



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

# Läckagebenägen fosfor i Molkomsjöns sediment

Potential för internbelastning

Brian Huser, Docent  
Sveriges lantbruksuniversitet

10. 21. 2004



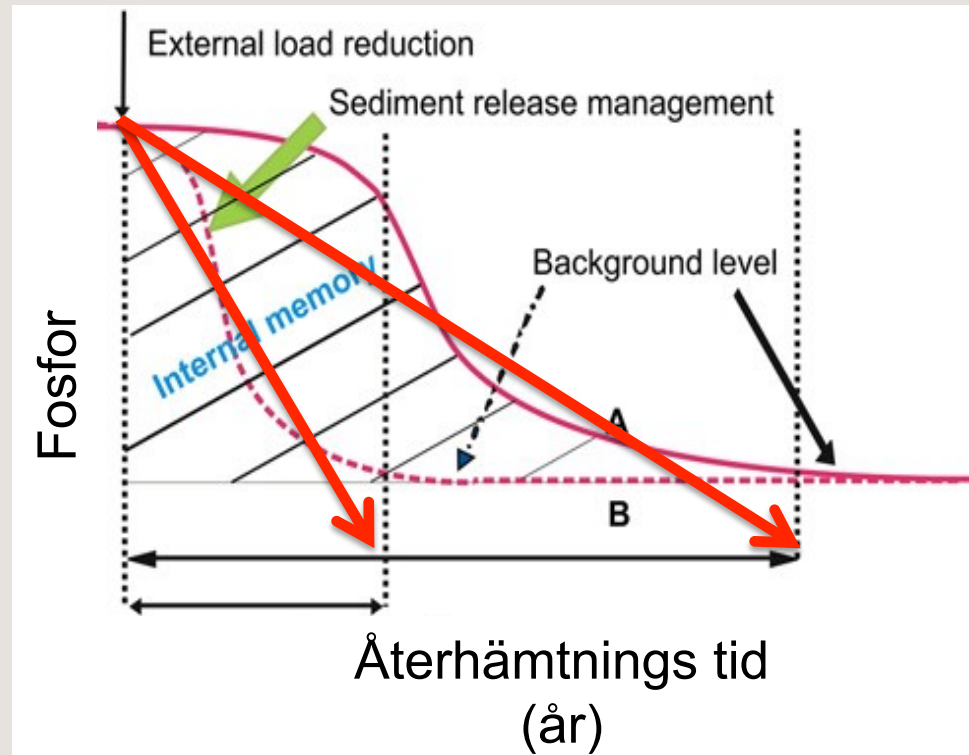


# Introduktion - ordlista

- Mobil (rörlig) fosfor – läckagebenägna fosforformer som lätt frigörs från sediment, till exempel fosfor i sedimentets porvatten, löst bunden fosfor, och fosfor bunden till järn
- Organisk fosfor – fosfor som finns i organiskt material såsom alger och makrofyter
- Polymiktisk (grund) sjö – sjöar där hela vattenmassan omblandas flera gånger på sommaren.
- Trofiska klassificeringar/nivåer – Trofiska klasser, såsom eutrof och oligotrof vilka representerar mängden av näringsämnen och produktivitet i sjön.

# Introduktion - fosfor i påverkade sjöar

- Mycket har gjorts för att minska extern belastning av P till sjöar
  - Punktkällor och diffusa källor
- I många fall når vi inte målen
  - Gamla synder – d.v.s. historisk ackumulation av P i sediment
  - En stor del av P från externa källor lagras i sedimenten
- Internbelastning av fosfor
  - Sediment P läckage kan öka efter minskning av externa källor
  - Anledning till < 50% långsiktig framgång vid tidigare restaureringsförsök i Europa och USA



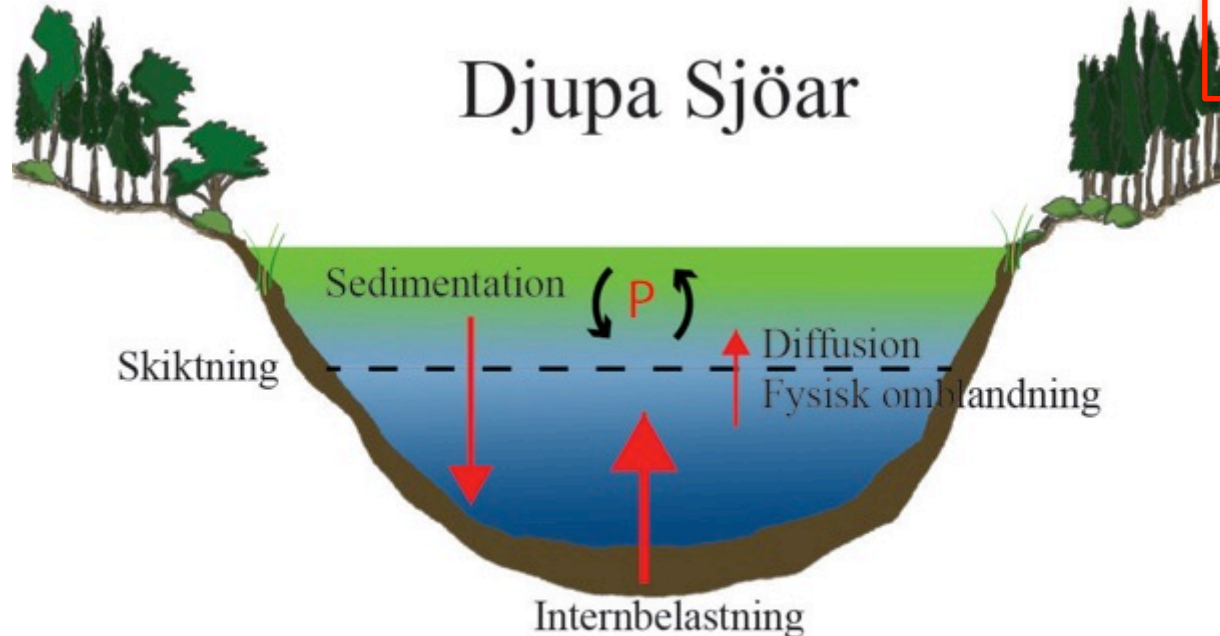
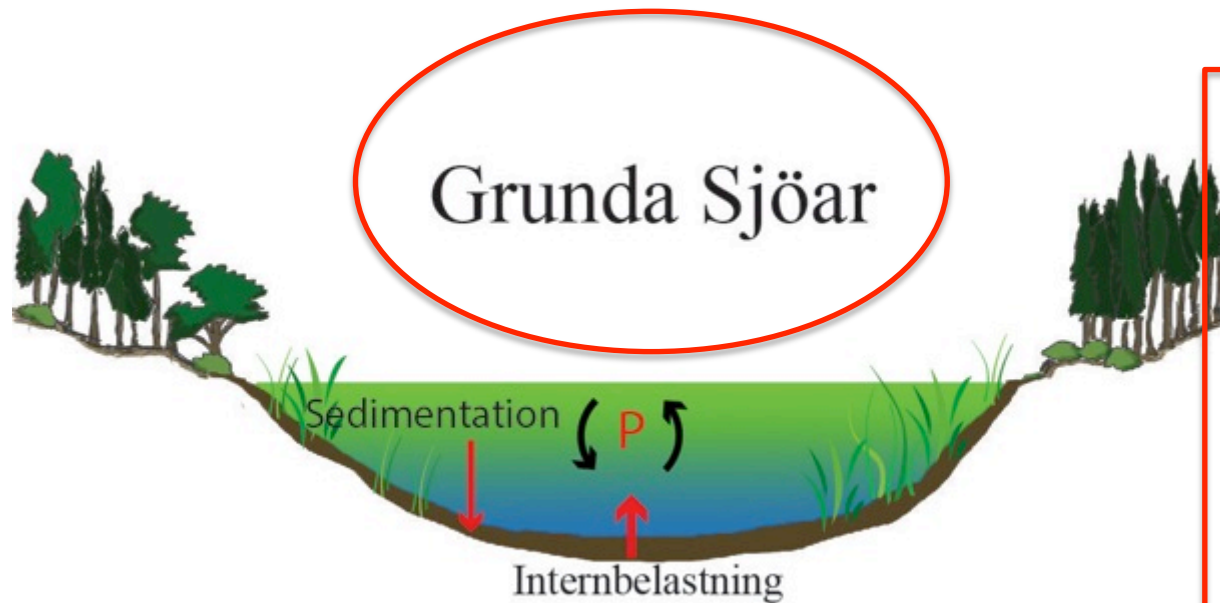


# Internbelastning av fosfor - hur funkar det?

- Fosfor i sedimenten är bunden till:
  - Partiklar
  - Metaller såsom järn (Fe), aluminium (Al), och kalcium (Ca)
  - Organiskt material
- Fosfor finns också i organiskt material (OM)
  - Viktigare i sjöar som blandas om ofta (t.ex. Molkomsjön)
  - Det är p.g.a. ökad temperatur och nedbrytning av OM
- Fosfor frigörs från sedimenten när:
  - Temperaturen stiger och organiskt material bryts ned
  - Syrgashalten i vattnet minskar och fosfor frigörs från Fe
  - pH ökar (>9,5) och fosfor frigörs från Fe och Al
  - pH minskar (<5,5) och fosfor frigörs från Fe, Al, och Ca

## Internbelastningsprocesser

- Högt pH (>9)
  - P frigörs från Fe och Al
- Sedimentrörning/omblandning
  - Vind och bentisk fisk rör om i sediment
- Nedbrytning av organiskt material
  - Ökad på grund av ↑ temperaturer
  - P släpps och syrgashalt minskar
- Periodvis (t.ex. under natten) eller utdragen låg syrgashalt
  - P frigörs från Fe



- Nedbrytning av organiskt material
  - P släpps och syrgashalt minskar
- Låg syrgashalt i bottenvattnet (slutet på vintern och sommaren)
  - P frigörs från Fe
  - Diffusion och vattenomblandning överför P till ytvattnet

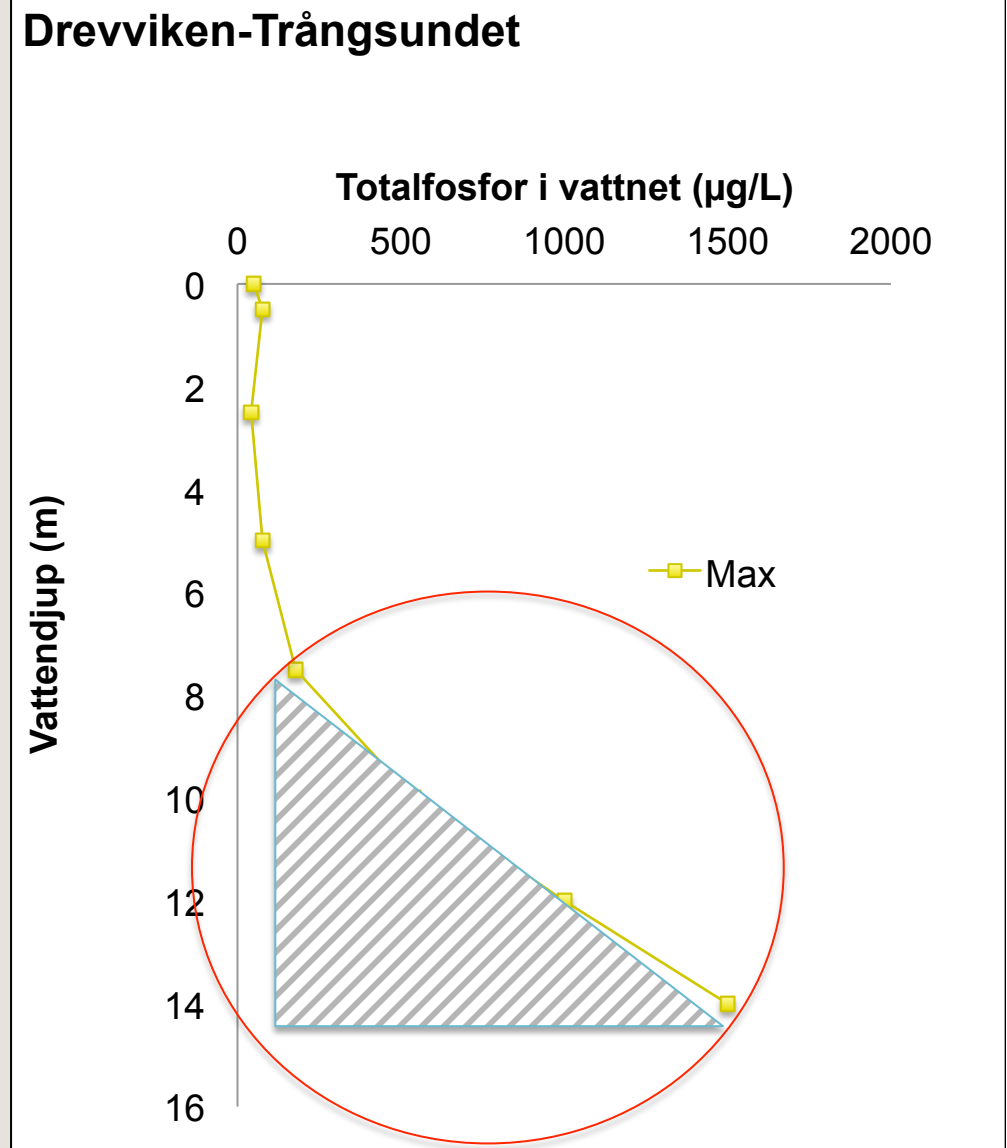


# Potentiella källor av fosfor till Molkomsjön

- Markanvändning runt Molkomsjön
  - Skog 73 % (Avverkning 4%)
  - Vatten 9,3 %, Myr 5,5 %
  - Jordbruk 8,4%
  - Tätort 1,4 %
- Gamla synder
  - Orenade/otillräckligt renade avloppsvatten (fram till år 2000)
  - Jordbruk
- ”Nya synder”
  - Otillräckligt renade avloppsvatten (enskilda avlopp)
  - Jordbruk (diffusa källor)
- Fosfor från externa källor lagras i sedimenten och sedan transporteras till djupare delar av sjön

# Hur mäter vi internbelastning?

- Ökning av fosfor i vattnet
  - Man kan beräkna hur mycket fosfor som frigjorts från sedimenten
  - Svårt att göra i grunda sjöar eftersom vattnet omblandas ofta
- Uppskatta internbelastning
  - Kan använda rörliga (mobila) former i sedimenten
  - Kan inkubera sediment i labbet
- Modellering
  - Behöver en P budget, dvs alla P källor till sjön
  - Båda enkla och komplicerade modeller





# Internbelastning av fosfor i Molkomsjön

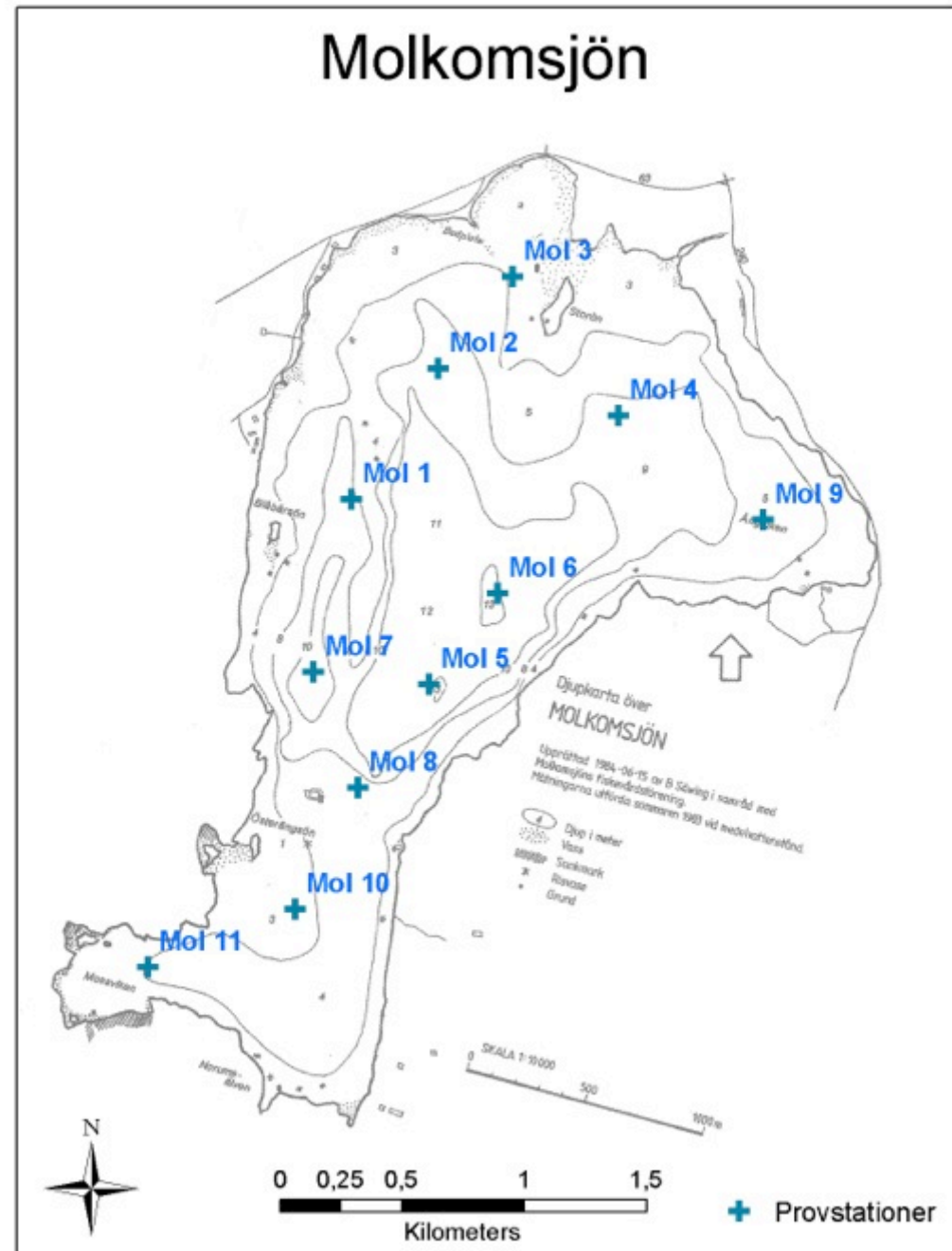
- För att bedöma internbelastning av fosfor har vi:
  - Provtagit 11 sediment proppar (april 2017)
    - Varje propp skivades och 8 skikten sparades (0 till 30 cm)
    - Använde fosforfraktionering - man delar upp olika former av fosfor (lättlösliga och fastbundna)
    - Beräknat mängden läckagebenägen (lättlösliga) former av fosfor i de yppersta sediment lagarna
  - Provtagit 2 proppar från ett grunt område och djuphållet
    - Propparna inkuberades drygt 6 vecker
    - Syrgas och totafosfor analyserades
  - Analyserat vattenkemiska data (fosfor i vattnet)



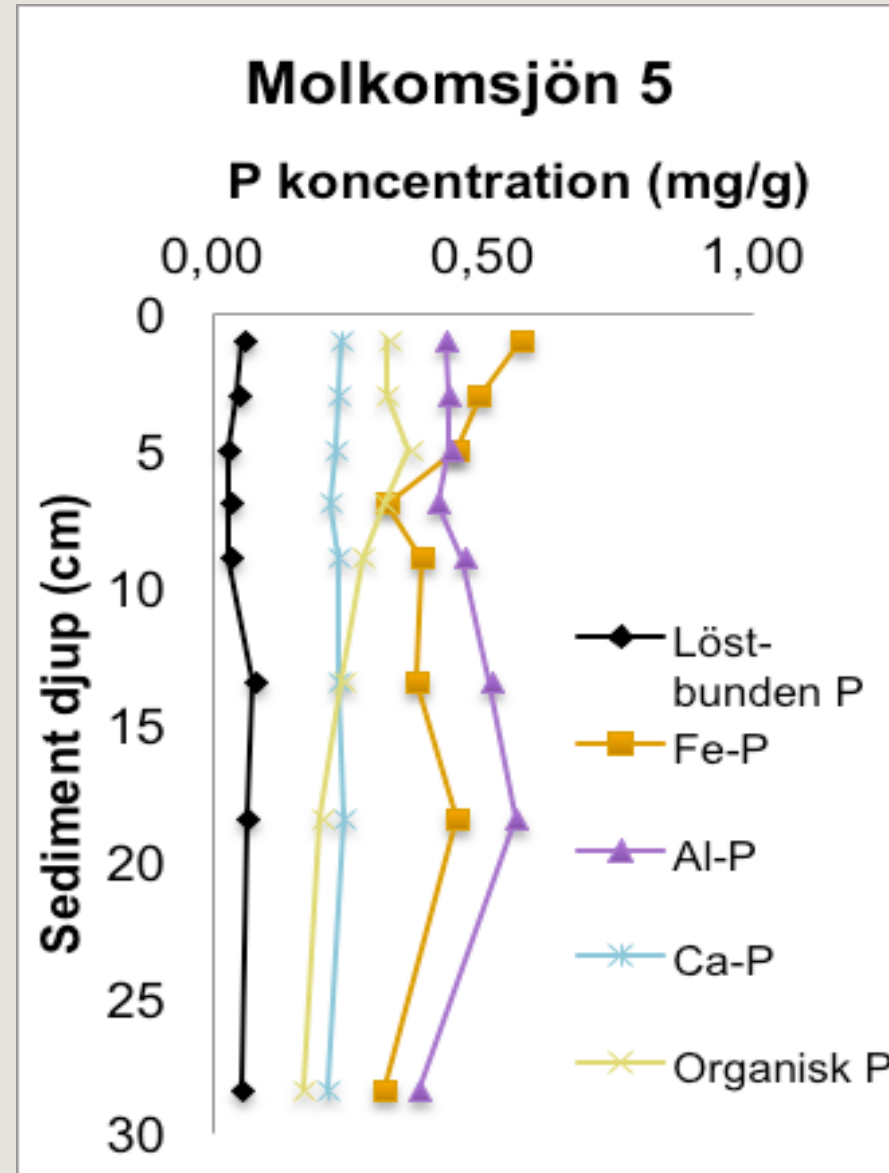
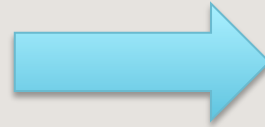


- 13 proppar hämtades

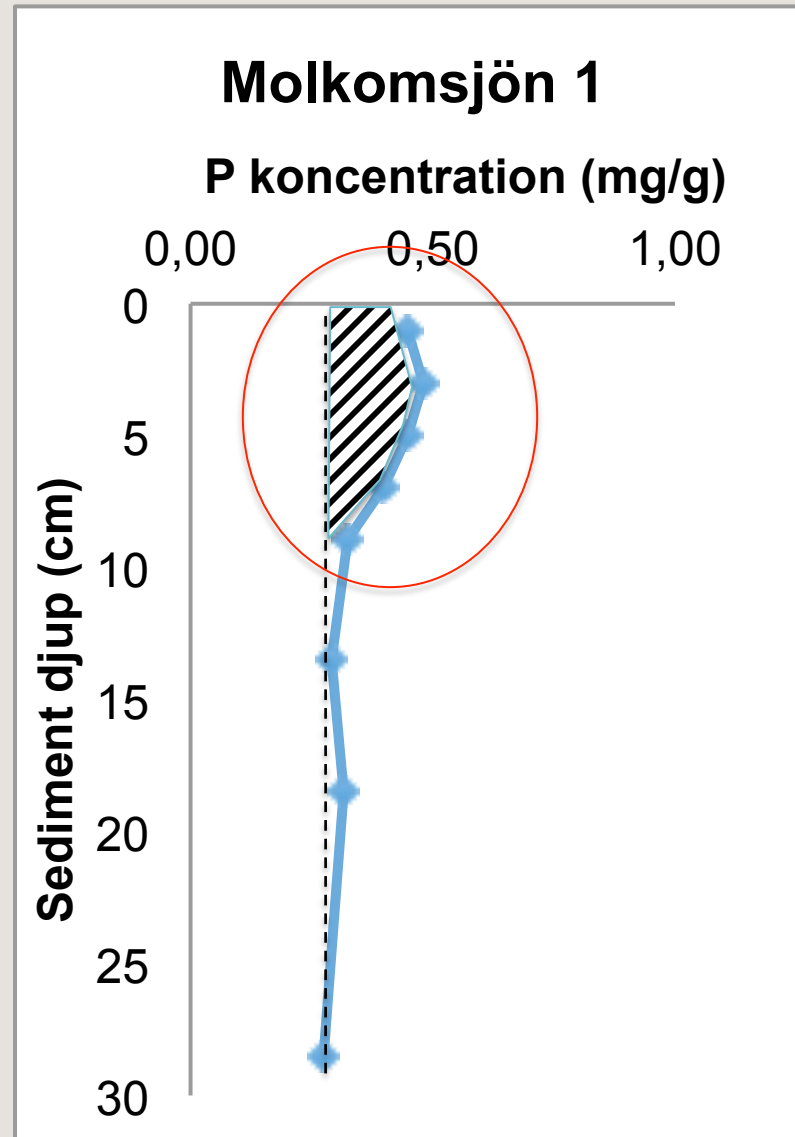
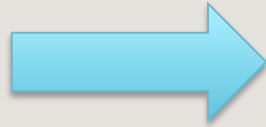
Propp	Vattendjup meter
Mol 1	7,8
Mol 2	10,3
Mol 3	4,1
Mol 4	9,0
<b><u>Mol 5</u></b>	<b><u>13,4</u></b>
Mol 6	13,6
Mol 7	10,7
Mol 8	8,5
Mol 9	7,0
Mol 10	3,9
<b><u>Mol 11</u></b>	<b><u>4,1</u></b>



# Olika former av fosfor i sedimenten

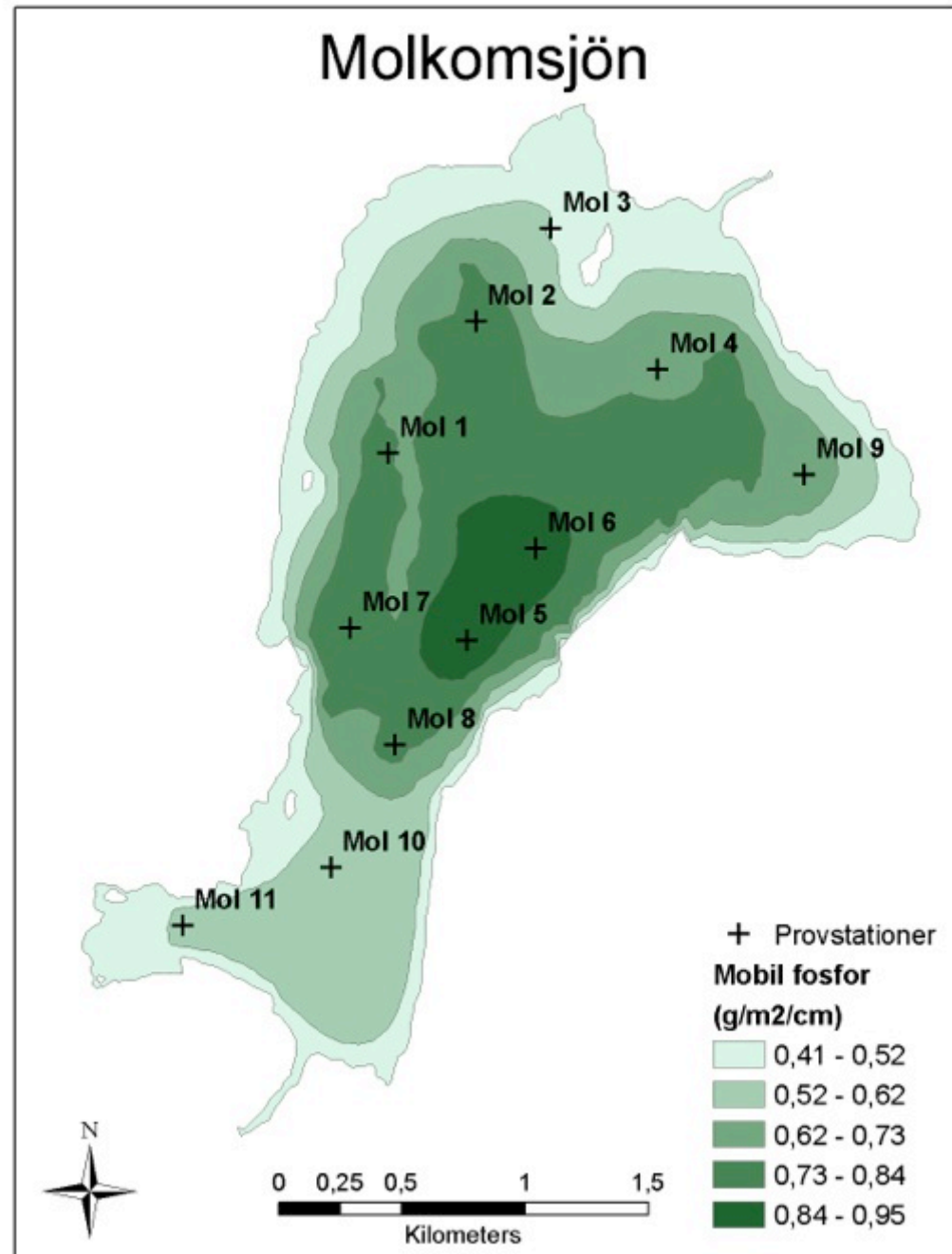


# Mobil fosfor i sedimenten



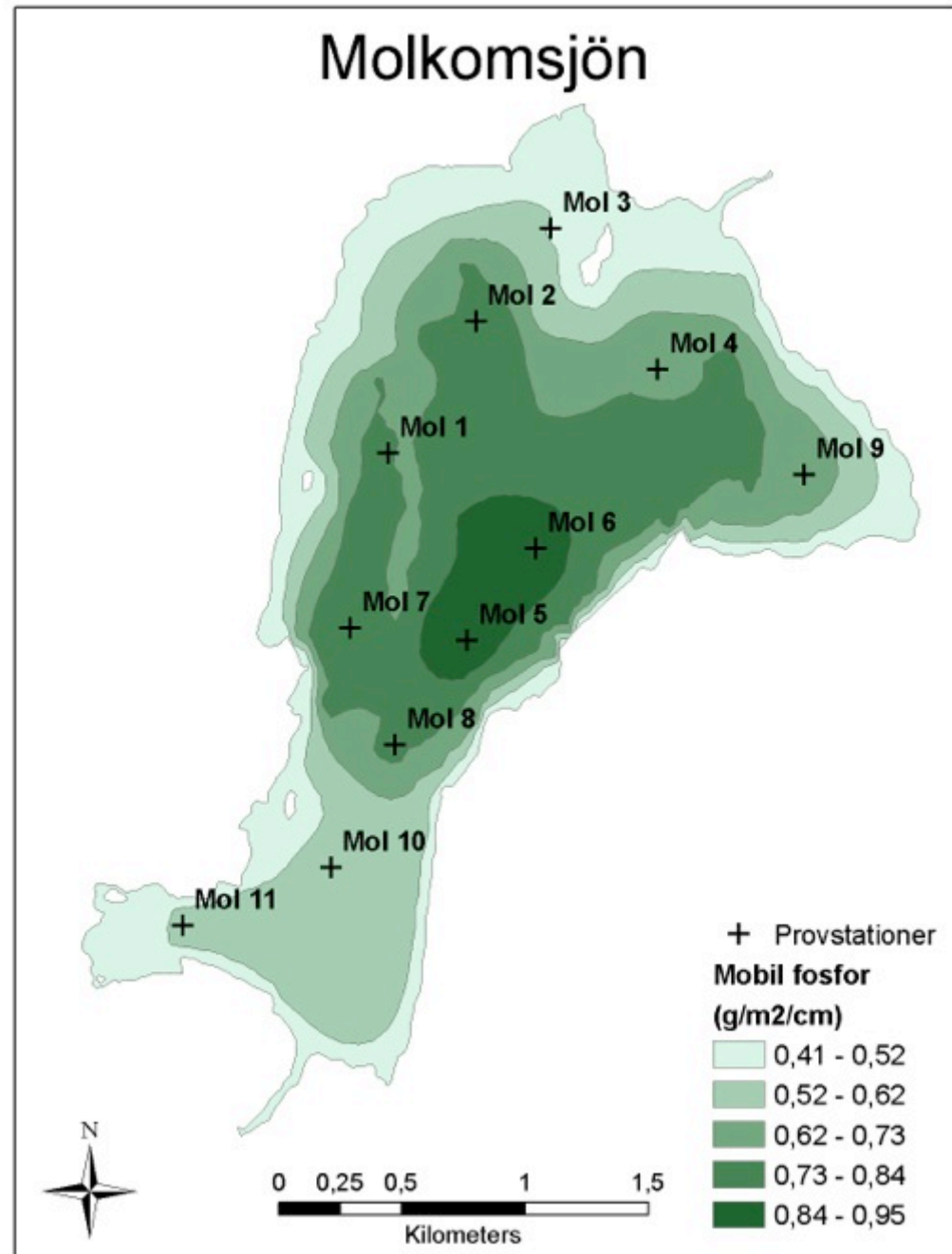
- Mobil (lätt rörlig) fosfor i sedimenten

Propp	Vatten Djup	Mobil fosfor
	meter	g/m <sup>2</sup> /cm
Mol 1	7,8	0,80
Mol 2	10,3	0,92
Mol 3	4,1	0,48
Mol 4	9,0	0,68
<b>Mol 5</b>	<b>13,4</b>	<b>0,95</b>
<b>Mol 6</b>	<b>13,6</b>	<b>0,89</b>
Mol 7	10,7	0,78
Mol 8	8,5	0,84
Mol 9	7,0	0,75
Mol 10	3,9	0,67
Mol 11	4,1	0,44



- Potentiell internbelastning av fosfor

Propp	Vatten Djup meter	Intern- belastning mg/m <sup>2</sup> /d
Mol 1	7,8	11,4
Mol 2	10,3	13,2
Mol 3	4,1	6,5
Mol 4	9,0	9,5
<b>Mol 5</b>	<b>13,4</b>	<b>13,7</b>
<b>Mol 6</b>	<b>13,6</b>	<b>12,7</b>
Mol 7	10,7	11,1
Mol 8	8,5	11,9
Mol 9	7,0	10,6
Mol 10	3,9	9,5
Mol 11	4,1	6,0



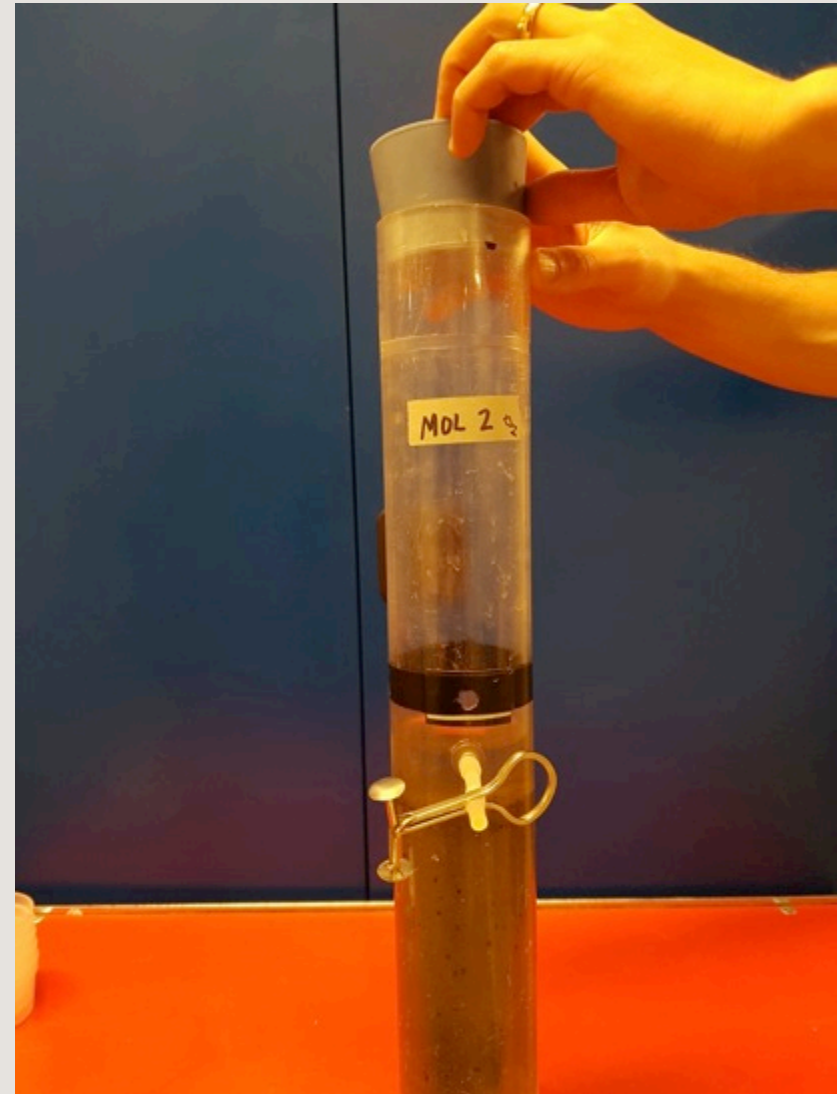


# Sedimentfosfor och internbelastning

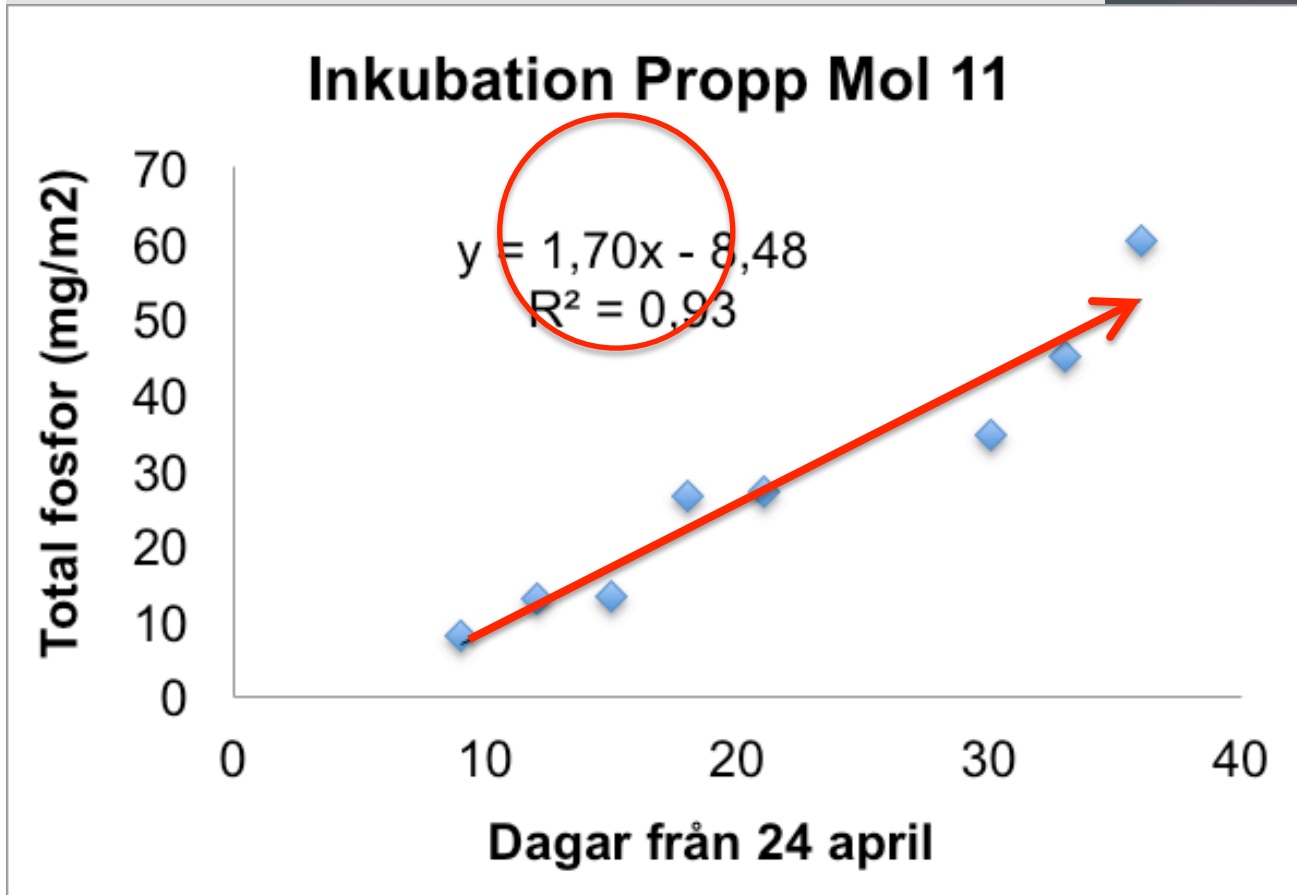
- Potentiell internbelastning varierade mellan 6 och 13,7 mg/m<sup>2</sup>/d
  - Medelvärde där vattendjup är > 8 m = 10,8 mg/m<sup>2</sup>/d
  - Anses som högt
- Potentiell internbelastning uppnås bara under väldigt dåliga förhållanden
  - Syrgasbrist
  - Hög temperatur (15-20 grader)

# Inkuberingsförsök

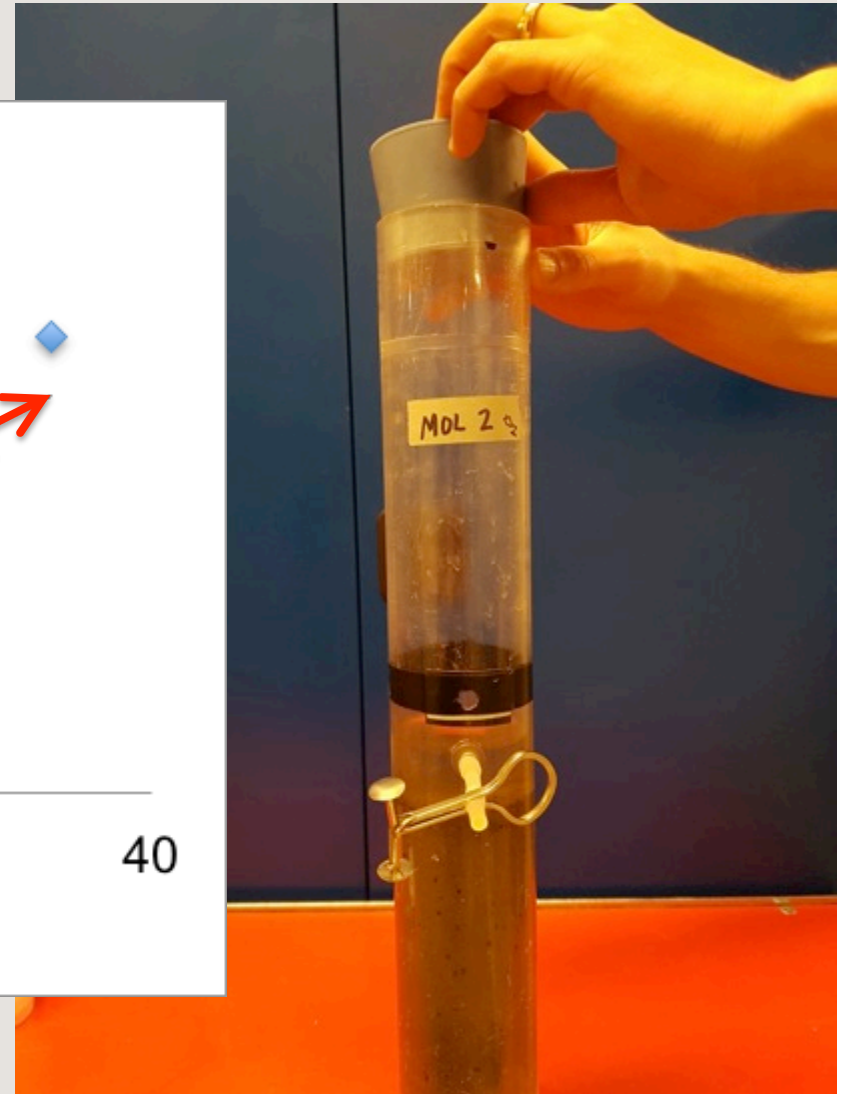
- Inkuberingsförsök gjordes som en del av ett annat projekt (Formas)
- Två proppar inkuberades
  - En från ett grunt område och en från ett djupt område
  - 15 cm sediment, med 25 cm vatten ovanpå
  - Syrgas och total P analyserades under hela försöket
- Ökning av P analyserades under
  - Syrerika förhållanden (grunt)
  - Syrefattiga förhållanden (djupt)
- Internbelastningshastighet beräknades



# Inkuberingsförsök - syrerikt sediment från ett grunt område

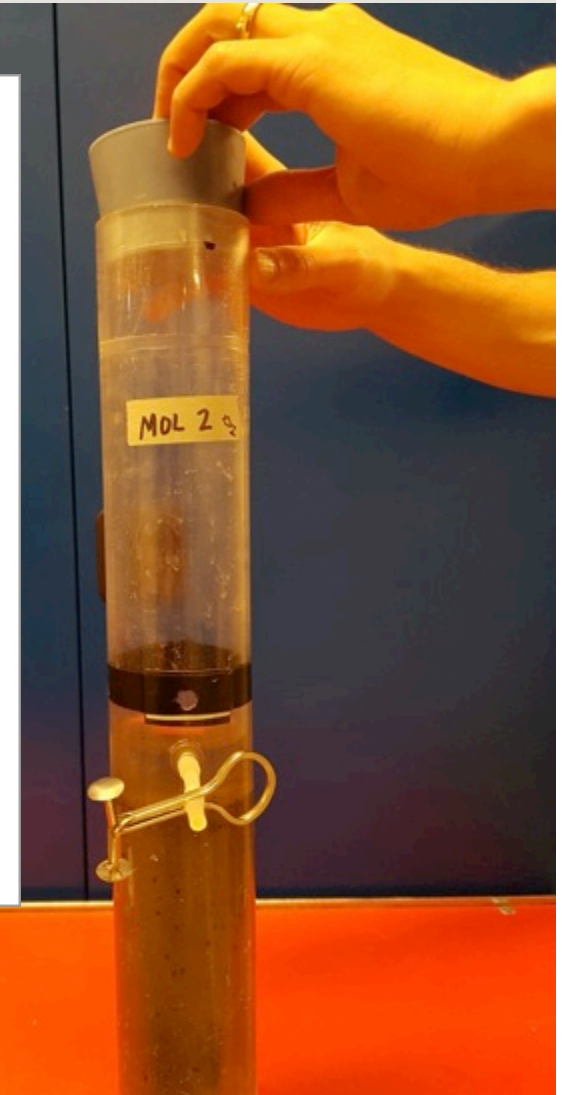
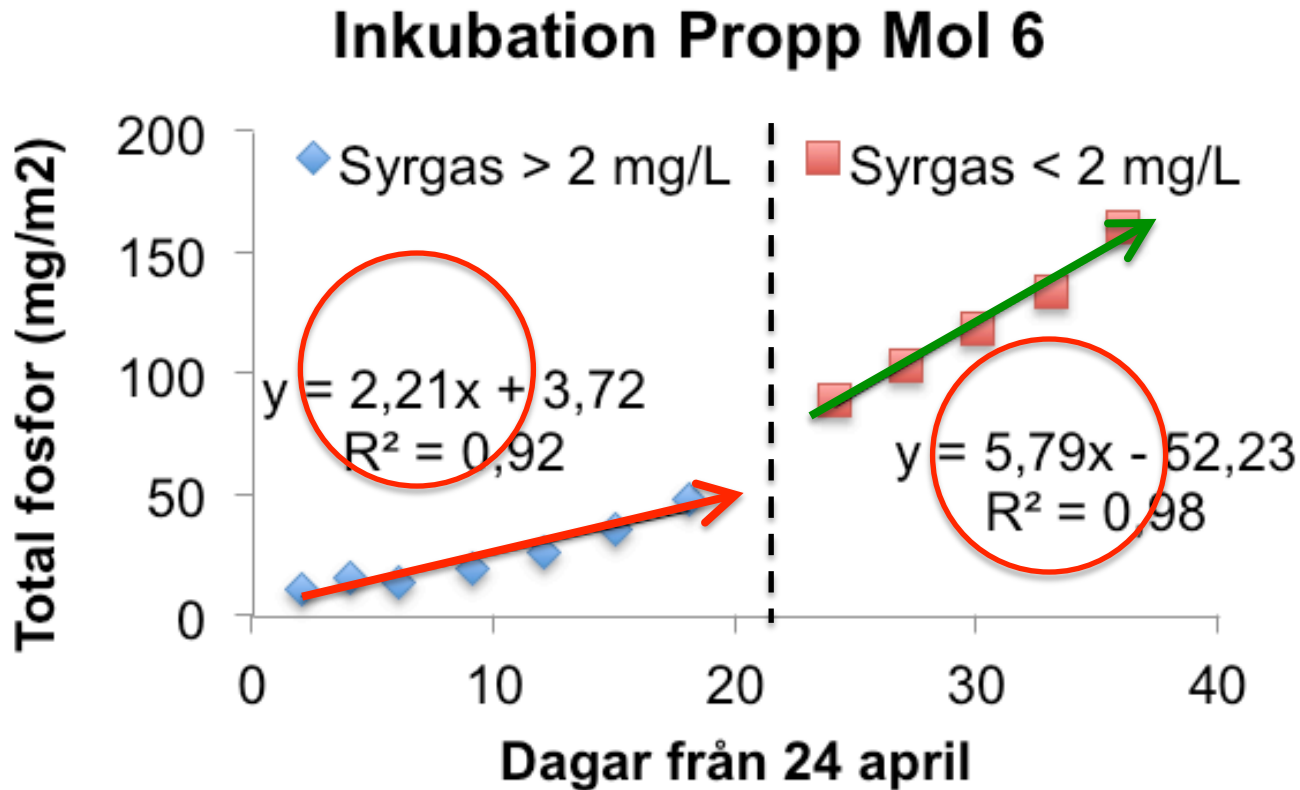


Internbelastning av fosfor = 1,7 mg/m<sup>2</sup>/d





# Inkuberingsförsök - syrefattigt sediment från ett djupt område



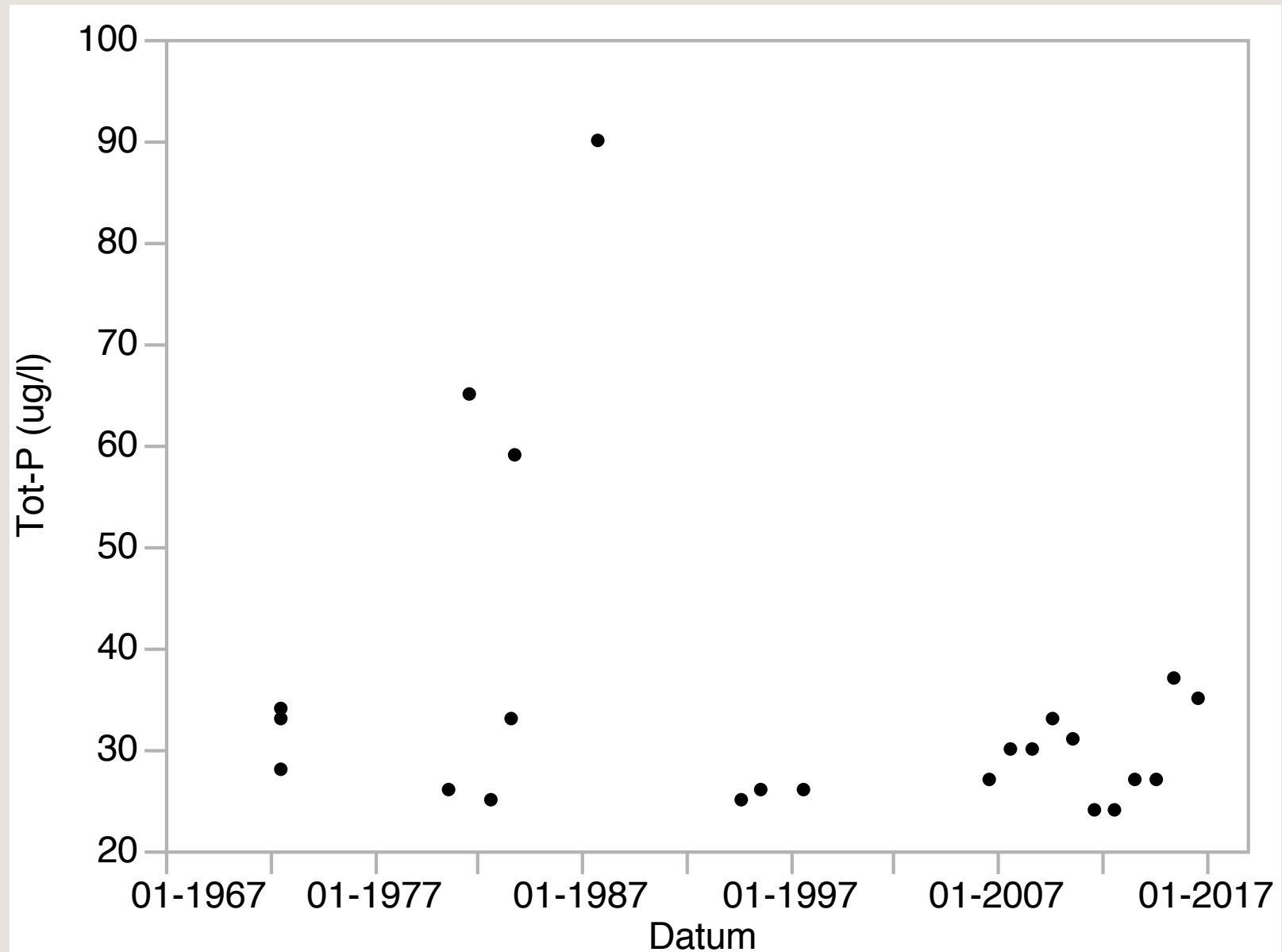
Internbelastning (syrerik) = 2,2 mg/m<sup>2</sup>/d

Internbelastning (syrefattig) = 5,8 mg/m<sup>2</sup>/d

# Inkuberingsförsök

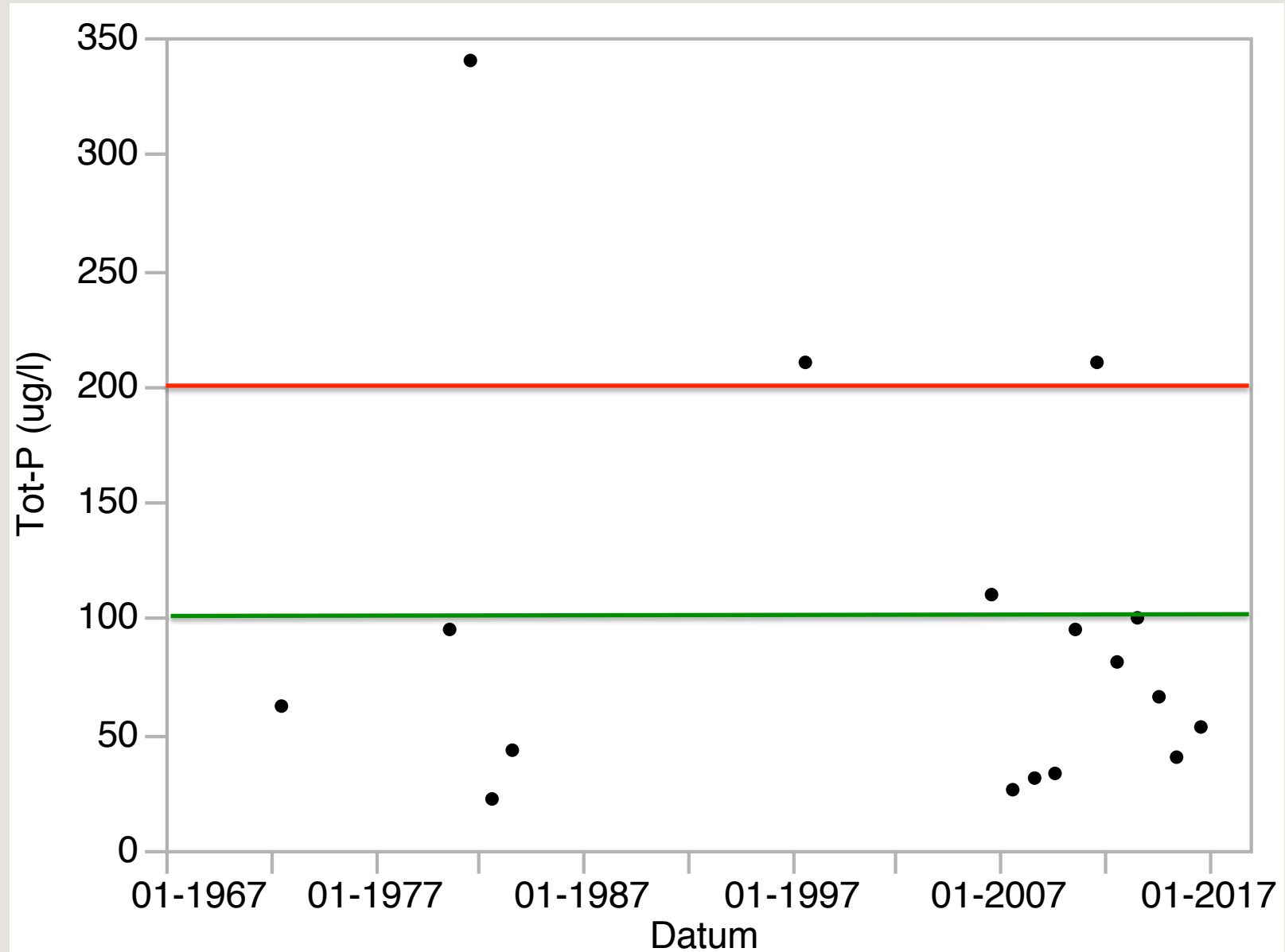
- Syrerika förhållanden
  - Internbelastning av fosfor mellan 1,7 och 2,2 mg/m<sup>2</sup>/d
  - Ganska lågt-måttligt
  - På grund av nedbrytning av organiskt material i sedimenten av bakterier (detta minskar syrgas)
- Syrefattiga förhållanden
  - Internbelastning av fosfor = 5,8 mg/m<sup>2</sup>/d (ganska högt)
  - På grund av både nedbrytning och frisättning av fosfor från järn
- Det tar 3 veckor innan internbelastning ökar
  - P.g.a. att det tar tid för tillräcklig minskning av syrgas
  - Sedan måste järn reduceras (från Fe<sup>3+</sup> till Fe<sup>2+</sup>)
  - Sedan kan fosfor frisättas från järn

# Vattenkemiska data - ytvatten



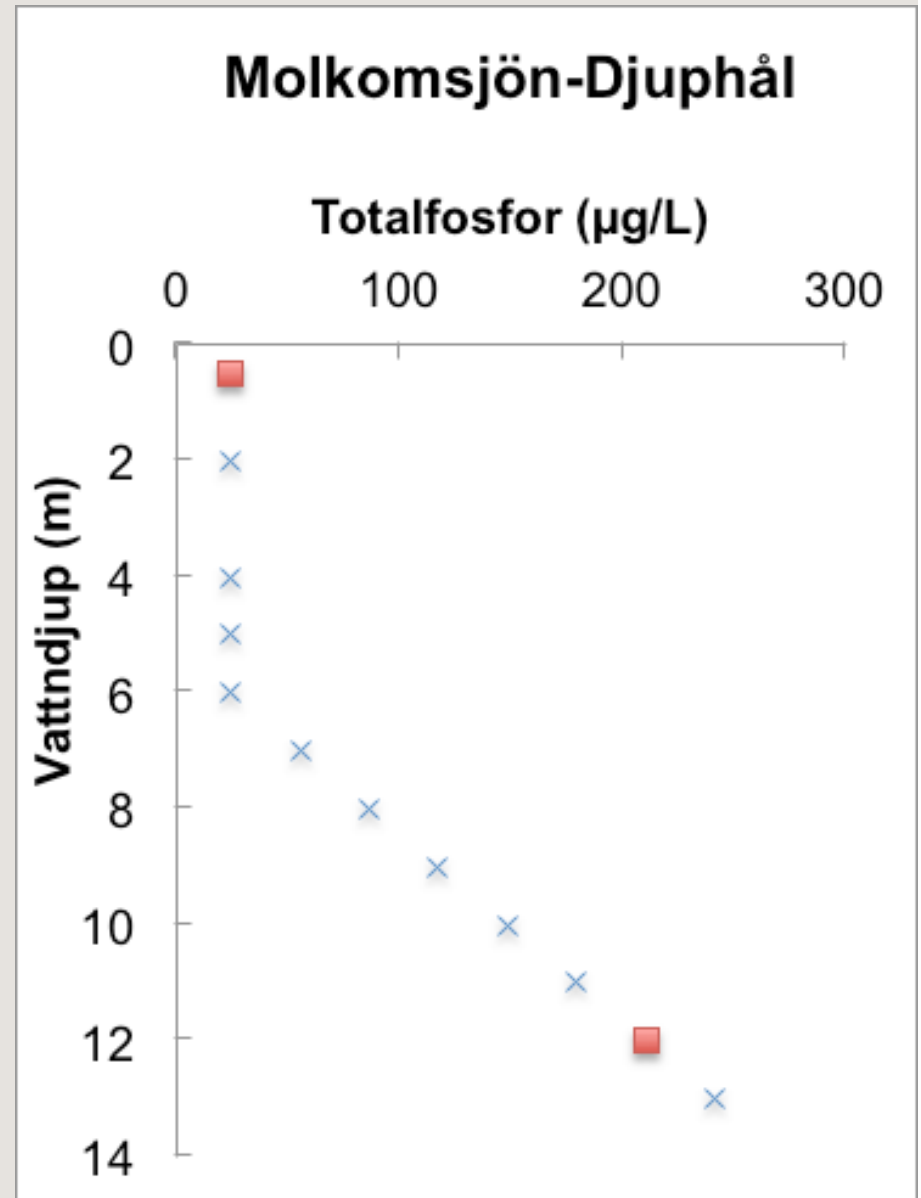


# Vattenkemiska data - bottenvatten



# Vattenkemiska data

- Ökning av fosfor i bottenvattnet användes för att beräkna internbelastning
- En grov uppskattning av internbelastning gjordes med vattenkemiska data från 1997 och 2011 när totalfosfor i bottenvattnet nådde 210  $\mu\text{g/L}$ .
- Eftersom bara yt- och bottenvatten (0,5 resp. 12 m) provtagits, uppskattades koncentrationer på andra djup



# Vattenkemiska data

- Internbelastning uppskattades bara för områden med vattendjup > 8 m
- Internbelastningshastigheten beror på hur lång tid sjön varit skiktad och koncentrationen av fosfor i vattnet
- Eftersom bara en provtagning gjordes under sommaren är det omöjligt att göra en exakt uppskattning av internbelastningshastighet

Dagar sjön varit skiktad	Internbelastning (mg/m <sup>2</sup> /d)
30	8,0
60	4,0
90	2,7

# Jämförelse av metoder

- Alla metoder ger ganska lika siffror
- Potentiell internbelastning baserat på sedimentfosfor
  - Max 13,7 mg/m<sup>2</sup>/d
  - Medel (> 8m vattendjup) = 10,8 mg/m<sup>2</sup>/d
  - Anses som högt
  - Sker bara under väldigt dåliga förhållanden (syrgasbrist och hög temp.)
- Beräknad internbelastning baserat på inkubationsförsöket
  - Min 1,7 mg/m<sup>2</sup>/d (syrerikt)
  - Max 5,8 mg/m<sup>2</sup>/d (syrefattigt)
  - Anses som ganska högt
- Uppskattning med befintliga vattenkemiska data
  - Från 4,0 till 8,0 mg/m<sup>2</sup>/d (baserat på troliga skiktningssperioder)
  - Anses som ganska högt till högt



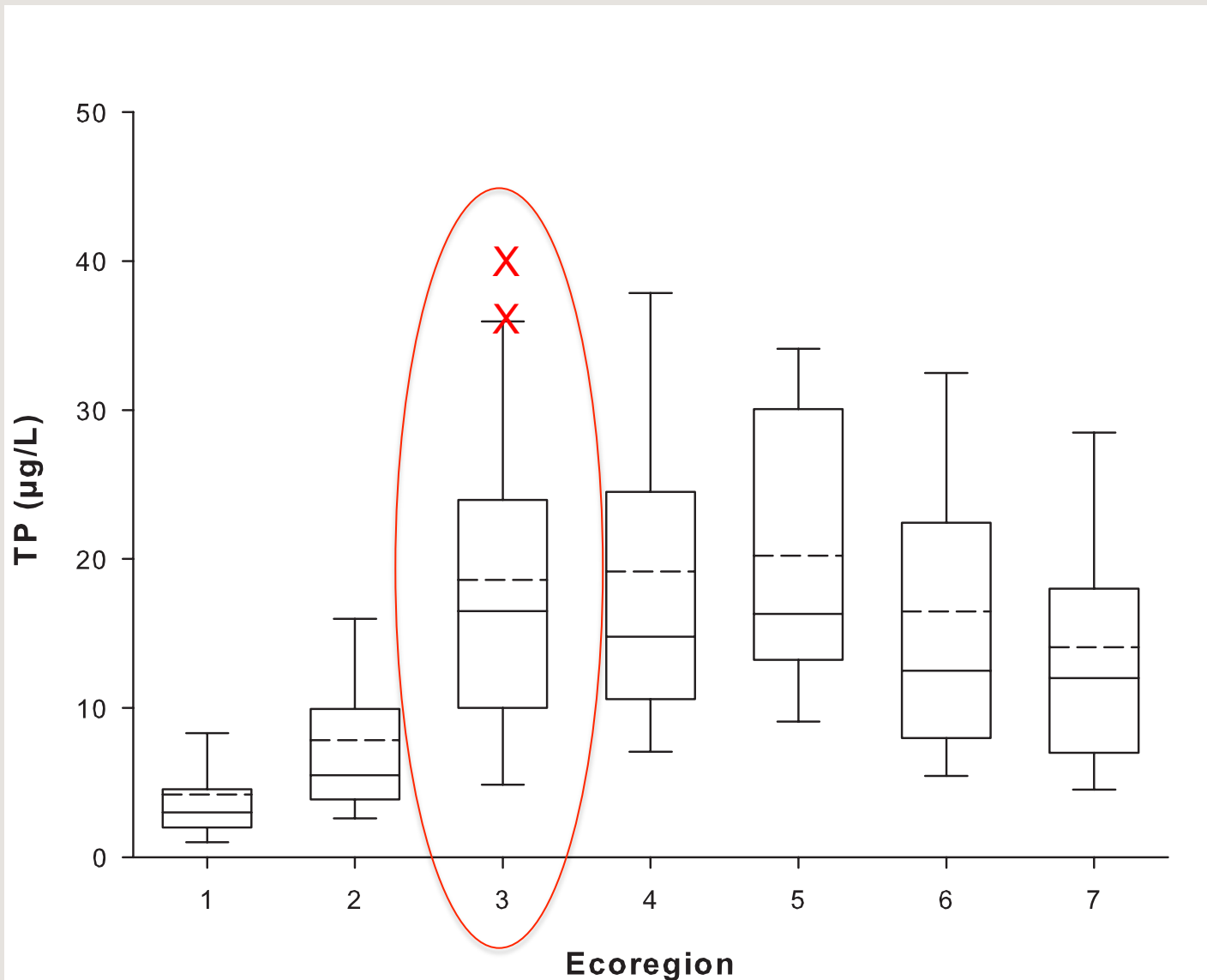
# Jämförelse av internbelastning i andra, liknande sjöar

Sjönamn	Internbelastning (mg/m <sup>2</sup> /d)	Trofisk Status
Fountain-Dane Bay	13,6	Hypertrof
<b>Södra Bergundasjön</b>	<b>13,5 (18<sup>^</sup>)</b>	<b>Hypertrof</b>
South Twin	9,2	Eutrof/hyper
Fountain-Edgewater Bay	9,0	Hypertrof
Fountain-Bancroft Bay	8,1	Hypertrof
<b>Norra Bergundasjön</b>	<b>7,5 (11,2<sup>^</sup>)</b>	<b>Hypertrof</b>
Fountain-Main Bay	6,8	Hypertrof
North Twin	6,0	Eutrof
<b>Molkomsjön</b>	<b>5,8 (10,6<sup>^</sup>)</b>	<b>Eutrof</b>
Pickerel Lake	3,9	Hypertrof
White Lake	3,8	Hypertrof
Albert Lea Lake	3,6	Hypertrof
Earley Lake	2,9	Eutrof
<b>Trummen</b>	<b>1,1 (2,5<sup>^</sup>)</b>	<b>Mesotrof</b>

<sup>^</sup>Modellerade värden



# Jämförelse av P i ytvattnet - opåverkade sjöar i samma ekoregion





# Vad kan vi säga om internbelastning i Molkomsjön?

- Det är mycket troligt att internbelastning påverkar vattenkvaliteten negativt (periodvis)
- Detta sker under sommarperioden när sjön skiktas (d.v.s. när vattenkolumnen/massan är stabil och inte omblandas)
  - Det tar 3 veckor innan internbelastningen ökar till en nivå som anses vara ganska hög
- Potentiell internbelastning är hög
  - Men det betyder inte att den ofta uppnås
- Det finns myrmalm i sedimenten som innehåller mycket järn
  - Detta försenar internbelastning
- Externbelastning har minskat
  - Detta betyder att internbelastning kommer att minska i framtiden



# Vad kan vi inte säga om internbelastning i Molkomsjön?

- Det är omöjligt att bedöma hur ofta, och under hur lång tid sjön skiktas
  - Viktigt att veta för att kunna kvantifiera hur mycket fosfor internbelastning bidrar till sjövattnet under ett år, och hur många gånger
- Det går inte att jämföra internbelastning med externbelastning (mängder)
  - Viktigt för att bedöma viktigheten av internbelastning jämfört med externbelastning. Är den 10, 25, eller 50% av hela fosforbelastningen till sjön?
  - Viktigt för att avgöra hur man ska fördela resurser
- Vi vet inte hur lång tid det tar för naturlig återhämtning



# Åtgärder för att minska internbelastning

Sjötyp	Fällning	Muddring	Syresättning	Biomanipulation	Utpumpning
Grund	X	X		X	
Djup	X	X	X		X

- Ofta är det en kombination som behövs
  - Både kemiska och biologiska förhållanden måste ändras
- Man vill inte att fosfor ska minska 'för mycket'
  - För lite fosfor är lika dåligt som för mycket
  - Vi har problem med det här i opåverkade skogssjöar
- När man minskar tillgången på näringsämnen påverkar man artsammansättning
  - Gös och abborre trivs till exempel bättre i grumligt, grunt vatten
  - Öring är beroende av kallare vatten, mindre näringsämnen och högre syrgasnivåer i djupare sjöar
- Det kostar mer att minska P när koncentrationen är måttlig

# Rekommendationer

- För att bedöma hur viktigt internbelastning är behöver man en utökad provtagningsprogram som inkluderar:
  - Syrgas och temperatur profiler i djuphållet (varannan vecka, varje meter)
  - Provtagning av vatten och analys av total- och fosfatfosfor (minst en gång per månad på 3-4 olika djupnivåer)
- För att jämföra intern och externbelastning, behöver man en fosforbudget där man beräknar alla källor av fosfor till sjön, som inkluderar:
  - Samma som ovan
  - Mäter flöde och temperatur samt analyserar fosfor (total och fosfatfosfor) i inflödet (minst en gång per månad men under båda högt och lågt flöde)
  - Uppskatta fosfor i deposition med befintliga data
  - Kör en enkel massbalansmodell för att beräkna mängden fosfor från olika källor
    - Då kan man uppskatta effekter av olika åtgärder för att minska fosfor i sjön

# Sammanfattning

- Det finns tydliga indikationer på periodvis förhöjd internbelastning i Molkomsjön
  - Sediment, vattenkemi, och inkuberingsförsök stödjer detta
- Molkomsjön är måttlig eutrof-eutrof (närringsrik/övergödd)
  - Enligt nya bedömningsgrunder är ekologisk kvalitetskvot (EQR) = 0,81
    - För att beräkna EQR = referensvärde/nuvarande fosfor
    - Referensvärdet för Molkomsjön är ca. 30 ug/L (preliminärt)
    - TP = 36 (2007) och 40 ug/L (2013) under november respektive oktober provtagning i Omdrevsprogrammet.
    - Ytvattnet provtas i oktober efter vatten omblandning
- Modellen är baserad på vattenfärg, h.ö.h och grumlighet
  - När man mäter grumlighet, inkluderas alger i beräkningen
  - Det betyder att man kan överskatta referensvärdet i påverkade sjöar
  - När fosfor i en sjö överstiger referensvärdet, skulle en expertbedömning göras