

Sedimentens bidrag till fosforbelastningen i Mälaren

Gesa Weyhenmeyer¹ & Emil Rydin²

¹ Inst. för Miljöanalys, SLU, Uppsala, ² Erkenlaboratoriet, EBC, Uppsala Universitet, Uppsala



Geminicorer; Bild levererad från Peter Slagbrand, SGU

Institutionen för miljöanalys
SLU
Box 7050
750 07 Uppsala
Tel. 018-67 31 10
<http://www.ma.slu.se>

Tryck: Institutionen för miljöanalys, SLU, 2003
120 ex.

ISSN 1403-977X

INNEHÅLL

FÖRORD	4
SAMMANFATTNING	5
BAKGRUND OCH SYFTE	5
INLEDNING	6
MATERIAL	7
METODER	8
RESULTAT	9
<u>1. HUR HÖGA ÄR FOSFORHALTERNA I MÄLARENS SEDIMENT?</u>	9
<u>2. HUR HÖG ÄR ANDELEN AV MOBIL FOSFOR I MÄLARENS SEDIMENT?</u>	11
<u>3. HUR MYCKET FOSFOR ÄR LAGRAT I MÄLARENS SEDIMENT OCH HUR MYCKET AV DETTA ÄR MOBILT?</u>	13
<u>4. HUR MYCKET FOSFOR ACKUMULERAS PÅ MÄLARENS BOTTEN UNDER ETT ÅR?</u>	16
<u>5. HUR STORT ÄR LÄCKAGET AV FOSFOR FRÅN MÄLARENS SEDIMENT?</u>	18
SLUTSATS	19
REFERENSER	19
BILAGOR	21

FÖRORD

På uppdrag av Mälarens vattenvårdsförbund har institutionen för miljöanalys vid SLU i Uppsala under 2001 utfört fosforundersökningen av Mälarens sediment. Sedimentprovtagningen har gjorts av SGU och fosforanalyser av Erkenlaboratoriet. Emil Rydin (Uppsala Universitet) lämnade bidrag till rapportens innehåll och har svarat för beräkningen av mängden mobil fosfor i sediment. Huvudansvarig för rapporten har varit Gesa Weyhenmeyer.

En fristående sammanfattning till denna rapport på fyra sidor har producerats och distribuerats.

Uppsala 16 oktober 2003

Lars Edenman
Sekreterare Mälarens vattenvårdsförbund

SAMMANFATTNING

Under år 2001 togs 25 sedimentproppar i Mälaren, jämnt fördelade över hela sjön. Med hjälp av särskilda fosforanalyser, sk fosforfraktionering, beräknades att ungefär 100 760 ton (t) fosfor är lagrade i Mälarens sediment (0-30 cm) varav nästan 21 000 t tillhör den mobila fosforformen. Mobil fosfor betyder att den förr eller senare kommer att lämna sedimentet och bidra till fosforkoncentrationen i vatten. Av den mobila fosforformen i Mälaren anses nästan 5 500 t vara naturligt medan resten härstammar från det senaste seklets fosforbelastning. Det beräknades att det årliga fosforläckaget från Mälarens sediment för närvarande är nästan 220 t. Fosforläckaget varierar markant från bassäng till bassäng. Utifrån den nuvarande fosforbelastning beräknades att det tar mellan 40 och 470 år, beroende på bassäng, innan fosforläckaget från en tidigare hög fosforbelastning upphör. Längst tid tar det i den djupaste bassängen eftersom ackumuleringen av mobil fosfor har varit störst där.

Beräkningarna i denna rapport bör ses som en ungefärlig uppskattning hur stort sedimentens bidrag till fosforbelastningen är i Mälaren. Fosforläckaget är direkt kopplat till en genomsnittlig mängd fosfor som årligen tillförs till Mälaren. Det kan påpekas att fosfortillförseln från närområden är än så länge bara baserad på uppskattade värden. Är uppgifterna om fosfortillförseln inkorrekta blir alla beräkningarna felaktiga. Därför rekommenderas att en noggrann undersökning görs för att få exaktare uppgifter på fosfortillförseln. Med bättre kunskap om den externa fosforbelastningen kan fosforcykeln i Mälaren modelleras med hög tillförlitlighet.

BAKGRUND OCH SYFTE

En stor fosforbelastning och de eutrofieringsproblem som detta orsakat har varit ett av de största problemen för Mälaren. I början av 1970-talet vidtogs åtgärder mot fosforbelastningen som resulterade i en snabb förbättring av vattenkvalitet. Fosforhalterna minskade i alla delar av Mälaren. Men trots detta anses fosforhalterna vara fortfarande relativt höga i Mälaren. Orsaken till detta är sannolikt främst fosforläckage från sedimenten, ett fenomen som är känt som internbelastning. Internbelastningen spelar en viktig roll även i mycket näringsfattiga sjöar. Fosforcykeln mellan sedimenten och vatten-massan är i de flesta sjöar basen för algutvecklingen.

Den aktuella fosformodellen för Mälaren, som utvecklades under år 2000 på uppdrag av Mälarens vattenvårdsförbund, beskrivs närmare i rapporten "Mälaren – miljötillstånd och utveckling 1965-98" (Wallin m fl 2000). Modellen antar ett visst läckage av fosfor från sedimentet, men uppgifterna på läckaget är ytterst osäkra. Därför var en av slutsatserna från rapporten: "sedimentens bidrag till fosforbelastningen bör också undersökas närmare. Detta har betydelse bl a för hur långt det är möjligt att nå med åtgärder samt efter hur lång tid man kan förvänta att åtgärder får full effekt". Institutionen för miljöanalys vid SLU fick uppdraget

från Mälarens vattenvårdsförbund att undersöka sedimentens bidrag till fosforbelastningen. Sedimentprover togs i Mälaren i samband med Sveriges Geologiska Undersökningars sedimentprovtagningsskampanj och fosfor analyserades i sedimentet i samarbete med Erkenlaboratoriet, Uppsala Universitet. Analyserna genomfördes för att kunna göra en bedömning av hur Mälarens vattenkvalitet kan tänkas utvecklas. Syftet var att få en uppfattning om den interna fosforbelastningen i Mälaren. Konkret förväntades svar på följande frågor:

1. Hur mycket fosfor är mobil i Mälarens sediment?
2. Hur mycket fosfor ackumuleras på botten under ett år?
3. Hur stort är läckaget av fosfor från sedimentet?

Denna rapport kommer att försöka ge svar på frågorna.

INLEDNING

Hur stor internbelastningen av fosfor är beror både på mängden löst fosfor i sedimenten, vilket detta arbete fokuseras på och på hur effektiva olika transportmekanismer (t ex diffusion, resuspension) är på att förflytta den lösta, biotillgängliga fosfor (fosfat) från sedimenten till vattenmassan.

Fosfor i sedimentet som är löst i porvattnet, eller löst bunden/adsorberad anses vara direkt tillgänglig för transport till vattenmassan. Andelen av den fosforformen är i regel liten. Mängden löst fosfor i sedimenten varierar med framförallt redoxförhållandena, där det sedan länge är känt att trevärt järn (Fe^{3+}) (och mangan) binder fosfor, medan den reducerade formen inte gör det (Mortimer 1941, 1942). Organiskt bunden fosfor utgör en stor andel av den fosfor som sedimenterar ut, varav en del kommer att mineraliseras, och frigöras, med tiden.

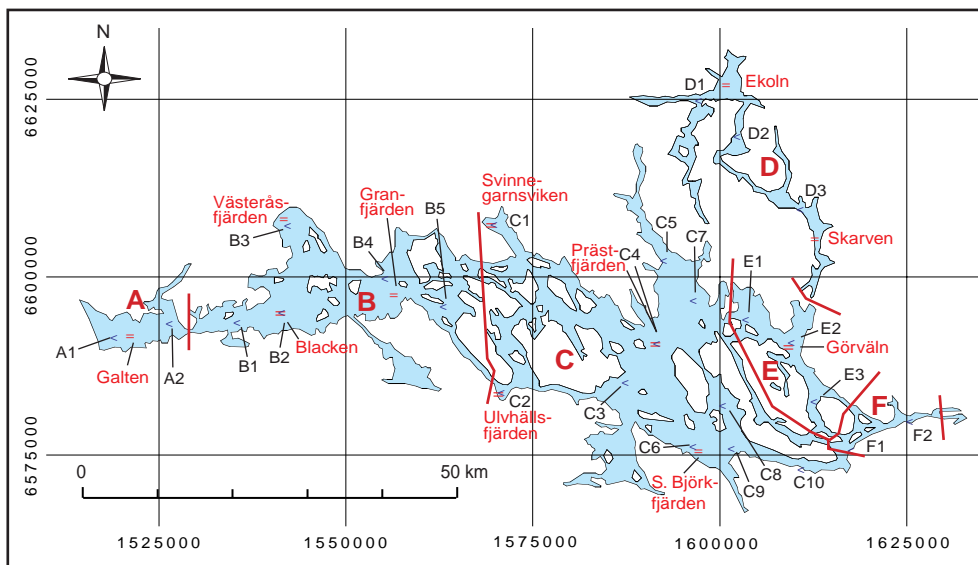
Kunskapen om olika fosforformers mobiliserbarhet i sediment är begränsad. Det kan delvis förklaras med att det rör sig om ett mycket stort antal olika former av både organiska och oorganiska fosforföreningar. Den vanligaste tekniken för att identifiera olika fosforformer i sediment är genom så kallad fosforfraktionering. Med fosforfraktionering delas sedimentens fosforinnehåll in i sex olika operationellt definierade former genom sekventiell extrahering: $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ (**löst bunden fosfor**), BD-P (**järnbunden fosfor**), NaOH-rP (**aluminiumbunden fosfor**), NaOH-nrP (**organiskt bunden fosfor**), HCl-P (**kalciumbunden fosfor**) och **residualfosfor**. Den mobila andelen fosfor i sedimenten anses finnas i de tre fosforfraktionerna löst bunden fosfor, järnbunden fosfor och organiskt bunden fosfor. I sjön Erken i Uppland har mobiliserbarheten av de olika fosforfraktionerna närmare bestämts genom studier av sedimentprofiler (Rydin 2000) och sedimentande material (Pettersson 2001). I korthet kan resultaten beskrivas som följer: Mycket låga koncentrationer, uttryckt per mängd torrt sediment, av löst bunden fosfor och järnbunden fosfor återfinns i djupare sedimentskikt (20-30 cm). Ungefär hälften av den vid sedimentytan extraherbara organiska fosfor saknas också i djupare sedimentskikt, vilket innebär att den har mineraliserats och lämnat, via järnbunden fosfor, sedimenten. Koncentrationen av löst bunden och järnbunden fosfor varierar

kraftigt i ytsedimenten över året (Rydin & Brunberg 1998), medan den organiskt bundna fosfor uppvisar en långsammare minskning i koncentration med ökat sedimentdjup innan den koncentrationen stabiliserar sig vid 20-30 cm sedimentdjup. Denna långsamma minskning kan förklaras med att mineraliseringsprocesser måste hinna verka, till skillnad mot den löst bundna fosfor och den järnbundna, vilka snabbt kan lämna sedimenten vid fördelaktiga löslighetsprodukter och transportförhållanden. Den rörliga andelen fosfor i Erkens sediment (från 15 meters djup) är i huvudsak organiskt bunden (4 g/m² per 30 cm sediment), medan järnbunden fosfor varierar (över året) mellan 0,5 till 2 g/m² per 30 cm sediment (Rydin 1999). Mobil fosfor i Erkens sediment ligger alltså runt 5 g/m² per 30 cm sediment. Det bör poängteras att med mobil fosfor menas i detta sammanhang fosfor som *med tiden* kommer att frigöras som biotillgänglig fosfor från sedimenten. Resuspenderat sediment är i och för sig också mobil fosfor, men ingår inte i begreppet mobil fosfor som det används i detta arbete. Erkenstudierna visade att aluminiumbunden fosfor, kalciumbunden fosfor och hälften av den vid ytan extraherbara organiska fosfor är inert och kommer att överlagras i sedimenten med samma koncentration som vid sedimentytan. Att fosfor bundet till aluminium kan betraktas som permanent bunden fosfor har även stöd i undersökningar från aluminiumbehandlade sjöar (Rydin m fl 2000). Likaså kommer residualfosforfraktionen att överlagras, och kanske till och med öka med ökande ålder/sedimentdjup. Detta fenomen kan förklaras med att inerta fosforformer bildas med tiden.

MATERIAL

Under sommaren 2001 togs sedimentkärnor på tydliga ackumulationsbottnar på 25 provtagningslokaler i Mälaren jämt fördelade över sjöns hela vattenområde och i närheten av de nuvarande stationerna för vattenprovtagning (figur 1 och bilaga 1). Provtagningen genomfördes i samband med SGU's geologiska undersökningar av bottenarna i Mälaren. De 25 provtagningslokalerna samordnades med SGU's provtagning som var ett extra provtagningsprogram med omfattande sedimentanalyser*. Lagesbestämning utfördes med DGPS, i rikets nät. Sedimentkärnorna togs med ett "dubbelpipigt" gravitationslod av typ Geminicorer från SGU's undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor. Därefter snittades kärnorna i 1 cm tjocka skivor, prover togs ut och lades i plastburkar. Dessa kylförvarades ombord på båten i väntan på vidare transport till Erkenlaboratoriet. På Erkenlaboratoriet (SWEDAC ackrediterat) analyserades följande skikt: 0-1, 1-2, 2-3, 4-5, 7-8, 11-12, 16-17, 22-23, 29-30 och 39-40 cm. Skiktet 39-40 cm kom ej med från propparna A1, A2, B3, C9, E2 och F1. Sedimentproverna förvarades i 4°C i upp till en månad innan analyserna genomfördes.

* För närmare information kan Ingemar Cato från SGU (Tel.: 018 – 17 91 88; ingemar.cato@sgu.se) kontaktas.



Figur 1. Karta över Mälaren (position angiven i rikets nät) som visar de 25 sedimentprovtagningsstationerna (A1-F2) och de 11 aktuella vattenkemistationerna i 6 olika bassänger (A-F) under året 2001.

METODER

Analyser

Vattenhalt, densitet och totalfosfor i sedimentet analyserades enligt Goedkopp & Sonesten (1995). Fosforfraktioneringen följde i princip Psenner m fl (1988): Vått sediment vägs in och löst bunden fosfor (fosfor löst i porvattnet, fosfor adsorberad till kalcit osv) extraheras genom jonbyte 2 gånger 2 timmar med 1 M NH_4Cl (pH 7). Därefter tillsätts en buffrad natriumditionitlösnings (0,1 M $\text{NaS}_2\text{O}_4/\text{NaHCO}_3$) under 1 timme som reducerar provet, och framförallt järnbunden fosfor går i lösning. Det tredje extraktionssteget (0,1 M NaOH , 16 timmar) extraherar aluminiumbunden fosfor. Natriumhydroxiden extraherar även ut organiska fosforföreningar som identifieras efter uppslutning. Det sista extraktionssteget (0,5 M HCl , 16 timmar) löser upp kalciumföreningar i sedimentet, t ex apatit. Residualfosforfraktionen, bestående av inerta organiska och oorganiska fosforföreningar, beräknas genom subtraktion av extraherad fosfor från totalfosforhalten (bilaga 2).

Beräkning av mobil fosfor

Den rörliga andelen fosfor i sedimenten finns i de tre fosforfraktionerna löst bunden fosfor, järnbunden fosfor och organiskt bunden fosfor. Då en lägre koncentration av dessa fosforfraktioner återfanns i djupare sedimentskikt antogs dessa koncentrationer vara en bakgrundshalt dvs en orörlig andel som inte frigörs med tiden men istället överlagras i sedimentet. Bakgrundshalten subtraherades från de högre koncentrationerna av respektive fraktion i de ytligare sedimentskikten (bilaga 3). Denna subtraktion korrigerar även för en eventuell överskattning av extraherad fosfor, vilket antyds av att residualfosforfraktionen i

denna undersökning är mycket låg eller till och med negativ. I sex proppar (B1, B2, B5, D1, E2, E3) kunde ingen bakgrundshalt av järnbunden fosfor bestämmas, då avklingningen av järnbunden fosfor med ökande sedimentdjup stördes av fosforrika sedimentlager. I dessa proppar antogs en bakgrundshalt av 300 μg järnbunden fosfor/gram torrt sediment ($\mu\text{g/g}$ TS).

Efter att bakgrundshalten subtraherats, räknades fosforkoncentrationerna om, med hjälp av vattenhalt och densitet, till mängd fosfor per m^2 och 0-30 cm sedimentdjup. Den totala mängden fosfor i ton beräknades från medelkoncentrationen i sedimentet av varje bassäng i g/m^2 multiplicerad med arealen för bassängen.

I de sedimentskikt som inte analyserades interpolerades värden på vattenhalt, densitet, totalfosfor och fosforfraktioner för att erhålla värden för varje centimeter i sedimentprofilen.

RESULTAT

1. Hur höga är fosforhalterna i Mälarens sediment?

Totalfosforhalten var vid de flesta stationerna som högst vid sedimentytan, dvs 0-1 cm (maximumvärde: 2 711 $\mu\text{g/g}$ torrs substans (TS) vid station C7; medelvärde: 1 868 $\mu\text{g/g}$ TS; minimumvärde: 1 149 $\mu\text{g/g}$ TS vid station C9) och stark avklingade vid de översta centimetern sediment (figur 2). Förhöjda fosforhalter förekom dock också djupare ner i sedimenten. Vid till exempel station F2 i Stockholmstrakten mättes 3 600 $\mu\text{g/g}$ TS i 11-12 cm skiktet. Detta var till och med den högsta totalfosforkoncentrationen som uppmättes i denna undersökning.

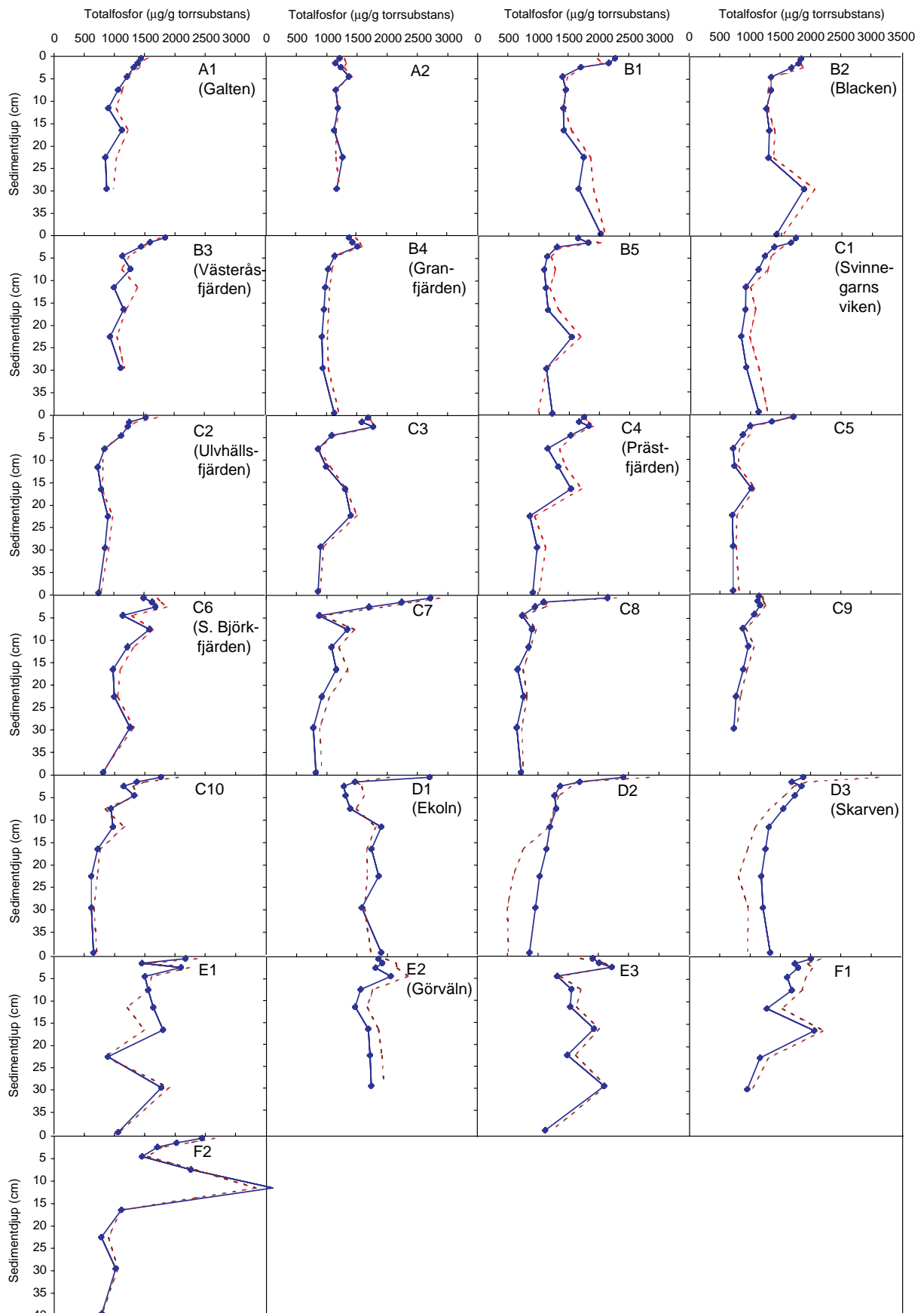
Löst bunden fosfor var relativt hög (över 100 $\mu\text{g/g}$ torrs substans) i den översta centimetern sediment i bassäng B (stationerna B1 och B2) och bassäng D (stationerna D1, D2 och D3). I övriga skikt och vid övriga stationer låg denna fosforfraktion under 100 $\mu\text{g/g}$ TS.

Järnbunden fosfor var i de flesta sedimentskikt den största enskilda fraktionen, och de högsta halterna återfanns generellt i de översta centimetrarna sediment. Så var dock inte fallet vid stationerna D1 och E2 som inte uppvisade någon tendens till avklingning av järnbunden fosfor med ökande sedimentdjup. Stationerna B1, B2, B5, E1, E3, F2 håller sedimentskikt med de högsta halterna järnbunden fosfor.

Koncentrationen av **aluminiumbunden fosfor** var konstant i de flesta sedimentprofilerna, även om sedimentstationerna D2, D3, C10, F1 och F2 visade tecken på förhöjd aluminiumbelastning.

Organiskt bunden fosfor visade en förväntad halvering av koncentrationen med ökat sedimentdjup.

Kalciumbunden fosfor höll, förutom vid stationerna D2 och D3, en konstant koncentration i sedimentprofilerna.

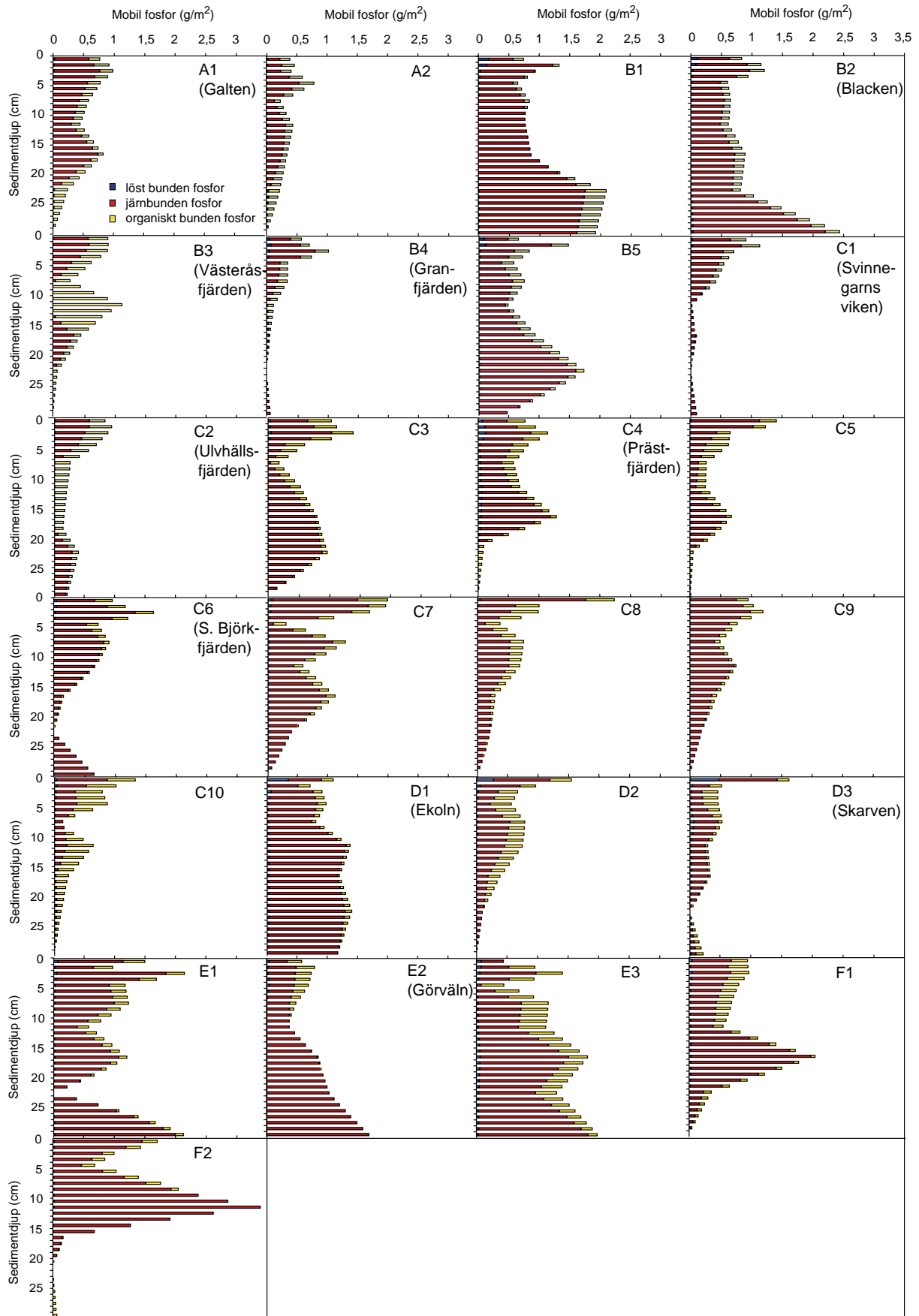


Figur 2. Totalfosforhalter (blå linje) och summan extraherade fosforformer (röd streckad linje) i Mälarens sediment vid 25 stationer (A1-F2) i 6 olika bassänger (A-F) under 2001.

Residualfosforfraktionen (summan av den extraherade fosfor minus totalfosforhalten) var i de flesta propparna något negativ. Det innebär att antingen är totalfosforhalten underskattad, eller så är en eller flera fosforfraktioner överskattade. De flesta sediment håller en signifikant andel residualfosfor, Erksediment innehåller t ex cirka 400 μg fosfor/g TS. Denna felaktighet har dock mindre betydelse för beräkningarna av den mobila fosfor. Ligger felet i en konstant överskattning av järnbunden fosfor, så korrigeras det i och med att halten i djupare sedimentskikt subtraheras från ovanliggande sedimentskikt.

2. Hur hög är andelen av mobil fosfor i Mälarens sediment?

Den mobila andelen fosfor som finns i de tre fosforfraktionerna organiskt bunden fosfor, löst bunden fosfor och järnbunden fosfor (figur 3), varierade mellan 6 och 41 g/m^2 i de undersökta sedimenten (0-30 cm) (tabell 1). Mängden organiskt bunden fosfor som med tiden kommer att frigöras varierade mellan 1 och 10 g/m^2 per 30 cm sediment. Löst bunden fosfor varierade mellan 0 och 1,2 g/m^2 , medan majoriteten av den mobila fosfor extraherades som järnbunden, mellan 4 och 33 g/m^2 per 30 cm sediment. Fördelningen av fosfor mellan den löst bundna formen och den järnbundna formen är avhängig av redoxstatusen i sedimenten. Fosfor som extraheras ut under syrgasfria förhållanden skall inte kunna överlagras i sedimenten, då kapaciteten för ett sediment att överlagras fosfor för gott ligger i dess förmåga att binda fosfor under syrgasfria förhållanden (Lijklema 1994). Trots detta återfinns höga koncentrationer av fosfor som mobiliseras vid just syrgasfria förhållanden i många av de undersökta propparnas djupare delar. En förklaring till detta fenomen kan mycket väl vara att sedimenten oxideras, om inte under snittning och förvaring, så under det första fraktioneringssteget med ammoniumklorid. Den lösningen var mättad med syrgas, och tillgängligt järn kommer att oxideras under detta fraktioneringssteg varvid järnbunden fosfor faller ut och återfås sedan som just järnbunden fosfor i nästa fraktioneringssteg. Det innebär att fördelningen mellan löst bunden fosfor och järnbunden fosfor i de undersökta sedimenten är okänd. Detta spelar dock en underordnad roll när det gäller beräkningen av mobil fosfor, då både löst bunden fosfor och järnbunden fosfor ingår i den mobila andelen fosfor i sedimenten. Däremot kommer sedimentens redoxmiljö att påverka hur fort denna fosfor kommer att frigöras.



Figur 3. Mobil fosfor (summan av löst bunden-, järnbunden- och organiskt bunden fosfor) i Mälarens sediment vid 25 stationer (A1-F2) i 6 olika bassänger (A-F) under 2001.

Tabell 1. Mängden totalfosfor och mängden mobil fosfor (summan av löst bunden, järnbunden och organiskt bunden fosfor) i Mälarens sediment (0-30 cm) vid 25 stationer (A1-F2) i 6 olika bassänger (A-F).

Station	Total mängd fosfor 0-30 cm, g/m ²	Mobil fosfor 0-30 cm, g/m ²	NH ₄ Cl-P löst bunden fosfor 0-30 cm, g/m ²	BD-P järnbunden fosfor 0-30 cm, g/m ²	NaOH-nrP organiskt bunden fosfor 0-30 cm, g/m ²
A1 (Galten)	89	15	0,1	11	4
A2	103	10	0,2	6	4
B1	118	37	0,5	33	4
B2 (Blacken)	103	30	0,5	25	5
B3 (Västeråsfjärden)	103	14	0,0	4	9
B4 (Granfjärden)	81	6	0,2	4	2
B5	91	28	0,4	24	4
C1 (Svinnegarnsviken)	72	7	0,1	5	1
C2 (Ulvhällsfjärden)	71	11	0,0	5	6
C3	87	20	0,2	15	4
C4 (Prästfjärden)	80	17	1,1	12	4
C5	89	11	0,1	8	4
C6 (S. Björkfjärden)	99	16	0,2	14	2
C7	86	23	0,3	19	4
C8	83	15	0,1	10	4
C9	86	15	0,1	12	2
C10	68	11	0,2	4	6
D1 (Ekoln)	106	35	1,0	32	2
D2	78	14	0,5	8	5
D3 (Skarven)	82	10	1,1	6	3
E1	115	32	0,5	27	5
E2 (Görväln)	128	26	0,2	23	2
E3	119	41	1,2	29	10
F1	95	24	0,6	19	5
F2	102	28	0,2	25	2

3. Hur mycket fosfor är lagrat i Mälarens sediment och hur mycket av detta är mobilt?

Beräknas medelvärdet av sedimentets totalfosforhalt (översta 30 cm; tabell 1) från alla stationer i varje bassäng och multipliceras detta med bassängarealerna blir resultatet att ca 100 760 ton (t) fosfor är lagrade i Mälarens sediment, varav 5 850 t i bassäng A, 30 340 t i bassäng B, 42 010 t i bassäng C, 8 310 t i bassäng D, 11 640 t i bassäng E och 2 610 t i bassäng F (figur 4).

A 5 850 t (96 g/m ²)	B 30 340 t (99 g/m ²)
C 42 010 t (82 g/m ²)	D 8 310 t (88 g/m ²)
E 11 640 t (121 g/m ²)	F 2 610 t (99 g/m ²)

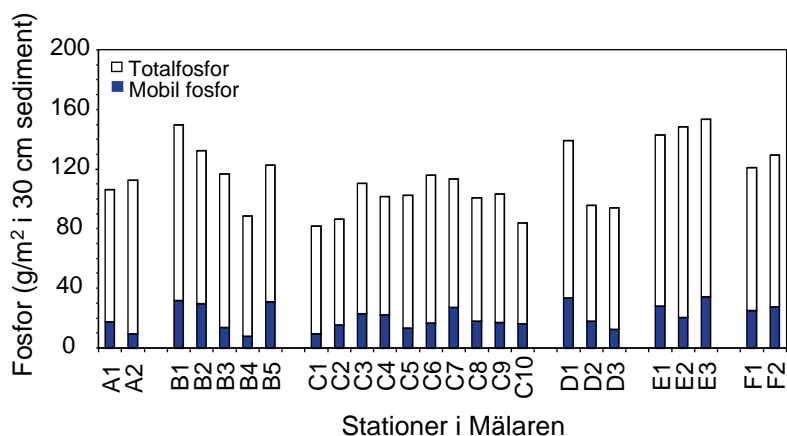
Figur 4. Mängden totalfosfor i Mälarens sediment (0-30 cm) i 6 olika bassänger (A-F) under året 2001.

Bassäng E hade jämförelsevis mest fosfor i sedimentet då alla stationer hade mer än 110 g/m² totalfosfor i sedimentet (tabell 1, figur 4), förmodligen på grund av en kontinuerlig fosfortransport från de grunda bassängerna till den djupa bassängen E. Av mängden totalfosfor i Mälarens sediment tillhörde omkring 20 980 t den mobila fosforformen, varav 760 t i bassäng A, 7 470 t i bassäng B, 7 470 t i bassäng C, 1 850 t i bassäng D, 3 150 t i bassäng E och 680 t i bassäng F (Figur 5).

A 760 t (13 g/m ²)	B 7 070 t (23 g/m ²)
C 7 470 t (15 g/m ²)	D 1 850 t (20 g/m ²)
E 3 150 t (33 g/m ²)	F 680 t (26 g/m ²)

Figur 5. Mängden mobil fosfor i Mälarens sediment (0-30 cm) i 6 olika bassänger (A-F) under året 2001.

Generellt var andelen mobil fosfor av mängden totalfosfor i Mälarens sediment mycket lika vid varje station (figur 6) och varierade mellan 8 och 34 %. Minst andel mobil fosfor i förhållanden till den totala mängden fosfor hade bassäng A, förmodligen på grund av en snabb fosfortransport från den grunda bassängen till de djupare bassängerna. Skulle all mobil fosfor fördelas i vattenmassan på en gång skulle fosforkoncentrationen i Mälarens vatten öka till 1 495 µg/l.

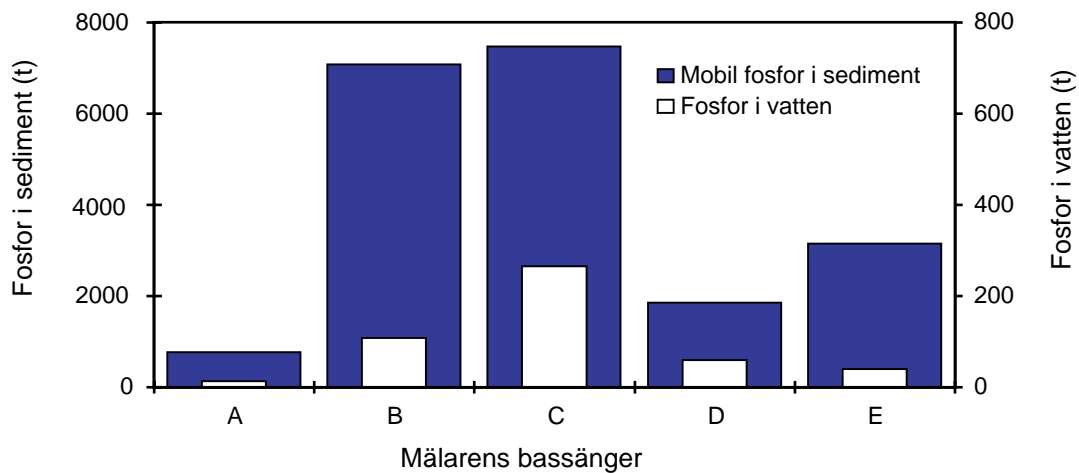


Figur 6. Totalfosfor och mobil fosfor i Mälarens sediment (0-30 cm) vid 25 stationer (A1-F2) i 6 olika bassänger (A-F) under året 2001.

Jämförs andelen mobil fosfor i Mälarens sediment med nuvarande genomsnittliga totalfosformängder i Mälarens vatten (tabell 2) överstiger mängden i sedimentet mängden fosfor i vatten med en faktor av runt 80 (bassäng E), runt 60 (bassänger A, B och E) eller runt 30 (bassänger C och D) (figur 7). Att det inte finns så mycket mobil fosfor i sedimentet i bassängerna C och D jämfört med mängden fosfor i vatten beror på en kombination av olika faktorer t ex att sedimentet har en större förmåga att binda fosfor och/eller att sedimentationen är liten jämfört med mängden fosfor som kommer in i bassängen (detta gäller särskilt för bassäng D).

Tabell 2. Volymviktade medelkoncentrationer av totalfosfor i Mälarens bassänger. Värdena från volymen togs från Lemming med fl (1971) och totalfosforvärdena är beräknad från monitoring-databasen. Bassäng F saknas eftersom SLU utförde inga kontinuerliga fosformätningar i vattnet av denna bassäng.

Bassäng	Djup m	Volym m ³ * 10 ⁶	Totalfosfor (medel 1985-2000) μg/l	Totalfosfor (medel 1985-2000) ton	Summa totalfosfor i varje bassäng ton
A	0-9	252,62	48	12	13
	10-botten	10,38	57	1	
B	0-9	1676,89	41	69	108
	10-19	794,50	37	29	
	20-botten	209,62	48	10	
C	0-9	3575,30	32	114	265
	10-29	3641,51	29	106	
	30-botten	1324,19	34	45	
D	0-9	638,17	48	31	59
	10-19	210,54	47	10	
	20-botten	245,29	72	18	
E	0-9	560,06	27	15	39
	10-29	669,34	27	18	
	30-botten	136,60	40	6	



Figur 7. Mängden mobil fosfor i Mälarens sediment och mängden fosfor i Mälarens vatten i 5 bassänger (A-E). Bassäng F saknas då inga kontinuerliga fosformätningar har gjorts. Observera skalskillnaden i diagrammet.

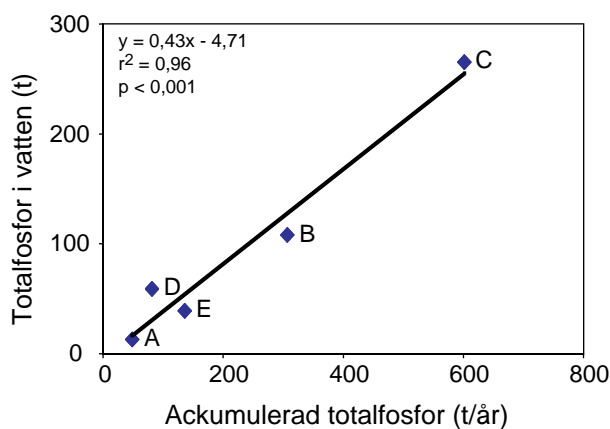
4. Hur mycket fosfor ackumuleras på Mälarens botten under ett år?

De flesta sedimentpropparna visar en tydlig fosforackumulering vid 12, 17 eller 23 cm (figur 3). Denna ackumulering antas vara tidpunkten för den högsta fosforkoncentrationen i Mälaren dvs ungefär 1970. Eftersom sedimentproverna togs 2001 kan nettosedimentationen därmed beräknas, t ex $12 \text{ cm}/31 \text{ år} = 0,39 \text{ cm/år}$ (tabell 2). Är nettosedimentationen bekant kan man med hjälp av totalfosforkoncentrationen i ytsedimentet beräkna hur många ton fosfor som ackumuleras på botten varje år (tabell 3). I Mälaren ackumuleras i genomsnitt runt 1 220 t fosfor varje år, varav 50 t i bassäng A, 310 t i bassäng B, 600 t i bassäng C, 80 t i bassäng D, 140 t i bassäng E och 40 t i bassäng F. I alla bassänger är nettosedimentationen av fosfor betydligt högre (1,4 till 3,8 gånger) än mängden fosfor som finns i vattenmassan (tabell 2), och det finns ett bra samband mellan den årliga nettosedimentationen av totalfosfor i Mälarens sediment och mängden totalfosfor i Mälarens vatten (figur 8). Att nettosedimentationen av fosfor är flera gånger högre än mängden fosfor i vattnet betyder att en hel del fosfor som finns i ytsedimentet måste komma från de djupare sedimentlagren. Det är osäkert om fosfor från de djupare sedimentlagren lämnar sedimentet för att på nytt sedimentera och ackumuleras i ytsedimentet igen, eller om den bara vandrar från djupare sediment till ytsediment.

Eftersom fosforackumuleringen är beroende av nettosedimentationen som bara är uppskattad, gjordes en känslighetsanalys: Istället för den uppskattade nettosedimentationen som visas i tabell 3 antas en allmän nettosedimentation av bara $0,32 \text{ cm/år}$ för hela Mälaren. Då blir den totala fosforackumuleringen runt 800 t/år istället för $1 220 \text{ t/år}$. Antas däremot en nettosedimentation av $0,55 \text{ cm/år}$ för hela Mälaren blir den totala fosforackumuleringen runt $1 340 \text{ t/år}$. Känslighetsanalysen visar att nettosedimentationen inte har en påtagligt stor effekt på den totala fosforackumuleringen per år varför en uppskattning av $1 220 \text{ t}$ fosfor som ackumuleras per år kan vara rimlig.

Tabell 3. Totalfosfor i ytsediment (analyserad), nettosedimentation (uppskattad från figur 3) och medelackumulation av totalfosfor i varje bassäng (beräknad som bassängsmedelvärde av produkten: totalfosfor, nettosedimentation och arealen dividerad med 1000).

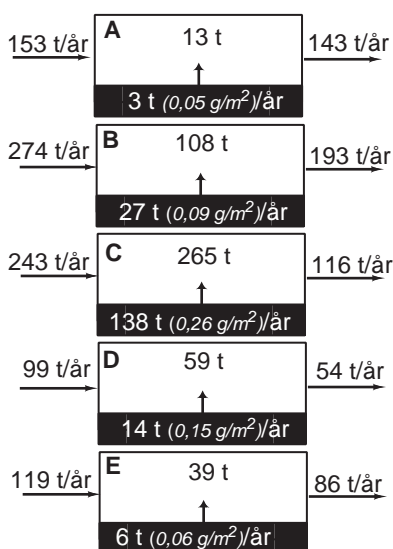
Station	Totalfosfor i ytsediment (0-1 cm) mg/m ²	Netto sedimentation cm/år	Areal för varje bassäng km ²	Ackumulation av totalfosfor i varje bassäng t/år
A1 (Galten)	1813	0,55	61	49
A2	1569	0,39		
B1	2105	0,74	306	307
B2 (Blacken)	2005	0,55		
B3 (Västeråsfjärden)	2186	0,39		
B4 (Granfjärden)	1461	0,23		
B5	1582	0,74		
C1 (Svinnegarnsviken)	1736	0,55	512	602
C2 (Ulvhällsfjärden)	1671	0,74		
C3	2115	0,74		
C4 (Prästfjärden)	2032	0,55		
C5	2784	0,55		
C6 (S. Björkfjärden)	1866	0,26		
C7	2968	0,55		
C8	3264	0,32		
C9	2459	0,55		
C10	2156	0,39		
D1 (Ekoln)	3222	0,39	94,1	82
D2	2600	0,32		
D3 (Skarven)	2063	0,26		
E1	2628	0,55	96,5	136
E2 (Görvån)	2971	0,55		
E3	2098	0,55		
F1	2425	0,55	26,4	35
F2	3459	0,39		



Figur 8. Sambandet mellan den årliga nettoackumulationen av totalfosfor i Mälarens sediment och mängden totalfosfor i Mälarens vatten i 5 bassänger (A-E). Bassäng F saknas då inga kontinuerliga fosformätningar har gjorts.

5. Hur stort är läckaget av fosfor från Mälarens sediment?

Mälarens aktuella fosforhalter i vattenmassan (tabell 2) är alldeles för höga för att kunna förklaras endast med mängden fosfor som tillförs Mälarens bassänger varje år. Enligt rapporten "Mälaren – miljötillstånd och utveckling 1965-98" tillförs runt 400 t fosfor in till Mälaren varje år (medelvärde från 1990-95) och runt 140 t/år utförs (Wallin m fl 2000). Subtraheras fosforutflödet från fosforinflödet blir 260 t fosfor kvar i Mälarens vatten. Den aktuella mängden fosfor i Mälarens vatten är dock omkring 480 t (tabell 2). Det betyder således att ytterligare 220 t fosfor kommer från någon källa för att nå de höga fosforhalterna i Mälarens vatten. Mest sannolikt kommer de 220 t fosfor från sedimenten genom ett kraftigt fosforläckage. Beräkningen av fosforläckaget från sedimenten beror mycket på till- och utförseln av fosfor, och varierar markant från bassäng till bassäng (figur 9). Fosforläckaget är störst i bassäng C med 0,26 g/m²/år. Beräkningarna av fosforläckaget är baserade på en genomsnittlig till- och utförsel av fosfor, som togs från rapporten "Mälaren – miljötillstånd och utveckling 1965-98" (Wallin m fl 2000). Är uppgifterna osäkra blir även beräkningarna om fosforläckaget osäkra. Därför bör uppgifterna behandlas med en viss försiktighet. Utgående från bara ett provtagningstillfälle är det dessutom inte möjligt att beräkna hur fosforläckaget förändras med varierande till- och utförsel av fosfor. Nya beräkningar – förmodligen icke lineära – behöver utvecklas för att bestämma sambandet mellan varierande fosfortillförsel och fosforläckage från sedimentet.



Figur 9. Beräkningen av det årliga fosforläckaget från Mälarens sediment:

$$F_{sed} = F_{in} - F_{ut} - F_{vatten}$$

varav:

F_{sed} : mängd fosfor som lämnar sedimentet varje år

F_{in} : mängd fosfor som tillförs till Mälaren varje år enligt Wallin m fl 2000

F_{ut} : mängd fosfor som förs ut från Mälaren varje år enligt Wallin m fl 2000

F_{vatten} : mängd fosfor i vatten enligt tabell 2

Bassäng F saknas eftersom SLU inte utfört några kontinuerliga fosformätningar i vattnet i denna bassäng.

Fosfor som lämnar sedimentet är mobil fosfor. I varje sediment finns ”naturligt” en pool av mobil fosfor som uppskattas till ungefär 5 g/m² i Erken (Rydin 1999). Om den uppgiften är tillämpbar på Mälarens sediment är ca 5 480 t mobil fosfor ”naturlig”, varav ca 310 t i bassäng A, 1 530 t i bassäng B, 2 560 t i bassäng C, 470 t i bassäng D, 480 t i bassäng E och 130 t i bassäng F. Subtraheras den naturliga mängden fosfor från mängden mobil fosfor och delas med det årliga fosforläckaget tar det ungefär 160 år i bassäng A innan läckaget av fosfor från en tidigare hög fosforbelastning upphör, 210 år i bassäng B, 40 år i bassäng C, 100 år i bassäng D och 470 år i bassäng E. Beräkningarna visar att variationen i tiden tills fosforläckaget från sedimenten har minskat till naturliga nivåer är stor. Längst tid tar det i den djupaste bassängen E eftersom ackumuleringen av mobil fosfor har varit störst där.

SLUTSATS

Fosforanalyserna av 25 sedimentproppar från Mälaren ger mycket värdefull information om den totala fosforcykeln i Mälaren. En del av de uppskattade uppgifterna i den nuvarande fosformodellen för Mälaren som beskrevs i rapporten ”Mälaren – miljötillstånd och utveckling 1965-98” (Wallin m fl 2000) kan med hjälp av denna undersökning ersättas med mätta och därmed mycket säkrade uppgifterna. En stor osäkerhet kvarstår dock för att modellen skall bli ännu mer pålitligt och det är fosfortillförseln till Mälaren. Så länge fosfortillförseln till Mälaren inte blir kvantifierad på ett tillförlitligt vis blir modellprognoserna för Mälarens fosforcykel osäkra. Ett av de nästa stegen borde således vara att utveckla en bra källfördelningsmodell för fosfortillförseln till Mälaren.

Med den nuvarande fosforbelastningen beräknas att det tar ungefär mellan 40 och 470 år innan fosforläckaget från en tidigare hög fosforbelastning upphör beroende på bassäng. Men även om fosfor läcker från sedimenten, så är det fortfarande av största vikt att ansträngningarna att minska fosfortillförseln till Mälaren fortsätter.

REFERENSER

Goedkoop, W., Sonesten, L. 1995. Laborationsmanual för kemiska och fysikaliska analyser av inlandsvatten och sediment. Scripta Limnologica Upsaliensia B:12.

Lemming, J., Lindell, T., Kvarnäs H. 1971. Mälarens areal- och volymförhållanden. Naturvårdsverkets limnologiska undersökning nr. 48.

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

Mortimer, C. H. 1941. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. 1. *J. Ecol.* 29: 280-329.

Mortimer, C. H. 1942. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. 2. *J. Ecol.* 30: 147-201.

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

Psenner, R., Boström, B., Dinka, M., Pettersson, K., Puckso, R. 1988. Fractionation of suspended matter and sediment. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 30: 98-103.

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. 1999. Mobile phosphorus in lake sediments, sludge and soil –a catchment perspective. *Ph.D. thesis, Dep. of Limnology, Uppsala University, Sweden.*

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

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

Wallin, M. (red.). 2000. Mälaren-miljö tillstånd och utveckling 1965-98. Mälarens vattenvårdsförbund.

BILAGOR

Bilaga 1. Koordinaterna för sedimentprovtagningsstationerna i rikets nät.

Station	x-position	y-position	z-position (djup)
A1 (Galten)	6591599,2	1519498,1	4,0
A2	6593548,9	1526939,1	12,3
B1	6593713,1	1535971,8	31,0
B2 (Blacken)	6595042,8	1541911,6	25,6
B3 (Västeråsfjärden)	6607192,4	1542704,1	11,6
B4 (Granfjärden)	6599836,7	1555730,0	22,2
B5	6595971,1	1563555,3	24,0
C1 (Svinnegarnsviken)	6607402,5	1570286,6	10,5
C2 (Ulvhällsfjärden)	6583731,9	1571342,0	8,2
C3	6585172,6	1587867,2	44,8
C4 (Prästfjärden)	6590719,7	1592035,0	48,6
C5	6602364,2	1593039,6	16,1
C6 (S. Björkfjärden)	6576262,0	1596920,7	37,5
C7	6596798,1	1597002,7	34,7
C8	6581972,8	1600903,8	21,6
C9	6575974,1	1602035,0	29,7
C10	6573030,5	1611326,2	22,0
D1 (Ekoln)	6624827,8	1597703,2	48,0
D2	6619811,3	1602805,2	12,0
D3 (Skarven)	6609537,0	1611263,0	26,0
E1	6594101,3	1603941,5	24,5
E2 (Görväl)	6590759,1	1610066,1	44,8
E3	6582466,7	1613111,9	47,3
F1	6575661,1	1618044,9	25,3
F2	6579736,6	1625877,0	14,7

Bilaga 2. Analysvärden från Erkenlaboratoriet. TS betyder torrsubstans.

Propp	djup	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P μg/g TS	NaOH-rP μg/g TS	NaOH-nrP μg/g TS	HCl-P μg/g TS	Res-P μg/g TS	Tot-P μg/g TS	H ₂ O %	Densitet g/cm ³
A1	0-1cm	23	639	255	323	301	-101	1440	88	1,08
A1	1-2 cm	8	564	246	318	282	-36	1382	84	1,11
A1	2-3 cm	8	580	250	291	289	-97	1321	83	1,12
A1	4-5 cm	4	425	232	265	275	7	1208	79	1,15
A1	7-8 cm	3	348	253	235	292	-69	1061	76	1,17
A1	11-12 cm	2	297	207	228	292	-129	898	74	1,16
A1	16-17 cm	3	426	297	204	291	-95	1126	73	1,19
A1	22-23 cm	2	203	301	245	283	-182	852	73	1,20
A1	29-30 cm	2	197	307	178	300	-114	870	69	1,22
A2	0-1cm	16	470	150	335	318	-72	1216	88	1,08
A2	1-2 cm	8	458	191	325	342	-179	1144	85	1,11
A2	2-3 cm	4	432	227	295	335	-56	1236	83	1,12
A2	4-5 cm	8	574	195	327	303	-39	1368	82	1,12
A2	7-8 cm	2	370	195	245	321	13	1147	80	1,14
A2	11-12 cm	8	416	213	244	316	-11	1187	75	1,18
A2	16-17 cm	2	394	225	225	309	-31	1125	73	1,20
A2	22-23 cm	5	322	310	257	255	113	1261	73	1,20
A2	29-30 cm	2	314	351	200	344	-45	1167	71	1,23
B1	0-1cm	181	740	256	474	330	293	2274	91	1,06
B1	1-2 cm	94	1046	253	358	312	106	2169	87	1,09
B1	2-3 cm	24	788	306	296	326	-32	1708	84	1,11
B1	4-5 cm	12	576	256	325	323	-82	1408	82	1,13
B1	7-8 cm	7	615	188	325	305	23	1464	79	1,14
B1	11-12 cm	6	618	238	258	321	-21	1419	79	1,15
B1	16-17 cm	7	628	422	192	306	-125	1429	77	1,16
B1	22-23 cm	9	920	235	407	295	-113	1754	76	1,17
B1	29-30 cm	12	842	393	390	285	-250	1671	75	1,18
B1	39-40 cm	19	1119	354	284	330	-72	2035	76	1,18
B2	0-1cm	108	781	157	378	370	53	1848	90	1,07
B2	1-2 cm	63	889	180	349	362	-39	1804	87	1,09
B2	2-3 cm	30	847	334	334	337	-196	1684	85	1,11
B2	4-5 cm	11	533	213	248	354	-9	1349	82	1,13
B2	7-8 cm	11	530	183	232	342	49	1346	80	1,15
B2	11-12 cm	8	494	217	243	337	-30	1270	79	1,15
B2	16-17 cm	8	579	241	253	334	-92	1323	78	1,16
B2	22-23 cm	12	561	252	239	325	-80	1309	78	1,16
B2	29-30 cm	21	1069	371	274	341	-180	1896	76	1,17
B2	39-40 cm	21	702	324	187	322	-116	1440	73	1,20

Propp	djup	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P μg/g TS	NaOH-rP μg/g TS	NaOH-nrP μg/g TS	HCl-P μg/g TS	Res-P μg/g TS	Tot-P μg/g TS	H ₂ O %	Densitet g/cm ³
B3	0-1cm	11	784	252	411	294	84	1836	89	1,07
B3	1-2 cm	9	646	263	321	311	36	1586	85	1,11
B3	2-3 cm	7	602	263	320	311	-67	1435	83	1,12
B3	4-5 cm	4	435	230	272	303	-117	1127	80	1,15
B3	7-8 cm	3	320	251	223	319	144	1259	76	1,18
B3	11-12 cm	2	260	276	513	332	-396	986	75	1,18
B3	16-17 cm	3	403	284	167	331	-36	1153	71	1,21
B3	22-23 cm	2	306	245	150	334	-110	927	70	1,23
B3	29-30 cm	4	306	389	130	337	-61	1104	67	1,25
B4	0-1cm	39	625	145	343	335	-105	1382	90	1,07
B4	1-2 cm	59	694	158	294	357	-123	1438	89	1,08
B4	2-3 cm	32	770	160	312	327	-75	1526	86	1,10
B4	4-5 cm	3	397	189	232	357	-29	1148	82	1,13
B4	7-8 cm	2	360	161	234	348	-64	1040	78	1,16
B4	11-12 cm	2	296	192	207	363	-70	990	76	1,17
B4	16-17 cm	1	302	194	179	368	-78	966	75	1,18
B4	22-23 cm	1	291	189	170	375	-92	934	74	1,19
B4	29-30 cm	1	311	200	140	387	-88	951	74	1,19
B4	39-40 cm	2	483	231	161	337	-74	1140	76	1,17
B5	0-1cm	89	705	226	309	294	29	1653	91	1,06
B5	1-2 cm	84	1092	211	333	307	-209	1817	87	1,09
B5	2-3 cm	11	608	168	258	335	-81	1299	83	1,12
B5	4-5 cm	6	469	181	218	330	-70	1135	81	1,13
B5	7-8 cm	5	542	185	212	332	-188	1086	80	1,14
B5	11-12 cm	3	457	221	141	358	-63	1117	76	1,16
B5	16-17 cm	3	586	173	202	365	-175	1155	78	1,15
B5	22-23 cm	6	926	221	180	358	-145	1546	78	1,15
B5	29-30 cm	2	453	194	124	360	-9	1124	74	1,18
B5	39-40 cm	1	292	246	77	367	237	1220	72	1,21
C1	0-1cm	21	710	246	487	253	19	1736	89	1,07
C1	1-2 cm	15	691	289	466	227	-29	1659	85	1,10
C1	2-3 cm	7	445	376	359	331	-136	1382	81	1,13
C1	4-5 cm	5	415	295	316	305	-106	1230	82	1,13
C1	7-8 cm	6	326	337	318	293	-155	1125	80	1,15
C1	11-12 cm	3	205	207	245	330	-77	913	78	1,16
C1	16-17 cm	2	225	250	282	312	-163	907	77	1,17
C1	22-23 cm	2	196	193	274	308	-141	832	79	1,15
C1	29-30 cm	3	231	305	257	329	-209	917	76	1,17
C1	39-40 cm	4	354	312	224	378	-148	1123	74	1,18

Propp	djup	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P μg/g TS	NaOH-rP μg/g TS	NaOH-nrP μg/g TS	HCl-P μg/g TS	Res-P μg/g TS	Tot-P μg/g TS	H ₂ O %	Densitet g/cm ³
C2	0-1cm	13	677	193	334	507	-195	1530	90	1,07
C2	1-2 cm	6	529	187	337	316	-112	1261	86	1,10
C2	2-3 cm	4	410	200	281	340	0	1236	82	1,12
C2	4-5 cm	3	361	177	249	337	1	1128	83	1,12
C2	7-8 cm	0	158	149	208	305	31	852	80	1,13
C2	11-12 cm	1	135	151	172	365	-84	738	77	1,16
C2	16-17 cm	1	110	144	146	413	-22	792	75	1,17
C2	22-23 cm	1	257	210	127	393	-80	907	74	1,19
C2	29-30 cm	1	219	237	102	364	-63	860	72	1,20
C2	39-40 cm	1	164	229	92	303	-36	752	70	1,22
C3	0-1cm	29	674	235	501	271	-23	1687	88	1,08
C3	1-2 cm	26	665	305	439	304	-161	1578	86	1,09
C3	2-3 cm	28	766	301	391	330	-45	1772	84	1,11
C3	4-5 cm	3	314	151	342	321	-50	1082	82	1,13
C3	7-8 cm	1	192	122	247	298	-1	859	80	1,15
C3	11-12 cm	2	327	153	256	319	-65	993	79	1,15
C3	16-17 cm	2	472	295	196	359	-16	1309	77	1,17
C3	22-23 cm	2	505	377	213	407	-105	1400	77	1,17
C3	29-30 cm	1	179	229	181	357	-48	900	74	1,19
C3	39-40 cm	1	155	174	189	373	-35	858	72	1,21
C4	0-1cm	70	748	209	453	273	-10	1745	89	1,07
C4	1-2 cm	94	799	216	424	274	-145	1662	88	1,09
C4	2-3 cm	97	908	232	386	275	-75	1823	87	1,09
C4	4-5 cm	29	706	218	335	287	-52	1521	84	1,11
C4	7-8 cm	30	575	144	291	301	-199	1141	82	1,13
C4	11-12 cm	38	621	179	257	346	-120	1321	81	1,14
C4	16-17 cm	33	879	252	236	308	-178	1529	79	1,15
C4	22-23 cm	13	243	157	224	291	-80	846	79	1,15
C4	29-30 cm	13	401	220	190	281	-136	970	78	1,16
C4	39-40 cm	11	253	229	191	318	-102	900	74	1,19
C5	0-1cm	12	746	197	328	376	54	1712	85	1,10
C5	1-2 cm	8	578	183	257	379	-53	1352	82	1,12
C5	2-3 cm	4	251	122	251	402	-35	995	80	1,14
C5	4-5 cm	1	163	125	296	405	-111	879	78	1,16
C5	7-8 cm	0	111	112	195	401	-101	719	75	1,18
C5	11-12 cm	0	95	117	203	388	-67	736	74	1,20
C5	16-17 cm	2	218	188	178	486	-57	1015	69	1,23
C5	22-23 cm	0	58	101	163	454	-75	701	62	1,30
C5	29-30 cm	1	65	100	152	444	-44	718	65	1,30
C5	39-40 cm	1	79	87	188	457	-99	713	64	1,30

Propp	djup	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P μg/g TS	NaOH-rP μg/g TS	NaOH-nrP μg/g TS	HCl-P μg/g TS	Res-P μg/g TS	Tot-P μg/g TS	H ₂ O %	Densitet g/cm ³
C6	0-1cm	32	777	226	417	260	-224	1488	88	1,08
C6	1-2 cm	27	821	256	379	297	-146	1634	86	1,10
C6	2-3 cm	16	971	253	344	291	-189	1688	83	1,12
C6	4-5 cm	5	521	159	277	326	-144	1144	81	1,13
C6	7-8 cm	4	590	328	215	514	-63	1588	78	1,16
C6	11-12 cm	3	503	262	192	366	-101	1224	76	1,17
C6	16-17 cm	2	312	253	195	341	-120	981	74	1,19
C6	22-23 cm	2	271	254	181	352	-58	1002	74	1,20
C6	29-30 cm	3	468	340	167	350	-67	1262	72	1,20
C6	39-40 cm	1	133	170	170	332	16	822	71	1,22
C7	0-1cm	56	1452	416	659	288	-160	2711	90	1,07
C7	1-2 cm	27	1203	439	390	341	-162	2239	86	1,09
C7	2-3 cm	25	943	235	374	349	-227	1700	85	1,11
C7	4-5 cm	2	188	124	299	330	-68	875	81	1,13
C7	7-8 cm	10	620	179	297	352	-116	1341	80	1,14
C7	11-12 cm	2	309	189	261	434	-119	1077	78	1,17
C7	16-17 cm	4	497	207	256	380	-187	1156	77	1,17
C7	22-23 cm	2	270	224	190	356	-120	922	73	1,20
C7	29-30 cm	1	148	140	199	398	-112	775	71	1,23
C7	39-40 cm	2	157	203	147	410	-97	822	69	1,24
C8	0-1cm	29	1194	265	435	383	-153	2153	86	1,10
C8	1-2 cm	6	351	109	314	378	-61	1097	82	1,13
C8	2-3 cm	3	291	107	322	398	-166	956	80	1,15
C8	4-5 cm	1	103	81	212	392	-45	744	77	1,17
C8	7-8 cm	1	233	116	197	427	-72	902	75	1,19
C8	11-12 cm	1	215	157	181	325	-31	847	73	1,20
C8	16-17 cm	2	119	105	145	389	-96	664	72	1,21
C8	22-23 cm	1	108	157	122	434	-58	764	68	1,26
C8	29-30 cm	0	59	91	121	466	-83	653	59	1,35
C8	39-40 cm	1	71	104	143	440	-36	723	64	1,28
C9	0-1cm	3	432	152	248	372	-58	1149	81	1,14
C9	1-2 cm	4	448	168	232	361	-90	1124	80	1,15
C9	2-3 cm	4	484	163	244	365	-91	1168	79	1,16
C9	4-5 cm	1	315	192	209	437	-85	1070	77	1,17
C9	7-8 cm	0	220	157	192	357	-49	878	76	1,18
C9	11-12 cm	1	307	200	169	392	-98	972	73	1,19
C9	16-17 cm	0	187	175	181	405	-66	883	72	1,22
C9	22-23 cm	1	132	141	157	403	-69	764	70	1,23
C9	29-30 cm	0	82	126	158	417	-54	729	68	1,26

Propp	djup	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P μg/g TS	NaOH-rP μg/g TS	NaOH-nrP μg/g TS	HCl-P μg/g TS	Res-P μg/g TS	Tot-P μg/g TS	H ₂ O %	Densitet g/cm ³
C10	0-1cm	30	763	430	525	311	-293	1767	89	1,08
C10	1-2 cm	25	348	367	414	345	-130	1369	84	1,11
C10	2-3 cm	11	239	359	360	334	-154	1149	82	1,13
C10	4-5 cm	8	241	427	368	341	-58	1327	80	1,14
C10	7-8 cm	3	134	268	92	345	97	940	75	1,17
C10	11-12 cm	5	152	214	293	494	-181	977	75	1,17
C10	16-17 cm	1	94	130	212	329	-48	719	74	1,18
C10	22-23 cm	1	101	117	171	328	-99	619	77	1,19
C10	29-30 cm	1	88	112	143	312	-35	621	77	1,16
C10	39-40 cm	1	124	139	151	294	-57	653	77	1,17
D1	0-1cm	305	757	321	445	213	657	2698	89	1,08
D1	1-2 cm	27	585	284	404	195	-31	1464	85	1,11
D1	2-3 cm	49	756	153	379	241	-299	1281	86	1,10
D1	4-5 cm	21	788	204	369	235	-303	1314	85	1,10
D1	7-8 cm	19	704	211	322	222	-87	1390	84	1,11
D1	11-12 cm	26	925	348	316	191	93	1900	82	1,13
D1	16-17 cm	21	821	287	296	240	76	1741	81	1,13
D1	22-23 cm	23	824	254	328	241	191	1860	79	1,15
D1	29-30 cm	10	785	307	281	244	-48	1580	79	1,15
D1	39-40 cm	18	829	398	219	257	176	1898	77	1,17
D2	0-1cm	261	991	521	504	566	-428	2416	90	1,07
D2	1-2 cm	43	595	241	358	398	56	1691	87	1,09
D2	2-3 cm	25	362	275	400	488	-180	1370	87	1,09
D2	4-5 cm	7	273	268	402	398	-69	1280	86	1,10
D2	7-8 cm	14	392	191	296	377	34	1305	82	1,13
D2	11-12 cm	8	329	192	304	343	27	1203	80	1,15
D2	16-17 cm	7	212	101	261	180	381	1142	79	1,14
D2	22-23 cm	9	169	99	168	147	440	1032	78	1,16
D2	29-30 cm	6	135	68	176	115	461	961	77	1,17
D2	39-40 cm	5	137	87	193	92	351	866	75	1,18
D3	0-1cm	444	1192	236	413	837	-1240	1882	90	1,07
D3	1-2 cm	42	539	211	381	766	-248	1691	88	1,08
D3	2-3 cm	28	444	238	410	602	131	1853	87	1,09
D3	4-5 cm	23	458	197	400	493	165	1737	86	1,09
D3	7-8 cm	46	538	182	268	292	227	1553	83	1,11
D3	11-12 cm	19	423	144	249	252	224	1311	79	1,14
D3	16-17 cm	25	445	70	245	180	291	1255	80	1,14
D3	22-23 cm	13	325	79	228	159	384	1187	81	1,13
D3	29-30 cm	18	365	117	284	187	240	1211	81	1,13
D3	39-40 cm	41	528	71	203	115	372	1330	77	1,16

Propp	djup	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P μg/g TS	NaOH-rP μg/g TS	NaOH-nrP μg/g TS	HCl-P μg/g TS	Res-P μg/g TS	Tot-P μg/g TS	H ₂ O %	Densitet g/cm ³
E1	0-1cm	58	1185	306	515	302	-192	2173	89	1,08
E1	1-2 cm	14	648	183	397	320	-112	1450	84	1,11
E1	2-3 cm	26	1247	251	379	337	-140	2100	83	1,12
E1	4-5 cm	10	725	194	342	344	-111	1503	81	1,12
E1	7-8 cm	6	748	161	323	324	-6	1557	81	1,14
E1	11-12 cm	4	440	146	288	329	435	1642	77	1,16
E1	16-17 cm	8	699	188	268	333	303	1800	77	1,16
E1	22-23 cm	2	300	94	198	249	50	891	71	1,15
E1	29-30 cm	6	1101	203	273	316	-126	1773	79	1,15
E1	39-40 cm	1	386	142	215	328	-11	1061	77	1,16
E2	0-1cm	40	483	628	472	343	-112	1854	85	1,10
E2	1-2 cm	25	537	736	473	380	-235	1916	83	1,12
E2	2-3 cm	24	523	789	451	371	-351	1807	82	1,13
E2	4-5 cm	30	486	1009	424	398	-291	2056	80	1,14
E2	7-8 cm	14	452	545	363	382	-200	1557	79	1,15
E2	11-12 cm	11	453	502	303	398	-196	1470	79	1,15
E2	16-17 cm	14	619	476	327	423	-169	1689	77	1,15
E2	22-23 cm	11	692	460	309	439	-194	1717	77	1,15
E2	29-30 cm	13	863	309	317	445	-213	1733	75	1,19
E3	0-1cm	70	642	474	222	288	216	1911	90	1,07
E3	1-2 cm	53	609	626	523	289	-87	2013	87	1,09
E3	2-3 cm	31	748	675	440	307	23	2224	82	1,12
E3	4-5 cm	6	333	308	399	313	-38	1321	81	1,13
E3	7-8 cm	18	633	334	434	292	-155	1556	81	1,13
E3	11-12 cm	14	574	328	412	304	-95	1537	79	1,14
E3	16-17 cm	28	887	396	353	348	-84	1928	79	1,15
E3	22-23 cm	16	655	270	358	321	-135	1485	77	1,16
E3	29-30 cm	16	1047	456	290	321	-28	2101	79	1,15
E3	39-40 cm	3	459	224	225	317	-108	1120	75	1,17
F1	0-1cm	39	724	594	537	274	-165	2003	89	1,07
F1	1-2 cm	17	597	504	536	299	-212	1741	86	1,09
F1	2-3 cm	29	578	615	503	307	-238	1794	85	1,10
F1	4-5 cm	16	486	631	462	328	-311	1613	84	1,10
F1	7-8 cm	8	446	631	464	305	-167	1689	85	1,10
F1	11-12 cm	11	367	456	394	304	-254	1279	81	1,13
F1	16-17 cm	13	988	520	349	339	-144	2064	79	1,15
F1	22-23 cm	4	284	289	369	355	-135	1166	78	1,16
F1	29-30 cm	1	195	213	318	312	-85	953	79	1,14

Propp	djup	NH ₄ Cl-P <i>μg/g TS</i>	BD-P <i>μg/g TS</i>	NaOH-rP <i>μg/g TS</i>	NaOH-nrP <i>μg/g TS</i>	HCl-P <i>μg/g TS</i>	Res-P <i>μg/g TS</i>	Tot-P <i>μg/g TS</i>	H ₂ O %	Densitet <i>g/cm³</i>
F2	0-1cm	15	1181	591	423	452	-215	2448	87	1,09
F2	1-2 cm	13	934	469	404	402	-195	2027	86	1,10
F2	2-3 cm	8	623	364	362	426	-73	1710	84	1,11
F2	4-5 cm	6	420	332	369	415	-86	1456	84	1,11
F2	7-8 cm	13	972	512	380	454	-66	2264	83	1,11
F2	11-12 cm	10	1623	1132	95	478	281	3619	80	1,14
F2	16-17 cm	2	248	164	257	430	8	1109	84	1,11
F2	22-23 cm	2	134	152	245	368	-121	779	77	1,16
F2	29-30 cm	2	167	153	275	457	-33	1021	81	1,13
F2	39-40 cm	1	126	122	197	346	-7	785	74	1,18

Bilaga 3. Uppskattad bakgrundshalt av fosfor i Mälarens sediment vid 25 (A1-F2) stationer.

Station	Bakgrundshalt			från sedimentdjup		
	NH ₄ Cl-P μg/g TS	BD-P	NaOH-nrP	NH ₄ Cl-P cm	BD-P	NaOH-nrP
A1 (Galten)	2	197	178	29-30	29-30	29-30
A2	2	314	200	29-30	29-30	29-30
B1	7	300	284	16-17		39-40
B2 (Blacken)	8	300	187	11-12.		39-40
B3 (Västeråsfjärden)	4	306	130	29-30	29-30	29-30
B4 (Granfjärden)	1	291	170	22-23	22-23	22-23
B5	2	300	124	29-30		29-30
C1 (Svinnegarnsviken)	3	196	274	22-23	22-23	22-23
C2 (Ulvhällsfjärden)	1	164	92	39-40	39-40	39-40
C3	1	179	181	29-30	29-30	29-30
C4 (Prästfjärden)	13	401	190	29-30	29-30	29-30
C5	22	65	256	29-30	29-30	29-30
C6 (S. Björkfjärden)	2	271	181	22-23	22-23	22-23
C7	1	148	199	29-30	29-30	29-30
C8	0	59	121	29-30	29-30	29-30
C9	0	82	158	29-30	29-30	29-30
C10	1	88	143	29-30	29-30	29-30
D1 (Ekoln)	10	300	281	29-30		29-30
D2	6	135	176	29-30	29-30	29-30
D3 (Skarven)	13	325	228	22-23	22-23	22-23
E1	1	300	215	39-40	22-23	39-40
E2 (Görväln)	13	300	317	29-30		29-30
E3	3	300	225	39-40		39-40
F1	1	195	318	29-30	29-30	29-30
F2	2	167	245	29-30	29-30	22-23