



# Undersökning av intern belastning och läckagebenägen sedimentfosfor i Norrviken



## **Undersökning av intern belastning och läckagebenägen sedimentfosfor i Norrviken**

Författare: Mia Arvidsson, Emil Rydin och Ulf Lindqvist

2013-12-02

Rapport 2013:18

Naturvatten i Roslagen AB

Norr Malma 4201

761 73 Norrtälje

0176 – 22 90 65

<b>SAMMANFATTNING.....</b>	<b>4</b>
<b>INLEDNING .....</b>	<b>5</b>
<b>METODIK.....</b>	<b>5</b>
FÄLTARBETE.....	5
<i>Sedimentprovtagning.....</i>	5
<i>Vattenprovtagning.....</i>	8
ANALYSER .....	8
<i>Sediment .....</i>	8
<i>Vattenkemi.....</i>	9
BERÄKNINGAR.....	9
<i>Fosforfraktionering.....</i>	9
<i>Aluminiumdosering.....</i>	10
<i>Internbelastning.....</i>	10
<b>RESULTAT .....</b>	<b>11</b>
SEDIMENTBESKRIVNING.....	11
VATTENHALT.....	11
ORGANISK ANDEL.....	12
TOTALFOSFOR I SEDIMENTET .....	12
FOSFORFRAKTIONER .....	14
RÖRLIG FOSFOR OCH ALUMINIUMDOSERING .....	17
INTERNBELASTNING .....	18
<b>DISKUSSION.....</b>	<b>18</b>
SEDIMENTEN.....	18
INTERNBELASTNINGEN .....	19
<b>REFERENSER .....</b>	<b>20</b>
<b>BILAGA 1. GRUNDANALYSER.....</b>	<b>21</b>
<b>BILAGA 2. FOSFORFRAKTIONER.....</b>	<b>23</b>
<b>BILAGA 3. VATTENKEMI .....</b>	<b>25</b>

# Sammanfattning

Föreliggande rapport redogör för internbelastningen av fosfor till vattenmassan och beräkning av mängden läckagebenägen fosfor i Norrvikens sediment samt aluminiumdosering för att binda denna. Undersökningen syftade till att kvantifiera den interna belastningen i Norrviken för att kunna sätta denna belastning i relation till övriga fosforkällor i sjön. Undersökningen utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Oxundaåns vattensamverkan.

De sedimentfosforformer (löst bunden, järnbunden och organiskt bunden) som med tiden kommer att mobiliseras och läcka ut från Norrvikens sediment (läckagebenägen fosfor) har kvantifierats. Sedimenten håller relativt blygsamma mängder läckagebenägen fosfor (mellan 2 och 4 g/m<sup>2</sup>). Dessutom bedöms den fosfor som fanns i vattenmassan under perioden då sedimentprovtagningen genomfördes (0,1 g P/m<sup>3</sup>) som läckagebenägen och adderades till den läckagebenägna sedimentfosfor. Sammantaget visar beräkningarna att det behövs mellan 30 och 55 gram aluminium för att binda denna fosfor, beroende på vilka bottnar som sedimentkärnan representerar.

Norrviken var under mitten på 1900-talet utsatt för en kraftig övergödning (Ahlgren 1978). Detta syns tydligt cirka 0,3 meter ner i sedimenten där fosforhalterna är högre än i yngre (grundare) sedimentlager (0,1 till 0,2 m ner i sedimenten). Detta fenomen komplicerar beräkningen av den läckagebenägna fosfor och det finns risk att mängderna underskattas. Därför rekommenderas att den beräknade aluminiumdosen ökas på till 60 g Al/m<sup>2</sup> för hela ackumulationsbottenarean.

Internbelastningen beräknades till 13 mg P/m<sup>2</sup> och dygn, vilket är ett typiskt värde för näringsrika sjöar. Detta innebär att drygt ett gram fosfatfosfor per kvadratmeter beräknas läcka från sedimenten under sommarstagnationen, vilket utgör mellan 25 och 50 procent av det totala förrådet läckagebenägen fosfor som finns kvar i sedimenten. Majoriteten av den fosfor som läckt ut från sedimenten återförs dock i form av plankton och endast en mindre andel exporteras nedströms.

# Inledning

Sediment i näringsrika sjöar har ofta inte kapacitet nog att binda all fosfor som sedimenterar i form av t ex växtplankton. Under nedbrytningsprocessen av det fosforrika sedimenterande materialet kommer därför en del av fosfor att läcka tillbaka till vattenmassan. Denna process avspeglas i ackumulations sedimentens fosforinnehåll. Ett typiskt näringsrikt sediment håller högst fosforhalt i den översta centimetern sediment. Halten klingar av med ökande sedimentdjup (och ökande ålder) för att stabiliseras någon decimeter ner i sedimenten (Carey & Rydin 2011). Denna stabila, lägre, halt representerar den koncentration med vilket fosfor begravs i sedimentet. Skillnaden mellan den högre fosforkoncentrationen i ytligare lager och den lägre halten i djupare sedimentskikt kan räknas om till en mängd fosfor som kommer att frigöras med tiden – läckagebenägen eller mobil fosfor (Rydin 2000).

Föreliggande undersökning syftar till att kvantifiera internbelastningen i Norrviken för att kunna sätta denna belastning i relation till övriga fosforkällor i sjön och ge ett bra beslutsunderlag för åtgärdsinriktat arbete mot övergödningen. Dessutom beräknas det totala förrådet läckagebenägen fosfor i sedimenten för att ge underlag för aluminiumdosering för att binda denna. Rapporten redovisar resultat av fosformängder i vattenmassan samt vattenhalt, organisk halt, fosforfraktioner och totalfosforhalt i sedimentet. Undersökningen utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Oxundaåns vattensamverkan.

## Metodik

### Fältarbete

#### Sedimentprovtagning

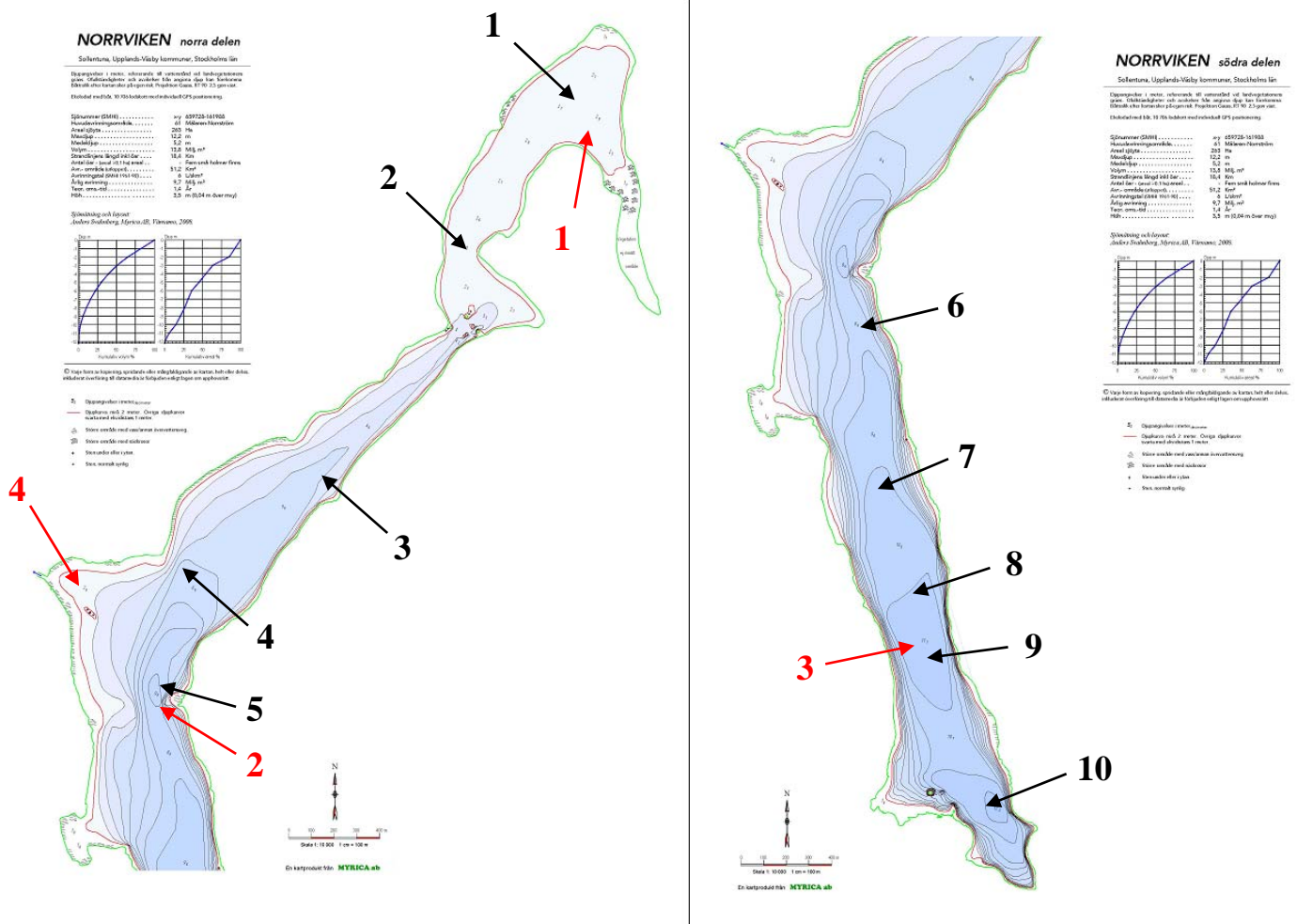
Sedimentprovtagningen utfördes den 8:e oktober 2013. Vid provtagningen togs tio sedimentkärnor fördelas över Norrviken, två i den norra delen av sjön och övriga åtta i den södra delen. Proverna togs på platser som representerar vikarnas bottenområden av finpartikulärt sediment med

förutsättning att frigöra fosfat. Provtagningsdjupet varierade mellan tre och 12 meter (tabell 1).

Provtagningspunkterna dokumenterades med GPS-koordinater (RT90). Punkternas lägen samt djup redovisas i tabell 1 och figur 1. Vid provtagningen mättes även temperatur, syrgashalt och syrgasmättnad i bottenvattnet (bilaga 3).

Tabell 1. Koordinater och djup för provtagningspunkterna i Norrviken 2013.

Sedimentkärna	Koordinater (RT90)		Djup (m)
	X	Y	
1	6599450	1622225	2,7
2	6598780	1621745	2,9
3	6597780	1621050	5
4	6597360	1620550	6
5	6596830	1620390	8,5
6	6596525	1620370	7,5
7	6595825	1620535	9,6
8	6595360	1620655	10,5
9	6595150	1620710	11,4
10	6594370	1621040	11,9



Figur 1. Karta över Norrviken. Svarta pilar markerar provtagningsplatser för sedimentprovtagning och röda för vattenprovtagning.

Sedimentkärnorna togs med en rörprovtagare (Willnerhämtare) med plexiglasrör (figur 2). Röret hade en längd av 50 centimeter och en diameter på 63 millimeter. Sedimentdjupen i proverna varierade från cirka 28-40 centimeter. Kärnorna skiktades i samband med provtagningen i två-centimetertjocka skikt ner till 40 centimeters djup, där så var möjligt.



Figur 2. Provtagning och utrustning för sedimentprovtagning. Foto T. Jansson.

## Vattenprovtagning

Vattenprover togs i vid fyra tillfällen under 2013 (februari, maj, augusti och oktober). Proverna togs med ruttnerhämtare vid fyra punkter i Norrviken (figur 1).

## Analyser

### Sediment

Från de fyra sedimentkärnorna användes sex eller sju skikt som analyserades med avseende på vattenhalt, glödningsförlust och totalfosforhalt. De djupskikt som analyserades var 0-2, 2-4, 6-8, 12-14, 20-22, 30-32 (alternativt 28-30 där detta var det största sedimentdjup som kunde fås) och 38-40 centimeter. I hälften av sedimentkärnorna (kärna 2, 4, 6, 8 och 10) analyserades även fosforfraktioner. Analyserna utfördes av Erkenlaboratoriet (ackrediterade för bland annat analyser av vattenhalt, glödningsförlust, totalfosforhalt samt fosforfraktionering i sediment).



## Vattenkemi

Vattenproverna analyserades bland annat med avseende på löst fosfat och totalfosfor.

## Beräkningar

### Fosforfraktionering

De olika fosforformer som finns bundna i sediment kan delas upp genom så kallad fosforfraktionering (Psenner m.fl. 1988). Sex olika fosforformer kvantifieras genom stegvis extrahering:

1. löst bunden fosfor ( $\text{NH}_4\text{Cl-rP}$ )
2. järnbunden fosfor ( $\text{BD-rP}$ )
3. aluminiumbunden fosfor ( $\text{NaOH-rP}$ )
4. organiskt bunden fosfor ( $\text{NaOH-nrP}$ )
5. kalciumbunden fosfor ( $\text{HCl-rP}$ )
6. residualfosfor (huvudsakligen organiska fosforformer).

Residualfosfor beräknas genom att subtrahera extraherad fosfatfosfor från sedimentets totala fosforinnehåll.

Den läckagebenägna andelen fosfor i sedimenten (det vill säga den fosfor som kan frigöras till vattenmassan) finns i de tre fosforfraktionerna löst bunden fosfor, järnbunden fosfor och organiskt bunden fosfor (Rydin 2000). Organiskt bunden fosfor återfinns både i fraktionen  $\text{NaOH-nrP}$  och i residualfosfor. Dessa former minskar i koncentration med ökande sedimentdjup (ökande ålder) vilket indikerar att de frigörs till vattnet. Men en rest av dessa fosforfraktioner finns kvar även i djupare skikt. Dessa "begravningskoncentrationer" subtraheras från de högre halterna i ytligare sedimentlager för att beräkna mängden läckagebenägen fosfor. Denna frisättningsprocess syns även i den totala fosforhalten i sedimenten vilken minskar med ökande sedimentdjup. I djupare sedimentskikt stabiliseras totalfosfor kring en lägre halt vilket indikerar att frigörelsen av fosfor har upphört och att enbart inerta fosforformer finns kvar.

I Norrvikens sediment klingade inte fosforhalterna av hela vägen med ökande sedimentdjup, utan ökade igen i de djupare sedimentlagren (runt 0,3 m ner i sedimenten). Detta komplicerade identifiering av den andel av den fosfor som mäts som läckagebenägen, men som kommer att begravas i sedimenten. Halterna av läckagebenägen fosfor var som lägst mellan 0,1 och 0,2 meter ner i sedimentprofilerna och medelvärdet av halterna i dessa skikt (12 -14 och 20-22 cm) subtraherades från halterna i de översta 0,2 meterna i sedimentprofilen för att bestämma den läckagebenägna fosfor.

## Aluminiumdosering

Mängden aluminium som krävs för att binda läckagebenägen fosfor var 11 gånger större i en handfull undersökta sediment från aluminiumbehandlade sjöar i Nordamerika (Rydin m fl. 2000). Den omräkningsfaktorn har använts i denna undersökning.

## Internbelastning

Hypolimnions (djupvattnet) tjocklek bestämdes genom att titta på temperaturmätningar som utförts under åren 2003-2010. I medeltal återfanns språngskiktet vid sju meters djup. Halter av fosfor i bottenvatten har uppmätts cirka 0,5 meter från botten. För att beräkna halterna vid övriga djup i hypolimnion har haltförhållanden från Lejondalssjön använts (Arvidsson 2011). Lejondalssjön har liknande djup- och skiktningförhållanden som Norrviken. En procentuell andel av halten 0,5 meter från botten beräknades för djupen åtta, nio och tio meter. Vid beräkningen av hypolimnions volym delades först Norrvikens bottenarea upp i två delar. Område 1 fick representera uppmätta halter vid provpunkt 2 och område 2 fick representera uppmätta halter vid provpunkt 3. Område 1 delades upp i två djupintervall och begränsades ytmässigt av åttameterskurvan från djupkartan över Norrviken (Myrica 2008) medan område 2 delades upp i fyra djupintervall och begränsades av tiometerskurvan. Totalfosfor- och fosfatfosforinnehållet inom varje djupintervall beräknades genom att multiplicera den uppmätta/beräknade halten med volymen från respektive område.

För att kvantifiera läckaget av fosfat från bottensedimenten användes ackumuleringen av fosfat i bottenvattnet under sommaren 2012 och 2013. Den uppmätta fosfathalten i bottenvattnet (0,5 meter ovan botten) i augusti 2012 och 2013 vid station 1, 2 och 3 (figur 1) antogs avklinga linjärt mot språngskiktet vid sju meter där fosfathalten antogs vara noll. De beräknade halterna i bottenvattnets olika skikt summerades för att erhålla den totala massan fosfatfosfor under språngskiktet. Denna massa delades med sjöns bottenarea (under språngskiktet; 60 ha) och med den tid som ackumulering av allt att döma har pågått sedan vårblomningen sedimenterat ut och sjön börjar skiktas (90 dagar) för att uttrycka internbelastningen i  $\text{mg P/m}^2$  och dygn.

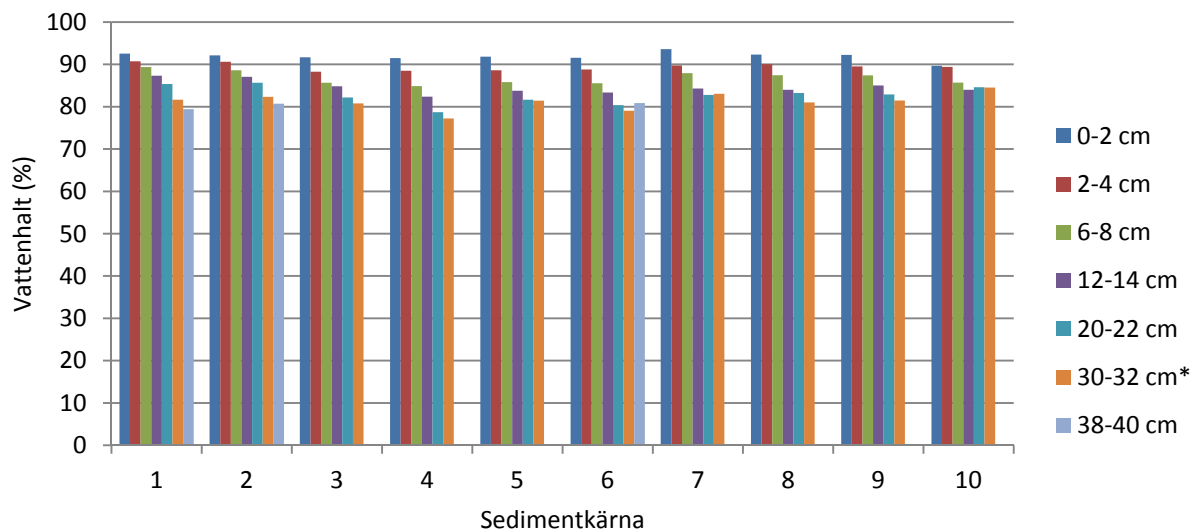
# Resultat

## Sedimentbeskrivning

Materialet i de tio undersökta sedimentkärnorna i Norrviken bestod av brun eller gråbrun findetritusgyttja ned till cirka 10-16 centimeters sedimentdjup. I sedimentkärna 10 var det översta skiktet (0-2 cm) mycket löst. Därefter övergick sedimentet i samtliga kärnor till fastare brun eller brunrå lergyttja. Från drygt 20 centimeters djup bestod sedimentet av gytjelera. Inga svavelbakterier eller svavellukt noterades.

## Vattenhalt

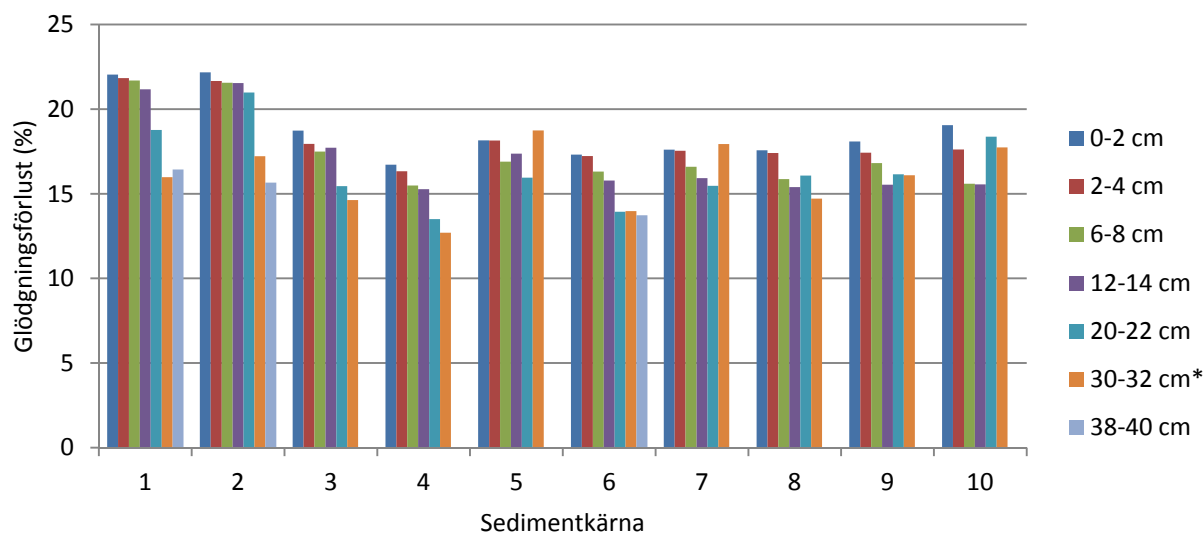
I de undersökta skikten var vattenhalten högst (90-94 %) i ytskiktet (0-2 cm) och minskade till 77-85 procent i de djupaste skikten (28-30, 30-32 respektive 38-40 cm). Vattenhalten var mycket lika i de tio sedimentkärnorna (figur 3). Kärna 10 avvek något och innehöll något högre vattenhalt i de två nedre skikten. Låg vattenhalt (<80 %) i ytsediment tyder på botten av transportkaraktär. Detta var inte fallet på de bottenområden som undersökts i föreliggande undersökning.



Figur 3. Vattenhalt (%) i de undersökta skikten (0-2, 2-4, 6-8, 12-14, 20-22, 30-32 och 38-40 cm) från de tio sedimentkärnorna i Norrviken 2013. \*I sedimentkärna 5, 7 och 9 analyserades skikt 28-30 cm istället för 30-32 cm då detta var det djupaste skiktet i dessa kärnor.

## Organisk andel

Den organiska andelen av torrsubstansen (glödgningsförlusten) minskade generellt sett med ökat sedimentdjup (figur 4). De två sedimentkärnor som togs i Norrvikens norra del innehöll större mängder organiskt material än övriga kärnor. I övrigt var glödgningsförlusten liknade i samtliga kärnor.

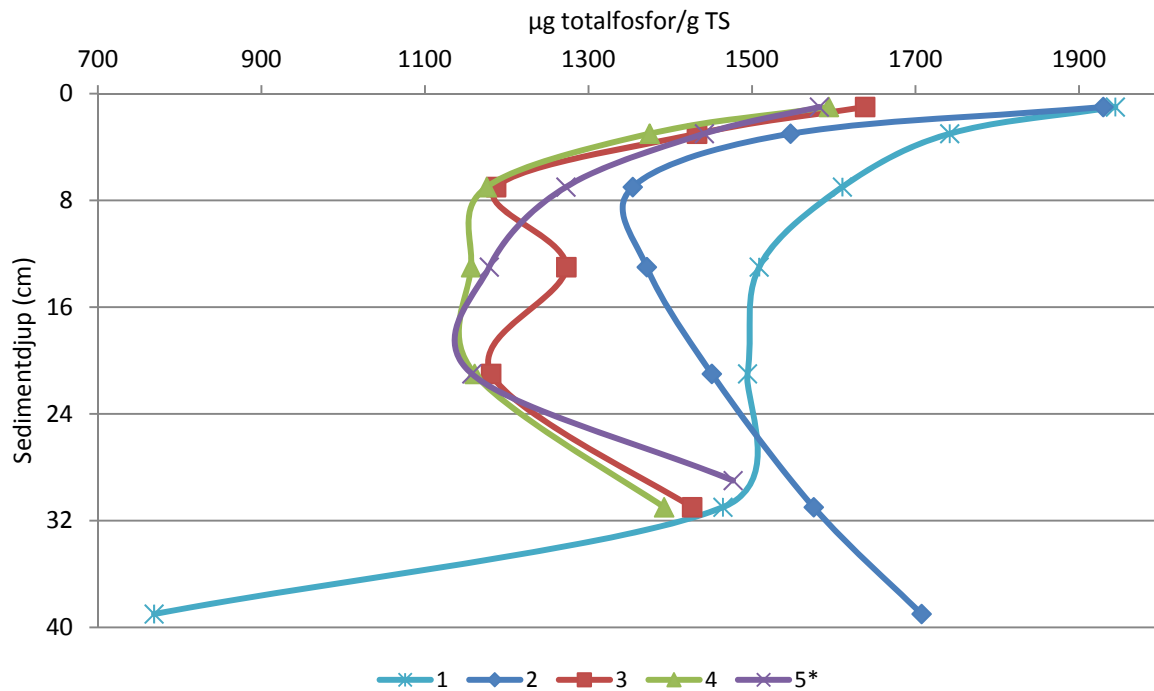


Figur 4. Glödgningsförlust (%) i de undersökta skikten (0-2, 2-4, 6-8, 12-14, 20-22, 30-32 och 38-40 cm) från de tio sedimentkärnorna i Norrviken 2013. \*I sedimentkärna 5, 7 och 9 analyserades skikt 28-30 cm istället för 30-32 cm då detta var det djupaste skiktet i dessa kärnor.

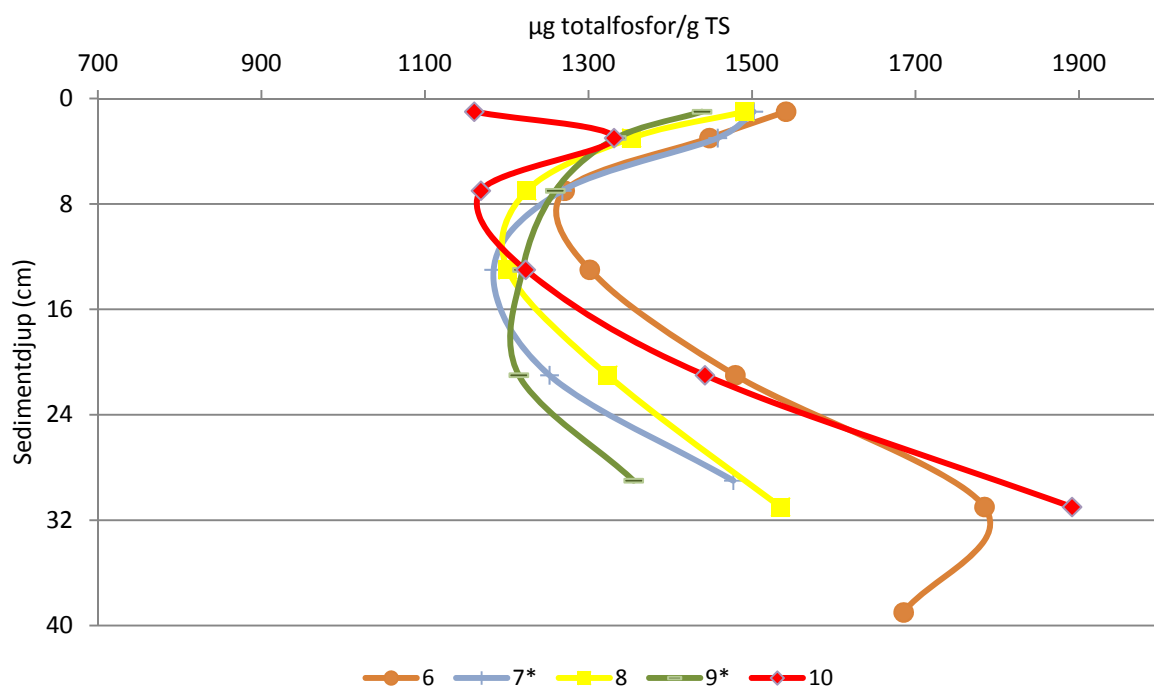
## Totalfosfor i sedimentet

I samtliga sedimentkärnor klingar totalfosforhalten av från ytan till mellan 0,1 och 0,2 meter. Därefter börjar koncentrationen öka i alla kärnor, utom i den norra delen av sjön (i kärna 1) där halten fortsatt minskade.

Totalfosforhalten låg mellan cirka 1100 och 1900  $\mu\text{g/g}$  TS (torrsubstans). Samtliga halter i respektive sedimentkärna och skikt redovisas i figur 5 och 6 samt i bilaga 1.



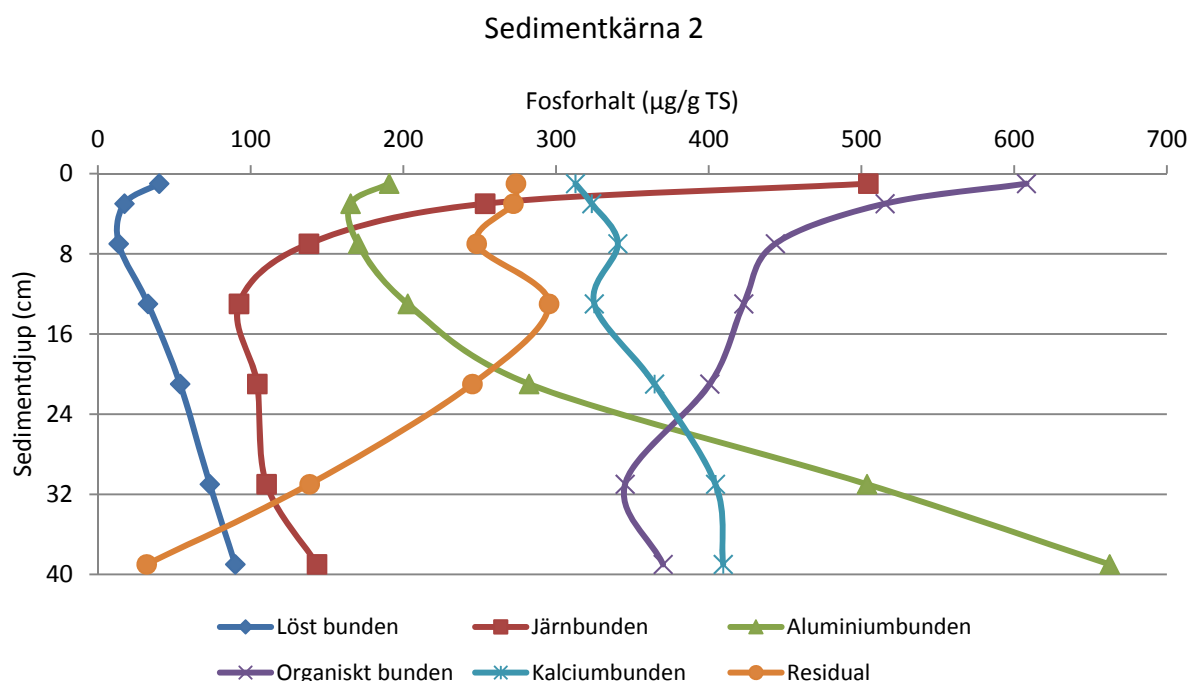
Figur 5. Totalfosforhalt i de undersökta skikten (0-2, 2-4, 6-8, 12-14, 20-22, 30-32 och 38-40 cm) från fem av sedimentkärnorna (1, 2, 3, 4 och 5) i Norrviken 2013. \*I sedimentkärna 5 analyserades skikt 28-30 cm istället för 30-32 cm då detta var det djupaste skiktet i denna kärna.



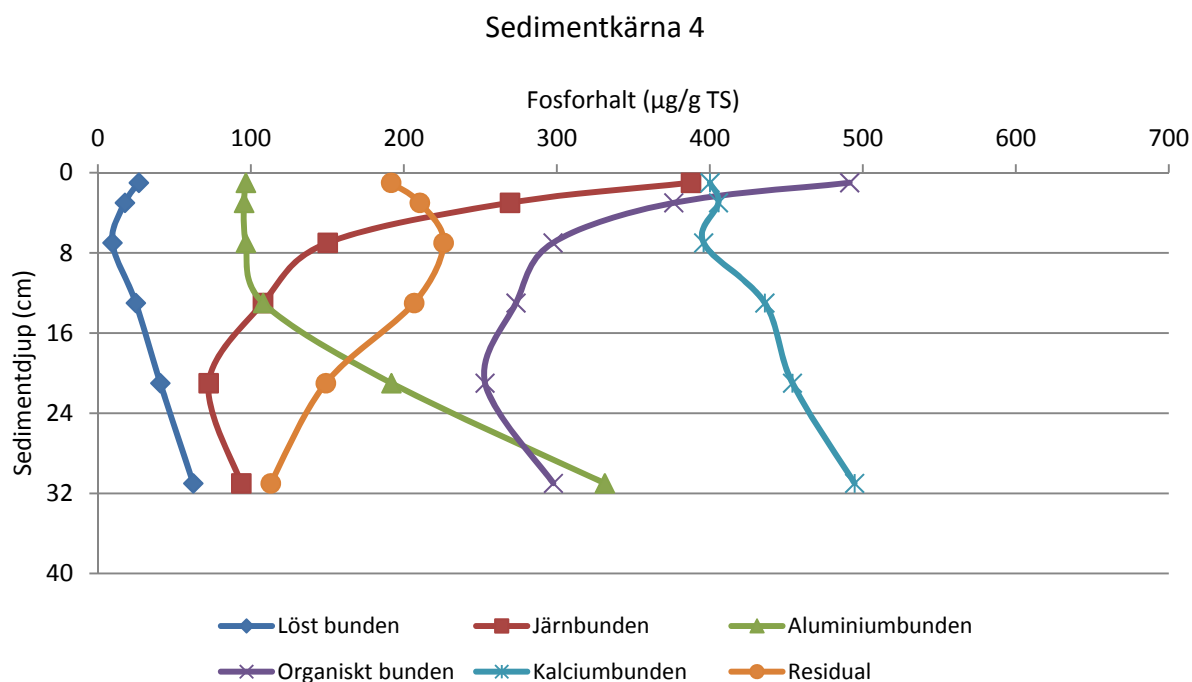
Figur 6. Totalfosforhalt i de undersökta skikten (0-2, 2-4, 6-8, 12-14, 20-22, 30-32 och 38-40 cm) från fem av sedimentkärnorna (6, 7, 8, 9 och 10) i Norrviken 2013. \*I sedimentkärna 7 och 9 analyserades skikt 28-30 cm istället för 30-32 cm då detta var det djupaste skiktet i dessa kärnor.

## Fosforfraktioner

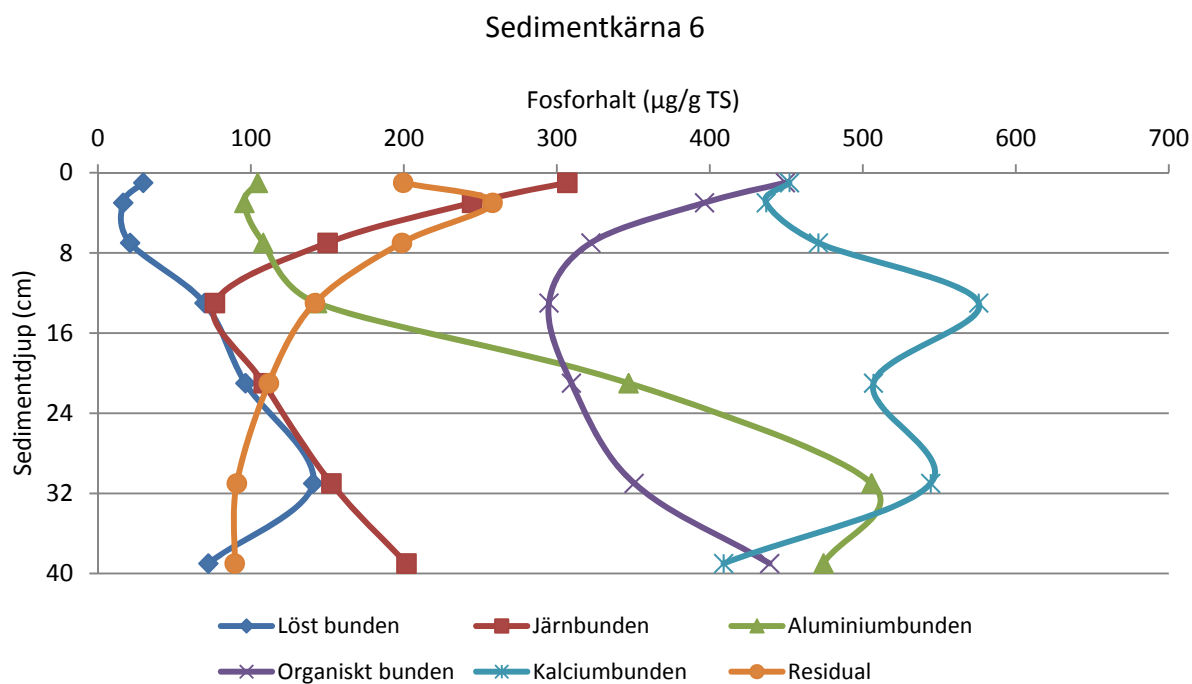
Generellt sett stod organiskt bunden fosfor (fraktionerna NaOH-rP och residualfosfor) för den största delen av fosforhalten (i genomsnitt ca 40 %). Även den kalciumbundna fosforfraktionen (HCl-rP) upptog en stor del av den totala fosforhalten i sedimenten (i genomsnitt ca 30 %). Sammantaget innebär detta att nästan hälften av förrådet av fosfor som kan frigöras till vattenmassan utgörs av de organiskt bundna fosforformerna. Den organiskt bundna fosfor i residualfraktionen minskade generellt sett med ökat sedimentdjup medan de övriga fraktionerna (löst bunden, järnbunden och aluminiumbundna fosfor) minskade eller låg på ungefär samma halt ner till cirka 10-20 centimeters sedimentdjup för att sedan öka. Detta var framförallt tydligast för den aluminiumbundna fosfor (figur 7-11). Samtliga värden från fosforfraktioneringen redovisas i bilaga 2.



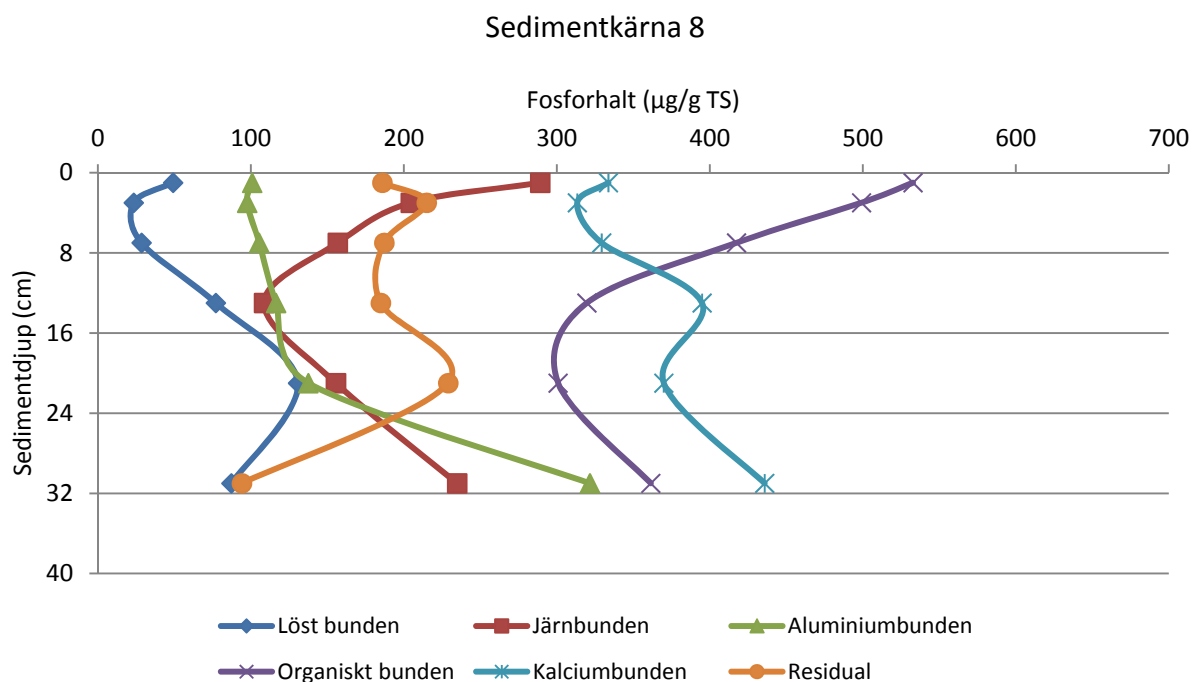
Figur 7. Fosforhalt ( $\mu\text{g/g TS}$ ) per fraktion i sedimentkärna 2 från Norrviken 2013.



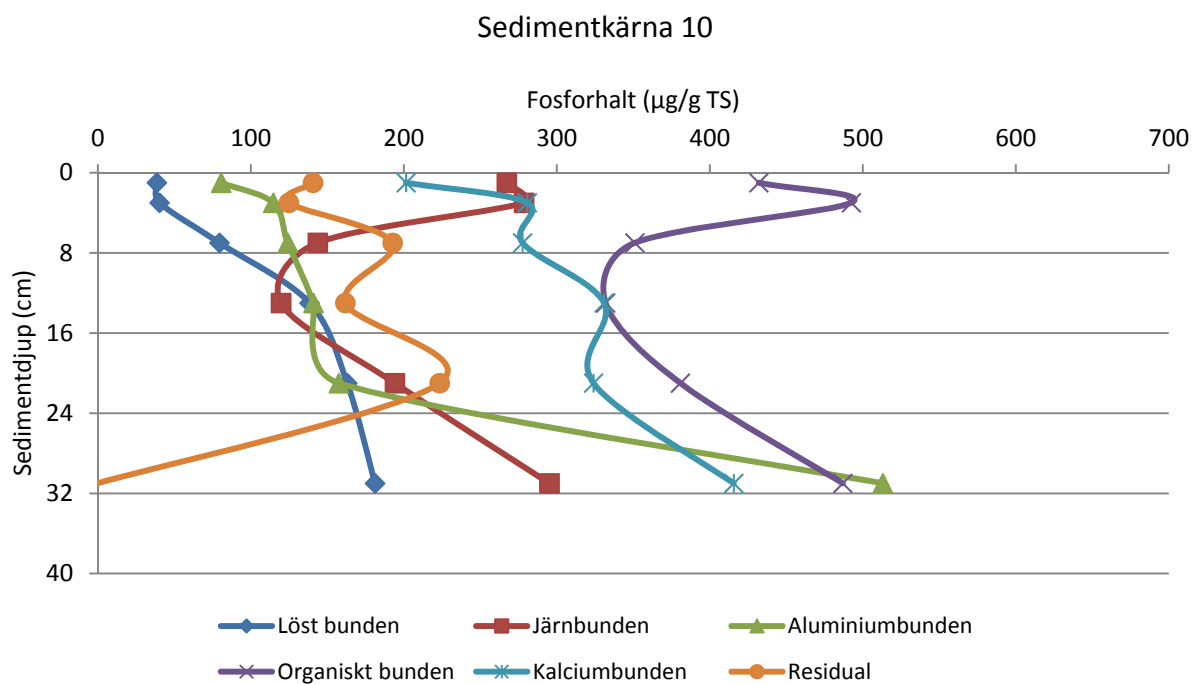
Figur 8. Fosforhalt (µg/g TS) per fraktion i sedimentkärna 4 från Norrviken 2013.



Figur 9. Fosforhalt (µg/g TS) per fraktion i sedimentkärna 6 från Norrviken 2013.



Figur 10. Fosforhalt ( $\mu\text{g/g TS}$ ) per fraktion i sedimentkärna 8 från Norrviden 2013.



Figur 11. Fosforhalt ( $\mu\text{g/g TS}$ ) per fraktion i sedimentkärna 10 från Norrviden 2013.



## Rörlig fosfor och aluminiumdosering

Bakgrundshalterna i de fem kärnor som analyserats med avseende på fosforfraktionering beräknades för de läckagebenägna fosforformerna och redovisas i tabell 2. Den läckagebenägna mängden fosfor i sedimenten var relativt låg och varierade mellan 1,8 och 4,0 g/m<sup>2</sup> i de fem undersökta kärnorna (tabell 3). Den rörliga mängden fosfor var lägst i sedimentkärna 10 (i den sydligaste delen av sjön). I tabell 4 redovisas mängden aluminium som beräknats för att kunna binda den läckagebenägna fosfor. I denna beräkning har även hänsyn tagits till totalfosforhalten i vattenmassan. Vid tillfället för sedimentprovtagningen var totalfosforhalten cirka 100 µg/l vilket motsvarar cirka ett gram fosfor per kvadratmeter i en tio meter djup vattenpelare.

Tabell 2. Bakgrundshalter av fosfor (µg/g TS) som extraheras som läckagebenägen i de sedimentkärnor som analyserades med avseende på fosforfraktionering i Norrviken 2013.

Sediment-kärna	Löst bunden NH <sub>4</sub> Cl-P (µg/g TS)	Järnbunden BD-P (µg/g TS)	Organiskt bunden NaOH org-P (µg/g TS)	Residual Rest-P (µg/g TS)
2	43	98	412	270
4	33	90	263	178
6	83	92	302	127
8	104	132	310	207
10	151	157	356	193

Tabell 3. Läckagebenägen fosfor (g/m<sup>2</sup>) i de sedimentkärnor som analyserades med avseende på fosforfraktionering i Norrviken 2013.

Sediment-kärna	Löst bunden NH <sub>4</sub> Cl-P (g/m <sup>2</sup> )	Järnbunden BD-P (g/m <sup>2</sup> )	Organiskt bunden NaOH org-P (g/m <sup>2</sup> )	Residual Rest-P (g/m <sup>2</sup> )	Summa (g/m <sup>2</sup> )
2	0,0	1,4	0,9	0,1	2,5
4	0,1	1,9	1,2	0,8	4,0
6	0,1	1,4	0,8	1,3	3,6
8	0,1	0,7	1,8	0,1	2,8
10	0,1	0,8	0,8	0,2	1,8

Tabell 4. Läckagebenägen fosfor i sedimenten och i vattenmassan samt beräknad mängd aluminium för att binda denna.

Sediment-kärna	Läckagebenägen fosfor (g/m <sup>2</sup> )	Fosfor i vattenmassan (g/m <sup>2</sup> )	Summa (g/m <sup>2</sup> )	Aluminiumdos (g/m <sup>2</sup> )
2	2,5	1	3,5	38
4	4,0	1	5,0	55
6	3,6	1	4,6	51
8	2,8	1	3,8	42
10	1,8	1	2,8	31

## Internbelastning

Under sommaren 2012 beräknades 700 kg fosfatfosfor ha läckt från bottensedimenten. Motsvarande siffra för 2013 var 656 kg. Medelvärdet av dessa två år (678 kg) fördelat över sjöns bottnar under språngskiktet (60 ha) innebär att i genomsnitt har 1,1 g fosfatfosfor/m<sup>2</sup> lämnat sedimenten. Fördelat över de tre sommarmånaderna (90 dygn) innebär det ett flöde på 13 mg P/m<sup>2</sup> och dygn.

## Diskussion

### Sedimenten

Totalfosforhalten klingar av ned till mellan 0,1 och 0,2 meter i alla tio sedimentkärnor för att åter börja öka i koncentration djupare ner i sedimenten (med undantag för halten i kärna 1 som fortsatt minskade). Denna ökning består till stor del av fosfor som extraheras som aluminiumbunden. Den aluminiumbundna fosfor ökar kontinuerligt med ökande sedimentdjup i alla sedimentkärnor. Detta fenomen kan antingen förklaras med att tillförseln av aluminium (eller aluminiumbunden fosfor) har klingat av under det knappa sekel som sedimentprofilerna förmodligen representerar. En annan förklaring är att Norrvikens sediment har förmågan att med tiden omvandla fosfor till hårt bundna former som extraheras som aluminiumbunden fosfor. Denna i så fall självläkande förmåga är mindre vanlig bland näringsrika sjöar. Naturligt ökande halter av aluminiumbunden fosfor med ökande sedimentdjup är vanligtvis utmärkande för näringsfattiga sjöar. Norrviken kan ha varit näringsfattig innan den externa belastningen drev den till ett näringsrikt tillstånd.

Den beräknade mängden läckagebenägen sedimentfosfor kan ha underskattats på två sätt, dels genom att bakgrundshalterna kan ha överskattats (vilket innebär att den andel som ingår i den läckagebenägna poolen underskattas), dels genom att det inte kan uteslutas att det fortfarande läcker från djupare sedimentlager.

Sedimentprovtagningen gjordes under höstomblandningen och totalfosforhalterna var då cirka 100 µg P/l i hela vattenmassan. Majoriteten av den fosfor är av allt att döma organiskt bunden som höstblommade växtplankton, vilka sedimenterar ut under senhösten och bidrar till sedimentens förråd av organiskt bunden och mobiliserbar

(läckagebenägen) fosfor. Den fosfor bör alltså adderas till den läckagebenägna sedimentfosfor för att beräkna hur mycket aluminium som behövs för att binda all den fosfor som med tiden annars skulle frigöras till vattenmassan. Ett överslag ger vid handen att den fosformängden i en tio meter hög vattenpelare motsvarar 1 g P/m<sup>2</sup>. Denna fosfor adderades till den läckagebenägna fosfor vid alla sedimentprovtagningsstationer (oavsett djup) och resulterade i en aluminiumdos på mellan 30 och 55 gram Al/m<sup>2</sup>. På grund av risken att mängden läckagebenägen fosfor underskattas i beräkningarna rekommenderas dock att den beräknade aluminiumdosen ökas till 60 gram Al/m<sup>2</sup> för hela ackumulationsbottenarean.

## Internbelastningen

Den beräknade internbelastningen (13 mg P/m<sup>2</sup> och dygn) är ett typiskt värde för näringsrika sjöar (Nürnberg 1988). Flödet är dock mer än dubbelt så högt som i mitten på 1970-talet, då internbelastningen bestämdes till 5 mg P/m<sup>2</sup> och dygn (Ulen 1976). En osäkerhet i beräkningen som nu är gjord av internbelastningen är antagandet att den uppmätta fosfatkoncentrationen i bottenvattnet klingar av linjärt mot språngskiktet. Det kan också vara så att fosfathalten minskar snabbare än ett linjärt förlopp mot språngskiktet, vilket skulle betyda att det har ackumulerats mindre fosfatfosfor i vattenmassan under språngskiktet än de 686 kg som används i beräkningarna.

De drygt ett gram fosfatfosfor per kvadratmeter som beräknas läcka från sedimenten under sommarstagnationen utgör mellan 25 och 50 procent av det totala förrådet läckagebenägen fosfor som finns kvar i sedimenten (tabell 4). Att en så pass stor andel av det totala förrådet läckagebenägen sedimentfosfor lämnar sedimenten under en sommarstagnation innebär ändå inte att sedimenten inom några år har uttömts på läckagebenägen fosfor. Majoriteten av den fosfor som läckt ut från sedimenten återförs i form av plankton och endast en mindre andel (beroende på vattenomsättningen i sjön) exporteras nedströms årligen. Dessutom tillförs ny fosfor från sjöns avrinningsområde, men med hjälp av beräkningen av den interna belastningen kan denna sättas i relation till den externa belastningen i sjön.

# Referenser

Ahlgren, I. 1978. Response of Lake Norrviken to reduced nutrient loading. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 20: 846–850.

Carey, C & E. Rydin. 2011. Lake trophic status can be determined by the depth distribution of sediment phosphorus. *Limnol. Oceanogr.*, 56(6): 2051–2063.

Nürnberg, G. 1988. Prediction of phosphorus release rates from total and reductant soluble phosphorus in anoxic lake sediments. *Ca. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 453-462.

Psenner, R., Boström, B., Dinka, M., Pettersson, K., Pucsko, R. & M. Sager. 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 30: 98-109.

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

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

Ulen, B. 1978. Seston and sediment in Lake Norrviken –III. Nutrient release from sediment. *Schweiz. Z. Hydrol.* 40: 287-305.

# Bilaga 1. Grundanalyser

I tabellen nedan redovisas vattenhalt, glödningsförlust och totalfosforhalt för samtliga analyserade skikt från sedimentkärnorna i Norrviken 2013.

Sediment-kärna	Djup (m)	Skikt (cm)	Vattenhalt (%)	Glödningsförlust (%)	Totalfosfor ( $\mu\text{g/g TS}$ )
1	2,7	0-2 cm	93	22	1944
1	2,7	2-4 cm	91	22	1742
1	2,7	6-8 cm	89	22	1610
1	2,7	12-14 cm	87	21	1509
1	2,7	20-22 cm	85	19	1494
1	2,7	30-32 cm	82	16	1464
1	2,7	38-40 cm	79	16	769
2	2,9	0-2 cm	92	22	1930
2	2,9	2-4 cm	91	22	1547
2	2,9	6-8 cm	89	22	1354
2	2,9	12-14 cm	87	22	1371
2	2,9	20-22 cm	86	21	1451
2	2,9	30-32 cm	82	17	1575
2	2,9	38-40 cm	81	16	1707
3	5,0	0-2 cm	92	19	1638
3	5,0	2-4 cm	88	18	1433
3	5,0	6-8 cm	86	17	1187
3	5,0	12-14 cm	85	18	1273
3	5,0	20-22 cm	82	15	1181
3	5,0	30-32 cm	81	15	1427
4	6,0	0-2 cm	91	17	1594
4	6,0	2-4 cm	89	16	1375
4	6,0	6-8 cm	85	15	1176
4	6,0	12-14 cm	82	15	1156
4	6,0	20-22 cm	79	14	1161
4	6,0	30-32 cm	77	13	1392
5	8,5	0-2 cm	92	18	1582
5	8,5	2-4 cm	89	18	1442
5	8,5	6-8 cm	86	17	1272
5	8,5	12-14 cm	84	17	1179
5	8,5	20-22 cm	82	16	1157
5	8,5	28-30 cm	81	19	1477

Sediment- kärna	Djup (m)	Skikt (cm)	Vattenhalt (%)	Glödgningsförlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)
6	7,5	0-2 cm	92	17	1542
6	7,5	2-4 cm	89	17	1448
6	7,5	6-8 cm	86	16	1271
6	7,5	12-14 cm	83	16	1302
6	7,5	20-22 cm	80	14	1480
6	7,5	30-32 cm	79	14	1784
6	7,5	38-40 cm	81	14	1685
7	9,6	0-2 cm	94	18	1502
7	9,6	2-4 cm	90	18	1458
7	9,6	6-8 cm	88	17	1268
7	9,6	12-14 cm	84	16	1184
7	9,6	20-22 cm	83	15	1252
7	9,6	28-30 cm	83	18	1477
8	10,5	0-2 cm	92	18	1491
8	10,5	2-4 cm	90	17	1353
8	10,5	6-8 cm	87	16	1225
8	10,5	12-14 cm	84	15	1201
8	10,5	20-22 cm	83	16	1323
8	10,5	30-32 cm	81	15	1535
9	11,4	0-2 cm	92	18	1439
9	11,4	2-4 cm	90	17	1334
9	11,4	6-8 cm	87	17	1259
9	11,4	12-14 cm	85	16	1219
9	11,4	20-22 cm	83	16	1215
9	11,4	28-30 cm	81	16	1355
10	11,9	0-2 cm	90	42	1160
10	11,9	2-4 cm	89	18	1331
10	11,9	6-8 cm	86	16	1168
10	11,9	12-14 cm	84	16	1223
10	11,9	20-22 cm	85	18	1442
10	11,9	30-32 cm	85	18	1891

## Bilaga 2. Fosforfraktioner

I tabellen nedan redovisas de sex olika fosforfraktionerna: NH<sub>4</sub>Cl-rP (löst bunden fosfor), BD-rP (järnbunden fosfor), NaOH-rP (aluminiumbunden fosfor), NaOH-nrP (organiskt bunden fosfor), HCl-rP (kalciumbunden fosfor) och residualfosfor (huvudsakligen organiska fosforformer) för undersökta skikt från sedimentkärnorna i Norrviken 2013.

Sediment- kärna	Djup (m)	Skikt (cm)	Löst bunden NH <sub>4</sub> Cl-rP (µg/g TS)	Järnbunden BD-rP (µg/g TS)	Aluminiumbunden NaOH-rP (µg/g TS)	Organiskt bunden NaOH-nrP (µg/g TS)	Kalciumbunden HCl-rP (µg/g TS)	Residual Rest-P (µg/g TS)
2	2,9	0-2	40	504	191	608	313	274
2	2,9	2-4	17	254	165	515	323	272
2	2,9	6-8	14	138	170	444	340	248
2	2,9	12-14	33	92	203	423	325	295
2	2,9	20-22	54	104	282	401	364	245
2	2,9	30-32	73	110	504	345	404	139
2	2,9	38-40	90	143	663	370	409	32
4	6,0	0-2	27	388	97	491	400	192
4	6,0	2-4	18	269	96	376	406	210
4	6,0	6-8	9	150	97	297	396	226
4	6,0	12-14	25	108	108	273	436	207
4	6,0	20-22	41	72	192	253	454	149
4	6,0	30-32	62	94	331	298	495	113

Sediment- kärna	Djup (m)	Skikt (cm)	Löst bunden	Järnbunden	Aluminiumbunden	Organiskt bunden	Kalciumbunden	Residual
			NH <sub>4</sub> Cl-rP (µg/g TS)	BD-rP (µg/g TS)	NaOH-rP (µg/g TS)	NaOH-nrP (µg/g TS)	HCl-rP (µg/g TS)	Rest-P (µg/g TS)
6	7,5	0-2	30	307	104	449	452	200
6	7,5	2-4	16	245	96	396	437	258
6	7,5	6-8	21	150	108	322	471	199
6	7,5	12-14	70	76	143	295	576	142
6	7,5	20-22	96	108	347	309	507	112
6	7,5	30-32	141	153	506	350	544	91
6	7,5	38-40	72	202	474	439	409	89
8	10,5	0-2	49	289	101	533	334	186
8	10,5	2-4	23	204	98	499	313	215
8	10,5	6-8	28	157	105	417	329	187
8	10,5	12-14	77	109	116	320	395	185
8	10,5	20-22	131	156	137	301	370	229
8	10,5	30-32	87	235	322	361	436	94
10	11,9	0-2	38	267	81	432	201	141
10	11,9	2-4	40	279	115	492	281	125
10	11,9	6-8	79	144	124	351	278	193
10	11,9	12-14	138	120	141	332	331	162
10	11,9	20-22	163	194	157	381	324	223
10	11,9	30-32	181	295	513	487	416	0



## Bilaga 3. Vattenkemi

I tabellen nedan redovisas temperatur, syrgashalt och syrgasmättnad från vattenmätningarna i samband med sedimentprovtagningen 2013.

Sedimentkärna	Temperatur (°C)	O <sub>2</sub> (mg/l)	O <sub>2</sub> (%)
1	10,3	9,6	86
2	10,3	9,3	83
3	10,7	8,6	78
4	11,3	7,7	70
5	11,4	7,4	68
6	11,4	7,2	65
7	11,1	5,7	52
8	11,0	6,5	59
9	11,0	6,0	55
10	11,1	5,8	53