

Åtgärder mot intern näringsbelastning



Insjöar och kustvatten

Gå till <https://bildarkiv.havochvatten.se/3/> och välj en bild ur HaV:s bildarkiv.

I bildarkivet väljer du "hämta som omslagsbild till rapport" i högerspalt.



Rapport 2020:xx

**Havs
och Vatten
myndigheten**

REMISSVERSION

Åtgärder mot internbelastning

Insjöar och kustvatten

HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETEN

HaV-rapport (när vi skriver själva)

Den här rapporten har tagits fram av Havs- och vattenmyndigheten. Myndigheten ansvarar för rapportens innehåll och slutsatser". **eller** "Den här rapporten har tagits fram av Havs- och vattenmyndigheten i samverkan med (namn på en annan myndighet). Myndigheterna ansvarar för rapportens innehåll och slutsatser.

Uppdragsrapport (vi ber någon annan skriva)

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

Den här rapporten har tagits fram av Havs- och vattenmyndigheten. Myndigheten ansvarar för rapportens innehåll och slutsatser.

© HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETEN | Datum: 2020-XX-XX

ISBN 978-91-88727-XX-X | Omslagsfoto: Namn/Företag

Havs- och vattenmyndigheten | Box 11 930 | 404 39 Göteborg | www.havochvatten.se

REMISSVERSION

- 1 **Förord**
- 2 **Skriv Ingress**
- 3 Skriv Brödtext
- 4

REMISSVERSION

5 **Sammanfattning**

6 **Skriv Ingress**

7 **Skriv Brödtext**

8

REMISSVERSION

9 Innehåll

10	1	Inledning	6
11	1.1	Avgränsning	7
12	1.2	Väglidningens uppbyggnad	7
13	2	Internbelastning	9
14	2.1	Olika former av fosfor	9
15	2.2	Naturlig avlägsning av fosfor	10
16	2.3	Skillnader mellan sjö och hav	11
17	3	Bedömningsstöd för åtgärder mot internbelastning	13
18	3.1	Minska tillförseln av fosfor först	13
19	3.2	När bör åtgärder mot internbelastning vidtas?	13
20	3.3	Bedömningsstödsystem	14
21	3.3.1	Inledande analys	14
22	3.3.2	Bedömningsstöd för åtgärder mot internbelastning.	20
23	4	Översiktlig beskrivning av åtgärder mot internbelastning	23
24	4.1	Permanent fastläggning	23
25	4.1.1	Aluminiumfällning	23
26	4.1.2	Phoslock (capping av sediment)	23
27	4.2	Bortförsel	24
28	4.2.1	Hypolimnionavtappning	24
29	4.2.2	Muddring	24
30	4.3	Biomanipulation	24
31	4.3.1	Reduktionsfiske	24
32	4.4	Syretillförsel och omblandning	25
33	4.4.1	Omblandning i sjöar	25
34	4.4.2	Haloklin ventilation	25
35	4.4.3	Syrgassättning och luftning av hypolimnion	26
36	4.5	Åtgärder under utveckling	26
37	4.5.1	Lågflödesmuddring	26
38	4.5.2	Behandling med mörgel	27
39	4.5.3	Reaktiva filtermaterial	28
40	5	Bidrag för åtgärder mot internbelastning.	29
41	5.1	LOVA	29
42	5.2	Särskilda satsningar	30
43	6	Referenslista	31
44			
45			

1 Inledning

Övergödning är ett utbrett problem i sjöar, vattendrag och havsområden, framför allt i södra Sverige. Övergödningen orsakas av förhöjd tillförsel av näringsämnen, främst fosfor och kväve till vattenmiljön. Tillförseln kommer i första hand från landbaserade källor. Denna tillförsel kan delas upp i punktkällor och diffusa källor. Exempel på antropogent orsakade punktkällor är industrier och avloppsreningsverk medan näringsläckage från lantbruk är exempel på en diffus källa.

Genom att reducera den externa belastningen av näringsämnen kan vattenkvaliteten förbättras. Många vattenmiljöer lider dock av läckage av näringsämnen från sediment. Denna så kallade **interna näringsbelastning eller internbelastning**, avser främst läckage av fosfor, som ackumulerats i bottenarna över tid. I dessa vattenmiljöer kan åtgärder krävas för att god ekologisk status ska kunna följas. En minskad intern mängd tillgänglig fosfor kan förbättra vattenkvaliteten genom minskad tillväxt av alger och ett klarare vatten. Ur ett avrinningsområdesperspektiv kan åtgärder mot internbelastningen i en sjö dessutom resultera i en minskning av belastningen till nedströms belägna sjöar och till havet.

Åtgärder mot internbelastning är ingen ersättning för åtgärder mot näringsläckage från land till vattenmiljön, så kallade **extern näringsbelastning**. Den externa näringsbelastningen måste vara nere på en låg nivå för att en internbelastningsåtgärd ska bli långsiktigt effektiv. Även om en framgångsrik åtgärd mot internbelastning resulterar i att fosforhalterna temporärt minskar, så kommer den externa belastningen avgöra övergödningssituationen i vattenförekomsten på lång sikt eller vice versa.

Målgrupper för denna vägledning är framför allt miljöhandläggare och förvaltare av vattenmiljöer på nationella myndigheter, länsstyrelser och kommuner som organiserar och handlägger ärenden som rör övergödningssåtgärder. En annan viktig målgrupp är miljödomstolar och deras

78 tekniska råd, liksom beslutsfattare på kommunal och regional nivå. Rapporten
79 kan också utgöra underlag för kurser vid universitet och högskolor.

80 Vägledningens syfte är att vägleda om

- 81 a) när det är lämpligt att genomföra åtgärder mot internbelastning av fosfor,
- 82 b) vilken eller vilka åtgärder som kan vara lämpliga vid olika förhållanden
- 83 och
- 84 c) hur olika åtgärder kan finansieras.

85 **1.1 Avgränsning**

86 Vägledningen omfattar åtgärder i vattenmiljön som kan motverka läckage av
87 fosfor från sediment samt direkt bortförsel av sediment och näringsrikt
88 bottenvatten. Åtgärder som inte bedöms färdigutvecklade för att hantera
89 internbelastning i vattenmiljöer såsom lågflödesmuddring, mangelbehandling,
90 reaktiva filtermaterial eller odling av blå fånggrödor, hanteras inte.

91
92 Vägledningen är utformad för hantering av internbelastning av fosfor i sjöar och
93 kustvatten. För kustvatten gäller det

- 94 1. kustvatten där vattenvolymen är skiktad samt,
- 95 2. kustvatten som är oskiktade och som saknar betydande vattenutbyte med
- 96 Östersjön, dvs. där det går att övervaka kustvattnets in- och utlopp.

97 I nuläget inkluderas inte andra kustvatten då det inte bedöms vara aktuellt med
98 internbelastningsåtgärder i dessa. Vägledningen omfattar inte heller
99 internbelastningsåtgärder i Östersjöns utsjövatten.

100 Vägledningen omfattar inte prövnings- och tillsynsfrågor enligt miljöbalkens
101 krav. Verksamhetsutövarens juridiska skyldigheter vid användning av en viss
102 metod hanteras inte heller. Den juridiska erfarenheten av
103 internbelastningsåtgärder vid tillsyn och prövning bedöms som begränsad och
104 det saknas i dag i stort sett praktisk erfarenhet och praxis inom området.

105 **1.2 Vägledningens uppbyggnad**

106 Vägledningen är fokuserad på internbelastning av fosfor och inledningsvis
107 beskrivs denna problembild.

108 Därefter följer ett bedömningsstöd vars syfte är att vägleda kring om, när och var
109 åtgärder mot internbelastning bör vidtas samt vilka underlag som behövs för att
110 kunna göra denna bedömning. Genom uteslutningsprincipen vägleder systemet
111 fram till en första sällning om vilka åtgärder som skulle kunna vara lämpliga att
112 överväga för en given vattenförekomst. I den fortsatta planeringen av åtgärder
113 behöver en mer omfattande analys göras där möjliga åtgärder ställs mot varandra
114 och de aktuella förhållandena i vattenmiljön som man vill åtgärda.

115
116 Efter bedömningsstödet följer en översiktlig beskrivning av åtgärder i
117 vattenmiljön som motverkar läckage av fosfor från sediment samt direkt
118 bortförsel av sediment och näringsrikt bottenvatten. I vägledningens bilaga
119 utvecklas beskrivningarna för de olika åtgärderna, dess för- och nackdelar,
120 lämplig lokalisering samt ett urval av dokumenterade erfarenheter.

121
122 Vägledningen avslutas med en redogörelse om finansieringsmöjligheter för
123 internbelastningsåtgärder.

124

125 2 Internbelastning

126 2.1 Varför uppstår internbelastning?

127 Internbelastning uppstår när stora mängder näringsämnen ackumuleras i djupa
128 delar av sjöar och vikar genom sedimentation av organiskt material. En andel av
129 detta material bryts ner (mineraliseras) samtidigt som syre förbrukas och
130 näringsämnen, bland annat fosfor, frigörs till vattenmiljön.

131
132 Vid syresatta förhållanden kan den frigjorda fosfor binda till ämnen som järn,
133 aluminium eller kalcium och lagras in i de syresatta sedimentlagren. Perioder av
134 mycket syrefattiga eller helt syrefria (anoxiska) förhållanden vid botten kan dock
135 förhindra vissa av dessa processer, varvid fosfor löses upp och läcker ut till
136 vattenmassan.

137
138 De faktorer som avgör vilka vatten som kommer att bli internbelastade är
139 vattnets **belastningshistorik**, dess **omsättningstid** och **tillförseln av**
140 **fosforbindande ämnen** från avrinningsområdet. Även vattnets
141 blandningskaraktäristik är en viktig faktor som påverkar internbelastningens
142 omfattning.

143
144 Internbelastningen upprätthålls genom ett kretslopp av läckande fosfor,
145 planktonblomningar, sedimentering, mineralisering, syreskuld, nya läckage och
146 så vidare. Detta fenomen blir tydligt om **vattnets omsättningstid är lång** och
147 endast en mindre andel av fosfor har möjlighet att lämna systemet via utloppet.
148 Även med en måttligt förhöjd tillförsel från land kan alltså en sjö eller en
149 innesluten vik upprätthålla ett övergött tillstånd under lång tid. Historiska
150 tillskott av fosfor till vattenmassan stannar på så sätt kvar i systemet och påverkar
151 vattenkvaliteten under lång tid.

152 2.2 Olika former av fosfor

153 Fosfor i sediment föreligger i många hundratals olika former. Det mesta av
154 fosfor i sedimenten har transporterats dit bunden i organiska eller oorganiska
155 former. En del av fosfor är så pass hårt bunden att den inte kommer frigöras och
156 läcka ut i vattenmiljön. Löst fosfor som når vattenmiljön i en övergödd sjö eller

157 kustvik eller som binds in i växtplankton, bakterier eller till oxiderade
158 järnkomplex, kommer dock med tiden att frigöras från sedimenten. Fosfor
159 kommer då att läcka tillbaka som löst fosfat till vattenmassan om det inte finns
160 någon aktiv bindningsmekanism som återigen binder den lösta fosfor i
161 sedimenten.

162
163 De olika fosforformerna i sedimenten kan delas upp i 5 olika fraktioner, genom så
164 kallad fosforfraktioneringsanalys. Det innebär att man med olika
165 extraktionsmedel lakar ut fosfor och kvantifierar den efter de lösningsmedel
166 som löst den. Man namnger vanligen de olika fraktionerna av sedimentfosfor
167 som *löst bunden*, *järnbunden*, *aluminiumbunden*, *kalkbunden* eller *organiskt*
168 *bunden* fosfor. Detta är en förenkling, men en användbar benämning av de
169 former som anses dominera i respektive fraktion. Den järnbundna fosfor löses
170 exempelvis ut och kvantifieras genom att sedimentprovet görs syrefritt.
171 Järnbunden fosfor och löst bunden fosfor, tillsammans med den del av den
172 organiskt bundna fosfor som med tiden kommer att mineraliseras, är de
173 sedimentfosforformer som bidrar till internbelastningen.

174 2.3 Naturligt avlägsnande av fosfor

175 Den främsta orsaken till att fosfor avlägsnas från vattenmassan är att den begravs
176 i sedimenten. Är tillförseln av **fosforbindande ämnen** i tillrinnande vatten
177 stor, kan en större andel av den fosfor som mineraliseras i sedimenten bindas,
178 även permanent (exempelvis om aluminium tillförs), och en period av
179 övergödning snabbare återställas naturligt. Det finns studier som tyder på att
180 fosfor också kan bindas permanent som järn-fosfor-mineraler, exempelvis
181 vivianit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) och att detta skulle kunna vara en signifikant sänka
182 för fosfor.

183
184 Näringsfattiga sjöar ofta har högre fosforhalter i sedimenten än övergödda sjöar
185 eftersom den fosfor som når bottenarna binds effektivt [1]. En anledning är att
186 näringsfattiga sjöar relativt sett kan innehålla mer fosforbindande ämnen jämfört
187 med mängden fosfor. Samma mönster råder i det relativt näringsfattiga
188 Bottenhavet vars sediment håller högre fosforhalter än i Egentliga Östersjön [2].
189

190 Slättlandssjöar och Egentliga Östersjöns kustbassänger har däremot dålig
191 förmåga att binda fosfor i sedimenten, speciellt under syrefria förhållanden.
192 Man har också sett tecken på att det i Östersjön kan ske en omfattande transport
193 av järn från syrefria botten i kusten till djupområden i utsjön. Där riskerar järnet
194 dessutom att under lång tid bli otillgängligt för fosforbindning.

195 **2.4 Skillnader mellan sjö och hav**

196 Om fosforkoncentrationen i ytvattnet är hög och primärproduktion stor, kan
197 syreförrådet kraftigt reduceras i bottenvattnet till följd av den ökade ansamlingen
198 och nedbrytningen av det organiska materialet. Huruvida syrebrist uppstår eller
199 inte beror på balansen mellan syretillförsel och syreförbrukning. Vid syrebrist
200 bryts organiskt material istället ned via anaeroba processer såsom denitrifikation
201 och sulfatreduktion. Vid sulfatreduktion bildas svavelväte som kan ackumuleras i
202 det syrefria bottenvattnet.

203
204 I djupa marina system med flerårig saltskiktning, kan djupvattnet under
205 språngskiktet (haloklinen) få en flera år lång uppehållstid. Eftersom
206 omblandning i det marina djupvattnet sker ganska sällan, blir djupvattnet i det
207 marina system lättare syrefritt redan vid liten belastning och relativt låga
208 koncentrationer av fosfor i ytvattnet. Marina system är dessutom betydligt rikare
209 på sulfat än sötvatten. Det gör att nedbrytning av organiskt material genom
210 sulfatreduktion sker i stor omfattning. I anoxiska havsbassänger med lång
211 uppehållstid för bottenvattnet orsakar det svavelväte bildas dessutom en latent
212 syreskuld. Det innebär att syre som förs in med nytt syrerikt vatten förbrukas
213 genom oxidation av svavelväte. Denna effekt ökar marina systems känslighet för
214 belastning från organiskt material. Dessutom riskerar den rikliga tillgången på
215 svavelväte att bilda svårslösliga komplex med det lösta reducerade järnet, järn som
216 därmed inte blir tillgängligt för att binda den lösta fosfor.

217
218 Detta skiljer sig från djupvattnet i insjöar (på våra breddgrader) som, beroende
219 på sjötyp, syresätts (ventileras) åtminstone varje år genom vertikal omblandning
220 (konvektion) på grund av temperaturskillnader i vattenmassorna. Det gör att
221 syresatt vatten åtminstone säsongsvis når de djupare delarna av insjöar.

222 Insjövatten innehåller dessutom relativt låga koncentrationer av sulfat vilket gör
223 att sulfidproduktionen blir begränsad.
224
225
226

REMISSVERSION

227 **3 Bedömningsstöd för åtgärder mot** 228 **internbelastning**

229 Det kan ofta vara komplicerat att avgöra var, när och hur åtgärder mot
230 internbelastning bör vidtas. Många olika faktorer påverkar ett eventuellt beslut
231 vilket kräver att avvägningar mellan dessa görs innan man går vidare med
232 eventuell åtgärd. Syftet med detta kapitel är att stödja i denna process.

233 **3.1 Minska tillförseln av fosfor först**

234 För att minska problemen med övergödning så ska åtgärder först genomföras för
235 att reducera tillförseln av näringsämnen från land. Om man trots minskade
236 utsläpp inte ser någon förbättring av vattenkvaliteten i vattenförekomsten kan
237 kompletterande undersökningar och åtgärder behövas för att fastställa och
238 motverka internbelastning. Åtgärder som syftar till att minska den interna
239 belastningen kan dock inte ersätta arbetet med att minska fosforutsläppen från
240 land. Åtgärder mot internbelastning är kompletterande och i vissa fall temporära
241 insatser för att påskynda en förbättring av vattenkvaliteten i miljöer som är
242 utsatta för läckage av ackumulerad fosfor från historiska utsläpp. I princip bygger
243 befintliga metoder på att man åtgärdar det överskott av fosfor som finns vid
244 behandlingstillfället. Om stora mängder fosfor tillförs vattnet efter att åtgärden
245 utförts så kommer fosforhalten åter att öka och därmed även internbelastningen.

246 **3.2 När bör åtgärder mot internbelastning vidtas?**

247 För att kunna bedöma om det är lämpligt att vidta åtgärder mot internbelastning
248 måste en sammanvägd bedömning göras som tar hänsyn till flera faktorer. För att
249 underlätta denna process har ett bedömningsstödsystem utvecklats.

250 Bedömningsstödet är en modifierad version av det system som föreslagits av
251 Schauser et al [4].

252
253 Textstyckena i detta kapitel är numrerade för att matcha motsvarande ruta i
254 bedömningsstödet flödesschema (FIG 1). Flödesschemat är i sin tur uppdelat i
255 två delar. Den första delen (ruta 1-5) innehåller de förberedande undersökningar
256 som är nödvändiga innan åtgärder mot internbelastning kan planeras. I många

257 fall kan det vara nödvändigt att genomföra provtagningar samt anlita limnologisk
258 expertis för att kunna svara på frågorna.

259
260 Då man konstaterat att det kan vara lämpligt att genomföra åtgärder mot
261 internbelastning, går man vidare till den andra delen av flödesschemat (ruta 6-
262 11). Denna del är avsedd att stödja vid bedömning av lämplig åtgärd. Genom
263 uteslutningsprincipen kommer de åtgärder (som presenteras i faktabladen i
264 bilagan) som skulle kunna vara lämpliga utifrån de givna kriterierna att pekas ut.
265 Resultatet indikerar vilka åtgärder som kan vara lämpliga. Resultatet ska ses som
266 ett första urval. Detaljerade och kompletterande undersökningar kan behövas för
267 att avgöra vilken metod som är bäst lämpad i det aktuella fallet.

268
269 Bedömningsstödsystemet är inte anpassat för att bedöma lämpligheten för
270 åtgärder som ännu inte är färdigutvecklade eller tillräckligt utvärderade, såsom
271 lågflödesmuddring, märgelbehandling eller reaktiva filtermaterial.

272 **3.3 Bedömningsstödsystem**

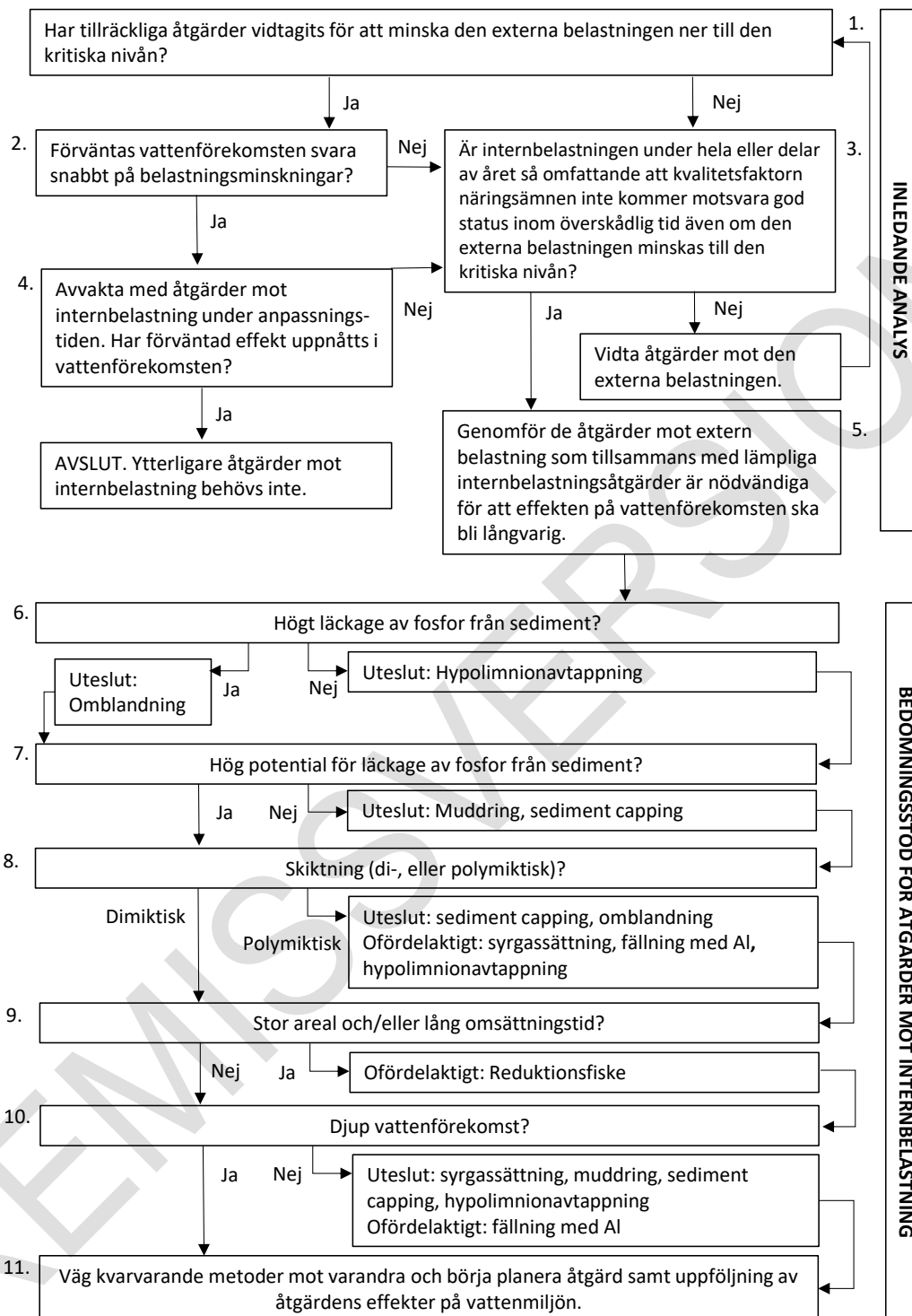
273 I detta avsnitt beskrivs de steg som är nödvändiga för att avgöra om det är
274 aktuellt med internbelastningsåtgärder eller inte.

275 **3.3.1 Inledande analys**

276 Den analys som ska göras åskådliggörs i figur 2. Nedan beskrivs stegen i detalj.
277

278 *1. Har tillräckliga åtgärder vidtagits för att minska den externa belastningen* 279 *ner till den kritiska nivån?*

280 Att minska den externa belastningen av näringsämnen är en grundförutsättning
281 för att åtgärder mot den interna belastningen ska bli långsiktigt effektiva. Den
282 kritiska externa belastningsnivån av fosfor är den belastning som vid jämvikt
283 skulle resultera i en fosforkoncentration som motsvarar kvalitetsfaktorn
284 näringsämnens värde för god status om ingen nettointernbelastning föreligger.
285 För att kunna avgöra hur den externa belastningen kan minskas ner till den
286 kritiska nivån krävs god kunskap om källfördelningen i tillrinningsområdet. Om
287 denna kunskap inte finns så behöver den inhämtas innan man går vidare. Den
288 kritiska externa belastningen (kg P år^{-1}) kan beräknas enligt:



Figur 2. Flödesschema för bedömningsstödet, se text för detaljerad beskrivning.

$$\text{Kritisk extern belastning} = A[P_P](1 + \sqrt{\tau}) \frac{Z_m}{\tau} \quad (1)$$

Alternativt:

$$\text{Kritisk extern belastning} = A[P_P](\beta + \sigma\tau) \frac{Z_m}{\tau} \quad (2)$$

vf	Vattenförekomsten	
[P _P]	Målkoncentrationen av parametern fosfor i vf	(µg l ⁻¹)
Z _m	Medeldjupet i vf	(m)
A	Vattenförekomstens areal	(km ²)
τ	Teoretiska uppehållstiden	(år)
β	Stratifieringsfaktorn (kvoten mellan utflödets och vf:s fosforkoncentration)	(ingen)
σ	Sedimentationskoefficienten (netto) för fosfor	(år ⁻¹)

Den kritiska belastningen jämförs sedan med den nuvarande externa belastningen för att avgöra om vidtagna åtgärder mot den externa belastningen är tillräckliga. För information om åtgärders potential mot den externa belastningen och deras kostnadseffektivitet, se [5].

2. Förväntas vattenförekomsten svara snabbt på belastningsminskningar?

Om vattenförekomstens anpassningstid är mindre än 6 år, så kan den i sammanhanget anses svara snabbt på belastningsminskningar. Anpassningstiden är den tid det beräknas ta att nå 95 % av den nya jämviktskoncentrationen efter att den externa fosforbelastningen till vattenförekomsten har minskat.

Anpassningstiden beräknas genom:

$$\text{Anpassningstid} = 3 \frac{\tau}{\beta + \sigma\tau} \quad (3)$$

Nettosedimentationshastigheten av fosfor (σ) beräknas enligt:

$$\sigma = \left(\frac{[P_{ext}]}{[P_{ss}]} - \beta \right) \frac{1}{\tau} \quad (4)$$

vf	Vattenförekomsten	
[P _{ext}]	Årsmedelkoncentrationen av fosfor i inflödet	(µg l ⁻¹)
[P _{ss}]	Vf:s årsmedelkoncentration av fosfor vid steady state	(µg l ⁻¹)
τ	Teoretiska uppehållstiden	(år)
β	Stratifieringsfaktorn (kvoten mellan utflödets och vf:s fosforkoncentration)	(ingen)
σ	Sedimentationskoefficienten (netto) för fosfor	(år ⁻¹)

317

318 3. Är internbelastningen under hela eller delar av året så omfattande att
 319 kvalitetsfaktorn näringsämnen inte kommer motsvara god status inom
 320 överskådlig tid även om den externa belastningen minskas till den kritiska
 321 nivån?

322 Det finns vanligtvis inga uppskattningar av storleksordningen på fosforflödet från
 323 bottensediment. För att sätta in en fysisk åtgärd krävs åtminstone en kvantitativ
 324 uppskattning av internbelastningens storlek. Därför behöver de vattenkemiska
 325 data som krävs för att uppskatta internbelastningens storlek samlas in.
 326 Provtagningarna behöver anpassas efter behoven av indata hos de verktyg som
 327 kommer att användas för dessa beräkningar.

328

329 Provtagningsmetodiken skiljer sig något mellan sjöar som omblandas två gånger
 330 om året (dimiktiska) och sjöar som omblandas flera gånger om året
 331 (polymiktiska).

332

333 Följande gäller vid provtagning i dimiktiska sjöar:

- 334 - Prover ska tas centralt i sjön, vid maximalt sjödjup.
- 335 - Temperatur och syrgas ska mätas i hela profilen med 0,5 m intervall, för
- 336 att kartlägga skiktningen.

- 337 - Prover ska tas från islossning, till och med höstomblandningen, minst en
- 338 gång i månaden.
- 339 - Prover ska initialt tas på fem olika djup: ett från ytvattnet, ett från ovanför
- 340 termoklinen, ett nära termoklinen, ett från hypolimnion, och ett
- 341 bottenvattenprov.
- 342 - De parametrar som ska analyseras är: Total-P, PO₄-P samt pH. Dessutom
- 343 klorofyll-a och färgtal från ytvattenprovet.
- 344 - En djupkarta över sjön måste tas fram.

345

346 *För polymiktiska sjöar* görs istället en skattning utifrån sjöns totala massbalans,
 347 vilket kräver analys av färre parametrar och ett annat provtagningsschema:

- 348 - Prover ska tas i samtliga inlopp, samt i utloppet
- 349 - Prover ska tas från islossning till isläggning, minst en gång per månad. I
- 350 sjöar med kortare omsättningstid än tre månader rekommenderas
- 351 provtagning varannan vecka.
- 352 - Den enda parameter som behöver analyseras är Total-P.
- 353 - Flöden från in- och utlopp krävs, antingen uppmätta eller modellerade
- 354 från exempelvis S-HYPE.

355

356 *Beräkning av internbelastning i dimiktiska sjöar:*

357 Utveckla profiler för Total-P såsom den som visas i figur 1. Värdena för Total-P
 358 mellan uppmätta värden uppskattas för massberäkning av Total-P.

359 Subtrahera koncentrationen av Total-P i ytvattnet från alla provtagningspunkter.
 360 Det är viktigt att koncentrationsvärdet som subtraheras inte är påverkat av
 361 internbelastning. I skiktade sjöar där skiktningen inte är stark finns det risk för
 362 att fosfor som läcker från sediment kan påverka koncentrationen av Total-P även
 363 i ytvattnet under sommaren. Man riskerar därmed att underskatta
 364 internbelastningen i dessa fall.

365 Beräkna vattenvolymen för varje skikt (V₁, V₂, etc) i termoklinen och
 366 hypolimnion (t.ex. 2-3 m, 3-4 m, osv) enligt:

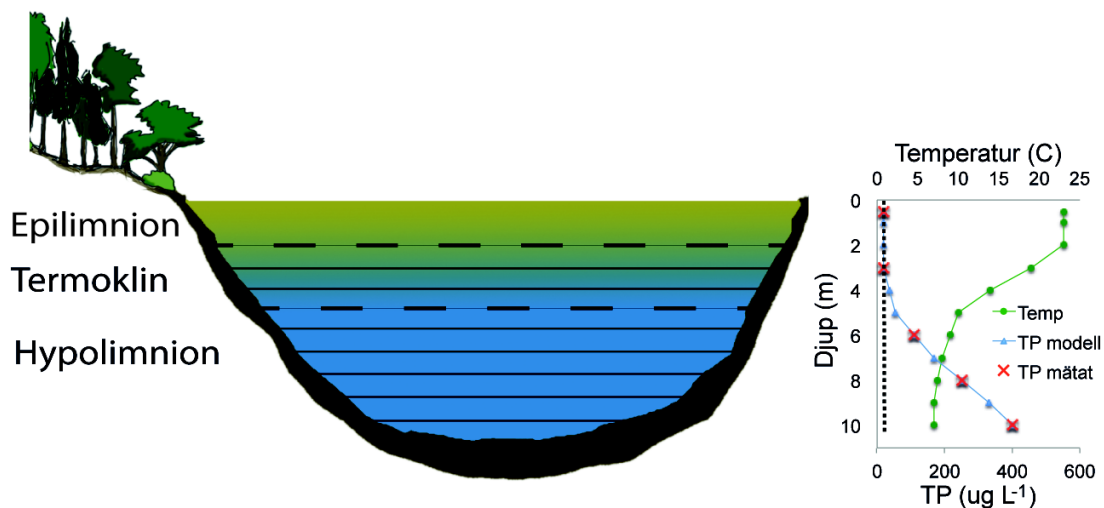
367
$$(\text{Areal}_1 + \text{Areal}_2) / 2 * (\text{djup}_2 - \text{djup}_1)$$

368 Notera att termoklinen börjar när temperaturskillnaden är större än 1° C per
369 meter ökning av djupet (i exemplet i figur 1 så sker detta på ca 3 meters djup).

370 Multiplicera koncentration av Total-P med vattenvolymen för att beräkna
371 fosforns massa (kg) på varje djup i termoklinen och hypolimnion.

372 Summera massan Total-P i dessa skikt för varje provtagningstillfälle.

373 Subtrahera massan Total-P innan internbelastningen (IBO) börjar under
374 vår/tidig sommar från massan Total-P under sen sommar (IB1, innan
375 omblandning av vattenpelaren sker). Dividera differensen med termoklinens
376 bottenareal. Dividera sedan denna kvot med antal dagar mellan IBO och IB1.
377 Internbelastningshastigheten anges som mg/m²/d



378
379 Figur 1:
380 Skiktad, dimiktisk sjö (vänster) och profildata för temperatur och totalfosfor (TP) (höger).
381 Horisontella streckade linjer i sjön representerar gränser för termoklinen. Den vertikala streckade
382 linjen representerar bakgrundhalten av TP (20 ug/L i detta exempel) som subtraheras från alla TP-
383 koncentrationer i profilen innan P-massan beräknas.

384
385
386 4. Avvakta med åtgärder mot internbelastning under anpassningstiden. Har
387 förväntad effekt uppnåtts i vattenförekomsten?
388 Eftersom effekten av åtgärder mot internbelastning är beroende av den externa
389 belastningen så ska åtgärder mot den senare prioriteras. Om en vattenförekomst

svarar snabbt på belastningsminskningar och dessa kan sänka den externa belastningen till den kritiska nivån så bör man avvakta med åtgärder mot internbelastning. Vid massförekomst av vitfisk kan dock nödvändiga åtgärder mot externbelastning kompletteras (men inte ersättas) med reduktionsfiske om övriga förhållanden gör att denna åtgärd är lämplig. Om förväntad effekt, med avseende på målkoncentrationen för fosfor har uppnåtts, så behöver inga ytterligare åtgärder vidtas mot internbelastning.

5. Genomför de åtgärder mot extern belastning som tillsammans med lämpliga internbelastningsåtgärder är nödvändiga för att effekten på vattenförekomsten ska bli långvarig.

För att gå vidare med internbelastningsåtgärder krävs ett helhetsgrepp mot den totala näringsbelastningen. Det är nödvändigt för att internbelastningsåtgärder ska kunna förväntas vara långsiktigt effektiva. Med lång sikt menas att den beräknade ackumulerade effekten av åtgärder (externa+interna källor) resulterar i att fosforkoncentrationerna vid steady-state motsvarar god status för kvalitetsfaktorn näringsämnen under minst 12 år. I första hand ska åtgärder mot den externa belastningen genomföras först. Det skulle dock kunna vara motiverat att genomföra nödvändiga åtgärder mot extern och intern belastning parallellt om bedömningsstödet indikerar att internbelastningsåtgärder är nödvändiga och effektiva även på lång sikt. Exempel på detta kan vara om planerade internbelastningsåtgärder i sig skapar acceptans och tydliga incitament för parallellt genomförande av nödvändiga åtgärder mot den externa belastningen.

3.3.2 Bedömningsstöd för åtgärder mot internbelastning.

Bedömningsstödet är modifierat utifrån Schauser et al [4].

UTESLUT innebär att åtgärden inte lämpar sig under aktuell förutsättning
OFÖRDELAKTIGT innebär att förhållandena inte är optimala för åtgärden men att en sammanvägd bedömning efter utredning skulle kunna visa att åtgärden ändå kan vara lämplig i den specifika vattenförekomsten.

6. *Högt läckage av fosfor från sediment?*

Information om internbelastningens storlek ska ha tagits fram under punkt 3 ovan. Sedimentläckaget av fosfor kan i detta sammanhang anses vara högt om det under hela eller del av året är:

- i) signifikant högre än den externa belastningen av fosfor eller,
- ii) är signifikant högre än nettosedimentationshastigheten av fosfor (σ) (se ekvation 4)

7. *Hög potential för läckage av fosfor från sediment?*

Om mängden mobil fosfor i sedimenten (g P m^{-2}) är mer än sex gånger så stor som den årliga internbelastningen ($\text{g P m}^{-2} \text{ -år}$) kan för detta ändamål läckagepotentialen anses vara hög. För att beräkna mängden mobilt fosfor i sedimenten så behöver fosforfraktioneringsanalys av sedimentprofiler genomföras.

8. *Skiktning (di-, eller polymiktisk)?*

Fastställ om vattenförekomsten är di- eller polymiktisk. En dimiktisk vattenförekomst genomgår omblandning två gånger om året (höst/vår). En polymiktisk vattenförekomst genomgår omblandning flera gånger om året.

9. *Stor areal och/eller lång omsättningstid?*

Kriteriet är inkluderat på grund av att reduktionsfiskets positiva verkan på vattenkvaliteten generellt försvagas med ökande sjöareal och omsättningstid [6]. För mer detaljer samt för referenser, se avsnittet om reduktionsfiske.

10. *Djup vattenförekomst?*

Om medeldjupet med god marginal överstiger resuspensionsdjupet så kan sjön betraktas som djup. Resuspensionsdjupet kan beräknas enligt:

$$\text{Resuspensionsdjupet} = 45,7 \frac{f}{(f+21,4)} \quad (5)$$

Alternativt så kan epilimniondjupet användas istället för resuspensionsdjupet. Epilimniondjupet beräknas enligt:

456
$$Epilimniondjupet = 5,81 \left(\frac{l+w}{2} \right)^{0,28} \quad (6)$$

457

vf	Vattenförekomen	
f	Vindens blåslängd (fetch) över vf	(km)
l	Maximala längden på vf	(km)
w	Maximala bredden på vf	(km)

458

459 11. *Väg kvarvarande metoder mot varandra och börja planera åtgärd.*

460 Genom uteslutningsmetoden kvarstår nu ett antal åtgärder. Det innebär inte att
 461 de per automatik är lämpliga för den aktuella vattenförekomen utan ska ses
 462 som resultatet av en första sällning. I den fortsatta planeringen av åtgärder
 463 behöver dessa ställas mot varandra och de aktuella förhållandena i vattenmiljön
 464 som man vill åtgärda.

465 I bedömningen av lämplig internbelastningsåtgärd behöver även en analys av
 466 respektive åtgärds kostnadseffektivitet göras med avseende på uppskattad effekt i
 467 relation till kostnad för genomförande på den specifika platsen. En
 468 interbelastningsåtgärd kan däremot inte anses vara lämplig om det inte samtidigt
 469 vidtas tillräckliga åtgärder mot externbelastningen så att långsiktig effekt nås.
 470 Den åtgärd som bedöms mest kostnadseffektiv, efter att tillräckliga åtgärder
 471 vidtagits mot externbelastningen, bör användas om inte särskilda skäl finns för
 472 annat ställningstagande.

4 Åtgärder mot internbelastning

I detta kapitel beskrivs möjliga åtgärder mot internbelastning av fosfor översiktligt. Åtgärderna är indelade i fyra kategorier: Permanent fastläggning, Bortförsel, Biomanipulation samt Syretillförsel och omblandning. För detaljerad beskrivning av åtgärderna, se bilagan (faktablad A-H).

4.1 Permanent fastläggning

Permanent fastläggning innebär att fosfor binds i sedimenten för att sedan begravas permanent. Detta kräver tillsats av fosforbindande ämnen som är effektiva både under de förhållanden som råder i vattenmassan, såväl som i sedimenten. Det innebär till exempel att de måste kunna binda fosfor oavsett om syre är tillgängligt eller inte.

4.1.1 Aluminiumfällning

Aluminiumfällning innebär att löst fosfor fälls ut genom tillsats av en aluminiumsaltlösning i vattenmassan (vattenbehandling) eller injicering i sediment (sedimentbehandling). Fosfor fastläggs därefter i sedimentet, vilket minskar mängden fosfor som kan läcka till vattenmassan och därmed internbelastningen. Metoden används enligt samma princip som i reningsverk där aluminiumsalt tillsätts för att fälla ut oönskade ämnen ur vattnet. pH i vattenmiljön behöver ligga inom intervallet 6-8,5 för att undvika toxiska effekter av aluminium på biota. Fastläggning av fosfor med hjälp av aluminium är en väldokumenterad metod för behandling av insjöar och har använts sedan 1970-talet. Behandlingen av Björnöfjärden 2012-2013 i Värmdö kommun var första gången som åtgärden prövades i bräckt vatten. Ytterligare information se bilagans faktablad A.

4.1.2 Phoslock (capping av sediment)

Phoslock är en så kallad capping-metod där en barriär bestående av bentonitlera och lantan skapas på sedimentytan för att komplexbinda fosfor. Fullskaliga försök med Phoslock utfördes första gången 2001 [7] och sen dess har fler försök utförts i sjöar och på laboratorier, främst utomlands. Ytterligare information se bilagans faktablad B.

503 **4.2 Bortförsel av fosfor**

504 Med bortförsel menas att fosfor avlägsnas direkt från vattenförekomsten. Det kan
505 antingen ske genom att fosforrikt vatten tappas av sjön eller muddring av
506 fosforrikt sediment.

507 **4.2.1 Hypolimnionavtappning**

508 Hypolimnionavtappning innebär att uttag görs av djupvatten som innehåller
509 höga koncentrationer av fosfor. Metoden är bäst lämpad för skiktade sjöar och
510 kan vara ett relativt billigt alternativ för att åtgärda internbelastning. Detta
511 förutsätter dock att omfattande temperaturförändringar i bottenvattnet undviks
512 samt att det uttagna vattnet omhändertas på ett sätt som inte påverkar nedströms
513 liggande vattenförekomster negativt. Metoden har använts sedan mitten av 1900-
514 talet i ett flertal sjöar, framförallt i Centraleuropa [9]. Ytterligare information se
515 bilagans faktablad C.

516 **4.2.2 Muddring**

517 Muddring innebär att bottenmaterial i ett vattenområde tas bort. Det finns olika
518 anledningar till att muddra. Det kan t.ex. gälla att säkra funktionen för en
519 befintlig eller planerad vattenanläggning, genomföra en ny verksamhet, ta bort
520 näringsrika sediment eller för att återställa naturvärden. Åtgärden beskrivs
521 endast kortfattat i denna vägledning, eftersom detaljerade förutsättningar för
522 muddring avhandlas i Havs- och vattenmyndighetens vägledning om muddring
523 och hantering av muddermassor [10]. Ytterligare information se bilagans
524 faktablad D.

525 **4.3 Biomanipulation**

526 Med biomanipulation menas att man medvetet försöker förändra ekosystemets
527 struktur genom att selektivt minska eller öka antalet individer inom vissa
528 artgrupper. Biomanipulation som direkt åtgärd mot internbelastning är vanligtvis
529 lika med reduktionsfiske.

530 **4.3.1 Reduktionsfiske**

531 Reduktionsfiske genomförs primärt för att öka predationstrycket på växtplankton
532 genom uttag av djurplanktonätande fiskar. Metoden är en vanlig åtgärd i
533 övergödda sjöar [6]. Bottenlevande fiskar som letar föda i sediment har dessutom

särskild betydelse för internbelastning av fosfor då födosökandet blandar om det översta sedimentlagret vilket gör att mer mobilt fosfor från sedimentet kan frigöras till vattenmassan [6, 8]. Fisket riktas vanligtvis mot så kallad "vitfisk", dvs karpfiskar som mört och braxen. Metoden har gett bäst resultat i mindre sjöar med kort omsättningstid och höga fosforhalter. Ytterligare information se bilagans faktablad E.

540

541 **4.4 Syretillförsel och omblandning**

Som namnet antyder så syftar syretillförsel och omblandning till att på olika sätt öka syresättningen i de delar av vattenmassan som riskerar att drabbas av syrebrist. En av de önskade effekterna med dessa metoder är att fosforläckaget från sedimenten begränsas eftersom fosfor kan bindas av järn under syresatta förhållanden.

547 4.4.1 Omblandning i sjöar

Metoden går ut på att omblanda vattenpelaren för att få syresatt vatten genom hela sjön och därmed få högre syrgaskoncentration i bottenvattnet. Detta syftar till att öka fasthållningen av fosfor i sedimenten. Omblandningen kan dock orsaka ökad primärproduktion och det saknas framgångsrika exempel på metodens tillämpning. Metoden samt den underliggande principen har under senare decennier ifrågasatts. Ytterligare information se bilagans faktablad F.

554 4.4.2 Haloklin ventilation

Metoden går ut på att tillföra väl syresatt vatten till djupvattnet under haloklinen i marina miljöer. Därmed fås en högre syrgaskoncentration i bottenvattnet, vilket kan öka fasthållningen av fosfor i sedimenten. Syftet med syresättning av djupvattnet är att hålla sedimentytan oxiderad för att förhindra intern belastning. Metoden och den underliggande principen har beskrivits och även omdebatterats i vetenskapliga publikationer. Åtgärden har testats i vetenskapliga pilotprojekt i skärgårdsmiljö i Sverige och Finland. Ytterligare information se bilagans faktablad G.

563 4.4.3 Syrgassättning och luftning av hypolimnion

564 Metoden att tillföra syre till syrefattigt bottenvatten har använts i sjöar sedan
565 mitten av 1900-talet. Syftet med åtgärden är att syresätta bottenvattnet så att
566 botten ges tillgång till syre och därmed kan binda fosfor vid sedimentytan.
567 Åtgärden utförs genom att på olika sätt låta bottenvatten komma i kontakt med
568 syrgas eller luft. Ytterligare information se bilagans faktablad H.

569 4.5 Åtgärder under utveckling

570 Lågflödesmuddring, behandling med mörgel och reaktiva filtermaterial är
571 exempel på åtgärder som är under utveckling. För dessa metoder saknas det
572 tillräckligt med oberoende material för att kunna göra objektiv bedömning av
573 åtgärdernas effekter. Metoderna är i relativt tidig utvecklingsfas och erfarenheter
574 från större försök saknas eller behöver verifieras. Eftersom oberoende
575 vetenskapliga granskningar saknas så baseras en del av informationen på
576 rapporter från utförare och leverantörer.

577 4.5.1 Lågflödesmuddring

578 Lågflödesmuddring eller densitetssorterande bärgning av sjöbottensediment är
579 en relativt ny metod som testas i flera restaureringsprojekt i olika sjöar i Sverige.
580 Metoden är en skonsammare form av muddring som går ut på att ytsediment
581 försiktigt sugas upp i slangar för att minimera partikelspridning. Tekniken är
582 utformad för att vara skonsammare mot det befintliga växt- och djurlivet än
583 konventionell muddring [11]. En utmaning med metoden är hantering av
584 slammet som har en hög vattenhalt. 2019 fanns inga vetenskapliga utvärderingar
585 av metoden publicerade

586 En alternativ metod till automatiserad lågflödesmuddring är manuell
587 sugmuddring som utförs från en flötte på vattenytan i samma takt som
588 återvinning (avvattning, transport, återförsel och återanvändande) sker.

589 Efter utförd muddring måste det avlägsnade näringsrika sedimentet tas om hand.
590 Om sedimentet inte innehåller för höga halter av miljögifter kan näringsämnen
591 återanvändas [12] som bland annat gödningsmedel till jord- och skogsbruk [13].
592 Lokalt omhändertagande av sedimentet är att föredra då detta minimerar
593 transporter och belastning på miljön.

594 Metoden fokuserar på sedimentets översta lager i de delar av vattenförekomsten
595 där ackumulation av organiskt material är som störst, exempelvis i en sjös
596 djupare delar. Metoden har testkörts i dammar, insjöar och i Östersjön. Det finns
597 inga utrustningsmässiga begränsningar på var metoden kan användas men med
598 hänsyn till växt- och djurlivet bör strandnära områden undvikas.

599 Det finns inga tydliga riktlinjer dokumenterade om när det är den bästa
600 tidpunkten för åtgärden.

601 Sedimentet kan innehålla miljögifter vilket begränsar möjligheten att använda
602 sedimentet som en resurs. Det finns metoder för att avskilja metaller från
603 sedimentet genom kemisk och bakteriell lakning (effektivas för kadmium, zink
604 och koppar), vilket kan göras på plats i samband med muddringen [14]. En alltför
605 effektiv reningsprocess kan däremot medföra att efterfrågade näringsämnen
606 behöver tillsättas om massan ska användas som gödningsmedel [15].

607 Vattenhalten i det uppsugna materialet är mycket hög vilket medför stora
608 transportkostnader, alternativt behov av ett avvattningssteg på plats.

609 Åtgärden kan även öka läckage av tungmetaller som annars hade begravts
610 permanent [16].

611 I Barnarpasjön (Jönköpings kommun) är utfiskning planerat som komplement
612 till lågflödesmuddringen [11] efter att positiva resultat på fiskebeståndet erhöles
613 från reduktionsfiske i Lilla Nätaren [17].

614 Det finns flera planerade projekt med lågflödesmuddring i Sverige men inga
615 slutförda och därför heller inga vetenskapligt publicerade resultat.

616 Försök pågår bland annat i Öljaren (Katrineholms och Vingåkers kommuner),
617 Ralången (Aneby kommun), Malmfjärden (Kalmar kommun) och Barnarpasjön
618 (Jönköpings kommun).

619 4.5.2 Behandling med mörgel

620 Fastläggning av fosfor kan ske genom tillsats av kalkrik lera (mörgel). Metoden är
621 fortfarande under utveckling men utvärdering i fält har påbörjats. Det finns dock
622 få publicerade studier av användandet av mörgel i detta syfte. Enstaka tester av
623 metoden har genomförts i sötvatten med begränsad framgång. Pilotförsök har
624 även genomförts eller planeras i kustområden i Östersjön.

Metoden går ut på att förstärka fastläggningen av fosfor i sediment genom att tillföra mörkel (kalkrik lera) som adsorberar fosfat. Mörkel är en partikulär restprodukt från utvinning av kalksten som innehåller stora mängder kalciumkarbonat (CaCO_3). Granulat av mörkel kan släppas i vattnet och på väg ned mot botten fastläggs löst fosfat genom adsorption på mörkelpartiklarnas yta. Laboratorie- och pilotstudier har visat att adsorption av fosfor till mörkel kan ske även vid låga temperaturer och syrefattiga förhållanden [18].

Metoden är under utveckling och behöver optimeras, bland annat med avseende på kornstorlek och sedimentationshastighet. Möjliga bieffekter, såsom pH-förändringar, oönskad samfällning med andra ämnen än fosfor, samt eventuell påverkan på bottenfauna behöver undersökas [19]. Effekterna på omgivningen behöver särskilt beaktas ifall mörkeln behandlas för att få en högre reaktivitet och förmåga att adsorbera fosfor.

4.5.3 Reaktiva filtermaterial

Reaktiva filtermaterial används idag i fosforfällor för enskilda avloppsanläggningar. Den produkt som dominerar den svenska marknaden är Polonite som framställs av bergarten opoka som består av kalciumkarbonat och kisel. Opoka har stor porositet och därmed yta där sorption kan ske och inbindningen av fosfor är långvarig. [20].

I tillägg till de kalkbaserade material som behandlats kan även nämnas ett granulat bestående av modifierad zeolit, Z2G1. Zeolit förekommer naturligt som mineral av aluminiumsilikater men kan också framställas syntetiskt. Materialet är poröst och har därför en stor reaktiv ytareal. Z2G1 består av zeolit som har modifierats med aluminiumsalt för att förstärka kapaciteten att fälla fosfor. Granulatet Z2G1 har testats i ett småskaligt fältförsök i sjövattnet i Nya Zeeland. Detta delexperiment visade att Z2G1 kunde fasthålla både kväve och fosfor vid sjöbotten, men materialet behöver studeras i fullskaliga experiment innan dess potential som restaureringsmetod kan utvärderas [21].

5 Ekonomiska bidrag för åtgärder mot internbelastning.

När det gäller internbelastning av fosfor kan det vara omöjligt att identifiera och avgöra vem som ska ansvara för att vidta åtgärder mot den uppkomna skadan. Många aktörer är oftast inblandade och utsläpp kan ha skett vid olika tillfällen under en lång tidsperiod.

För att finansiera *frivilliga* åtgärder mot internbelastning med statligt bidrag kan medel företrädesvis sökas från de årligt återkommande LOVA-bidragen eller via särskilda riktade utlysningar.

5.1 LOVA

LOVA-bidragets syfte är att bidra till att uppnå de miljö kvalitetsmål som fastställts för vattenmiljön, vilket inkluderar åtgärder mot övergödning och internbelastning. Bidraget kan sökas hos länsstyrelsen och går framför allt till kommuner, föreningar och andra sammanslutningar.

LOVA-bidrag regleras genom förordning (2009:381) om statligt stöd till lokala vattenvårdsprojekt. Havs- och vattenmyndigheten har bemyndigande att meddela närmare föreskrifter om bland annat stödberättigande åtgärder och vad som krävs av en ansökan¹. För ytterligare information, se www.havochvatten.se.

Förordningen medger finansiering av internbelastningsåtgärder med upp till 90 %. För åtgärder som avser att minska internbelastningen av fosfor kan stöd exempelvis ges till:

- Permanent fastläggning av fosfor i sediment, till exempel genom tillsats av fosforbindande ämne, såsom aluminiumklorid.
- Bortförsel av fosfor från sediment, inklusive hypolimnionavtappning.
- Syresättning av anoxiskt bottenvatten för att stimulera naturlig fastläggning av fosfor, till exempel genom pumpning av syrerikt ytvatten ned till botten.

¹ 15 § Förordning (2009:381) om statligt stöd till lokala vattenvårdsprojekt.

- 683 • Reduktionsfiske som utförs med avsikt att minska internbelastning av
684 fosfor.
 - 685 • Andra åtgärder som resulterar i minskning av fosforläckage från
686 sediment.
- 687 Stöd kan även ges till framtagande av planer, information, uppföljning eller
688 utvärdering. Det kan exempelvis gälla följande:
- 689 • Analyser av de bakomliggande källorna till
690 internbelastningsproblematiken och uppskattning och beskrivning av
691 åtgärder som vidtas för att reducera dessa belastningar.
 - 692 • Framtagande av en plan för långsiktig uppföljning (flera år) av en åtgärd
693 och hur data om det ska tillgängliggöras.
 - 694 • Nödvändig åtgärdsutredning, t ex insamlande av vattenkemiska mätdata
695 för att uppskatta internbelastningens storlek.

696 **5.2 Särskilda satsningar**

697 Havs- och vattenmyndigheten kan i vissa fall genomföra särskilda satsningar och
698 riktade utlysningar inom prioriterade ämnesområden. Offentliga aktörer och
699 ideella organisationer kan söka sådana bidrag. När särskilda utlysningar
700 genomförs finns information om dessa på Havs- och vattenmyndighetens
701 websida: www.havochvatten.se/anslag-bidrag-och-utlysningar.
702

6 Referenslista

- [1] Carey, C.C., Rydin, E., "Lake trophic status can be determined by the depth distribution of sediment phosphorus," *Limnology and Oceanography*, vol. 56, 2011.
- [2] Malmaeus, M., Karlsson, M., "Estimating the Pool of Mobile Phosphorus in Offshore Soft Sediments of the Baltic Proper," *Air, soil and Water Research*, vol. 5, nr 5, pp. 1-13, 2012.
- [3] Reed, D., C., Gustafsson, B., Slomp, C., P., "Shelf-to-basin iron shuttling enhances vivianite formation in deep Baltic Sea sediments," *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 434, pp. 241-251, 2016.
- [4] I. Schauser, J. Lewandowski och M. Hupfer, "Decision support for the selection of an appropriate in-lake measure to influence the phosphorus retention in sediments," *Water Research*, vol. 37, pp. 801-812, 2003.
- [5] M. Gyllström, M. Larsson, J. Mentzer, J. F. Petersson, M. Cramér och E. Witter, "Rapport 2016:19 Åtgärder mot övergödning för att nå god ekologisk status - underlag till vattenmyndigheternas åtgärdsprogram," De fem vattenmyndigheterna i samverkan, Västerås, 2016.
- [6] Bernes, C., Carpenter, S. R., Gårdmark, A., Larsson, P., Persson, L., Skov, C., Speed, J. D. M., Van Donk, E., "What is the influence of a reduction of planktivorous and bentivorous fish on water quality in temperate eutrophic lakes?," *Environmental Evidence* 4:13, 2015.
- [7] Robb M., Greenop B., Goss Z., Douglas G., Adeney J., "Application of Phoslock™, an innovative phosphorus binding clay, to two Western Australian waterways: preliminary findings," *Hydrobiologia*, vol. 494, pp. 237-243, 2003.
- [8] G. K. Nürnberg, "Lake responses to long-term hypolimnetic withdrawal," *Lake and Reservoir Management*, pp. 388-409, 2007.
- [9] Havs- och vattenmyndigheten, "Muddring och hantering av muddermassor - Vägledning och kunskapsunderlag för tillämpningen (Rapportnummer 2018:19)," Havs- och vattenmyndigheten, Göteborg, 2018.
- [10] Søndergaard, M., Jensen, J. P., Jeppesen, E., "Role of sediment and internal loading of phosphorous in shallow lakes," *Hydrobiologica*, pp. 506-509: 135-145, 2003.

- [11] Jönköpings kommun, "Restaurering av Barnarpasjön," 2014. [Online]. Available:
<https://www.jonkoping.se/byggabomiljo/naturvardochskotselavgronomraden/vattenochvatmarker/overgodningivatten/barnarpasjonovergodning/restaureringavbarnarpasjon>. [Använd 06 12 2017].
- [12] Lee, F. G., Sonzogni, W. C., Spear, R. D., "Significance of oxic vs anoxic conditions for Lake Mendota sediment phosphorus release," *Proc. International Symposium on Interactions between Sediments and Fresh Water*, pp. 294-306, 1976.
- [13] Länsstyrelsen Östergötland, Miljöskyddsenheten, "Kan ny teknik minska internbelastningen av fosfor i övergödda sjö- och kustekosystem, Fas 2," Linköping, 2017.
- [14] Teknikmarknad, "Fältutrustning för separering av tungmetaller från organiska sediment från sjöbotten," Stockholm, 2016.
- [15] Storm, J-O., Carlsson, F., "Generell analys av användning av sediment som gödselmedel inom jordbruket samt värdering av bottensediment från Barnarpasjön genom fältförsök," Hushållningssällskapet, Jönköping, 2017.
- [16] J. Yu, Q. Chen, J. Zhang, J. Zhong, C. Fan, L. Hu, W. Shi, W. Yu och Y. Zhang, "In situ simulation of thin-layer dredging effects on sediment metal release across the sediment-water interface," *Science of The Total Environment*, vol. 658, pp. 501-509, 2019.
- [17] Jönköpings kommun, "Lilla Nätaren, övergödning," 2014. [Online]. Available:
<https://www.jonkoping.se/byggabomiljo/naturvardochskotselavgronomraden/vattenochvatmarker/overgodningivatten/lillanatarenovergodning.4.74fef9ab15548f0b8002226.html>. [Använd 06 12 2017].
- [18] S. Blomqvist och E. Björkman, "Permanent inaktivering av fosfor i Östersjöns bottensediment," 2014.
- [19] Blomqvist, S., Rydin, E., "Förbättra fosforbindningen i Östersjöns bottenar," *Kemivärlden Biotech med Kemisk Tidskrift. Nr 5.*, pp. 31-34, Maj 2011.
- [20] Renman, G., Renman, A., Gustafsson, J. P., "Reaktiva sorbent för fastläggning av fosfor i Östersjöns bottenar, BalticSea2020, 2013.
- [21] Zamparas, M., Zacharias, I., "Restoration of eutrophic freshwater by managing internal nutrient loads. A review," *Science of the Total Environment*, vol. 496, pp. 551-562, 2014.

Titel

Undertitel

Skriv baksidestext.

Vi arbetar för levande hav och vatten

Havs- och vattenmyndigheten, HaV, är en statlig miljömyndighet. Vi arbetar för att lösa viktiga miljöproblem och skapa en hållbar förvaltning av hav, sjöar och vattendrag.

Vi tar ansvar för att hav och sötvatten nyttjas men inte överutnyttjas. Vi utgår från ekosystemens och människans behov nu och i framtiden. Detta gör vi genom att samla kunskap, planera och fatta beslut om insatser för en bättre miljö. För att nå framgång samverkar och förankrar vi vårt arbete med alla berörda, nationellt såväl som internationellt.

**Havs
och Vatten
myndigheten**