



Fosfor i Långsjöns sediment – källan till höga fosforhalter i vattnet?



Fosfor i Långsjöns sediment – källan till höga fosforhalter i vattnet?

Författare: Emil Rydin och Mia Arvidsson

2015-11-05

Rapport 2015:28

Naturvatten i Roslagen AB

Norra Malmavägen 33

761 73 Norrtälje

0176 – 22 90 65

SAMMANFATTNING	4
INLEDNING	6
METODIK	6
PROVTAGNING	6
BERÄKNINGAR	8
RESULTAT	9
SEDIMENTBESKRIVNING	9
VATTENHALT	9
ORGANISK HALT (GLÖDGNINGSFÖRLUST)	10
TOTALFOSFOR	11
FOSFORFRAKTIONER	12
LÄCKAGEBENÄGEN FOSFOR OCH ALUMINIUMDOSERING	14
JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE SEDIMENTUNDERSÖKNING	15
POTENTIELLA FOSFORKÄLLOR	16
<i>Historiskt och nuvarande tillstånd</i>	16
<i>Extern belastning</i>	18
<i>Intern belastning</i>	19
<i>Läckage av avloppsvatten</i>	20
<i>Läckage från sedimentationsanläggning (Dunker)</i>	20
<i>Dagvatten från Blomsterlandet</i>	21
FÖRSLAG PÅ FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	21
REFERENSER	23
BILAGA 1. GRUNDLÄGGANDE ANALYSER	24
BILAGA 2. FOSFORFRAKTIONER	26

Sammanfattning

Denna rapport redogör för en sedimentundersökning (inkluderande sedimentbeskrivningar, vattenhalt, glödgningsförlust, totalfosfor- och fosforfraktionshalter) i Långsjöns sediment i augusti 2015 och jämför resultaten med en liknande undersökning 1989. Rapporten redovisar vidare potentiella fosforkällor till Långsjön och en beräkning av aluminiumdos för att åtgärda läckage av sedimentfosfor. Syftet är att om möjligt bringa klarhet i orsaken till den plötsliga ökningen av fosforhalten som uppmätts i sjön 2014 och 2015. Uppdraget utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Nacka kommun, miljöenheten.

Fosfor som ansamlats i en sjös sediment kan under vissa förhållanden börja läcka så att fosforhalterna i vattenmassan ökar. Undersökningarna i Långsjön visar att mängderna läckagebenägen sedimentfosfor är måttliga. Fosforhalterna i vattnet har också varit stabila under de senaste decennierna, vilket tyder på att sedimenten inte har haft perioder när läckaget plötsligt har ökat kraftigt (till exempel vid perioder med syrebrist i bottenvattnet).

Under 2014 uppmätts dock mycket höga fosforhalter i vattnet och fosforhalterna fortsatte att öka under 2015. Fosforhalten i ytvattnet låg vid kommunens provtagning i mars 2015 mer än 20 gånger över det normala under perioden 1979-2013. Sjöns vattenmassa har normalt innehållit 4-5 kg fosfor. De ökade halterna 2014 och 2015 har medfört att ytterligare 140 kg fanns i vattnet i mars 2015. (Vid provtagning i augusti var det 120 kg). Dessutom har vattenomsättningen i sjön medfört att minst 50 kg fosfor lämnat sjön via utloppet under 2014-2015.

Den ökade fosformängden skulle kunna komma från läckage från bottarna. Ett argument mot det är dock att sjön inte har någon historia av tidigare fosforläckage under perioder med syrebrist. Läckage från bottnar brukar dessutom ske under någon månad i slutet av en sommar eller efter en lång isvinter, medan den kraftfulla ökningen av Långsjöns fosforhalter har pågått under minst ett år.

Vilka andra möjliga källor finns då? Läckage från avloppsvatten eller via dagvatten från Blomsterlandet är inte troliga källor, bland annat eftersom sådana utsläpp även borde ha medfört en kraftig ökning av kvävehalterna. Enligt vår bedömning är det inte heller troligt att

sediment från Dunkeranläggningen (dagvattenanläggningen i sjöns västra, avsnörda vik) är källan.

Det är värt att notera att tillfälliga extremt höga fosforvärden mättes upp i en dagvattenbrunn och i ett grundvattenrör 2009 och 2010, dock utan att någon påverkan på sjön syntes – en fingervisning om att okända fosforkällor kan finnas i området.

Att binda fosfor med löst aluminium är en kostnadseffektiv metod för att hejda läckage från botten. Innan en sådan behandling sätts in bör dock källan till fosforhalterna 2014 och 2015 klarläggas. Om det finns en specifik utsläppskälla som inte åtgärdas först kommer effekten av fällning med aluminium att bli kortvarig.

Ett tätare provtagningsprogram rekommenderas för att följa fosfordynamiken både i tillrinnande vatten (dagvatten) och i Långsjöns vattenmassa. Målet måste vara att få ett tillräckligt säkert svar på vad som orsakat den drastiska ökningen av fosforhalten i vattnet, och att därmed kunna välja rätt metod för att minska den.

Inledning

Stora mängder näringsämnen finns lagrat i sedimenten i de djupare delarna av sjöar och vikar där finpartikulärt organiskt material (t.ex. växtplankton och humus) anhopas. Den primära källan av fosfat till vattnet utgörs ofta av nedbrytning av fosforrikt organiskt material i sedimenten (som till exempel växtplankton). Läckaget av fosfat till vattnet regleras sedan ofta av syresituationen i sedimentytan. När anaeroba förhållanden (syrgasbrist) inträffar reduceras järnoxider och en puls av fosfat når bottenvattnet genom diffusion. Med inblandning av aluminium fås en fosforbindning som fungerar även under syrefria förhållanden. Fosfor som har potential att frigöras från sediment kan även beskrivas som läckagebenägen, rörlig, labil eller mobil fosfor.

Att kvantifiera den fosfor som med tiden kommer att frigöras från sedimenten ger (tillsammans med övrig belastning) underlag för att förutsäga en framtida belastningssituation och vilken effekt olika åtgärder i avrinningsområdet och i sjön har på vattenkvaliteten.

Rapporten redovisar resultat av vattenhalt, organisk halt (glödningsförlust), totalfosfor- och fosforfraktionshalter i Långsjöns sediment med syftet att utgöra underlag till åtgärdsprogram samt beräkna aluminiumdos för att åtgärda läckaget av sedimentfosfor och utreda skillnader i sedimentens fosforinnehåll 2015 jämfört med 1989, för att om möjligt bringa klarhet i orsaken till den plötsliga ökning av fosforhalten som uppmätts i sjön. Vidare kvantifieras och bedöms andra möjliga fosforkällor i Långsjön. Uppdraget utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Nacka kommun, miljöenheten.

Metodik

Provtagning

Sedimentprovtagningen utfördes den 2 september 2015 av Thomas Jansson (Naturvatten AB). Proverna i Långsjön togs vid samma lokaler som vid en tidigare sedimentundersökning från 1989 (Pettersson 1989) samt i Dunkeranläggningen i sjöns västra del. Sammantaget togs sex sedimentproppar (fem i Långsjön och en i Dunkeranläggningen).

Sediment hämtades från 1,7–6,0 meters djup. Proverna togs på platser som representerar sjöarnas bottenområden av finpartikulärt sediment med förutsättning att frigöra fosfat. Sjön dokumenterades med foton och provtagningspunkterna med GPS-koordinater (RT90). Punkternas lägen samt djup redovisas i Figur 1 och Tabell 1.



Figur 1. Karta över Långsjön. Pilarna markerar de platser där sedimentkärnor hämtats.

Tabell 1. Koordinater och djup för provtagningsstationerna.

Lokal	Prov	Koordinater (RT90)		Djup (m)
		X	Y	
Långsjön	1	6578630	1635605	5,8
Långsjön	2	6578645	1635675	6,0
Långsjön	3	6578680	1635775	5,5
Långsjön	4	6578690	1635875	4,8
Långsjön	5	6578705	1635935	4,2
Långsjön (Dunker)	6	6578610	1635495	1,7

Sedimentpropparna togs med en rörprovtagare (Willnerhämtare) med plexiglasrör (Figur 2). Röret hade en längd av 50 centimeter och en diameter på 63 millimeter. Sedimentkärnorna skiktades i samband med provtagningen i 2 cm tjocka skikt. Skikten 0-2, 2-4, 8-10, 14-16, 22-24

och 32-34 cm analyserades med avseende på vattenhalt, glödningsförlust och sedimentens totalfosforhalt i alla kärnor. Fosforfraktioner analyserades i kärna L1, L3, L5 och L6 i skikten 0-2, 2-4, 8-10, 22-24 och 32-34 cm. Analyserna utfördes av Erkenlaboratoriet, ackrediterade för bland annat analyser av vattenhalt, glödningsförlust, fosforfraktionering och totalfosforhalt i sediment.



Figur 2. Provtagning och skiktning av sedimentproppar. Foto T. Jansson.

Beräkningar

Den läckagebenägna fosfor kvantifierades genom att totalfosforkoncentrationen i de djupare sedimentskikten som representerar den så kallade "begravningskoncentrationen" (oftast medel av halterna i 14-15, 24-25 och i 34-35 cm lagret) subtraherades från de högre halterna i ytligare sedimentlager i varje enskild kärna. Skillnaden anses utgöra summan av den fosfor som kommer att frigöras med tiden (Rydin 2000) och benämns här läckagebenägen fosfor. Den läckagebenägna fosfor består framförallt av organiska former tillsammans med järnbunden fosfor (Bilaga 2).

Totalfosforhalten i de skikt som inte analyserades interpolerades linjärt. Läckagebenägen fosfor i varje sedimentskikt räknades om till mängd per m^2 och summerades.

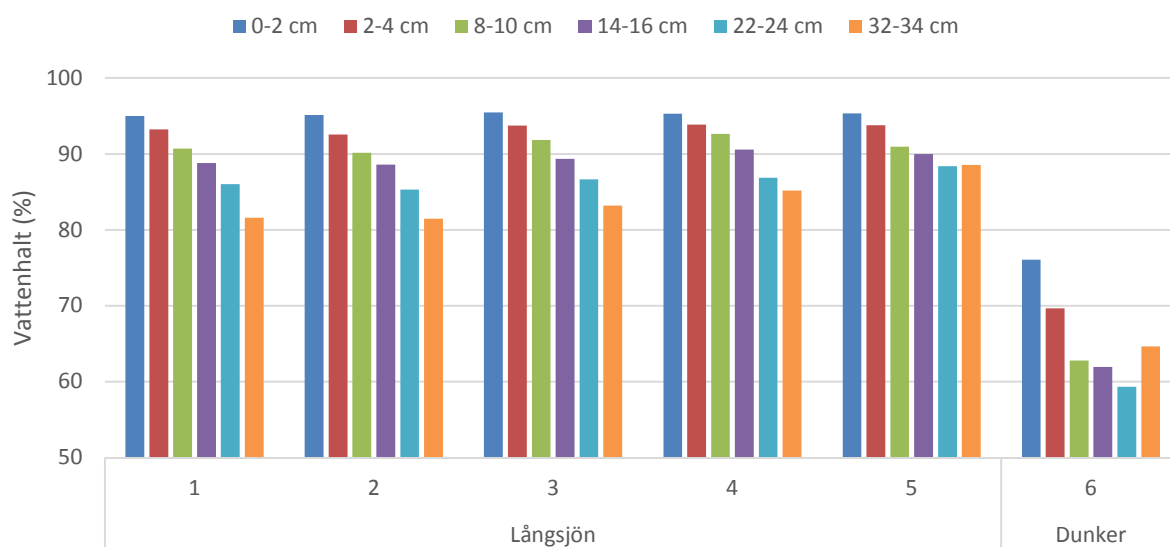
Resultat

Sedimentbeskrivning

Materialet i de undersökta kärnorna bestod genomgående av dy i de övre lagret som sedan övergick till gyttja, gyttjelera och sist till lergyttja i de djupare sedimentlagren. Sedimentfärgen var brunrå i kärnorna från Långsjön och svart i dunkersanläggningen. Svavelvätelukt noterades i prov 1 och 2 och sedimentet från Dunkeranläggningen luktade olja.

Vattenhalt

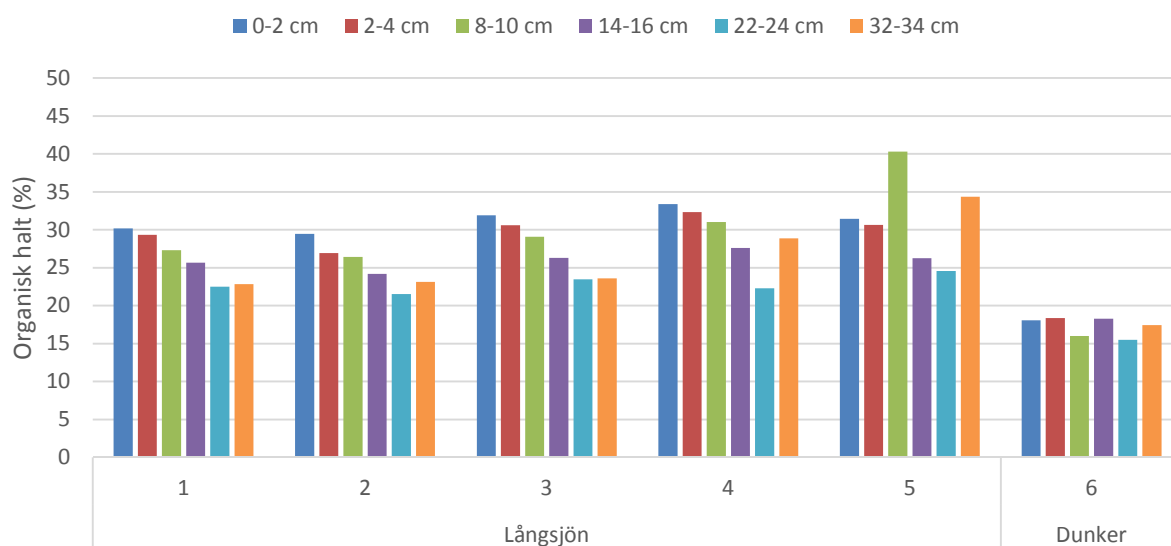
Sedimentens vattenhalt skilde sig mycket lite mellan de olika kärnorna i Långsjöns över lager, med undantag för sedimentet i Dunkeranläggningen som var mycket lågt. I ytskikten var vattenhalten i kärna 1-5 hög (95-96 %) och minskade med ökat sedimentdjup till mellan 81 och 89 procent i det djupaste skiktet (Figur 3 och Bilaga 1). I Dunkeranläggningen var vattenhalten lägre än 80 procent i ytsediment, vilket tyder på botten av transportkaraktär. Detta var inte fallet på övriga bottenområden som undersökts i Långsjön.



Figur 3. Vattenhalt (%) i sex undersökta skikt (0-2, 2-4, 8-10, 14-16, 22-24 och 32-34 cm) i Långsjön (6 kärnor varav 1 i dunkersanläggningen).

Organisk halt (glödgningsförlust)

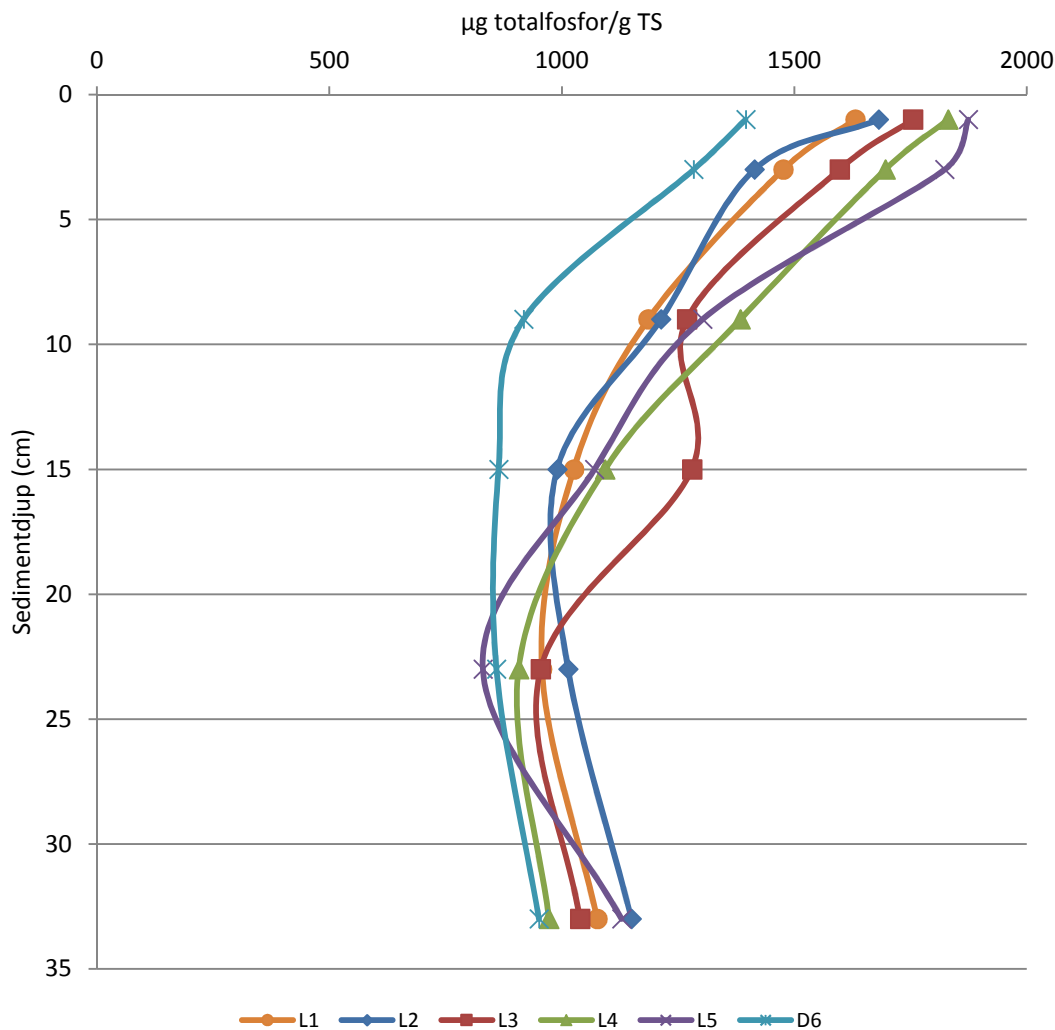
Den organiska andelen av torrsubstansen (glödgningsförlusten) var hög (29-33 %) i ytskikten i Långsjöns sedimentkärnor (vilket är normalt för denna typ av sjö) med undantag för halten i kärnan från dunkersanläggningen som liksom för vattenhalten var låg (Figur 4 och Bilaga 1). Den organiska halten minskade generellt sett med ökat sedimentdjup, utom i kärna 6 (Dunker) där den organiska halten var relativt jämt fördelad genom hela den undersökta delen av sedimentkärnan. Sediment från ackumulationsbottnar (de djupare områdena i sjön där sedimenterat material ansamlas) har högre organisk halt än sediment från transportbottnar (de bottnar där sedimenterat material succesivt transporteras vidare). Den höga glödgningsförlusten i de fem första kärnorna i Långsjön är (i likhet med den höga vattenhalten) en tydlig indikation på att proverna tagits på ackumulationsbottnar med finpartikulära sediment. Den låga glödgningsförlusten i Dunkersanläggningen beror antagligen på att främst oorganiska partiklar från avrinningsområdet ackumuleras.



Figur 4. Organisk halt (%) i sex undersökta skikt (0-2, 2-4, 8-10, 14-16, 22-24 och 32-34 cm) i Långsjön (6 kärnor varav 1 i dunkersanläggningen).

Totalfosfor

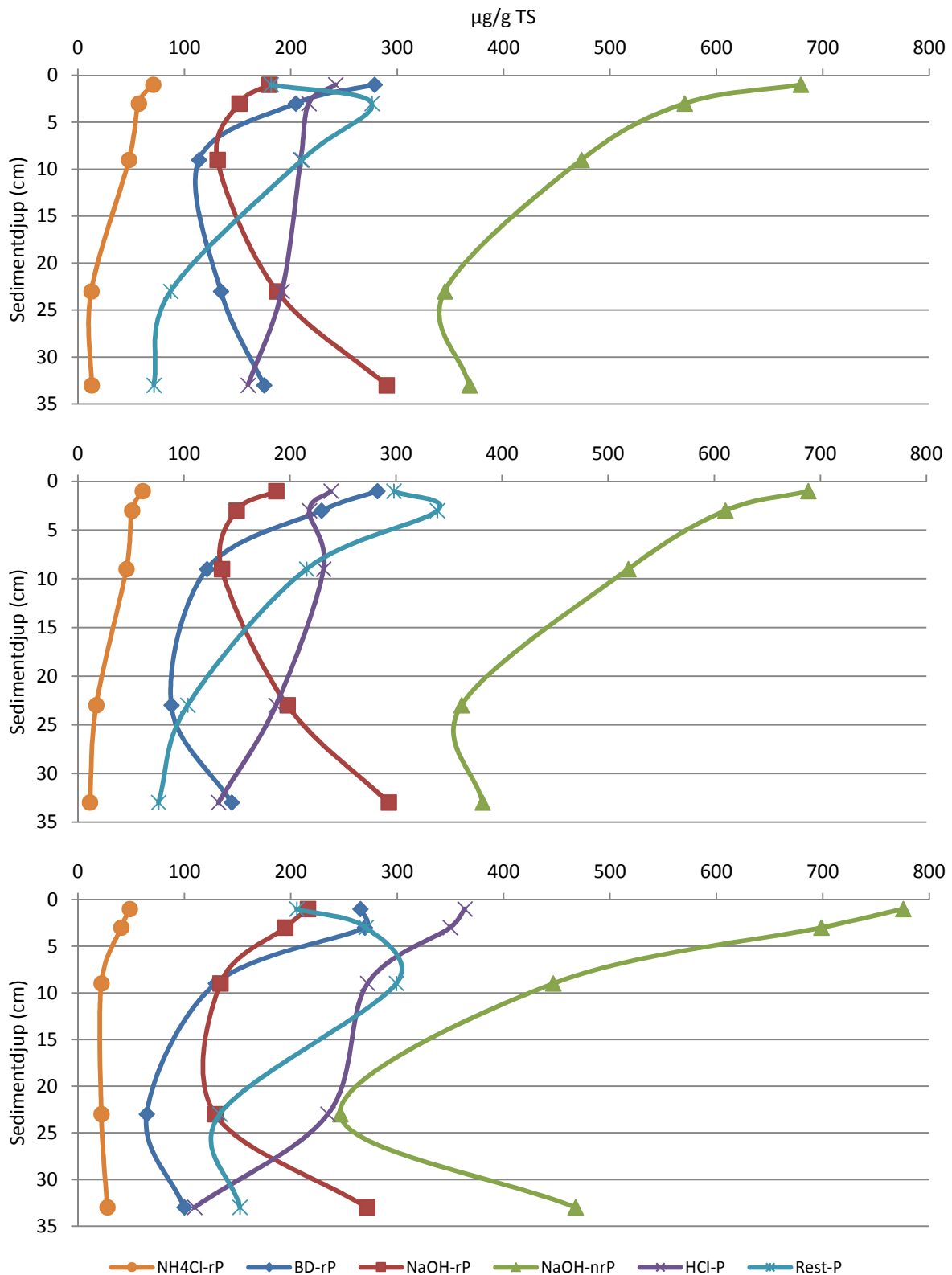
Totalfosforhalten i sedimentkärnorna Långsjön minskade från sedimentytan med ökat sedimentdjup ner till drygt 20 cm sedimentdjup vilket beror på mineralisering av organisk fosfor. I Dunkeranläggningen minskade halten ner till cirka 10 cm djup och var därefter relativt oförändrad (Figur 5). Det var relativt liten skillnad i totalfosforhalt mellan sedimentkärnorna. Totalfosforhalten i respektive sedimentkärna och skikt redovisas i Bilaga 1.



Figur 5. Totalfosfor ($\mu\text{g/g TS}$) i sex undersökta skikt (0-2, 2-4, 8-10, 14-16, 22-24 och 32-34 cm) i Långsjön (6 kärnor varav 1 i Dunkeranläggningen).

Fosforfraktioner

Generellt sett stod organiskt bunden fosfor (fraktionerna NaOH-nrP och residualfosfor) för den största delen av fosforhalten (i genomsnitt ca 50 %) och den löst bundna fosforhalten var låg. Även den kalciumbundna fosforfraktionen (HCl-rP) upptog en stor del av den totala fosforhalten i sedimenten (i genomsnitt ca 15- 20 %). Sammantaget innebär detta att nästan hälften av förrådet av fosfor som kan frigöras till vattenmassan utgörs av de organiskt bundna fosforformerna. Den organiskt bundna och kalciumbundna fosfor minskade generellt sett med ökat sedimentdjup medan de övriga fraktionerna (löst bunden, järmbunden och aluminiumbundna fosfor) minskade eller låg på ungefär samma halt ner till cirka 20 centimeters sedimentdjup för att sedan öka. Detta var mest tydligt för den järn- och aluminiumbundna fosfor (Figur 6). Avklingningen av fosforhalten i Långsjöns sedimentprofiler beror till störst del på att organiska fosforformer mineraliseras. Samtliga värden från fosforfraktioneringen redovisas i Bilaga 2.



Figur 6. Fosforfraktioner och totalfosforhalt i sedimentkärna 1, 3 och 5 från Långsjön. NH₄Cl-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).

Läckagebenägen fosfor och aluminiumdosering

Bakgrundshalterna i de fyra kärnor som analyserats med avseende på fosforfraktionering beräknades för de läckagebenägna fosforformerna och för totalfosfor från alla sex kärnor (Tabell 2). Den läckagebenägna mängden fosfor i sedimenten var relativt hög och varierade mellan 3,2 och 5,7 g/m² i de sex undersökta kärnorna (Tabell 3). Cirka 4 g/m² organiskt bunden fosfor kommer att mineraliseras och läcka från sedimenten över ett par decenniers tid. Under perioder av syresatta förhållanden kan järnoxider i ytsedimenten binda den fosfor. Men vid syrebrist (eller höga pH-värden) löses den fosfor och läcker till vattnet. Nu håller sedimenten 1 g/m² järnbunden fosfor som alltså också bidrar till läckaget från sedimenten när syrebrist råder.

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

Sedimentkärna	Totalfosfor	Järnbunden	Organiskt bunden	Residual
	Tot-P (µg/g TS)	BD-rP (µg/g TS)	NaOH-nrP (µg/g TS)	Rest-P (µg/g TS)
L1	954	134	345	87
L2	1002			
L3	954	88	362	103
L4	1000			
L5	950	65	246	133
D6	862	97	118	38

Tabell 3. Läckagebenägen fosfor (g/m²) i de sedimentkärnor som analyserades med avseende på fosforfraktionering.

Sedimentkärna	Totalfosfor	Järnbunden	Organiskt bunden	Residual	Tot. org-P
	Tot-P (g/m ²)	BD-rP (g/m ²)	NaOH-nrP (g/m ²)	Rest-P (g/m ²)	g/m ²
L1	3,9	0,2	2,1	1,7	3,8
L2	3,2				
L3	5,5	0,8	2,2	1,7	3,8
L4	4,8				
L5	5,7	1,3	3,3	1,7	5,1
D6	10,9	3,2	1,0	4,6	5,6

Den läckagebenägna fosfor som nu finns i sedimenten bör kunna bindas med inblandning av löst aluminium. Det är en kostnadseffektiv metod som har fungerat bra i en handfull sjöar i Stockholmstrakten under 2000-talet. Metoden ger snabbt resultat men ny fosfortillförsel till sjön måste begränsas för att effekten ska bli långvarig.

För att binda förrådet av sedimentfosfor i Långsjön som med tiden kommer att mobiliseras och läcka till vattenmassan beräknas i snitt 50 g/m² aluminium behövas (Rydin m.fl. 2000). Ytterligare 10 g/m² behövs

för att binda den fosfor som finns löst i vattenmassan (Tabell 4). Den aluminiumdosen (60 g/m^2) är i samma storleksordning som har använts i andra sjöar i Stockholmstrakten. Det kan diskuteras om sedimentens fosforinnehåll är så pass heterogent fördelat över bottenytan att aluminiumdosen skulle anpassas till olika delar av Långsjön, men bristen på mönster i fördelning av den rörliga sedimentfosfor (Tabell 3) gör att en aluminiumdos bäst baseras på medelvärdet. Eventuellt bör aluminiumtillsatsen prövas i labbskala för att säkerställa att aluminiumbindningen fungerar som den ska.

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

Sediment-kärna	Läckagebenägen fosfor (g/m^2)	Fosfor i vattenmassan (g/m^2)	Summa (g/m^2)	Aluminiumdos (g/m^2)
1	3,9	1	4,9	54
2	3,2	1	4,2	46
3	5,5	1	6,5	71
4	4,8	1	5,8	63
5	5,7	1	6,7	74

Innan en behandling bör komma på fråga behöver dock källan till den kraftiga ökningen i Långsjöns fosforhalter klarläggas. Har inte de externa fosforkällorna åtgärdats kommer effekterna av en behandling att bli kortvarig.

Jämförelse med tidigare sedimentundersökning

Långsjöns sediment håller höga halter vatten och organiskt material i ytsedimenten. Dessa klingar av med ökande sedimentdjup på motsvarande sätt som den undersökta djupkärnan 1989 gjorde (Pettersson 1989). Eventuellt är den organiska andelen i ytsedimenten någon procent högre nu jämfört med för tre decennier sedan (Tabell 5). Beroende på hur mycket material (sediment) som deponeras årligen befinner sig det sediment som var ytsediment 1989 nu överlagrat någonstans runt 10 cm ner i profilen.

Även totalfosforhalterna klingar av med ökat sedimentdjup (ålder) och är lika de halter som uppmättes 1989. En tendens är att halterna är något högre nu jämfört med 1989 (Tabell 5).

Tabell 5. Vattenhalt, glödningsförlust (LOI), fosforfraktioner och totalfosforhalt i Långsjöns ytsediment (0-2 cm) vid 5 stationer 1989 och 2015. År 2015 analyserades fosforfraktioner endast i sedimenten från station 1, 3 och 5.

Kärna	Vatten- halt (%)	Organisk- halt (%)	Löst P NH ₄ Cl-rP (µg/g TS)	Fe-P BD-rP (µg/g TS)	Al-P NaOH-rP (µg/g TS)	Ca-P HCl-rP (µg/g TS)	Org-P NaOH-nrP (µg/g TS)	Residual Rest-P (µg/g TS)	Tot-P TP (mg/g TS)
1 (1989)	94	28	237		258	319		566	1,38
2 (1989)	95	29	287		332	362		589	1,57
3 (1989)	94	30	210		203	251		726	1,39
4 (1989)	95	29	297		196	408		509	1,41
5 (1989)	96	30	269		304	520		787	1,88
1 (2015)	95	30	71	278	458	242	679	181	1,63
2 (2015)	95	29							1,68
3 (2015)	95	32	61	282	469	239	689	298	1,75
4 (2015)	95	33							1,83
5 (2015)	95	31	48	265	481	363	775	206	1,87

Förrådet av organiskt bunden och järnbunden fosfor beräknades inte vid undersökningen 1989 (Pettersson 1989) och det är svårt att göra den beräkningen nu då identifieringen av de olika fosforformerna inte var lika utvecklad under slutet av 80-talet. Till exempel skildes inte aluminiumbunden fosfor från den järnbundna. Det finns dock inget som tyder på att förrådet av läckagebenägen fosfor var större 1989, även om koncentrationen av löst bunden fosfor i och för sig var högre då. Den löst bundna fosfor varierar dock över året, bland annat beroende på syrgasstatus i sedimenten samt bindning till järn.

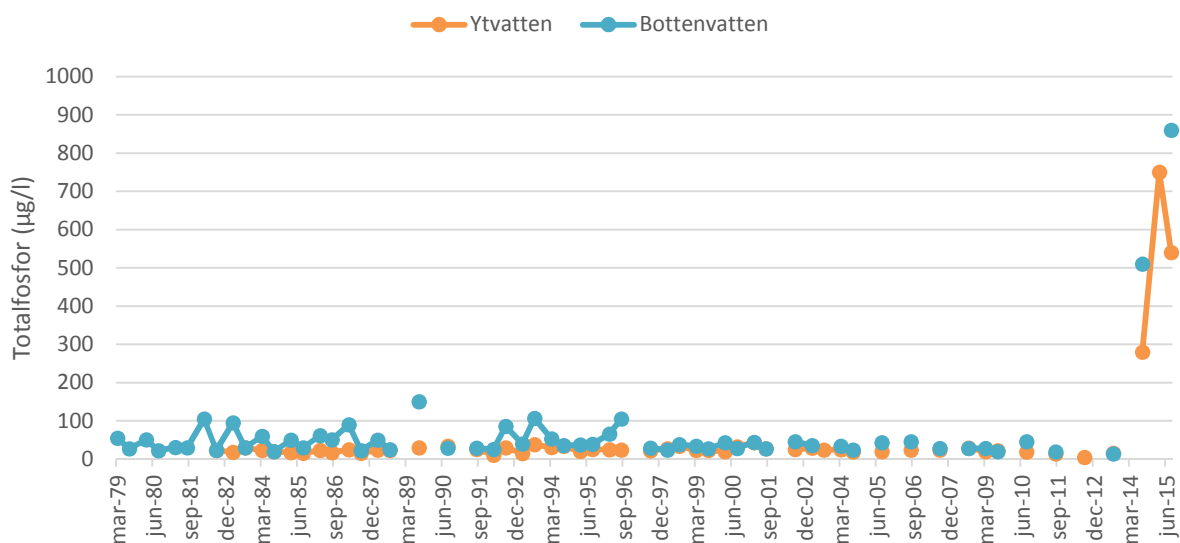
Sammantaget visar inte jämförelsen med fosforstatus i sedimenten 1989 på att det är sedimenten som har läckt fosfor till vattenmassan och orsakat de extremt höga fosforhalterna i vattnet från och med år 2014. Då det är okänt hur fosforstatus var i sedimenten åren innan 2014, kan det ändå inte uteslutas att det är sedimenten som är källan till de höga fosforhalterna i vattenmassan.

Potentiella fosforkällor

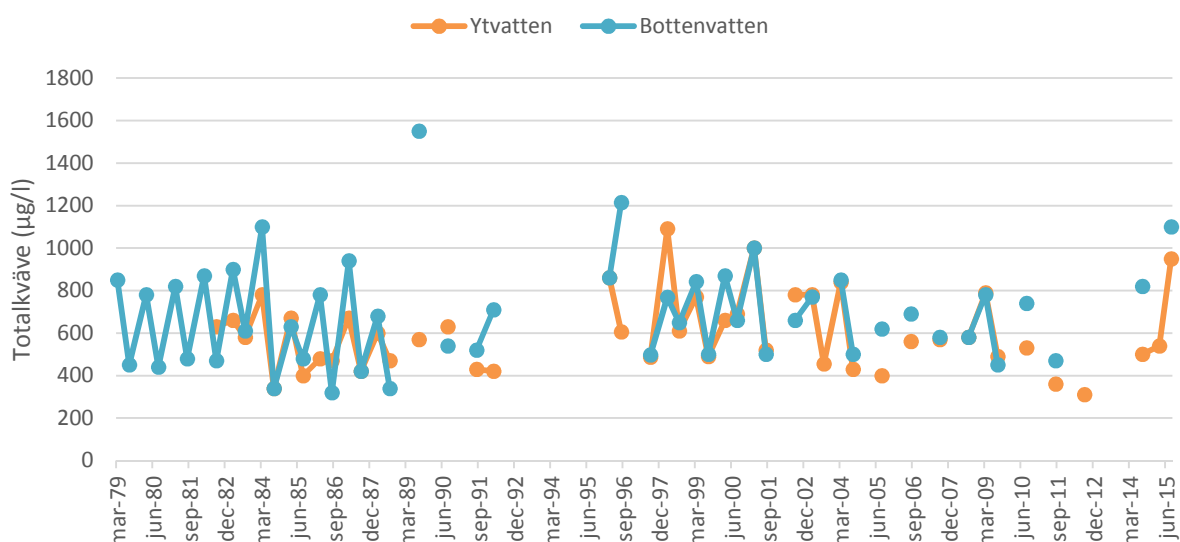
Historiskt och nuvarande tillstånd

Sedan mitten på 1990-talet fram till 2010 visar mätningar i yt- och bottenvattnet på totalfosforhalter mellan 20 och 40 µg/l. Sedan följde en period (2010-2013) med lägre fosforhalter i augusti, med ett undantag då fosforhalten låg under 20 (fosformätningar under vintern saknas från den perioden). Det finns alltså inga tecken på att bottarna har börjat läcka under sommaren under den här perioden eller att den externa fosfortillförseln har ökat (Figur 7).

Under augusti 2014 håller däremot ytvattnet 10 gånger mer fosfor än året innan (280 µg/l) och bottenvattnet det dubbla (510 µg/l). All fosfor mäts som löst fosfat vilket innebär att det inte rör sig om partikulärt material från botten (uppvirvlat sediment eller en planktonblomning som lämnat sedimenten). Ökningen fortsätter under vintern 2014-2015 och i mars 2015 uppmättes hela 750 µg/l i ytvattnet. I augusti 2015 var halten i ytvattnet 540 µg/l och i bottenvattnet 860 µg/l. Under denna period (2014-2015) när fosforhalten ökat mer än 20 gånger ökar också kvävet, men det rör sig bara om en fördubbling av totalkvävet (Figur 8). Den ökningen beror på att ammoniumhalten ökar i samma storleksordning som den för fosfat.



Figur 7. Totalfosforhalter i Långsjöns yt- och bottenvatten.



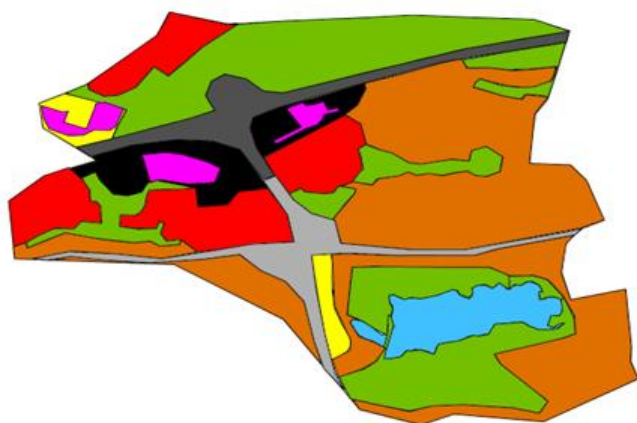
Figur 8. Totalkvävehalter i Långsjöns yt- och bottenvatten.

Multiplieras fosforkoncentrationerna i yt- och bottenvattnet med respektive vattenvolym i sjön motsvarar ökningen i augusti 2014 hela 55 kg fosfor. Det är en dramatisk ökning jämfört med att sjön normalt håller mellan 4 och 5 kg fosfor i vattenmassan. Under vårvintern 2015 har ökningen fortsatt och 140 kg mer fosfor än normalt finns nu i sjöns vattenmassa, vilket motsvarar nästan 2 g/m² bottenyta. Den fosfor finns i stort sett kvar i vattenmassan i augusti 2015 (120 kg fosfor finns då i vattnet). Dessutom har vattenomsättningen i sjön (vattenvolymen byts i genomsnitt var 7 månad) gjort att minst 50 kg fosfor har lämnat sjön via utloppet under 2014-2015. Sammantaget bedöms därmed att närmare 200 kg fosfatfosfor har tillförts sjöns vattenmassa under 2014 och 2015, utöver den ordinarie belastningen som (enligt nedan) beräknades till 87 kg fosfor/år (Figur 9).

Extern belastning

I en beräkning (Banach 2015) beräknas den genomsnittliga fosforhalten i tillrinnande vatten till Långsjön till 187 µg/l. Multiplicerat med vattentillförseln beräknas den externa fosfortillförseln till 87 kg per år. Mätningar av fosforkoncentrationen i tillrinnande vatten saknas i princip, men en provtagning i slutet på september 2015 visade på relativt höga halter (610 µg P/l, varav 420 som fosfat) i vattendraget som avvattnar merparten av avrinningsområdet. Det provet togs i samband med en torrperiod, vilket tenderar att ge högre koncentrationer än vid normala vattenflöden.

Merparten av tillrinningen sker genom en så kallad Dunkeranläggning där vattnet genomgår en viss rening genom att partikulärt material sedimenterar ut. Karta med tillhörande tabell över markanvändning i Långsjöns avrinningsområde redovisas i Figur 9.



Område	Yta (Ha)	Färg
Värmdövägen	4,11	Ljusgrå
Saltsjöbadsleden	4,11	Ljusgrå
Värmdöleden	8,55	Mörkgrå
Villa	55,9	Orange
Parkering	3,90	Lila
Verksamhet	10,9	Svart
Skog	47,5	Grön
Långsjön	8,00	Blå
Industri	4,90	Gul
Flerfamiljehus	20,7	Röd

Figur 9. Långsjöns avrinningsområde uppdelat efter markanvändning (Banach 2015).

Intern belastning

Möjliga orsaker till den kraftiga fosforackumuleringen kan vara att Långsjöns bottenar börjat läcka fosfor till vattnet. Bottenar som blir syrefria läcker ofta fosfat till vattenmassan då järn-fosforkomplex löser upp sig i den syrefria miljön. Kvantitetsmässigt kan de 2-3 g/m² fosfor som har ackumulerats i vattenmassan under 2014 och 2015 mycket väl komma från sedimenten.

Temperaturprofiler i vattenmassan visar på en svag temperaturskiktning sommartid. I augusti 2013 var ytvattnet omblandat ner till 5 m djup, i augusti 2014 till 4 m och i augusti 2015 ner till endast 3 m djup. Den lösta syrgasen tar slut under temperaturskiktet sommartid. I augusti 2013 var följaktligen syresättningen god ner till 5 m jämfört med endast till 3 m djup i augusti 2015. Vid 4 m djup (2015) uppmättes en syrgasmättnad på under 2 procent. Är syresituationen god ner till 5 m djup exponeras som mest 15 procent av bottenytan (maxdjupet är 5,6 m). Råder syrebrist under 4 m exponeras 22 procent av bottenytan och är det syrebrist redan under 3 m är halva sjöns bottenyta (52 %) exponerad för syrefria förhållanden, vilket var fallet under 2015.

Den ökande syrefria bottenarean under de senaste augustimånaderna (2013-2015) skulle alltså kunna förklara varför sedimenten har läckt fosfat under de senaste två åren. Syresättningen har dock varit dålig redan vid 4 m djup i augusti tidigare fyra fem gånger sedan mitten på 1990-talet (senast 2010) utan att någon ackumulation av fosfat har kunnat påvisas i bottenvattnet. En svag (ca 20 µg/l) ökning av fosfathalten (och ammoniumhalten) har däremot uppmätts i bottenvattnet under senvintern. Därför ser det inte ut att ha funnits någon stark koppling mellan syresituationen i bottenvattnet och fosforläckaget tidigare.

Vid sedimentprovtagningen i september 2015 noterades en stark vätesulfidluk i ytsedimenten. Det betyder att syrebristen är långt gånge och att järnfosforkomplex inte är stabila i Långsjöns sediment. Sedimentundersökningen visade att sjöns ytsediment (0-4 cm) fortfarande håller den typen av fosfor, i genomsnitt knappt 1 g/m² (Bilaga 3). Mycket tyder alltså på att sjöns sediment har börjat läcka fosfor och att läckaget kan förväntas fortgå.

Sammantaget kan det alltså mycket väl vara bottenarna som läckt fosfor och förklarar ackumuleringen i vattenmassan. Dessutom är läckaget kraftfullt och har pågått i minst ett år, vanligtvis läcker bottenar fosfor under någon månad i slutet av sommaren eller under slutet av en lång isvinter. Men det som talar emot detta är att sjön inte har en historia av fosforläckage när syresituationen har varit ansträngt tidigare. Vilka är då andra möjliga källor till att fosfor (fosfat) har ökat 40 ggr mellan 2013 och 2015 (från mindre än 20 till 800 µg/l) medan totalkvävehalten har fördubblats genom att löst kväve (ammoniumkvävet och nitrat) ökat från cirka 100 till 700 µg/l.

En högtrycksbetonad varm sommar med lite vind innebär stabilare skiktning och en mer uttalad syrebrist i bottenvattnet i slutet på sommaren. En klimatförändring med längre och varmare somrar kommer alltså innebära mer frekvent syrebrist i Långsjöns bottenvatten.

Läckage av avloppsvatten

Ett läckage av avloppsvatten ut i bottenvattnet skulle kunna ge en motsvarande ökning av näringsämnen. Men kväveökningen borde i sådana fall ha varit kraftfullare, mer kväve per fosfor bör ha läckt ut och ackumulerats i vattenmassan. Kommunen har också undersökt avloppsledningar runt sjön men inte hittat något som tyder på att det är en brusten avloppsledning som orsak till fosforackumuleringen i vattnet.

Läckage från sedimentationsanläggning (Dunker)

En stor andel av sjöns tillrinning passerar dagvattenrensingsanläggningen (Dunker) som har undersökts nyligen (Salzer & Lundberg 2015). Anläggningen anlades i början av 90-talet och sedan dess bedömdes mellan 30 och 60 cm sediment ha avsatts i anläggningen. De avsatta sedimentens totala fosforinnehåll beräknades till 320 kg (baserat på mängden sediment och fosforkoncentrationen) vilken låg nära 1 mg/g TS (Salzer & Lundberg 2015).

Dagvattenanläggningens yta är 2800 m². Den beräknade mängden läckagebenägen fosfor är 11 g/m² i anläggningen (Tabell 3). Antas att denna mängd är representativ för hela ytan innebär det ett fosforförråd av drygt 30 kg som med tiden kommer frigöras som fosfat till vattenmassan och nå sjön. Denna mängd utgör alltså cirka 10 procent av det totala beräknade fosforförrådet i anläggningens sediment.

Kan anläggningens sediment vara källan till de ca 200 kg fosfatfosfor som tillförts sjöns vatten under det senaste året? Det skulle innebära att en tredjedel av det totala fosforinnehållet skulle ha läckt ut. Den mängden fosfor i anläggningens sediment skulle ha inneburit mycket höga halter av direkt läckagebenägen fosfor i de översta sedimentlagren. Så pass höga halter läckagebenägen fosfor är inte trolig, trots att anläggningen inte har tömts på sediment under dess livslängd (20 år). Det krävs en orsak (t.ex. kontinuerlig syrebrist) i Dunkeranläggningens sediment under perioden som fosfatackumuleringen har pågått i sjön för att lösa upp så pass mycket fosfatfosfor i Dunkeranläggningen. Sammantaget gör det att det inte är troligt att det är anläggningens sediment som är källan till fosfor i sjön.

Avklingningen av totalfosforhalten i sedimentprofilen från

Dunkeranläggningen visar att fosfat mobiliseras i de avsatta sedimenten och läcker till sjön, men inte i den omfattning som krävs för att utgöra källan till situationen i Långsjön. De avsatta sedimenten behöver därför

föras bort regelbundet för att inte anläggningen ska fungera som en uppehållstation av partikulärt material från avrinningsområdet, där den mobiliserbara fosfor får tid på sig att frigöras och föras nedströms, medan hårt bunden (inert) fosfor (som förmodligen inte skulle mobiliseras i botten på sjön heller) stannar kvar i anläggningen. Detta är av allt att döma ett generellt problem för olika typer av fosfordammar/fällor som syftar till att låta partikulärt material sedimentera ut.

Dagvatten från Blomsterlandet

Dagvatten från Blomsterlandet passerar två dagvattenbrunnar innan det når fram till dunkeranläggningen. Provtagning i dessa brunnar visar generellt inte på så pass höga halter (Golder 2015) att källan till de 200 kg fosfor skulle ligga inom brunnarnas upptagningsområde. Vid ett tillfälle (april 2010) uppmättes dock extremt höga fosforhalter (46 mg/l) i en dagvattenbrunn. Under hösten innan (september 2009) hade en nästan lika hög fosforhalt uppmätts (29 mg/l) i ett grundvattenrör i området (Golder 2015). Dessa halter ligger ett par hundra gånger högre än de fosforhalter som annars uppmätts vid dessa platser och tusen gånger högre än normala halter för Långsjön. Dessa höga halter observerades visserligen 4 år innan fosforhalterna i Långsjön plötsligt ökade kraftigt (mätningar från och med 2011 till december 2014 saknas), men indikerar att det finns okända fosforkällor i området som kan tillföra fosfor via okända flödesvägar.

Notabelt är att kvävehalterna vid dessa två provtagningstillfällen visserligen var höga, men de utgjorde ändå bara en fjärdedel av fosforkoncentrationen vid båda tillfällena. Det indikerar att det är samma källa till de höga fosforhalterna. Den låga andelen kväve indikerar också att det inte är avloppsvatten som är källan till de höga fosforhalterna, andelen kväve borde i sådana fall vara högre.

Det indikerar också att de höga fosforhalterna inte kommer från den näring Blomsterlandet använder. Den gödning som används håller 3 viktprocent fosfor och 7 viktprocent kväve enligt uppgift, alltså mer än dubbelt så mycket kväve som fosfor borde i sådana fall detekteras. För att nå 200 kg fosfor behöver 6 m³ av gödningen nå sjön. Det är inte troligt att så mycket har läckt ut.

Förslag på fortsatta undersökningar

Ett tätare provtagningsprogram behövs för att kunna följa fosfordynamiken över året i tillrinnande vatten (dagvattenprover) samt i sjöns vattenmassa. Med de mätningar och övrig information som funnits till hands har det inte gått att säkerställa att de dramatiska ökningarna i sjöns fosforhalter kommer från Långsjöns bottnar eller annan (extern) orsak till de höga halterna. Ett sätt att försöka identifiera om

fosforökningen kommer från bottarna eller når bottenvattnet via ett trasigt rör eller via grundvatteninflöde vore att ta vattenprov från olika delar av sjön när sjöns vattenmassa ligger relativt still. Under isläggning och under perioder med låg tillrinning bör dels miljön gynna läckage från bottarna, dels resultera i att fosfor (och kväve) halterna i vattnet blir någorlunda lika. Men är källan lokal bör den provtagningsstation som ligger nära källan visa på högre halter än övriga, under förutsättning att vattenmassan ligger orörlig.

Referenser

Banach, Agatha. 2015-10-06. Nacka kommun (bild och uträkning av extern tillförsel).

Golder Associates AB, 2015, Tekniskt PM 2015-01-13. Uppdragsnummer 1451240675.

Miljöövervakningsdata (vattenkemidata samt fältprotokoll temp och syrgas), Nacka kommun.

Pettersson, K. 1989. Glasbrukssjön och Långsjön i Nacka kommun – En sedimentundersökning. Uppdragsverksamheten, Limnologiska institutionen, Uppsala Universitet, LIU 1989 B:14.

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.

Salzer, J & Lundberg, T. 2015, Uppföljning av reningsfunktionen i dagvattenreningsanläggning vid Långsjön, Nacka kommun. Geosigma, Grap 15087.

Bilaga 1. Grundläggande analyser

I tabellen nedan redovisas vattenhalt, glödningsförlust och totalfosforhalt för samtliga skikt från sedimentproverna.

Prov	Djup (m)	Skikt (cm)	Vattenhalt (%)	Glödningsförlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)
Långsjön 1	5,8	0-2	95	30	1631
Långsjön 1	5,8	2-4	93	29	1476
Långsjön 1	5,8	8-10	91	27	1186
Långsjön 1	5,8	14-16	89	26	1025
Långsjön 1	5,8	22-24	86	22	957
Långsjön 1	5,8	32-34	82	23	1076
Långsjön 2	6	0-2	95	29	1681
Långsjön 2	6	2-4	93	27	1414
Långsjön 2	6	8-10	90	26	1213
Långsjön 2	6	14-16	89	24	990
Långsjön 2	6	22-24	85	22	1014
Långsjön 2	6	32-34	81	23	1150
Långsjön 3	5,5	0-2	95	32	1755
Långsjön 3	5,5	2-4	94	31	1597
Långsjön 3	5,5	8-10	92	29	1269
Långsjön 3	5,5	14-16	89	26	1279
Långsjön 3	5,5	22-24	87	23	954
Långsjön 3	5,5	32-34	83	24	1039
Långsjön 4	4,8	0-2	95	33	1831
Långsjön 4	4,8	2-4	94	32	1696
Långsjön 4	4,8	8-10	93	31	1384
Långsjön 4	4,8	14-16	91	28	1093
Långsjön 4	4,8	22-24	87	22	907
Långsjön 4	4,8	32-34	85	29	972
Långsjön 5	4,2	0-2	95	31	1874
Långsjön 5	4,2	2-4	94	31	1823
Långsjön 5	4,2	8-10	91	40	1303
Långsjön 5	4,2	14-16	90	26	1070
Långsjön 5	4,2	22-24	88	25	830
Långsjön 5	4,2	32-34	89	34	1128

Prov	Djup (m)	Skikt (cm)	Vattenhalt (%)	Glödgningsförlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)
Långsjön 6 (Dunker)	1,7	0-2	76	18	1395
Långsjön 6 (Dunker)	1,7	2-4	70	18	1283
Långsjön 6 (Dunker)	1,7	8-10	63	16	918
Långsjön 6 (Dunker)	1,7	14-16	62	18	864
Långsjön 6 (Dunker)	1,7	22-24	59	16	859
Långsjön 6 (Dunker)	1,7	32-34	65	17	951

Bilaga 2. Fosforfraktioner

I tabellen nedan redovisas fosforfraktioner för samtliga skikt från sedimentproverna.

Prov	Skikt (cm)	NH ₄ Cl-P (µg/g TS)	BD-P (µg/g TS)	NaOH-P (µg/g TS)	HCl-P (µg/g TS)	NaOH org-P (µg/g TS)	Residual-P (µg/g TS)
Långsjön 1	0-2	71	278	180	679	242	181
Långsjön 1	2-4	57	205	152	570	217	276
Långsjön 1	8-10	48	114	131	473	209	210
Långsjön 1	22-24	13	134	187	345	192	87
Långsjön 1	32-34	13	175	290	368	160	71
Långsjön 3	0-2	61	282	187	689	239	298
Långsjön 3	2-4	51	229	149	610	218	339
Långsjön 3	8-10	46	122	136	519	232	216
Långsjön 3	22-24	17	88	197	362	187	103
Långsjön 3	32-34	11	145	293	381	132	76
Långsjön 5	0-2	48	265	216	775	363	206
Långsjön 5	2-4	41	269	195	698	350	271
Långsjön 5	8-10	22	129	134	446	272	299
Långsjön 5	22-24	22	65	129	246	235	133
Långsjön 5	32-34	27	100	272	468	109	152
Långsjön 6 (Dunker)	0-2	24	253	363	187	362	207
Långsjön 6 (Dunker)	2-4	18	211	331	148	360	217
Långsjön 6 (Dunker)	8-10	6	114	190	122	422	64
Långsjön 6 (Dunker)	22-24	5	97	189	118	413	38
Långsjön 6 (Dunker)	32-34	6	108	224	162	383	67