at vandet de fleste af årene er undermættet med ilt i efteråret (fig. 6.1.1).

Fosfor

I Arreskov Sø afhænger søvandets øjeblikkelige indhold af total-fosfor først og fremmest af udvekslingen af fosfor mellem vand og sediment, se figur 6.3.1. F.eks. skete der i maj måned 1993 en forøgelse af søvandets fosforindhold på 293 kg, samtidig med at tilførslen udefra kun var på 19 kg. Tilsvarende var der i august måned et fald i søvandets forforindhold på 487 kg, samtidig med at der skete en nettotilførsel af fosfor udefra på 24 kg.

Denne udveksling mellem vand og sediment består dels af en fosforfrigivelse fra/ophvirvling af sedimentet, dels af bundfældning af organisk og uorganisk stof indeholdende fosfor. Endvidere kan blågrønalgen *Gloeotrichia echinulata* transportere store mængder fosfor fra sedimentet til vandfasen, se nedenfor.

Det ikke muligt at skelne mellem, om en beregnet fosforfrigivelse skyldes en egentlig frigivelse af ortofosfat-fosfor, der kan optages af planteplankton, eller om den skyldes en (evt. kortvarig) ophvirvling af fosforholdigt bundmateriale.

I tabel 6.3.2 er der opstillet en "årsbalance" for fosfor, hvor de beregnede puljeændringer og fosforudvekslingen med sedimentet er anført.

Tabel 6.3.2.

Årsbalance for fosfor i Arreskov Sø inklusiv puljeændringer i søvandet og udveksling med sedimentet.

Fosfor		1989	1990	1991	1992	1993	1994
Pulje 1.januar,	kg	1541	1087	864	470	364	433
Tilført,	kg	551	778	592	521	612	
Ophobet i vand,	kg	-453	-223	-394	-106	69	
Sedimenteret,	kg	372	-74	216	153	229	
Sedimenteret,	(%)	(68%)	(-10%)	(36%)	(29%)	(37%)	
Fraført,	kg	632	1076	771	476	314	
Årsmiddel pulje,	kg	1306	1386	905	515	544	

På baggrund af den beregnede årsbalance kan følgende fremhæves:

- * Fosforpuljen i søvandet var i 1993 på samme lave niveau som i 1992: ca. 40% af puljen i 1989.
- * I 1993 sedimenterede 229 kg fosfor, svarende til 37% af de tilførte fosformængder. Den mængde fosfor, der sedimenterer er overraskende konstant fra år til år (bortset fra 1990), og synes kun i begrænset omfang at afhænge af ændringerne i søens miljøforhold. Dette tyder på, at sedimentet igennem perioden har haft en ret stabil bindingskapacitet for fosfor.
- * I 1993 skete der en betydelig nettotilbageholdelse af fosfor i søen (49% af de tilførte mængder). Den "udvaskning" af fosfor fra søvandet, der er set de foregående år (negativ ophobning i vandet), er tilsyneladende afsluttet, og det er derfor ikke sandsynligt, at søvandets fosforindhold vil falde yderligere, med mindre tilførslerne af fosfor nedsættes og/eller sedimentets bindingskapacitet forøges yderligere.

Den interne fosforomsætnings betydning for fosforkoncentrationen i søvandet

De beregnede månedlige netto-udvekslingsrater med sedimentet er vist i figur 6.3.1 og bilag 7. På grund af store usikkerheder ved opgørelsen, skal månedsværdierne tages med forbehold. Da fosforindholdet i overfladevandet endvidere er stærkt svingende, er den beregnede udveksling stærkt afhængig af den valgte beregningsperiode.

Figuren viser dog tydeligt, at den interne fosforudveksling mellem vand og sediment er af overordnet betydning for fosforkoncentrationen i søvandet. Der er dog en tendens til, at udvekslingen er mindre i 1992-93 end de foregående år.

Gennem alle årene er der endvidere en tendens til, at der overvejende sker en nettofrigivelse af fosfor i første halvår og en nettosedimentation i sidste halvår.

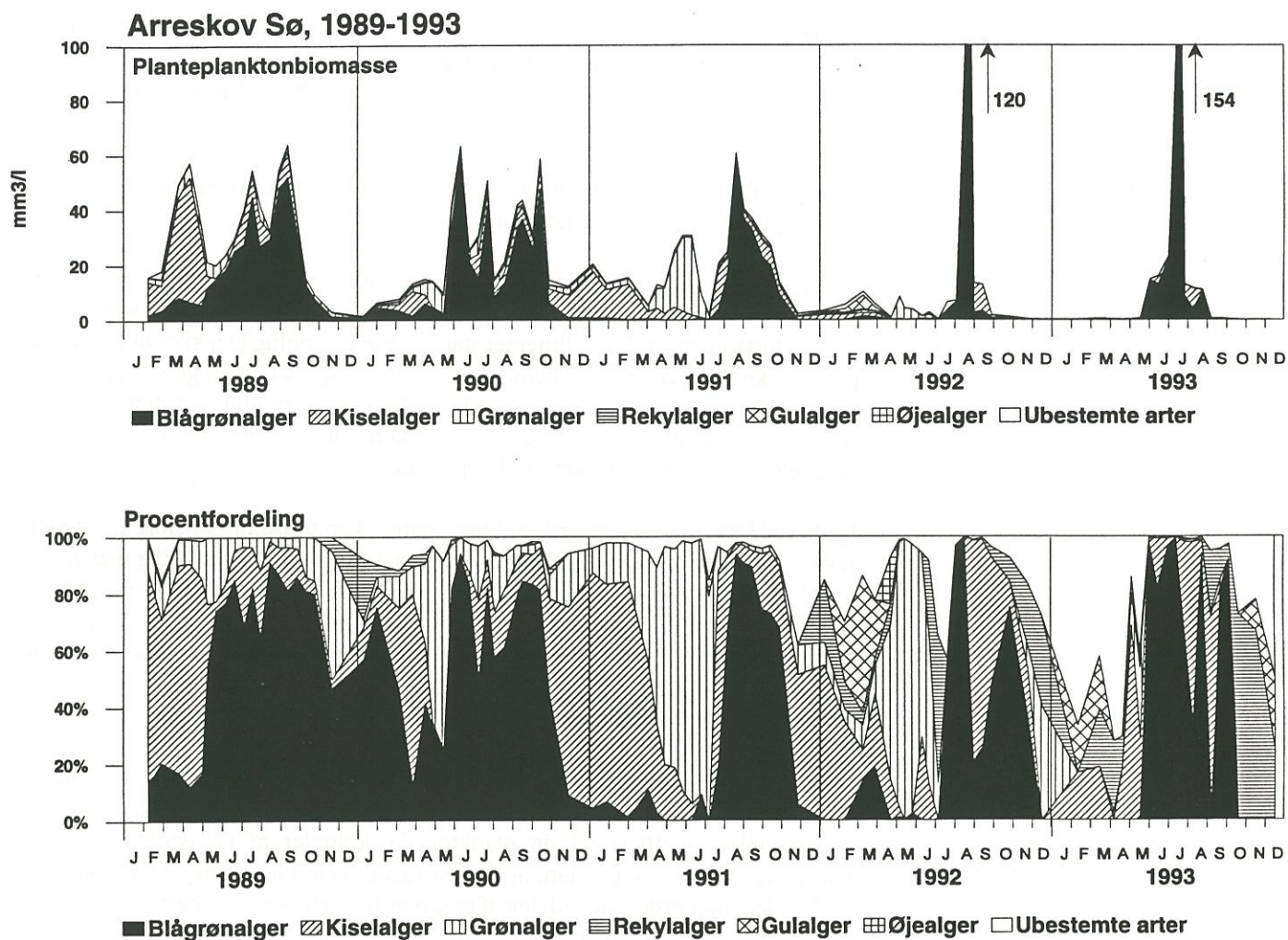
Fosforfrigivelsen foregår således først og fremmest i foråret og forsommeren, hvor temperaturen, og dermed mineraliseringen, er stigende. Midt på sommeren kan fosforfrigivelsen fra sedimentet stadig være betydelig. Der sker dog i denne periode kontinuert en sedimentation af alger, og den mængde fosfor, der sedimenterer med algerne, er tilsyneladende ofte større end den mængde, der frigives fra sedimentet. Der er således konstateret både sedimentation og frigivelse af fosfor i perioden juli-september.

I juli 1993 sås et eksempel på, at blågrønalger kan transportere store mængder fosfor fra sedimentet til vandfasen. Fra den 1. juli til d. 14. juli steg mængden af *Gloeotrichia echinulata* og *Aphanizomenon flos-aquae* fra 22 mm³/l til 154 mm³/l. I forbindelse hermed steg vandets indhold af partikulært fosfor og kvælstof med hhv. 1260 kg og 4270 kg. Der er ingen tvivl om, at den observerede stigning skyldtes, at algerne bevægede sig fra sedimentet op i vandfasen, hvorved de bragte næringsstoffer med op.

Det er nemlig kendt, at *Gloeotrichia echinulata* ofte starter sin vækst på bunden, og herefter stiger op i vandet. Barbiero og Welch (1992) påviste således i en undersøgelse, at 40 % af de planktoniske kolonier af *G. echinulata* blev rekrutteret direkte fra bunden, og at den fosfor, som blev transporteret med op fra bunden, udgjorde størstedelen af algernes fosforbehov. Nyrekrutterede alger havde et stærkt forøget indhold af fosfor, svarende til behovet gennem flere celledelinger. I overensstemmelse hermed konstateredes i Arreskov Sø et meget lille N/P(part.)-forhold under *G. echinulata*'s maksimum. Algerne synes således at være stort set uafhængige af fosforforsyning fra vandfasen. Tilsvarende antages *Aphanizomenon flos-aquae* at have et potentiale for at udnytte sedimentets fosforreserver (Barbiero og Welch, 1992).

I 1992 og 1993 er der således konstateret en meget tæt sammenhæng mellem maksimum af blågrønalger og høj fosforkoncentration. Også når man ser gennem hele overvågningsperioden synes der at være en generel tendens til, at perioder med store mængder af blågrønalger også har høj fosforkoncentration. De sidste to års lave fosforkoncentration i søvandet kan derfor til dels tilskrives en mindre mængde blågrønalger disse år.

Man kan derfor også fremover forvente en forhøjet fosforkoncentration i søvandet, hvis alger og specielt blågrønalger igen optræder i større mængder som følge af et nedsat græsningstryk fra dyreplanktonet.



Figur 7.1.2
Volumenbiomasse og relativ sammensætning af planteplanktonet i Arreskov Sø, 1989-1993.

7. Biologiske forhold i søen

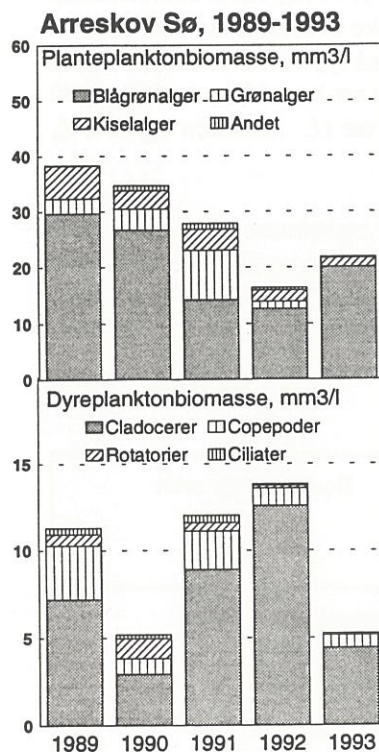
7.1 Planteplankton

Planteplanktonets biomasse varierede i 1993 fra $< 0,1 \text{ mm}^3/\text{l}$ i december til $155 \text{ mm}^3/\text{l}$ i juli, den hidtil højst målte værdi i søen. Gennemsnit for sommerperioden var $21 \text{ mm}^3/\text{l}$, og blågrønalger var den altdominerende gruppe (figur 7.1.1 og bilag 8). Algemængden var altså i sommerperioden lidt større end i 1992, men ikke så stor som de foregående tre år. Til gengæld var biomassen meget lav ($< 1 \text{ mm}^3/\text{l}$) i januar-maj og september-december.

Planteplanktonet var meget artsfattigt i 1993 med kun 59 registrerede arter. I 1992 registreredes 95 arter, og de foregående 3 år er der registreret 85 - 109 arter i søen.

Årsagen til det lave artsantal skal søges i den store græsning fra søens dyreplankton (se afsnit 7.2). Kun arter, som er modstandsdygtige overfor en sådan græsning, kan derfor trives i søen.

I det følgende beskrives hovedtrækkene i planteplanktonets udvikling i 1993 (se figur 7.1.2). For nærmere detaljer om planktonsammensætningen henvises til det udarbejdede notat om planktonet (Miljøbiologisk Laboratorium, 1994).



Figur 7.1.1.
Plante- og dyreplankton i Arreskov Sø 1989-93. Gennemsnitlig biomasse og procentvis sammensætning i sommerperioden 1. maj - 30. september.

Planteplanktonets biomasse og årstidsvariation 1993

Planteplanktonets biomasse var meget lav ($< 1 \text{ mm}^3/\text{l}$) helt frem til starten af juni. Et forårsmaksimum manglede således fuldstændigt. De vigtigste algegrupper var kiselalger (især *Aulacoseira granulata*), rekylalger (især *Rhodomonas lacustris*), og små flagellater og ubestemte arter. Herudover registreredes gulalgen *Mallomonas akrokomos* for første gang i overvågningsperioden i et ikke ubetydeligt antal. Gulalger er normalt knyttet til forholdsvis næringsfattige søer.

I begyndelsen af juni steg biomassen til $15 \text{ mm}^3/\text{l}$. Stigningen skyldtes en opvækst af blågrønalgen *Gloeotrichia echinulata*. Den 14. juli forekom et kolossalt, men kortvarigt, blågrøinalgemaksimum ($154 \text{ mm}^3/\text{l}$) bestående af *Gloeotrichia echinulata* og *Aphanizomenon flos-aquae*. Disse to arter havde en tilsvarende opblomstring i 1992.

Det skal dog understreges, at algerne havde en meget uens fordeling i søen på dette tidspunkt, og at den udtagne prøve derfor ikke er repræsentativ for hele søen. Sigtdybden var f.eks. 0,6 m på prøvetagningsstationen, men 2,0 m på station 108107, som ligger 500 meter derfra, også midt i søen.

Den trådformede, centriske kiselalge *Aulacoseira granulata* havde en biomassetop i begyndelsen af august.

Fra begyndelsen af september og året ud var biomassen igen lav ($< 1 \text{ mm}^3/\text{l}$). De dominerende algegrupper var kiselalger (*Aulacoseira granulata*) i begyndelsen af september, blågrønalger (*Anabaena lemmermannii*) fra sidst i september til først i oktober og rekylalger (*Rhodomonas lacustris*) fra sidst i oktober og året ud.

Dominerende arter om sommeren i perioden 1973/74 - 1993

Der er lavet undersøgelser af planteplanktonet i Arreskov Sø i 1973/74 (Vandkvalitetsinstituttet, 1974), 1977 (Frederiksen og Appe, 1978), 1987 (Hansen og Lauridsen, 1988; Jensen og Andersen, 1990) og i medfør af overvågningsprogrammet i 1989-93. I tabel 7.1.1. er algemængden og de dominerende arter vist for sommerperioden i disse år.

Det fremgår, at blågrønalger i alle årene bortset fra 1974 har været dominerende. Dette har ligeledes været tilfældet ved de sporadiske undersøgelser, der er lavet tidligere i dette århundrede, jf. afsnit 8. Det er altså typisk for Arreskov Sø, at blågrønalger dominerer, omend den dominerende art kan skifte. I 1920, 1950 og 1964 er der fundet dominans af *Lyngbya* arter (*L. limnetica* og/eller *L. contorta*), se afsnit 8.

I 1974 forekom dog først på sommeren et stort maksimum af desmidiaceen *Cosmarium bioculatum*, der normalt er knyttet til renere vand. Efter den fulgte chlorococcalegrønalger, og først sidst på sommeren *Microcystis*. Året var derfor meget anderledes, bl.a. var sommersigtedybden væsentligt større end de foregående to år, og dette kan hænge sammen med en reduktion af fiskebestanden, jf. afsnit 8.

Tabel 7.2.
Planteplankton i Arreskov Sø 1974 - 1993.
Middel- og maksimumbiomasse, blågrønalger-
ernes gennemsnitlige andel af biomassen
samt dominerende arter i sommerperioden
(1/5-30/9).

	Sommerbiomasse mm ³ /l		% blå- grøn-alger	Dominerende arter
	Middel	Max		
1974	-	60	< 50	1) <i>Cosmarium bioculatum</i> 2) <i>Sphaerocystis</i> sp. 3) <i>Microcystis</i> spp.
1977	-	-		1) <i>Microcystis</i> spp. 2) <i>Anabaena flos-aquae</i> 3) <i>Aphanizomenon gracile</i>
1987	41	84	89	1) <i>Microcystis aeruginosa</i> 2) <i>M. wesenbergii</i>
1989	38	64	77	1) <i>Microcystis wesenbergii</i> 2) <i>Stephanodiscus/Cyclotella</i>
1990	35	63	77	1) Små kolonidannende blågrønalger 2) <i>Anabaena circinalis</i>
1991	28	61	51	1) <i>Anabaena flos-aquae</i> cf. <i>spiroides</i> 2) <i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i>
1992	16	121	77	1) <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> 2) <i>Gloeotrichia echinulata</i>
1993	22	155	94	1) <i>Gloeotrichia echinulata</i> 2) <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>

7.2 Dyreplankton

Sammenlignet med de tidligere år var dyreplanktonbiomassen lav i 1993. Den varierede mellem 0,7 mm³/l i februar og 8,8 mm³/l i juli. Den gennemsnitlige dyreplanktonbiomasse i sommerperioden var 5,2 mm³/l, se figur 7.1.1.

Den vigtigste dyreplanktongruppe var cladocerer, der dominerede gennem hele året, og udgjorde 84% af den totale, gennemsnitlige biomasse i sommerperioden. Copepoder udgjorde i denne periode 14%, og rotatorier og ciliater hver under 1%.

Dyreplanktonets biomasse og årstidsvariation 1993

Dyreplanktonets biomasse og årstidsvariation i 1989-93 fremgår af figur 7.2.1. I det følgende beskrives hovedtrækkene i dyreplanktonets udvikling i 1993.

I februar var biomassen lav (0,7 mm³/l), og steg i midten af marts til 3,8 mm³/l, hvorefter den igen aftog. Den store dafnie *Daphnia magna* dominerede, men den calanoide copepod *Eudiaptomus gracilis* var også af betydning.

I starten af juni forekom endnu et maksimum af *Daphnia magna* (6 mm³/l). Denne population aftog hen imod starten af juli.

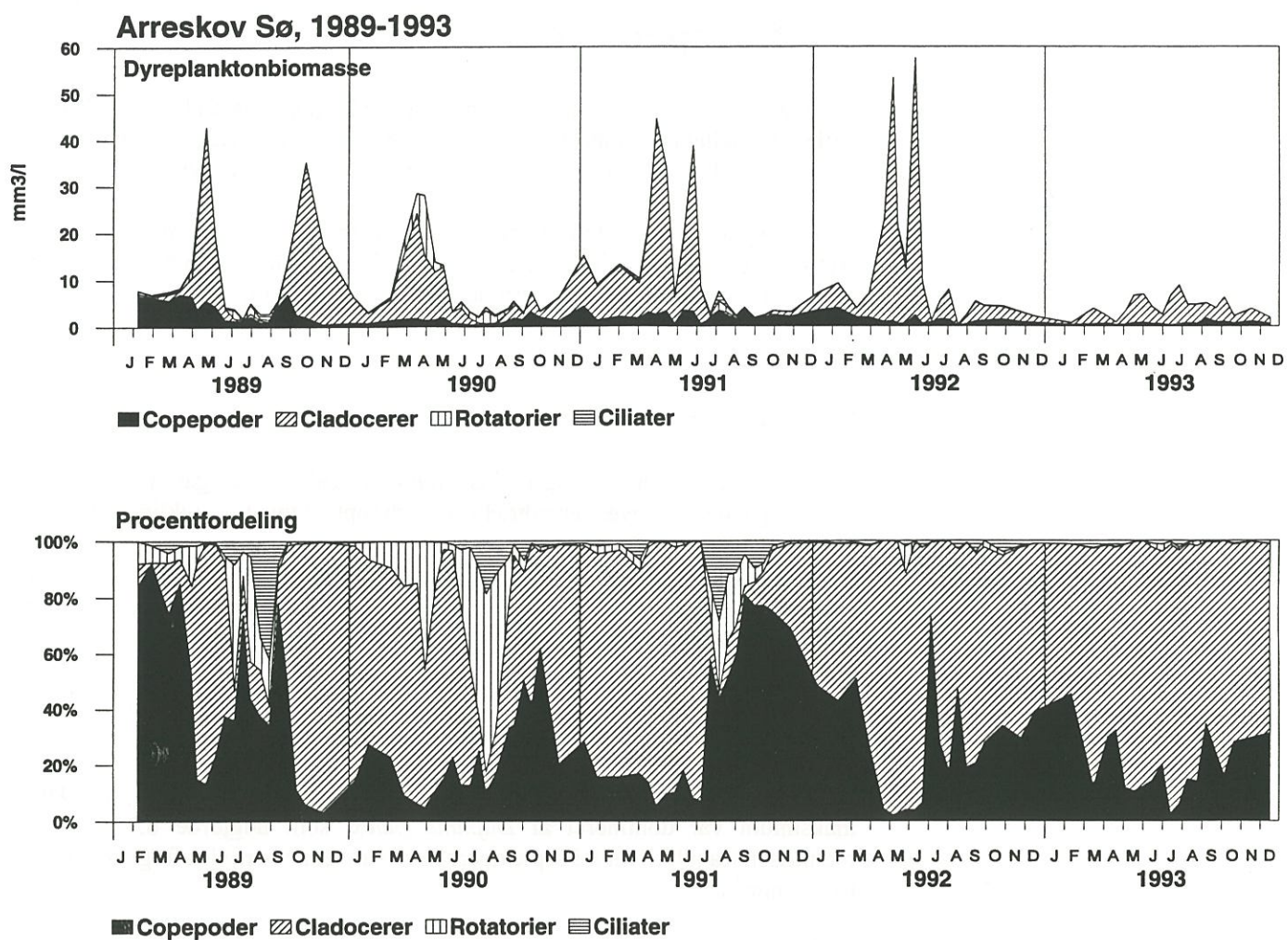
Herefter steg biomassen til årets maksimum (8,8 mm³/l) sidst i juli. Dette maksimum var domineret af *Daphnia pulex*, som udgjorde 65-90 % af biomassen fra juli til midt i september. I løbet af denne periode aftog biomassen til 3,9 mm³/l.

Midt i september overtog *Daphnia magna* igen den dominerende rolle. Resten af året udgjorde denne art 60-77 % af den samlede biomasse.

Daphnia magna dominerede således gennem det meste af året, undtagen i perioden fra 1. juli til midt i september, hvor der var mange blågrønalger, og hvor *Daphnia pulex* dominerede.

Dominerende dyreplanktonarter i perioden 1987 - 1993

Til sammenligning med tidligere år er der i tabel 7.2.1 givet en oversigt over de dominerende arter i sommerperioden i årene 1987-93. Data fra 1987 stammer fra Hansen og Lauridsen (1988) og Jensen og Andersen (1990). Tabellen viser, at store dafnier var dominerende i 1987, 1992-93 og til dels i 1990. Endvidere har *D. magna* og *D. pulex* afløst *D. longispina* og *D. galeata*. I 1989 og 1991 var de mindre bosminer også vigtige i planktonet.



Figur 7.2.1
Volumenbiomasse og relativ sammensætning af dyreplanktonet i Arreskov Sø, 1989-1993.

Tabel 7.2.1
Dominerende dyreplanktonarter i Arreskov
Sø, 1987-93.

	Sommerbiomasse, mm ³ /l	Dominerende arter	% af biomasse
1987	11,2	1) <i>Daphnia longispina</i> 2) Copepoditter 3) <i>Eudiaptomus gracilis</i>	46 15 14
1989	11,3	1) <i>Bosmina longirostris</i> 2) <i>Daphnia galeata</i> 3) <i>Eudiaptomus gracilis</i>	31 25 16
1990	5,2	1) <i>Daphnia galeata</i> 2) <i>Asplanchna priodonta</i> 3) <i>Filinia longiseta</i>	38 17 4
1991	12,0	1) <i>Daphnia galeata</i> 2) <i>Bosmina coregoni</i> 3) <i>Eudiaptomus gracilis</i>	33 33 16
1992	13,8	1) <i>Daphnia hyalina/galeata</i> 2) <i>Eudiaptomus gracilis</i> 2) <i>Daphnia pulex</i>	85 4 3
1993	5,2	1) <i>Daphnia pulex</i> 2) <i>Daphnia magna</i> 3) Calanoide copepoditter	47 37 6

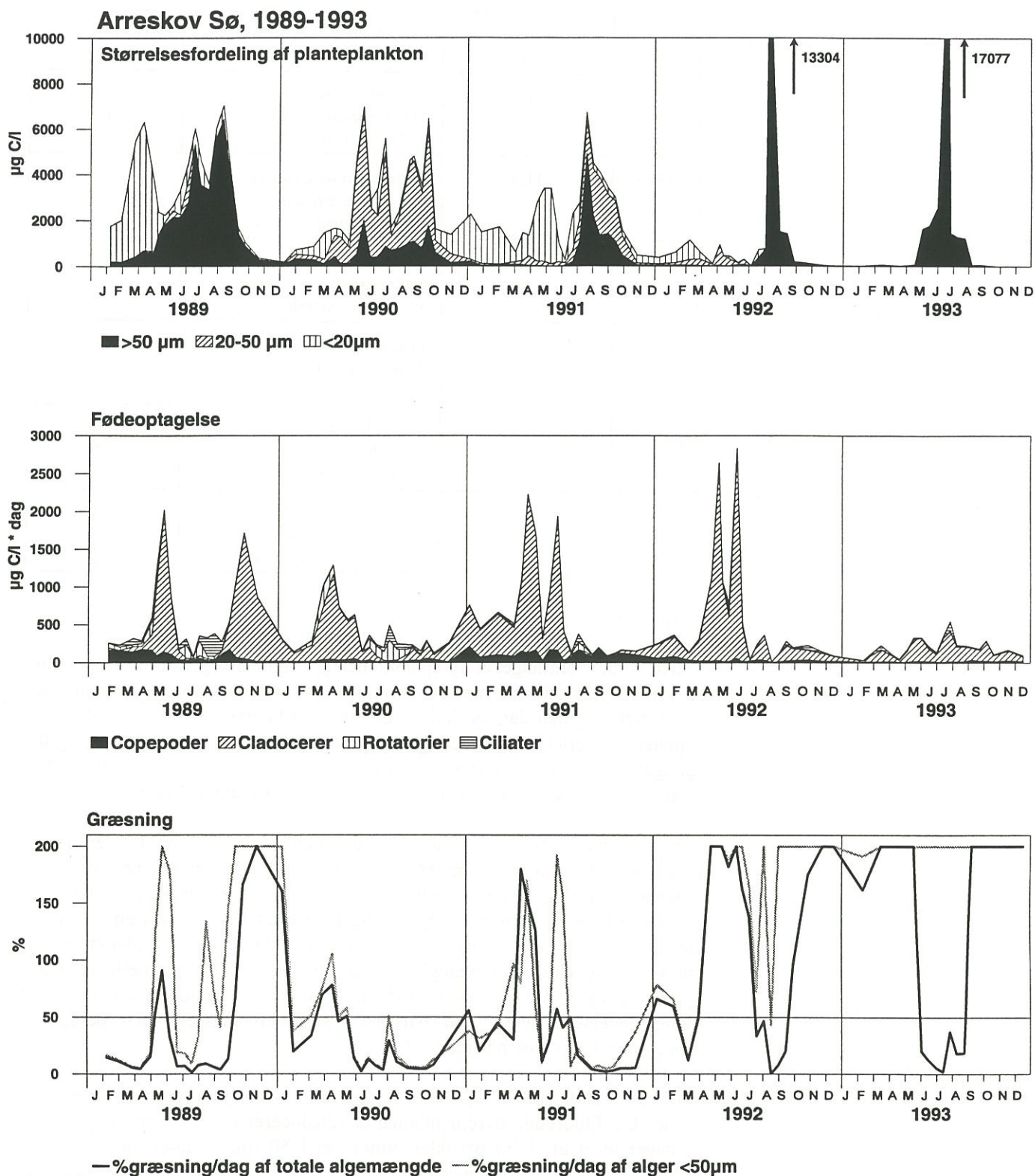
Græsning

Til at vurdere omfanget af dyreplanktonets græsning af algerne, er dyreplanktonets fødeoptagelse beregnet på baggrund af et skønnet forhold mellem biomassen af dyrene og den daglige fødeoptagelse. Ved beregningen er det antaget, at ciliater, rotatorier, cladocerer og copepoder spiser henholdsvis 5, 2, 1, og 0,5 gange deres egen biomasse pr. dag. Ved opgørelsen er der samtidig udeladt arter, som ikke eller kun i meget ringe omfang lever af planteplankton.

På denne måde får man et udtryk for dyreplanktonets potentielle græsning af algerne, idet andre fødeemner som bakterier også kan dække en del af fødebehovet. Der er endvidere ikke korrigeret for, at fødeoptagelsen nedsættes ved lave koncentrationer af tilgængelig føde i vandet. Opgørelsen er således usikker, og skal kun betragtes som retningsgivende for, om dyreplanktonet har mulighed for at regulere mængden af planteplankton. Som "tommelfingerregel" gælder, at dyreplanktonet er i stand til at regulere algemængden, når den daglige fødeoptagelse er mere end halvdelen af algebiomassen. Den beregnede fødeoptagelse er vist på figur 7.2.2.

Størrelsen af de enkelte alger er endvidere af betydning for deres egnethed som føde. De filtrerende dyreplanktonarter (cladocerer og calanoide copepoder) optager mest effektivt partikler mindre end 50 µm (Hansen, m.fl., 1992). Størrelsesfordelingen er ligeledes vist på fig. 7.2.2. Som en kombination af disse to figurer, er nederst vist dyreplanktonets anslåede daglige fødeoptagelse anført som procent af dels den totale algebiomasse, dels af biomassen af alger < 50µm.

Det fremgår af figuren, at dyreplanktonets anslåede daglige fødeoptagelse gennem hele 1993 var større end den umiddelbart spiselige del af algebiomassen, dvs. alger < 50µ.



Figur 7.2.2

Størrelsesfordeling af planteplanktonet og fødeoptagelse hos dyreplanktonet, samt % græsning per dag af totale algebimasse og % græsning per dag af små alger <50µm. Algebimasse er omregnet til kulstofenheder under antagelse af, at algerne har et kulstofindhold på 11% (for furealger med panser dog 13%) af vådvægten. For overskuelighedens skyld er græsningsrater >200% sat til 200%.

Dette forhold synes at have gjort sig gældende siden foråret 1992, og tyder på, at dyreplanktonet har været fødebegrænset i denne periode. Græsningen svarede i store dele af året til flere tusind procent af biomassen af små alger. Selvom de dominerende dyreplanktonarter i vid udstrækning er i stand til at ernære sig af bakterier, er der næppe tvivl om, at den lave biomasse af dyreplankton i 1993 skyldes fødebegrænsning. Samtidig viser det, at dyreplanktonet bortset fra perioden med opblomstring af blågrønalger, var i stand til at holde søen næsten "fri" for alger.

Det er endvidere karakteristisk, at dyreplanktonbiomassen har været langt mere stabil i 1993 end de tidligere år. Der er ikke set så bratte opblomstringer og fald som tidligere. Dette viser også, at dyreplanktonet, bortset fra sommerperiodens blågrønalgeopblomstring, har kunnet kontrollere planteplanktonet, selvom dette havde næringsstoffer nok til rådighed.

Dette hænger sandsynligvis sammen med, at de dominerende dyreplanktonarter, *Daphnia pulex* og *D. magna*, er meget effektive græssere, der kan optage et bredt spektrum af partikelstørrelser. Endvidere kan disse store dafniearter vokse og reproducere sig ved lave fødekonzentrationer, og derved holde planteplanktonet på et meget lavt niveau i lange tidsperioder (Gliwicz, 1990).

Det er endvidere sandsynligt, at græsningstrykket fra *D. magna* var medvirkende til at forhindre en tidligere opblomstring af blågrønalger. Blågrønalgerne kan nemlig optages af disse dafnier, hvis kolonierne/trådene er tilstrækkelig små. På denne måde kan de forhindre en opblomstring ved at "tage den i opløbet". Når først en opblomstring af blågrønalger er etableret, er disse imidlertid til stor gene for dafnierne, da blågrønalgerne sætter sig i filtreringsorganerne og hæmmer fødeoptagelsen.

En stor population af dafnier er derfor ikke nogen garanti mod opblomstring af blågrønalger. Tværtimod kan disse græsningsresistente arter have fordel af, at græsserne mindsker konkurrencen fra andre, mere græsningsfølsomme arter (Reynolds, 1984). Det er f.eks. velkendt, at blågrønalgen *Aphanizomenon flos-aquae* ofte danner vandblomst, når der er dafnier tilstede (Lynch, 1980).

I sommerperioden under blågrønalgerens dominans forsvandt *Daphnia magna* fra planktonet, men blev erstattet af den lidt mindre *Daphnia pulex*. Dette kan skyldes, at *Daphnia pulex* i mindre grad end *Daphnia magna* bliver generet af algetrådene, som sætter sig i dafniernes filtreringsorganer. Blågrønalgetråde synes nemlig at virke mere hæmmende på fødeoptagelsen hos store end hos små dafnie-arter (Gliwicz, 1990).

Predation

Fisk, som lever af dyreplankton, spiser fortrinsvis de større former af calanoide copepoder og cladocerer i søvandet. I søer, hvor fiskenes predation på dyreplanktonet er stor, vil mindre dyreplanktonformer derfor typisk blive dominerende. Tilsvarende findes længerevarende dominans af store dafnier kun, hvis fiskenes predation er meget lille.

Dyreplanktonets, og specielt cladocerernes gennemsnitsstørrelse kan derfor være en værdifuld hjælp ved vurdering af, i hvor høj grad dyreplanktonpopulationen er påvirket af predation.

På figur 7.2.3 er vist cladocerernes totale volumen og middelvolumenet pr. individ i perioden 1989-93. Figuren viser dermed, hvornår de store hhv. de små cladocerer har domineret dyreplanktonet.

Da de store cladocerner næsten alle tilhører slægten *Daphnia*, kan andelen af store cladocerer også udtrykkes ved det såkaldte cladocer-indeks, der angiver antallet af individer af *Daphnia* imod det totale antal individer af cladocerer. Dette indeks er ligeledes vist på figur 7.2.3.

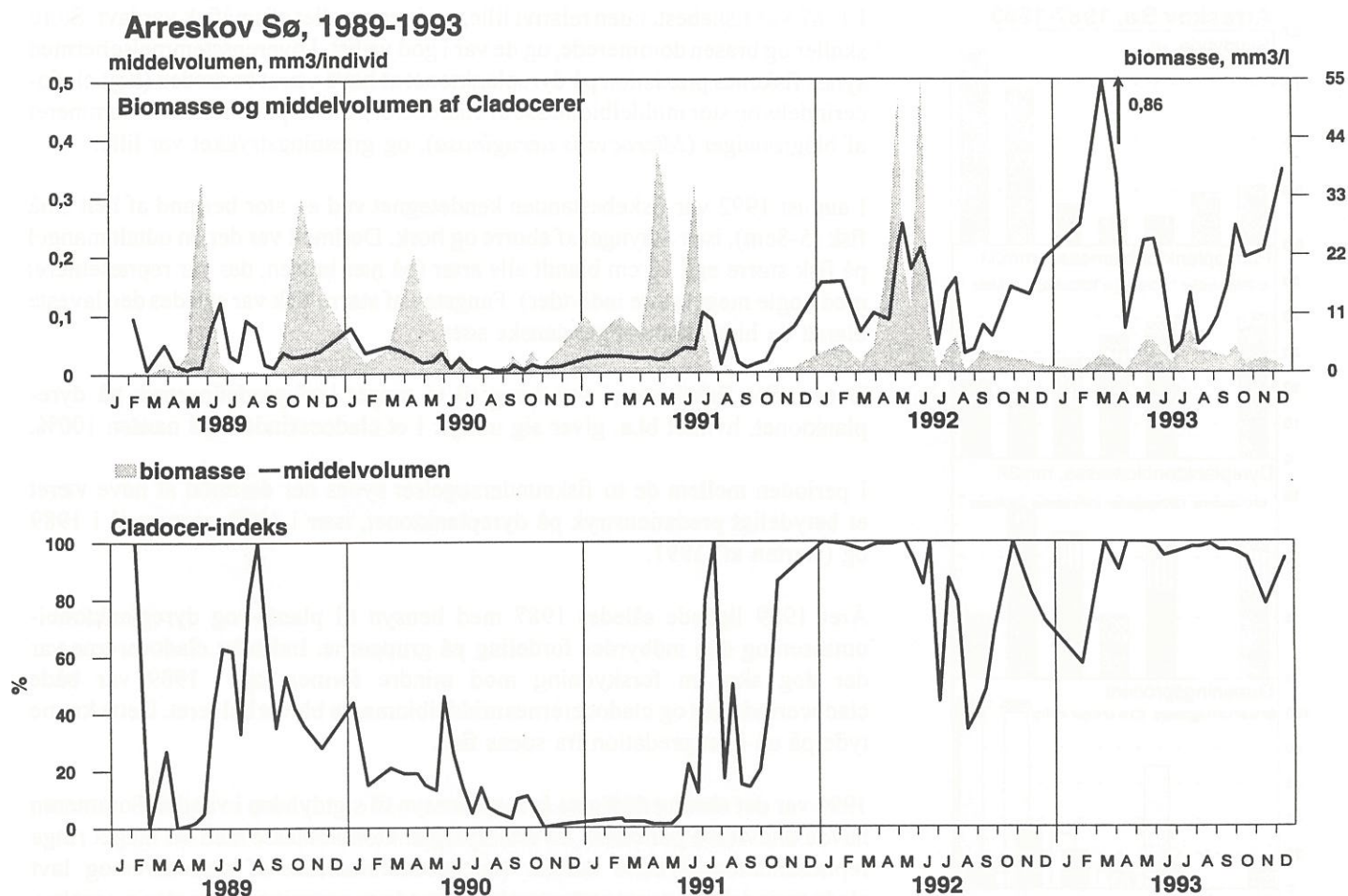
Figuren viser tydeligt, at de store dafnier har domineret gennem det meste af 1992 og 1993. Dette er en stor ændring i forhold til de tidligere år, hvor små bosminer dominerede. Det meget store middelvolumen i marts måned skyldes, at *D. magna* på dette tidspunkt var meget stor (længde 2,5 mm imod 1,0-2,2 mm resten af året) og næsten enerådende i planktonet. De lave middelvolumener i juli-august skyldtes dominans af *D. pulex*, som hører til de store dafniearter (middellængde i sommeren 1993: 1,05 mm), men dog er noget mindre end *D. magna* (middellængde i sommeren 1993: 1,58 mm).

Dette billede kan tages som udtryk for, at predationen fra planktonædende fisk har været meget lille igennem hele 1993 og tilsyneladende endnu mindre end i 1992.

Det ser altså ikke ud til, at fiskebestanden har kunnet øve noget særligt predationstryk på dyreplanktonet, selvom der blev konstateret en stor mængde småfisk ved fiskeundersøgelsen i 1992.

Medvirkende til dette kan være tre ting:

- 1) Småfiskene var i 1992 domineret af årsyngel af aborre. Disse overgår ret hurtigt til at leve af bunddyr og vandinsekter, og vil kun i begrænset omfang spise planktondyr.
- 2) Brasen- og skallebestanden var ligeledes domineret af årsyngel, og der blev kun fundet få individer, der var over to år gamle. Da aborre, skalle og brasen først bliver kønsmodne i en alder af 3-4 år (2 år for aborrehaner), kan der gå et par år, før der igen optræder meget fiskeyngel i søen.
- 3) Fyns Amt satte i maj 1993 15.000 stk. geddeyngel ud for at de skulle holde mængden af dyreplanktonspisende fisk nede. I september 1993 foretoges et prøvefiskeri efter gedderne, og de fangne gedder var blevet meget store (26-31 cm). Denne udsætning kan altså have begrænset antallet af fiskeyngel.



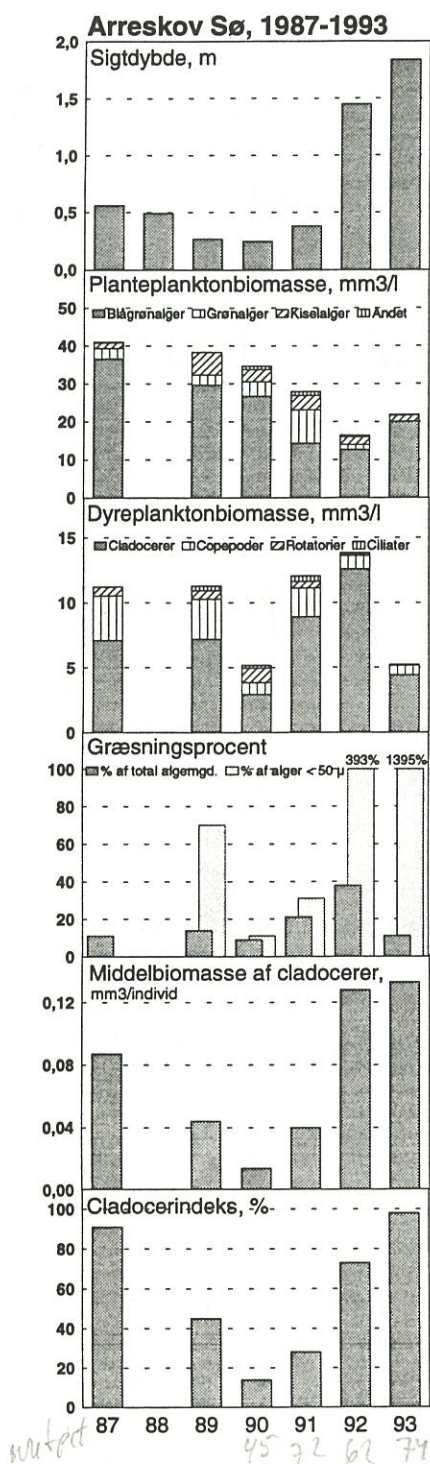
Figur 7.2.3.
Cladocerernes samlede biomasse og gennemsnitlige individstørrelse samt cladocerindeks i Arreskov Sø, 1989-93.

7.3 Fiskebestandens udvikling 1987-93

Dyreplanktonets sammensætning kan altså give et billede af, hvornår der sker sådanne drastiske ændringer i fiskebestanden som den, der fandt sted i Arreskov Sø mellem de to fiskeundersøgelser i 1987 og 1992 (Fiskeøkologisk Laboratorium, 1993).

I 1987 blev der også udført undersøgelser af søens vandkemi og plankton, i et omfang som stort set svarer til overvågningsprogrammet. Undersøgelserne blev udført af Fyns Amt og Odense Universitet (se f.ex. Jensen og Andersen, 1990; Hansen og Lauridsen, 1988).

I figur 7.3.1 ses en oversigt over sommergennemsnit af sigtddybe og forskellige planktonforhold for perioden 1987-93. Det ses, at der er sket betydelige ændringer med alle forhold gennem perioden, ikke mindst med middelbiomassen af cladocernerne og cladocerindekset, der begge udtrykker graden af fiskepredation på dyreplanktonet.



Figur 7.3.1.

Arreskov Sø, 1987-93. Sommermiddel af sigt dybde, plante- og dyreplanktonbiomasse og procentvis sammensætning, græsningsprocent, middelbiomasse af cladocerer samt cladocerindeks. I 1987 er ikke beregnet græsningsprocent af alger < 50 µ.

I 1987 var fiskebestanden relativt lille, og især antallet af småfisk var lavt. Store skaller og brasen dominerede, og de var i god vækst. I overensstemmelse hermed synes fiskenes prædation på dyreplanktonet at have været beskeden (højt cladocerindeks og stor middelbiomasse af cladocerer). Planteplanktonet var domineret af blågrønalger (*Microcystis aeruginosa*), og græsningstrykket var lille.

I august 1992 var fiskebestanden kendetegnet ved en stor bestand af helt små fisk (5-8 cm), især årsyngel af aborre og hork. Derimod var der en udtalt mangel på fisk større end 10 cm blandt alle arter (på nær brasen, der var repræsenteret med nogle meget store individer). Fangsten af større fisk var således den laveste blandt de hidtil undersøgte danske søer.

Denne lille fiskebestand var årsag til et meget lavt predationstryk på dyreplanktonet, hvilket bl.a. giver sig udtryk i et cladocerindeks på næsten 100%.

I perioden mellem de to fiskeundersøgelser synes der derimod at have været et betydeligt predationstryk på dyreplanktonet, især i 1990, men også i 1989 og (starten af) 1991.

Året 1989 lignede således 1987 med hensyn til plante- og dyreplanktonbiomassen og den indbyrdes fordeling på grupperne. Indenfor cladocernerne var der dog sket en forskydning mod mindre former, og i 1989 var både cladocerindeks og cladocernes middelbiomasse blevet halveret. Dette kunne tyde på en øget predation fra søens fisk.

1990 var det absolut dårligste år med hensyn til sigt dybden i vandet. Sommeren havde endvidere periodens laveste dyreplanktonbiomasse med en meget ringe repræsentation af store dafnier (lav middelbiomasse af cladocerer og lavt cladocerindeks). I overensstemmelse hermed var græsningsprocenten meget lav, på trods af, at algerne (små kolonidannende blågrønalger) var i en "spiselig" størrelse, fig. 7.2.2. De var dog tilsyneladende uspiselige for dafnierne, der helt forsvandt under blågrønalgerens dominans.

Selvom fødegrundlaget i sommerperioden således var dårligt, tyder den stærkt faldende andel af store dafnier på, at et øget predationstryk fra en voksende fiskebestand også har spillet ind.

Det ser altså ud til, at bestanden af planktonspisende fisk har været stigende frem til 1990 og til dels 1991. En sådan udvikling er ikke usandsynlig, da fiskeundersøgelserne har vist, at både skaller og brasen i søen var i god vækst. Endvidere har erhvervsfiskeren i årene op til 1990 kun opfisket en lille del af "skidtfiskene" i søen. I 1990 og 1991 begyndte han derimod at fange - og fjerne - betydelige mængder skidtfisk, især brasen.

Selvom fiskebestanden i både 1987 og 1992 var temmelig lille, kan den derfor godt have været betydelig i den mellemliggende periode.

Det er endvidere sandsynligt, at den voksende bestand af skaller og brasen har været stærkt medvirkende til den dårlige sigt dybde i perioden. Dels har de planktonspisende skaller og brasen kunnet mindske mængden af effektive algegræssere (store dafnier), dels har de store brasen, der lever af bunddyr, i forbindelse med deres fødesøgning rodet op i bunden og dermed øget mængden af ophvirvlet stof i vandet.

Ud over de fysisk-kemiske forhold: stor fosforafgivelse fra et løst og letophvirveligt sediment, har fiskebestandens sammensætning altså haft stor betydning for søens miljøtilstand.

7.4 Bundvegetation

Undervandsvegetationen i Arreskov Sø blev undersøgt i slutningen af august 1993. Rørsumpen blev ikke undersøgt ved denne lejlighed, men er undersøgt i august 1992. For fuldstændighedens skyld er resultaterne af denne undersøgelse også beskrevet nedenfor. Da vandstanden i søen er svingende, både igennem året og fra år til år, er alle angivne dybder i det følgende korrigeret til en normaliseret vandstand i kote 32,70 m over DNN, svarende til middelvandstanden i sommeren 1993 og den forventede middelvandstand fremover (jf. en foreslået mindstevandstand i søen på 32,65 m (afsnit 4). I årene 1989-92 var sommervandstanden lidt lavere, som gennemsnit i kote 32,56 m.

Rørsumpens altdominerende plante var *Tagrør*. De fleste steder udgjorde disse planter tætte, kraftige bestande med en højde på ca. 3,5 meter. Nogle partier havde dog en mere spredt og lav bevoksning af *Tagrør*, hvor også *Smalbladet Dunhammer*, *Lådden Dueurt* og evt. Pil eller El forekom. Hist og her var der bestande af *Søkogleaks*, og i den nordlige del af søen fandtes *Strandkogleaks* og *Blågrøn Kogleaks*.

Rørsumpen var de fleste steder af begrænset bredde, på østbredden hyppigt 3-5 m, på vestbredden dog ofte noget bredere. På østbredden var dybdegrænsen 0,7-1,0 m, og udbredelsen var meget skarpt afgrænset som følge af en stærkt skrånende bund.

På vestbredden var rørsumpen ofte mere udbredt, og bunden var mere blød og jævn. Dybdegrænsen for rørsumpen (*Tagrør*) var dog også her 0,7-1,0 m.

Rørsumpen dækker i størrelsesordenen 1,5 % af søens totale overfladeareal.

Flydebladsplanter fandtes ikke i søen.

Undervandsplanter

Ved undersøgelsen i august 1993 blev søen delt op i 18 delområder, således at bundforholdene var nogenlunde ens indenfor de enkelte delområder (figur 7.4.1). I bilag 9 er planternes beregnede dækningsgrader og det plantefyldte volumen angivet for hvert delområde, og en artsliste er opstillet.

Den altdominerende art var *Stilket/krybende Vandkrans*. Frugtbærende individer blev bestemt til *Stilket Vandkrans*, men på lavt vand fandtes små eksemplarer uden frugter, som af vækstform lignede *Krybende Vandkrans*. Der blev ikke gjort noget forsøg på at adskille de tilsyneladende to arter. Derudover blev der kun fundet enkelte eksemplarer af *Børstebladet Vandaks* og nogle få kransnålalger.

Stilket/krybende vandkrans var hovedsagelig udbredt på lidt blødere sandbund på dybder ud til 1,5 m, idet den dog de fleste steder kun gik ud til 1,0-1,2 m.

De tætteste bestande fandtes ved engen nær Søkilde (delområde 10) på søens østlige bred. De fleste andre steder var bevoksningen mere spredt, og planterne havde få blade. I den sydvestlige del af søen (delområde 12) voksede planterne på (og til dels nede i) en meget blød og dyndet bund. Vegetationen var endvidere relativt udbredt i søens nordlige, lavvandede del (delområde 4) samt omkring Mågeø (delområde 18).

Langs rørskoven ved søens østlige og vestlige bred (delområderne 7-9, 11, 14-17 samt 2) blev der overhovedet ikke fundet vegetation.

Børstebladet Vandaks blev fundet på meget lavt vand i delområde 10, og enkelte individer af kransnålalger (*Chara globularis* var. *globularis* og *Chara* sp.) blev fundet i delområde 4 og 6.

Visse steder i delområderne 2, 3 og 14, var bunden mere eller mindre dækket af grønalger (*Rørhinde*) på dybder ud til 1,2 meter.

Udbredelse i forhold til tidligere undersøgelser

Vegetationen har bredt sig i betydelig grad siden undersøgelsen i 1992. Dybdeudbredelsen synes ikke at være blevet større, men der er etableret vegetation på nye områder. Således er den ganske udbredte vegetation i søens østlige del (delområde 1, 3 og 18), og i den sydlige del (delområde 12) nyetableret.

I 1992 blev det endvidere konstateret, at vegetationen havde bredt sig siden 1989 (Fyns Amt, 1993).

Det klare vand igennem de sidste par år synes altså at have medført, at planterne igen er begyndt at brede sig ud i søen. Det er dog stadigvæk en meget lille del af søens bundareal, der er plantedækket. Således er der kun fundet planter i områder, der svarer til under 10 % af søens bundareal (beregnet som arealet af delområdernes dybdeintervaller med en positiv dækningsgrad). Indenfor dybdeintervallet 0-1,5 meter, hvor der er fundet vegetation, har planterne en dækningsgrad på ca. 3%, og der er således mulighed for en betydelig udvidelse af vegetationens dækningsgrad, hvis søens klarvandede tilstand fortsætter. Planternes totale dækningsgrad i søen er kun 0,8 %.

Da planterne endvidere er meget lave, typisk 2-6 cm, er det plantefyldte volumen i søen meget ringe (0,02%). Vegetationen har således på nuværende tidspunkt næppe nogen betydning for de overordnede biologiske forhold i søen.

Blishønsenes betydning for vegetationens udbredelse

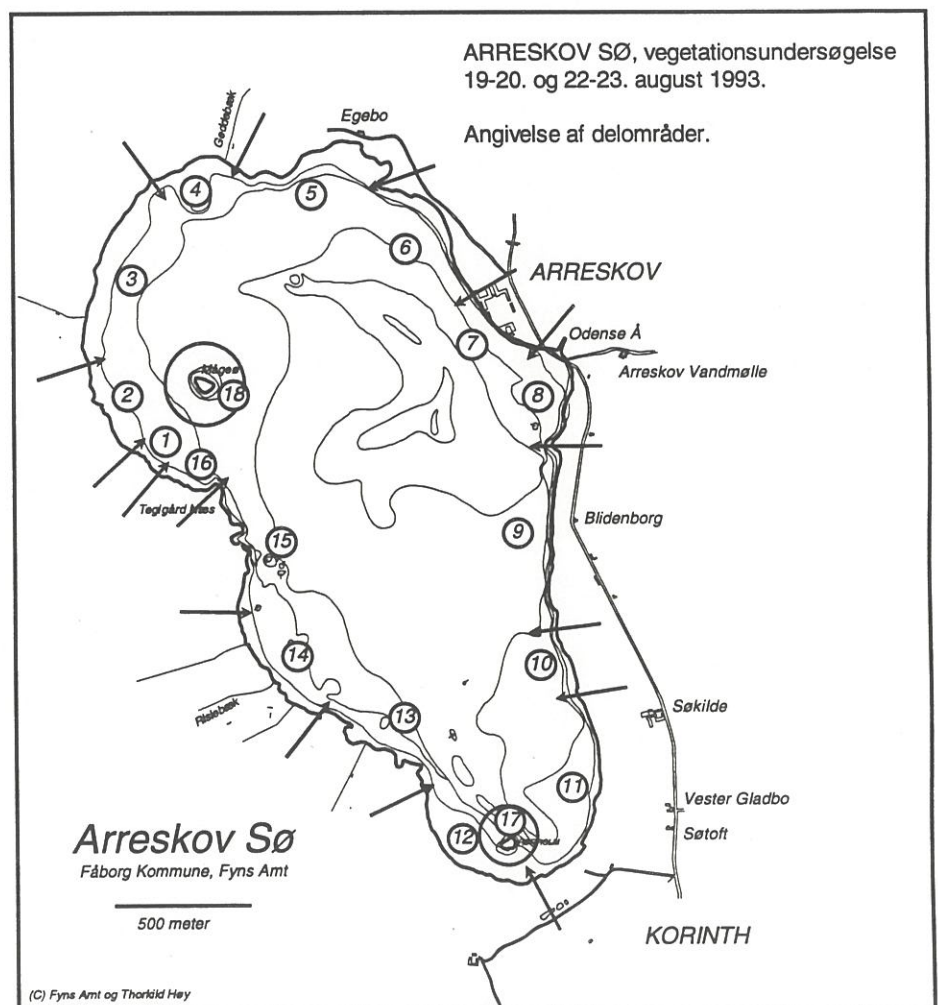
Ved et besøg ved søens vestlige del (delområde 1) i juli måned 1993 blev der konstateret en betydelig vegetation af *Børstebladet Vandaks*, som ikke blev genfundet i august. I nogle indhegninger opstillet på samme lokalitet var der derimod en tæt vegetation af bl.a. *Børstebladet Vandaks*. Indhegningerne var opsat med det formål at holde græssende blishøns ude, så vegetationen kunne udvikle sig uhindret. Indhegningerne indgår i et projekt, som går ud på at undersøge mulighederne for at restaurere søer ved hjælp af undervandsvegeta-

tion. Projektet udføres under Det Strategiske Miljøforskningsprogram af medarbejdere ved Danmarks Miljøundersøgelser.

Det ser altså ud til, at blishønsene, af hvilke der var op til 900 ved søen i sommerperioden (E.Ehmsen pers. medd.), var i stand til at nedgræsse vegetationen udenfor nettene, så kun lave og spredte eksemplarer af *Stilket-/krybende vandkrans* var tilbage.

Dette stemmer overens med resultater fra Stigsholm Sø, hvor det har vist sig, at blishøns (og svaner) kan forsinke etableringen af undervandsplanter. Hvis først planterne har fået ordentligt fat, antages fuglenes græsning dog at have ringe betydning for planternes udbredelse (Søndergaard m.fl., 1993)

Søens klarvandede tilstand giver altså mulighed for en betydelig udbredelse af undervandsplanterne i Arreskov Sø, men blishøns kan have betydelig indflydelse på, hvor hurtigt og i hvilket omfang dette sker.



Figur 7.4.1.

Inddeling af Arreskov Sø i delområder i forbindelse med undersøgelsen af søens undervandsvegetation, august 1993.

8. Udvikling i søens miljøtilstand

8.1 Tidligere tilstand

8.1.1 Undersøgelser

De første tilgængelige oplysninger om miljøtilstanden i Arreskov Sø, er fra Boye Petersen, som i august 1920 besøgte søen for at vurdere, hvilken effekt en sænkning af vandstanden ville have for søens planter (Petersen, 1950a). Undersøgelsen var ret grundig, og indeholdt bl.a. en pejling af dybdeforholdene i søen.

Vandet var grønt og uklart med en sigtddybde på 0,31 m. Blågrønalger (især *Microcystis aeruginosa* og *Lyngbya* spp.) dominerede i planteplanktonet. Søens rørsump dannede et næsten ubrudt bælte rundt om søen, og gik ud til en dybde på 2,2 m. Den domineredes af *Tagrør*, *Søkogeleaks* og *Bredbladet Dunhammer*. Flydebladsplanten *Svømmende Vandaks* blev fundet mellem rørerne på vestkysten, og et enkelt sted udenfor rørbæltet på 1,8 m vand. Derimod manglede undervandsplanter tilsyneladende fuldstændigt, og Petersen (1950a) skrev, at "hele Søbunden udenfor Rørbæltet under de nuværende Forhold må anses for at være en aldeles nøgen Dyndbund."

I 1924-25 blev vandstanden i søen sænket ca. 0,75 meter for at forbedre dyrkningsforholdene på de omgivende enge.

I juni 1938 besøgte Sigurd Olsen søen for at indsamle kransnålalger (Olsen, 1944). Han fandt 2 arter, men iøvrigt ingen undervandsvegetation (kun en lille del af søen blev dog undersøgt). Vandet var meget uklart (sigtddybden målt til 0,15 m).

Foged (1954) rubricerede ved sine undersøgelser af kiselalgefloraen i nogle fynske søer i 1949-50 Arreskov Sø som eutrof sø sammen med Brændegård Sø og Nørresø. pH i søen blev angivet til 7,5 og 7,6 i hhv. juni og september måned.

I august 1950 besøgte Boye Petersen igen søen for at vurdere følgerne af vandstandssænkningen (Petersen, 1950b). Planteplanktonet domineredes af de samme blågrønalgearter som i 1920 (*Microcystis* spp. og *Lyngbya* spp.), men også *Aphanizomenon flos-aquae* optrådte. Sigtddybden var lav, 0,23 m. På sydsiden af Mågeø fandtes en ret frodig undervandsvegetation af *Børstebladet Vandaks* og *Vandranunkel*. Rørsumpen havde kun bredt sig langsomt ud i søen efter vandstandssænkningen, og dybdegrænsen for rørsumpen var gennemgående lavere end i 1920.

I forbindelse med en undersøgelse af fiskebestanden i juni 1961 blev sigtddybden målt til kun 0,18 m (Dahl, 1963). "Bundgrøden" var generelt svagt udviklet, men i den sydlige og sydvestlige del samt i den nordlige del var der en veludviklet rankegrøde. Her fandtes *Gul Åkande*, forskellige arter af *Vandaks*, samt *Vandranunkel* og *Vandpileurt*. Bundfaunaen undersøgte på 2 stationer (1,5 og 3 meters dybde). Denne var arts- og individfattig (340-440 individer pr. m²) og domineredes af dansemyglarver, navnlig *Procladius* (*Psilotanypus*) og *Chironomus plumosus* gr.). Kiselalgen *Aulacoseira* (*Melosira*) *islandica* var. *helvetica* dominerede i planteplanktonet, og dyreplanktonet domineredes af cladoceren *Chydorus sphaericus* og hjuldyret *Keratella cochlearis*. pH var 7,5. På baggrund af fiskeundersøgelsen vurderes fiskebestanden i 1961 at være typisk for en næringsrig sø med dominans af dårligtvoksende skaller og brasen, en

ubetydelig aborrebestand og en god gedde- og sandartbestand (Fiskeøkologisk Laboratorium, 1993). Gedderne blev fanget på steder, hvor der var tæt rørsump eller rig rankegrøde.

Planktonprøver fra 5. juli 1964 viste dominans af blågrønalgen *Lyngbya contorta*, kiselalgen *Aulacoseira (Melosira) italica* og grønalger, især *Crusigenia quadrata*. Der var meget detritus i vandet, som havde en brunlig farve af opslemmet materiale, der først bundfældede i glassene efter 8 dage! (Fjerdingstad, 1964). Overraskende konkluderer Fjerdingstad, at sammensætningen af planktonet viser, at der er tale om en sø, der ikke er forurenet og som kun i ringe grad er eutrofieret.

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelses Forsureningslaboratorium udførte i perioden september 1965 til juni 1966 en række undersøgelser over tilstanden i Arreskov Sø. Formålet var at få oplyst, om udledning af spildevand fra Korinth virkede forurenende på søen (Birnø, 1967). Undersøgelsen viste, at søen ud for spildevandsudløbet var påvirket af udledningen: iltforbruget i vandet var forhøjet, og der var aflejret slam på bunden. Endvidere blev der i juni måned målt forhøjede værdier af pH i søen (8,2-8,3), og dette blev tilskrevet, at søen på grund af forureningen var blevet mere næringsrig. Det blev derfor fastslået, at Arreskov Sø var forurenet i påviselig grad, men at der ikke var nogen akut fare for alvorlige skader på fiskebestanden, selvom der var risiko for iltvind i vandet.

I perioden august 1972 til juli 1973 blev der gennemført en forundersøgelse af miljøtilstanden i Arreskov Sø (Fyns Amtskommune og Vandkvalitetsinstituttet, 1974). I august-september 1972 var sigtddybden mellem 0,2 og 0,3 meter, pH var 8,6 - 9,4 og vandet var overmættet med ilt (109-124%) som følge af en kraftig algeproduktion. Sedimentet var meget blødt, og søen klassificeredes som stærkt eutrof. Der blev ikke fundet undervandsvegetation.

I forlængelse af undersøgelsen i 1972-73 gennemførte VKI i 1973-74 en nærmere undersøgelse af søen (Vandkvalitetsinstituttet, 1975). Nogle resultater af de fysisk-kemiske undersøgelser fra disse og følgende år fremgår af figur 8.1 og bilag 4.

Sedimentet var meget blødt og havde et stort organisk indhold. Antallet af bunddyr var lille (150 pr. m²), antagelig som følge af det bløde sediment. Sigtddybden var i sommerperioden 1973 på 0,30 - 0,60 m, men blev i 1974 øget til 0,70 - 1,0 m. Både pH og iltmætning var lavere i 1974 end i 1973 (tabel 8.1.1), hvilket tyder på, at produktionen og mængden af planteplankton var mindre dette år. Planteplanktonet var domineret af blågrønalger (*Microcystis* spp. og *Lyngbya* spp.) i september 1973 og i august 1974. I april-maj 1974 dominerede desmidiacee- grønalger, der normalt er knyttet til næringsfattige forhold, og i juni-juli dominerede chlorococcale grønalger.

I 1977 til 1979 foretog studerende og medarbejdere ved Odense Universitet undersøgelser i søen. I 1977 og 1979 målt sigtddybder i sommerperioden på henholdsvis 0,3-1,1 meter (Frederiksen og Appe, 1977) og 0,3-3,3 meter (Andersen, upubl.). I 1977 og 1979 var den gennemsnitlige sommersigt dybde således på hhv. 0,6 meter (6 målinger) og 1,0 meter (10 målinger), figur 8.1.1.

Planteplanktonet var i 1977 domineret blågrønalger, som er typiske for stærkt

eutrofierede søer: fra sidst i april til begyndelsen af august *Microcystis*-arter (dog *Aphanizomenon flos-aquae* i starten af juli), og herefter den trådformede *Aphanizomenon gracile* (Frederiksen og Appe, 1977).

Fosforkoncentrationen i sommerperioden synes at have ligget forholdsvis konstant omkring 0,1 mg/l i både 1973-1974 og 1977-79 (Vandkvalitetsinstituttet, 1975; Jensen og Andersen, 1990).

Kvælstofniveauet i søen var tilsyneladende meget lavt i 1978 og 1979 (F.Ø. Andersen, upubl.). Den analysemetode, der blev anvendt disse to år, var imidlertid anderledes end den metode, der blev anvendt de øvrige år, og dette kan muligvis forklare en del af forskellen.

I 1987 var Arreskov Sø genstand for en større undersøgelse af miljøtilstanden, bl.a. med henblik på at klarlægge, hvilke faktorer, der påvirker fosforafgivelsen fra sedimentet (Jensen og Andersen, 1990). På dette tidspunkt var søen blevet stærkt forurenet, med et meget højt fosforindhold bl.a. som følge af en overordentlig stor fosforafgivelse fra sedimentet.

I 1989 trådte Vandmiljøplanens overvågningsprogram i kraft, og herefter er Arreskov Sø blevet overvåget intensivt. Resultatet af overvågningen præsenteres i årlige rapporter fra Fyns Amt.

I 1989-91 var Arreskov Sø præget af et højt fosforniveau, stor algebiomasse af især blågrønalger og en meget ringe sigt dybde.

I 1992-93 er fosfor- og kvælstof- og klorofylindhold igen blevet lavere og sigt dybden bedre. Vandplanter er begyndt at brede sig over bunden.

8.1.2 Vurdering af udviklingen i miljøtilstand

Arreskov Sø synes at have været næringsrig med uklart vand igennem det meste af dette århundrede.

Skønt forurenende tilledninger må have været begrænsede i starten af århundredet, synes søen allerede i 1920 at have haft uklart vand og dominans af blågrønalger. Det uklare vand har antagelig i høj grad været en følge af ophvirvlet bundmateriale. Der var på dette tidspunkt ingen (eller kun få) undervandsplanter til at stabilisere sedimentet. Den manglende undervandsvegetation skyldtes antagelig, at rørsumpen voksede ud til meget stor dybde (2,2 m), og at der udenfor denne dybde var for lidt lys til undervandsplanterne.

Vandstandssænkningen i 1924-25 synes ikke at have ændret søens miljøforhold væsentligt. Dog gav den mulighed for, at undervandsplanter kunne etablere sig visse steder udenfor rørsumpen. Vandstandssænkningen kan endvidere have medført en betydelig tilledning af næringsstoffer til søen fra de nærliggende mose- og engområder, der blev tørlagt og til dels opdyrket. Ved tørlægningen øges således nedbrydningen af organisk stof, hvorved de deri bundne næringsstoffer, specielt fosfor, kan udvaskes.

Bortset fra en større udbredelse af undervandsplanter, var miljøtilstanden muligvis nogenlunde stabil i perioden 1925 til 1960: Uklart vand og dominans

af algearter knyttet til næringsrige forhold. Fiskeundersøgelsen i 1961 kan give et fingerpeg om årsagen til det uklare vand. Fiskebestanden var typisk for en næringsrig sø, med dominans af små og dårligt voksende skaller og brasen, og en ubetydelig bestand af aborrer, som udgjorde et dårligt voksende "tusindbrødresamfund". En sådan fiskebestand er i stand til at holde de store dyreplanktonarter nede, hvorfor græsningen på planteplanktonet bliver begrænset. Dette bekræftes af, at dyreplanktonet på undersøgelsestidspunktet (juni) var domineret af hjuldyr og den lille dafnie *Chydorus sphaericus*, som begge er forholdsvis dårlige græssere. Endvidere var brasen dominerende i søen, hvilket kan medvirke til en øget ophvirvling af sediment i søen (Fiskeøkologisk Laboratorium, 1993).

Selvom der gennem hele århundredet er konstateret dårlig sigtddybde og dominans af blågrønalger, er der ikke før 1974 foretaget en kvantificering af algemængden. Det er derfor vanskeligt at vurdere, hvornår f.eks. spildevandsudledningen fra Korinth og Gerup begyndte at påvirke søens miljøforhold. I mange bynære søer er en sådan påvirkning sket i 1930'erne til 1950'erne, men først i starten af 1960'erne synes truslen om en forurening af Arreskov Sø at have bekymret søens brugere. De bestilte således den undersøgelse, der blev udført i 1966 og konkluderede, at spildevandsudledningen havde påvirket søens miljøtilstand (Birnø, 1967).

I starten af 1970'erne var tilstanden dårlig med ringe sigtddybde og høj pH. I sommeren 1972 var pH således 9,3 og sigtddybden 0,25 m. Da vandets pH stiger ved stigende primærproduktion og algemængde, kan høje pH værdier derfor tolkes som tilstedeværelse af store algemængder.

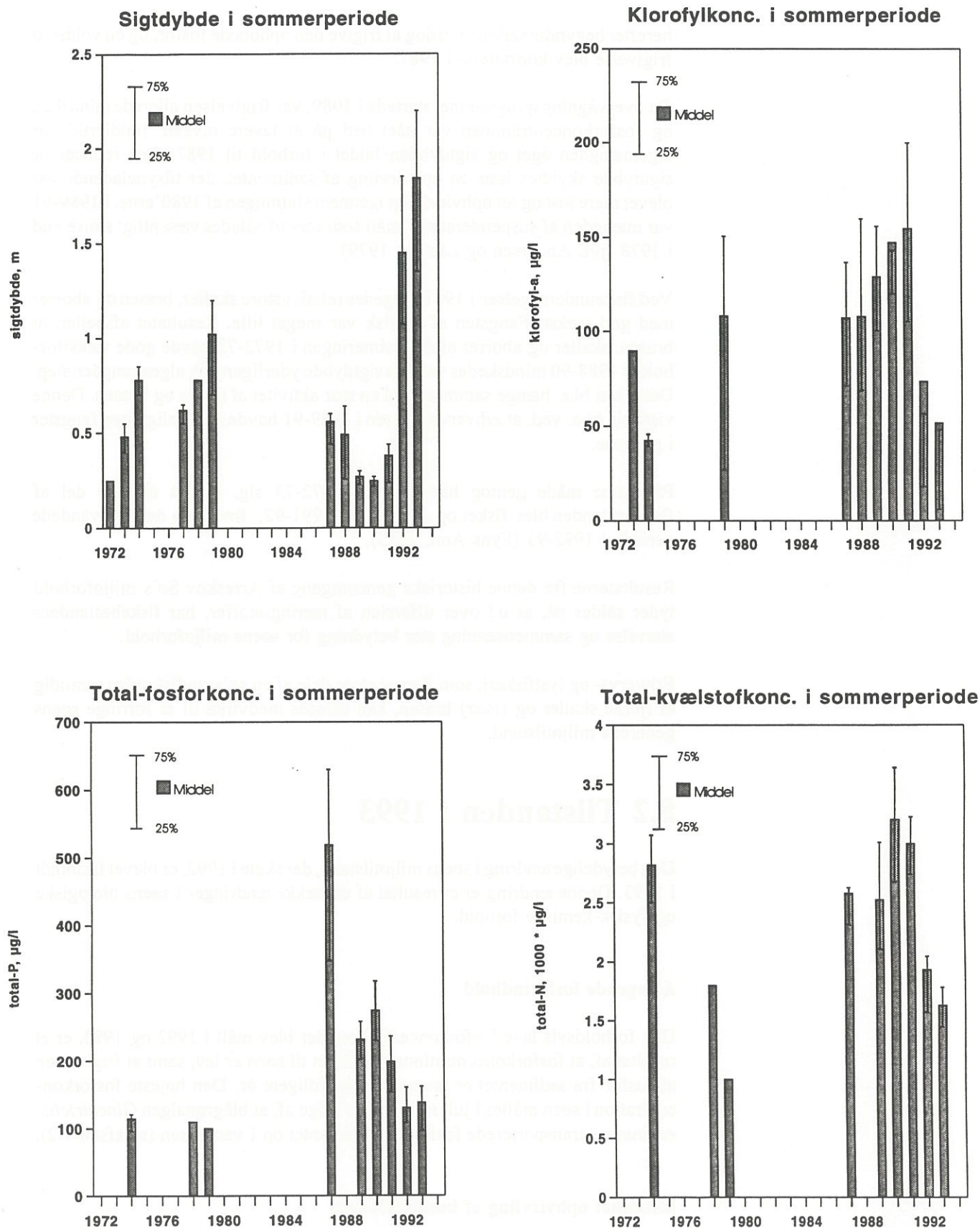
Fra 1972 til 1974 skete der en markant ændring i søen. Middelsigtddybden for sommerperioden steg (fig.8.1.1) og pH faldt, som en indikation af, at algemængden faldt i denne periode.

Dette hænger antagelig sammen med, at der i 1972-73 blev opfisket ca. 90 tons skaller og brasen fra søen (Fiskeøkologisk Laboratorium, 1993), hvor der de foregående (og efterfølgende) år kun var fjernet små mængder (1-6 tons).

I slutningen af 1970'erne synes søen fortsat at have haft perioder med en forholdsvis stor sigtddybde på trods af en til tider høj algeproduktion (høj pH). Dette kan skyldes indvirkningen fra den reducerede fiskebestand.

Det er endvidere muligt, at de forbedrede lysforhold i vandet i 1974 og årene efter, har gjort det muligt for en vis undervandsvegetation at etablere sig. Igennem 1980'erne skete der en generel forværring af sigtddybden. Dette stemmer overens med, at der gennem 1980'erne er konstateret en tilbagegang for blishøns, svaner og lappedykkere ved søen. Denne tilbagegang tilskrives forringede miljøforhold i søen, først og fremmest mindske sigtddybde og tilbagegang for bundvegetationen (Fyns Amt, 1993).

Denne dårlige miljøtilstand skyldes utvivlsomt spildevandstilledningen fra Korinth. Denne blev afskåret i 1983, hvorved søens fosfortilledning reduceredes til ca. en trediedel. Spildevandstilledningen havde imidlertid medført en ophobning af fosfor i søens sediment. Dette sediment synes i en periode at have haft en god bindingskapacitet for fosfor, eftersom fosforniveauet i søen var relativt lavt (ca. 0,1 mg/l) helt op til slutningen af 1970'erne. På et tidspunkt



Figur 8.1.1. Udviklingen i sigtdybde, samt indhold af klorofyl-a, total-kvælstof og total-fosfor i overfladevandet i Arreskov Sø i sommerperioden (1.5-30.9), 1972-93. På figuren er angivet middelværdien samt 25-75% fraktiler (dvs. at 50% af målingerne ligger indenfor det angivne interval). Data fra 1972 omfatter kun 3 målinger i august-september.

herefter begyndte sedimentet dog at frigive den ophobede fosfor, og en voldsom frigivelse blev konstateret i 1987.

Da overvågningsprogrammet startede i 1989, var frigivelsen allerede mindsket, og fosforkoncentrationen var nået ned på et lavere niveau. Imidlertid var algemængden øget og sigtddybden faldet i forhold til 1987. Den reducerede sigtddybde skyldtes især en ophvirvling af sedimentet, der tilsyneladende var blevet mere løst og let ophvirvleligt igennem slutningen af 1980'erne. I 1989-91 var mængden af suspenderet stof målt som tørstof således væsentligt større end i 1978 (jvf. Andersen og Lastein, 1979).

Ved fiskeundersøgelsen i 1987 fangedes relativt store skaller, brasen og aborrer med god vækst. Fangsten af rovfisk var meget lille. Resultatet afspejler, at brasen, skaller og aborrer efter decimeringen i 1972-73 havde gode vækstforhold. I 1988-90 mindskedes vandets sigtddybde yderligere, og algemængden steg. Dette kan bl.a. hænge sammen med en stor aktivitet af skalle og brasen. Denne viste sig bl.a. ved, at erhvervsfiskeren i 1989-91 havde temmelig store fangster i garnene.

På denne måde gentog historien fra 1972-73 sig, og da en stor del af fiskebestanden blev fisket op eller døde i 1991-92, fremkom den klarvandede periode i 1992-93 (Fyns Amt, 1993).

Resultaterne fra denne historiske gennemgang af Arreskov Sø's miljøforhold tyder således på, at ud over tilførslen af næringsstoffer, har fiskebestandens størrelse og sammensætning stor betydning for søens miljøforhold.

Erhvervs- og lystfiskeri, som fjerner store dele af en sø's rovfisk uden samtidig at fjerne skaller og (især) brasen, kan således medvirke til at forringe søens generelle miljøtilstand.

8.2 Tilstanden i 1993

Den betydelige ændring i søens miljøtilstand, der skete i 1992, er blevet fastholdt i 1993. Denne ændring er et resultat af en række ændringer i søens biologiske og fysisk-kemiske forhold.

Aftagende fosforindhold

Den forholdsvis lave fosforkoncentration, der blev målt i 1992 og 1993, er et resultat af, at fosforkoncentrationen i tilløbet til søen er lav, samt at frigivelsen af fosfor fra sedimentet er lavere end de tidligere år. Den højeste fosforkoncentration i søen målt i juli måned som følge af, at blågrønalgen *Gloeotrichia echinulata* transporterede fosfor fra sedimentet op i vandfasen (se afsnit 7.2).

Mindsket ophvirvling af bundmateriale

Mængden af ophvirvlet materiale var meget stor i 1987-91, hvilket bl.a. medførte en ringe sigtbarhed i vandet. Sedimentet er blevet mere stabilt i 1992-93, og mængden af suspenderet materiale ligger nu på et lavt niveau undtagen i

perioden med mange blågrønalger. Den mindre grad af ophvirvling er antagelig hovedårsagen til det lavere fosforindhold i vandet.

Fortsat lille bestand af fisk, der æder dyreplankton

At dømme efter dyreplanktonets sammensætning, er bestanden af dyreplankton-ædende fisk fortsat lav og måske endnu lavere end i 1992. Store dafnier dominerede dyreplanktonet. Disse effektive græssere af planteplanktonet formåede at holde algemængden nede på et lavt niveau det meste af året. Kun i sommerperioden forekom en betydelig opblomstring af alger. Kombinationen af en ringe algemængde og en mindsket ophvirvling af bundmateriale gjorde, at vandets gennemsigtighed var meget stor i 1993.

Klart vand har bedret vilkårene for planter og dyr

Det klare vand har bedret undervandsvegetationens vilkår. Denne har bredt sig, og dyr og fugle knyttet til vegetationen har haft bedre vilkår. Dette er antagelig årsagen til, at antallet af blishøns ved søen er steget. Desværre spiser disse blishøns meget af den nyetablerede vegetation, og mindsker dermed dens mulighed for at brede sig. Det klare vand er antagelig også medvirkende årsag til at antallet af Toppet Lappedykker ved søen er steget.

Ålefiskeriet er fortsat dårligt

Ålefiskeriet gik helt i stå midt på sommeren 1992, og heller ikke i 1993 har der været mange ål. Ålefiskeriet i 1993 var således det dårligste siden 1963. Årsagen til det dårlige ålefiskeri er antagelig, at ålene døde i forbindelse med de dårlige iltforhold, der blev konstateret i søen i somrene 1991 og 1992.

8.3 Søens fremtidige tilstand

Arreskov Sø er i dag i en meget ustabil tilstand. Som anført ovenfor, er den bedring, som indtrådte i 1992, forårsaget af en kombination af forskellige forhold: et faldende fosforindhold og en drastisk ændret biologisk struktur.

For at opfylde sin målsætning skal søen have en sigtddybde på mindst 1 meter, der skal være en (i det mindste stedvist) udbredt bundvegetation, og der må ikke forekomme massive opblomstringer af blågrønalger. Endvidere skal fiskebestanden have en naturlig arts- og alderssammensætning, med en sund balance mellem fredfisk og rovfisk.

Selvom vandet i 1993 har været usædvanligt klart, er der en stor risiko for, at miljøtilstanden igen svinger tilbage til en dominans af alger og deraf følgende grønt, uklart vand.

To ting er afgørende for, at søen kan udvikle sig videre i den rigtige retning:

- 1) Fosfortilførselen skal holdes på lavest mulige niveau.

- 2) De biologiske forhold i søen skal stabiliseres. Dette kan ske, hvis der etablerer sig en udbredt bundvegetation. Endvidere skal der være en stor og stabil bestand af rovfisk, der kan forhindre, at mængden af de planktonædende fisk skalle og brasen bliver for stor.

Udviklingen de næste par år er stærkt afhængig af, hvordan de biologiske forhold ændrer sig. Hvis mængden af planktonædende fisk kan holdes på et lavt niveau, er der mulighed for, at vandet vil være forholdsvis klart og algemængden moderat. Dette forudsætter bl.a., at der etableres en bestand af store, rovlevende aborrer. Hvis der etableres en udbredt bundvegetation vil dette stabilisere forholdene. Opblomstringer af blågrønalger kan dog næppe undgås med det nuværende fosforniveau.

Sammenhæng mellem fosfortilførsel og sigtdybde:

Niveauet for det fremtidige fosforindhold i søvandet kan beregnes ud fra den skønnede fosforbelastning ved anvendelse af den fosformodel, der blev omtalt i afsnit 6.2.

Til vurdering af vandets sigtdybde ved et givet fosforindhold er der af Kristensen m.fl. (1990) og Kristensen m.fl. (1991) opstillet følgende sammenhæng mellem søvandets indhold af total-fosfor og sommarsigtdybden:

$$\text{Model 1 Sigtdybde (m)} = 0,34 P_{so}^{-0,29} z^{0,55}$$

$$\text{Model 2 Sigtdybde (m)} = 0,25 P_{so}^{-0,61} z^{0,25}$$

hvor P_{so} er søvandets årsmiddelkoncentration af total-fosfor (mg/l) og z søens middeldybde (m). Model 1 er opstillet ud fra undersøgelser i et stort antal (især mindre og lavvandede) søer, og model 2 er opstillet på baggrund af resultater fra de 37 danske nationale overvågningssøer.

Kristensen m.fl. (1991) vurderer, at model 1 rimeligt godt beskriver den målte middelsigtdybde i de nationale overvågningssøer, om end der er en betydelig variation.

Tabel 8.2.1.

Sammenligning mellem målte og beregnede middelsigtdybder i Arreskov Sø for sommerperioden (1.5 - 30.9), 1989-91. For model 1 er i parentes angivet variationsintervallet (standard error). Se i øvrigt teksten for nærmere forklaring.

År	P_{so} (mg/l)	Sigtdybde, målt (m)	Sigtdybde, beregnet (m)	
			Model 1	Model 2
1974	0,114	0,78	0,91 (0,8-1,1)	1,10
1987	0,449	0,57	0,61 (0,5-0,7)	0,48
1989	0,232	0,27	0,74 (0,6-0,9)	0,71
1990	0,230	0,25	0,74 (0,6-0,9)	0,72
1991	0,153	0,38	0,83 (0,7-1,0)	0,92
1992	0,097	1,45	0,95 (0,9-1,1)	1,22
1993	0,102	1,84	0,94 (0,9-1,1)	1,18

Middeldybden, $z = 1,9$ m

De to modeller stemmer godt overens, men model 2 forudsiger forholdsvis større sigtdybde ved lave fosforindhold. Model 1 har passeret godt med den målte sigtdybde i 1974 og 1987, men i 1989-91 var den målte sigtdybde væsentligt

lavere end den beregnede. Dette skyldes antagelig en stor ophvirvling af bundmateriale.

I 1992 og 1993 forudsiger begge modeller en lavere sigtddybe end den, der faktisk blev målt. Dette viser, at de biologiske forhold har stor betydning (den store sigtddybe skyldtes jo, at algemængden i usædvanlig grad blev holdt nede af en stor mængde dafnier). Derudover tyder modellens forudsigelser på, at sigtddyben i 1992-93 var langt større end man kan forvente, når søen er i en mere normal tilstand.

Ved at kombinere fosformodellen og sigtddybmodellen kan sigtddyben i søen ved forskellige fosforbelastninger vurderes. Denne vurdering forudsætter, at den interne belastning fra sedimentet er stoppet og at bundmaterialet har en "normal" beskaffenhed, dvs. at der ikke forekommer samme voldsomme ophvirvling som i 1989-91.

Man må imidlertid huske på, at disse modeller kun viser nogle generelle sammenhænge mellem stoftilførsel og sigtddybe. For den enkelte sø kan der være betydelige afvigelser fra modellens forudsigelser. Disse afvigelser er bl.a. en følge af søens fysiske og biologiske forhold, samt usikkerheder på opgørelsen af belastningen.

Modelberegningerne kan derfor ikke i sig selv bruges til at afgøre, om belastningen er nået til et acceptabelt niveau, men kun til at give en ide om, hvilke relative ændringer i sigtddyben en reduceret fosfortilledning kan medføre.

Tabel 8.2.2

Beregnet fremtidig sigtddybe i Arreskov Sø ved det nuværende belastningsniveau og ved forskellige grader af reduktion af belastningen.

Belastning	P_{ind} (mg/l)	P_{so} (mg/l)	Beregnet sigtddybe, (m)	
			Model 1	Model 2
Nuværende niveau	0,102	0,077	1,02	1,40
10% reduktion	0,092	0,069	1,05	1,50
20% reduktion	0,082	0,061	1,09	1,61
40% reduktion	0,061	0,046	1,18	1,92
Basisbelastning	0,058	0,043	1,20	2,00

Tages udgangspunkt i belastningen og afstrømningsforholdene i 1993, hvor den totale fosforbelastning var på 612 kg, beregnes en fremtidig sigtddybe på ca. 1 meter efter model 1. Denne antages at passe bedst på Arreskov Sø, eftersom den bygger på tilstanden i lavvandede søer, hvor der bl.a. optræder ophvirvling af bundmateriale. Hvis en sådan ophvirvling kan undgås, f.eks. gennem en udbredt bundvegetation, kan sigtddyben muligvis blive bedre, svarende til model 2.

Den eneste tilbageværende punktkilde til søen er de regnvandsbetingede udledninger fra Korinth. Disse udgjorde i 1993 4% af fosfortilførslen til søen, så en afskæring af disse vil i sig selv kun have meget begrænset betydning for søens miljøtilstand. Det vil således ikke være tilstrækkeligt til at sikre, at regionplanens målsætning for søen kan opfyldes.

Hvis hele den kulturbetingede tilførsel fjernes (afstrømningen fra spredt bebyggelse og landbrugsjord), og fosfortilførslen derved bringes ned til et niveau, der svarer til basisbelastningen (se afsnit 3), forudsiger modellerne

sigtdybder på 1,2-2,0 m. (Basisbelastningen er her beregnet som et gennemsnit for de sidste tre år, og omfatter også det beregnede bidrag fra atmosfære og grundvand). Med sådanne sigtdybder gennem flere år, vil undervandsvegetationen kunne brede sig langt ud i søen, formentlig til dybder, der nogenlunde svarer til sigtdybden.

Ved udbredt vegetation ned til 2 meters dybde vil ca. halvdelen af søens bundareal være bevokset, og dette vil give mulighed for en meget god og stabil miljøtilstand. I denne situation vil man bl.a. kunne forvente, at geddebestanden vil kunne kontrollere søens bestand af dyreplanktonspisende fisk. Dette ser nemlig ud til kun at være tilfældet, hvis fosforkoncentrationen er under 0,1 til 0,2 mg/l og hvis det plantedækkede areal overstiger 30-50% af søens samlede areal (Grimm og Backx, 1990 refereret i Søndergaard m.fl., 1993).

Også en reduktion af kvælstoftilførslen vil kunne forbedre miljøtilstanden i søen, hvis kvælstof kan bringes til at blive begrænsende for algevæksten i sommerperioden. Det er dog ikke på nuværende tidspunkt muligt at vurdere, hvor stor en sådan reduktion skal være for at have en effekt.

Mulighederne for at begrænse den kulturbetingede næringsstofftilførsel til søen er vurderet i afsnit 3.10.

9. Sammenfatning og konklusion

Arreskov Sø, der er Fyns største sø, ligger i et naturpræget opland med forholdsvis store skovarealer og en relativt begrænset landbrugsmæssig udnyttelse. Godt halvdelen af arealerne i oplandet udnyttes således til jordbrug. Søen er temmelig lavvandet, og vandet bliver derfor let omrørt, når det blæser. Som følge heraf er der normalt gode iltforhold i søen, men omrøringen medfører en ophvirvling af bundmateriale.

Målsætning

Søen er i regionplan 1989-2001 målsat som referenceområde for naturvidenskabelige studier. For at opfylde denne målsætning bør søen have en sigtdybde på mindst 1 meter, et artsrigt planteplankton uden masseopblomstringer af enkelte algegrupper, en stedvis veludviklet undervandsvegetation (rankegrøde), og en arts- og individrig smådyrsfauna. Endelig skal fiskebestanden have en naturlig alders- og artsfordeling med balance mellem fredfisk og rovfisk. Denne målsætning er idag ikke opfyldt.

Udvikling i tilstand

Arreskov Sø har tilsyneladende gennem det meste af århundredet haft (perioder med) uklart vand og mange blågrønalger. Tilstanden blev imidlertid stærkt forværret, antagelig fra midten af 1960'erne, og helt op til slutningen af 1980'erne. Årsagen til dette var tilførslen af en betydelig mængde spildevand fra Korinth.

Da dette blev afskåret i 1983, reduceredes søens fosforbelastning til ca. en trediedel, men søens tilstand bedredes ikke. Tværtimod var søen i slutningen af 1980'erne i en meget dårlig tilstand med højt næringsstofindhold, ringe sigtdybde og langvarige opblomstringer af blågrønalger om sommeren.

Årsagen til dette var først og fremmest, at tilledningen af spildevand havde medført en ophobning af fosfor i søbunden, og at denne fosfor nu blev frigivet til søens vand.

Da Vandmiljøplanens overvågningsprogram startede i 1989, var tilstanden i Arreskov Sø således meget dårlig. Igennem perioden 1989-92 faldt søvandets fosforindhold imidlertid, og i 1993 er det lave fosforindhold fra 1992 fastholdt. Således er årsmiddelkoncentrationen af fosfor faldet fra 232 µg/l i 1989 til 102 µg/l i 1993. For kvælstofs vedkommende er der ligeledes sket et fald, fra en årsmiddelkoncentration på 3,18 mg/l i 1989 til 2,15 mg/l i 1993.

Kvælstof- og fosforbelastning

Omkring 80% af kvælstof- og 50% af fosforbelastningen skyldes en kulturbetinget tilførsel fra det åbne land. For kvælstof udgør afstrømning fra dyrkede arealer stort set hele denne tilførsel. For fosfors vedkommende omfatter den kulturbetingede tilførsel spildevand fra spredt bebyggelse, men også bidrag i forbindelse med landbrugsdrift.

I 1993 tilførtes søen 41 tons kvælstof og 0,6 tons fosfor. Kvælstoftilførslen var høj som følge af en stor afstrømning af ferskvand fra oplandet.

Tilførslen af både kvælstof og fosfor til søen varierede i 1989-1993 fra år til år, væsentligst som følge af forskelle i nedbør og afstrømning. For kvælstofs vedkommende er der ingen tegn på, at den kulturbetingede tilførsel er nedsat. Derimod er der visse tegn på, at den kulturbetingede tilførsel af fosfor er mindsket. Årsagen til dette er ikke klarlagt. Medvirkende kan være en mere udbredt anvendelse af fosfatfrit vaskepulver og en større andel af grønne marker i oplandet til søen (for Fyn som helhed er andelen af grønne marker steget fra 62% i 1989/90 til 81% i 1992/93).

Tilførslen af fosfor til søen er relativ beskeden sammenlignet med andre danske søer. Fosforbelastningen er således nær det niveau, hvor sigtddybden teoretisk kan blive 1 meter.

Omsætning af kvælstof og fosfor i søen

I 1993 blev knap 27 tons kvælstof, svarende til 65% af de tilførte kvælstofmængder tilbageholdt eller omsat i søen.

Søen har i alle 5 overvågningsår tilbageholdt/omsat en del kvælstof, i gennemsnit ca. 45% af de tilførte kvælstofmængder. Det tilbageholdte/omsatte kvælstof bliver enten bundfældet eller omdannet til luftformigt kvælstof. Det ser ud til, at søens evne til at tilbageholde kvælstof har været større de sidste par år.

I 1993 er der ligeledes foregået en tilbageholdelse af fosfor i søen på 297 kg svarende til 49% af de tilførte mængder. Heraf er størstedelen sedimenteret (229 kg), resten er ophobet i vandet. Omvendt blev der i 1989-91 ført mere fosfor fra søen, end der blev ledt til, dvs. at søen aflastede ophobet fosfor. Den faldende fosforkoncentration afspejler denne aflastning, der skete fra vandmassen og ikke fra sedimentet. Bortset fra 1990 er der nemlig i alle år sket en sedimentation af fosfor svarende til omkring 30% af de tilførte mængder. I 1992 var der balance mellem til- og fraført fosfor.

Nuværende miljøtilstand

I 1992 skete der en betydelig ændring i søens miljøtilstand. I forhold til de tidligere år blev vandet klarere og algemængden mindre. Denne ændring blev fastholdt i 1993, hvor sigtddybden som gennemsnit for sommerperioden var 1,84 m mod 0,27 m i 1989. Årsagen til det klarere vand er delvis, at søens bundmateriale er blevet mere stabilt og ikke så let hvirvles op. Endvidere var søens dyreplankton i stand til at holde algemængden på et meget lavt niveau gennem størstedelen af året, bortset fra sommermånederne juni-august, hvor blågrønalger blomstrede op. Disse var modstandsdygtige overfor dyreplanktonets græsning, og græsningen var således ikke i sig selv nok til at undgå algeblomst.

Selvom næringsstofferne tilsyneladende ikke var begrænsende for algevæksten i søen i 1993, kan det lavere næringsstofindhold i søen have haft betydning for algenes mængde og artssammensætning.

Den udløsende faktor for ændringen i søens miljøtilstand var, at en stor del af de dyreplanktonædende fisk (skaller, brasen og små aborrer) forsvandt fra søen i 1991-92, dels som følge af opfiskning, dels fordi de døde under perioder med

dårlige iltforhold.

Som følge heraf bestod dyreplanktonet i både 1992 og 1993 af store dafnier, som er meget effektive alge-græssere. Når der er dyreplanktonædende fisk tilstede, spiser de først og fremmest disse store dafnier, og man kan derfor slutte, at bestanden af fisk, der æder dyreplankton (skaller, brasen og små aborrer), fortsat var lille i 1993.

I 1993 satte Fyns Amt 15.000 stk. geddeyngel ud i søen, for at disse kunne medvirke til at holde mængden af planktonspisende småfisk nede.

Den betydning, fiskebestandens sammensætning kan have, viste sig også i starten af 1970'erne. I 1972-73 opfiskedes en meget stor del af søens planktonspisende fisk, og i 1973-74 bedredes sigtddybden i søen betydeligt, antagelig som følge af, at dyreplanktonet i perioder kunne holde algerne nede. Også i slutningen af 1970'erne kunne man opleve perioder med meget klart vand, selvom der også forekom perioder med voldsom algevækst.

Det klarere vand i 1992-93 har givet mulighed for en større udbredelse af søens tidligere stærkt begrænsede undervandsvegetation. Der er således fundet vegetation på langt flere områder end i de tidligere år. Desværre får denne vegetation ikke den udbredelse og højde, man kunne ønske, da den i betydeligt omfang nedgræsses af blishøns. Disse er således i stand til at hindre eller i det mindste sinke en betydelig udbredelse af undervandsplanter.

Søens fremtidige tilstand

Det er afgørende for søens videre udvikling, om der i søen kan udvikles en god bestand af rovfisk, især store aborrer. Disse er nemlig i stand til at æde de små fisk og derved holde bestanden af skaller og brasen nede.

Hvis næringsstofniveauet lavt, således at kraftig planktonalgevækst forhindres, og der etablerer sig en udbredt undervandsvegetation, vil det skabe gode vilkår for aborrer og gedde. I modsat fald er det sandsynligt, at fiskebestanden med tiden vil vende tilbage til en sammensætning med mange brasener og småskaller og en ringe bestand af store aborrer.

Det er derfor vigtigt, at tilledningen af fosfor og kvælstof til søen gøres mindst mulig. Kun herved kan det sikres, at undervandsplanterne får tilstrækkelig udbredelse til at sikre en god og stabil miljøtilstand.

Muligheder for begrænsning af næringsstofftilførslen til søen

De foranstaltninger, der er iværksat for at sikre, at landbruget lever op til Vandmiljøplanens mål for reduktion af udledningen af næringsstoffer, forventes ad åre at reducere kvælstofafstrømningen med 20%, mens der ikke umiddelbart forventes en reduktion i fosforafstrømningen fra landbrugsarealer som følge af disse foranstaltninger.

EU's landbrugsreform vil måske give anledning til yderligere reduktion i kvælstofafstrømningen fra landbruget, idet der bl.a. gives tilskud til braklægning.

Midlerne til at reducere tilførslerne af fosfor til Arreskov Sø er en forbedret rensning eller nedsivning af spildevand fra den spredte bebyggelse i oplandet til søen. I Fyns Amts udkast til Regionplan (1993-2005) er der lagt op til gennemførelse af en sådan forbedret rensning inden 1997. Anvendelse af fosfatfri vaskemidler på disse ejendomme kan dog umiddelbart medvirke til at begrænse fosforbelastningen af søen.

Endelig bør der ske en øget anvendelse af efterafgrøder på landbrugsarealer langs vandløb i oplandet samt etablering af udyrkede bræmmer langs de dele af tilløbene til søen, der ikke allerede idag forløber gennem udyrkede engarealer. En forøget braklægning af marker i oplandet vil endvidere medvirke til en mindsket tilførsel af kvælstof og fosfor.

Referencer:

Andersen, F.Ø. og E. Lastein, 1979: Måling og beregning af sedimentation i en lavvandet sø. - I Enell, M. og G. Gahnström (eds.): 7th Nordic Symposium on Sediments. Presentation of Methods and Analytical Results. - Limnologiska Institutionen, Lunds Universitet, 1979, s. 95-110.

Andersen, F.Ø., upubl.: Data fra undersøgelser foretaget i Arreskov Sø af studerende og medarbejdere ved Odense Universitet.

Barbiero, R.P. og E.B. Welch, 1992: Contribution of benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorous translokation. *Freshwater Biology* 27, s. 249-260.

Birnø, K.E., 1967: Brev fra Danmarks Fiskeri- og havundersøgelses Forureningslaboratorium til Fiskeriforeningen for Arreskov Sø.

Dahl, J., 1963: Beretning vedrørende den fiskeribiologiske undersøgelse af Arreskov Sø, 5. - 10. juni 1961. - Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Charlottenlund.

Danmarks Miljøundersøgelser, 1993: Vejledning til interviewundersøgelsen. - Notat af 2. december 1993.

Danmarks Miljøundersøgelser, 1994: Notat vedrørende intensive stationer, 22. marts 1994.

Fiskeøkologisk Laboratorium, 1993: Fiskebestanden i Arreskov Sø, august 1992. - Rapport til Fyns Amt. 67 s. + bilag.

Fjordingstad, E., 1964: Rapport over planktonundersøgelser i Arreskov Sø den 5/7 1964. - Rapport til Stadsingeniøren i Odense, 7 s.

Foged, N., 1954: On the Diatom Flora of some Funen Lakes. - *Folia Limnologica Scandinavica* nr. 6. 73 s. + bilag

Frederiksen, K. og A.D. Appe, 1978: Arts- og frekvensanalyse ved fire typesøer. - Projektrapport fra Odense Universitet. 72 s.

Fredningsnævnet for Fyns Amts sydlige Fredningskreds, 1993: Fredningsnævnets afgørelse af 22. juni 1993 om fredning af Arreskov Sø med omgivelser, samt fredningsnævnets erstatningsafgørelse af samme dato. 41 s. + kortbilag.

Fyns Amt, 1990: Vandmiljøovervågning. De ferske vandområder: Arreskov Sø, 1989. - Rapport, 59 s.

Fyns Amt, 1991: Vandmiljøovervågning: Arreskov Sø, 1990. - Rapport, 90 s.

Fyns Amt, 1992: Vandmiljøovervågning: Arreskov Sø, Udvikling 1989-91. - Rapport, 111 s.

Fyns Amt, 1993: Vandmiljøovervågning: Arreskov Sø 1992. - Rapport, 99 s.

Fyns Amt, 1994a: Landovervågning 1993: Miljøeffekter af landbrugsdrift. - Rapport xx s.

Fyns Amt, 1994b: Atmosfærisk nedfald. - Rapport xx s.

Fyns Amt, 1994c: Vandmiljøovervågning: Vandløb 1993. - Rapport xx s.

Fyns Amt, 1994d: Vandmiljøovervågning. Tre eksempler på effekter af spildevandsrensning: Arreskov Sø, Vindinge Å, Odense Fjord. Notat xx s.

Fyns Amtskommune og Vandkvalitetsinstituttet, 1974: Miljøbeskyttelse. Forundersøgelse af søer, moser og nor i Fyns Amt. - Rapport, 39 s. + bilag.

Gliwicz, Z.M., 1990: Why do cladocerans fail to control algal blooms? - Hydrobiologia 200/201: s. 83-97.

Grimm, M.P. og J.J.G.M. Backx, 1990: The restoration of shallow eutrophic lakes, and the role of northern pike, aquatic vegetation and nutrient concentration. - Hydrobiologia 200/201: s. 557-566.

Hansen, S. og T. Lauridsen, 1988: Fyto- og zooplanktonets årstidsvariation i to lavvandede søer, Kvind Sø og Arreskov Sø. - Projekt rapport fra Odense Universitet, 74 s.

Hansen, A.-M., E. Jeppesen, S. Bosselmann, P. Andersen, 1992: Zooplanktonundersøgelser i søer - metoder og artsliste. - Miljøprojekt nr. 205. Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen. 114 s.

Jensen, H.S. og F.Ø. Andersen, 1990: Fosforbelastning i lavvandede eutrofe søer. - NPO-forskning fra Miljøstyrelsen nr. C4, Miljøstyrelsen, 94 s. + databilag.

Jeppesen, E., M. Søndergaard, H.J. Jensen og J.P. Müller, 1989: Restaurering af søer ved indgreb i fiskebestanden. Status for igangværende undersøgelser. Del 1: Hovedrapport. - Danmarks Miljøundersøgelser. 73 s.

Kristensen, P., J.P. Jensen, E. Jeppesen, 1990: Eutrofieringsmodeller for søer. - NPO-forskning fra Miljøstyrelsen nr. C9, Miljøstyrelsen, 120 s.

Kristensen, P., M. Søndergaard, E. Jeppesen, E. Mortensen og Aa. Rebsdorf, 1990a: Overvågningsprogram. Prøvetagning og analysemetoder i søer.- Danmarks Miljøundersøgelser, 32 s.

Kristensen, P., J.P. Jensen, E. Jeppesen og M. Erlandsen, 1991: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1990. Ferske vandområder -søer. - Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr. 38, 104 s.

Kristensen, P., J. Windolf, E. Jeppesen, M. Søndergård, L. Sortkjær, 1992: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1991. Ferske vandområder - søer. - Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr.63, 111 s.

Kronvang, B. og A.J. Bruhn, 1990: Overvågningsprogram. Metoder til bestemmelse af stoftransport i vandløb. -Danmarks Miljøundersøgelser, Afdelingen for Ferskvandsøkonogi, 22 s.

Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, 1977: Limnologisk metodik. Akademisk Forlag, 172 s.

Lynch, M., 1980: *Aphanizomenon* blooms: Alternate Control and Cultivation by *Daphnia pulex*. - Special symposium (Kerfoot). American Soc. Limnol. Oceanogr. 3, s. 299-304.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1990: Arreskov Sø 1989, Phyto- og zooplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1991: Arreskov Sø 1990, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1992: Arreskov Sø 1991, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1993: Arreskov Sø 1992, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1994: Arreskov Sø 1993, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøstyrelsen, 1993: Renseanlæg, regnvandsbetingede udløb og spredt bebyggelse i Danmark 1992. Fagdatacenterrapport fra Hav- og spildevandskontoret, 1993.

Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium, 1988: Overvågningsprogram. Vand- og sedimentanalyser i ferskvand. Særlige kemiske analyse- og beregningsmetoder. - Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium. Teknisk rapport nr. 21, 59 s.

Moeslund, B., P.H. Møller, J. Windolf og P. Schriver, 1993: Vegetationsundersøgelser i søer. Metoder til anvendelse i søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. - Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning fra DMU nr. 6. 45 s.

Mortensen, E., H.J. Jensen, J.P. Müller, M. Timmermann, 1990: Overvågningsprogram. Fiskeundersøgelser i søer. Undersøgelelsesprogram, fiskeredskaber og metoder. - Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning nr. 3, 60 s.

Olrik, K., 1991: Planteplankton - metoder. - Miljøprojekt nr. 187. Miljøstyrelsen. 108 s.

Olsen, S., 1944: Danish Charophyta - chorological, ecological and biological investigations. - Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, biologiske skrifter, bind 3, nr.1.

Petersen, J.B., 1950a: Beretning om en botanisk undersøgelse af Arreskov Sø. - Djur och natur 1950, s. 130-134.

Petersen, J.B., 1950b: Arreskov Sø 1950. - Djur och natur 1950, s. 154-157.

Reynolds, C.S., 1984: The ecology of freshwater phytoplankton. -Cambridge University Press, 384 s.

Søndergaard, M., J. Bøgestrand, P. Schriver, T. Lauridsen, E. Jeppesen, S. Berg og P.H. Møller, 1993: Betydningen af fisk, fugle og undervandsplanter for vandkvaliteten. Biomanipulationsforsøg i Stigsholm Sø. - Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 77. 68 s.

Vandkvalitetsinstituttet, 1975: Recipientundersøgelse af Sørup Sø, Hvidkilde Sø, Nielstrup Sø, Ollerup Sø, Brændegård Sø, Nørre Sø, Arreskov Sø. - Rapport til Fyns Amtskommune. 107 s. + bilag.

Wiggers, L. og E. Moldt, 1994: "En fosfor-PE er ikke, hvad den har været." - Vand og Jord, 1. årgang nr. 2, s. 88-90.

Bilag 1.

Metodik anvendt ved undersøgelser af Arreskov Sø og dens opland.

Morfometri

Søens dybdeforhold er i 1989 kortlagt af landinspektør Thorkild Høy ved hjælp af ekkolodning. Beregning af søens kystlinielængde, areal og volumen er foretaget af Fyns Amt ved anvendelse af planimeter.

Oplandsbeskrivelse

Søens afstrømningsopland og deloplande til søens tilløb er afgrænset af Hedeselskabet i 1990 på baggrund af Geodætisk Instituts højdekurvekort i målestokforholdet 1:25.000, samt oplysninger om dræninger i området.

Det skal bemærkes, at tilløb 2 i forhold til tidligere rapporter er summen af tilløb 2 (Bollelung) og det tidligere tilløb 3 (Tyvholme). Målestationen i tilløb 3 er nedlagt, fordi tilløb 3 løber gennem en mose til tilløb 2 og der derfor i realiteten er tale om det samme vand.

Arealanvendelsen i oplandet er herefter opgjort på basis af oplysninger fra Landbrugsministeriet, Afdelingen for Arealdata og Kortlægning, Vejle. Disse oplysninger stammer fra perioden 1974-1981.

Jordtypefordelingen i landbrugsområderne er ligeledes opgjort på basis af oplysninger fra Afdelingen for Arealdata og Kortlægning. Disse oplysninger stammer fra perioden 1977-1978, og angiver kun forekomst af dominerende jordtyper i dybden 0-20 cm.

Oplysninger om husdyrhold i oplandet er indhentet af Fåborg og Broby Kommuner i forbindelse med kommunernes landbrugstilsyn (oplysninger revideret først i 1994).

Husdyrtætheden for Fyn og Danmark er opgjort på følgende måde: Både antal dyreenheder og størrelsen af det dyrkede landbrugsareal stammer fra Danmarks Statistiks Landbrugstælling 1993, dog er antal dyreenheder derefter korregeret med DMU's standardtal (ifølge Danmarks Miljøundersøgelser, 1993).

Fyn har 188.321 dyreenheder og et dyrket areal på 235.046 hektar, hvilket giver en husdyrtæthed på 0,80 DE/ha.

Danmark har 2.404.119 dyreenheder og et dyrket areal på 2.738.855 hektar, hvilket giver en husdyrtæthed på 0,88 DE/ha.

Antallet af spredtliggende ejendomme i oplandet er optalt af Fåborg og Broby kommuner i starten af 1994. Det er herefter antaget, at der fra hver ejendom i gennemsnit udledes spildevand fra 2,8 personer (2,8 PE/ha), hvorefter befolkningstætheden er beregnet i PE/ha.

Fordelingen af ejendomme i de enkelte deloplande er således:

Tilløb 1: 10 ejendomme (1 i Broby Kommune og 9 i Fåborg Kommune).

Tilløb 2: 47 ejendomme (28 i Broby Kommune og 19 i Fåborg Kommune).

Tilløb 4: 8 ejendomme

Tilløb 5: 30 ejendomme
Tilløb 6: 7 ejendomme
Tilløb 7: 15 ejendomme
Restopland: 17 ejendomme

Den potentielle spildevandsbelastning er beregnet ud fra følgende normtal fra Miljøstyrelsen: $1\text{PE} = 4,4 \text{ kg N/år}$ og $1,5 \text{ kg P/år}$.

For Fyn som helhed er antallet af spredtliggende ejendomme af Fyns Amt opgjort til 26.830 på baggrund af indberetninger fra kommunerne. Fyns areal (minus byer og vådområder) er ifølge Afdelingen for Arealdata og Kortlægning på 323.506 hektar, hvilket giver en befolkningstæthed i det åbne land på 0,08 ejd/ha, hvilket svarer til 0,23 PE/ha.

For Danmark som helhed har Miljøstyrelsen (1993) opgjort antallet af spredtliggende ejendomme til 245.000 (inkl. ukloakerede landsbyer). Danmarks areal (minus byer og vådområder) er ifølge Afdelingen for Arealdata og Kortlægning på 4.000.628 hektar, hvilket giver en befolkningstæthed i det åbne land på 0,06 ejd/ha, hvilket svarer til 0,17 PE/ha.

Nedbør

Til beskrivelse af nedbørsforholdene ved Arreskov Sø er benyttet en af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) drevet nedbørsmålet i Håstrup (DMI-stnr. 28390).

De anvendte nedbørsdata er korrigeret efter retningslinjer fra DMI (Olesen, m.fl., 1991). Herved kompenseres for, at den nedbørsmængde, som måles i en nedbørsmåler, aldrig helt svarer til den mængde, der falder på jorden.

Standardkorrektionen for vindeffekt og wettingtab for stationer med moderate læforhold (80-90 % af alle stationer) er på årsbasis 16 %.

De viste fraktilbånd i figur 2.2 er beregnet ud fra nedbørsdata for perioden 1961-1990.

Fordampning

Til brug for vandbalancen er benyttet den potentielle fordampning fra Årslev (DMI-stnr. 28280) beregnet af Statens Planteavlsforsøg vha. Makkink's ligning. For at danne den aktuelle fordampning fra en fri vandoverflade, er de modtagne data multipliceret med faktoren 1.10, efter anbefaling fra Harald Mikkelsen, Statens Planteavlsforsøg.

Ferskvandsafstrømning

Normalafstrømningen (1961-1990) til Arreskov Sø er beregnet ved at sammenholde afstrømningstidsserien til søen (1989-1993) med nærmeste station, hvor der foreligger en lang afstrømningstidsserie, i dette tilfælde Odense Å ved Nr. Broby.

På baggrund af målinger i perioden 1989-1993 er det beregnet, at forholdet mellem afstrømningen i Odense Å ved Nr. Broby og afstrømningen til Arreskov Sø er 1 : 0,53.

Normalafstrømningen i Odense Å ved Nr. Broby er 9,83 l/s*km². På baggrund heraf er normalafstrømningen til Arreskov Sø beregnet til 5,2 l/s*km².

De viste fraktilbånd i figur 2.2 er beregnet for perioden 1961-1990.

Lufttemperatur

Temperaturen er beregnet som et middel af målinger ved Rudkøbing (DMI-stnr. 28590), Beldringe Lufthavn (DMI-stnr. 06120) og Skjoldnæs Fyr (DMI-stnr. 28490).

Fraktilbåndet på figur 2.2 er beregnet for perioden 1961-1990.

Soltimer

Oplysninger om antallet af soltimer er indhentet fra Årslev (DMI-stnr. 28280). Fraktilbåndene i figur 2.2 er beregnet for normalperioden 1961-90.

Vindforhold

Ved Beldringe Lufthavn er opsat en klimastation (DMI-stnr. 06120), hvor der bl.a. registreres vindhastigheden i 10 m's højde 8 gange dagligt. Danmarks Meteorologiske Institut har leveret disse data for perioden 1961-1990, og herudfra er de vist fraktilbånd i figur 2.2 dannet.

Stofafstrømning

Fyns Amt har i 1989-1993 gennemført intensive fysisk-kemiske undersøgelser i søens tilløb og afløb. Stationering, analyseomfang og undersøgelseshyppighed for 1993 fremgår af figur 1.1.1 og tabel B1.1-B1.2. For fysisk-kemiske undersøgelser i 1989-92 henvises til Fyns Amt (1993).

På baggrund af Fyns Amts enkeltmålinger af vandføringen og en samtidig kontinuerlig registrering af vandstanden, har Hedeselskabet beregnet døgn-middelvandføringen i vandløbene.

Næringsstofafstrømningen er herefter beregnet ved anvendelse af linierinterpolationsmetoden. Denne metode er detaljeret beskrevet af Kronvang og Bruhn (1990).

Afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor til søen er beregnet ud fra målinger dækkende 80% af søens samlede oplandsareal. Tilførslen af ortofosfat-fosfor og total-jern til søen er dog beregnet ud fra målinger dækkende 48% af oplandsarealet.

Ferskvands- og næringsstofafstrømningen fra den resterende del af oplandet, det såkaldte umålte opland, er dernæst beregnet under antagelse af, at arealafstrømningen (afstrømningen/ha) er ens i det målte og det umålte opland.

Målestationen i sø afløbet er placeret cirka 4-500 m nedstrøms selve søen, hvorfor den målte afstrømning korrigeres for det areal (144 ha), som ikke indgår i sø oplandet. Ferskvandsafstrømningen korrigeres ved antagelse om samme arealafstrømning som i sø oplandet.

Stofafstrømningens basisbidrag

Ved basisbidrag forstås den næringsstofftilførsel fra oplandet til søen, som ville forekomme, hvis oplandet var praktisk taget uden menneskelig aktivitet ("naturområder").

Beregningen af basisbidraget for henholdsvis kvælstof og fosfor er foretaget ved anvendelse af en vandføringsvægtet årsmiddelkoncentration (d.v.s. den årlige stofafstrømning divideret med den årlige ferskvandsafstrømning) for et antal danske vandløb, der afvander fortrinsvis ugødskede skov/naturområder (betegnes naturvandløb).

For 1989, 1990-1992 og 1993 er der i beregningen anvendt data fra henholdsvis 7, 8 og 10 naturvandløb. Basisbidraget er herefter beregnet ved at gange årsmiddelkoncentrationen af kvælstof og fosfor med ferskvandsafstrømningen til Arreskov Sø.

Tabel B1.1
Oversigt over vandkemiske undersøgelser i tilløb til og afløb fra Arreskov Sø i Fyns Amt, 1993.

Analysevariable	Analyseforskrift	Programtype	
		VTYP 1 *)	VSØ 1 **)
pH (20°)	DS 287	+	+
Suspenderet stof	DS 207	+	
BI ₅ (foreliggende)	DS/R 254	+	
Total-N	DS 221	+	+
(NH ₃ +NH ₄)-N (F)	DS 224	+	
(NO ₂ +NO ₃)-N (F)	DS 223	+	
Total-P	DS 292	+	+
PO ₄ -P = Orto-P (F)	DS 291	+	+
Total-Fe	MFL ¹⁾	+	+

Bemærkninger:

1) Efter Miljøstyrelsen Ferskvandslaboratorium, teknisk rapport nr. 21 (1988).

(F) Analyse på filtreret prøve (GF/C).

*) Desuden analyse for total-Fe

**) I det reducerede program VSØ 2 analyseres kun for total-N og total-P

	Sted	Stationsnummer	Undersøgelsesaktivitet		Undersøgelseshyppighed		Analyseomfang
	Vandløbsnavn	SEER-nr.	Q/H-st	Vandkemist.	Vandføringsmåling	Vandkemi-prøve	Programtype
Arreskov Sø:							
Tilløb 1	Gedderenden	0107110		+	26/år	26/år	VTYP 1 *)
Tilløb 2	Bollelung	0107120		+	12/år	12/år	VSØ 2
Tilløb 3 ¹⁾	Tyvholm	0107130		+	12/år	12/år	VSØ 2
Tilløb 4	Rislebæk	0107140	+	+	26/år	26/år	VTYP 1 *)
Tilløb 5	Søbo Afløb	0117160	+	+	26/år	26/år	VTYP 1 *)
Tilløb 6	Korinth Regnvand	0107170		+	12/år	12/år	VSØ 2
Tilløb 7	Planteheld	0107150		+	12/år	12/år	VSØ 2
Afløb	Afløb (Odense Å)	0105350	+	+	19/år	19/år	VSØ 1

Bemærkninger:

1) Tilløb 3 kun målt i 1989-90.

*) Desuden analyse for total-Fe.

Tabel B1.2

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser i tilløb til og afløb fra Arreskov Sø i Fyns Amt, 1993.

Atmosfærisk deposition

Fyns Amt har 3 stationer til måling af atmosfærisk deposition, Årslev, Boelsmose og Grøftehøj. Til beregning af den atmosfæriske deposition på Arreskov Sø er disse anvendt.

Den atmosfæriske deposition opsamles vha. en bulksamler. Den tragtformede opsamler er placeret i 1,5 m højde, og er forbundet til en nedgravet opsamlingsflaske.

Ved benyttelse af bulkopsamling er det primært de atmosfæriske forbindelser, der tilføres med nedbøren, som opsamles. I tørvejrperioder opsamles endvidere større partikler og i mindre omfang gasser. Denne form for afsætning (deposition) af forureningskomponenter benævnes våddeposition.

Til beregning af våddepositionerne anvendes desuden nedbørsdata fra DMI.

De anvendte nedbørsdata er ikke korregeret for vindpåvirkning, hvorfor de faktiske nedbørsmængder er noget højere (se under "nedbør").

Grundvand

Tilførslen af grundvand til Arreskov Sø er beregnet ud fra søens vandbalance, det vil sige forskel mellem tilførte og fraførte vandmængder - på årsbasis

Denne opgørelse er behæftet med stor usikkerhed. Til brug for beregning af stoftilførslen med grundvandet er det antaget, at grundvandstilstrømningen er nogenlunde ens fra år til år. Grundvandstilstrømningen er herefter beregnet som et gennemsnit af de beregnede tilstrømninger i 1990 og 1991 og herefter afrundet til en værdi (1 mill. m³), som er anvendt for hvert af de 5 år.

Stoftilførslen fra den direkte grundvandstilførsel er derefter beregnet under antagelse af, at grundvandstilstrømningen er ligeligt fordel over året, og ud fra følgende typiske værdier for kvælstof- og fosforindholdet i grundvand fra

smeltevandssand i Danmark: 0,75 mgN/l og 0,02 mgP/l.

Det har endnu ikke været muligt at fremskaffe repræsentative grundvands-kvalitetsdata fra Arreskov Sø's opland.

Overløb fra fælleskloaksystemer (regnvand)

Kvælstof- og fosforbelastningen fra overløb fra fælleskloaksystem i en del af Korinth By bygger på SAMBA-beregninger. Resultaterne fremgår af rapporten: "Korinth Renseanlæg, beregninger af forureningsmængder, april 1990", Krüger. Belastningen er korrigeret således, at den er i overensstemmelse med den konkrete nedbørsmængde det pågældende år.

Fysisk-kemiske forhold i søvandet

Fyns Amt har i 1989-1993 gennemført fysisk-kemiske undersøgelser, samt undersøgelser af klorofylindhold og primærproduktion i søvandet. Stationering og analyseomfang fremgår af figur 1.1.2 og tabel B1.3-B1.4. Undersøgelserne er foretaget med en hyppighed på 19-20 gange/år.

Der er ved hjælp af en Limnos-vandhenter udtaget delprøver i overfladelaget, d.v.s. i 0,2 m, sigtdybde og 2 sigtdybde (før marts 1992 blev der dog anvendt en hjerteklapvandhenter). Delprøverne er herefter blandet til én prøve (betegnes blandingsprøve). Prøvetagning er i øvrigt foretaget som foreskrevet af Kristensen m.fl. (1990a).

Plankton

Der er i 1989-1993 foretaget undersøgelser af søens plante- og dyreplankton. Undersøgelserne er foretaget med en hyppighed på 19-20 gange/år.

Prøver af planteplanktonet er udtaget af Fyns Amt på samme station og ved samme metode som anvendt ved de vandkemiske undersøgelser. Under omrøring er 100 ml af blandingsprøven overført til glasflaske, hvorefter prøven er tilsat lugol (konservering).

Prøver af dyreplanktonet er indsamlet ved hjælp af hjerteklapvandhenter på i alt 3 stationer i søen (jf. figur 1.1.2 og tabel B1.4). På den enkelte station er udtaget delprøver i forskellige dybder som foreskrevet i Kristensen m.fl. (1990a).

Samtlige delprøver er blandet til én prøve (blandingsprøve). Under omrøring af blandingsprøven er herefter udtaget 4,5 l til filtrering i felten (maskevidde på filter 90 µm). Filterresten er overført til en 100 ml glasflaske og tilsat lugol. Derudover er udtaget 0,9 l af blandingsprøven til sedimentation. Hertil er ligeledes tilsat lugol, og det bundfældede materiale er efter 48 timers henstand overført til en 100 ml glasflaske og atter tilsat lugol.

Tabel B1.3

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser samt undersøgelser af klorofylindhold og primærproduktion i vandfase i Arreskov Sø i, 1989-93.

Feltmålinger:

Vandstand
Sigtdybde
Total vanddybde

Lufttemperatur
Vandtemperatur (profil)

Lys (profil)²⁾
O₂ (profil)

Målinger i Natur- og Vandmiljøafdelingens laboratorium:

Analysevariable	Analysefor-skrift	Programtype	
		Sø 1	Sø 2
Ledningsevne	DS 288	+	+
pH (20°C)	DS 287	+	+
Total alkalinitet	LM ¹⁾	+	+
Total-CO ₂	LM ¹⁾	+	+
O ₂ (Winkler)	LM ¹⁾	+	+
Tørstof (part.)	DS 207	+	
Glødetab (part.)	DS 207	+	
Klorofyl-a	DS 2201	+	
Primærproduktion (planteplankton) ²⁾	DS 293	+	

Målinger ved MLK Fyn I/S:

Analysevariable	Analysefor-skrift	Programtype	
		Sø 1	Sø 2
COD (part.)	DS 217 ^{3) 4)}	+	
Total-N	DS 221 ³⁾	+	+
(NH ₃ +NH ₄)-N (F)	DS 224	+	+
(NO ₂ +NO ₃)-N (F)	DS 223	+	+
Total-P	DS 292	+	+
PO ₄ -P = Orto-P (F)	DS 291	+	+
Silikat-Si	MFL ³⁾	+	

Bemærkninger:

- 1) Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium (1977).
- 2) Kun 1989-1991.
- 3) Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium (1988).
- 4) Analyseresultaterne indgår ikke i nærværende rapport på grund af analysefejl.
- (F) Analyse på filtreret prøve (GF/C).

Sø 1. Udføres på blandingsprøve fra 0,2 m sigtdybde og 2 x sigtdybde.

Sø 2 Udføres på vandprøve under springlag.

Tabel B1.4

Oversigt over prøvetagningsstationer i Arreskov Sø i Fyns Amt, 1989-93.

SERR-nr.	Undersøgellesprogram
010 8104	Vandkemi, klorofyl, primærproduktion og fytoplankton.
010 8105	Sedimentkemi og zooplankton.
010 8106	Sedimentkemi og zooplankton.
010 8107	Sedimentkemi og zooplankton.

Bemærkninger:

Ud over de ovennævnte stationsnumre er på figur 1.1.2 angivet numre på prøvetagningsstationer, hvor der tidligere er udført undersøgelser.

Tabel B1.5

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser i sediment i Arreskov Sø i Fyns Amt, 1990.

Målinger ved MLK Fyn I/S:

Analysevariabel	Analyseforskrift	Programtype Sø 3
Tørstof	DS 204	+
Glødetab	DS 204	+
Total-Fe	DSD 263	+
Total-Ca	DS 259	+
Total-N	DS 242	+
Total-P	DS 291 ¹⁾	+
Ads.-P	MFL ²⁾	+
Fe-P	MFL ²⁾	+
Ca-P	MFL ²⁾	+

Bemærkninger:

- 1) Efter kogning af glødet sediment i 10% HCl.
- 2) Miljøstyrelsens ferskvandslaboratorium (1988).

Endvidere er der ved lodret og vandret træk med et planktonnet gennem søvandet udtaget prøver af såvel plante- som dyreplankton (netmaskevidde henholdsvis 20 og 140 µm).

Bearbejdningen af de indsamlede planktonprøver er foretaget af Miljøbiologisk Laboratorium, Humlebæk. (Miljøbiologisk Laboratorium, 1990, 1991, 1992, 1993 og 1994). Bearbejdningen af prøverne er i øvrigt foretaget som foreskrevet i Olrik (1991) og Hansen m.fl. (1992).

Sediment

Fyns Amt har én gang i november 1990 udtaget prøver af søens bund, søsedimentet, på samme stationer som anvendt ved indsamling af dyreplanktonprøverne (jf. figur 1.1.2 og tabel B1.4). Der er på hver station ved hjælp af kajakrør (areal 21,4 cm²) udtaget mindst 3 sedimentsøjler af en længde på om

muligt 70 cm. Sedimentsøjlerne er opskåret i følgende delprøver (dybdeintervaller): 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20, 20-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm. Sediment fra de samme dybdeintervaller fra de 3 søjler er blandet sammen til én prøve.

Analyseomfanget fremgår af tabel B1.5.

Bundvegetation

Fyns Amt har i august 1993 gennemført en "orienterende undersøgelse" efter retningslinierne i Moeslund m.fl. (1993)

Fyns Amt har desuden i august 1989 og august 1992 gennemført orienterende vegetationsundersøgelser i søen. Længs hele søbredden er der fra søsiden foretaget en registrering af sammensætning af og dybdegrænser fra rørsump, flydebladszone og rankegrøde (undervandsvegetation). Undervandsvegetationen er lokaliseret ved hjælp af vandkikkert, planterive og ved undersøgelser af opskyllet plantemateriale.

Smådyrfauna

Smådyrfauna på søens barbund og i bredzonen er undersøgt hvert år i perioden 1989-1993. Bundfaunaen er indsamlet ved hjælp af kajakbundhenter i april-maj, medens bredfaunaen er indsamlet på stenbund i april-maj og i oktober. Resultaterne af smådyrundersøgelserne vil fremgå af en særskilt udarbejdet rapport herom (følger senere).

Fiskefauna

Den seneste undersøgelse af fiskebestanden i Arreskov Sø er foretaget i august 1992. Undersøgelsen er foretaget efter retningslinierne i Mortensen m.fl. (1990). Metode og resultater fremgår af Fiskeøkologisk Laboratorium (1993).

Bilag 2

Vandbalance (m³) opgjort på måneds, års, sommer- og vinterbasis samt opholdstid og afstrømningshøjde for Arreskov Sø, 1993. Der henvises til teksten i afsnit 4 for nærmere forklaringer.

ARRESKOV SØ: VANDBALANCE

1993

År	Måned	VAND TILFØRT/FRAFØRT				MAGASIN		GRUNDVAND		VANDSTAND
		Q tilført m3	Q fraført m3	Nedbør m3	Fordampning m3	pr. d. 1. m3	ændring/md m3	beregnet m3	% af tilført %	pr. d. 1. m o. DNN
1992	12	610424	1154486	156173	16389	6295303	-320312	83966	14	32,83
1993	1	1004826	936833	393926	23363	5974991	481823	43266	4	32,73
1993	2	627498	1091904	94751	35567	6456814	-449954	-44732	-7	32,88
1993	3	317125	207639	53757	109841	6006860	224091	170689	54	32,74
1993	4	174915	183617	69201	229096	6230951	0	168596	96	32,81
1993	5	84241	47661	104626	355674	6230951	-192186	22282	26	32,81
1993	6	67723	22827	152502	360207	6038765	-159165	3643	5	32,75
1993	7	68764	2272	219415	311040	5879600	-63415	-38282	-56	32,70
1993	8	59172	4852	238568	259433	5816185	0	-33455	-57	32,68
1993	9	225219	317295	448479	124486	5816185	190675	-41242	-18	32,68
1993	10	425206	251588	257303	71135	6006860	352938	-6847	-2	32,74
1993	11	292054	58164	201143	19876	6359798	521197	106040	36	32,85
1993	12	1079199	1791165	379871	11158	6880995	164788	508042	47	33,01
1994	1	0	0	0	0	7045783	0		0	33,06
		Q tilført m3	Q fraført m3	Nedbør m3	Fordampning m3			ændring m3	beregnet m3	% af tilført %
Årsbalance										
1989		2664860	3158015	1836941	2118353					
1990		4145626	6003924	2736655	2124280					
1991		3747573	5146975	2368260	1999446		351748	1597671	39	
1992		3678535	4789211	2359088	2190534		-319951	710637	19	
1993		4425943	4915817	2613541	1910876		0	942122	26	
							1070792	858001	19	
Sommerbalance 1.maj - 30.sept										
1989		518702	330602	720164	1602277					
1990		854756	710248	1426541	1548228		-596659	97354	19	
1991		807684	721457	1046087	1507081		200538	177717	21	
1992		557027	563303	755585	1732691		-284558	90209	11	
1993		505119	394906	1163590	1410840		-965775	17607	3	
							-224091	-87053	-17	
Vinterbalance 1.dec - 31.marts										
1989		1213098	1828202	418431	180627					
1990		2015328	3117624	847947	220378					
1991		1861067	3043662	712299	178185		-351351	728672	36	
1992		1861067	3043662	712299	178185		253945	531573	22	
1993		2559873	3390862	698608	185160		-190459	458023	25	
							-64352	253189	10	

OPHOLDSTID beregnet på basis af hhv. fraførsel og tilførsel

AFSTRØMNINGSHØJDE: Q tilført/søareal

	Antal dage	OPHOLDSTID				AFSTRØMNINGSHØJDE		AFSTRØMNINGSHØJDE	
		Fraførsel		Tilførsel		1993		År	m/år
		dage	år	dage	år	m/år			
Januar	31	206	0,56	192	0,53	3,73			
Februar	28	160	0,44	278	0,76	2,58		1989	0,84
Marts	31	914	2,50	598	1,64	1,18		1990	1,31
April	30	1018	2,79	1069	2,93	0,67		1991	1,18
Maj	31	3990	10,93	2258	6,19	0,31		1992	1,16
Juni	30	7832	21,46	2640	7,23	0,26		1993	1,40
Juli	31	79801	218,63	2636	7,22	0,26			
August	31	37162	101,81	3047	8,35	0,22			
September	30	559	1,53	787	2,16	0,86			
Oktober	31	762	2,09	451	1,24	1,58			
November	30	3415	9,36	680	1,86	1,12			
December	31	121	0,33	200	0,55	4,01			
Max måned		79801	218,63	3047	8,35	4,01			
Min måned		121	0,33	192	0,53	0,22			
År	365	459	1,26	510	1,40	1,40			
Sommer	153	2299	6,30	1797	4,92	0,16			
vinter	121	220	0,60	292	0,80	0,81		Søareal, m2:	3170000

Bilag 3

Massebalance for Arreskov Sø for total kvælstof, total fosfor, opløst uorganisk fosfor (ortofosfat-fosfor) og total jern (i kg) på månedsbasis for 1993, samt sommer- (1.5-30.9) og årsbasis for 1989-1993. Der henvises i øvrigt til teksten i afsnit 5 for nærmere forklaringer.

ARRESKOV SØ, STOFBALANCE 1993

Måned	Tot-N tilført kg	Tot-N fraført kg	Tot-N til-fra kg	Tot-N til-fra % af til	Tot-P tilført kg	Tot-P fraført kg	Tot-P til-fra kg	Tot-P til-fra % af til	Orto-P tilført kg	Orto-P fraført kg	Orto-P til-fra kg	Orto-P til-fra % af til	Tot-Fe tilført kg	Tot-Fe fraført kg	Tot-Fe til-fra kg	Tot-Fe til-fra % af til
1	10959	2984	7975	73	160	49	112	70	91	22	69	76	1234	152	1083	88
2	5583	3853	1731	31	61	56	5	9	36	25	11	31	334	119	215	64
3	2487	663	1824	73	37	11	26	70	17	3	14	85	163	41	122	75
4	1228	438	790	64	26	12	13	51	10	4	6	59	81	6	75	93
5	482	79	403	84	22	3	19	86	4	1	3	79	55	4	51	93
6	522	38	485	93	17	3	14	84	4	0	4	95	63	3	60	95
7	712	13	699	98	18	1	17	94	4	0	3	99	64	0	63	99
8	697	18	678	97	26	1	24	96	3	1	2	79	48	1	47	98
9	1748	603	1144	65	56	39	17	30	21	19	2	10	94	18	76	81
10	3297	416	2881	87	57	21	37	64	29	11	18	63	105	21	85	80
11	2757	203	2555	93	29	4	25	85	14	3	12	81	61	24	37	61
12	10646	4963	5683	53	103	114	-11	-11	52	69	-17	-33	230	223	7	3
År																
1989	24824	15270	9554	38	551	632	-81	-15	211	77	134	64	2101	1421	680	32
1990	41427	32968	8460	20	778	1076	-298	-38	315	181	133	42	2258	2837	-579	-26
1991	31872	20047	11826	37	592	771	-179	-30	228	118	110	48	1715	3198	-1483	-87
1992	38863	13128	25736	66	521	476	45	9	207	59	148	72	1445	1078	367	25
1993	41118	14272	26847	65	612	314	297	49	286	157	129	45	2532	612	1920	76
Sommer																
1989	4209	920	3289	78	191	76	115	60	37	6	31	83	439	152	288	66
1990	7372	2592	4780	65	298	178	120	40	84	14	70	83	817	293	525	64
1991	5429	2405	3024	56	215	154	61	29	59	24	35	59	612	261	352	57
1992	4429	1115	3314	75	132	65	67	51	31	11	20	64	502	131	371	74
1993	4161	752	3409	82	138	47	91	66	36	21	15	43	323	26	296	92

Amagasing N = 2000 kg

DUS Ret = 5683
+ 2000

~ 7700

g reel ret pct Fgⁿ
= 7700

Bilag 4

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Arreskov Sø, st. 108101 - 108122, i perioden 1973-1993

SOMMERPERIODEN (1.5 - 30.9)	1973	1974	1977	1978	1979	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
	2)	2)	4)	4)	2)	1)	1)	3)	3)	3)	3)	3)
Sigtdybde, gns. (m)	0,48	0,78	0,62	-	1,02	0,56	0,49	0,27	0,25	0,38	1,45	1,84
Sigtdybde, 50% frakt. (m)	0,47	0,75	0,60	-	0,92	0,56	0,46	0,25	0,25	0,30	1,45	1,87
Sigtdybde, 75% frakt. (m)	0,55	0,85	0,65	-	1,20	0,60	0,64	0,30	0,27	0,44	1,85	2,20
Sigtdybde, maks. (m)	0,86	1,00	1,10	-	3,30	0,90	0,90	0,45	0,35	0,90	2,75	3,00
Sigtdybde, min. (m)	0,30	0,70	0,30	-	0,31	0,40	0,25	0,21	0,15	0,20	0,30	0,60
Total-fosfor, gns. (µg P/l)	-	114	-	-	-	519	-	231	275	199	130	138
Total-fosfor, 50% frakt. (µg P/l)	-	117	-	-	-	575	-	243	253	206	120	115
Total-fosfor, maks. (µg P/l)	-	150	-	-	-	782	-	294	394	323	230	361
Total-fosfor, min. (µg P/l)	-	79	-	-	-	194	-	142	196	129	58	62
Orto-fosfat, gns. (µg P/l)	-	33	13	10	40	334	-	24	29	35	24	24
Orto-fosfat, 50% frakt. (µg P/l)	-	32	10	7	41	380	-	21	22	17	17	22
Orto-fosfat, 25% frakt. (µg P/l)	-	8	8	5	<5	241	-	16	11	7	11	16
Orto-fosfat, maks. (µg P/l)	-	71	34	25	137	484	-	51	75	208	72	56
Orto-fosfat, min. (µg P/l)	-	5	<5	<5	<5	54	-	8	7	<5	<5	5
Part. fosfor, gns. (µg P/l)	-	82	-	-	-	185	-	207	246	164	106	114
Part. fosfor, 50% (µg P/l)	-	82	-	-	-	179	-	207	235	151	99	92
Part. fosfor, 25% (µg P/l)	-	70	-	-	-	125	-	180	198	137	81	61
Part. fosfor, maks. (µg P/l)	-	107	-	-	-	342	-	277	357	235	225	353
Part. fosfor, min. (µg P/l)	-	65	-	-	-	105	-	131	176	115	48	35
Total-kvælstof, gns. (µg N/l)	-	2821	-	-	-	2580	-	2526	3205	3000	1933	1630
Total-kvælstof, 50% frakt. (µg N/l)	-	2637	-	-	-	2467	-	2534	3033	3007	1672	1578
Total-kvælstof, maks. (µg N/l)	-	3790	-	-	-	3420	-	3420	4411	4022	4232	2310
Total-kvælstof, min. (µg N/l)	-	2500	-	-	-	2097	-	1094	2420	2059	1290	903
Opl. uorg. kvælstof, gns. (µg N/l)	-	751	391	418	235	103	-	45	231	311	250	254
Opl. uorg. kvælstof, 50% frakt. (µg N/l)	-	741	144	337	176	32	-	28	36	85	187	190
Opl. uorg. kvælstof, 25% frakt. (µg N/l)	-	441	53	136	71	30	-	23	28	31	113	91
Opl. uorg. kvælstof, maks. (µg N/l)	-	1562	1581	1011	783	592	-	201	1667	1588	880	779
Opl. uorg. kvælstof, min. (µg N/l)	-	119	21	7	3	27	-	16	21	15	15	32
Part N/Part P, gns.	-	26	-	-	-	15	-	13	12	17	17	17
Part N/Part P, 50% frakt.	-	26	-	-	-	13	-	12	13	16	17	14
Part N/Part P, maks.	-	34	-	-	-	23	-	22	17	25	22	33
Part N/Part P, min.	-	19	-	-	-	10	-	4	4	9	9	6
Klorofyl-a, gns. (µg/l)	-	42	-	-	108	107	108	129	147	155	74	52
Klorofyl-a, 50% frakt. (µg/l)	-	41	-	-	32	114	113	117	132	167	39	26
Klorofyl-a, 75% frakt. (µg/l)	-	46	-	-	150	137	160	156	143	200	56	48
Klorofyl-a, max. (µg/l)	-	57	-	-	526	160	170	210	245	280	460	340
Klorofyl-a, min. (µg/l)	-	29	-	-	25	37	18	81	27	28	4	4
(Nitrit + nitrat)-kvælstof, gns. (µg N/l)	-	380	196	189	98	51	-	15	204	200	142	135
Ammonium-kvælstof, gns. (µg N/l)	-	373	195	230	137	51	-	30	27	111	108	119
pH, gns.	9,1	8,4	8,6	8,5	8,6	9,1	9,2	8,8	9,2	8,9	8,2	8,2
Ledningsevne, gns. (µS/cm)	-	425	432	498	479	350	-	320	327	325	447	485
Total-alkalinitet, gns. (meq/l)	-	2,44	-	-	1,9	-	-	2,18	1,87	1,97	2,98	2,75
Total-kuldioxid, gns. (mmol/l)	-	-	-	-	-	2,38	-	2,1	1,76	1,89	3,01	2,77
Silikat-Si, gns. (mg Si/l)	-	-	-	-	5,4	5,6	-	4,1	4,7	1,3	5,6	3,4
Tørstof (part.), gns. (mg/l)	-	-	-	-	-	33	-	60	66	40	17	13
Glødetab (part.), gns. (mg/l)	-	-	-	-	-	24	-	40	44	26	11	9
Primærprod., gns. (mg C/m ² d)	-	791	-	-	-	1657	-	1527	1672	1674	-	-
Primærprod., 50% frakt. (mg C/m ² d)	-	744	-	-	-	1329	-	1259	1587	1469	-	-
Primærprod., 75% (mg C/m ² d)	-	992	-	-	-	2101	-	1751	1885	1848	-	-
Primærprod., max. (mg C/m ² d)	-	1472	-	-	-	3334	-	3261	2524	3398	-	-
Primærprod., min. (mg C/m ² d)	-	464	-	-	-	682	-	868	1042	839	-	-

Bemærkninger:

- 1) Station 108101
- 2) Station 108103
- 3) Station 108104
- 4) Station 108122 (Odense Universitet)

De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum og minimum er ikke nødvendigvis målte værdier, men kan i visse tilfælde være beregnet ved interpolation mellem en værdi indenfor den angivne periode og en højere/lavere værdi udenfor perioden.

Bilag 4 (fortsat)

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Arreskov Sø, st. 108101 - 108122, i perioden 1973-1993

HELE ÅRET	1973/74 2), 5)	1977 4)	1978 4)	1979 2)	1987 1)	1989 3)	1990 3)	1991 3)	1992 3)	1993 3)
Sigtdybde, gns. (m)	0,96	-	-	1,34	0,97	0,33	0,31	0,55	1,57	2,19
Sigtdybde, 50% frakt. (m)	0,92	-	-	1,51	0,74	0,29	0,27	0,49	1,30	2,20
Sigtdybde, 75% frakt. (m)	1,20	-	-	1,64	1,33	0,40	0,34	0,62	2,19	2,61
Sigtdybde, maks. (m)	1,40	-	-	3,30	2,75	0,76	0,85	1,45	2,95	3,10
Sigtdybde, min. (m)	0,40	-	-	0,31	0,40	0,20	0,15	0,20	0,30	0,60
Total-fosfor, gns. (µg P/l)	97	-	-	-	449	232	225	153	97	102
Total-fosfor, 50% frakt. (µg P/l)	90	-	-	-	530	236	212	141	81	83
Total-fosfor, maks. (µg P/l)	160	-	-	-	782	316	394	323	230	361
Total-fosfor, min. (µg P/l)	53	-	-	-	118	142	119	61	47	28
Orto-fosfat, gns. (µg P/l)	48	42	23	-	305	42	32	21	19	28
Orto-fosfat, 50% frakt. (µg P/l)	49	20	27	-	349	22	23	11	16	27
Orto-fosfat, 25% frakt. (µg P/l)	39	9	7	-	150	14	12	7	11	20
Orto-fosfat, maks. (µg P/l)	110	170	56	137	523	166	105	208	10	56
Orto-fosfat, min. (µg P/l)	5	<5	<5	<5	13	8	<5	<5	<5	5
Part. fosfor, gns. (µg P/l)	65	-	-	-	144	189	193	132	78	73
Part. fosfor, 50% (µg P/l)	58	-	-	-	133	190	184	124	67	53
Part. fosfor, 25% (µg P/l)	51	-	-	-	97	164	141	90	47	29
Part. fosfor, maks. (µg P/l)	107	-	-	-	342	277	357	282	225	353
Part. fosfor, min. (µg P/l)	45	-	-	-	39	70	49	53	32	20
Total-kvælstof, gns. (µg N/l)	3778	-	-	-	2860	3178	4077	3264	2184	2152
Total-kvælstof, 50% frakt. (µg N/l)	3363	-	-	-	2691	3180	3829	3077	2190	1889
Total-kvælstof, maks. (µg N/l)	9300	-	-	-	3880	5510	6400	4625	4232	3495
Total-kvælstof, min. (µg N/l)	2500	-	-	-	1545	1094	2420	2059	1290	903
Opl. uorg. kvælstof, gns. (µg N/l)	1635	1259	834	-	709	808	1616	1052	752	986
Opl. uorg. kvælstof, 50% frakt. (µg N/l)	1465	989	940	-	237	481	1236	880	722	666
Opl. uorg. kvælstof, 25% frakt. (µg N/l)	687	186	467	-	37	31	47	94	208	289
Opl. uorg. kvælstof, maks. (µg N/l)	3640	3862	2158	3570	2111	3660	5186	2641	2097	2498
Opl. uorg. kvælstof, min. (µg N/l)	119	21	7	3	27	16	21	15	15	32
Part N/Part P, gns.	38	-	-	-	20	14	14	18	21	24
Part N/Part P, 50% frakt.	38	-	-	-	15	13	13	18	21	23
Part N/Part P, maks.	110	-	-	-	56	33	39	27	33	45
Part N/Part P, min.	19	-	-	-	10	4	4	9	9	6
Klorofyl-a, gns. (µg/l)	42	-	-	87	78	132	146	116	48	24
Klorofyl-a, 50% frakt. (µg/l)	40	-	-	38	73	125	116	99	33	5
Klorofyl-a, 75% frakt. (µg/l)	49	-	-	106	123	180	141	169	55	16
Klorofyl-a, max. (µg/l)	92	-	-	526	220	280	1000	280	460	340
Klorofyl-a, min. (µg/l)	24	-	-	17	5	20	27	28	4	1
(Nitrit + nitrat)-kvælstof, gns. (µg N/l)	990	896	532	437	287	303	975	805	583	838
Ammonium-kvælstof, gns. (µg N/l)	645	363	302	327	423	505	640	247	169	148
pH, gns.	8,2	8,4	8,2	8,2	8,6	8,5	8,6	8,5	8,2	8,1
Ledningsevne, gns. (µS/cm)	400	444	507	524	370	352	346	353	442	479
Total-alkalinitet, gns. (meq/l)	1,94	-	-	1,98	-	2,50	2,17	2,24	2,82	2,67
Total-kuldioxid, gns. (mmol/l)	-	-	-	-	2,63	2,48	2,14	2,22	2,85	2,70
Silikat-Si, gns. (mg Si/l)	-	-	-	6,1	6,5	4,4	4,35	1,1	4,05	3,50
Tørstof (part.), gns. (mg/l)	-	-	-	-	22	51	52	30	13	8
Glødetab (part.), gns. (mg/l)	-	-	-	-	15	31	33	19	8	5
Årsprimærproduktion (g C/m ² år)	169	-	-	-	369	319	376	328	-	-

Bemærkninger:

- 1) Station 108101
- 2) Station 108103
- 3) Station 108104
- 4) Station 108122 (Odense Universitet)

5) Gennemsnit for perioden 1.9 1973 - 31.8 1974

De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum og minimum er ikke nødvendigvis målte værdier, men kan i visse tilfælde være beregnet ved interpolation mellem en værdi indenfor den angivne periode og en højere/lavere værdi udenfor perioden.

Bilag 4 (fortsat)

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Arreskov Sø, st. 108101 - 108122, i perioden 1973-1993

VINTERPERIODEN (1.12 - 31.3)	1973/74 2)	1986/87 1)	1988 1), 5)	1989 3), 5)	1989/90 3)	1990/91 3)	1991/92 3)	1992/93 3)
Total-fosfor, gns. (µg/l)	88	231	-	204	205	116	78	83
Orto-fosfat, gns. (µg/l)	41	158	-	16	83	12	17	28
Total-kvælstof, gns. (µg N/l)	6041	2921	-	3303	5347	4095	2638	3236
(Nitrit + nitrat)-kvælstof, gns. (µg N/l)	2546	827	-	767	1857	1821	842	1903
Ammonium-kvælstof, gns. (µg N/l)	990	326	-	94	2095	381	380	222
pH, gns.	7,9	8,3	8	8,2	8,1	8,1	8,2	8,1
Ledningsevne, gns. (µS/cm)	412	596	-	410	354	391	390	493
Total-alkalinitet, gns. (meq/l)	2,1	-	-	2,95	2,64	2,48	2,61	2,58
Total-kuldioxid, gns. (mmol/l)	-	2,9	-	2,98	2,67	2,51	2,63	2,62
Silikat, gns. (mg Si/l)	-	7,9	-	3,4	6,7	0,23	2,7	2,64
Tørstof (part.), gns. (mg/l)	-	14,9	-	48	25	30	12	5,5
Glødetab (part.), gns. (mg/l)	-	8,2	-	26	16	16	8	2,5

Bemærkninger:

1) Station 108101

2) Station 108103

3) Station 108104

4) Station 108122 (Odense Universitet)

5) Gennemsnit for perioden 1.1 - 31.3

De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum og minimum er ikke nødvendigvis målte værdier, men kan i visse tilfælde være beregnet ved interpolation mellem en værdi indenfor den angivne periode og en højere/lavere værdi udenfor perioden.

TABLE 1. SUMMARY OF DATA FOR THE 1990-1991 FLOODING EVENT									
STATION	DATE	TIME	WATER LEVEL (m)	WIND SPEED (km/h)	WIND DIRECTION	WAVE HEIGHT (m)	WAVE PERIOD (s)	WAVE DIRECTION	WAVE DIRECTION
1	1990-11-10	08:00	1.2	15	SE	0.5	10	SE	SE
2	1990-11-10	10:00	1.5	20	SE	0.8	12	SE	SE
3	1990-11-10	12:00	1.8	25	SE	1.0	15	SE	SE
4	1990-11-10	14:00	2.0	30	SE	1.2	18	SE	SE
5	1990-11-10	16:00	2.2	35	SE	1.5	20	SE	SE
6	1990-11-10	18:00	2.5	40	SE	1.8	22	SE	SE
7	1990-11-10	20:00	2.8	45	SE	2.0	25	SE	SE
8	1990-11-10	22:00	3.0	50	SE	2.2	28	SE	SE
9	1990-11-11	00:00	3.2	55	SE	2.5	30	SE	SE
10	1990-11-11	02:00	3.5	60	SE	2.8	32	SE	SE
11	1990-11-11	04:00	3.8	65	SE	3.0	35	SE	SE
12	1990-11-11	06:00	4.0	70	SE	3.2	38	SE	SE
13	1990-11-11	08:00	4.2	75	SE	3.5	40	SE	SE
14	1990-11-11	10:00	4.5	80	SE	3.8	42	SE	SE
15	1990-11-11	12:00	4.8	85	SE	4.0	45	SE	SE
16	1990-11-11	14:00	5.0	90	SE	4.2	48	SE	SE
17	1990-11-11	16:00	5.2	95	SE	4.5	50	SE	SE
18	1990-11-11	18:00	5.5	100	SE	4.8	52	SE	SE
19	1990-11-11	20:00	5.8	105	SE	5.0	55	SE	SE
20	1990-11-11	22:00	6.0	110	SE	5.2	58	SE	SE
21	1990-11-12	00:00	6.2	115	SE	5.5	60	SE	SE
22	1990-11-12	02:00	6.5	120	SE	5.8	62	SE	SE
23	1990-11-12	04:00	6.8	125	SE	6.0	65	SE	SE
24	1990-11-12	06:00	7.0	130	SE	6.2	68	SE	SE
25	1990-11-12	08:00	7.2	135	SE	6.5	70	SE	SE
26	1990-11-12	10:00	7.5	140	SE	6.8	72	SE	SE
27	1990-11-12	12:00	7.8	145	SE	7.0	75	SE	SE
28	1990-11-12	14:00	8.0	150	SE	7.2	78	SE	SE
29	1990-11-12	16:00	8.2	155	SE	7.5	80	SE	SE
30	1990-11-12	18:00	8.5	160	SE	7.8	82	SE	SE
31	1990-11-12	20:00	8.8	165	SE	8.0	85	SE	SE
32	1990-11-12	22:00	9.0	170	SE	8.2	88	SE	SE
33	1990-11-13	00:00	9.2	175	SE	8.5	90	SE	SE
34	1990-11-13	02:00	9.5	180	SE	8.8	92	SE	SE
35	1990-11-13	04:00	9.8	185	SE	9.0	95	SE	SE
36	1990-11-13	06:00	10.0	190	SE	9.2	98	SE	SE
37	1990-11-13	08:00	10.2	195	SE	9.5	100	SE	SE
38	1990-11-13	10:00	10.5	200	SE	9.8	102	SE	SE
39	1990-11-13	12:00	10.8	205	SE	10.0	105	SE	SE
40	1990-11-13	14:00	11.0	210	SE	10.2	108	SE	SE
41	1990-11-13	16:00	11.2	215	SE	10.5	110	SE	SE
42	1990-11-13	18:00	11.5	220	SE	10.8	112	SE	SE
43	1990-11-13	20:00	11.8	225	SE	11.0	115	SE	SE
44	1990-11-13	22:00	12.0	230	SE	11.2	118	SE	SE
45	1990-11-14	00:00	12.2	235	SE	11.5	120	SE	SE
46	1990-11-14	02:00	12.5	240	SE	11.8	122	SE	SE
47	1990-11-14	04:00	12.8	245	SE	12.0	125	SE	SE
48	1990-11-14	06:00	13.0	250	SE	12.2	128	SE	SE
49	1990-11-14	08:00	13.2	255	SE	12.5	130	SE	SE
50	1990-11-14	10:00	13.5	260	SE	12.8	132	SE	SE
51	1990-11-14	12:00	13.8	265	SE	13.0	135	SE	SE
52	1990-11-14	14:00	14.0	270	SE	13.2	138	SE	SE
53	1990-11-14	16:00	14.2	275	SE	13.5	140	SE	SE
54	1990-11-14	18:00	14.5	280	SE	13.8	142	SE	SE
55	1990-11-14	20:00	14.8	285	SE	14.0	145	SE	SE
56	1990-11-14	22:00	15.0	290	SE	14.2	148	SE	SE
57	1990-11-15	00:00	15.2	295	SE	14.5	150	SE	SE
58	1990-11-15	02:00	15.5	300	SE	14.8	152	SE	SE
59	1990-11-15	04:00	15.8	305	SE	15.0	155	SE	SE
60	1990-11-15	06:00	16.0	310	SE	15.2	158	SE	SE
61	1990-11-15	08:00	16.2	315	SE	15.5	160	SE	SE
62	1990-11-15	10:00	16.5	320	SE	15.8	162	SE	SE
63	1990-11-15	12:00	16.8	325	SE	16.0	165	SE	SE
64	1990-11-15	14:00	17.0	330	SE	16.2	168	SE	SE
65	1990-11-15	16:00	17.2	335	SE	16.5	170	SE	SE
66	1990-11-15	18:00	17.5	340	SE	16.8	172	SE	SE
67	1990-11-15	20:00	17.8	345	SE	17.0	175	SE	SE
68	1990-11-15	22:00	18.0	350	SE	17.2	178	SE	SE
69	1990-11-16	00:00	18.2	355	SE	17.5	180	SE	SE
70	1990-11-16	02:00	18.5	360	SE	17.8	182	SE	SE
71	1990-11-16	04:00	18.8	365	SE	18.0	185	SE	SE
72	1990-11-16	06:00	19.0	370	SE	18.2	188	SE	SE
73	1990-11-16	08:00	19.2	375	SE	18.5	190	SE	SE
74	1990-11-16	10:00	19.5	380	SE	18.8	192	SE	SE
75	1990-11-16	12:00	19.8	385	SE	19.0	195	SE	SE
76	1990-11-16	14:00	20.0	390	SE	19.2	198	SE	SE
77	1990-11-16	16:00	20.2	395	SE	19.5	200	SE	SE
78	1990-11-16	18:00	20.5	400	SE	19.8	202	SE	SE
79	1990-11-16	20:00	20.8	405	SE	20.0	205	SE	SE
80	1990-11-16	22:00	21.0	410	SE	20.2	208	SE	SE
81	1990-11-17	00:00	21.2	415	SE	20.5	210	SE	SE
82	1990-11-17	02:00	21.5	420	SE	20.8	212	SE	SE
83	1990-11-17	04:00	21.8	425	SE	21.0	215	SE	SE
84	1990-11-17	06:00	22.0	430	SE	21.2	218	SE	SE
85	1990-11-17	08:00	22.2	435	SE	21.5	220	SE	SE
86	1990-11-17	10:00	22.5	440	SE	21.8	222	SE	SE
87	1990-11-17	12:00	22.8	445	SE	22.0	225	SE	SE
88	1990-11-17	14:00	23.0	450	SE	22.2	228	SE	SE
89	1990-11-17	16:00	23.2	455	SE	22.5	230	SE	SE
90	1990-11-17	18:00	23.5	460	SE	22.8	232	SE	SE
91	1990-11-17	20:00	23.8	465	SE	23.0	235	SE	SE
92	1990-11-17	22:00	24.0	470	SE	23.2	238	SE	SE
93	1990-11-18	00:00	24.2	475	SE	23.5	240	SE	SE
94	1990-11-18	02:00	24.5	480	SE	23.8	242	SE	SE
95	1990-11-18	04:00	24.8	485	SE	24.0	245	SE	SE
96	1990-11-18	06:00	25.0	490	SE	24.2	248	SE	SE
97	1990-11-18	08:00	25.2	495	SE	24.5	250	SE	SE
98	1990-11-18	10:00	25.5	500	SE	24.8	252	SE	SE
99	1990-11-18	12:00	25.8	505	SE	25.0	255	SE	SE
100	1990-11-18	14:00	26.0	510	SE	25.2	258	SE	SE

Bilag 5

Beregning af kvælstofudveksling via interne processer i Arreskov Sø, 1993. Beregnet tilførsel, fraførsel magasinændring og nettostofudveksling med sediment/atmosfære for total kvælstof (kg) på månedsbasis. Års- og sommermiddelværdier er ligeledes angivet.

ARRESKOV SØ, 1993: BEREGNING AF KVÆLSTOFFRIGIVELSE/TAB

Måned	dage	Søvolume pr.d.1. m ³	Tot-N konc. pr d. 1. µg/l	N-pulje pr.d.1. kg	Stign./md kg	Tot-N til kg	Tot-N fra kg	N tilbage- holdt kg
1	31	5974991	3359	20068	2465	10959	2984	7975
2	28	6456814	3490	22532	-2817	5583	3853	1731
3	31	6006860	3282	19715	-3457	2487	663	1824
4	30	6230951	2609	16258	-5001	1228	438	790
5	31	6230951	1807	11257	-2392	482	79	403
6	30	6038765	1468	8865	131	522	38	485
7	31	5879600	1530	8996	3411	712	13	699
8	31	5816185	2133	12406	-3931	697	18	678
9	30	5816185	1457	8475	1039	1748	603	1144
10	31	6006860	1584	9514	898	3297	416	2881
11	30	6359798	1637	10412	3326	2757	203	2555
12	31	6880995	1997	13738	4428	10646	4963	5683
1		7045783	2578	18167				
max			3490		4428	10959	4963	7975
sommermiddel sum, sommer		5964758	1679	9919	-349 -1743	832 4161	150 752	682 3409
årsmiddel sum, år		6211134	2196	13877	-158 -1901	3427 41118	1189 14272	2237 26847

KVÆLSTOF FRIGØRELSE (+) TAB (-) FOR HELE SØEN KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT KVÆLSTOF

Areal af sø, m²: 3170000

Måned	Fri/bundet N hele søen kg N/måned	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² måned	Fri/bundet N hele søen kg N/dag	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² dag
1	-5510	-1738	-177,74	-56,07
2	-4548	-1435	-162,43	-51,24
3	-5281	-1666	-170,34	-53,74
4	-5791	-1827	-193,03	-60,89
5	-2795	-882	-90,16	-28,44
6	-354	-112	-11,80	-3,72
7	2712	855	87,48	27,60
8	-4610	-1454	-148,70	-46,91
9	-106	-33	-3,52	-1,11
10	-1983	-626	-63,98	-20,18
11	772	243	25,72	8,11
12	-1254	-396	-40,46	-12,76
max	2712	855	87,48	27,60
sommermiddel ialt fri/bund. sommer, kg	-1030 -5152	-325	-33,34	-10,52
årsmiddel ialt fri/bundet år, kg	-2396 -28748	-756	-79,08	-24,95

$$3.17 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$41 \text{ } 1/2 \times 10 \text{ mg}$$

$$93 \text{ m}^2 \text{ C} = 35.5 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{d}$$

$$\text{net} = 25$$

$$\text{net pct} = 70\%$$

$$25 \times$$

Bilag 6

Beregning af fosforudveksling via interne processer i Arreskov Sø, 1993. Beregnet tilførsel, fraførsel magasinændring og nettostofudveksling med sediment for total fosfor (kg) på månedsbasis. Års- og sommermiddelværdier er ligeledes angivet.

ARRESKOV SØ, 1993: BEREGNING AF FOSFORUDVEKSLING MED SEDIMENTET

Måned	antal dage	Søvolume pr.d.l. m ³	Tot-P konc. pr.d.l. µg/l	P-pulje pr.d.l. kg	Stign./md kg	Tot-P til kg	Tot-P fra kg	P-tilbage- holdt kg
1	31	5974991	61	364	185	160	49	112
2	28	6456814	85	549	132	61	56	5
3	31	6006860	113	681	-337	37	11	26
4	30	6230951	55	344	73	26	12	13
5	31	6230951	67	418	293	22	3	19
6	30	6038765	118	711	77	17	3	14
7	31	5879600	134	788	155	18	1	17
8	31	5816185	162	943	-487	26	1	24
9	30	5816185	78	456	71	56	39	17
10	31	6006860	88	527	-107	57	21	37
11	30	6359798	66	421	17	29	4	25
12	31	6880995	64	437	-5	103	114	-11
1		7045783	61	433				
max			162		293	160	114	112
sommermiddel sum, sommer		5964758	112	640	22 109	28 138	9 47	18 91
årsmiddel sum, år		6211134	89	544	6 68	51 612	26 314	25 297

FOSFOR FRIGØRELSE (+) BINDING (-) FOR HELE SØEN KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT FOSFOR

Areal af sø, m² 3170000

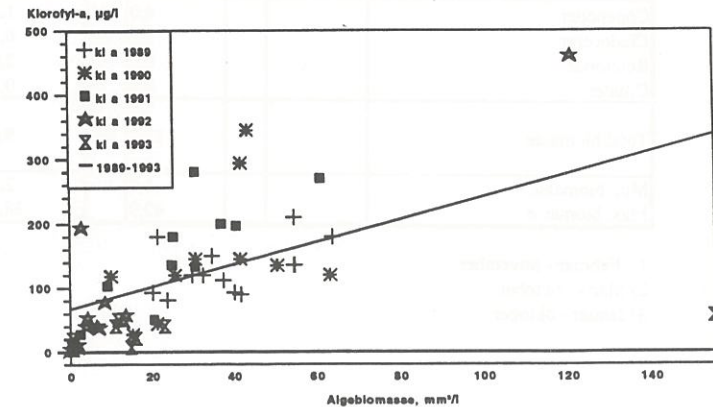
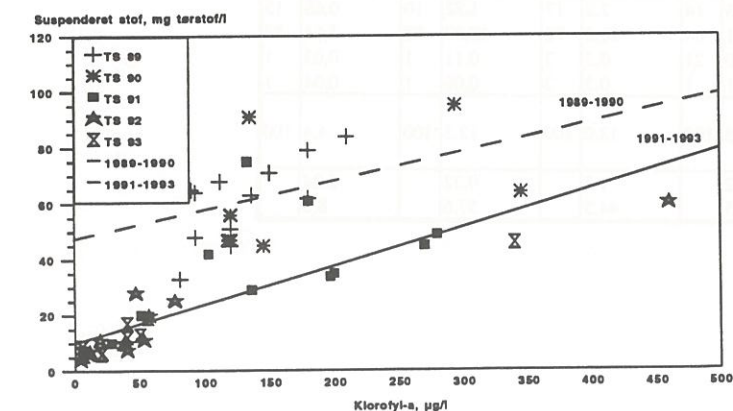
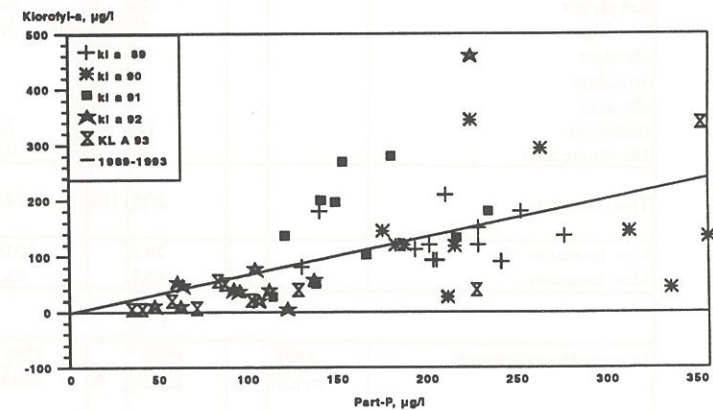
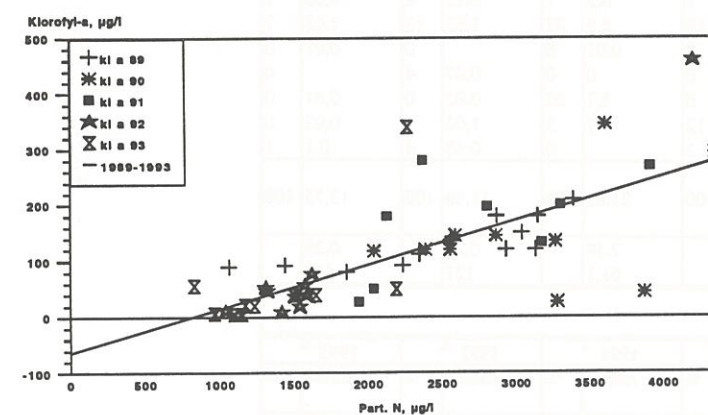
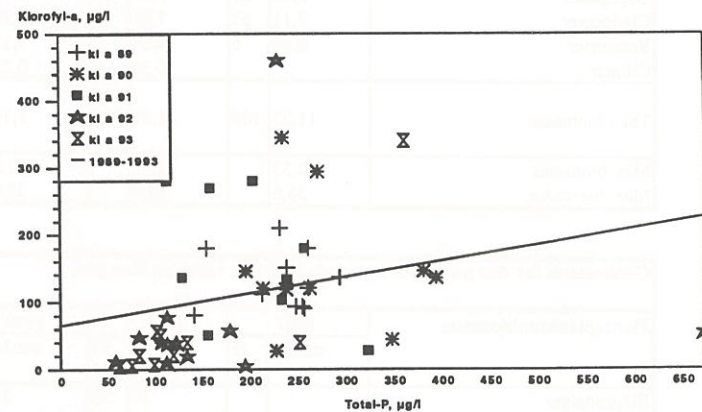
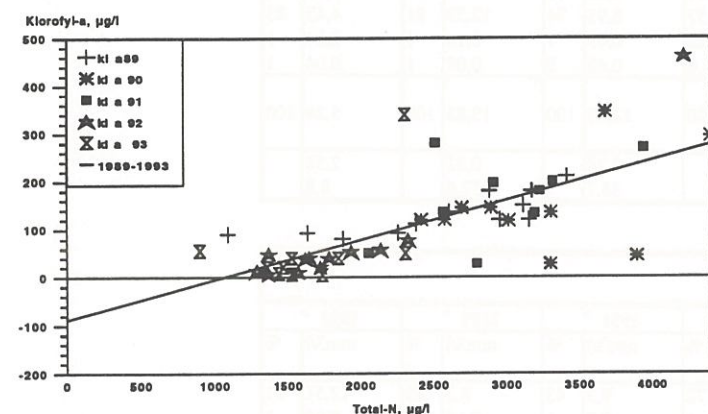
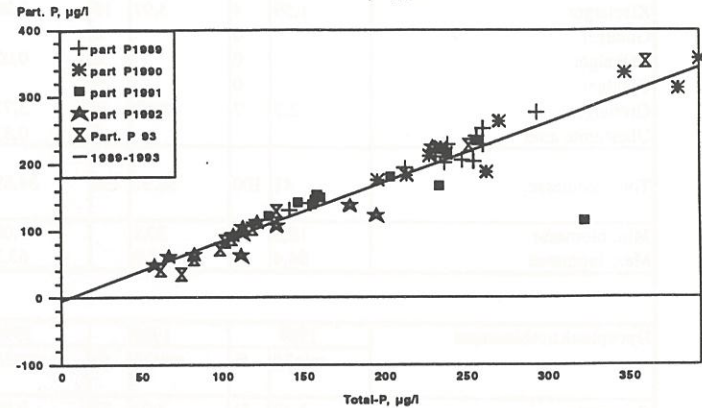
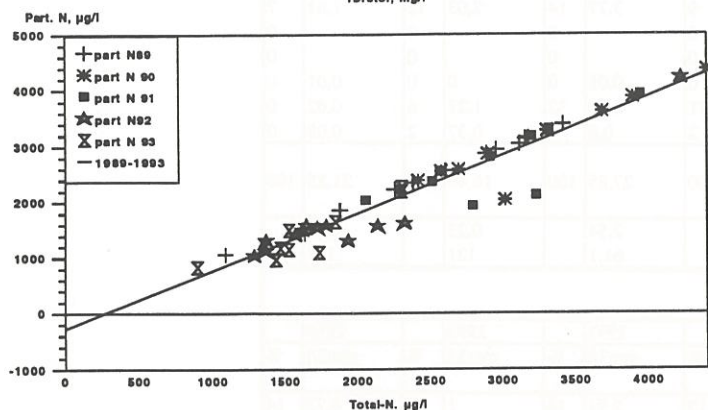
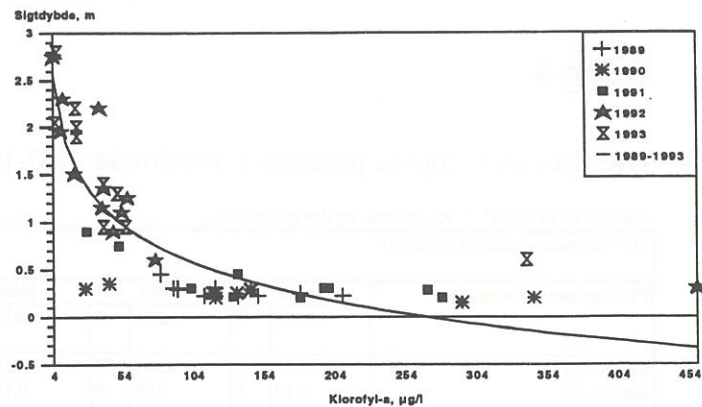
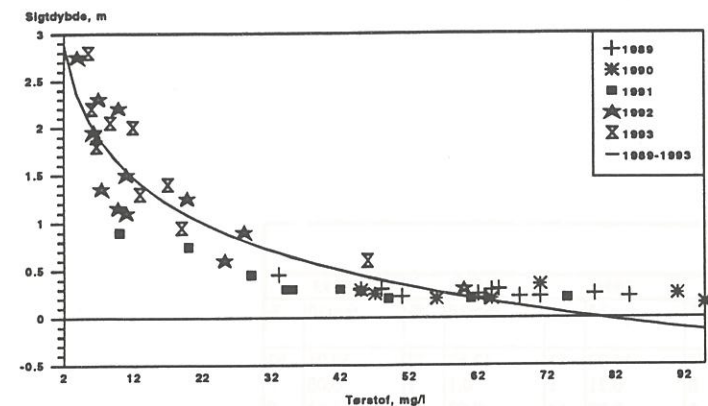
Måned	Fri/bundet P hele søen kg P/måned	Fri/bundet P pr.søoverfl. mg P/m ² /måned	Fri/bundet P hele søen kg P/dag	Fri/bundet P pr.søoverfl. mg P/m ² /dag
1	73	23	2,37	0,75
2	127	40	4,53	1,43
3	-363	-114	-11,70	-3,69
4	60	19	2,01	0,63
5	274	86	8,84	2,79
6	63	20	2,11	0,66
7	138	44	4,45	1,40
8	-511	-161	-16,50	-5,20
9	54	17	1,81	0,57
10	-143	-45	-4,63	-1,46
11	-8	-3	-0,27	-0,08
12	6	2	0,21	0,07
max	274	86	8,84	2,79
sommermiddel Fri/bund. sommer, kg	4 18	1	0,14	0,04
årsmiddel Ialt fri/bundet år, kg	-19 -229	-6	-0,56	-0,18

Bilag 7.

Analyser af mulige sammenhænge mellem forskellige målte variable i søvandet i Arreskov Sø i sommerperioden, 1989-1993. Følgende par af variable er herved undersøgt.

- * Sigtdybde (m) - partikelindhold målt som tørstof (mg/l)
- * Sigtdybde (m) - planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)
- * Partikulært kvælstof ($\mu\text{g N/l}$) - total-kvælstof ($\mu\text{g N/l}$)
- * Partikulært fosfor ($\mu\text{g P/l}$) - total-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - total-kvælstof ($\mu\text{g N/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - total-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - partikulært kvælstof ($\mu\text{g P/l}$)
- * Suspenderet stof målt som tørstof ($\mu\text{g/l}$) - planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - planktonalgebiomasse målt som volumen (mm^3/l).

For hvert par af variable er indtegnet den bedst mulige linie (regressionslinie) igennem de afbildede målepunkter. Der er herved anvendt rette linier undtagen for sammenhænge mellem sigtdybde-tørstof og sigtdybde-klorofyl-a, hvor der er forventet en logaritmisk sammenhæng. De enkelte års målinger er markeret med en særskilt signatur.



Bilag 8

Oversigt over biologiske parametre i Arreskov Sø, 1987-1993

ARRESKOV SØ 1987-93, plante- og dyreplankton

Sommergennemsnit (1.5 - 30.9)

Planteplanktonbiomasse	1987		1989		1990		1991		1992		1993	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Blågrønalger	36,58	89	29,64	77	26,7	77	14,27	51	12,67	77	20,05	92
Rekylalger	0,13	0	0,03	0	0,11	0	0,21	1	0,1	1	0,08	0
Kiselalger	1,59	4	5,97	16	3,26	9	3,77	14	2,03	12	1,61	7
Gulalger		0		0		0		0		0		0
Stilkalger		0		0	0,02	0		0		0		0
Øjealger		0		0			0,01	0	0	0	0,01	0
Grønalger	2,7	7	2,67	7	3,77	11	8,79	32	1,27	8	0,02	0
Ubestemte arter				0	0,83	2	0,8	3	0,37	2	0,08	0
Total biomasse	41	100	38,31	100	34,69	100	27,85	100	16,44	100	21,85	100
Min. biomasse	18,6		20,2		10,08		2,54		0,23		0,36	
Max. biomasse	84,4		63,9		63,3		61,1		121		155	

Dyreplanktonbiomasse	1987		1989		1990		1991		1992		1993	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Copepoder	3,43	31	3,07	27	0,89	17	2,21	18	1	7	0,73	14
Cladocerer	7,11	63	7,22	64	2,95	57	8,91	74	12,59	91	4,43	85
Rotatorier	0,68	6	0,64	6	1,13	22	0,49	4	0,16	1	0,04	1
Ciliater			0,38	3	0,22	4	0,42	3	0,08	1	0,04	1
Total biomasse	11,22	100	11,31	100	5,19	100	12,03	100	13,83	100	5,24	100
Min. biomasse	2,33		1,91		2,2		2,24		0,32		2,58	
Max. biomasse	36,6		42,9		28,0		38,7		57,6		8,8	

Gennemsnit for den produktive periode (bemærk varierende længde)

Planteplanktonbiomasse	1987		1989 ¹⁾		1990 ²⁾		1991 ³⁾		1992 ²⁾		1993 ²⁾	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Blågrønalger			17	55	21	72	9,3	43	8,2	69	12,51	91
Rekylalger			0,1	0	0,2	1	0,2	1	0,13	1	0,08	1
Kiselalger			11	36	3,6	12	5,9	27	1,55	13	1,02	7
Gulalger			0		0		0,01	0			0,01	0
Stilkalger			0		0		0	0	0,47	4		0
Øjealger			0		0		5,7	26	0,01	0	0,01	0
Grønalger			2,6	8	3,5	12	0,7	3	1,02	9	0,02	0
Ubestemte arter			0,1	0	0,9	3		0	0,48	4	0,1	1
Total biomasse			30,8	100	29,2	100	21,81	100	11,86	100	13,75	100
Min. biomasse			20,2		10,08		2,54		0,23		0,36	
Max. biomasse			63,9		63,3		61,1		121		155	

Dyreplanktonbiomasse	1987		1989 ¹⁾		1990 ²⁾		1991 ³⁾		1992 ²⁾		1993 ²⁾	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Copepoder			4,0	31	1,3	14	2,2	17	1,22	10	0,68	15
Cladocerer			7,9	62	6,1	64	10,2	78	10,89	89	3,64	83
Rotatorier			0,5	4	2,0	21	0,3	3	0,11	1	0,03	1
Ciliater			0,3	2	0,1	1	0,3	2	0,08	1	0,04	1
Total biomasse			12,7	100	9,5	100	13,0	100	12,3	100	4,4	100
Min. biomasse			1,9		2,2		1,8		0,32		2,24	
Max. biomasse			42,9		28,5		44,5		57,6		8,8	

1) Februar - november

2) Marts - oktober

3) Januar - oktober

Bilag 8 (fortsat)

Oversigt over biologiske parametre i Arreskov Sø, 1987-1993.

ARRESKOV SØ 1987-93

Cladocerindeks	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Sommermiddel	91	45	14	28	73	98	Ikke tidsvægtet
Årsmiddel	92	41	15	28	81	94	Ikke tidsvægtet
Middelvolumen af cladocerer	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Sommermiddel, mm ³ /l	0,087	0,044	0,014	0,040	0,128	0,133	Ikke tidsvægtet
Årsmiddel, mm ³ /l		0,042	0,021	0,038	0,131	0,184	Ikke tidsvægtet
Græsning i sommerperioden	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Total algebiomasse, µgC/l	4511	4220	3817	3065	1808	2404	Tidsvægtet
Alger < 50µ, µgC/l		860	3011	2072	175	19	Tidsvægtet, biomasse = 0,11*vol.
Pot. græsning, µgC/l*dag	509	598	326	652	688	265	Tidsvægtet
Græsningstryk, total, %	11	14	9	21	38	11	
Græsningstryk, <50µ, %		70	11	31	393	1395	
Fisk	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Garnfangster							
CPUE, antal, <10cm	16,1				254		
CPUE, antal, >10cm	46,3				8,9		
Småfisk i %	26				97		
CPUE, vægt, <10cm (g)	64,4				757		
CPUE, vægt, >10cm (g)	5205				3087		
Småfisk i %	1				20		
Fiskeindex	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Antal skidtfisk (>10cm)							
Antal skidtfisk + aborre (>10cm)	86				61		Efter /1/
Fredfisk/ Fredfisk+rovfisk (antal)	89				95		Efter /2/
Fredfisk/ Fredfisk+rovfisk (vægt)	64				93		Efter /2/
Dybdegrænse for vegetation	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Dybdegrænse i meter		0,6			1,4	1,5	
Relativ dækningsgrad	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
Relativ dækningsgrad i %						0,8	Se bilag 9
Relativt plantefyldt volumen	1987	1989	1990	1991	1992	1993	Bemærkninger/referencer
RPV i %						0,02	Se bilag 9

Referencer:

/1/ Jeppesen, E., M. Søndergaard og H. Rossen: Restaurering af søer ved indgreb i fiskebestanden. - Danmarks Miljøundersøgelser 1989.

/2/ Kristensen, P., J.P. Jensen, E. Jeppesen og M. Erlandsen: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1990 - Ferske vandområder - Søer. - Danmarks Miljøundersøgelser 1991.

Bilag 9.1

Resultater fra vegetationsundersøgelse i Arreskov Sø, 19-20. og 23-24. august 1993

Dækningsgrad

Dækningsgrad	Normaliseret dybdeinterval						Plantedæk. areal i delområde	Areal af delområde	Dækn.grad 0-1,5 m	Planternes dybdeudbredelse meter	
	0,00-0,25	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	1,00-1,25	1,25-1,50				min.	max.
	Plantedækket areal i delområde, 1000 m²										
Delområde							1000 m²		%		
1	0,02	0,05	0,02	0,05	0	0	0,14	25,4	0,6	0,1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	71,9	0,0	0,5	0,9
3	0	0	0,11	1,73	0,11	0	1,95	128,8	1,5	0,5	1
4	0,6	1,55	0,22	1,06	0,43	0	3,86	57,8	6,7	0,5	1,15
5	0	0,11	0,21	0,15	0,63	0,17	1,27	48,8	2,6	0,4	1,5
6	0,02	0,03	0,08	0,04	0,24	0	0,41	20	2,1	0,1	1,25
7	0	0	0	0	0	0	0	1,9	0,0		
8	0	0	0	0	0	0	0	12,1	0,0		
9	0	0	0	0	0	0	0	7,1	0,0		
10	0,09	0,04	0,89	1,26	1,62	0,05	3,95	10,6	37,3	0,1	1,3
11	0	0	0	0	0	0	0	90,1	0,0	0,5	1
12	0	0	9,75	1,86	0	0	11,61	83,6	13,9	0,5	1
13	0	0,06	0,08	0,26	0,1	0	0,5	36,8	1,4	0,3	1,2
14	0	0	0	0	0	0	0	72,9	0,0		
15	0	0	0	0	0	0	0	13,1	0,0		
16	0	0	0	0	0	0	0	21,1	0,0		
17	0	0	0	0	0	0	0	7,7	0,0		
18	0,01	0,22	0,3	0,35	0,04	0	0,92	13,8	6,7	0,1	1,2
Totalt plante- dækket areal	0,74	2,06	11,66	6,76	3,17	0,22	24,61	723,5			
Totalt bundareal	15,9	27,7	59	185,9	210,1	224,9					
Gns. total dæk- ningsgrad, %	4,7	7,4	19,8	3,6	1,5	0,1					

Totalt plantedækket areal, 1000 m ² :	24,61
Søens overfladeareal (excl. rørskov), 1000 m ² :	3122
Total gns. dækningsgrad, %:	0,8

Artsliste:

ID-kode	Art	Dansk navn
ZA PA.PEB4	<i>Zannichellia palustris</i> ssp. <i>pedicellata</i>	Stilket Vandkrans
POTA PECB4	<i>Potamogeton pectinatus</i>	Børstebladet Vandaks
CH GL; GL P4	<i>Chara globularis</i> v. <i>globularis</i>	Skør Kransnål
CHARA ZP4	<i>Chara</i> sp.	Art af Kransnål
ENTEROMZP4	<i>Enteromorpha</i> sp.	Art af Rørhinde

Bilag 9.2

Resultater fra vegetationsundersøgelse i Arreskov Sø, 19-20. og 23-24. august 1993

Plantefyldt volumen

Delområde	Normaliseret dybdeinterval						Plantefyldt volumen i delområde	Vandvolumen i delområde	Relativt plantefyldt volumen
	0,00-0,25	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	1,00-1,25	1,25-1,50			
	Plantefyldt volumen i delområdets dybdeintervaller, 1000 m³								
Delområde	Plantefyldt volumen i delområdets dybdeintervaller, 1000 m³						1000 m³		%
1	0,0004	0,0023	0,0008	0,0024	0	0	0,01	29,3	0,0
2	0	0	0	0	0	0	0	77,7	0,0
3	0	0	0,0064	0,104	0,0063	0	0,12	139,0	0,1
4	0,012	0,031	0,0132	0,0634	0,0255	0	0,15	53,3	0,3
5	0	0,0022	0,0024	0,0087	0,0378	0,0099	0,06	39,2	0,2
6	0,0004	0,0006	0,0015	0,0027	0,0147	0	0,02	13,8	0,1
7	0	0	0	0	0	0	0	2,4	0,0
8	0	0	0	0	0	0	0	15,2	0,0
9	0	0	0	0	0	0	0	7,8	0,0
10	0,0028	0,0013	0,0358	0,0756	0,0969	0,0029	0,22	7,7	2,8
11	0	0	0	0	0	0	0	106,4	0,0
12	0	0	0,585	0,1116	0	0	0,70	77,2	0,9
13	0	0,0017	0,0024	0,0218	0,006	0	0,03	42,2	0,1
14	0	0	0	0	0	0	0	84,8	0,0
15	0	0	0	0	0	0	0	15,6	0,0
16	0	0	0	0	0	0	0	24,2	0,0
17	0	0	0	0	0	0	0	7,3	0,0
18	0,0001	0,0044	0,0148	0,0175	0,0022	0	0,04	14,5	0,3
Totalt plante- fyldt volumen, 1000 m³	0,0157	0,0435	0,6623	0,4077	0,1894	0,0128	1,33		
Vandvolumen, 1000 m³	2,0	10,4	36,9	162,7	236,4	309,2		758	
Relativt plante- fyldt volumen, %	0,79	0,42	1,80	0,25	0,08	0,004			0,2

Totalt plantefyldt volumen i sø, 1000 m ³ :	1,33
Søvolumen (ekskl. rørskov), 1000 m ³ :	5876
Relativt plantefyldt volumen, %:	0,02

