

Naturvatten
i Roslagen AB

FOSFOR I ÄLTASJÖNS SEDIMENT

februari 2002

Emil Rydin, Anna Gustafsson & Ulf Lindqvist

Innehåll

Sammanfattning	3
Inledning	4
Metodik	4
Provtagning	4
Analys och läckageförsök	4
<i>Fosforfraktionering</i>	<i>4</i>
<i>Läckageförsök</i>	<i>5</i>
Resultat och diskussion	6
Fosforfraktionering	6
Totalfosforprofil	8
Läckageförsök	9
Sammanfattande slutsatser	10
Referenser	10
Bilaga 1. Analysresultat.	12

Sammanfattning

Föreliggande rapport redovisar resultat av undersökningar som syftar till att belysa i vilken form och mängd fosfor förekommer i Ältasjöns sediment samt bedöma under vilka förhållanden det är risk att fosfor frisätts från sedimenten till vattenmassan, s.k. internbelastning. Undersökningarna har genomförts 2002 av Naturvatten i Roslagen AB på uppdrag av Miljö- och Stadsbyggnadskontoret i Nacka kommun.

Huvuddelen av den rörliga fosfor i Ältasjön är bunden till organiskt material. Detta gör att den ojämförligt största risken för betydande internbelastning föreligger då sedimentet sommartid utsätts för höga temperaturer vilket resulterar i en ökad mikrobiologisk aktivitet och effektiv mineralisering av organiskt material. Endast mindre fosformängder är bundna till järn vilket gör att internbelastningen vid syrefria förhållanden och/eller höga pH-värden är obetydlig i sammanhanget. Totalfosforhalten i sedimentet får betraktas som låg.

Inledning

I sjöars ytliga sediment finns naturligt en andel fosfor som med tiden kommer att frigöras och nå vattenmassan (Rydin 2000). Denna fosfor kallas mobil eller rörlig fosfor och är den primära fosforkällan till vattenmassan i de flesta sjöar. Processen där fosfor som tidigare ackumulerats i sedimenten frisätts till vattenmassan kallas ofta för internbelastning.

Denna rapport redovisar resultat av undersökningar som syftar till att belysa i vilken form och mängd fosfor förekommer i Ältasjöns sediment samt bedöma under vilka förhållanden det är risk för internbelastning. Genom analys av totalfosforhalter i sedimentprofilen ges även en bild av sjöns fosforbelastning historiskt sett. Undersökningarna har genomförts 2002 av Naturvatten i Roslagen AB på uppdrag av Miljö- och Stadsbyggnadskontoret i Nacka kommun.

Metodik

Undersökningen omfattar analys av fosfors olika former i sedimentet, s.k fosforfraktionering, samt totalfosforhalter och läckageförsök.

Provtagning

Provtagning av sediment gjordes i Ältasjöns djupaste del inom ett område omfattande ca en hektar inom vilket prover togs med ca 25 meters avstånd, se karta figur 1. För fosforfraktionering och utläckageförsök togs tre respektive fyra proppar med s.k. Willnerhämtare. För analys av totalfosforprofil togs en propp med s.k. Livingstone-hämtare ned till drygt två meters sedimentdjup. Vattenprover för analys av fosfat- och totalfosfor i vattenpelaren togs varje halvmeter med s.k. Ruttenhämtare. Temperatur, syrgashalt och -mättnad uppmättes från yta till botten. Djupet i provtagningsområdet var 4,5 m. Provtagning genomfördes den 13 februari 2002 av Naturvatten i Roslagen AB.

Analyser och läckageförsök

Fosforfraktionering

Vid fosforfraktionering inkuberas sedimentet med olika lösningar i en flerstegsprocess vid vilken fosfor bunden på olika sätt extraheras. Av de oorganiska fosforformerna kan löst bunden fosfor och porvattenfosfor ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$) samt järnbunden fosfor (BD-P) betraktas som rörliga. Den senare frisätts vid syrgasbrist då trevärt järn oxideras till den tvåvärda jonformen som inte förmår binda fosfat. Järnbunden fosfor kan inte begravas i sedimenten då detta längre ned i profilen blir syrefritt (Lijklema 1994). Aluminiumbunden fosfor (NaOH-rP) och kalciumbunden fosfor (HCl-P) ingår inte i den mobila sedimentfosforpoolen och kan betraktas som inert (Rydin 2000, Rydin et al 2000). Om sedimentet utsätts för höga pH-värden en längre tid så pH i sedimenten når över 9, börjar dock aluminiumbunden fosfor frigöras (Rydin & Welch 1999). Detta inträffar normalt inte i sjöar då sedimenten vanligtvis är mycket välbuffrade.



Figur 1. Karta över Ältasjön med provtagningsområdet markerat.

Av den organiskt bundna fosfor i sedimenten är en del extraherbar (NaOH-nrP) medan en annan del ingår i den återstod (Res-P) som beräknas som skillnaden mellan totalfosforhalt och summan av de extraherbara fraktionerna. En större del av den organiskt bundna fosfor kommer med tiden att frigöras genom nedbrytning av mikroorganismer och bottenlevande djur. Hur stor denna del är varierar från sjö till sjö och kan inte helt bestämmas med ledning av fosforfraktioneringsanalysen. En del av den extraherbara organiska fosfor räknas dock till den rörliga fosforpoolen. Läckageförsöken ger viss ytterligare information om storleksordningen av den lättillgängliga organiskt bundna fosfor.

Läckageförsök

För att undersöka vid vilka förhållanden risken är störst för internbelastning i Ältasjön inkuberas sediment i s.k. Willner-rör vid simulerade vinter- (syrefritt, 4°C) respektive sommarförhållanden (pH 9, 20°C). För varje simulering användes duplikat. Fosfatfosforkoncentrationerna mättes vid start samt vid nio tillfällen under en månads tid.

Samtliga analyser och läckageförsöket utfördes av Erkenlaboratoriet, sedan 1992 ackrediterat av SWEDAC.

Resultat och diskussion

Fosforfraktionering

Samtliga analysresultat av fosforfraktionering visas i tabell 1. Halterna av löst bunden fosfor ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$) samt järnbunden fosfor (BD-P) är låga i Ältasjöns ytsediment, vilket med tanke på sjöns näringsrika karaktär kan tyda på att retentionsförmågan, sedimentets förmåga att ackumulera fosfor, är dålig. Detta i sin tur kan bero antingen på att det råder brist på fosforbindande metaller som järn, eller att sedimenten regelbundet blir syrgasfria ända upp över sedimentytan. I det senare fallet hinner det aldrig byggas upp något förråd av järnbunden fosfor som kan frigöras i markanta pulser. Vid provtagningstillfället var vattenmassan syrgasfri från 3,5 m till botten, se tabell 1, bilaga 1. Under sådana förhållanden är järnets fosforbindande kapacitet kraftigt reducerad vilket kan vara förklaringen till de låga halter av järnbunden fosfor som uppmätts. Eftersom sedimenten vid provtagningstillfället var syrgasfria är uppdelningen av löst bunden fosfor och järnbunden fosfor osäker. Förmodligen faller löst bunden fosfor ut som järnbunden fosfor under det första steget i fosforfraktioneringen. Hur den löst bundna och järnbundna fosfors säsongsdynamik ser ut är dock okänt. Totalfosforhalten i vattenmassan var vid provtagningstillfället relativt låg i ytan för att öka i det botten nära vattnet, medan fosfatfosforhalten generellt var låg, se tabell 1, bilaga 1. De låga fosfatfosforhalterna tyder på att fosfor inte frisatts från sedimenten i större utsträckning och halten järnbunden fosfor är sannolikt låg även under aeroba förhållanden. De högre totalfosforhalterna vid botten kan bero på uppvirvling i samband med provtagningen.

Koncentrationen aluminiumbunden fosfor (NaOH-rP) är typiskt låg för en sjö som inte är aluminiumbehandlad. Halten kalciumbunden fosfor (HCl-P) är normal för sjöar i denna del av Sverige. Koncentrationen av de båda fraktionerna är konstant i sedimentprofilen vilket visar på deras inaktiva karaktär.

Den extraherbara organiska fosfor (NaOH-nrP) uppvisar en typisk avklingning med ökande sedimentdjup till följd av gradvis nedbrytning av organiskt material varvid fosfor frisätts. Residualfosforfraktionen (Res-P), totalfosfor minus extraherad fosfor, omfattar inerta organiska och oorganiska föreningar. Att koncentrationen minskar med ökande sedimentdjup i den undersökta sedimentproppen visar på (sedan tidigare kända) brister i fosforfraktioneringsmetoden. Förmodligen extraheras en del organiskt bunden fosfor med i någon av de två första extraktionsstegen, där bara fri fosfat mäts, och undgår därigenom att mätas. Det innebär att den rörliga andelen organiskt bunden fosfor kan ha underskattats något.

Den totala mängden rörlig fosfor i sedimenten har beräknats utgående ifrån att det inte finns någon rörlig fosfor under 30 cm sedimentdjup. Detta stöds av att totalfosforhalten princip inte minskar under detta djup, se tabell 1. Beräkningen bygger på fosforfraktioneringsresultaten, vilka visar en relativt grov uppdelning av de olika fosforformerna.

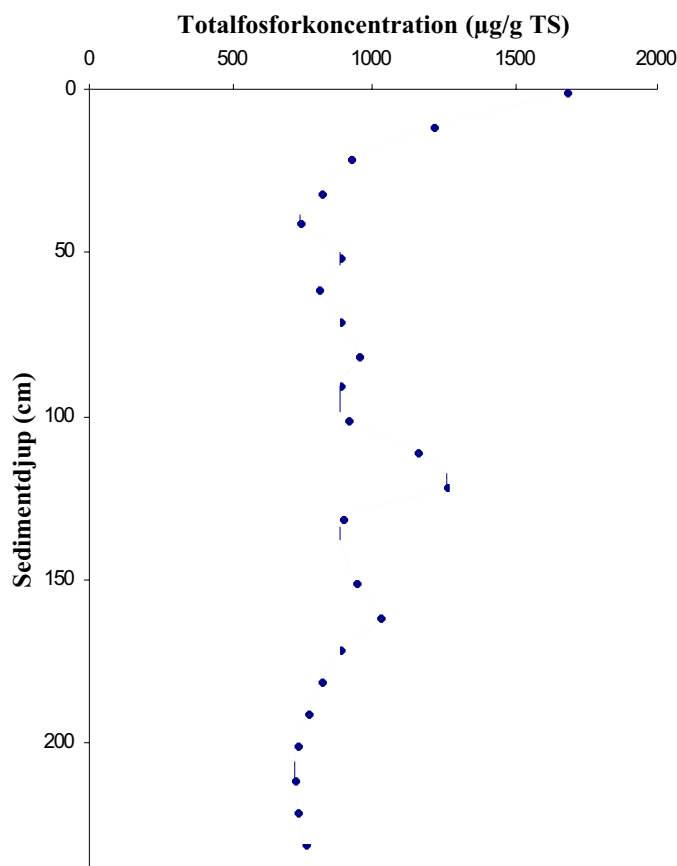
Tabell 1. Resultat av fosforfraktionering och beräkning av rörlig fosfor i sediment från Ältsjön, februari 2002. Beräkningen avser sedimentprofilen ner till 30 cm djup. De tonade fälten visar analyserade sedimentskikt, övriga har interpolerats fram. Densiteten har uppskattats.

djup cm	NH ₄ Cl-P		BD-P		NaOH-r-P		NaOH-mrP		HCl-P	Res-P	Tot-P	H ₂ O %	δ g/cm ³	NH ₄ Cl		BD		NaOH.org		tot-P	Mobil P		% av TP i skiktet
	µg/g	TS	µg/g	TS	µg	m ²	µg	m ²						mg P/ m ² cm	mg P/ m ² cm	mg P/ m ² cm	mg P/ m ² cm	g/m ² cm	g/m ² cm		g/m ² cm	g/m ² cm	
0,5	17	87	97	627	197	488	1513	95	6	19	162	690	0,2	27%									
1,5	24	92	125	602	223	405	1471	94	12	28	195	871	0,2	27%									
2,5	19	74	102	646	228	403	1472	94	10	18	235	925	0,3	28%									
3,5	12	57	111	590	234	394	1398	93	6	9	216	949	0,2	24%									
4,5	11	49	112	520	246	265	1202	92	6	3	190	922	0,2	22%									
5,5	12	49	113	520	247	262	1202	92	7	3	196	950	0,2	22%									
6,5	13	49	114	520	249	259	1202	92	7	3	202	979	0,2	22%									
7,5	14	49	114	520	250	257	1203	92	8	4	207	1007	0,2	22%									
8,5	13	48	111	498	245	265	1181	92	8	3	195	1020	0,2	20%									
9,5	13	47	108	477	240	273	1159	91	8	3	182	1031	0,2	19%									
10,5	13	47	105	456	236	281	1137	91	9	2	168	1042	0,2	17%									
11,5	13	46	102	435	231	289	1115	91	9	2	153	1051	0,2	16%									
12,5	12	45	102	414	228	291	1092	91	8	1	141	1084	0,2	14%									
13,5	11	45	103	393	226	292	1070	90	8	1	126	1115	0,1	12%									
14,5	10	45	103	373	223	294	1047	90	7	0	110	1144	0,1	10%									
15,5	9	44	103	352	220	296	1025	89	6	0	92	1171	0,1	8%									
16,5	8	45	104	346	212	286	1001	89	6	1	86	1168	0,1	8%									
17,5	8	46	104	339	205	276	978	89	5	2	80	1163	0,1	8%									
18,5	8	47	105	332	197	266	955	89	5	3	73	1158	0,1	7%									
19,5	7	48	105	326	190	256	932	89	5	5	66	1152	0,1	7%									
20,5	7	49	105	319	182	246	908	89	4	6	59	1145	0,1	6%									
21,5	7	50	106	312	174	236	885	88	4	7	52	1137	0,1	6%									
22,5	6	52	107	308	171	225	869	88	4	10	46	1128	0,1	5%									
23,5	6	54	108	303	168	214	852	88	3	12	41	1118	0,1	5%									
24,5	6	55	109	299	164	202	835	88	3	15	35	1108	0,1	5%									
25,5	5	57	110	294	161	191	818	88	2	17	30	1098	0,0	5%									
26,5	5	59	111	290	157	179	802	88	2	20	24	1087	0,0	4%									
27,5	5	61	112	285	154	168	785	88	1	23	18	1076	0,0	4%									
28,5	4	63	113	281	151	156	768	88	1	26	12	1064	0,0	4%									
29,5	4	65	114	276	147	145	752	88	0	28	6	1052	0,0	3%									
30,5	4	66	115	272	144	134	735	88	0	31	0	1039	0,0	3%									
Summa (0-31 cm):									172	277	3400	31605	3,9	12%									

Därför subtraheras en bakgrundskoncentration, koncentrationen vid 30 cm sedimentdjup, från respektive rörlig fraktion. I fallet med järnbundna fosfor förelåg den lägsta koncentrationen vid 15 cm sedimentdjup, och den koncentrationen valdes som bakgrundskoncentration. För de skikt som ej har analyserats har värden interpolerats fram för beräkningen. I Ältasjöns sediment finns, baserat ovanstående beräkning, 3,9 gram rörlig fosfor per m², varav majoriteten (3,4 g/m²) är organiskt bunden, se tabell 1. Löst bunden fosfor utgör 0,2 g/m² och järnbunden 0,3 g/m². Den rörliga mängden fosfor, och fördelningen mellan de olika fosforfraktionerna, är mycket lika de för den mesotrofa sjön Erken (Rydin 2000), även om Erkens ytsediment håller mer järnbunden fosfor under vissa delar av året (Rydin & Brunberg 1998). Som jämförelse kan nämnas att Mälarens sediment håller upp till 40 g rörlig fosfor per m² (Weyhenmeyer & Rydin 2002).

Totalfosforprofil

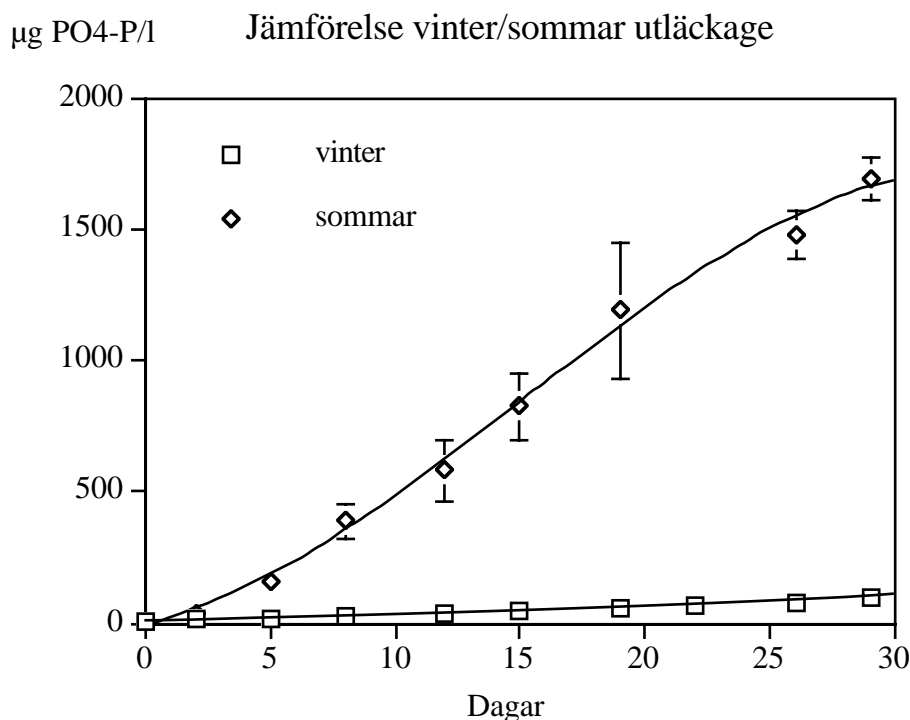
Resultat av analys av sedimentets totalfosforprofil visas i tabell 2, bilaga 1 samt i figur 2. Totalfosforkoncentrationen i den 2,3 m djupa sedimentproppen visar att fosforkoncentrationen är relativt konstant nedanför 30 cm sedimentdjup, motsvarande uppskattningsvis ett sekel. Vid cirka 120 cm sedimentdjup är koncentrationen något högre, vilket återspeglar förändringar i avrinningsområdet. Halterna måste betraktas som generellt låga.



Figur 2. Totalfosforhalt i en sedimentpropp från Ältasjön, februari 2002.

Läckageförsök

Under försökets gång låg pH och syremättning i rören med simulerade vinter- och sommarförhållanden mellan 7,0-7,8 och 0-11% respektive 8,9-9,1 och 50-100%. Fosfatfosforhalten i vattenmassan vid vinter- och sommarförhållanden visas i tabell 3, bilaga 1 samt i figur 3 som medelvärden och standardavvikelse av duplikat. Den genomsnittliga läckagehastigheten beräknades genom att multiplicera koncentrationen med vattenpelarens volym samt dividera med sedimentytan och det antal dygn försöket pågick.



Figur 3. Fosfatfosforhalt (µg/l) i vatten vid simulerade vinter- respektive sommarförhållanden. Halterna visas som medelvärde och standardavvikelse av duplikat.

Sedimentet läckte mest fosfor under de simulerade sommarförhållandena, d.v.s. vid högt pH och högre temperatur. Den sammanlagda mängden utlakad fosfor under dessa förhållanden var i medeltal 16 gånger högre jämfört med den som lakades ut vid simulerade vinterförhållanden. Läckagehastigheten vid sommarförhållanden var 9,6 mg P/m² dygn¹ vilket motsvarar värden för eutrofa sjöar medan vinterläckaget uppgick till blygsamma 0,6 mg P/m² dygn¹ vilket är jämförbart med läckage från sediment i mycket näringsfattiga vatten (Nürnberg 1988).

Läckage av fosfor från sediment påverkas bl.a. av temperatur, pH och redoxpotential. Vid högre temperaturer ökar hastigheten för såväl kemiska som biologiska processer. Vid pH-värden kring 9 minskar den fosforbindande kapaciteten hos framförallt järn. Om pH-värdet i sedimentet skulle överstiga 9 minskar bindningskapaciteten även för aluminium. Att detta skulle inträffa är mycket osannolikt då sjösediment i allmänhet är mycket välbuffrade. Vid syrefattiga förhållanden (d.v.s. vid låg redox-potential) reduceras/upphör järnets fosforbindande förmåga då trevärt järn reduceras till den tvåvärda formen vilken inte förmår binda fosfor.

Fosforfraktioneringen visar att den största delen av den rörliga fosfor, nära 90%, är bunden till organiskt material. Vid höga temperaturer ökar den mikrobiologiska aktiviteten varvid organiskt material bryts ned och fosfor frigörs. Mikrobiologisk nedbrytning av fosforrikt organiskt material kan således med största sannolikhet förklara det höga läckage som uppmättes under simulerade sommarförhållanden. Vid de höga pH-värden som rådde frisattes sannolikt även delar av den järnbundna fosfor. Då denna del av den rörliga fosforpoolen endast uppgår till 7% blir bidraget till det sammanlagda läckaget av mindre betydelse.

Ältasjön är grund och sällan skiktad (Carlsson 2001) vilket leder till att temperaturen vid botten vanligen är hög under sommaren. Detta innebär att förhållandena för mikroorganismer är goda vilket leder till snabb mineralisering av organiskt material och en internbelastning av fosfor. Den goda tillgången till fosfat ger i sin tur goda förutsättningar för kraftig växtplanktonproduktion. Då de fotosyntetiserande organismerna använder koldioxid som finns löst i vattnet förskjuts jämvikten i kolsyrasystemet och pH höjs. Då sedimenten utsätts för dessa höga pH-värden frisätts även en del av den järnbundna fosfor. Under dygnets mörka timmar sker cellandning vilket innebär att pH sänks och att pH-värdena alltså kan variera kraftigt över dygnet.

Sammanfattande slutsatser

Huvuddelen, nära 90%, av den rörliga fosfor i Ältasjön är bunden till organiskt material. Detta gör att den ojämförligt största risken för betydande internbelastning föreligger då sedimentet sommartid utsätts för höga temperaturer vilket resulterar i ökad mikrobiologisk aktivitet och effektiv mineralisering av organiskt material. Endast mindre fosformängder är bundna till järn vilket gör att internbelastningen vid syrefria förhållanden och/eller höga pH-värden i sammanhanget är obetydlig. Totalfosforhalten i sedimentet får betraktas som låg.

Referenser

Lijklema, L. 1994. Nutrient dynamics in shallow lakes: effects of changes in loading and role of sediment-water interactions. *Hydrobiologia* 275/276, 335-348.

Carlsson, S.-Å. 2001. Ytvattenöversikt för Ältasjön. Vattenresurs AB.

Nürnberg, K. (1988). Prediction of phosphorus release rates from total and reductant soluble phosphorus in anoxic lake sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 453-462.

Pettersson, K. 2001. Phosphorus characteristics of settling and suspended particles in Lake Erken. *The Science of the Total Environment*. 266:79-86

Rydin, E. 2000. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment. *Water Research* 34(7):2037-2042.

Rydin, E & Brunberg, A-K. (1998). Seasonal dynamics of phosphorus in Lake Erken surface sediments. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 51:157-167.

Rydin, E, Huser, B. & Welch, E. 2000. Amount of phosphorus inactivated by alum treatments in Washington lakes. *Limnology and Oceanography* 45(1):226-230.

Rydin, E & Welch, E. 1999. Dosing alum to Wisconsin lake sediments based on possible formation of aluminum bound phosphate. *Lake and Reserv. Manage.* 15(4):324-331.

Weyhenmeyer, G., Rydin, E. (2002) Sedimentens bidrag till fosforbelastningen i Mälaren. Manuskrift.

Bilaga 1. Analysresultat.

Tabell 1. Kemiska och fysikaliska data för Ältasjön 13 februari 2002.

Djup m	Temp C	Fosfatfosfor µg/l	Totalfosfor µg/l	Syrgas mg/l	Syrgasmättnad %
0,5m	2	2	19	11,9	85
1m	2,1	0,1	36	13,2	96
1,5m	2,1	2	24	13	94
2m	2,1	12	34	9,9	72
2,5m	2,3	8	40	6	44
3m	2,9	3	39	0,9	7
3,5m	3,2	6	45	0	0
4m	3,4	1	61	0	0
4,5m	3,6	6	73	0	0

Tabell 2. Totalfosforhalt i sediment från Ältasjön, 0-232 cm.

Sedimentdjup cm	Totalfosfor µg/g TS
0-2	1690
10-12	1207
20-22	924
30-32	813
40-42	747
50-52	891
60-62	803
70-72	889
80-82	955
90-92	887
100-102	919
110-112	1158
120-122	1258
130-132	897
150-152	947
160-162	1027
170-172	891
180-182	813
190-192	767
200-202	732
210-212	729
220-222	737
230-232	761

Tabell 3. Fosfatfosforhalt ($\mu\text{g/l}$) vid läckageförsök med sediment från Ältasjön, simulerade vinter- och sommarförhållanden.

	Vinter				Sommar			
	Prov 1	Prov 2	Medel	STD	Prov 3	Prov 4	Medel	STD
dag 0	1	1	1	0	3	3	3	0
dag 2	16	21	19	4	32	45	39	9
dag 5	19	8	14	8	141	170	156	21
dag 8	41	4	23	26	323	453	388	92
dag 12	58	9	34	35	466	700	583	165
dag 15	75	10	43	46	700	948	824	175
dag 19	101	16	59	60	927	1450	1189	370
dag 22	111	31	71	57	780	1085	933	216
dag 26	111	46	79	46	1571	1381	1476	134
dag 29	144	58	101	61	1767	1612	1690	110